



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Gestión del mantenimiento en canales. Aplicación con metodología BIM.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Isaac Manzano Serrano

Dirigida por:

D. Juan Manuel Alameda Villamayor

Codirigida por:

D. Marcos Rodríguez Serrano

D. Carlos Henche Guijarro

Madrid, 2024

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este Trabajo Fin de Máster, ha sido una experiencia académica enriquecedora con un profundo compromiso, dedicación y esfuerzo a lo largo de varios meses.

Es por ello, que antes de presentar el contenido del TFM, quisiera expresar mi agradecimiento a las personas que han dedicado su tiempo y disposición durante estos meses de trabajo.

En primer lugar, a D. Juan Manuel Alameda Villamayor, por dirigir mi Trabajo Fin de Máster desde la experiencia, apoyo y compromiso con el sector hidráulico.

También agradecer a los codirectores D. Carlos Henche Guijjarro y D. Marcos Rodríguez Serrano, en especial a este último, sin cuyos conocimientos, dedicación y enseñanzas durante las asignaturas del MUICCP, en las que fui aprendiendo y desarrollando las capacidades para acometer un TFM bajo la metodología BIM, esto no hubiera sido posible.

Por último, agradecer a D. Jose Daniel Tamargo Acebal, ingeniero técnico topógrafo, por su colaboración en los trabajos de campo y digitalización del canal.

Y por supuesto, a mis hijos por el tiempo que no les he dedicado, y a mi mujer Ana, por el apoyo mostrado.

Madrid a 29 junio de 2024

RESUMEN

Las infraestructuras hidráulicas se han convertido en los últimos tiempos, en herramientas imprescindibles frente al cambio climático. El agua como recurso, por tanto, ha de ser gestionado de manera eficiente y sostenible.

Dentro de las infraestructuras hidráulicas, los canales en regadíos, cumplen el doble objetivo de ser gestores del transporte y distribución del agua, así como instrumento para la producción agrícola.

Ambos aspectos son definitorios en los Objetivos de Desarrollo Sostenible dentro de la Agenda 2030.

Por ello, este Trabajo de Fin de Máster (TFM) aborda el desarrollo y la aplicación de un sistema de mantenimiento de canales con la metodología BIM (Building Information Modeling). Para lo cual, se ha realizado una labor de investigación incluyendo revisión de la literatura existente sobre sistemas de mantenimiento con metodología BIM, y de manera más exhaustiva su aplicación en infraestructuras hidráulicas y canales.

De este trabajo de investigación, expuesto en el estado del arte, surge la construcción de un sistema de mantenimiento propio y específico para canales de riego.

Este sistema de mantenimiento se implementa con la metodología BIM, generando modelos digitales de la infraestructura desde la realidad, mediante los distintos softwares de entorno BIM.

La generación de documentos basado en inspecciones, planificación y operaciones, presentan un sistema de mantenimiento preventivo y planificado, que con la vinculación al modelo digital BIM y siguiendo su metodología de gestión documental, optimizan y hacen del sistema de conservación y mantenimiento de canales una herramienta eficiente y extrapolable a todo tipo de canales y zonas regables.

Una vez desarrollado el sistema, en el presente TFM se aplica a un canal existente como objeto práctico de la implantación en el mantenimiento y conservación de zonas regables.

En conclusión, las nuevas tecnologías y la metodología BIM, vinculadas a sistemas de mantenimiento de canales, genera una herramienta que contribuye a la eficiencia en la gestión y a la sostenibilidad de la infraestructura.

ABSTRACT

Hydraulic infrastructures have recently become indispensable tools in the face of climate change. Water as a resource, therefore, must be managed efficiently and sustainably.

Within hydraulic infrastructures, irrigation channels serve the dual purpose of managing the transport and distribution of water, as well as being an instrument for agricultural production. Both aspects are defining in the Sustainable Development Goals within the 2030 Agenda.

Therefore, this Master's Thesis (TFM) addresses the development and application of a channel maintenance system using the BIM (Building Information Modeling) methodology. To achieve this, research was conducted including a review of existing literature on maintenance systems with the BIM methodology, and more exhaustively, its application in hydraulic infrastructures and channels.

From this research work, presented in the state of the art, the construction of a unique and specific maintenance system for irrigation channels emerges.

This maintenance system is implemented using the BIM methodology, generating digital models of the infrastructure from reality through various BIM environment software.

The generation of documents based on inspections, planning, and operations presents a preventive and planned maintenance system, which, linked to the BIM digital model and following its document management methodology, optimizes and makes the channel conservation and maintenance system an efficient tool that can be extrapolated to all types of channels and irrigable areas.

Once the system was developed, in this TFM, it is applied to an existing channel as a practical implementation object in the maintenance and conservation of irrigable areas.

In conclusion, new technologies and the BIM methodology, linked to channel maintenance systems, create a tool that contributes to the efficiency in management and sustainability of the infrastructure.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivos	7
1.3.	Metodología de trabajo	10
1.4.	Estructura del documento.....	15
2.	ESTADO DEL ARTE	20
2.1.	Estado del arte en la gestión de canales.....	20
2.1.1.	Necesidad de conservación.....	20
2.1.2.	Canales en zona regables	22
2.1.3.	Canales en abastecimientos.....	31
2.1.4.	Patologías en obras de canales.....	33
2.1.5.	Métodos de reparación.....	41
2.1.6.	Concepto de mantenimiento.....	48
2.1.7.	Tipos de mantenimiento.....	48
2.1.8.	Metodología para la implantación de un sistema de conservación	53
2.1.9.	Inventarios.....	58
2.1.10.	Inspecciones	60
2.1.11.	Priorización de actuaciones.....	66
2.1.12.	Sistemas de gestión de mantenimiento actuales (SIG-GMAO) y facility management.....	68
2.2.	Estado del arte de la metodología BIM	74
2.2.1.	¿Qué es el BIM?.....	74
2.2.2.	Niveles de madurez, niveles de desarrollo LOD y dimensiones BIM	83
2.2.3.	Estado actual de la metodología BIM en conservación	96
2.2.4.	BIM y “facility management” gestión de servicios.....	101
2.3.	Estado del arte en modelos predictivos aplicados a la gestión de mantenimiento zonas regable.....	103
2.4.	Estado del arte de ciberseguridad en SIG-BIM	105
3.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE CANALES.....	111
3.1.	Problemática actual.....	111
3.2.	BIM y sostenibilidad	113
3.3.	BIM para la gestión del mantenimiento de canales.....	115

3.4.	La necesidad de planificar el mantenimiento de canales con BIM.....	117
3.5.	Plan de ejecución BIM-BEP (BIM Execution Plan).....	119
3.6.	Entorno común de datos-CDE (Common Data Environment).....	121
3.7.	Formato IFC (Industry Foundation Classes).....	124
3.8.	Definición del proceso.....	125
3.9.	Software empleado.....	126
3.10.	Modelización del canal.....	130
3.11.	Sistema de clasificación de elementos.....	131
3.11.1.	Propuesta de clasificación de elementos hidráulicos.....	131
3.11.2.	Definición de los nuevos parámetros de mantenimiento.....	132
3.12.	Incorporación del sistema de clasificación al modelo REVIT.....	133
3.13.	Generación de registros e informes para conservación.....	136
3.13.1.	Fichas de inspección.....	136
3.13.2.	Tablas de planificación de actividades.....	139
3.13.3.	Partes de incidencias y operación.....	139
4.	APLICACIÓN A CASO PRÁCTICO.....	144
4.1.	Alcance del caso práctico.....	144
4.2.	Características de la zona regable de la Real Acequia del Jarama y del canal de la Media Luna. 144	
4.3.	Modelización de las estructuras.....	148
4.3.1.	Canal.....	148
4.3.2.	Compuerta de regulación.....	158
4.3.3.	Compuerta de toma de riego.....	159
4.3.4.	Estructuras singulares.....	160
4.4.	Inserción de datos en los parámetros.....	161
4.5.	Archivo de fichas de inspección.....	162
4.6.	Generación de planificación de conservación y explotación.....	164
4.7.	Generación de partes de incidencia y operación.....	165
5.	CONCLUSIÓN Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	168
5.1.	Conclusiones.....	168
5.2.	Futuras líneas de trabajo.....	170

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO I. INDICE DE ILUSTRACIONES, FIGURAS Y TABLAS
- ANEXO II-BEP
- ANEXO III- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS
- ANEXO IV- FICHAS DE INSPECCIÓN
- ANEXO V- PARTE DE INCIDENCIA Y OPERACIÓN
- ANEXO VI- MODELO CANAL
- ANEXO VII- CANAL REVIT
- ANEXO VIII- CANAL NAVISWORK MANAGE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

El agua puede considerarse como el elemento generador de vida en La Tierra, tal y como la conocemos, siendo un recurso fundamental para que continúe la existencia de vida en el planeta.

Desde los albores de la humanidad, el desarrollo del ser humano y su civilización va íntimamente unido al agua.

Desde los primeros asentamientos a orillas de los cauces de ríos y arroyos, hasta la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas, el hombre ha necesitado el agua para su subsistencia.

La gestión y el control de este recurso, ha sido una de los aspectos que más ha preocupado a la humanidad, “Si bien no podemos controlar el clima, controlemos el recurso”.

La evolución del ser humano, ha ido marcado por hitos claves en su historia, siendo uno de ellos el paso de recolector y cazador a agricultor y ganadero. Con el descubrimiento de la agricultura y la ganadería, se consolidan los asentamientos y el inicio de una nueva forma de civilización.

Estos hechos, generaron una serie de necesidades vinculadas al uso del agua. Se comienzan a construir las primeras infraestructuras hidráulicas que permitieran la gestión del agua y los regadíos.

La aparición de los canales, de los cuales se tienen referencia hacia el año 6000 a.C., en los que la civilización sumeria en la baja Mesopotamia, construyó una serie de obras desviando el agua de los ríos Tigris y Éufrates para usos agrícolas utilizando patrones de riada. Estos fenómenos de inundación de terrenos, se daba entre los meses de julio a diciembre, y se desviaban hacia los campos de cultivo durante entre 30 y 60 días. Posteriormente se drenaba, haciendo retornar el agua al río, en el momento preciso del ciclo del cultivo.



Ilustración 1. Riegos en Mesopotamia (Fuente <http://www.timetoast.com/>)

Unos milenios más tardes, hacia el año 3.500 a.C., la civilización egipcia desarrollo un complejo sistema de canalizaciones e infraestructuras hidráulicas, con el objeto del control y aprovechamiento para riegos de las inundaciones del Nilo.

Infraestructuras tales como el nilómetro, que servía de indicador de medida del nivel de agua del río Nilo, consistente en una columna vertical con marcas de profundidad a intervalos, o un pozo escalonado.



Ilustración 2. Nilómetro (Fuente <http://losviajeros.com/>)

Durante el reinado de Menes, hacia el año 3000 a.C., se construyó el primer gran proyecto de regadíos, utilizando presas y canales para gestionar el agua del Nilo.



Ilustración 3. Riegos Rey Menes 3000 a.C. (Fuente: <http://www.timetoast.com/>)

También la cultura China, el Sistema de Irrigación de Dujiangyan, construido hacia el año 256 a.C. que está considerado como el sistema de regadíos en funcionamiento (con obras de modernización) más antiguo del mundo. Mediante un sistema de diques, permitió tanto el regadío como el paso de transporte fluvial.



Ilustración 4. Zhulong y Macha (Fuente: wikipedia)

Pero es sin duda la ingeniería romana y la expansión de su imperio, la que hizo posible que la tecnología en el campo de la hidráulica diera un gran paso para la humanidad. Presas, acueductos, depósitos, canales, saneamientos...sin duda Roma nos dio las herramientas necesarias para la gestión del agua.



Ilustración 5. Acueducto de Segovia (Fuente: Kamarero)

Con la expansión del Islam en el siglo VIII d.C., se generó un gran avance en la gestión de los regadíos y la gestión y aprovechamiento del recurso. La modernización y aplicación de infraestructuras hidráulicas como la naura (noria), la dawlab (rueda elevadora) o qanā (sistemas de captación mediante galerías y pozos del freático).

Para la distribución del agua para riegos desarrollaron complejas y extensas redes de acequias que derivaban en conducciones menores, generando así grandes extensiones de regadío intensivo.

Este sistema generalmente se hacía mediante la construcción de un azud para la derivación del canal, acequia o noria para la distribución del agua.



Ilustración 6. Acequia del sistema hidráulico morisco de Millares (Fuente: elaboración propia)

Ya en el siglo XX, las necesidades hidráulicas y energéticas, junto con los avances en el ámbito de la ingeniería, han permitido la construcción de grandes infraestructuras como son el Proyecto Central Valley en California, permitiendo un desarrollo de la zona y facilitando una gestión del agua para usos agrícolas, de abastecimiento y energéticos. Estamos hablando de cifras en las que los 20 embalses del sistema tienen un almacenaje de 16.000 Hm³ (la capacidad de todos los embalses españoles es de 25.000 Hm³). Por sus canales y sistemas de transporte se mueven al año 9.100 Hm³ de los cuales un 60% se destina a regadíos con una extensión de 1.200.000 Ha, quedando el resto para abastecimientos y gestión ambiental de ríos y humedales (Central Valley Project, <https://www.usbr.gov/mp/cvp/>).

El sistema de presas y saltos tiene una capacidad de generación anual de 2.000 megavatios.

Sin duda, la gestión de estos faraónicos sistemas, requiere de la máxima coordinación y aplicación de avanzadas tecnologías en el ámbito de la ingeniería hidráulica.



Ilustración 7. California State Water Project (Fuente: <https://water.ca.gov/swp/>)

Ya en el siglo XXI, el agua pasa de ser un bien “ilimitado” a ser un recurso limitado. Este nuevo escenario, al que se añade el paradigma del cambio climático, genera una necesidad apremiante en la gestión del agua.

Desde los estamentos internacionales, en el año 2015 los países miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos “alcanzables” en los próximos 15 años, como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Uno de estos objetivos, concretamente el ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, marca las líneas para el uso, gestión y distribución de los

recursos hídricos a nivel mundial: “6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua” (Organización para las Naciones Unidas, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>).

Según el Banco Mundial: “El cambio climático se manifiesta a través del agua. Nueve de cada diez desastres naturales se relacionan con el agua. Los riesgos climáticos vinculados con el agua se propagan a través de los sistemas alimentarios, energéticos, urbanos y ambientales. Si se quieren lograr los objetivos relacionados con el clima y el desarrollo, el agua debe estar en el centro de las estrategias de adaptación.” (Banco Mundial, <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>).

Analizando por tanto el escenario actual, nos encontramos con una modificación de la climatología, lo que genera ciclos más largos de periodos húmedos y secos, episodios pluviométricos extremos y circunstancias meteorológicas particulares.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la aportación para la mejora y minimización de los efectos del cambio climático en el ámbito de la gestión hidráulica es fundamental.

Concretamente, la gestión de los regadíos ha de cumplir una doble misión, puesto que se gestiona un recurso como es el agua, que a su vez genera producción agrícola de manera eficiente. En ambos supuestos, la vida humana en el planeta depende de ellas.

Es por ello, que, desde las distintas Administraciones, se están promoviendo inversiones y búsqueda de soluciones para esta circunstancia. Optimizar el uso del agua a través de mejoras en planificación y gestión, no sólo optimiza y genera un crecimiento económico, sino que mejora la protección de los recursos hídricos.

En los últimos años, las infraestructuras de regadíos se han visto incrementadas en todo el planeta, muchas de ellas llevan aparejadas modernos sistemas de gestión del recurso en cuanto al uso y control en el consumo. Sin embargo, este tipo de infraestructuras, canales y acequias, que en muchos casos no están modernizadas, o bien sus sistemas de regadíos se ajustan más a una metodología ancestral en el riego, requieren de otro tipo de elemento de gestión, no sólo para las pérdidas de caudal sino para una durabilidad de la infraestructura.

Con estos precedentes, se puede considerar la importancia que tiene el agua y los regadíos a nivel mundial.

Es por ello, que, en los últimos años, se ha trabajado en la línea de aplicación de nuevas tecnologías para la gestión del recurso:

- Herramientas para el telecontrol en las infraestructuras modernizadas.
- Uso de energías renovables y optimización del consumo energético en las redes de riego.
- Equipos para la gestión automática del riego.
- Aplicaciones vinculadas con Big Data para la gestión de riegos por demanda y cultivos.

Pero para una eficiente gestión del agua, es necesario disponer de unas infraestructuras adecuadas. La construcción de nuevos regadíos o modernización de los existentes, son sólo una fase de la infraestructura.

El mantenimiento, es la fase más larga en la vida de una infraestructura, y como tal se ha de entender como parte fundamental del activo.

Por todo ello, aprovechando los nuevos avances tecnológicos, el presente trabajo genera una metodología para la gestión del mantenimiento de canales basada en la tecnología BIM.

Siendo probablemente un elemento diferenciador en lo que respecta al mantenimiento de este tipo de infraestructuras y un avance para su gestión.

1.2. Objetivos

El agua como recurso fundamental para la vida el planeta, debe integrarse dentro de las estrategias de sostenibilidad con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las generaciones futuras.

El incremento en la demanda hidráulica para distintos usos, genera graves problemas en el territorio. Dentro de esa demanda de agua, la producción agrícola representa uno de los sectores con mayor requerimiento.

En los últimos tiempos, se están realizando esfuerzos por parte de todos los actores implicados, para que el uso adecuado del agua como recurso limitado, permita que generaciones futuras puedan seguir haciendo uso del mismo.

El uso de nuevas tecnologías y mejora de las infraestructuras, han hecho posible satisfacer las necesidades de suministros agrícolas y de agua potable. Sin embargo, la eficiencia de estos sistemas queda supeditada al uso eficiente de los recursos técnicos, humanos y materiales a lo largo de las fases de diseño, construcción y mantenimiento del sistema de distribución.

En el ámbito de la agricultura, el tipo de cultivos, los sistemas de regadíos y las redes de distribución de riegos, son factores fundamentales en atender un aprovechamiento del recurso de forma eficiente.

Dentro de las infraestructuras de distribución en regadíos, los canales y acequias son los elementos que permiten optimizar el agua en uso de riego.

Los canales para suministro en zonas regables, son infraestructuras que requieren de un nivel de servicio óptimo para el usuario. Por ello un buen sistema de mantenimiento es fundamental para evitar pérdidas de un recurso como el agua y por ende afección a los cultivos.

Como hemos mencionado anteriormente, la fase de proyecto y construcción de una infraestructura es una mínima parte si las comparamos con la fase de mantenimiento.

La gestión del mantenimiento, parte de un conocimiento del estado de la infraestructura que permite analizar el correcto funcionamiento del sistema, o las afecciones en las que se puede ver involucrado por el uso de la misma.

Estas afecciones, una vez analizadas han de valorarse para establecer la priorización de los flujos de trabajo.

Finalmente, estas afecciones o incidencias en la infraestructura, han de ser resueltas para que la infraestructura continúe dando servicio.

Como resultado de lo anterior, es fundamental en la planificación estratégica y en las operaciones de mantenimiento de la infraestructura, aprovechar el desarrollo tecnológico existente.

El uso de drones, los sistemas de georreferenciación y la metodología BIM son varias de las tecnologías que aplicadas a estos sistemas hacen un uso efectivo y sostenible de la infraestructura y de los recursos disponibles.

Cabe añadir, que, profundizando en el análisis de este tipo de herramientas de gestión, existen escasas referencias sobre canales siguiendo la metodología BIM, por lo que afrontar esto con el nivel de detalle objetivo es un reto para el desarrollo de este Trabajo Final de Master.

En definitiva, es una oportunidad poder abordar un TFM de este tipo, desde diferentes puntos de vista, que aporten una visión diferente a la existente hasta el momento.

En base a este breve preámbulo y con las tecnologías de que disponemos, este TFM pone en servicio una herramienta de utilidad para contribuir a la mejora en la gestión de infraestructuras hidráulicas tan importantes como son los canales, para la gestión de un recurso fundamental como es el agua, y la generación de producción agrícola.

Además, la tecnología, siempre en constante evolución, permite mejorar en eficiencia y eficacia, lo cual son aspectos fundamentales cuando se trabaja con activos de alto valor añadido como son las infraestructuras hidráulicas.

Por lo tanto, partiendo de experiencias profesionales previas y conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas del Master de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Europea, se busca como objetivo dentro del Trabajo Final de Master desarrollar los siguientes puntos:

- Generar un modelo tridimensional vinculado de la infraestructura, mediante la tecnología de apoyo fotogramétrica y topográfica mediante drones, así como las distintas herramientas y software para su digitalización.
- Estudiar y analizar la infraestructura de riego, y establecer una metodología para el análisis de incidencias.
- Generar fichas de inspección y valoración de impacto para los distintos elementos que componen una infraestructura de regadío.

- Establecer una priorización de actuaciones y planificación de trabajos de mantenimiento en canales.
- Aplicar la metodología y los requerimientos BIM a un canal de riego mediante herramientas y software que permitan una óptima gestión del mantenimiento y una conservación de la infraestructura más eficiente.
- Generar un sistema completo de gestión del mantenimiento de canales de riego buscando el objetivo de la eficacia de la infraestructura (canal) y sostenibilidad del recurso (agua).

Con lo cual, el objetivo general de este Trabajo Final de Master que se desarrolla dentro del programa de postgrado denominado “Máster Universitario en Ingeniería de Caminos Canales y Puertos”, de la Universidad Europea, es la aplicación de la metodología BIM para el mantenimiento de canales.

1.3. Metodología de trabajo

Como todo trabajo investigador, se parte de unas necesidades conocidas o percibidas dentro de un sector. De esta manera se analizan las oportunidades de avanzar o mejorar, como es el caso de este TFM, en el mantenimiento de canales con la utilización de nuevas tecnologías.

Para la realización de este trabajo, hay que partir de unos conocimientos y estudios que vendrán dados por el estado del arte. Dados los múltiples elementos que lo conforman, ha sido necesario analizar distintas materias. Por supuesto lo primero es el conocimiento de una infraestructura como son los canales, su tipología, su utilización en zonas regables. Afecciones e incidencias, así como sus reparaciones. Conocer en profundidad el concepto de mantenimiento y orientar su aplicación práctica buscando la eficiencia.

Todo este análisis nos va a permitir sentar las bases para conocer las necesidades actuales de este tipo de infraestructura.

Una vez conocemos esos requerimientos podemos avanzar en la aplicación de las tecnologías, para la cual y dentro del estado del arte, se estudiarán los software y herramientas digitales que actualmente son utilizadas por este tipo de infraestructuras para su mantenimiento.

Una de estas tecnologías es el uso de drones. Mediante esta tecnología se permite la realización de inspecciones y gestiones topográficas.

En el presente trabajo el uso de drones para la obtención de la nube de puntos del terreno y de la infraestructura sobre la que se realizará el caso práctico, ha permitido comprobar la aplicación y el apoyo técnico que pueden proporcionar.

Antes de cualquier vuelo con drones para la obtención de datos, es necesario establecer el plan de vuelo. Este consiste por un lado en la definición del área de estudio, que en nuestro caso es el canal y su zona circundante, y por otro lado la programación del vuelo, viendo las rutas, parámetros como la climatología o el software y tipo de cámara que llevara el dron como implemento.

Con estos datos, se presenta una solicitud de vuelo a la autoridad aeroportuaria correspondiente para que expida la autorización.

Los equipos que implementan al dron, son cámaras de alta resolución, que permiten capturar puntos y detalles para su posterior tratamiento digital.

El vuelo se realizará según el plan autorizado, siendo necesario realizar múltiples pasadas sobre la infraestructura para garantizar la cobertura completa.

Con posterioridad, mediante un software de fotogrametría, se procesan las imágenes y los datos para generar la nube de puntos.

El uso de drones para trabajos de obtención de nube de puntos, es una tecnología que nos permite obtener datos de una manera rápida y con la calidad requerida para el presenta trabajo. El nivel de detalle en un tiempo más acotado que la topografía tradicional, hace de esta herramienta un elemento rápido, eficaz y seguro frente a otras tecnologías.

En conclusión, el uso de drones para adquirir nubes de puntos de un canal es una técnica avanzada que ofrece ventajas competitivas en términos de eficiencia y seguridad. La implementación de esta tecnología hace necesaria una exhaustiva planificación y el cumplimiento de las regulaciones, pero hace más eficiente la gestión y conservación de la infraestructura hídrica.

Obtenida la nube de puntos, se comienza el trabajo de digitalización para la obtención del modelo tridimensional vinculado e implementado en la metodología BIM.

Para este trabajo se hará uso de distinto software dentro del proceso. A continuación, se procede a mencionar las aplicaciones:

- ReCap. Autodesk ReCap (Reality Capture). Mediante este software y partiendo de la nube de puntos facilitada con el trabajo de campo y el vuelo del dron, se realizará la limpieza de la nube de puntos, sectorizando la misma, hasta dejar únicamente el trazado del canal.
- CloudCompare, es un software que permite generar modelos digitales de terreno a partir de nubes de puntos y soporta una amplia gama de formatos de archivos.
- ISTRAM, es un software para el diseño avanzado de infraestructuras en el ámbito de la ingeniería civil..
- REVIT, es un software de metodología BIM como una herramienta de diseño y modelado, permitiendo generar formatos interoperables.



Figura 1. Software BIM (Fuente: elaboración propia)

En paralelo a la parte tecnológica del proceso de este TFM, se requiere del conocimiento en los distintos procedimientos y metodologías de una conservación de infraestructuras.

Es necesario analizar y evaluar los distintos sistemas existentes dentro del mantenimiento de infraestructuras, y generar un sistema propio para los canales de riego.

Dentro de este proceso, el estudio y la investigación, que forma parte del estado del arte, es fundamental para obtener resultados de utilidad para el sistema.

Una vez evaluado el estado del arte, se establecen los criterios para la generación de fichas de inspección, valoración de las incidencias, planificación de los trabajos, gestión y control de incidencias en una zona regable con una infraestructura principal como es el canal.

Para la generación de fichas de inspección y planificación de las actividades de mantenimiento se utilizará Microsoft Excel.

Microsoft Excel es un programa de hojas de cálculo desarrollado por Microsoft, integrado dentro del paquete de software Microsoft Office.

Con el uso de estas herramientas informáticas, y al ser uno de nuestros objetivos la aplicación de la metodología BIM, también es necesario conocer todas las posibilidades que se pueden desarrollar mediante estas tecnologías.

Tras pasar por el proceso de estudio e investigación generador del estado del arte y establecer los procedimientos de un mantenimiento de canales con aplicación de la metodología BIM, es fundamental contrastar esas bases teóricas con la aplicación práctica.

Se realizará la aplicación práctica de este sistema, con una infraestructura ubicada en la zona regable de las vegas en la zona sur de Madrid.

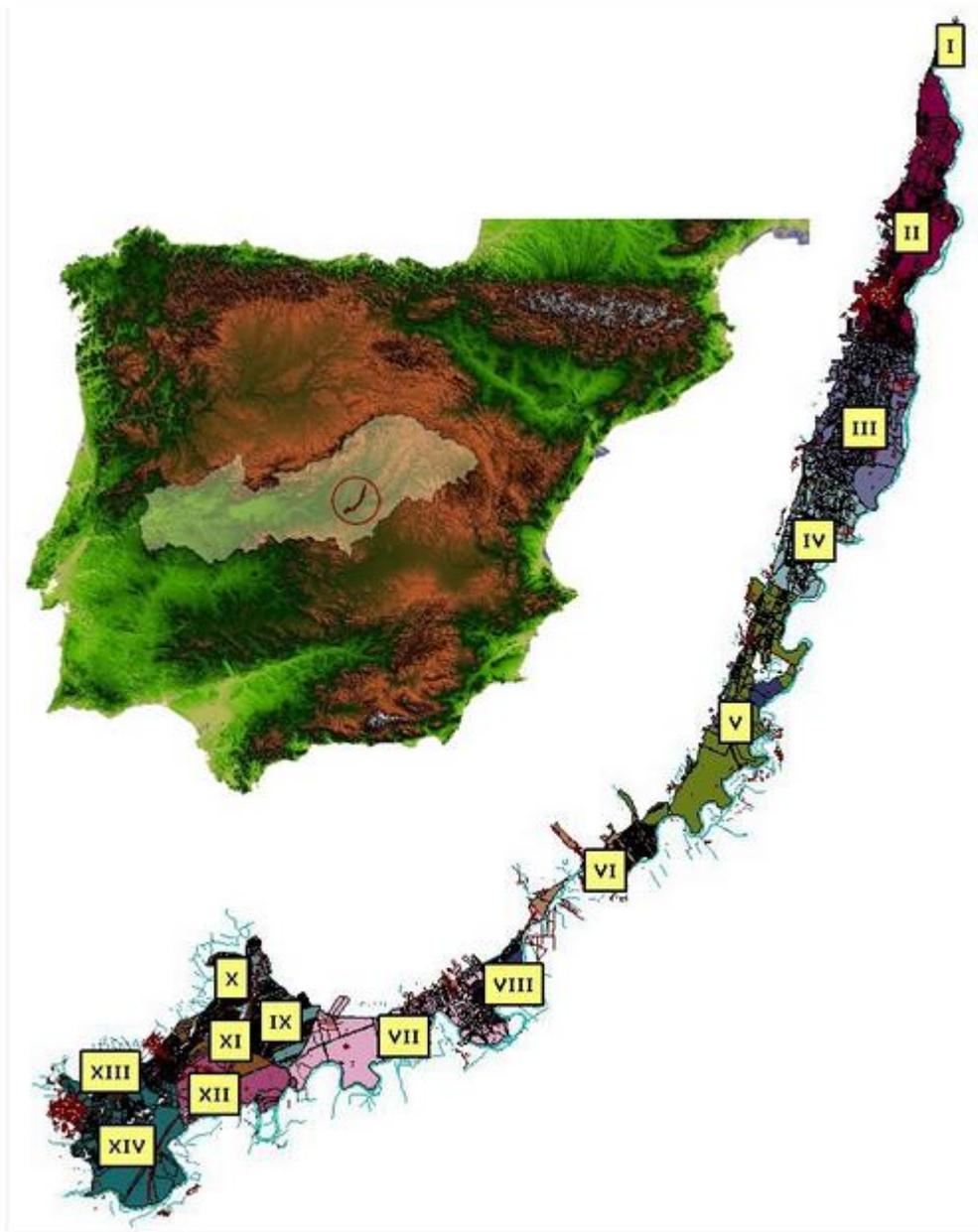


Figura 2. Zona regable del Jarama (Fuente: <https://www.canaljarama.es/presentacion/>)

Por disponibilidad en la aplicación de la metodología se requerirá de un tramo de dicha infraestructura, en el que se encuentre diversa caracterización del canal. Diferentes secciones dentro del trazado del canal, elementos de gestión como son la compuerta, o pasos superiores sobre el canal...pueden ser algunos de los puntos a tener en cuenta en la gestión de la infraestructura.

Una vez realizadas todas las actividades, análisis y operaciones para la consecución de Trabajo Fin de Máster, será el momento de valorar los resultados, quedando plasmados en las conclusiones y estableciendo futuras líneas de investigación o mejora, respecto a estos.

En resumen, la metodología de trabajo seguirá los siguientes pasos:

- Trabajo investigador para obtener, analizar y adquirir los conocimientos y recursos necesarios para afrontar el Trabajo Fin de Máster, basado en tres pilares que son:
 - o los canales como infraestructura hidráulica,
 - o la conservación y el mantenimiento,
 - o la metodología BIM.
- Estructuración de los requerimientos: necesidades de hardware y software, planificación de las tareas, recursos necesarios, etc.
- Toma de datos de la infraestructura: Mediante drones, se obtiene la nube de puntos base del modelo tridimensional.
- Generación del modelo: mediante la aplicación de los distintos software se obtiene el modelo 3D.
- Metodología de la conservación: de manera digitalizada, realizando análisis de estado de la infraestructura, estableciendo planificación del mantenimiento, generando operaciones de conservación, etc.
- Aplicación de la metodología BIM e Implementación del modelo: se genera el sistema de mantenimiento con la metodología BIM.
- Aplicación al caso práctico: aplicación a una infraestructura real de la metodología.
- Conclusiones y futuras líneas de investigación. Finalizado el proceso, analizaremos las conclusiones y se establecerán las posibles líneas de trabajo a futuro.

1.4. Estructura del documento

El Trabajo Fin de Máster: “Gestión del mantenimiento en canales. Aplicación con metodología BIM”, como proyecto académico de postgrado y como documento con afán científico e innovador, dispone de una estructura sustentada en cuatro apartados que vertebran el documento.

Estos capítulos desarrollan los estudios, análisis y ejecutoria de manera cronológica del TFM para converger en la aplicación práctica del mismo.

A continuación, se proceden a indicar los apartados de referencia que disponen el trabajo:

- Establecimiento de objetivos

Es el apartado introductorio y fundamental en el proceso de investigación, puesto que dirige cómo se va a realizar el trabajo y define lo que se pretende conseguir con el mismo.

Con el presente TFM en relación a la gestión en el mantenimiento de infraestructuras hidráulicas como son los canales vinculados a las nuevas tecnologías y la metodología BIM, se pretende con su labor investigadora y práctica, generar eficiencia tanto en el uso de un recurso como el agua y sus implicaciones para con la sostenibilidad, como en la gestión en fase de explotación de una infraestructura para su conservación y mantenimiento.

- Estado del arte

Dentro de un trabajo académico, es fundamental conocer cuántos trabajos, tesis, artículos de investigación, ponencias u otros documentos respecto al tema generador del TFM.

La revisión y análisis de la literatura existente, proporciona un contexto y base teórica para la labor investigadora del actual trabajo. Con ellos se identifican los conceptos, métodos, descubrimientos y aplicaciones dentro del campo del mantenimiento de canales y la aplicación de la metodología BIM.

Este apartado es por tanto fundamental para el conocimiento, análisis y estudio del contexto sobre el que versa el presente TFM. Para lo cual se estudiarán los distintos puntos que requiere el objeto del mismo:

- Canales como infraestructura hidráulica y más concretamente vinculada a los regadíos. Se realiza una labor investigadora y de análisis de la documentación existente.

Dentro de este punto, será necesario conocer las bases de los distintos instrumentos que se van a utilizar para el presente TFM.

Realizar una labor investigadora en los distintos sistemas de gestión en el mantenimiento existentes, tanto de infraestructuras en general como en el particular de canales. Evaluar las necesidades en el mantenimiento de los canales de riego y la gestión de sus incidencias.

Conocer las herramientas de gestión existentes y su aplicación en este tipo de infraestructuras.

- Análisis de las aplicaciones mediante metodología BIM. Mediante la labor investigadora de las últimas tecnologías vinculadas a la metodología BIM en aplicación de esta a los canales, se adquieren los conocimientos necesarios para partir de la base existente en el desarrollo del TFM.
- Estudio de los modelos predictivos para la gestión de canales. Al igual que en el anterior punto, investigar y analizar la información existente acerca de modelos vinculados a la gestión de incidencias y riesgos en canales, desde el punto de vista de la conservación y mantenimiento, nos presenta el estado actual de este apartado, al objeto de disponer de conocimiento y profundizar en el mismo.
- Ciberseguridad en la integración de GIS con BIM. Con las nuevas tecnologías y la aparición de entornos de trabajo abiertos y colaborativos, es fundamental conocer la incidencia de un aspecto como es la ciberseguridad, puesto que se trabaja con datos georreferenciados de infraestructuras sensibles y sistemas que en algunos casos son críticos.

- Metodología BIM.

Desde la ampliación de conocimientos en distintas tecnologías y software para la aplicación de la metodología BIM visto desde el mantenimiento y más concretamente para una infraestructura como son los canales de riego. En este apartado se desarrolla la sistemática que vamos a seguir, en la que se incluyen los siguientes puntos fundamentales:

- Desarrollo de un BEP para canales.
- Modelización 3D del canal.

- Definición de nuevos parámetros y atributos.
- Generación de fichas de inspección de canales.
- Planificación.

El objetivo es el desarrollo de una herramienta basada en la metodología BIM aplicable a la gestión del mantenimiento en canales de riego.

- Aplicación caso práctico.

En este apartado, en base a una infraestructura existente, se procede a la utilización de los métodos de trabajo establecidos en el apartado anterior y la consecución de los objetivos planteados en el TFM.

Para la aplicación práctica será necesaria la utilización de herramientas topográficas y tecnologías como el uso de drones para la digitalización del canal.

- Conclusión.

Tras la evaluación y análisis de los anteriores apartados, y la realización de labor investigadora para generar el TFM, se presentan los resultados y conclusiones.

Dentro de este apartado y en función de la evolución del TFM se presentarán posibles líneas de trabajo a futuro en relación a la gestión del mantenimiento de canales.

- Bibliografía.

En donde se enumeran los documentos consultados y que han sido utilizados en el presente TFM, así como otros formatos digitales como son videos, tutoriales, páginas web, etc.

La relación de referencias, se encuentran dentro del ámbito nacionales e internacional.

La generación de la bibliografía se rige por la metodología estándar para la publicación de textos académicos propuesto por la American Psychological Association (APA).

- Anexos.

Al tratarse de un trabajo con una componente tecnológica importante, dentro de los anexos, se incluirán elementos relacionados con la metodología BIM aplicada al mantenimiento de canales.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Estado del arte en la gestión de canales

2.1.1. Necesidad de conservación

En el contexto actual de cambio climático y variabilidad de los recursos hídricos, a lo que coyunturalmente podemos añadir un crecimiento de la población, la gestión del agua es uno de los retos técnicos y humanos a los que nos enfrentamos.

Los regadíos son instrumentos necesarios para cubrir los retos a los que se enfrenta el nuevo paradigma de años futuros. Por un lado, son elemento generador de alimento, por otro lado, estructuran territorios y ecosistemas.

La gestión de las infraestructuras aparejadas a las zonas regables, canales, acequias, y todo elementos o instrumento que influye en el uso eficiente del recurso, son factores importantes para el adecuado uso del sistema.

Dentro de la explotación de una infraestructura hidráulica, tendremos por un lado los recursos y elementos para la gestión de la demanda, necesidades de riego en función de los cultivos, tipología del terreno, etc., pero para que esa gestión cumpla con su objetivo, se ha de realizar sobre una infraestructura habilitada para tal fin y en óptimo estado de operatividad.

Es en este punto, en donde entra la importancia del sistema de conservación y mantenimiento.

Sin una infraestructura, en este caso unos canales de riego para el transporte de agua, en condiciones óptimas para su uso, la gestión de la misma puede ser ineficaz.

Analicemos, por tanto, y pongamos en valor la importancia que tiene una fase tan importante de la infraestructura como en la fase de mantenimiento.

La conservación y el mantenimiento son actividades que disponen de una doble función. Por un lado, inspeccionar, vigila, cuidar, reparar y rehabilitar, por otro lado, dar continuidad y funcionalidad a la infraestructura para el objeto que ha sido diseñada y construida.

Aunque muchas infraestructuras por su diseño, materiales y metodología constructiva puedan parecer eternas, lo cierto es que todas tienen una vida útil, en la cual influye el uso y el mantenimiento que se la realice.

Por lo tanto, la conservación se podría definir como: " Conjunto de actividades físicas e intelectuales que tienen como objetivo preservar el patrimonio de las infraestructuras a lo largo del tiempo en unas condiciones tales que se maximice el beneficio que se obtiene de ellas y se minimicen los costes económicos, sociales y ambientales" (ACEX. (2007). Conservar es progresar. Libro Verde sobre la Conservación de Infraestructuras en España).

Como hemos visto anteriormente, a lo largo de la historia se han construido gran número de infraestructuras, algunas de ellas de tamaño e importancia colosal. Todas estas infraestructuras han requerido de una gran capital económico, técnico y humano para el proceso constructivo, sin embargo, en ocasiones no ha sido así para la fase de mayor temporalidad de la infraestructura, que es el mantenimiento.

Es por tanto fundamental disponer de unos recursos económicos y técnicos que permitan que la infraestructura cumpla su función a lo largo del tiempo y por tanto su vinculación al servicio para la que fue diseñada.

Según el estudio de la consultora PwC para ACEX (Asociación de empresas de Conservación y Explotación) se reconoce un valor patrimonial de todos los elementos de las infraestructuras hidráulicas como canales u otras conducciones de unos 20.000 millones de euros., en base a datos proporcionados en su momento por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (ACEX. (2007). Conservar es progresar. Libro Verde sobre la Conservación de Infraestructuras en España).

Si, como es recomendación, se debe destinar un 2% del valor patrimonial al mantenimiento y conservación de la infraestructura, estaríamos hablando de 140 millones de euros anuales para infraestructuras hidráulicas de transporte y conducción de agua.

Como hemos indicado la conservación ha de preservar el patrimonio, pero también debe garantizar un servicio con la calidad requerida para los usuarios. Pero esta actividad se ha realizar de manera conjunta, y he ahí su complejidad. Se deben minimizar las interrupciones del servicio por requerimientos en las reparaciones o actividades relacionadas con el mantenimiento.

Una infraestructura que no se mantiene acaba dejando de cumplir su misión, al igual que un activo que se conserva pero que no presta el servicio para el que ha sido diseñado y construido es del todo inútil.

Una rápida intervención en la reparación de una válvula o una compuerta de una infraestructura hidráulica, puede evitar situaciones desastrosas para el usuario.

Al igual que un correcto mantenimiento planificado, evita muchas incidencias a lo largo de la vida de la infraestructura.

Grey y Sandoff (2007) van más allá e incluso clasifican a los países en categorías dependiendo del grado de control sobre su hidrología: avanzados (con una hidrología aprovechada), economías en transición hacia la seguridad hídrica y el progreso económico estable (donde el desarrollo está perjudicado u obstaculizado por la hidrología), y los que no ejercen un control sobre la hidrología (sufren escasez y sequías, y explican en buena medida su pobreza).

2.1.2. Canales en zona regables

A nivel mundial, el sector agrario consume el 70% de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En términos de volumen se estiman en más de 7.000 km³ la demanda anual existente siendo la precipitación anual estimada 119.000 km³ lo que supone un 6%. Esto implica la importancia en infraestructuras.

Según la FAO alrededor de 1.600 millones de personas viven en zonas de escasez económica de agua. La relación entre se muestra directa entre inversión y gestión hidráulica frente a las limitaciones de desarrollo económico de los países (FAO, <https://www.fao.org/home/es>)

Sin embargo, a nivel global entre 1970 y 2007 la superficie total equipada para riego, ha pasado de 168 a 288 millones de hectáreas, casi duplicando

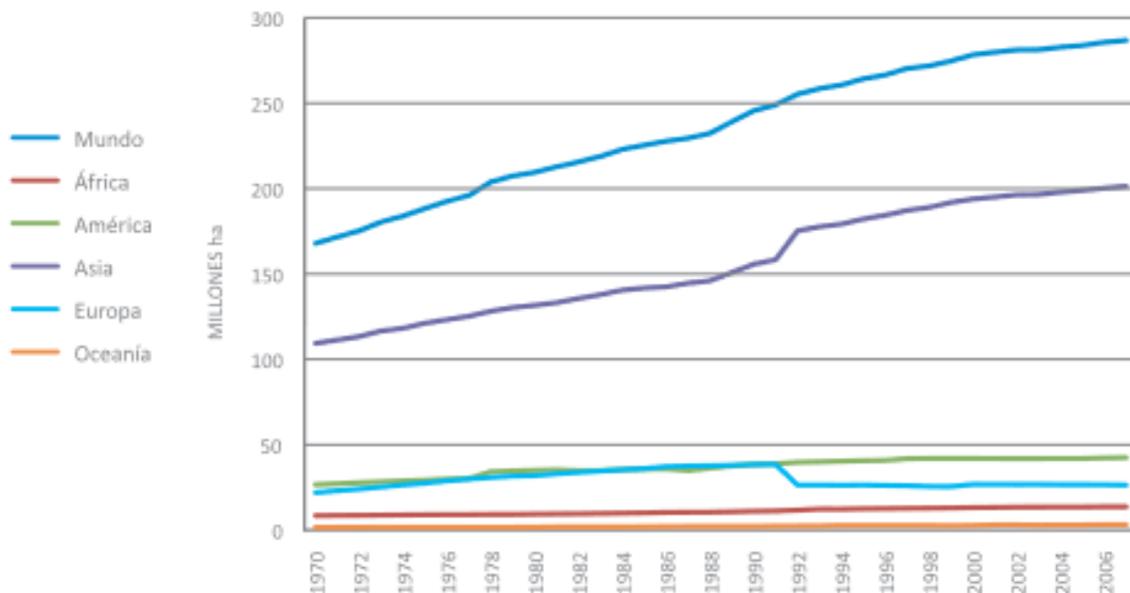


Figura 3. Área total regadíos (Fuente: FAO 2009)

Según el Banco Mundial, en el último medio siglo, se han producido un descenso del 17% de los recursos hídricos per capita en los países de la UE, este dato puede justificarse por un incremento poblacional, pero la escasez de agua estacional y el cambio climático, influye notablemente en este decremento del recurso.

Según las previsiones, el estrés hídrico en unos años, aumentará porcentualmente de forma significativa.

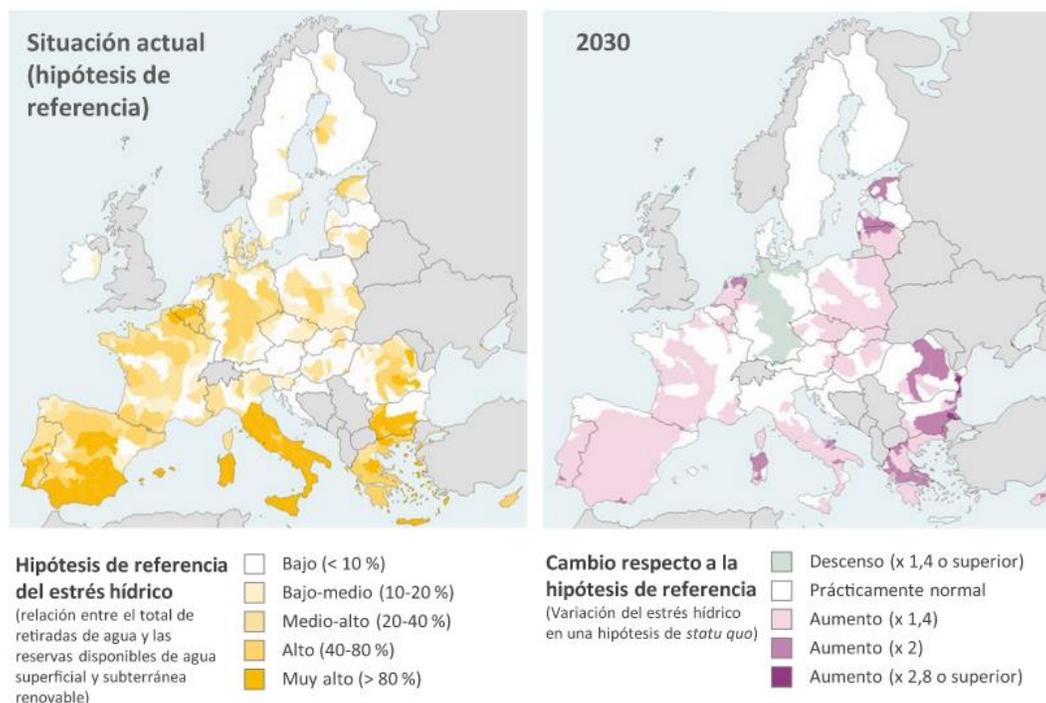


Figura 4. Estrés hídrico en la UE y previsiones futuras (Fuente: World Resources Institute, 2021)

Es evidente que la producción agrícola depende de la disponibilidad de agua, influyendo en la viabilidad, el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Según DEFINICIONES Y USOS DE SUELO EN LA ENCUESTA SOBRE SUPERFICIES Y RENDIMIENTOS DE CULTIVOS (ESYRCE) los cultivos de regadío son aquellos considerados cuando a lo largo de su siembra o desarrollo ha sido efectivamente regado, al menos una vez. (MAPA, <https://www.mapa.gob.es>)

Si nos centramos en España “La principal fuente de suministro de agua para el regadío es el agua superficial, que representa el 74 %, seguido del agua subterránea (24 %). En España, cada vez más, y como consecuencia de la escasez del recurso agravada por el cambio climático, se están usando otras fuentes de agua no convencional, como son las aguas residuales (0,4 %) o las desalinizadas (1,6 %). Actualmente se riegan 57.142 ha con aguas depuradas y 20.550 ha con agua desalinizada.” (MAPA, 2023)



Figura 5. Evolución superficie cultivada en España (Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023)

España puede considerarse con una superficie de 3.690.821 ha de regadío la segunda potencia agrícola de Europa y el primer país con mayor superficie regable dentro de la Unión Europea.

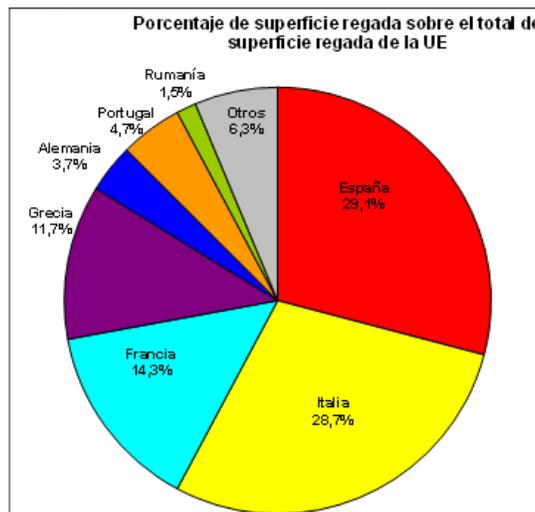


Figura 6. Superficie regable en Europa por países (Fuente: Eurostat,2021)

En algunos regadíos existentes, el suministro de agua no siempre es posible en la cantidad necesaria y suficiente para satisfacer demandas de los cultivos. A pesar de la existencia de infraestructuras de

regulación, la conjunción de años secos y fallos en el suministro por incidencias en los servicios de riego, provoca una reducción de dotaciones en importantes áreas de zonas regables.



Figura 7. Regadíos existentes según PNR (Fuente: MITECO,2001)



Figura 8. Canales en España (Fuente: MAPA,2021)

Dentro de España, la gestión del agua en los regadíos, dependen de diferentes organismos e instituciones que operan en diferentes niveles administrativos.

Las principales instituciones involucradas en la gestión y seguimiento de las zonas regables son:

- Ministerio para la Transición Ecológica y Retos Demográficos (MITECO). El MITECO cuenta con una Dirección General del Agua con competencias en materia de planificación hidrológica y del agua.
Se gestionan los recursos a nivel nacional, desarrollando y supervisando planes hidrológicos de cuenca, que son esenciales para la asignación y gestión del agua en las zonas regables.
- Confederaciones hidrográficas. Son organismos autónomos dependientes del MITECO y responsable de la gestión del agua en las distintas cuencas de España. Estas entidades gestionan los recursos hídricos, regulan los derechos del agua y coordinan la infraestructura de riego en sus respectivas cuencas.
- Comunidades Autónomas. Las comunidades autónomas tienen competencias en materia de desarrollo agrícola y rural, incluida la gestión y promoción de las zonas de regadío dentro de su territorio. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación o el Ministerio para la Transición Ecológica y Retos Demográficos son responsables de implementar políticas y programas específicos para el desarrollo del riego en cada comunidad autónoma.
- Comunidades de Regantes Las comunidades de regantes son organizaciones de usuarios que gestionan y distribuyen el agua de riego entre sus miembros.
Estas unidades son la base para la gestión operativa diaria de la infraestructura de riego y la organización del uso del agua en las zonas regables. Las comunidades de regantes están sujetas a la supervisión de las asociaciones de usuarios de agua, de las confederaciones hidrográficas y de las autoridades autónomas.
- Ayuntamientos y organismos locales. En algunos casos, los ayuntamientos y otros organismos locales también participan en la gestión de la infraestructura de riego local y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles dentro de sus competencias.



Figura 9. Confederaciones hidrográficas en España (Fuente: MITECO,2007)

España, cuenta con varios ejemplos de canales que suministran agua a zona regables:

- Confederación Hidrográfica del Ebro: Canal de Bardenas su construcción ya tiene referencia en el siglo XVIII, con 134 km de longitud para una zona de 88.000 ha.



Ilustración 8. Canal de Bardenas a su paso por Sádaba (Fuente: Zarateman)

- Confederación Hidrográfica del Tajo: Real Acequia del Jarama inició su construcción a finales del siglo XVI. Con una longitud de 72 km riega 12.000 ha.



Ilustración 9. Real Acequia del Jarama (Fuente: elaboración propia)

- Confederación Hidrográfica del Guadiana: Canal de Montijo inició su construcción en 1932, con una longitud de 63 km atiende a una zona de 27.500 ha.



Ilustración 10. Canal de Montijo (Fuente: elaboración propia)

- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Canal Bajo del Guadalquivir, también conocido como el Canal de los Presos, fue iniciada su construcción a principios del siglo XX cuenta con una longitud de 148,3 km para 80.000 ha.



Ilustración 11. Canal de los Presos o Canal del Bajo Guadalquivir. (Fuente: Searus)

Esto último relacionado con el problema de suministro y la eficiencia en el riego, está vinculado a la conservación. En el caso de un regadío, la eficiencia en el suministro viene dada por el proceso de conducción y distribución del agua, en el que se pueden producir pérdidas por filtraciones o vertidos.

Las pérdidas en conducción y distribución dependen en gran medida del estado de las infraestructuras (canales y acequias). Analizando datos facilitados por el Libro Blanco del Agua, de los más de 100.000 km de acequias que tiene la red de distribución en España, una buena parte son acequias sin revestir (en tierras), y en torno al 30% de la red tiene más de un siglo de antigüedad (Ministerio de Medio Ambiente, 2000. Libro Blanco del Agua).

El estado de envejecimiento de las infraestructuras y su consecuente deterioro, es un de las causas de las pérdidas de agua en canales y acequias.

De este hecho se traduce en la importancia del mantenimiento, poniendo de relieve la importancia de actuaciones de rehabilitación y modernización de las redes en zonas del regadío español.

Tampoco debemos dejar de lado, la importancia del medio ambiente. Los requerimientos ambientales y las afecciones actuales y futuras provocadas por el cambio climático. El mal estado de una

infraestructura genera una pérdida en el uso de un recurso que se pudiera destinar a la protección y preservación de espacios naturales.

2.1.3. Canales en abastecimientos

El abastecimiento de agua a las áreas urbanas, en cantidad requerida por la demanda y con los condicionantes de calidad óptimos, es fundamental para la habitabilidad de las ciudades y el desarrollo económico de las mismas.

Es por ello, que un adecuado diseño, una correcta construcción y una eficiente gestión de la explotación y mantenimiento, asegura el acceso de un recurso escaso como el agua.

En la fase de abastecimiento, el agua se transporta a las áreas urbanas a través de canales en lámina libre o en grandes tuberías a presión hasta llegar a la potabilizadora.

Para realizar la calibración en esta fase, se emplea el concepto de seguridad hídrica, que se define como “la disponibilidad de una cantidad suficiente de agua con la calidad adecuada para las personas, el funcionamiento de la economía y para los ecosistemas y, en segundo lugar, por un nivel aceptable de riesgos vinculados” (Gómez, 2018. Los canales del agua).

Para conseguir este objetivo, es necesario la coordinación del sistema vinculado a una buena gestión, incluyendo un eficiente mantenimiento.

Tal y como se indica en los Objetivos de Desarrollo Sostenible dentro de la Agenda 2030, se debe garantizar el abastecimiento de los recursos hídricos, siendo reconocido el derecho al agua para el ser humano.

Esto implica aumentar la eficiencia en el abastecimiento de agua, para evitar situaciones de escasez y asegurar su sostenibilidad.

Los canales destinados al abastecimiento de áreas urbanas, se ejecutan aprovechando la orografía del terreno buscando pendientes muy reducidas. Aunque pueden discurrir a cielo abierto, al ser para consumo humano, lo normal es que estén cubiertos. Al objeto de dar continuidad al flujo hidráulico pueden existir puntos singulares en donde se ubiquen sifones (tuberías a presión adaptadas a la

topografía superficial de los valles) o acueductos que, de manera elevada, permitan salvar un valle pronunciado.

España, cuenta con varios ejemplos de canales que destinan parte de su uso para el abastecimiento de áreas urbanas:

- Canal de Navarra que nace en el Embalse de Itoiz, sobre el río Irati, al norte de la cuenca de Pamplona y recorre gran parte del territorio de la Comunidad Foral para llevar agua a terrenos demandantes de la zona medio y sur de Navarra. El abastecimiento urbano e industrial de más de 350.000 habitantes, el 60% de la población de la Comunidad Foral de Navarra.



Ilustración 12. Canal de Navarra (Fuente: elaboración propia)

- Canal de Castilla Abastecimiento: un total de 400.000 habitantes (destacando localidades como Valladolid, Palencia o Medina de Rioseco) se benefician de las aguas del Canal de Castilla.

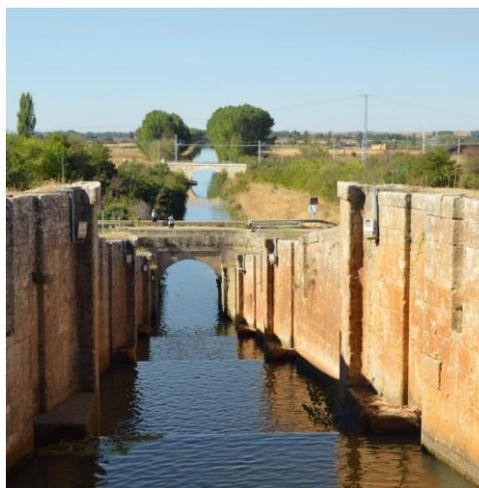


Ilustración 13. Canal de Castilla (Fuente: elaboración propia)

- Canales dentro del sistema de abastecimiento a Madrid por parte del Canal de Isabel II, nos encontramos Canales del Jarama, del Atazar, del Villar, de la Parra, del Lozoya, Alto y Bajo que, en sus distintas tipologías, y con un recorrido de acueductos, sifones y almenaras permitan la gestión de embalses, depósitos y estaciones de tratamiento.



Ilustración 14. Acueductos del Canal de Isabel II (Fuente: José A. Sotelo Navalpotro)

2.1.4. Patologías en obras de canales

En este tipo de infraestructuras hidráulicas pueden producirse afecciones o daños que impidan el correcto funcionamiento del sistema.

A continuación, se exponen las tipologías más habituales:

- **Obstrucciones y atranques en la sección del canal u órganos de maniobra y desagüe.** Esto impide de manera parcial o total el correcto transporte y distribución del agua.

Se pueden producir por efecto de erosión de materiales en zonas anexas al canal, lo cual es frecuente en zonas en las que el canal discurre en trinchera y no dispone de cunetas o sistemas de recogida de aguas y arrastres.

La carga de sedimentos y vegetación pueden también originar depósitos en ciertos puntos críticos del canal. Disponer de secciones insuficientes, cambios de sección o zonas con pendientes mínimas, facilita la retención y obstrucción por depósitos.

En el discurrir de canales por zonas urbanas, el incivismo o la accidentalidad del ser humano pueden arrojar materiales que provoquen atranques en el flujo del agua en los canales.



Ilustración 15. Obstrucción en canal (Fuente: elaboración propia)

- **Vegetación** tanto tipo especies de ribera como especies arbóreas, son elementos que crecen en las zonas aledañas al canal buscando la humedad del agua. Esto genera problemas de raíces que en ocasiones llegan a romper cajeros.

También se puede producir la aparición de plantas en las zonas de juntas al perder su sellado.

Estas afecciones provocan graves daños en la infraestructura.

Internamente, y en función de la calidad de las aguas y la climatología (calor, luz solar...) es común la aparición de algas en el canal, que, adhiriéndose a los cajeros y con un crecimiento descontrolado, pueden provocar retenciones en el normal flujo del agua, incluso llegando a la obstrucción total del canal.

Un elemento fundamental para el control y gestión del canal es su camino de servicio anexo al mismo. En ocasiones se encuentra con plantaciones y arbustivas que cortan la circulación e impiden el tránsito para las labores de gestión



Ilustración 16. Vegetación en canal (Fuente: elaboración propia)

- **Degradación de las superficies del canal**, puede ser motivada por varios condicionantes siendo, por regla general, el principal de ellos, las características del material, bien por su tipología o bien por su edad y durabilidad. En esto influye también el diseño y trazado del canal, puesto que los flujos pueden generar erosión en zonas puntuales.

La calidad de las aguas y la presencia de sustancias agresivas, también puede ser un factor que influya en la degradación de los materiales.

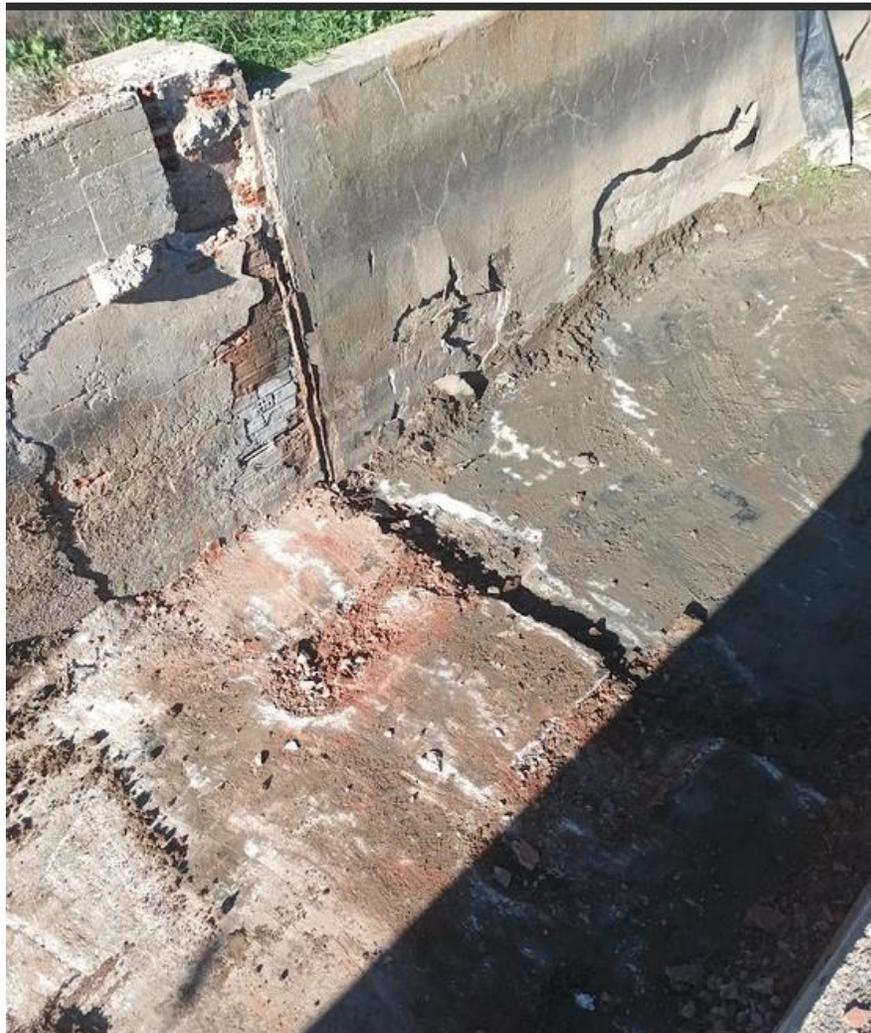


Ilustración 17. Degradación del canal (Fuente: elaboración propia)

- **Impacto**, se puede producir de forma muy puntual, por acción del hombre como una caída accidental de un vehículo, o también por la caída de elementos propios de la naturaleza como un árbol de grandes dimensiones o una roca desde un talud anexo.



Ilustración 18. Caída vehículo a canal (Fuente: Diario Uno)

- **Grietas y fisuras** son afecciones que se producen en los canales por diversas causas. Este tipo de patologías aparecen como consecuencia de algún daño estructural, y por tanto ha de ser analizada para detectar su origen y acometer la reparación más efectiva.

La importancia de un buen procedimiento constructivo, las tipologías y los tiempos de curado de los hormigones, etc. influyen notablemente en el futuro del canal y en la aparición de fisuras que al final se traducen en pérdidas de capacidad hidráulica por pérdidas y filtraciones, y en una posibilidad futura de colapso de la estructura.

En función de la geología del terreno y sus interacciones con el agua, se pueden producir pérdidas en la capacidad portante del canal y por ello aparición de grietas. Este hecho requerirá

de una rápida intervención, puesto que, a mayor pérdida de agua por filtraciones, mayor disolución del terreno y por tanto pérdida de soporte.

También se pueden producir grietas por la mano del hombre, en manipulaciones o afecciones al canal.



Ilustración 19. Fisuras en canal (Fuente: elaboración propia)

- **Rotura del canal**, sin duda la afección más grave como en toda infraestructura es el colapso de un tramo o la totalidad de la misma, siendo esta afección por regla general producto de otras muchas causas.

Como anteriormente hemos mencionado, la importancia de un buen control en la ejecución y cimentación durante el periodo de construcción, así como el análisis y pronta reparación de

grietas y fisuras que aparezcan durante la vida de la estructura, son aspectos fundamentales para evitar la rotura del canal.

Otra causa de rotura, puede ser la afección antrópica, bien por vandalismo o bien por accidente.

Las obras en zonas ajenas al canal o cruces con nuevas infraestructuras, también pueden ser objeto de rotura.



Ilustración 20. Rotura de canal (Fuente: elaboración propia)

- Capacidad hidráulica insuficiente. El efecto devastador que se puede producir en un canal por el desbordamiento del mismo, puede conllevar consecuencias que lleguen a provocar la rotura y colapso del mismo.

Es importante durante la fase de diseño, analizar la estimación de caudales presentes y futuros, así como identificar los puntos críticos y formas de distribución del riego.



Ilustración 21. Desbordamiento de canal (Fuente: Milenio Digital)

- **Manipulación de elementos** del canal. El uso inadecuado de compuertas reguladoras y tomas para la distribución, pueden provocar fenómenos como atranques o desbordamientos del canal.



Ilustración 22. Fallo por manipulación de compuertas en canal (Fuente: elaboración propia)

2.1.5. Métodos de reparación.

- **Obstrucción:** Tanto en periodos de uso del canal dentro del regadío, como en fases de no riego, es fundamental evitar cualquier tipo de obstrucción en el canal.

La retirada de aterramientos, arrastres, y acúmulo de lodos pueden provocar que el flujo del agua discurra de manera continua, pudiendo generar puntos de régimen turbulento que afecten a la infraestructura y al sistema de riego, o en el peor de los casos provocar un desbordamiento del canal, con las consecuencias catastróficas que provoca ese vertido.

En el caso de existencia de rejas o cambios de sección o trazado en el canal, estos puntos serán de obligada inspección.



Ilustración 23. Limpieza de lodos (Fuente: elaboración propia)

- **Vegetación:** las operaciones de retirada de vegetación tanto dentro del canal como en zonas aledañas, se deben realizar tras conocer su tipología.

En el caso de árboles, ha de planificarse la tala o el desbroce si fuera preciso por afección a la estructura del canal. En ese caso, se ha de conocer la ubicación y características del árbol (zona protegida, especie protegida, etc.) y solicitar los permisos pertinentes a la Administración correspondiente.

En el caso de desbroces en caminos de servicio, o zonas de coronación de canales, estos se realizarán en las épocas del año que corresponda en función del tipo de arbustiva.

Si nos referimos a algas, aparte de limpiezas del canal en servicio para evitar obstrucciones, el uso de tratamientos anti algas aplicados como imprimación en los paramentos del canal, evitan en gran medida la proliferación de estas talófitas.

Es importante también el análisis de la especie de algas y su posterior tratamiento como residuo, puesto que la existencia de especies invasoras puede acarrear graves problemas en canales y ríos.

La retirada de herbáceas u otro tipo de vegetación que aparece en grietas y fisuras, ha de ser retirado de raíz, y sellada la grieta para evitar filtraciones y nueva aparición de vegetación.



Ilustración 24. Desbroce por medios mecánicos del canal (Fuente: elaboración propia)

- **Erosión de superficie:** cuando una infraestructura se ve afectada con este tipo de patología, es necesario realizar un análisis estructural para conocer el estado de deterioro en que se encuentra. En base a ese análisis se requerirán una serie de actuaciones, desde la realización de tratamientos superficiales con morteros y productos específicos, la reposición en mayor profundidad del material perdido mediante inyecciones hasta alcanzar las secciones y capacidad portante requeridas.



Ilustración 25. Trabajos de revestimiento en canal (Fuente: elaboración propia)

- **Impacto:** cuando se produce esta incidencia, lo primero es evitar la obstrucción retirando el elemento impactado, intentando minimizar los daños y afección a la infraestructura.

Posteriormente se procederá al análisis de la rotura o daño, evaluando la capacidad estructural del canal.



Ilustración 26. Retirada de vehículo del canal (Fuente: elaboración propia)

- **Grietas y fisuras:** Como anteriormente hemos mencionado las causas de esta patología son múltiples, y por lo tanto antes de actuar ha de realizarse un análisis geotécnico para ver el origen de las mismas. En base a esta evaluación, se procederá a la aplicación de productos de sellado para su reparación.



Ilustración 27. Reparación de grietas del canal (Fuente: elaboración propia)

- **Rotura:** sin duda una de las afecciones más graves de cualquier infraestructura es la rotura de parte o totalidad la misma. En el caso de un canal de una zona regable, la importancia es mayor, puesto que el servicio se ve interrumpido lo que puede afectar a multitud de usuarios viéndose afectadas las cosechas y la producción agrícola anual.

Por este motivo las reparaciones por roturas, han de evitarse con un buen mantenimiento. En caso de que la rotura fuese por otro tipo de incidente, es fundamental una rápida intervención en la reconstrucción del tramo afectado, bien de manera definitiva, o bien de manera temporal para reestablecer el servicio lo más pronto posible, quedando pendiente su reconstrucción para épocas en las que el canal no esté en servicio de riego.



Ilustración 28. Reconstrucción de canal (Fuente: elaboración propia)

- **Capacidad hidráulica insuficiente:** Como cualquier infraestructura, los canales tienen un fin para el que han sido diseñados. No obstante, se pueden producir afecciones como las acaecidas en los últimos tiempos, motivadas por el cambio climático, dándose casos de episodios pluviométricos extremos que hacen de los canales en zonas regables infraestructuras de encauzamiento para los que no están diseñados. Ante estas situaciones, es necesario en ocasiones, y tras un estudio y análisis de la capacidad hidráulica del canal, efectuar obras de ampliación de sección para ampliar su capacidad. Otra opción entraría dentro del análisis de la velocidad del flujo, y para ello se modificaría la pendiente del canal. Todas estas actuaciones irían encaminadas a una ampliación de la dimensión hidráulica.



Ilustración 29. Recrecido de canal (Fuente: elaboración propia)

- **Manipulación de elementos:** La importancia del conocimiento y control de los elementos de gestión hidráulica de un canal, como son las compuertas de regulación, compuertas de toma, rejillas, aforadores, desagües, etc., son fundamentales para evitar incidentes durante las campañas de riego. Por un lado, un mantenimiento y operación fuera de la campaña de riego, y por otro lado un conocimiento de la gestión de la infraestructura por parte del sujeto manipulador.



Ilustración 30. Compuertas de nivel constante (Fuente: elaboración propia)

2.1.6. Concepto de mantenimiento

Mantenimiento según la RAE en su segunda acepción, se define como “conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., pueden seguir funcionando adecuadamente” (Real Academia Española, <https://www.rae.es/>).

Ampliando este concepto del mantenimiento como sinónimo de conservación se podría definir como: “Conjunto de actividades físicas e intelectuales que tienen como objetivo preservar el patrimonio de las infraestructuras a lo largo del tiempo en unas condiciones tales que se maximice el beneficio que se obtiene de ellas y se minimicen los costes económicos, sociales y ambientales” (ACEX. (2007). Conservar es progresar. Libro Verde sobre la Conservación de Infraestructuras en España).

Según la norma AFNOR X 06-501, el mantenimiento se define como “conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado”. Dicha norma introduce el concepto de fiabilidad, entendida como la calidad en el tiempo, es decir, la probabilidad de que una infraestructura cumpla una función requerida en las condiciones de utilización y para un periodo de tiempo determinado (AFNOR, Asociación Francesa de Normalización, <https://international.afnor.com/es/>).

En resumen, podemos establecer que el mantenimiento tiene una doble función, por un lado, preservar el activo patrimonial de la infraestructura y por otro lado dar servicio óptimo al usuario para el que la infraestructura fue creada.

2.1.7. Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento Correctivo.**

El mantenimiento correctivo se entiende como las operaciones o actividades encaminadas a solucionar una incidencia una vez que se haya producido. Se puede considerar como una respuesta inmediata frente a una avería o afección que previamente ha sido detectada.

Este tipo de mantenimiento es una opción simple y que requiere de pocos recursos a corto plazo, realizándose únicamente cuando es necesario. Pero tiene sin duda muchos inconvenientes al no realizarse de manera planificada ni monitorizada.

Se pueden producir un riesgo de daños más graves por la falta de inspección y detección prematura, esto se traduce en un requerimiento mayor de recursos lo que implica que a largo plazo es más caro. Con un mantenimiento correctivo, por la falta de operaciones y trabajos de conservación se produce una pérdida de la eficiencia en el servicio.

- **Mantenimiento Preventivo.**

El mantenimiento preventivo, tiene como objetivo la prevención de la incidencia antes de que suceda. Esto implica una planificación previa, que de manera cronológica y mediante inspecciones y operaciones de conservación, mejore la eficiencia de la infraestructura, evitando problemas al servicio.

Este tipo de mantenimiento, si bien requiere de recursos en el corto plazo, el retorno de los mismos para la reducción de incidencias y de la inversión en el mantenimiento a lo largo del tiempo, puesto que se dispone de una infraestructura eficiente y segura, prolongando en buen estado su vida útil en fase de explotación.

- **Mantenimiento Predictivo.**

El mantenimiento predictivo, podría considerarse la evolución de la mano de la tecnología del mantenimiento preventivo. Está basado en monitorizar el estado actual de la infraestructura, que junto con una programación de trabajos de mantenimiento a realizar nos facilitan indicadores que marcan la proximidad de una incidencia.

Este tipo de mantenimiento permite minimizar la interrupción del servicio, fundamental en un canal destinados a riegos, y hacer uso de manera eficiente de los recursos, lo cual hace que las operaciones de conservación sean ejecutadas cuando sean necesarias.

- **Mantenimiento proactivo.**

El mantenimiento proactivo, tiene como principio la identificación de las causas y abordarlas antes de que generen la incidencia.

Este requiere un mayor tiempo y recursos, lo que implica una mayor inversión para el mantenimiento. Sin embargo, el abordar las causas de las incidencias, adelantándose a que

generen los problemas, genera una reducción de sucesos a largo plazo, mejora la calidad y fomenta la mejora continua en las actividades de conservación.

- **Mantenimiento reactivo.**

El mantenimiento reactivo da respuesta a las incidencias a medida que suceden, es decir se espera a que se produzca una rotura para proceder a su reparación.

Esta estrategia para los trabajos de conservación, puede ser válida para elementos poco críticos para la operatividad del sistema, pero que, sin embargo, a nivel de costes, su mantenimiento sería elevado.

Este tipo de mantenimiento, es más caro a largo plazo con un decremento de la calidad. Si embargo puede resultar interesante para alguna instalación dentro de la infraestructura.

- **Mantenimiento programado.**

El mantenimiento programado podemos considerarlo con actividades de conservación cíclicas, es decir, se realiza a intervalos bien mediante una planificación temporal, o bien mediante una planificación en el uso por operación.

Este tipo de actividades pueden ser los trabajos de desbroces, limpieza de canales o engrases y maniobras en compuertas.

La planificación en el mantenimiento permite organizar las interrupciones del servicio, lo cual mejora la eficiencia y el servicio.

En este tipo de mantenimientos es fundamental el seguimiento de la planificación y un ajuste continuo del plan en pos de la eficiencia.

- **Mantenimiento Total Productivo (TPM)**

El mantenimiento total productivo, tiene como objetivo la máxima eficiencia del servicio, y esto se hace a través de una coordinada y planificada interacción entre los elementos de gestión, operación y conservación de la infraestructura.

Es necesario un programa de mejora continua, en donde los actores implicados (gestor, explotador, mantenedor y usuario) tengan la capacitación necesaria, tras lo cual se procede a analizar la mejora de los procedimientos, la prevención de las incidencias y la eficiencia de la conservación y el servicio.

- **Mantenimiento Autónomo**

El mantenimiento autónomo, es una metodología en la cual, tras la formación pertinente al personal de oficios que está establecido en los canales y lleva su mantenimiento, se le traslada la potestad de realizar una serie de actividades como son las limpiezas, trabajos menores, inspecciones visuales, etc.

Este tipo de conservación, requiere personal especializado y dispone de la ventaja de una detección temprana de las incidencias.

- **Mantenimiento Basado en Condición (MBC)**

El mantenimiento basado en condición, es sin duda gracias a los avances tecnológicos, un gran avance en los procedimientos de conservación. El uso de tecnología de monitoreo en tiempo real, permite conocer el estado de la infraestructura y por tanto realizar las operaciones de mantenimiento cuando sea necesario.

Con estos datos, se analizan y se determina cuando es probable que sea necesario el mantenimiento.

Esto permite un importante ahorro en tiempo y recursos, sin desatender los elementos críticos del sistema.

Para la aplicación del MBC es necesaria tecnología especializada y personal formado para su uso y análisis de datos.

La mejora en la planificación y una mayor eficiencia, genera un valor añadido importante a la gestión del mantenimiento en la infraestructura.

- **Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM)**

El mantenimiento basado en riesgos, tiene su origen en la evaluación de riesgos para determinar la planificación y prioridades de las operaciones de conservación. Este sistema no actúa sobre todos los elementos por igual, sino que se centra en los componentes más críticos y la posibilidad de ocurrencia de una incidencia que tengan.

Al considerar que no todos los elementos de las infraestructuras son iguales, hace uso del análisis de riesgos para indicar en dónde implementar recursos de mantenimiento.

Esta forma de actuar puede mejorar la eficiencia reduciendo el coste de los recursos, puesto que se centran los trabajos de conservación en los puntos críticos.

No obstante, esto implica una evaluación de riesgos compleja y unos datos precisos. Sin estos dos parámetros, se puede producir errores.

- **Mantenimiento Normativo**

El mantenimiento normativo se basa en el cumplimiento de la legislación vigente, normas técnicas y procedimientos medioambientales y de calidad.

Este tipo de mantenimiento es usual en concesiones y prestación de servicios, en donde las cláusulas de excelencia y aseguramiento del servicio para con el usuario son prioritarias.

Dentro de las tipologías de mantenimiento, al objeto de elegir una de ellas, se tendrán en cuenta múltiples factores que influyen en el mismo. Las características de la infraestructura, conocimientos de la misma y su funcionalidad, así como los equipos o elementos singulares que la conforman son de gran importancia a la hora de establecer los criterios para su conservación, mantenimiento y operatividad. Por otro lado, los recursos técnicos, tecnológicos y humanos que se han de destinar al desarrollo de las operaciones de mantenimientos, serán los óptimos para que la infraestructura opere de manera eficiente y eficaz, cumpliendo su función a lo largo del tiempo para la que fue diseñada.

2.1.8. Metodología para la implantación de un sistema de conservación

Según la norma UNE-EN-13306:2011 define el mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.

La misma norma define la gestión del mantenimiento como todas las actividades que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control del mismo y la mejora de las actividades de mantenimiento y las económicas.

El mantenimiento vinculado a un sistema de conservación, según lo visto anteriormente, es una forma de entender la fase de explotación y puesta en servicio de una infraestructura.

La estrategias y metodologías de la conservación buscan garantizar el servicio y mantener la infraestructura como activo que es.

Tradicionalmente la metodología de la conservación, se basaba en tiempo, coste y calidad del servicio. En la actualidad han aparecido otros parámetros a tener en cuenta, como son los vinculados al medio ambiente y la sostenibilidad.

La implantación de un sistema de conservación de infraestructuras implica una planificación adecuada y la utilización de metodologías contrastada para asegurar su eficacia.

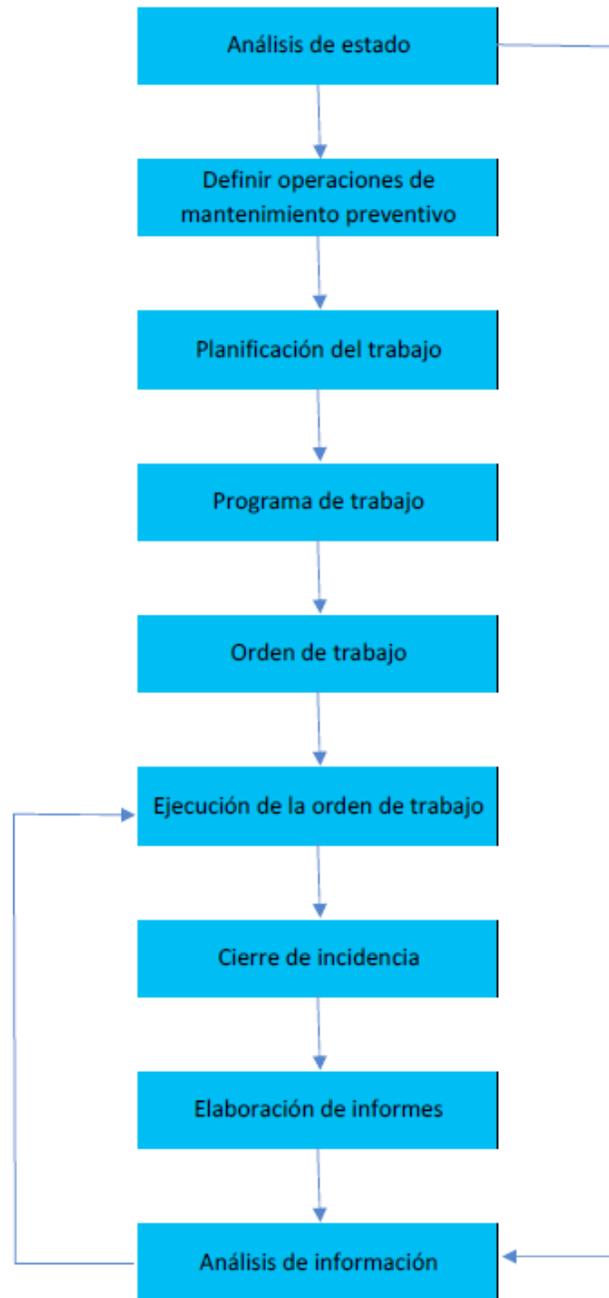


Figura 10. Flujo de trabajo de mantenimiento (Fuente: elaboración propia)

Algunas de las metodologías ya han sido mencionadas en el apartado anterior, y que pasamos a enumerar, en base a las cuales generarse la implantación de un sistema de conservación:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento proactivo.
- Mantenimiento reactivo.
- Mantenimiento programado.
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento Basado en Condición (MBC)
- Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM)
- Mantenimiento Normativo

Como consecuencia de estos nuevos requerimientos, desde la fase de diseño y construcción, se establecen criterios en las que la fase de mantenimiento cobra peso y se considera desde la fase inicial.

Pero en ocasiones, la infraestructura ha sido diseñada y construida sin estos requerimientos por la tecnología existente en el momento de la construcción o la ausencia de visión en el diseño para la fase de explotación, en cuyo caso hay que partir de un escenario cero a la hora de implantar la metodología del sistema de mantenimiento.

- **Identificación del uso y estado.** En una infraestructura es evidente que está construida para un fin. Pero tal vez, con el paso del tiempo sin un mantenimiento adecuado, cambios de normativa o de usos, esa infraestructura ya no dispone de la utilidad que se requiere en la actualidad.

Por ello es fundamental el conocimiento previo del estado tanto de diseño, estructural como del servicio que se requiere.

Generar un inventario de la infraestructura, en el que se incluyan datos básicos relativos a ubicación, tipología, dimensiones, periodos desde su construcción.

El uso de herramientas y nuevas tecnologías en este paso previo de conocimiento de la infraestructura para su mapeo y georreferenciación, son fundamentales en este proceso.

Dentro de este inventario, es necesario disponer de un archivo documental relacionado con la infraestructura, desde el anteproyecto y proyecto, cualquier modificación con posterioridad, manuales de mantenimiento de elementos singulares, o un histórico de incidencias o episodios que hubiesen afectado a la infraestructura.

Para ello, es necesario recopilar y analizar toda la información previa existente, proyectos, modificaciones, datos del servicio, y usos previstos a futuro.

El análisis del estado de la infraestructura, requiere inspecciones para la evaluación del momento actual. Mediante ensayos estructurales y nuevas tecnologías, es posible disponer del conocimiento del activo.

En este punto, y con el conocimiento de las zonas críticas o daños, estos pueden documentarse y clasificarse según su gravedad.

- **Programación y planificación.** Tras el conocimiento del estado de la infraestructura y en base a su evaluación de puntos críticos y zonas problemáticas, se genera una priorización de las actuaciones. Las que requieren una inmediata resolución analizadas con múltiples criterios de incidencia, seguridad, coste y también parámetros medioambientales.

En este punto pueden aplicarse para su identificación matrices multicriterio o herramientas de valoración ponderada por incidencias.

Con posterioridad a esta evaluación, y conociendo las distintas prioridades dentro de la conservación de la infraestructura, se procede a una planificación, en la que además de influir los criterios técnicos relacionados con el mantenimiento y valoraciones económicas, se analizan otros parámetros como es el uso y servicio o las afecciones ambientales. Dos ejemplos de ellos en canales de riego, no es posible realizar ciertas reparaciones en campaña de riego o es necesario cortar el agua para la ejecución de las mismas. Al igual que en zonas en donde existe

avifauna y están en periodo de nidificación, no es posible realizar cierto tipo de trabajos dependiendo de las afecciones.

Una vez conocidos estas actuaciones, se desarrollará el plan de mantenimiento de manera detallada, en donde dentro del cronograma se tendrán en cuenta las diferentes tareas priorizadas en función del tipo de mantenimiento requerido, así como los recursos asignados, valoración económica y duración estimada de los trabajos.

- **Recursos y capacidad.** Tras conocer y priorizar las tareas a ejecutar dentro de la conservación, y conociendo los recursos necesarios para llevarlas a cabo, es necesario disponer de equipos técnicos, tecnológicos y humanos, con la capacidad y formación requerida para cumplir la planificación.

Para ello es fundamental disponer de un personal cualificado y con formación continua en mantenimiento, así como herramientas y maquinaria específica para la ejecución de las tareas encomendadas.

Los avances tecnológicos, proporcionan eficiencia para el mantenimiento y este hecho repercute finalmente en el usuario de la infraestructura.

- **Ejecución de los trabajos.** En correlación con el plan de mantenimiento establecido, y con la disposición de los medios adecuados, se procede a la realización de las tareas del plan según el tipo de mantenimiento que corresponda: preventivo, correctivo, predictivo, etc.

Es necesario la documentación de todas las reparaciones y operaciones de conservación, en base a criterios de utilidad que como más adelante veremos, con necesarios para una mejora continua del sistema de mantenimiento.

- **Uso de tecnología.** Como se ha mencionado anteriormente, incluir en un sistema de mantenimiento y conservación nuevas herramientas, software y elementos técnicos especializados, es fundamental para una mejora del sistema.

La integración de herramientas colaborativas junto con los avances en georreferenciación, hacen que la metodología para el mantenimiento se vea implementada notablemente al objeto de una mejora en la eficiencia.

Insertar dentro de la infraestructura elementos para su monitoreo, sensores o sistemas de alertas, son herramientas que generan datos para un mayor conocimiento, control y gestión del mantenimiento.

El uso de bases de datos generadas implementadas con IA y procesos automatizados, son el gran avance de los sistemas de mantenimiento.

- **Estado documental.** Como hemos mencionado anteriormente, es fundamental un control documental dentro del sistema y metodologías de la conservación. “lo que no se documenta no existe”. Por lo tanto, es imprescindible el registro de todas las inspecciones, reparaciones y actuaciones que se hayan realizado dentro del mantenimiento.

El uso de metodologías colaborativas, implica orden y control dentro de sus requerimientos, lo que es imprescindible para el sistema de conservación.

La generación de informes de manera periódica, para conocimiento de todas las partes implicadas en la infraestructura (propiedad, gestor, usuario y conservador) genera transparencia y es un elemento facilitador para la mejora continua.

- **Mejora continua.** Con la premisa de que siempre hay margen de mejora y en la búsqueda permanente de la excelencia, es necesario analizar de manera recurrente los apartados anteriores.

El uso de indicadores de rendimiento y la revisión de manera regular de los sistemas, permite un ajuste y optimización de los planes de mantenimiento.

La innovación tecnológica y su incorporación a los sistemas de mantenimiento, mejoran su eficiencia.

La cultura de la mejora continua proporciona a un sistema de conservación, una mayor eficiencia y mejora de la calidad, así como un mejor servicio al usuario.

2.1.9. Inventarios

Un inventario, según la RAE es un “asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión”. Se puede establecer como el registro detallado y organizado

de un activo, en el que se incluyan de manera sistematizada una serie de parámetros característicos para realizar una gestión eficiente de los recursos.

Parte fundamental de la gestión del mantenimiento de una infraestructura, como hemos mencionado anteriormente, es el conocimiento de la misma.

Para la generación de un inventario, se requiere de un trabajo de recopilación de datos, características y documentación de la infraestructura. Este proceso inicial, es fundamental para la planificación del mantenimiento y la eficiencia en la aplicación de los recursos necesarios.

A la hora de generar un inventario, hay varios puntos a considerar:

- La tipología de la infraestructura a incluir en el inventario, y sus distintos elementos hasta el nivel de detalle que se quieran categorizar. En el caso de un elemento del canal de riego, dentro de una compuerta tipo plana, podrían considerarse elementos inventariables subpartes de ese elemento como el husillo o el volante.
- La finalidad del inventario, esto es, si se quiere únicamente para un conocimiento cuantificado del activo (cantidad de tomas de riego, por ejemplo) o por un enfoque de conocimiento del estado para su gestión dentro del mantenimiento.
- La recopilación de datos de la infraestructura, mediante el control y archivo documental (planos, proyectos, manuales, etc.), la inspección de la propia infraestructura (registros, análisis de estado, ubicación, etc.), o el uso de tecnologías que permitan esa extracción de datos.
- Archivar y registrar los datos obtenidos, mediante la generación de una base de datos que, con las herramientas y tecnología actual, permitan y faciliten la gestión del inventario.
- Actualizar el inventario. Es necesario disponer de un sistema o metodología para asegurar la calidad del inventario, nuevos elementos, elementos inhabilitados, etc.
- La realización de un mantenimiento continuado del inventario, incluyéndolo dentro de una planificación con revisiones y actualizaciones regulares.

Es, por tanto, el inventario un instrumento necesario para una gestión eficiente de la infraestructura. Siendo fundamental para la planificación, conocimiento y control de las actividades del mantenimiento y su distribución de recursos de manera óptima.

2.1.10. Inspecciones

La inspección en una infraestructura tiene por objeto su correcto funcionamiento con un óptimo mantenimiento. Muchas son las Administraciones y organismos que disponen de metodologías específicas para la inspección de sus activos. Dentro de España hemos analizado varios ejemplos:

- El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana de España ha dispuesto a lo largo de su existencia, diversas Normas Técnicas, Reglamentos e Instrucciones para la inspección y mantenimiento de sus infraestructuras, con el principal objetivo de asegurar la seguridad del usuario y la operatividad de la misma. Estas normas competen a las infraestructuras dependientes de dicho Ministerio, como son carreteras, puentes y viaductos, túneles y otras estructuras de transporte.

Como ejemplo la “Guía de inspecciones básicas de obras de paso” para la red de carreteras del Estado. En dicho documento se establecen los siguientes apartados:

- Introducción y objeto del documento, en donde se plantea la normativa técnica a aplicar y los requerimientos de la inspección.
- Tipos de inspección, distinguiendo entre básica, principal y especial,
- Inspección básica, desarrollándola con los alcances, elementos a inspeccionar y la metodología de la inspección.
- Finalmente establece las medidas de aplicación para el mantenimiento y conservación.

Este documento va acompañado de fichas para la inspección.

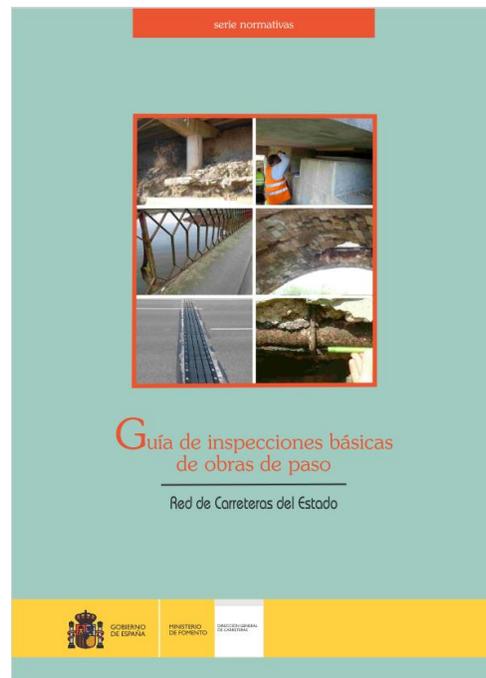


Ilustración 31. Guía de inspecciones básicas de obras de paso (Fuente: MFOM)

- El sistema de inspección de ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) dispone de un conjunto de procedimientos y herramientas específicas al objeto de asegurar la seguridad, eficiencia y mantenimiento adecuado de la infraestructura ferroviaria en nuestro país. En su gestión realiza inspecciones con procedimientos específicos de manera regular y detallada de sus infraestructuras, incluyendo todos los sistemas de plataforma, vía, estaciones, puentes y viaductos, túneles, y sistemas de electrificación y señalización.

En dicha norma se dispone de manera específica:

- el campo de aplicación, es decir la parte de la infraestructura a inspeccionar,
- los elementos a inspeccionar y los recursos destinados a tal fin.
- La metodología para evaluar y analizar los datos tras la inspección. Generando una priorización de los trabajos y unas propuestas de reparación.



Ilustración 32. Inspección principal de túneles de ferrocarril (Fuente: ADIF)

El Canal de Isabel II, basa sus sistemas de mantenimiento y conservación en el cumplimiento de la normativa del Canal de Isabel II. Dicha normativa establece los procedimientos constructivos, ensayos y materiales, para asegurar la correcta gestión y conservación de las infraestructuras relacionadas con el ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid.

Los documentos técnicos publicados por el Canal de Isabel II, comprenden todos los elementos pertenecientes al ciclo integral del agua, desde Presa y Pozos, depósitos, sistemas de potabilización, redes de distribución, saneamiento y depuración.

Dentro de estos documentos, se pueden enumerar en:

- Normas:
 - Normas para redes de abastecimiento. Versión 4 | 2021
 - Normas para redes de reutilización. Versión 2 | 2020
 - Normas para redes de saneamiento. Versión 3 | 2020



Ilustración 33. Normas para redes de abastecimiento del Canal de Isabel II. (Fuente: Canal de Isabel II)

- Protocolos
 - Protocolo de autorización de acceso a galerías de distribución.
 - Protocolo de autorización de acceso a colectores de la red de saneamiento.

- Especificaciones técnicas:
 - Registro de Productos Homologados | mayo 2024.



Ilustración 34. Registros de productos homologados del Canal de Isabel II. (Fuente: Canal de Isabel II)

- Especificación técnica de elementos de maniobra y control. Válvulas de compuerta | Versión 2012.
- Especificación técnica de elementos de maniobra y control. Válvula de mariposa | Versión 2013.
- Especificación técnica de elementos de maniobra y control. Válvulas de aeración. Versión 2 | 2015.
- Especificación técnica de acometidas de agua para consumo humano. Versión 4 | 2018 enlace
- Especificación técnica de tubos de fundición dúctil. Criterios de homologación. Versión 2 | 2022.
- Especificación técnica de racores y accesorios de fundición dúctil. Versión 1 | 2022.
- Especificación técnica de dispositivos de cierre | Versión 2022.

- Códigos técnicos:
 - Código técnico de edificación: suministro de agua.
 - Código técnico de edificación: evacuación de agua.

Mediante esta normativa, se pueden generar manuales de mantenimiento y operación de los sistemas o elementos a conservar.

Tras analizar múltiples referencias de distintos sistemas de inspección, podemos establecer una metodología o procedimiento para la inspección de las infraestructuras:

- Establecer los criterios de la inspección. En esta primera parte, y una vez inventariada la infraestructura, se determina que parte de esta será inspeccionada. En el caso de una zona regable, se pueden tener en cuenta distintos elementos que la componen desde el canal, las compuertas, pasos sobre canal, etc.

Sobre esos elementos seleccionados, se establecen los criterios de inspección, es decir, establecer una relación de las incidencias que pueden aparecer y han de ser detectadas.

Esos criterios irán relacionados con la operatividad del sistema, normativa, seguridad, etc.

La realización de las inspecciones, han de fecharse e incluirse dentro de una planificación al objeto de no interrumpir el servicio que realiza la propia infraestructura.

- Previamente a la inspección en campo, es necesario disponer de una lista de verificación de los elementos e incidencias o estado de los mismos que se van a reconocer. Este documento, puede basarse en inspecciones anteriores, manuales de mantenimiento, etc.
- Inspección de la infraestructura. Existen distintas tipologías para realizar la inspección en campo, pudiendo ser simplemente de manera visual, identificando las incidencias en la infraestructura o mediante pruebas de funcionamiento de los sistemas para comprobar su estado óptimo.

Toda esta inspección, ha de documentarse lo más detalladamente posible, para su archivo y posterior evaluación y análisis en gabinete.

- Valoración de las inspecciones. Al objeto de obtener la evaluación e identificación de los problemas, es necesario establecer un criterio cuantitativo de la inspección. Esto nos va a permitir priorizar y planificar en base a criterios objetivos las actuaciones requeridas en la conservación.
- Informe de inspección. Tras la recopilación y evaluación de documentos, se ha de establecer un informe por un técnico cualificado, en donde se incluyan los detalles de la inspección, fotografías y croquis, añadiendo una relación de acciones para la reparación de la incidencia de manera priorizada.
- Seguimiento. Una vez inspeccionado el elemento y archivada la incidencia, se recomienda la implementación de un plan de actuaciones en base al informe de inspección.

Realizando una vigilancia de manera programada, para analizar la evaluación de los aspectos críticos identificados durante la inspección.

2.1.11. Priorización de actuaciones

La priorización de las actividades de mantenimiento se basa en varios criterios que se pueden utilizar para determinar qué tareas deben abordarse primero para garantizar la eficiencia, la seguridad y la continuidad de las operaciones.

Dentro de las distintas metodologías para priorizar las actividades de mantenimiento de una infraestructura, se pueden considerar las siguientes:

- Método crítico. Analiza la posible incidencia en la infraestructura, desde el punto de vista de la seguridad, el tiempo de falta de servicio y los recursos utilizados. Este método los clasifica en función de su criticidad, priorizando aquellos que tendrían consecuencias más graves.
- Método CRB (Coste-Riesgo-Beneficio). Se consideran los recursos destinados a la conservación frente al riesgo asociado. Es decir, priorizan actividades de un mayor beneficio frente a los recursos utilizados con riesgo mínimo.
- FMEA (Análisis modal de fallos y efectos). Es una metodología basada en la estimación de manera sistemática de las incidencias o fallos en un sistema, evaluándolo dentro del

comportamiento global de la infraestructura. Mediante esta técnica, clasifica las prioridades en función de la gravedad, probabilidad del suceso y previsión de ocurrencia.

- Matriz de prioridad. Es una técnica consistente en establecer una clasificación de las actividades de mantenimiento según los criterios de inminencia y trascendencia.
- RCM (Reliability Centered Maintenance o Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad). Es una metodología que implica el aseguramiento del funcionamiento del sistema, es decir, que la infraestructura siga realizando el servicio a pesar de las incidencias. Identifica los fallos potenciales de los elementos de la infraestructura y sus posibles causas. En base a esto se establece el criterio crítico para su prioridad.
- CMB (Mantenimiento basado en la condición). Se trata de una técnica en función del estado de la infraestructura. Se rige por la monitorización y sensorización del activo, que permite conocer el estado del mismo y su estado para la incidencia.

Una vez evaluadas las distintas metodologías de priorización para una infraestructura, se pueden considerar los siguientes criterios:

- Gravedad de la incidencia
- Tiempo de inactividad del servicio
- Seguridad y Salud
- Afecciones medioambientales
- Recursos para su reparación

De esta manera, se puede valorar una planificación de las actuaciones considerando los distintos condicionantes y estableciendo la priorización en las actuaciones.

Para determinar la priorización, se establece una clasificación por niveles.

El empleo de niveles es de utilidad para discernir la urgencia y celeridad en la actuación sobre la infraestructura, y así poder establecer los recursos necesarios y la eficacia en la reparación.

Los niveles considerados, de manera generalizada, son:

- Nivel 0. Prorrogable, en el que se considera aquellas incidencias que, aunque necesarias en su reparación, no tienen un impacto significativo en la infraestructura desde el punto de vista del servicio, seguridad, o gestión en un corto plazo de tiempo, y por lo tanto pueden esperar a ser reparadas.
- Nivel 1. Conveniente, en el que se puede aplazar un tiempo prudencial la reparación de la incidencia sin que se vea afectado el activo ni el estado del servicio.
- Nivel 2. Necesario, en el que se ha de reparar la incidencia en un plazo de 48 a 72 horas para que la infraestructura cumpla con su función y el servicio no se vea afectado.
- Nivel 3. Urgencia, en la que se dará respuesta en la reparación en un plazo inferior a 24 horas.
- Nivel 4. Emergencia, en la que se requiere inmediatez en la actuación para reparar la incidencia lo antes posible.

La planificación por tanto vendrá supeditada, por la metodología o metodologías a utilizar y por los niveles de priorización de la incidencia.

2.1.12. Sistemas de gestión de mantenimiento actuales (SIG-GMAO) y facility management.

En los sistemas de gestión del mantenimiento, es fundamental disponer de información estructurada para la aplicación de las herramientas, sistemas y software a disposición del servicio de conservación.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que permite usar información georreferenciada mediante coordenadas. Esa información dispone de asignación de información relativa a los datos de este punto o elemento. Esta se almacena en bases de datos de tipo alfanumérico y gráfico.

Autor	Definición de SIG
Aronoff (1989)	Algo manual o computarizado basado en un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos referenciados geográficamente.
Dueker (1979)	Un caso especial de sistemas de información en el que la base de datos consiste en las observaciones de atributos, actividades o eventos distribuidos espacialmente representados mediante puntos, líneas o polígonos.
Burrough (1986)	Un poderoso conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real.
Devine y Field (1986)	Una forma de sistema de administración de la información que permite desplegar mapas de la información general.
NCGIA (1990)	Sistema compuesto por <i>hardware</i> , <i>software</i> y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.
Cebrián y Mark (1992)	Base de datos computarizada que contiene información espacial.
Bosque (2000)	Conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto [...] tiene la misma localización (mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información. De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona.

Tabla 1. Definiciones de SIG (Fuente: Goochild y Rhind, 1991)

Un GIS (SIG) como herramienta permite al almacenamiento de datos y su gestión espacial, el análisis de los mismos, mediante consultas y modelos, para finalmente generar informes u otros documentos requeridos.

El GIS puede considerarse la herramienta evolutiva en la representación espacial de elementos, pudiendo generar distintas operaciones. Un sistema de información geográfica se basa en los siguientes factores:

- Datos. Se necesitan datos para implicar a los demás componentes del SIG y el papel que desempeñan en el sistema. La información geográfica, la auténtica razón de ser de los SIG, reside en los datos, y es por ello que un conocimiento exhaustivo de los mismos, de su naturaleza, origen, calidad así como de su gestión y almacenamiento son fundamentales para entender esta herramienta.
- Análisis. El análisis es una de las funciones centrales de los SIG y una de las razones fundamentales para su desarrollo. Los SIG siempre integran una serie de fórmulas que permiten obtener resultados y analizar datos espaciales. La eficiencia que permite integrar todos estos

procesos en una sola herramienta van desde la automatización de tareas hasta el surgimiento de nuevos procesos que producen resultados que de otra manera no se pueden lograr.

- Visor. Cualquier tipo de información se puede representar gráficamente, facilitando la interpretación de dicha información. En el caso concreto de la información geográfica, la visualización no es una forma más de trabajar con esta información sino que también es la principal, ya que es con la que más estamos familiarizados gracias al uso de Tags (etiquetas son palabras clave o términos asignados a un fragmento de información). A diferencia de los mapas que son de naturaleza gráfica, en SIG se trabaja con datos puramente numéricos. Para tener una utilidad similar a la de un mapa, un SIG debe incluir características que creen representaciones visuales a partir de estos datos digitales. La visualización de información geográfica se rige por conceptos y principios similares a los utilizados para preparar mapas impresos, y estos deben ser conocidos por los usuarios de SIG, porque una de sus tareas es diseñar el mapa y preparar los elementos visuales para hacerlo posible. para realizar su trabajo sobre las representaciones generadas.
- Orden. Se incluyen de manera vinculada elementos relacionados con la coordinación entre personas, datos y tecnología o la comunicación entre ellos.
- Tecnología. En este factor, se incluye tanto el hardware que ejecuta las aplicaciones SIG como dichas aplicaciones, es decir, el software SIG.

Además de la propia plataforma, el hardware también incluye una serie de periféricos habituales cuando se trabaja con SIG, como periféricos para importar datos geográficos y crear mapas.

Dentro de estos sistemas de georreferenciación, los primeros SIG eran una simple combinación de elementos cartográficos cuantitativos, vinculados a los sistemas informáticos de la época. Era un campo de trabajo para cartógrafos y geógrafos que intentaban adaptar sus conocimientos y necesidades a las tecnologías que empezaban a surgir en ese momento. Desde entonces, se ha producido grandes avances en el ámbito de la tecnología y un gran número de otras disciplinas se han incorporado al campo de los SIG.

Esa evolución tecnológica vinculada al desarrollo informático y de software ha generado un impacto notable en el campo de los SIG:

- Salidas gráficas. La evolución de las capacidades gráficas, que ha tenido una gran evolución desde sus inicios hasta la actualidad, ha influido y beneficiado a los SIG. Mejorando la representación en pantalla y la creación de mapas impresos.
- Almacenar y acceder a datos. El aumento del tamaño de los datos gestionados en SIG debe ir acompañado de mejoras en la capacidad de almacenamiento y en la legibilidad para garantizar un uso fluido.
- Introducir datos. Los datos geográficos utilizados en los primeros años de los SIG eran datos en papel escaneados mecánicamente y almacenados en tarjetas perforadas en un único proceso mecánico.

Desde estos sistemas de georreferenciación y mapeo de forma mecánica hasta dispositivos tecnológicamente más avanzados como la aparición de escáneres de alta precisión y técnicas de escaneo automatizadas, junto con otros dispositivos, han cambiado por completo el alcance de la recopilación de datos para su uso en SIG.

Además del avance de estos componentes, la evolución general de los procesadores también afecta al software que opera en ellos.

En la actualidad la tecnología SIG está vinculada a plataformas móviles como smartphones o tablets, que son especialmente adecuadas para la recopilación de datos de campo.

La inclusión y los puntos de acceso de Internet dentro de los sistemas de georreferenciación, permiten una gran avance para la gestión de infraestructuras.

GMAO (Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento o Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador) , se basa en software y herramientas informáticas para gestionar y controlar las actividades de mantenimiento.

El objetivo general de un sistema de información de gestión de mantenimiento es proporcionar a los gestores involucrados en el mantenimiento de la infraestructura, medios analíticos para optimizar la gestión y apoyar las decisiones estratégicas, tácticas y operativas.

Respecto al objetivo específico , podemos mencionar los siguientes:

- Facilitar la planificación de las tareas de mantenimiento.
- Ayudar a planificar la adquisición de los recursos necesarios para el mantenimiento , incluida mano de obra, repuestos, herramientas, suministros y, a veces, empresas de terceros.
- Facilitar el mejor uso posible de los recursos.
- Elaborar informes sobre el estado del sistema general de mantenimiento, basándose en un conjunto de indicadores que permiten el control del mantenimiento en los diferentes niveles operativos.
- Compatibilidad e integración con el resto de los subsistemas de información y datos.

La implantación de un sistema GMAO genera una serie de ventajas con respecto a sistemas no tecnificados ni tecnológicos para el mantenimiento de infraestructuras. Algunos de ellos son:

- Mejora en la seguridad
- Ampliación de la vida útil de la infraestructura
- Mejora la gestión de recursos
- Reduce costes en el mantenimiento
- Transformación digital
- Toma de decisiones

El sistema GMAO se generó por los requerimientos y necesidades que los nuevos tiempos demandaban para la gestión de activos. La evolución tecnológica, permitió que herramientas informáticas facilitaran esta mejora de la eficiencia en el mantenimiento.

Antes de la aparición de estos sistemas, todo el trabajo y los registros se realizaban en papel. En la década de los 80 del pasado siglo, fue cuando las cosas se simplificaron con la llegada de los primeros programas informáticos de gestión. La aparición de los ordenadores condujo al inicio de la creación de paquetes de software. En los años 90, cuando apareció la generación Windows, Excel se usaba principalmente con hojas de cálculo para monitorear las actividades de mantenimiento. Toda esta innovación del GMAO es parte de una evolución gradual en el tiempo.



Figura 11. Evolución en el tiempo de los sistemas GMAO (Fuente: Berger-levrault)

El Facility Management (FM) puede definirse como la integración de procesos para mantener y desarrollar las operaciones que hagan eficientes las actividades principales dentro de una organización. El Comité Europeo de Normalización (CEN) da una definición ratificada por la BSI (British Standards): «FM es la integración de procesos dentro de una organización (empresa) para mantener y desarrollar los servicios acordados que mejoren y respalden (mantengan) la efectividad de sus actividades primarias».

La Sociedad Española de Facility Management (SEFM) también lo define como «un modelo de gestión de los recursos inmobiliarios de las empresas que tiene como objetivo la adecuación permanente de éstos a la organización y equipo humano de las compañías al menor coste posible, mediante la integración de todas las responsabilidades de gestión sobre dichos recursos en la figura del Facility Manager».

De acuerdo con la ISO (International Organization for Standardization), la Organización Internacional de Normalización, cuya principal actividad es la elaboración de normas técnicas internacionales, el facility management aplica en las siguientes normas:

- ISO 41001:2018: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Sistemas de gestión. Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 41011:2017: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Vocabulario.
- ISO 41012:2017: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Directrices para el aprovisionamiento estratégico y el desarrollo de acuerdos.
- ISO 41013:2017: Scope, key concepts and benefits.

Los sistemas GMAO y las soluciones de Facility Management, junto con la integración de sistemas de georreferenciación GIS, son herramientas esenciales para la gestión eficiente de activos e infraestructuras.

La implementación actual de estas herramientas con IA puede llevar a mejoras significativas en la productividad, eficiencia y sostenibilidad de los mantenimientos.

2.2. Estado del arte de la metodología BIM

2.2.1. ¿Qué es el BIM?

El acrónimo BIM corresponde a Building Information Modeling, o en una traducción directa Modelo de Información de Construcción.

Según Building Smart Spain: “Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.” Se trata de un método colaborativo para gestionar proyectos de construcción o actividades de construcción a través de modelos digitales

Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en el modelo de información digital participado por todos sus agentes.

Este modelo digital conforma una gran base de datos que permite gestionar durante todo el proyecto los elementos que forman parte de la infraestructura.

Esta metodología representa una evolución de los sistemas tradicionales de diseño basados en planificación porque incorpora información geométrica, de tiempo, de costes, de aspectos ambientales y de mantenimiento.

El método BIM permite la colaboración entre las diversas disciplinas involucradas a lo largo de la vida del proyecto, este cubre todas las fases o ciclos de vida del proyecto y proporciona una comprensión continua de la fase de diseño que puede conceptualizarse como un proceso de retroalimentación. Desde la ejecución y gestión del proyecto hasta la demolición.

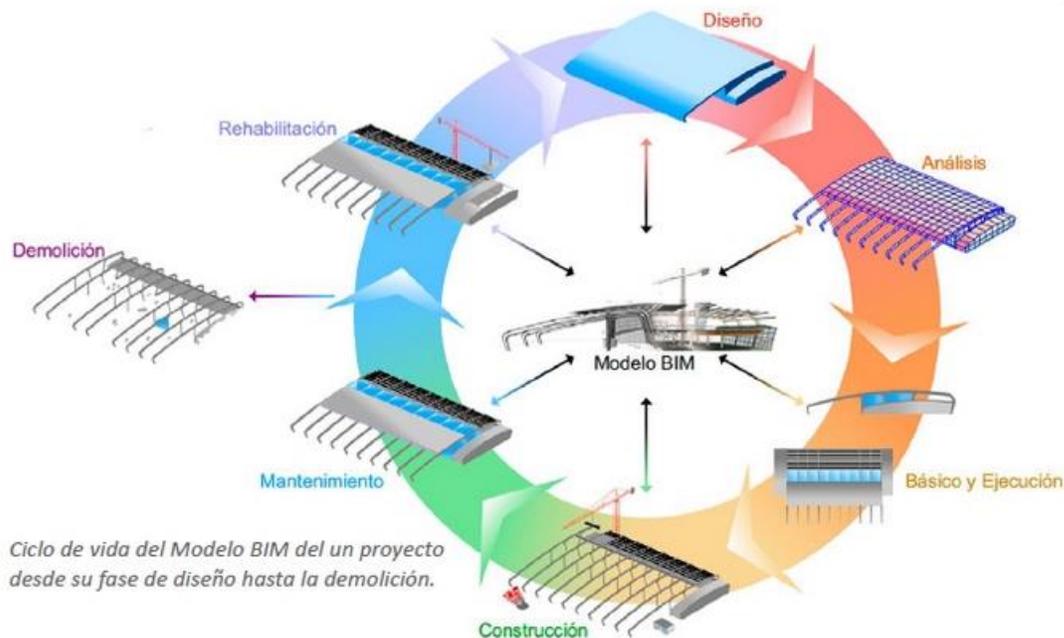


Figura 12 . Ciclo de vida del modelo BIM (Fuente: BuildingSmart)

Este hecho, permite una visión global y unificada, lo que facilita la gestión y la detección temprana de problemas y la resolución de incidentes.

Desde los orígenes de la metodología BIM en 1975 (Chuc Eastman) con la publicación de sus trabajos sobre BIM como son: “Procesos cognitivos y problemas mal definidos: Un estudio de caso del diseño” (1969), hasta “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers,

Engineers, Contractors and Facility Managers” (2018) y con la aparición en 1984, de las primeras herramientas informáticas de aplicación como ArchiCAD, el desarrollo de la metodología BIM va evolucionando hasta alcanzar el nivel que posee actualmente.

Los modelos BIM difieren del concepto de flujo de trabajo tradicional de forma lineal.

Aplicando el método tradicional, las acotaciones 2D requieren dibujar el plano sin que ninguna de ellas se conecte ni entre sí ni con el proyecto, lo que implica que, en caso de cambios de corrección o actualizaciones, estos se deben realizar individualmente en cada plano.

Esto sucede también con modelos de diseño en 3D, las mediciones y los presupuestos.

La eficiencia de los cambios será mayor si se realizan durante la fase de diseño, sin embargo, el coste de los cambios, será mayor cuando se lleve a cabo el proceso de desarrollo del proyecto y su posterior construcción.

De esta forma, analizando el método tradicional, se comprueba que existe una necesidad de realizar cambios durante la fase de diseño para reducir errores e imprevistos durante las posteriores fases de construcción y explotación, con el objetivo de reducir costes.

Los procesos que adoptan la metodología BIM invierten más esfuerzo en las fases de diseño, programación y desarrollo.

Es por ello que el enfoque BIM representa una nueva visión y una nueva forma de abordar el proceso del proyecto, a través de un modelo central que permite unificar todos los aspectos del proyecto en una única instalación, de la que surge toda la información.

De esta forma, a través de una única base de datos, es posible extraer planos 2D, imágenes 3D, listados de materiales, presupuestos, etc., que dependen unos de otros y del proyecto.

Por lo tanto, implementar la metodología BIM permite un mejor seguimiento y control de los proyectos, así como la automatización de la producción, asegurando una mayor consistencia de los datos, mayor calidad y reducción de errores y costes.

A nivel mundial la implantación de la metodología BIM no está realizándose de manera homogénea. En 2016 existía la siguiente situación:

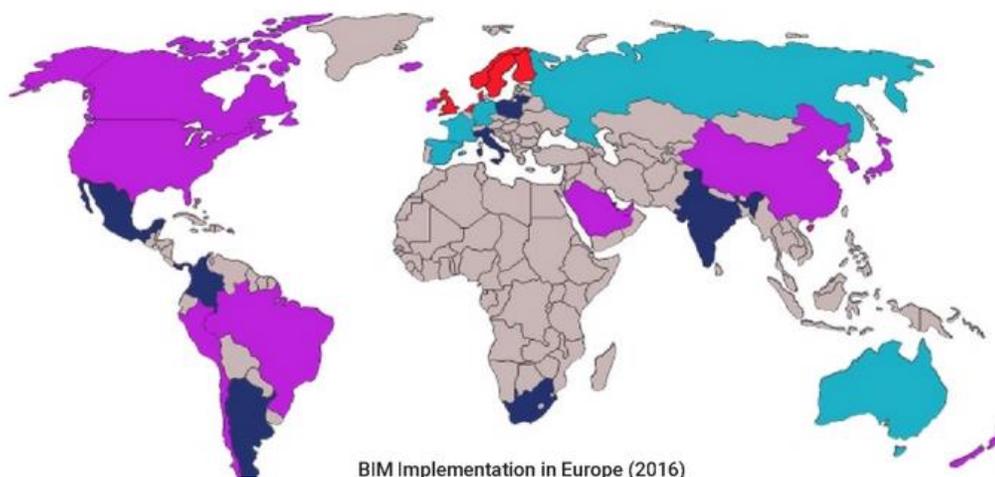


Figura 13. Implementación del BIM en Europa (Fuente: BuildingSmart)

A nivel europeo, la implantación de la metodología BIM durante la última década, se ha realizado de forma progresiva en diferentes países, siendo para algunos de ellos objetivo prioritario de sus Administraciones Públicas, las cuales han impuesto o valorado su uso en obra pública, siguiendo la recomendación de la Directiva Europea de Contratación Pública 2014/24/UE.

Los países nórdicos como Suecia, Finlandia y Noruega el uso de BIM es obligatorio en proyectos públicos.

Otros países europeos desarrollan estrategias similares con la creación de un grupo de coordinación, EU BIM Task Group, publicando el documento Manual para la Introducción de la Metodología BIM por parte del Sector Público Europeo.



Figura 14. Metodología BIM en Europa (Fuente: e-Zigurat)

En España, el uso de BIM se inició en 2010, cuando grandes empresas del sector (construcción e ingeniería) tuvieron que utilizarlo en grandes proyectos internacionales, especialmente en los países de Asia Central, Estados Unidos y países nórdicos.

En 2015, el entonces Ministerio de Fomento (ahora Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbano) creó el Comité BIM (es.BIM), integrado por diversas agencias y organizaciones de los sectores público y privado, con la misión de promover la Enfoque BIM y establecer una estrategia de implementación nacional. Los objetivos de este comité, entre otros, son:

- Promover el uso de BIM en el ámbito profesional y docente.
- Posicionar a España como referente a nivel mundial en el uso de BIM.
- Promocionar la innovación en el sector de las infraestructuras.

- Establecer de la hoja de ruta y el calendario de implantación.

En 2019, el observatorio de buildingSMART realizó un estudio Macro de la adopción del BIM en España. El objeto era analizar el estado de implantación, cuyo análisis fuera de utilidad a los responsables de las diferentes Administraciones Públicas a la hora de definir estrategias de difusión e implantación de la metodología BIM.

Las conclusiones extraídas fueron las siguientes:

- En general, no existe una estrategia clara de los responsables políticos para la adopción de BIM, salvo algunas excepciones de distintas administraciones o agencias públicas de ámbito autonómico. Si bien es cierto que crece el número de organismos públicos que promueven la adopción de BIM, especialmente en el ámbito autonómico de Cataluña, Comunidad Valenciana y País Vasco.
- La implementación de BIM en España está siendo impulsada principalmente por el sector privado, donde destacan algunas asociaciones como buildingSMART Spain, los grupos de usuarios BIM o la comisión Construimos el Futuro de Cataluña.
- A nivel nacional no existen Directivas o Reglamentos específicos que faciliten el uso de modelos de información, aunque la Ley de Contratos del Sector Público 9/2017 sí que recoge que el licitador puede requerir el uso de herramientas BIM. Sin embargo, sí cabe destacar que en el ámbito de Cataluña existe un acuerdo del Gobierno de Cataluña que establece que BIM es obligatorio para obras y proyectos de un determinado PEM mínimo.
- Ha crecido significativamente el número de Publicaciones BIM Destacadas, especialmente de Guías y Manuales. Si bien, se echan en falta un mayor número de normas o acuerdos contractuales.
- La estandarización sobre las especificaciones de los modelos de información está dando sus primeros pasos con algunas propuestas como eCOB, GDO-BIM o GuBIMclass, así como aquellas indicadas en las guías de la Comisión es.BIM o de la Generalitat de Cataluña.

En 2020, se establece la obligatoriedad del uso de BIM en las obras públicas que dependen del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (antiguo Ministerio de Fomento), como los aeropuertos con AENA, los ferrocarriles con Renfe y Adif, y las autoridades portuarias.

Y a partir de 2024, la estrategia de incorporación de la metodología BIM viene supeditada por la contratación de las Administraciones Públicas.



Figura 15. Plan de implantación BIM a la contratación pública en España (Fuente: Plan BIM)

		DEFINICIÓN DE NIVELES BIM							
		REQUISITOS MÍNIMOS							
		DE ESTRATEGIA	DE PROCESOS		DE TECNOLOGÍA		DE PERSONAS		
		Estrategia	Procedimientos de trabajo requeridos en el contrato	Coordinación entre partes	Información del contrato	Entorno Común de datos (CDE)	Formatos de archivos	Capacitación órgano de contratación	Capacitación licitante
NIVELES BIM	1 PREVIO/ NO BIM	Sin estrategia para el uso de BIM en contratos.	No se requieren procedimientos para la gestión de la información del contrato.	Reuniones presenciales, virtuales y correos electrónicos.	Información gráfica, como planos CAD, no vinculados automáticamente a datos contenidos en otros archivos. No se utilizan modelos BIM.	Sin repositorios comunes para la gestión de la información del contrato.	Sin estándares.	No se requiere personal con conocimientos de BIM.	No se requiere personal con experiencia en contratos con requisitos BIM.
	2 INICIAL	Proyectos piloto o licitaciones aisladas con BIM.	Basados en sistemas de gestión de calidad (UNE-EN ISO 9000 o equivalente).	No se requiere que sea a través del CDE.	Planos CAD y modelos BIM para usos de obtención de planos y coordinación 3D.	Repositorio común con control de acceso. + Reglas para nomenclatura estandarizada de archivos y carpetas.	Formatos basados en estándares abiertos. Para modelos BIM, IFC según UNE-EN ISO 15739 o equivalente. + Adicionalmente, se podrá requerir formato propietario.	Al menos una persona tiene formación BIM así como responsable BIM del contrato.	Se requiere medios humanos con experiencia en contratos con requisitos BIM.
	3 MEDIO	Plan de uso BIM para fases de diseño y obra.	Basados en sistemas de gestión de calidad (UNE-EN ISO 9000 o equivalente). + Guías o manuales específicos BIM de CIBIM y organismos reconocidos.	Se realiza a través del CDE.	Modelos BIM para usos de obtención de planos, coordinación 3D y mediciones. + Se puede producir alguna información o plano CAD no obtenida del modelo.	Repositorio común con control de acceso. + Reglas para nomenclatura estandarizada de archivos y carpetas. + Flujos de trabajo y estados de la información definidos, en línea con UNE-EN-ISO 19650.	Formatos basados en estándares abiertos. Para modelos BIM, IFC según UNE-EN ISO 15739 o equivalente. + Adicionalmente, se podrá requerir formato propietario.	Todo el equipo de trabajo que participa en el contrato está formado en BIM. + Se define un responsable BIM del contrato.	Se requiere medios humanos con experiencia en contratos con requisitos BIM.
	4 AVANZADO	Plan de uso BIM para todo el ciclo de vida y multidisciplinariedad.	Basados en sistemas de organización y digitalización de la información (UNE-EN ISO 19650 o equivalente). + Guías o manuales específicos BIM de CIBIM y organismos reconocidos.	Se realiza a través del CDE, con simulaciones y validaciones.	Modelos BIM para usos de obtención de planos, coordinación 3D, mediciones, mantenimiento o conservación y explotación y gestión de activos. + Se gestionan y emplean librerías de objetos BIM. Residualmente cabe información o plano CAD no obtenida del modelo.	Solución tecnológica diseñada específicamente como CDE según UNE-EN ISO 19650 con distintas funcionalidades. + Reglas para nomenclatura estandarizada de archivos y carpetas.	Formatos basados en estándares abiertos. Para modelos BIM, IFC según UNE-EN ISO 15739 o equivalente. + Para comunicaciones relacionadas con el modelo IFC, formato BCF o equivalente. + Adicionalmente, se podrá requerir formato propietario.	Todo el equipo de trabajo que participa en el contrato está formado en BIM conforme a UNE-EN ISO 19650 + Experiencia previa en contratos gestionados con BIM. + Se define un responsable BIM del contrato.	Se requiere medios humanos con experiencia en gestión de proyectos u obras y modelado BIM.
	5 INTEGRADO	Procedimiento sistemático de integración de procesos innovadores para la gestión de contratos.	Procedimientos certificados bajo UNE-EN ISO 19650 o equivalente. + Guías o manuales específicos BIM de CIBIM y organismos reconocidos + Manual de entrega de la información basado en UNE-EN ISO 19481 o equivalente.	Se requiere que sea únicamente a través del CDE, con simulaciones y validaciones.	Modelos BIM para cualquier uso. + Se gestionan y emplean librerías de objetos BIM. Residualmente cabe información o plano CAD no obtenida del modelo.	Solución tecnológica diseñada específicamente como CDE según UNE-EN ISO 19650 con distintas funcionalidades. + Reglas para nomenclatura estandarizada de archivos y carpetas. + Acceso de datos a través de servicios web	Siempre formatos basados en estándares abiertos. Para modelos BIM, IFC según UNE-EN ISO 15739 o equivalente. + Para comunicaciones relacionadas con el modelo IFC, formato BCF o equivalente.	Todo el equipo de trabajo que participa en el contrato está formado en BIM conforme a UNE-EN ISO 19650. + Experiencia previa en contratos gestionados con BIM. + Se define responsable BIM del contrato con 3 años de experiencia gestionando contratos con BIM.	Se requiere medios humanos con experiencia en gestión de proyectos u obras y modelado BIM con al menos 3 años y se valorará la implantación de UNE-EN ISO 19650 y su uso en contratos.

Figura 16. Definición de niveles BIM (Fuente: Plan BIM)

Por lo tanto, la implantación de la metodología BIM ha de tener un nivel integrado en el año 2030 en España.

Esto se enmarca dentro de las estrategias de digitalización y mejora de la sostenibilidad de la Agenda 2030, como una herramienta de mejora y eficiencia en muchos campos vinculados a la construcción, el diseño y la gestión de activos.

En cuanto a la licitación en España con metodología BIM, se puede apreciar la evolución en el volumen de contratos.

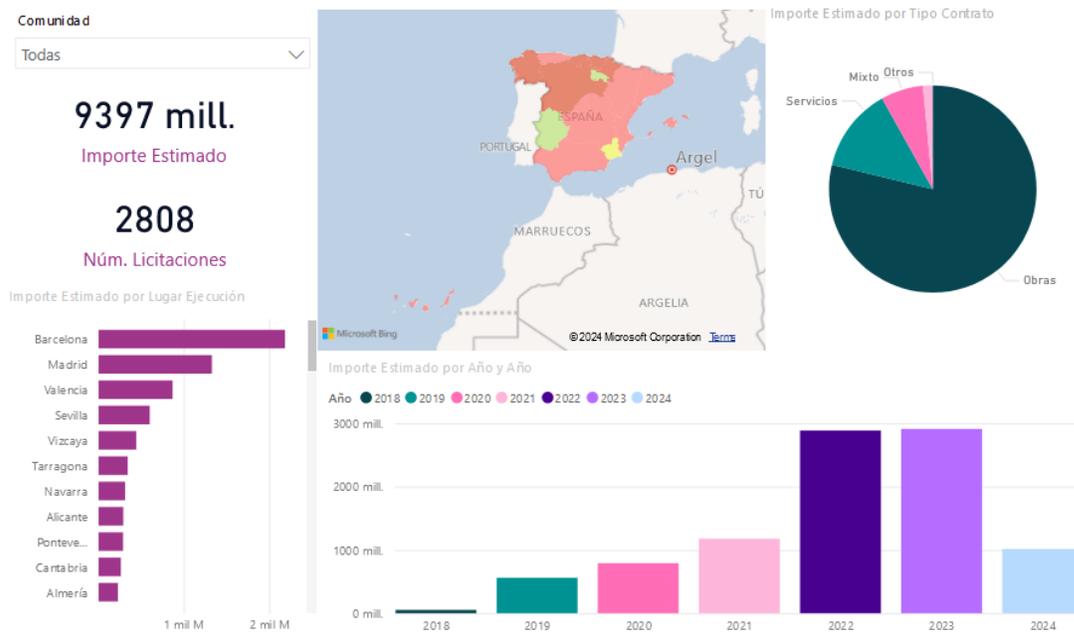


Figura 17. Licitación con metodología BIM (Fuente: BuildingSmart)

Dentro de la licitación del sector hidráulico con metodología BIM, se estima inferior al 10 % con respecto a la licitación total.

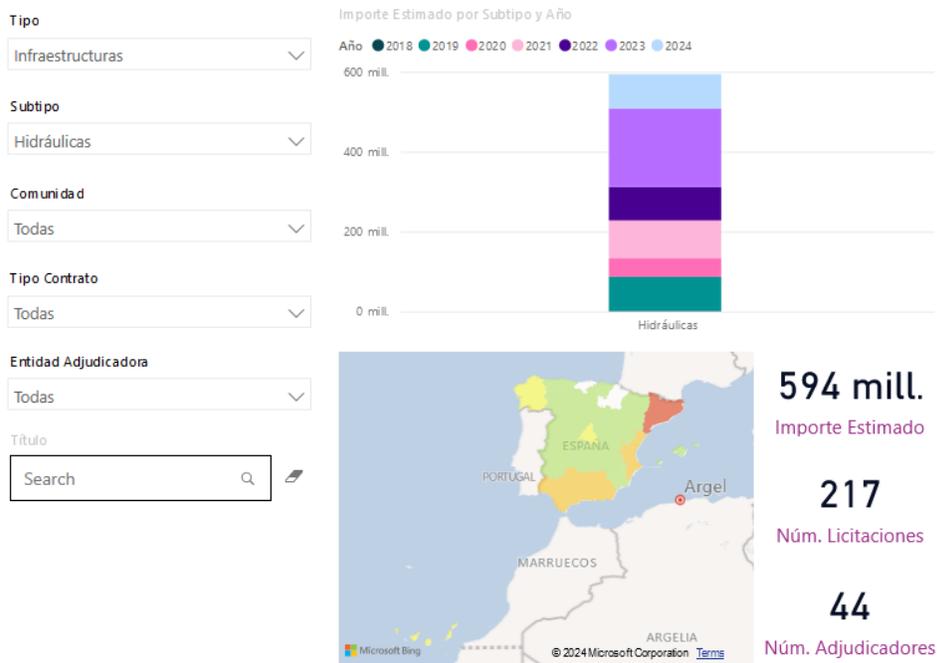


Figura 18. Licitación hidráulica con metodología BIM (Fuente: BuildingSmart)

2.2.2. Niveles de madurez, niveles de desarrollo LOD y dimensiones BIM

La metodología BIM ha ido evolucionando con el tiempo y los requerimientos en su implementación. Dentro de ese proceso se consideran unos niveles de madurez o etapas de adopción y desarrollo de esta metodología.

Esta madurez implica el nivel de calidad y excelencia de los servicios BIM.

Es una manera de estandarizar mediante una escala que permite saber inmediatamente en qué etapa general se encuentra con respecto al uso de BIM en un proyecto.

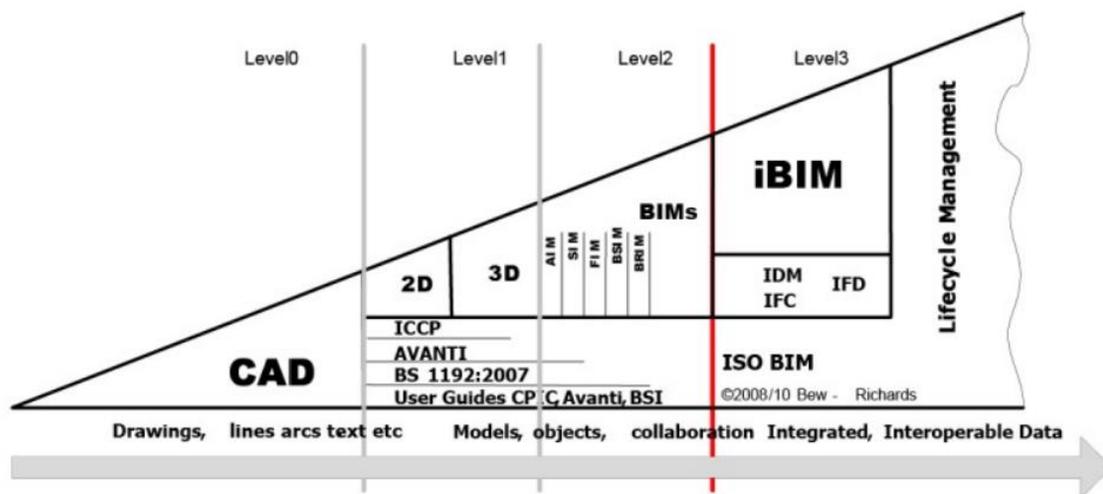


Figura 19. Niveles de madurez BIM (Fuente: Bew-Richards)

Esta herramienta consta de 4 niveles, desde el 0 hasta el 3, los cuales indican la capacidad de implantación de la metodología BIM de la para operar e intercambiar información. Estos niveles son progresivos, de modo que para conseguir alcanzar cada uno de ellos se han de implantar nuevos procesos y mejorar los ya existentes. Los niveles de madurez se detallan a continuación:

- Nivel 0 (baja colaboración) Este es el paso más simple en el proceso de generación de datos. Prácticamente no tiene ningún nivel de cooperación.

Durante esta fase, la producción y el intercambio de datos se realizan mediante documentos electrónicos en papel no interoperables.

Los diseños en CAD se utilizan en el nivel 0, pero no se crea ningún intercambio entre modelos de datos.

- Nivel 1 (colaboración parcial) En este nivel, se utiliza el entorno de datos común (CDE). Se trata de un archivo compartido en línea (repositorio) en el que se recopilan y gestionan todos los datos necesarios para el proyecto.

En el BIM Nivel 1 se trata de convertir datos CAD en 2D y 3D.

Aparte de la presencia de un entorno de datos común, los modelos generados no están distribuidos entre diferentes actores implicados.

Es decir, podemos hablar de nivel 1 de modelado BIM cuando existe una estandarización de modelos entre los miembros del equipo de diseño y gestión de forma organizada, incluso sin un único modelo compartido.

- Nivel 2 (colaboración total) El enfoque principal en este nivel es cómo se comparten los datos entre los participantes del proyecto.

En este nivel se introducen dos nuevas dimensiones vinculadas a la gestión de proyectos: 4D, vinculada a la gestión del tiempo, y 5D, vinculada al cálculo presupuestario.

La norma británica PAS 1192 y la estándar internacional ISO 19650, describe las condiciones necesarias para que un proyecto alcance el nivel 2 de BIM.

Dicha norma ISO 19650 vertebrada la gestión de la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un activo construido utilizando la metodología BIM. Esta norma está compuesta por:

- BS EN ISO 19650-1: Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 1: Conceptos y principios (Concepts and Principles). En ella se definen conceptos y principios generales para la gestión de la información utilizando BIM durante la fase de entrega y operación de los activos de construcción y establece principios para la gestión de la información, incluidos los requisitos para el intercambio de información y el uso de un entorno de datos común (CDE).

Los objetivos de esta norma son:

- Estandarización de la gestión de información mediante un marco para la gestión de la información en proyectos de construcción, mejorando la estabilidad y calidad de la información.
- Mejora de la colaboración entre los diferentes actores del proyecto mediante procesos y terminología comunes.
- Reducción de riesgos y costes, mejorando la precisión y disponibilidad de la información, reduciendo errores, duplicidades y costes asociados a la gestión de la información.

Esta norma, define la información como un recurso clave que necesita ser gestionado de manera eficaz. Los modelos de información incluyen datos gráficos y no gráficos que son esenciales para el diseño, construcción y operación de los activos. Toda la información debe estar en una plataforma digital (CDE) para facilitar el intercambio de información por parte de los participantes del proyecto de una manera correcta, según se indique en los requisitos de intercambio de información.

La norma ISO 19650-1 permite una gestión más eficiente de la información en proyectos de construcción, mejorando la colaboración, reduciendo riesgos y costes, y asegurando la calidad y seguridad de la información a lo largo del ciclo de vida del activo.

- BS EN ISO 19650-2: Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 2: Fase de producción de los activos (Delivery phase of the assets). Esta fase, proporciona orientación específica sobre la gestión de la información durante la fase de entrega de activos. Contiene planes y procedimientos de gestión de la información y requisitos para la creación e intercambio de información entre las partes interesadas. Esta norma establece requisitos y recomendaciones para la planificación, desarrollo y gestión de la información a lo largo del proceso de entrega del activo.

Los objetivos de esta parte de la norma son:

- Mejora de la gestión de información, facilitando la gestión efectiva de la información durante la fase de entrega del proyecto, asegurando que la información sea precisa, accesible y de alta calidad.

- Estandarización de procesos, proporcionando un marco estándar para la gestión de la información que pueda ser aplicado de manera abierta, interoperable y de ámbito internacional, mejorando la consistencia y la colaboración entre las partes interesadas.
- Optimización del ciclo de vida del proyecto, asegurando que la información generada durante la fase de entrega sea útil y relevante para las fases posteriores de operación y mantenimiento del activo.

El establecimiento de una planificación detallada de cómo se gestionará la información, incluyendo la definición de los requisitos de información y los procedimientos para su entrega, es decir la constitución de un documento o plan de ejecución (BEP), es fundamental para mejorar la gestión de la información en la fase de entrega de proyectos de construcción. Esto permite el aseguramiento de que la información es precisa, accesible y útil para todas las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del activo.

- BS EN ISO 19650-3:2020: Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo BIM. Gestión de la información mediante la modelización de la información de los edificios (Operational phase of the assets). En esta etapa los objetivos se centran en gestionar la información necesaria para operar, mantener y mejorar los activos a lo largo de su vida útil.
- BS EN ISO 19650-5:2020: Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo BIM. Gestión de la información mediante la modelización de la información de los edificios. Se establece el enfoque de seguridad en la gestión de la información. En esta norma se establecen los criterios para la seguridad de la gestión de la información durante las etapas de implementación y operativas. Proporciona directrices para proteger la información confidencial y garantizar que los procesos de gestión de la información cumplan con los requisitos de seguridad.

El trabajo colaborativo está implícito en el nivel 2 de BIM. Sin embargo, esto no requiere que todos los miembros del equipo involucrados en el proyecto trabajen en el mismo modelo y software. Al contrario, cada uno es libre de utilizar un modelo y software diferente. Lo realmente importante es la existencia de un tipo de archivo común (por ejemplo, un archivo IFC utilizado para intercambiar datos BIM) que contenga toda la información del diseño.

Estamos considerando un modelo de cooperación integral entre todos los participantes del proyecto. De esta manera, los participantes del proyecto pueden tener una visión general de todos los datos disponibles y modificarlos. Gracias a eso, pueden trabajar juntos para crear un modelo BIM unificado. Finalmente, el software utilizado por cada parte debe ser capaz de exportar tipos de archivos comunes (por ejemplo, archivos IFC, archivos COBie, etc.). En resumen, podemos decir que los miembros del equipo trabajan de forma coordinada, cada uno sobre su propio modelo 3D para lograr un modelo federado que conserve las características específicas de cada principio de diseño.

- Nivel 3, es el objetivo final en el sector de la construcción. Su enfoque principal está en el ámbito de la integración total de datos en un entorno de nube. Esto se logra utilizando un modelo de intercambio común.

Este modelo será accesible para todos los involucrados en el proyecto. Sin embargo, los agentes que trabajen en el proyecto podrán modificarlos y/o añadir sus propios datos.

El nivel 3 representa así el objetivo del enfoque: un modelo único para las operaciones impulsado por un contenedor, el archivo IFC: este archivo será el objeto que se compartirá y mantendrá en la nube, para que todos los involucrados en el proyecto puedan acceder a los mismos datos. De esta manera, el equipo del proyecto comprueba en tiempo real el impacto de cada acción en el modelo.

En este nivel, se podrá conocer toda la historia de la infraestructura, desde el diseño hasta la construcción, desde el presupuesto hasta el mantenimiento.

Una vez analizados los distintos niveles, que muestran los grados de madurez e implantación de la metodología BIM en una infraestructura, se establece el concepto de dimensión.

La dimensión en BIM se refiere a las diversas capas de información y funcionalidad agregadas al proceso.



Figura 20. Las dimensiones del BIM (Fuente: ACCA)

Las dimensiones BIM se refieren por tanto a los diferentes niveles de información de un modelo BIM. Con cada dimensión se agrega un nuevo aspecto o tipo de datos que se pueden utilizar en la planificación, el diseño, la construcción y la gestión de proyectos.

Las dimensiones consideradas en la metodología BIM son:

- 3D BIM. El modelado tridimensional 3D es la primera dimensión BIM que permite a los profesionales visualizar un modelo digital de una infraestructura en tres dimensiones. Se considera BIM como un modelo geométrico que permite aumentar los detalles gráficos del diseño. Sin embargo, la capacidad de desarrollar un modelo digital de un proyecto permite anticipar muchos análisis de verificación desde la fase de diseño que, con los métodos de diseño tradicionales, sólo se realizan durante la fase de operaciones.

El modelo BIM se complementa con nuevos datos e información de diferentes campos. Es necesario entonces gestionar la actividad denominada "prueba de modelo", que se formaliza en dos actividades diferentes: prueba de código, es decir, evaluar la relación del modelo con los requisitos y regulaciones de diseño. detección de conflictos, es decir, análisis preventivo de conflictos geométricos (y no) del modelo. Las ventajas de utilizar software BIM 3D para ingenieros y técnicos son: visualización más detallada y precisa de todo el proyecto; mejor

colaboración entre equipos multidisciplinarios; elimina errores, duplicaciones y ruido con actualizaciones de modelos en tiempo real; optimizar plazos y costes.

- 4D BIM. La cuarta dimensión de BIM es la organización de actividades relacionadas con el tiempo a partir del modelo y permite extraer y visualizar el progreso de las actividades dinámicas durante el ciclo de vida del proyecto.

Los métodos tradicionales utilizados en la construcción (diagramas de Gantt y Pert, etc.) tienen ciertas limitaciones y problemas:

- pérdida de información durante la transmisión de datos entre el diseñador y la empresa;
- falta de comunicación entre el director del proyecto y el proveedor;
- llegada oportuna y adecuada disposición de materiales en obra;
- estado de ejecución de obra.

Estos son sólo algunos de los motivos de retrasos e incumplimientos, que llevan a la necesidad de revisar lo previsto hasta la fecha.

Para evitar estos problemas, se recomienda construir una “EDT – Estructura de Desglose del Trabajo”, que permita una reorganización flexible del tiempo de trabajo. El proyecto se divide en partes básicas diseñadas específicamente para conectarse con lo que se está modelando. De esta manera podrá ver fácilmente el progreso del trabajo (horario de trabajo). Con el software de gestión de proyectos BIM (BIM 4D), los datos se vinculan a representaciones gráficas de los componentes y se facilita la consulta y comprensión de la información del proyecto por parte del director del proyecto, esto presenta una serie de ventajas, entre ellas:

- coordinación efectiva entre ingenierías, contratistas y equipos;
- detección temprana de conflictos;
- la gestión de la información del estado del proyecto y visualiza el impacto de los cambios a lo largo del ciclo de vida.

- 5D BIM. La quinta dimensión de BIM es la actividad de estimación, mediciones y análisis de costes. Gracias a software BIM 5D específicos, es posible crear un vínculo directo entre los elementos del modelo digital, el cálculo de cantidades y la estimación de costes.

Para los topógrafos, el uso de esta tecnología ofrece muchos beneficios, entre ellos:

- determina una mayor precisión y previsibilidad de las estimaciones de costes del proyecto;
 - cambios en cantidad y mediciones;
 - materiales, equipos y mano de obra;
 - proporciona métodos de análisis y extracción de costes, así como métodos para evaluar diferentes escenarios le permite visualizar la progresión de las actividades y los costes asociados a lo largo del tiempo.
- BIM 6D. Esta dimensión está asociada a la eficiencia energética y el desarrollo sostenible de una infraestructura nueva o existente. El concepto de sostenibilidad puede considerarse desde tres perspectivas diferentes, de hecho, hablamos de sostenibilidad:
 - el medio ambiente, en términos de la capacidad de reproducir y mantener los recursos naturales;
 - la economía, entendida como el derecho a generar ingresos y beneficios sociales;
 - obra, como herramienta para crear servicios en las personas.

La simulación BIM 6D permite un análisis exhaustivo de la sostenibilidad (económica, ambiental, energética, etc.) de la intervención.

El análisis del comportamiento energético desde la fase de diseño proporciona al proyectista las soluciones técnicas más adecuadas a aplicar para garantizar un menor consumo energético, una mayor calidad y un mayor confort, asegurando así la sostenibilidad del proyecto.

Gracias al software de simulación y análisis dinámico de energía, los ingenieros pueden generar actividades como:

- la capacidad de evaluar diferentes soluciones de forma rápida y precisa;
 - análisis detallado del impacto de las diferentes soluciones en los aspectos económicos y operativos a lo largo de la vida útil de la infraestructura;
 - gestiona los flujos de inversión en activos de una forma más consciente y planificada.
- BIM 7D. Es la gestión de operaciones y mantenimiento de una infraestructura y sus componentes durante todo su ciclo de vida. Cuando hablamos del ciclo de vida, no podemos ignorar los aspectos de mantenimiento, desmantelamiento o renovación de una infraestructura.

El software para la dimensión 7D BIM extrae y rastrea todos los datos relacionados con componentes, especificaciones, instrucciones de mantenimiento e instalación, garantías y más. Gracias a esta tecnología es posible optimizar la gestión operativa de una infraestructura durante todo su ciclo de vida.

Con las herramientas BIM Facility Management, los facility managers pueden:

- gestionar activos, sustituir y mantener elementos de forma fácil y eficiente;
 - facilitar la inspección y garantizar la eficiencia, la seguridad y el cumplimiento de las normas de construcción durante todo su ciclo de vida;
 - optimizar los recursos y los costes de mantenimiento mediante actualizaciones continuas y sistemas de monitoreo.
- BIM 8D. Es la dimensión que añade información relacionada con la seguridad al modelo geométrico. Al agregar esta información al modelo, es posible predecir riesgos durante la construcción e identificar acciones a tomar para mejorar la seguridad en el lugar de trabajo y prevenir accidentes.

Con BIM 8D se puede visualizar la obra antes de la construcción, haciendo más fácil y eficaz el análisis de todos los escenarios posibles para prevenir riesgos y problemas graves.

Los principales beneficios de utilizar el software de gestión de construcción en 8D BIM para los gestores de seguridad son:

- tener una imagen completa de los escenarios de construcción;
 - desarrollar planes de seguridad detallados y actualizados;
 - identificar y analizar con precisión las opciones de diseño de seguridad más apropiadas;
 - previene riesgos interviniendo en opciones de diseño que crean peligros potenciales;
 - obras digitales visualizadas en 3D;
 - capacitaciones a trabajadores en realidad virtual;
 - reduce el riesgo de accidentes.
- BIM 9D. Es la dimensión que permite optimizar y agilizar todos los pasos de la fase de construcción de un proyecto, mediante la digitalización de los procesos.

La construcción ajustada es un enfoque que permite una gestión eficaz de los recursos y que implica el control del uso de las materias primas para minimizar la incidencia de los residuos.

Mediante la supervisión constante de estos recursos, se pueden crear estrategias para convertir eficazmente lo que serían residuos, fragmentos de material o elementos residuales en algo que agrega valor al conjunto.

Con un BIM management system también es posible gestionar eficazmente la dimensión BIM 9D, lo que permite al responsable del proyecto de:

- aprovechar al máximo los materiales;
 - mantener el proyecto de construcción dentro de los plazos y presupuesto previsto.
- BIM 10D. Tiene como objetivo industrializar y hacer más eficiente la industria de la construcción a través de nuevas tecnologías y la integración de datos físicos, comerciales y ambientales, entre otros.

Los objetivos de BIM 10D se pueden lograr mediante el uso de herramientas de digitalización de ingeniería civil, como los sistemas de gestión BIM, que involucran a todos los actores implicados en el ciclo de vida de la construcción y optimizan cada etapa.

Las ventajas de 10D BIM para los directores de proyectos son:

- reducción del tiempo de construcción de las infraestructuras;
- optimizar los costes de construcción;
- mejorar e implementar la seguridad ocupacional;
- aumentar la calidad de la construcción gracias a una moderna infraestructura digital
- controlar con precisión cada etapa de producción de cada componente individual a través de procesos avanzados, sistematizados y estandarizados;
- no estar sujeto a condiciones climáticas que puedan afectar las actividades de construcción.

En resumen, las dimensiones BIM representan un marco evolutivo que amplía el alcance y la funcionalidad de los modelos de información en la infraestructura. Formando parte de la estrategia de eficiencia y sostenibilidad para el sector de la construcción y gestión de infraestructuras.

El "Level of Development" (LOD) o nivel de desarrollo en BIM se refiere a la madurez y el nivel de detalle de los elementos del modelo BIM a lo largo de las fases de la infraestructura.

Hay que diferenciar entre LOD (Level of Development) que correspondería al nivel de desarrollo, incluyendo información gráfica y no gráfica, y LoD (Level of Detail) que hace referencia al nivel de detalle en BIM en el que solo se incluye información gráfica.

El LOD describe el grado de desarrollo de un elemento BIM en términos de su contenido geométrico, información no geométrica y el grado de fiabilidad de los datos. Esto permite a los equipos de proyecto entender qué esperar del modelo en cada fase.



Figura 21. Nivel de desarrollo BIM (Fuente: Muralit)

Los LOD distribuyen la carga de información incorporada a los componentes en una progresión de seis niveles desde lo más conceptual hasta lo más específico: LOD 100, 200, 300, 350, 400 y 500. Cada paso LOD define los requisitos mínimos y acumula también aquellos del paso anterior. Es decir, un elemento que se determine con LOD 300 implica que también cumple los requisitos 100 y 200.

- LOD 100. Geometría conceptual. Entendemos cualquier información del LOD 100 como una aproximación general del elemento, que permanece indeterminada. En este primer nivel sólo tenemos información gráfica. El requisito mínimo es una representación general del componente que no afecte de ninguna manera la geometría definida. Pueden ser iconos, dibujos 2D, anotaciones o incluso elementos importados de otro proyecto.
- LOD 200. Representación aproximada del elemento. El segundo nivel LOD 200, consiste en definir el elemento con sus dimensiones y geometría generales y colocarlo en el modelo. Debe incluir información no gráfica como tipo de material, propiedades térmicas, etc.
- LOD 300. Precisión del elemento. En LOD 300, se especifican y complementan los datos del LOD 200, se agregan subelementos que forman parte del sistema y se realizan dimensionamientos y cálculos específicos. Ahora es posible realizar mediciones fiables en el componente sin tener que consultar anotaciones no gráficas.
- LOD 350. Elementos reales. El problema entonces es comprobar la correcta funcionalidad del elemento con sus subelementos y actualizarlos si es necesario. En este estado, el elemento cumple con los siguientes requisitos mínimos: tamaño, forma, posición, orientación y medición reales. Incluye la conexión con otros sistemas de construcción, información no gráfica con material, espesor, densidad, especificaciones de cumplimiento normativo.
- LOD 400. Detalles de montaje y fabricación. LOD 400 está diseñado para que la información sirva como referencia en la futura construcción del elemento digital. Aquí se incluye toda la

información que la constructora necesita y también se realiza una revisión de errores (detección de conflictos) entre los sistemas y el modelo. Por ejemplo, el detecta si el desagüe pluvial atraviesa la viga y lo repara. Los requisitos mínimos pueden ser: Datos de configuración, instrucciones de montaje, herramientas auxiliares y requisitos de mano de obra, etc.

- LOD 500. Verificación en obra: El mayor nivel de precisión de elementos pasa por verificar que lo construido se corresponde con el elemento modelado en BIM. LOD 500 puede ser de utilidad en una puesta en servicio con BIM en la infraestructura construida. Para ello, es necesario realizar escaneos in situ de las instalaciones, fotografías, etc. El elemento LOD 500 debe ser una réplica exacta del elemento real.

Pueden desarrollarse nuevos niveles LOD adicionales, como LOD 600 y LOD 700.

- LOD 600. El desarrollo de los modelos LOD 600 implica un nivel muy elevado, proporcionando datos precisos que son de gran utilidad la gestión en instalaciones con requerimientos de gran detalle, relacionadas con el mantenimiento y conservación (instalaciones industriales, alta tecnología, etc.). Facilita la planificación de renovaciones y reparaciones al proporcionar un modelo detallado y preciso del estado actual de una instalación. También proporciona una base completa y detallada para la gestión de operaciones y mantenimiento. Contiene toda la información necesaria para el funcionamiento eficiente del sistema, incluyendo: especificaciones técnicas, datos de mantenimiento e instrucciones de funcionamiento. Para ciertos ámbitos de la obra civil, si se trata de infraestructuras que no requieren elevado nivel de detalle, el desarrollo de los modelos para las operaciones de mantenimiento y conservación corresponde a niveles LOD 200 o LOD 300, no siendo requeridos niveles superiores.
- LOD 700. Avanzando sobre el nivel LOD 600, este se implementaría con modelos hiperrealistas, el internet de las cosas, integración de datos en tiempo real. Esto permite realizar mantenimientos predictivos y el monitoreo de la infraestructura.

Los LOD en BIM son esenciales para garantizar que todos los participantes en un proyecto de construcción tengan una comprensión clara y consistente del grado de desarrollo y la precisión de los modelos en cada etapa del proyecto. Esto contribuye a una mejor planificación, comunicación y ejecución de los proyectos de construcción.

2.2.3.Estado actual de la metodología BIM en conservación

Como herramienta colaborativa el BIM permite gestionar la información de forma centralizada en un modelo digital interconectado a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura, lo que es aplicable a la fase de mantenimiento.

El desarrollo y aplicación de la metodología BIM en el ámbito de la conservación, ha ido implementándose a medida que las nuevas infraestructuras construidas se han ejecutado con BIM, lo que supone una evolución lógica de uso de esta herramienta.

Por otro lado, con los desarrollos técnicos y tecnológicos, en las infraestructuras ya en uso se han desarrollado proyectos para la aplicación del BIM en sus operaciones de conservación y mantenimiento.

El valor patrimonial de edificios e infraestructuras públicas, requiere de herramientas eficientes para la gestión de estos activos, y con la metodología BIM se ha conseguido un avance importante en este sentido.

Algunas normas y guías vinculadas a la metodología BIM, especifican el aspecto de la conservación y el mantenimiento.

- PAS 1192-3, considerado como las guías de BIM para la gestión del patrimonio inmobiliario. Las PAS (Publically Available Specification) son guías emitidas por BSI (British Standard Institution) y pueden ser consideradas como una especie de códigos de práctica.

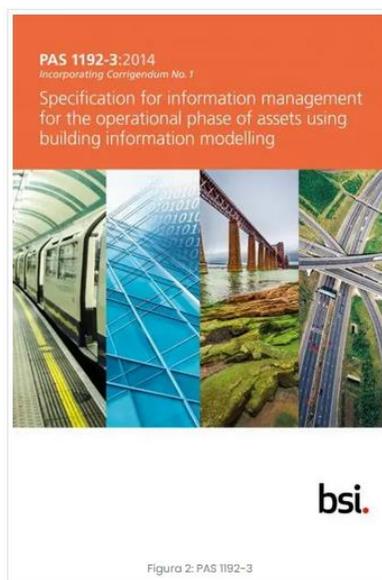


Figura 22. Norma PAS 1192-3:2024 (Fuente: BSI)

Por parte de organismos y Administraciones Públicas en España, se han emitido algunas guías específicas al respecto.

- “Guía sobre el uso de tecnología BIM en la gestión de la conservación, explotación y construcción de carreteras autonómicas” por parte de la Junta de Extremadura. Esta guía se generó como un primer documento de referencia para implementar requisitos BIM en todas las fases, dentro del ámbito de aplicación de una red viaria. El objetivo de esta guía, es informar sobre la utilización de esta tecnología para mejorar la gestión de la conservación, explotación y construcción de carreteras.

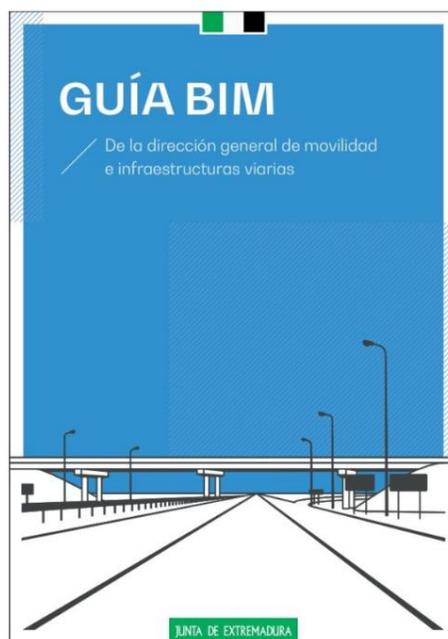


Figura 23. Guía BIM (Fuente: Junta de Extremadura)

- “Manual para la introducción de la metodología BIM aplicado a la intervención en Bienes Inmuebles declarados BIC” editado por el Ministerio de Cultura y Deporte



Figura 24. Manual BIM para BIC (Fuente: PRTR)

- Guía BIM de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife con especificaciones de mantenimiento y conservación de puertos.



Figura 25. Guía BIM de la Autoridad Portuaria de Sta. Cruz de Tenerife (Fuente: APST)

La empresa privada, en colaboración con organismos vinculados a la metodología BIM como BuildingSmart Spain, están realizando diversos proyectos en el ámbito de la conservación de carreteras, desarrollando sistemas de gestión de inventarios, gestión de seguridad en la protección vial, mantenimiento de puentes, etc.

También desde entidades como ACEX (Asociación de Empresas de Conservación y Explotación), sus asociados están desarrollando herramientas vinculadas a la metodología BIM que integran la gestión de la seguridad en la conservación de las carreteras, la gestión de inventarios o la implementación en pequeña obras.

En la actualidad, tanto el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) en el ámbito de las carreteras, como el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en el ámbito de las presas, están involucrados en proyectos de digitalización y aplicación de metodología BIM para sus infraestructuras.

Por parte del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, también llevan la metodología BIM al mantenimiento de sus edificios y activos, así como recientemente la actividad de mantenimiento tanto de la red convencional como de los servicios de ancho métrico y de Alta Velocidad.

El sector del mantenimiento y conservación de infraestructuras, al igual que otros ámbitos dentro de la industria de la construcción, se ha visto implementado por la metodología BIM gracias a la inclusión de esta en las licitaciones con Fondos Europeos, PERTE (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica) y PRTR (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia).

En estos años, la licitación pública correspondiente a los contratos de mantenimiento y servicios con metodología BIM, ha seguido una evolución ascendente.

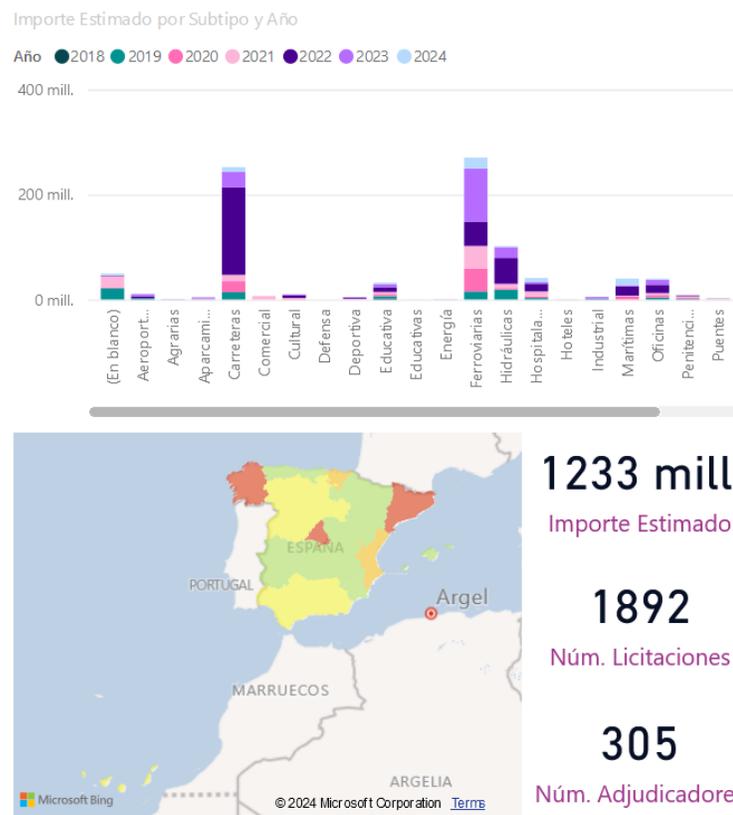


Figura 26. Licitaciones BIM en mantenimiento y servicios. (Fuente: BuildingSmart)

Destacando las infraestructuras ferroviarias, las carreteras y las infraestructuras hidráulicas por volumen de licitación.

Para un sector como la conservación y el mantenimiento de infraestructuras, la aplicación de la metodología BIM con el resto de herramientas y tecnología existente va a permitir una mejora sustancial en la eficiencia de los servicios.

2.2.4. BIM y “facility management” gestión de servicios

La definición de “facility management” o gestión de instalaciones (FM) se puede verbalizar como la integración de procesos para mantener y desarrollar servicios que respaldan y mejoran la eficacia de las actividades clave dentro de una organización.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) proporciona una definición ratificada por BSI (British Standards): “FM es la integración de procesos dentro de una organización (empresa) para mantener y desarrollar los servicios acordados que mejoren y respalden (mantengan) la efectividad de sus actividades primarias”. Sin embargo, la gestión de instalaciones es más que sólo gestionar infraestructuras y servicios. La Sociedad Española de Facilities Management (SEFM) lo define como “un modelo de gestión de los recursos inmobiliarios de las empresas que tiene como objetivo la adecuación permanente de éstos a la organización y equipo humano de las compañías al menor coste posible, mediante la integración de todas las responsabilidades de gestión sobre dichos recursos en la figura del Facility Manager”. FM implica el análisis continuo y la optimización de costes relacionados con activos, servicios e infraestructura. Mejorar el retorno de la inversión utilizando servicios e infraestructura dentro de un proceso planificado, administrado y controlado.

De acuerdo con la ISO (International Organization for Standardization), la Organización Internacional de Normalización, cuya principal actividad es la elaboración de normas técnicas internacionales, el facility management aplica en las siguientes normas:

- ISO 41001:2018: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Sistemas de gestión. Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 41011:2017: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Vocabulario.
- ISO 41012:2017: Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Directrices para el aprovisionamiento estratégico y el desarrollo de acuerdos.
- ISO 41013:2017: Scope, key concepts and benefits.

La integración de FM para gestión de infraestructuras debe estar conectada a la metodología BIM, los modelos y las bases de datos BIM permiten aprovechar la información que se ha incluido durante la fase de diseño y construcción. Pero también, tecnologías disruptivas como la IA (inteligencia artificial) o el IoT (internet de las cosas), permiten una evolución ofreciendo inmediatez de acceso de datos a todos los dispositivos y equipos conectados y con un buen ecosistema de servidores y procesos seguros, se genera una herramienta para la gestión de infraestructuras conectadas a los modelos digitales BIM, bases de datos para todos los componentes necesarios utilizando sistemas de clasificación estándar BIM pero también conectados a CAFM/GMAO BMS/IoT para controlar directamente los equipos y dispositivos de una sola plataforma.

Algunos aspectos a considerar de esta integración de BIM con FM son:

- Centralización de Información: BIM proporciona un repositorio central de datos donde se almacena toda la información de la infraestructura, desde su diseño y construcción hasta su operación y mantenimiento. Esto incluye planos, especificaciones de los materiales, sistemas eléctricos y mecánicos, etc.
- Acceso Rápido a la Información: Los gestores de infraestructuras y sus instalaciones pueden acceder rápidamente a datos precisos y actualizados, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la resolución de problemas.
- Planificación y Ejecución del Mantenimiento: BIM permite la programación eficiente del mantenimiento. Al tener acceso a la información detallada de los sistemas y componentes de la infraestructura, los gestores pueden anticipar necesidades de mantenimiento, optimizando recursos y costes.
- Mejora de la Eficiencia Operativa: La integración de BIM con sistemas de gestión de infraestructuras automatizar muchas tareas rutinarias, mejorando la eficiencia operativa.
- Simulaciones y Análisis: BIM facilita la realización de simulaciones y análisis de recursos, rendimientos, uso del espacio, y otros aspectos críticos para la gestión eficiente de las infraestructuras.

- Modelado de la infraestructura: Mediante un modelo generado específicamente para la operación y mantenimiento de la infraestructura.

Integrar BIM en la gestión de servicios y en la gestión de infraestructuras supone una importante evolución en el FM.

COBie puede considerarse como el estándar de intercambio para Facility.

Si en BIM el archivo interoperable es IFC, en FM el estándar COBie (Construction Operation Building information exchange) Desde software de BIM se puede exportar toda la información del modelo a un COBie en formatos tipo hoja de cálculo accesible con programas de manejo común, lo que permite disponer de todos los elementos que forman parte de la gestión y mantenimiento de nuestro edificio de manera legible.

Existen programas de gestión y mantenimiento relacionados con la edificación: Archibus, Ecodomus, Onuma, Building Ops (Autodesk), etc. para la gestión con FM y vinculación a BIM. Estos softwares permiten a los “Facility Manager” tomar las decisiones más adecuadas para la gestión y mantenimiento de los activos.

En el ámbito de las infraestructuras, el desarrollo de este tipo de software está en proceso, siendo una herramienta necesaria para la gestión del mantenimiento de este tipo de activos.

La interconexión de FM con BIM, proporciona una plataforma sólida para gestionar de manera eficiente y sostenible infraestructuras y sus sistemas mediante la centralización de datos, la mejora de la planificación del mantenimiento y la optimización de las operaciones.

2.3. Estado del arte en modelos predictivos aplicados a la gestión de mantenimiento zonas regable.

Un modelo predictivo es un instrumento analítico que mediante algoritmos matemáticos y utilizando datos históricos puede prever resultados futuros.

Estos modelos se basan en técnicas estadísticas, algoritmos de machine learning y análisis de datos para identificar patrones y relaciones en los datos.

Los modelos predictivos son una herramienta en la toma de decisiones y permite anticiparse a eventos futuros en campos como la economía, la medicina, la ingeniería, y la gestión de infraestructuras.

En lo relativo a la gestión de infraestructuras hidráulicas, los modelos predictivos han ido encaminados a las previsiones de demandas.

Sin embargo, no existe mucha literatura respecto a la gestión del mantenimiento.

En sistemas de tuberías, la monitorización mediante sensores, la gestión de datos históricos y el conocimiento de las condiciones de entorno, ha permitido una mayor investigación en este campo.

La implementación de modelos predictivos en la gestión de incidencias en sistemas de tuberías de agua, se presenta como una herramienta eficaz para mejorar la conservación y el mantenimiento de las redes de distribución de agua.

Se han analizado diversos documentos a este respecto, de los cuales se puede extraer varias conclusiones:

- Eficiencia con una optimización de recursos y reducción de costes. Los modelos predictivos permiten anticipar fallos antes de que ocurran, lo que facilita la planificación de intervenciones preventivas en lugar de correctivas. Esto no solo reduce los costes de reparación y mantenimiento, sino que también minimiza las interrupciones en el servicio y las pérdidas de agua.
- Optimización del mantenimiento. La predicción de roturas basada en datos históricos y análisis estadísticos permite optimizar los programas de mantenimiento. Las intervenciones pueden ser priorizadas en función del riesgo estimado, lo que asegura que los recursos se utilizan de manera más efectiva y eficiente.
- Servicio más fiable. Al identificar y abordar de manera proactiva las áreas de la red con mayor riesgo de fallos, los modelos predictivos contribuyen a una mayor fiabilidad del servicio de suministro de agua. Esto es crucial para mantener la confianza de los usuarios y cumplir con los estándares de calidad del servicio.
- Transformación de una infraestructura con mayor capacidad de adaptación. Mediante el uso de modelos predictivos se facilita el desarrollo de infraestructuras con una gestión más flexible, al permitir un diseño y planificación informados por datos. Esto incluye la selección de materiales y tecnologías más adecuados para reducir la incidencia de fallos futuros.

- Integración de nuevas tecnologías. La integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y el aprendizaje automático (Machine Learning) en los modelos predictivos mejora significativamente su precisión y capacidad de respuesta. Los sensores IoT pueden proporcionar datos en tiempo real sobre el estado de las tuberías, que los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar para predecir fallos con mayor exactitud.

En resumen, los modelos predictivos ofrecen numerosos beneficios para la gestión del mantenimiento de infraestructuras, pero para ser eficientes se requiere disponer de datos de alta calidad y modelos matemáticos contrastados.

En zonas regables, y más concretamente en modelos predictivos destinados al mantenimiento de canales, no se ha encontrado literatura al respecto.

2.4. Estado del arte de ciberseguridad en SIG-BIM

Como se ha mencionado anteriormente, la metodología BIM y las tecnologías de georreferenciación tienen características comunes (incluidos datos, modelos y herramientas), pero BIM se centra en el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras, mientras que GIS puede gestionar las ubicaciones, zonas o regiones.

Actualmente, la integración de ambas funcionalidades, va a generar una hibridación generando nuevas realidades tecnológicas, con el desarrollo de nuevas herramientas y la interoperabilidad de los entornos.

Como referencia es el acuerdo de colaboración entre Autodesk y Esri, que presenta una creciente interacción e intercambio de datos bidireccional entre el ArcGIS y Revit.

Esto presenta un escenario de gestión con una herramienta de entornos abiertos, colaborativa y georreferenciada. Estos conceptos llevan implícito un aperturismo en los accesos, susceptible de sufrir ciberataques.

Frente a eso, se plantean estrategias de protección y seguridad ante posibles ataques.

Algunas de estas recomendaciones son:

- Identificar activos y análisis de riesgos. El primer paso para implementar una estrategia de ciberseguridad BIM es identificar todos los activos relevantes para el proyecto, incluidos los modelos BIM y otro software y hardware relacionado. Una vez definido el “inventario” de activos a proteger, el siguiente paso es identificar cada riesgo potencial con el mayor detalle posible y priorizar la seguridad en función del impacto potencial. Hablamos de riesgos como la violación de la privacidad de las personas involucradas en el proyecto, como clientes, empleados y proveedores. En el peor de los casos, se trata de ataques de piratas informáticos que intentan obtener acceso a datos confidenciales o sensibles de un proyecto con el fin de vender la información o planificar ataques futuros. Sin embargo, también existen riesgos como malware y pérdida de datos, especialmente cuando se alojan en un dispositivo móvil. Otro riesgo que debe minimizarse es la posibilidad de que terceros no autorizados accedan a los archivos de su proyecto. La pérdida de información confidencial o la violación de la privacidad pueden tener consecuencias devastadoras para las organizaciones y las partes interesadas involucradas en un proyecto. La divulgación de secretos comerciales y datos financieros también puede crear un efecto mariposa de riesgo e incluso dañar la reputación y la imagen de las empresas afectadas. Además, el acceso no autorizado puede utilizarse para cometer actividades fraudulentas o corruptas, como manipular información con fines de lucro. En última instancia, la pérdida de confianza en la seguridad de los datos puede afectar negativamente las relaciones con las partes interesadas, provocando la pérdida de clientes y una reducción de la productividad.
- Medidas técnicas de seguridad. Se deberán implementar un conjunto de medidas técnicas de seguridad, siempre en función de las características del proyecto y de la priorización de los riesgos ya identificados. Aunque el contenido es esencialmente el mismo, no es lo mismo defender un proyecto de arquitectura que defender un proyecto de ingeniería civil. Los hospitales y las escuelas enfrentan vulnerabilidades diferentes a las de los puentes y las presas. Por eso, los riesgos son siempre diferentes y las medidas de ciberseguridad BIM deben adaptarse a cada particularidad. Sin embargo, se identifican algunas medidas que deben estar presentes en todo proyecto.
 - Implementar firewalls que bloquean los intentos de obtener acceso no autorizado a los datos y sistemas de su proyecto, y un cifrado de datos inexpugnable que evita que

terceros accedan a sus datos protegidos mediante códigos ilegibles. Esto minimiza en gran medida el riesgo de que alguien obtenga acceso no autorizado a los datos confidenciales de su proyecto en caso de un ataque al sistema.

- Controlar el acceso a los recursos, por otro lado, requiere implementar un sistema de autenticación y autorización que pueda controlar quién puede acceder a los datos y sistemas del proyecto. Esto le permite configurar un sistema de roles y permisos para que cada usuario tenga acceso solo a la información que necesita para realizar su trabajo.
 - Proteger nuestra estrategia mediante el monitoreo continuo nuestros sistemas y redes para detectar intentos de acceso no autorizados y otros tipos de amenazas a la seguridad. Esto se puede hacer utilizando herramientas de monitoreo de seguridad, como sistemas de detección de intrusiones (IDS) y sistemas de prevención de intrusiones (IPS).
- Cultura de la ciberseguridad. La seguridad de la información también depende de la conciencia y las acciones de todas las partes involucradas en el proyecto. Por lo tanto, es importante capacitar a los implicados sobre buenas prácticas de seguridad y cómo identificar y responder a posibles amenazas. Involucrar a todo el equipo en el esfuerzo por mantener seguros los datos y recursos del proyecto debe ser una máxima prioridad desde el principio. En este sentido, es importante implementar medidas de formación y sensibilización para garantizar la protección de la información y prevenir posibles amenazas.
 - Definir un plan de protección y recuperación. A pesar de los sistemas de seguridad, la vulnerabilidad de los mismos puede darse. Frente a un quebrantamiento de seguridad o un incidente importante, es fundamental contar con un plan de respuesta rápida para minimizar el impacto y permitir la recuperación de datos para continuar con el proyecto. Cualquier plan centrado en garantizar el éxito en este sentido debe comenzar por identificar los activos clave. Este es un paso crítico para determinar qué información y sistemas deben protegerse y recuperarse en caso de un incidente de ciberseguridad con BIM. Por lo tanto, se deben realizar copias de seguridad de todos los datos críticos y sistemas relacionados con regularidad en un lugar seguro fuera del entorno principal del proyecto. Esto incluye copias de seguridad en línea

y copias de seguridad en unidades externas. La ciberseguridad BIM requiere que las estrategias y medidas de protección se sometan a pruebas continuas de resiliencia. Este elemento de la lista de verificación es importante para garantizar que sus copias de seguridad sean válidas y que su proceso de recuperación funcione correctamente en caso de un incidente. Para responder a la aplicación del plan frente a ataques es necesario designar un equipo responsable para garantizar una recuperación rápida y eficiente. Finalmente, es importante documentar todos los aspectos de su plan de soporte y recuperación, incluidos los pasos específicos, los recursos necesarios y las responsabilidades de cada miembro del equipo. Este documento debe revisarse periódicamente para mantenerlo actualizado a medida que cambian los requisitos de seguridad y tecnología.

- Revisión y actualización continua. Para mantener una buena seguridad para los proyectos BIM, es importante monitorear constantemente los desarrollos tanto defensivos como de posibles ataques. Esto significa que se debe monitorear de cerca las amenazas emergentes y asegurarse de que la estrategia de ciberseguridad es efectiva. Esto se realiza mediante pruebas de penetración periódicas para comprobar la solidez de sus medidas de seguridad. Es recomendable revisar las políticas y procedimientos para asegurar de que permanecen alineados con los objetivos de seguridad. Mantener los datos seguros es una tarea que requiere coherencia.

En el entorno de ciberseguridad actual, es importante garantizar que las herramientas, tecnologías y software para uso en GIS y BIM incluyan consideraciones de seguridad y privacidad.

La ciberseguridad en los sistemas de información geográfica (SIG) es fundamental para proteger la integridad, la confidencialidad y la disponibilidad de los datos geoespaciales y la infraestructura que los respalda.

El uso de herramientas de georreferenciación, permite dar acceso a ubicación de elementos o infraestructuras a terceros. Al igual que con la metodología BIM, esta actividad implica ciertas amenazas:

- Accesos sin autorización, en donde se puede intentar acceder sin permiso a los datos GIS, comprometiendo su confidencialidad e integridad.

- Software malicioso (malware y ransomware), que puede infiltrarse en los sistemas de GIS afectando a su disponibilidad y funcionalidad.
- DoS (Denegation of Service) Ataque de denegación de servicio, cuyo objetivo es sobrecargar los servidores GIS, haciéndolos inaccesibles para los usuarios. Esto se logra saturando la capacidad de los recursos de la red, del servidor o de la aplicación mediante el envío de solicitudes, tráfico pesado u otras técnicas que sobrecarguen el sistema.
- Modificación de datos. Esta manipulación de los datos georreferenciados puede llevar a daños en las referencias y errores en decisiones del sistema.

Para evitar estos ataques, al igual que con la metodología BIM, se establecen ciertas recomendaciones:

- Encriptación de datos, para dificultar el acceso a los hackers.
- Mejorar autenticaciones y autorizaciones, asegurando los controles de acceso.
- Actualización de los sistemas de seguridad del software GIS
- Mejorar sistemas de monitoreo y auditoría continua.

Como anteriormente hemos mencionado, el software más habitual en el uso de la georreferenciación con la metodología BIM es ArcGIS de la empresa ESRI.

ArcGIS dispone de algunas herramientas y recursos para la ciberseguridad:

- ArcGIS Trust Center: que proporciona información detallada sobre las medidas de seguridad, privacidad y cumplimiento implementadas en los productos ArcGIS.
- ArcGIS Trust Center ArcGIS Security Manager: Herramientas que permiten la gestión de la seguridad, incluida la configuración de autenticación y autorización y la implementación de políticas de seguridad.
- ArcGIS Monitor: Proporciona capacidades de monitoreo en tiempo real para monitorear el rendimiento y la seguridad de su sistema ArcGIS, ayudándolo a identificar y responder a posibles incidentes de seguridad.

En resumen, la ciberseguridad en la integración de sistemas georreferenciados GIS integrados con la metodología BIM, son una materia sensible dentro del sistema, que requiere una combinación de tecnología, políticas y prácticas para proteger la infraestructura y los datos geoespaciales. La implementación de una estrategia integral de ciberseguridad puede ayudar a reducir las amenazas y garantizar que los sistemas sean seguros y fiables.

El establecimiento de mejores prácticas y estándares es fundamental para mantener la integridad y seguridad de estos sistemas.

Para ello, es necesario que se aplique un SGSI (Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información). Se trata de un conjunto de políticas de administración de la información. El término se denomina en inglés "Information Security Management System" (ISMS).

El término SGSI se utiliza principalmente en ISO 27001, una norma internacional aprobada por la Organización Internacional de Normalización, en ella se especifica los requisitos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI) según el conocido PDCA – Acrónimo de Planificar, Hacer, Verificar, Actuar, que es un enfoque de mejora continua.

El concepto de un SGSI es el diseño, implantación y mantenimiento de un conjunto de procesos para gestionar eficientemente la accesibilidad de la información, buscando asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los activos de información minimizando a la vez los riesgos de seguridad de la información.

Como todo proceso de gestión, un SGSI debe seguir siendo eficiente durante un largo tiempo adaptándose a los cambios internos de la organización, así como los externos del entorno.

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE CANALES

3.1. Problemática actual

La metodología BIM inició su desarrollo en el ámbito de la edificación, extendiéndose a otros campos de la ingeniería.

En la ingeniería civil, con los avances tecnológicos y nuevos software específicos, se iniciaron los primeros modelos de ámbitos ferroviarios y carreteros.

Dentro de la hidráulica, la aplicación de la metodología y generación de gemelos digitales, se está aplicando en:

- Estaciones de bombeo.
- ETAP, estaciones de tratamiento de agua potable.
- EDAR, estaciones de depuración de aguas residuales.
- Presas.
- Redes de distribución por tubería.

Sin embargo, la implantación de una metodología BIM no está siendo implementada de forma generalizada para canales de riego, que, si bien existe alguna referencia dentro de las fases de construcción, no hay literatura respecto a canales existentes y su mantenimiento vinculado al BIM.

Pasamos a analizar la problemática y posibles causas de la falta de implementación del BIM en este tipo de infraestructuras hidráulicas:

- Un canal de riego, dentro de una zona regable, es por lo general una infraestructura compleja y ramificada en su distribución dentro del terreno, lo que implica una gran extensión de territorio.

A esto hay que añadir la variedad y tipología de elementos tanto de distribución como de gestión del riego: acequias en canaleta, tuberías, compuertas, válvulas, caudalímetros, etc., que requieren de incorporación al modelo con un alto nivel de detalle.

- La incorporación de datos al modelo y su integración, puede generar cierta complejidad debido a la cantidad de datos: hidrológicos, topográficos, caudales, incidencias, etc., y compatibilidad de los archivos.
- El entorno de trabajo de un canal de regadío, suele situarse en un entorno rural. Con cierta complejidad de acceso, en ocasiones, para toma de datos de manera digitalizada.
- En otras infraestructuras implementadas con BIM, como por ejemplo la ferroviaria, el uso de estándares específicos, está muy desarrollado. Sin embargo, en las infraestructuras hidráulicas, y más concretamente en canales para regadíos este tipo de estándares está todavía en desarrollo. Si bien instituciones como AEAS (Asociación Española de Abastecimientos de Aguas y Saneamiento) o Canal de Isabel II empieza a disponer de parametrización.
- El escaso desarrollo de software específico para uso de BIM en infraestructura hidráulicas en general y canales en particular, es otro punto añadido a la problemática de la implantación del BIM.
- El número de actores implicados en el uso de la herramienta BIM, desde la ingeniería y entidad pública como responsable de la infraestructura, hasta comunidades de regantes o empresa de mantenimiento en el ámbito de la gestión.
- El uso del canal y modificaciones en la infraestructura a lo largo de la fase de explotación, como puede ser cambio de tipo de cultivo y por tanto modificación de las dotaciones, lo que puede implicar ubicar nuevas compuertas en el canal para su gestión.

Esto llevado a la metodología BIM puede generar conflictos y modificaciones.

La metodología BIM genera beneficios en aquellas infraestructuras en las que se ve implementada. Su aplicación para el mantenimiento de canales de riego, supone una novedad llevando dicha infraestructura a una gestión más eficiente y sostenible.

3.2. BIM y sostenibilidad

En la actualidad, con los condicionantes del cambio climático y la implantación de los objetivos de desarrollo sostenible vinculados a la Agenda 2030, el ámbito de la ingeniería tiene que aplicar su conocimiento y tecnología en pos de unos nuevos diseños y prácticas más sostenibles.

En 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, los ODS, (Objetivos de Desarrollo Sostenible).

Estos ODS son un conjunto de medidas establecidas 17 objetivos interrelacionados.

Con ello se buscan abordar los desafíos globales más urgentes.



Figura 27. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Fuente: ONU)

En el desarrollo de algunos de estos objetivos, la metodología BIM aplicada a la gestión de canales, puede contribuir de la siguiente manera:

- **ODS 6. Agua Limpia y Saneamiento:** La metodología BIM mediante simulaciones y análisis de la infraestructura y sus dotaciones hídricas, permite una gestión eficiente del recurso.

Una modelización detallada de canales, acequias y redes de distribución, facilita la identificación y minimiza pérdidas, haciendo una distribución más eficiente y sostenible del agua.

- **ODS 7. Energía Asequible y No Contaminante.** Una buena gestión en el diseño, mantenimiento y distribución de un canal de un regadío, puede implicar la no utilización de elementos externos para aportación de caudal. La reducción en el uso de bombeos y estaciones elevadoras para el riego. Supone una mejora importante en la línea del presente objetivo.

También el conocimiento profundo de la infraestructura de riego con BIM, puede ofrecer oportunidades para implantar aprovechamientos hidroeléctricos o pequeñas turbinas generadoras en saltos y zonas de flujo intenso.

- **ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructura.** La importancia de la planificación en la gestión y el mantenimiento de la infraestructura, mediante herramientas innovadoras como la metodología BIM, permite una mejora en la eficiencia, generando canales y regadíos más sostenibles.
- **ODS 12. Producción y Consumo Responsables.** La mejora en la optimización de recursos durante un mantenimiento con metodología BIM, lo permite el control más eficiente del activo. El acceso a proveedores y empresas locales próximas a la infraestructura, genera un tejido productivo que optimiza los recursos a utilizar en las operaciones de conservación, alineado con la estrategia de consumo responsable.
- **ODS 13. Acción por el Clima.** La planificación en las operaciones de mantenimiento con metodología BIM, analizando previamente la problemática e implementando estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se encuentran alineadas con este objetivo.

La implementación de BIM en la planificación, diseño, construcción, gestión y mantenimiento de infraestructuras, y más concretamente en canales de riego, tiene un impacto significativo en la sostenibilidad y la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Al aumentar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y fomentar prácticas innovadoras, BIM se está convirtiendo en una herramienta esencial para construir un futuro más sostenible.

3.3. BIM para la gestión del mantenimiento de canales

Los canales, en zonas regables, son infraestructuras que requieren de una compleja gestión en base a multitud de parámetros: tipo de terreno y cultivo, estacionalidad, dotación hidráulica, incidencias, etc.

La gestión hidráulica, ha tenido grandes avances con las nuevas tecnologías, caudalímetros y sistemas de control del regadío, cálculos de dotaciones, nuevos sistemas de regadío, control mediante drones, etc.

Sin embargo, el mantenimiento y conservación de los canales, dispone de pocas herramientas digitales vinculadas con la metodología BIM en la actualidad.

Es por esto, que tras un análisis del estado del BIM vinculado al mantenimiento, y más concretamente a infraestructuras hidráulicas como son los canales, el presente TFM aporta elementos novedosos a este respecto.

Existen requerimientos en el mantenimiento de canales, que mediante la metodología BIM, pueden resultar interesantes en términos de eficiencia, precisión y sostenibilidad.

Algunas de estas necesidades a las que la metodología BIM aporta solución:

- **Modelado de la infraestructura.** BIM le permite crear un modelo 3D detallado de un canal de riego, incluyendo todas las estructuras, elementos y componentes dentro del mismo (compuertas, tomas de riego, caudalímetros, pasos sobre el canal, etc.).

Esto proporciona una descripción general completa de su sistema, lo que ayuda a realizar una planificación más exhaustiva y por tanto una ejecución de las tareas de mantenimiento más eficiente.

- **Gestión de datos.** La generación de datos, durante la fase de explotación de un canal, es ingente. Desde las inspecciones previas, hasta las operaciones de mantenimiento, históricos de incidencias, etc.

BIM dentro de su metodología, centraliza toda la información relacionada con el canal en un solo modelo digital, incluyendo los datos históricos, especificaciones técnicas, registros de mantenimiento, etc.

Los datos dentro del modelo, pueden ser vinculados mediante su georreferenciación, lo que aporta una mejora respecto a la gestión de las incidencias, histórico de las mismas, planificación y modelización.

La disposición de esta herramienta digital, facilita el acceso y la actualización de la información, mejorando la gestión.

- **Entorno colaborativo.** La filosofía BIM implica trabajo en entornos abiertos, colaborativos y con herramientas y archivos interoperables. En las zonas regables, intervienen varias figuras desde la entidad pública o privada propietaria de la infraestructura, la gestora o responsable de la explotación, pudiendo ser una empresa o comunidad de regantes, y las empresas de mantenimiento y conservación que aglutinan a distintos colaboradores, ingenierías, proveedores, etc.

El uso del BIM por parte de todos los implicados, mejora la colaboración entre diferentes equipos y partes interesadas mediante el uso de un modelo común que se actualiza en tiempo real.

Esto facilita la gestión y el mantenimiento de la infraestructura, reduciendo errores y malentendidos, haciendo más eficientes las actuaciones en el mantenimiento.

- **Planificación.** La metodología BIM permite simular y planificar actividades y operaciones de mantenimiento antes de ser ejecutadas.

Esto permite evaluar el impacto de las intervenciones y optimizar los recursos necesarios.

La simulación le permite predecir problemas potenciales y reducir el tiempo de inactividad.

El uso de BIM hace más eficiente la planificación del mantenimiento, vinculado esto a una mejora en la gestión de recursos, optimizándolos y promoviendo prácticas más sostenibles.

- **Uso de nuevas tecnologías.** La posibilidad de integración de sistemas de monitoreo en tiempo real o el uso de drones para reconocimiento de estado, permite que la intervención en la infraestructura sea más precisa y eficiente, minimizando tiempo, recursos y costes.

La implementación de BIM para el mantenimiento de canales de riego ofrece múltiples beneficios, incluida una mayor precisión de la planificación, una mejor gestión de datos, una detección temprana de problemas y una optimización de recursos.

Con el uso de la metodología BIM, los gestores del mantenimiento y conservación del canal pueden mejorar la eficiencia operativa, reducir recursos y costes siendo más sostenibles.

3.4. La necesidad de planificar el mantenimiento de canales con BIM.

La planificación del mantenimiento de canales es la herramienta que asegura una eficiencia en las operaciones y el servicio.

Los desarrolladores de software para BIM disponen de distintos programas, en los que o bien se integra una fase de planificación del mantenimiento dentro del software generalista, o bien es un software más específico para la gestión de activos.

No obstante, este tipo de desarrollos está más centrado en los activos inmobiliarios y en los procesos industriales que en el mantenimiento de infraestructuras de obra civil.

Para la generación de una planificación en el mantenimiento de canales, es necesario disponer de una serie de parámetros que, implementados en el conocimiento del estado de la infraestructura, van a permitir una mayor eficiencia en la gestión.

La generación de estos parámetros y atributos dentro de un modelo digital, se han producido específicamente para canales de riego. No obstante, y puesto que desde la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamientos (AEAS) se han generado tablas de atributos en el sector del agua, se utilizará su *AeasBIMClass* como codificación del sistema de clasificación BIM.

Mediante las inspecciones y valoración estandarizada a la infraestructura del canal, se puede conocer el estado en que se encuentra y priorizar las actuaciones.

Esa priorización, irá vinculada a las circunstancias de la ubicación (georreferenciación +BIM) en el terreno. época de riego, accesos a fincas, tiempos de intervención, etc.

Mediante el histórico de incidencias y actuaciones realizadas en el mantenimiento, se pueden establecer operaciones recurrentes e incluirlas dentro del mantenimiento.

El uso del BIM, si bien no dispone de una herramienta de software específica para mantenimiento de canales, sí dispone dentro de su metodología de las condiciones de operatividad para una mejora sustancial de la planificación.

Con una planificación de la conservación en BIM, se puede:

- Acotar y prevenir las incidencias.
- Optimizar recursos y costes.
- Hacer del canal una infraestructura sostenible en el tiempo.
- Minimizar las afecciones al servicio
- Disponer de un histórico digital y actualizado del mantenimiento.

Un enfoque con metodología BIM de la planificación aplicado a la conservación y mantenimiento de canales, contribuye a una gestión del agua más eficaz y sostenible.

Analizadas las distintas tipologías, características y aplicabilidad en los sistemas de mantenimiento, y considerando los condicionantes de una infraestructura como es un canal de riego, siendo estos:

- Servicio. Es prioritario que el canal no sufra ningún corte de suministro por incidencia. El objeto de una infraestructura de este tipo es el regadío y la producción agrícola. La importancia de los riegos y el suministro de agua para los cultivos, hace que cualquier afección a la irrigación pueda perjudicar a las cosechas.
- Temporalidad. Se tendrá en consideración los tiempos de las campañas de riego, en función de las tipologías de cultivo, pluviometrías, y sistemas concesionales de dotación hidráulica de que dispone el canal y la zona regable. En función de esta temporalidad, se podrán realizar unas actividades u otras dentro del mantenimiento.
- Medio ambiente. Los canales, si bien se encuentran próximos a núcleos urbanos del ámbito agrícola, la mayoría de su trazado discurre por amplias zonas del territorio dedicadas al cultivo y radicadas en espacios naturales. En estas zonas la existencia de hábitat, fauna y flora, puede verse afectada por actividades de la conservación. Es por ello, que se tendrá especial atención en la planificación de estos trabajos.

- Sostenibilidad. Uno de los objetivos de un sistema de mantenimiento se basa en hacer más eficiente el servicio que da la infraestructura. En el caso de un canal de riego, la eficiencia pasa por una minimización de las incidencias, evitando la pérdida de un recurso como es el agua y mejorando la productividad de los cultivos. Todo esto con una gestión óptima de los recursos dedicados al mantenimiento y conservación de infraestructuras.

Se considera que un sistema de mantenimiento preventivo integrado en un mantenimiento planificado, permite que la infraestructura cumpla con los requerimientos de optimización, eficiencia y sostenibilidad. Por lo tanto, el presente TFM implementa la metodología BIM con un mantenimiento preventivo.

3.5. Plan de ejecución BIM-BEP (BIM Execution Plan)

BEP o BIM Execution Plan (Plan de ejecución BIM) es un documento que debe tener todo proyecto de construcción y gestión de infraestructuras que utilice tecnología BIM.

Este plan define cómo se implementará y gestionará el proceso BIM durante todo el ciclo de vida del proyecto.

El BEP detalla los pasos, estándares, roles, responsabilidades y flujos de trabajo necesarios para lograr de manera efectiva y eficiente los objetivos BIM.

Este plan es generado por el equipo implicado en el proyecto, en el que se define los roles y responsabilidades de cada miembro: cliente, proyectista, contratista, ingeniero y cualquier tipo de subcontratista o proveedor.

Dentro del BEP se indica la plataforma de software BIM a utilizar, así como otros elementos: los entregables y cronogramas del proyecto, parámetros sobre cuándo y cómo los miembros del equipo compartirán información, los principales hitos del proyecto y el cronograma general.

Los elementos más detallados de un BEP incluyen niveles de desarrollo y datos integrados en el modelo, cronogramas de cumplimiento, tolerancias de construcción requeridas, convenciones de nomenclatura de archivos, protocolos de anotaciones y abreviaturas, procedimientos de control de calidad, iteraciones y versiones de BIM.

Por tanto, todo BEP debe incluir los siguientes apartados:

- Objetivos y alcance del proyecto. Se ha de definir claramente los objetivos específicos para el uso de BIM en el proyecto y su alcance de trabajo, incluidas las fases del proyecto a las que se aplica BIM.
- Roles y Responsabilidades. Identificar todas las partes involucradas en el proyecto (propietario, proyectista, ingeniero, contratista, etc.) con la descripción de las responsabilidades de cada parte relacionadas con el uso de BIM.
- Estándares y Protocolos BIM. Se incluyen las especificaciones de los estándares BIM a seguir (estándares nacionales o internacionales), incluyendo el protocolo para crear, gestionar e intercambiar modelos BIM.
- Flujos de trabajo y procesos. En el documento se detallan los procesos y flujos de trabajo para la coordinación y colaboración BIM. (reuniones de planificación, revisiones de modelos, etc.).
- Etapas de Desarrollo (LOD). Se define el nivel de detalle y desarrollo requerido para un modelo BIM en las diferentes etapas de un proyecto.
- Tecnología y Herramientas. Identificando las herramientas y plataformas BIM utilizadas.
- Plan de Colaboración. Indicar las estrategias para una colaboración efectiva entre todas las partes involucradas.
- Métodos y plataformas de comunicación e intercambio de información.
- Plan de Control de Calidad. En donde se revisa el modelo BIM y establecen los procedimientos de control de calidad. De esta manera se garantiza que el modelo cumple con los criterios y objetivos definidos.

El documento BEP permite que el desarrollo del proyecto siga unas directrices estructuradas en las que todos los participantes del proyecto estén alineados, comprendan sus funciones y responsabilidades y estén coordinados. Esto permite reducir errores gracias a que los procedimientos y estándares estas definidos.

Una mayor transparencia y control de los procesos, permite una consecución de los objetivos planificados, optimizando recursos de manera más eficiente.

BEP es el documento fundamental para la implementación efectiva de BIM en cualquier proyecto de construcción o gestión de infraestructuras. Al establecer estándares claros y procedimientos detallados, un BEP bien redactado puede mejorar significativamente la eficiencia, la calidad y el éxito del proyecto.

En el Anexo II se dispone el BEP ajustado a los requerimientos de un mantenimiento en canales con metodología BIM.

3.6. Entorno común de datos-CDE (Common Data Environment).

Un CDE (Common Data Environment o Entorno Común de Datos), es un espacio de colaboración digital, ubicado en un espacio virtual, donde toda la información del proyecto se almacena de forma estructurada y compartida por los equipos de trabajo accesibles a todos los miembros para la revisión y modificación según su rol. La utilización de este espacio común mejora la seguridad aumentando el control y la gestión de la información.

Para que un CDE sea operativo, ha de cumplir los siguientes condicionantes:

- Información centralizada. Los datos del proyecto como documentos, modelos BIM, diseños, especificaciones, comunicaciones, etc., se tienen que almacenar en una única ubicación a la que pueden acceder todos los miembros del equipo.
- Acceso controlado y seguro CDE. Se han de establecer permisos y roles para garantizar que sólo los usuarios autorizados puedan acceder y modificar la información, garantizando la seguridad y confidencialidad de los datos.
- Colaboración y comunicación. Contribuir a la colaboración entre disciplinas y equipos a través de herramientas de comunicación unificada.
- Gestión de documentos. Proporcionar herramientas para gestionar versiones y revisiones de documentos, garantizando que todos trabajen con la información más actualizada.
- Integración de datos. Permitir la integración de diferentes tipos y formatos de datos y facilita la interoperabilidad entre diferentes herramientas y software utilizados en un proyecto.

Todos los criterios, roles y accesos, quedan expuestos en el documento BEP en el que el BIM Manager como responsable de garantizar el mantenimiento y la integridad del modelo, debe garantizar la estructura y seguimiento de los documentos en el CDE, generando copias de seguridad con la frecuencia adecuada.

Para la gestión de los CDE, se disponen las normas ISO 19650. Estas definen el marco, los principios y los requisitos, para la adquisición, uso y gestión de la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, tanto de edificación como de obra civil.

Se pueden generar un CDE dentro de las plataformas comerciales, de Google (Drive) o Microsoft (Sharepoint), o con herramientas más específicas como Autodesk Bim360, ACC (Autodesk Construction Cloud) o Trimble Connect.

Es importante una estructuración del CDE con divisiones en distintas áreas por estados de información.

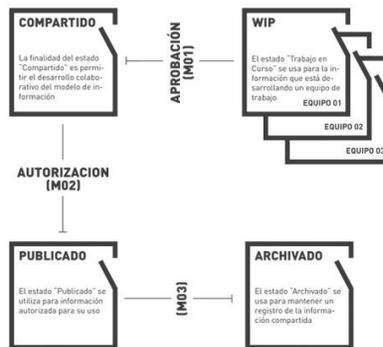


Figura 28. Estados en un CDE (Fuente: Espacio BIM)

- Trabajo en curso. El estado WIP (Work in progress o Trabajo en curso), se utiliza para la información que está desarrollando un equipo. Por lo tanto, contiene documentos de trabajo específicos de disciplinas que no se verifican ni validan durante todo el proyecto.
- Compartir: El propósito del estado de compartir es permitir el desarrollo conjunto de modelos de información. Por lo tanto, los equipos en esta área del CDE intercambiarán información entre ellos, aprobada por sus respectivos coordinadores BIM de disciplina, y se asegurarán de que los datos sean adecuados para que otros equipos los utilicen para coordinar la información que contiene. La información compartida debe ser visible y accesible para todos, pero no editables.

Si necesita editar un contenedor de información, debe devolverlo al estado "en progreso" para que el autor pueda editarlo y volver a enviarlo.

- Publicado: El estado de publicado se utiliza para información cuyo uso está autorizado. Por lo tanto, esta área se completa con información que ha sido revisada y aprobada por el director de proyecto de la organización del cliente (equipo de gestión de proyecto).
- Archivado: se utiliza para almacenar materiales y modelos de inventario no utilizados o reemplazados.

Para la estructuración dentro del CDE, es necesario que los directorios definan y estructuren un conjunto de carpetas para garantizar su mantenimiento e integridad, especialmente la integridad del modelo, y para realizar copias de seguridad con suficiente frecuencia.

La estrategia de actualización del modelo en CDE, en base a esas copias de seguridad, deben definir hitos para el intercambio de información o pérdida de datos (su frecuencia) para cada proyecto según se indique en el BEP.

También debe quedar establecida la estrategia de autorización. En el CDE es necesario definir puertas o procedimientos de autorización que permitan el intercambio de información entre diferentes estados (en progreso, compartido, publicado y archivado).

Antes de distribuirse o publicarse una información, ésta deberá cotejarse con la prevista o acordada entre las partes. Los modelos de información deben auditarse específicamente y normalmente se crean listas de verificación.

La gestión documental y control de revisiones en CDE siguiendo los criterios de la UNE-EN ISO 19650. Estos documentos irán con códigos de fases de manera pautada para codificar las diferentes fases de los contenedores de información que existen.

Dentro del CDE, para cada proyecto, el administrador BIM debe especificar los resultados de cada fase en el plan de ejecución BIM de acuerdo con los requisitos de intercambio de información. Esto ha de hacerse de manera segura, contemplándose medidas de seguridad específicas de CDE para proyectos específicos.

En resumen, un CDE es esencial para el éxito de los proyectos de construcción y gestión de infraestructuras, ya que proporciona un entorno seguro y colaborativo para gestionar toda la información del proyecto. Facilita la coordinación, mejora la eficiencia y reduce los riesgos, siendo una herramienta clave en la implementación del proceso BIM.

3.7. Formato IFC (Industry Foundation Classes).

Los archivos IFC (Industry Foundation Classes) son formatos de datos abiertos e interoperables usados para facilitar el intercambio de información entre varios sistemas de software utilizados en las industrias de construcción y gestión de infraestructura con metodología BIM.

Estos archivos IFC permiten la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones de BIM, lo que permite compartir y reutilizar la información del modelo sin pérdida de datos ni conversión a otros formatos.

Las propiedades del archivo IFC son de un formato estándar y abiertos según la norma internacional ISO 16739-1:2024, desarrollado por buildingSMART, que garantiza que el software compatible y se pueda acceder a la información del modelo y operar con ella.

Los archivos contienen datos e información detallada sobre elementos de la infraestructura como geometría, propiedades, relaciones y datos espaciales. Esta información se dispone de forma organizada mediante una jerarquía de entidades, lo que facilita la comprensión y la navegación por los distintos componentes de un modelo. Además, su interoperabilidad permite la comunicación y el intercambio de datos entre varios programas de diseño, análisis y gestión de la infraestructura.

Se dispone de varios formatos en función de los requerimientos de datos y necesidades de interoperatividad. Estos formatos han ido evolucionando sus versiones en progresión a la mejora tecnológica de la metodología BIM. Estos archivos pueden ser:

- IFC 2X3: Su interoperabilidad, permite el intercambio de datos entre diferentes aplicaciones de software de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), estableciendo estándares para la representación de datos de construcción y garantizando el intercambio y el uso consistente de la información.

Modelo de datos : Proporciona una estructura de modelo de datos detallada para representar varios aspectos de una infraestructura, incluidos elementos de diseño y estructurales.

Desde su compatibilidad, facilita la integración de datos en proyectos de construcción, desde el diseño y la construcción hasta las operaciones y el mantenimiento de la infraestructura.

- IFC 4.0: Con respecto a la anterior versión, incluye mejoras en la definición de datos, atributos y elementos constructivos. También se han agregado nuevas entidades para representar mejor elementos como infraestructuras, sistemas de instalaciones y detalles de construcción. De esta manera, se mejora la eficiencia en los archivos y su interoperatividad con otros formatos.
- IFC 4X3: Dispone de más extensiones para la infraestructura civil del tipo lineal, integrando datos georreferenciado para representar con mayor precisión proyectos vinculados a la realidad.

Mejora la compatibilidad con otros estándares de la industria como LandXML y CityGML.

- IFC 5.0: La versión de estos archivos, se desarrolla centrándose en cubrir todo el ciclo de vida de un activo construido, desde la planificación hasta la demolición.

Su uso es de aplicación en gemelos digitales (Digital Twin), cuya compatibilidad permite representaciones digitales dinámicas de la infraestructura y su entorno.

También permite integrar datos de eficiencia energética y sostenibilidad para favorecer la construcción ecológica y las operaciones eficientes de los edificios.

En resumen, IFC es un archivo estandarizado para almacenar y transmitir información sobre objetos físicos, sus atributos y propiedades, las relaciones entre ellos e incluso conceptos como tareas y mediciones.

3.8. Definición del proceso

La aplicación de la metodología BIM en un canal de riego existe, para su mantenimiento y conservación, implica una serie de operaciones al objeto de, bajo unas herramientas digitales, mejorar la eficiencia de la gestión y la sostenibilidad de la infraestructura.

Los pasos desarrollados en este proceso se establecen a continuación:

- Establecer el alcance y objeto de la implementación con metodología BIM. En este caso se requiere la generación de un modelo digital, vinculado a las incidencias del mantenimiento y su georreferenciación.

- Obtención de datos para el modelo. Al ser un canal existente, es necesario el uso de tecnología para la obtención de la digitalización. Mediante drones con implementos fotogramétricos, se obtiene el levantamiento topográfico y geométrico que digitaliza la infraestructura existente y visibiliza las condiciones de la misma.
- Generación del modelo. Partiendo del archivo obtenido, y mediante el tratamiento del mismo con distintos softwares específicos, se obtiene un modelo digital visualizable e interoperable.
- Modelado de los elementos particulares dentro del canal. Mediante software de modelado, se crean los elementos singulares que se quieren tener en el modelo BIM. Estos son las compuertas del canal, las compuertas de toma de riego y los pasos superiores como puntos singulares.
- Implementación de información. Una vez consolidado el modelo, se les añadirán los parámetros y atributos a los diferentes elementos del modelo. Incluyendo datos sobre medidas, materiales, estado, fechas, vida útil, etc.
- Validación de datos. Es necesario, según marca la metodología BIM, la revisión de modelo y coordinando la posible existencia de inconsistencias.
- Integración de datos operacionales. En paralelo se generan fichas de inspección del canal, para analizar su estado, priorizar actuaciones y con posterioridad implementar las fichas de reparación y control de la incidencia.

3.9. Software empleado.

Para la implantación del sistema de mantenimiento de canales con metodología BIM, se han utilizado las siguiente herramientas y software:

- Agisoft Methashape y Agisoft Photoscan: son software desarrollado por Agisoft especializado en el procesamiento de imágenes fotogramétricas para la generación de modelos 3D. La tecnología de los vuelos no tripulados, permite de una manera eficiente y mediante este tipo de software obtener nubes de puntos.

Agisoft Methashape, permite múltiples aplicaciones:

- Conversor de imágenes digitales en modelos tridimensionales.
 - Generación imágenes ortorrectificadas, facilitando trabajos de cartografía.
 - Modelado de terreno y de superficies con nivel de detalle.
 - Permite realizar mediciones y análisis volumétricos de manera precisa.
 - Aplicación en drones: Integra el proceso de captura de imágenes por drones para la generación de mapas y modelos digitales tridimensionales.
 - Automatiza el proceso de gestión de grandes conjuntos de datos.
 - Permite la exportación de datos compatibles con Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- ReCap: Autodesk ReCap (Reality Capture) es un software desarrollado por Autodesk que le permite convertir datos del mundo real en modelos 3D digitales de alta precisión. Este proceso es esencial en el contexto del BIM (Building Information Modeling) y la gestión de infraestructuras. Se puede considerar como una plataforma de software para procesar y gestionar datos de fotogrametría y escaneo láser. Esto le permite capturar la realidad física de su entorno y convertirla en un modelo tridimensional.

Este software permite el procesamiento de nubes de puntos importando datos de escaneo láser y fotografías digitales para crear esas nubes de puntos que representan la geometría del entorno real en el modelo digital.

Esta herramienta permite limpiar y editar nubes de puntos, eliminar zonas y ajustar datos para un análisis más preciso. A partir de esto se pueden generar mallas 3D y exportarlas a otro software de diseño y análisis.

En el ámbito del mantenimiento y conservación, los modelos 3D generados se pueden utilizar para la gestión de activos, lo que permite un mantenimiento más eficiente y preciso de la infraestructura.

Es una herramienta que optimiza el proceso de topografía y modelado, reduciendo el tiempo necesario para obtener datos precisos. Siendo integrable con otros productos de Autodesk para permitir un flujo de trabajo continuo y consistente en BIM.

- CloudCompare: es un software de código abierto para procesar datos de malla y nubes de puntos 3D. Lo que permite trabajar con una variedad de formatos de archivos de malla y nube de puntos, incluidos LAS, LAZ, PLY, OBJ, etc.

Su uso permite la conversión entre diferentes formatos de datos y facilita la interoperabilidad entre diferentes plataformas y software.

- Istram: ISTRAM es un software avanzado de gestión de proyectos y diseño de ingeniería civil con un enfoque particular en infraestructura lineal como carreteras, ferrocarriles y túneles. La modelización del canal del presente TFM, ha sido realizada con este software. Al ser una infraestructura poco habitual para modelizar, se ha mantenido comunicación con los desarrolladores de Buhodra, empresa de ingeniería española propietaria de ISTRAM, al objeto de aportar soluciones y resolver cuestiones en el modelado del canal.

ISTRAM es una potente herramienta de modelado y análisis, disponiendo de capacidad de integrarse con otras plataformas de Building Information Modeling (BIM).

Esta herramienta permite un diseño detallado de geometrías complejas de infraestructura lineal al tener en cuenta las curvas horizontales y verticales y optimizar los diseños lo hacen posible.

Facilita la interoperabilidad e integración con BIM, mediante archivos IFC y permitiendo la integración con otro software BIM como Revit y Navisworks.

- Revit Autodesk. Revit es un software de modelado de información de construcción (BIM) desarrollado por Autodesk. Está diseñado para permitir la creación de modelos tridimensionales detallados, así como la gestión de toda la información relacionada con los proyectos de la infraestructura.

En el TFM ha servido de apoyo para el modelado de elementos singulares del canal importado desde ISTRAM.

Revit permite el modelado 3D mediante diseño paramétrico, es decir, utilizando elementos de diseño paramétrico que permiten la creación de componentes inteligentes y objetos que ajustan sus características automáticamente cuando se cambian sus parámetros. También

permite crear y personalizar familias de componentes de la infraestructura y estructurales, facilitando el diseño de elementos repetitivos y específicos del proyecto.

Mediante este software se pueden, a partir del modelo 3D, generar automáticamente planos de planta, secciones, elevaciones y detalles constructivos con datos y acotaciones.

Su formato es interoperable, permitiendo la importación y exportación de datos, siendo compatible con una amplia gama de formatos de archivo, incluyendo DWG, DXF, DGN, IFC, etc., facilitando la interoperabilidad con otros softwares y plataformas BIM.

- BIMcollab es una plataforma de colaboración en la nube diseñada específicamente para la gestión de problemas y la comunicación en proyectos BIM (Building Information Modeling). Facilita la coordinación y resolución de conflictos en proyectos de construcción, asegurando que todos los miembros del equipo estén alineados y trabajen de manera eficiente.
- NavisWork Manage de Autodesk, es un software de revisión de proyectos que permite examinar modelos 3D, simular construcciones y coordinar distintos elementos de un proyecto.

Navisworks permite combinar modelos 3D de diferentes formatos y fuentes en un solo entorno, siendo compatible con una amplia variedad de formatos de archivo, incluyendo DWG, DWF, RVT, IFC, etc., permitiendo la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM.

También tiene su uso para la detección de colisiones. Se trata de una herramienta avanzada para la detección y gestión de interferencias entre diferentes componentes del modelo. Ayudando a identificar y resolver conflictos antes de la fase de construcción.

Excel: Microsoft Excel es una herramienta de hoja de cálculo desarrollada por Microsoft. Es parte de la suite de Microsoft Office y se utiliza ampliamente para la gestión y análisis de datos.

El uso de hojas de cálculo, mediante la organización de celdas, filas y columnas, permite el almacenamiento y manipulación de datos.

El uso de fórmulas y funciones predefinidas permite realizar cálculos matemáticos, estadísticos, financieros y lógicos. Estos pueden ser visualizados mediante diversos tipos de gráficos (barras, líneas, pastel, etc.) permitiendo visualizar los datos de manera efectiva.

Mediante esta herramienta, se generan en el TFM las fichas de inspección, partes de incidencias y planificación.

3.10. Modelización del canal

La metodología BIM implica disponer de un modelo digital de la infraestructura. La modelización de un canal existente, nada tiene que ver con una infraestructura que parte de un diseño previo, un anteproyecto y una fase de proyecto y construcción.

En ocasiones, las infraestructuras existentes, no disponen de ningún elemento digitalizado y en el mejor de los casos, puede existir algún plano en formato .dwg.

Por ello, lo primero es disponer de una base digital del canal existente, para la cual es necesario utilizar tecnologías fotogramétricas vinculadas a drones que generen una nube de puntos para poder iniciar la modelización de la infraestructura.

Una vez dispuesta la nube de puntos, esta se debe analizar y limpiar para disponer de los puntos exclusivamente pertenecientes al canal.

Mediante el software ReCap, es posible eliminar ese “ruido” de árboles, arbustos, y otros elementos que no permitan disponer de una buena digitalización del canal.

Con la nube de puntos limpia, se inicia el proceso de transformación hacia una infraestructura con vinculaciones de datos interconectados. El uso de ISTRAM, como software de infraestructuras lineales, ha permitido generar un canal digital exportable a archivo .IFC.

Con el canal digitalizado y mediante la herramienta REVIT, se modelan el resto de elementos de la infraestructura: compuertas, tomas, pasos superiores, etc.

El uso de REVIT para el modelado en masa, permite generar elementos que no se han encontrado generados previamente en bibliotecas BIM.

Una vez dispuesta toda la infraestructura del canal, y siguiendo con REVIT, se integran parámetros y atributos de cada elemento.

Finalizada esta operación, mediante el software BIMCollab, se chequean y comprueban los atributos del modelo.

Una vez concluidos estos pasos, el canal quedaría modelizado, exportable en archivos interoperables para la metodología BIM.

3.11. Sistema de clasificación de elementos

3.11.1. Propuesta de clasificación de elementos hidráulicos

La aplicación de la metodología BIM en sistemas de mantenimiento de infraestructuras hidráulicas, es requiere desarrollar un sistema de clasificación específico que permita una categorización clara y uniforme de todos los elementos del canal.

Esto permite facilitar la identificación, gestión y documentación de los componentes del sistema, mejorando la eficiencia y precisión en la fase de mantenimiento.

Desde entidades como Canal de Isabel II y AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) se han generado sistemas de clasificación de elementos, si bien más relacionados con el ámbito del abastecimiento y saneamiento, que con el del mantenimiento de canales de riego.

Nivel	Código	Descripción
3	AO.03.01.07.00.00	Compuerta / tajadera (en canales)
4	AO.03.01.07.01.00	Compuerta mural
4	AO.03.01.07.02.00	Compuerta de canal / deslizante
4	AO.03.01.07.03.00	Compuerta vertedero
4	AO.03.01.07.04.00	Compuerta abatible
4	AO.03.01.07.05.00	Compuerta ataguía (tajadera)
4	AO.03.01.07.06.00	Compuerta stop log (varios módulos tajadera en altura)
4	AO.03.01.07.07.00	Compuerta hidráulica (en canal)
5	AO.03.01.07.07.01	Compuerta hidráulica de nivel constante aguas arriba
5	AO.03.01.07.07.02	Compuerta hidráulica de nivel constante aguas abajo
5	AO.03.01.07.07.03	Compuerta hidráulica mixta
4	AO.03.01.07.08.00	Modulo de máscara

Tabla 2. Parámetros y atributos hidráulicos (Fuente: AEAS)

Para el presente TFM, se ha generado un sistema de clasificación de elementos, incluyendo los componentes hidráulicos que se encuentran en canales de zonas regables.

3.11.2. Definición de los nuevos parámetros de mantenimiento.

El mantenimiento es la fase más extensa del ciclo de vida de la infraestructura. Para el uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) es importante la integración de datos detallados y precisos para la gestión del canal en un entorno digital.

Dentro de la fase de mantenimiento, se busca la eficiencia en las operaciones y la sostenibilidad de la infraestructura, para ello es necesario definir y estandarizar nuevos parámetros específicos que faciliten la gestión, monitoreo y ejecución de tareas.

Con la definición de los nuevos parámetros de mantenimiento de canales con metodología BIM, se mejora la eficiencia y gestión de la infraestructura.

Los parámetros propuestos para mantenimiento de canales incluyen:

- Identificación del canal, en el que se establece qué canal es, la clasificación, subdivisión y codificación de los elementos.
- Localización del elemento, indicando su ubicación.
- Propiedades del mantenimiento, en donde se desarrollan los distintos atributos generados para mantenimiento de canales con metodología BIM.

A continuación, se presenta la tabulación de parámetros y atributos.

Estos parámetros, se distribuyen en tres Property Set de identificación, localización y mantenimiento.

01_CANAL_Identificacion	Property Set 1 con los atributos generales de identificación de elementos y canal
02_CANAL_Localizacion	Property Set 2 con los atributos de localización
03_CANAL_Mantenimiento	Property Set 3 con los atributos generales de identificación de mantenimiento

Tabla 3. Parámetros canales (Fuente: elaboración propia)

Así pues, el Property Set 1, 01_CANAL_Identificación, cuenta con los siguientes atributos:

01_CANAL_Identificación	Property Set 1 con los atributos generales de identificación de elementos y canal
01_01_CANAL_Canal	Identificación de a qué canal hace referencia el elemento
01_02_CANAL_Disciplina	Identificación de a qué disciplina hace referencia el elemento
01_03_CANAL_Subdisciplina	Identificación de a qué subdisciplina hace referencia el elemento
01_04_CANAL_Elemento	Nombre del elemento según la tabla de elementos de CANAL
01_05_CANAL_Codigo_clasificacion	Código del sistema de clasificación AEAS u otro propuesto por el grupo consultor
01_06_CANAL_Descripcion_clasificacion	Descripción del sistema de clasificación AEAS u otro propuesto por el grupo consultor

Tabla 4. Atributos 01 canales (Fuente: elaboración propia)

El Property Set 2, 02_CANAL_Localizacion, cuenta con los siguientes atributos:

02_CANAL_Localizacion	Property Set 2 con los atributos de localización
02_01_CANAL_Sistema_coordenadas	Sistema de referencia utilizado para la realización del canal
02_02_CANAL_PK	Punto kilométrico en el que está ubicado el elemento

Tabla 5. Atributos 02 canales (Fuente: elaboración propia)

Los Property Set generados para el mantenimiento son:

03_CANAL_Mantenimiento	Property Set 3 con los atributos generales de identificación de mantenimiento
03_01_CANAL_Fecha_instalacion	Fecha de instalación del elemento
03_02_CANAL_Fabricante	Identificación del fabricante
03_03_CANAL_Numero_serie	Número de serie de elemento
03_04_CANAL_Material	Acero,hormigón en masa, hormigón armado, mortero, zahorra.
03_05_CANAL_Frecuencia_mantenimiento	Diario, semana, quincenal, mensual, trimestral, semestral, anual
03_06_CANAL_Indice_estado	Número obtenido de la ficha de inspección
03_07_CANAL_Deterioros	Descripción de los deterioros según ficha
03_08_CANAL_Ficha_inspeccion	Vínculo ficha de inspección (drive)
03_09_CANAL_Fecha_Op_Mant	Fecha en que se realiza la operación de mantenimiento
03_10_CANAL_Parte_Op	Vínculo parte de operación (drive)
03_11_CANAL_Resp_Emp	Empresa responsable de la operación de mantenimiento.
03_12_CANAL_Resp_Op	Persona responsable de la operación de mantenimiento del canal.

Tabla 6. Atributos 03 canales (Fuente: elaboración propia)

La tabla de estos atributos en formato Excel, se dispone en el Anexo III del presente TFM.

3.12. Incorporación del sistema de clasificación al modelo REVIT

El modelo digital del canal, con sus elementos como son las compuertas, tomas, pasos superiores, etc., se ha generado en REVIT.

Este software dispone de la opción de incluir la parametrización de los elementos designados. De esta manera, cada elemento del canal dispondrá de los parámetros y atributos vinculados.

Se introducen los parámetros a través de gestionar parámetros de proyecto.

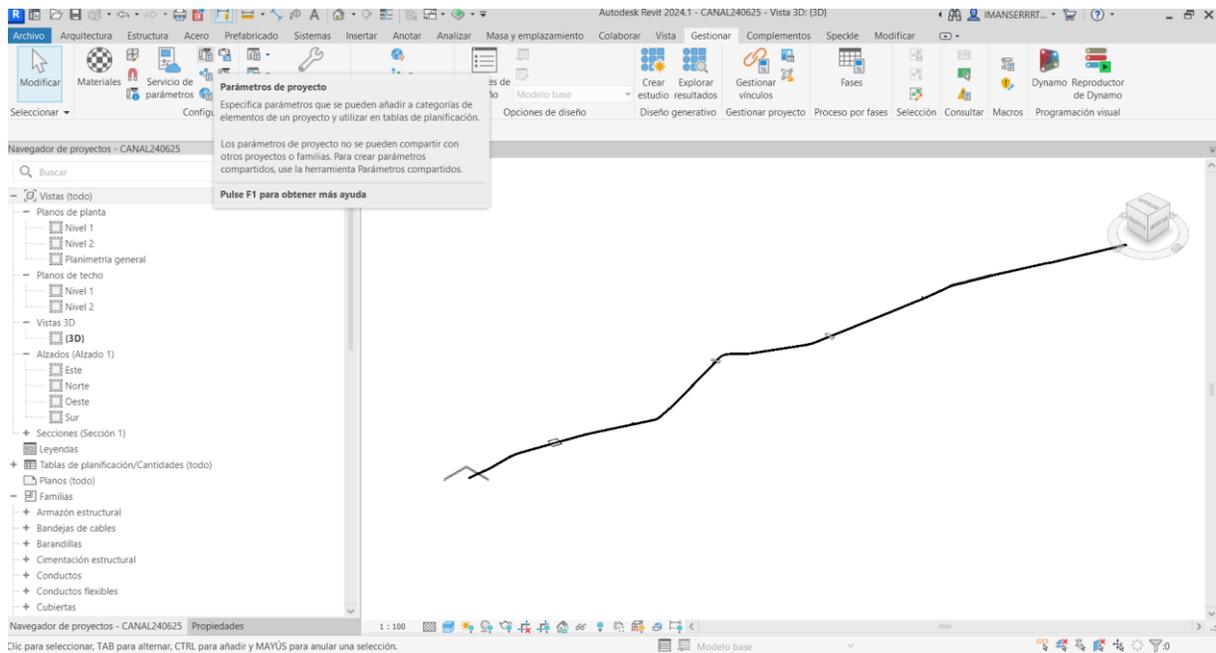


Figura 29. Introducción de parámetros en Revit. (Fuente: elaboración propia)

En esa opción, marcando cada elemento o familia de elementos, se van introduciendo los parámetros para mantenimiento de canales.

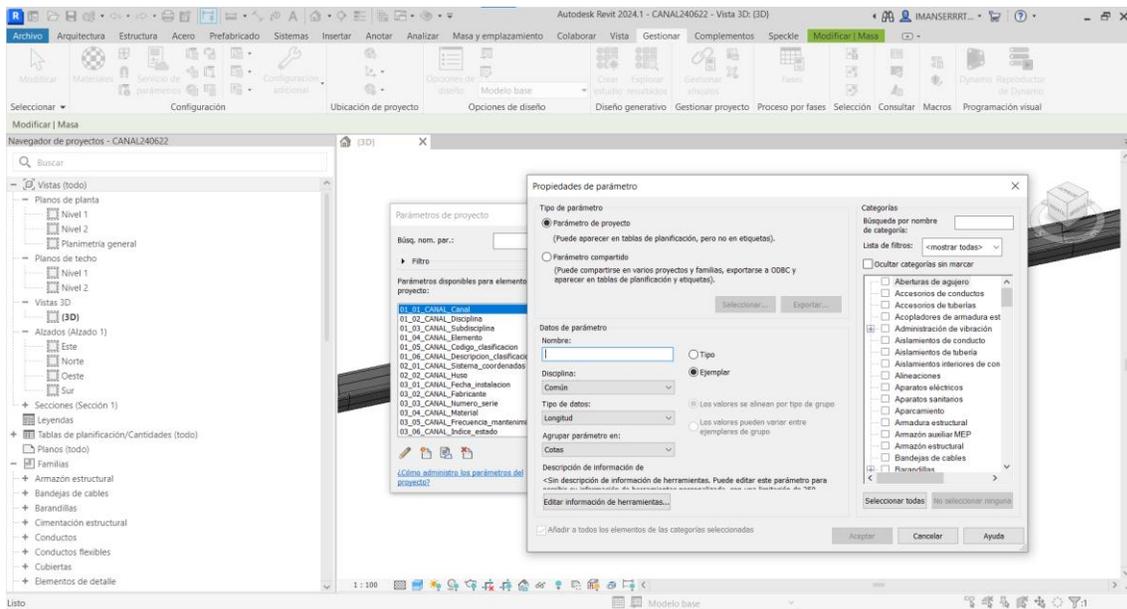


Figura 30. Propiedades de parámetro en Revit. (Fuente: elaboración propia)

De esta manera se dispondrá en cada elemento, una serie de parámetros con sus correspondientes atributos y vinculación a los trabajos de mantenimiento y conservación.

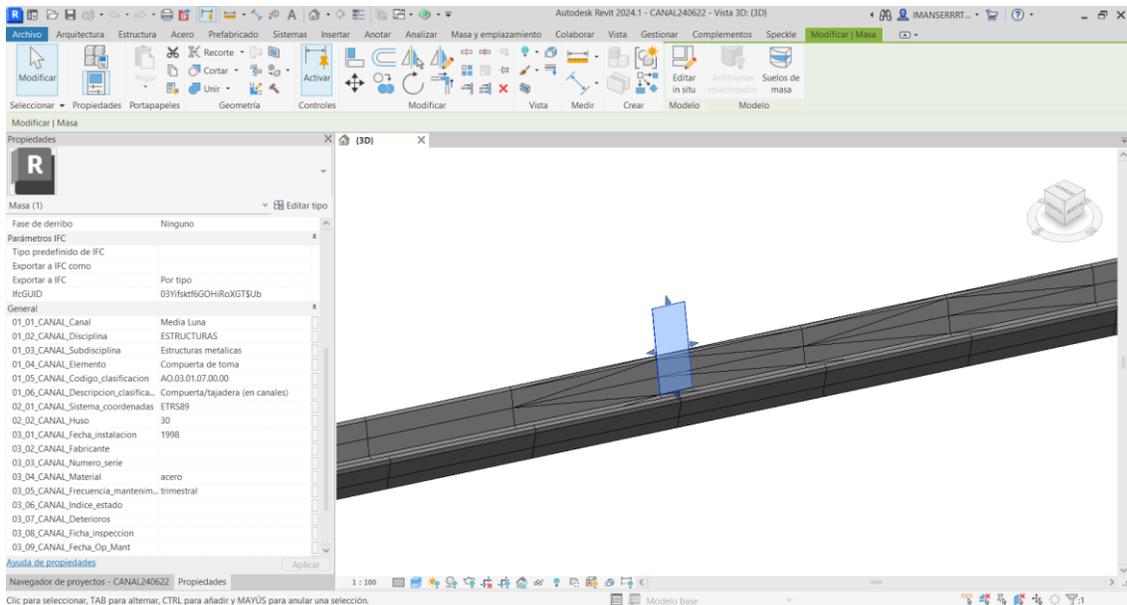


Figura 31. Visualización de propiedades en Revit. (Fuente: elaboración propia)

3.13. Generación de registros e informes para conservación

En el mantenimiento y conservación del canal, es necesario el reconocimiento de estado, para lo cual y mediante Microsoft Excel, se generan unas fichas de inspección valoradas que permiten priorizar y servir de herramienta en la planificación de los trabajos.

Por otro lado, una vez determinada la planificación de estos trabajos, se procede a la ejecución de las reparaciones y realización de las operaciones necesarias para el correcto mantenimiento del sistema, para lo cual se generan unos partes de incidencia y operación para el control, seguimiento y análisis de los trabajos.

3.13.1. Fichas de inspección

Un canal de riego, requiera para su inspección de personal con conocimiento técnico y experiencia suficiente en este tipo de infraestructuras, para aportar una valoración lo más objetiva posible y crítica del estado de la misma.

Para generación de fichas de inspección, se han considerado una serie de campos necesarios para obtener una valoración clara, que permita su utilización con posterioridad para la planificación de los trabajos.

Estos ámbitos a cumplimentar serán los siguientes:

- Tipo de elemento: Canal, compuerta, toma, acequia, etc.
- Fecha de la inspección
- Datos del inspector
- Ubicación: pk, id, o georreferenciación
- Datos de hidráulicos vinculados al elemento: caudal, superficie regable, etc.
- Indicar la existencia de particularidades en el elemento: rejas, automatización, etc.
- Descripción del deterioro
- Valoración de la descripción de manera ponderada en función de:

- Extensión de la incidencia, con valores progresivos entre 1 (afección menor del 25%) y 4 (afección mayor del 75%)
- Afección a la funcionalidad, con valores entre 0 (poca posibilidad afectar a su función) y 2 (alta posibilidad afectar a su función o que ya no cumple la función)
- Evolución de la incidencia, con valores entre 0 (requiere actuación a largo plazo) y 2 (requiere actuación a corto plazo o urgente)
- Afección a la seguridad, con valores entre 0 (Poca o ninguna posibilidad de afección a otros elementos, seguridad de personas, carreteras etc.) y 2 (Alta posibilidad de afección a otros elementos, seguridad de personas, carreteras etc.)

En base a estas valoraciones, mediante formulaciones en Excel, se obtiene un valor que determinará el índice de estado (valorado entre 0 y 100).

Con este índice y en base a unos intervalos premarcados, se puede establecer el estado de un elemento del canal.

- Valoración entre 0-20, se considera sin deterioros evidentes o con deterioros sin consecuencias relevantes para la durabilidad, condiciones de servicio o seguridad.
- Valoración entre 21-40, se consideran deterioros que pueden tener una evolución patológica que reduzcan las condiciones de servicio o durabilidad. Requiere seguimiento o actuación a largo plazo.
- Valoración entre 41-60, se consideran deterioros que evidencien una reducción de las condiciones de servicio o durabilidad. Puede requerir una actuación a medio plazo.
- Valoración entre 61-80, se consideran deterioros que modifica el comportamiento resistente o funcional. Reducción importante nivel de servicio. Requiere actuación a corto plazo.
- Valoración entre 81-100, se consideran deterioros que compromete la seguridad o funcionalidad o que ya no es operativo. Requiere actuación inmediata/urgente.

Con la consideración de estos indicadores de estado, se puede implementar la planificación de los trabajos de conservación y mantenimiento del canal.

Para la generación de fichas de inspección del canal, mediante la herramienta Excel, se ha planteado una ficha para cada elemento, que, de manera genérica, puede encontrarse en un canal de riego.

Estas fichas de inspección, se encontrarán dentro del repositorio CDE según la metodología BIM, y con un enlace al mismo desde los parámetros del correspondiente elemento

El archivo está a disposición en el Anexo IV del presente TFM.

Como ejemplo, en el presenta apartado disponemos la ficha de inspección de una toma de riego.

INSPECCION TOMA							
CANAL			FECHA:				
PK			INSPECTOR:				
ID TOMA							
SUPERFICIE RIEGO							
PASARELA (INDICAR SI, NO o No Aplica)							
TAPAS ARQUETAS (INDICAR SI, NO o No Aplica)							
CAUDAL AFORADO (vigil/no_vigil, en l/s)							
REJA (INDICAR SI, NO o No Aplica)							
PONDERACIÓN	DESCRIPCIÓN DETERIOROS	EXTENSIÓN (1-4)	AFECCION FUNCIONALIDAD (0-2)	EVOLUCIÓN (0-2)	AFECCION SEGURIDAD (0-2)	VALORACIÓN SUMA	VALORACION PONDERADA
3,50	Existencia de deterioros estructurales en compuerta que hacen necesario su reposición completa						
2,50	Existencia de daños estructurales en pasarela (barandillas, losa)						
1,75	Existencia de deterioros estructurales en elementos metálicos que necesitan reposición o reparación individual (volante, husillo, limitador)						
1,00	Existencia de daños estructurales en acompañamientos (arquetas, aletas, tapas, rejas)						
0,55	Existencia de sedimentos en boca o arqueta con reducción de capacidad hidráulica						
0,45	Existencia de deterioros en sellados, fugas.						
0,25	Existencia de deterioros superficiales en elementos metálicos que requieran rehabilitación (oxido, falta de engrase, etc)						
Índice de Estado (0-100)							0
VALORACIÓN	SIGNIFICADO						
0-20	Sin deterioros evidentes o con deterioros sin consecuencias relevantes para la durabilidad, condiciones de servicio o seguridad.						
21-40	Deterioros que pueden tener una evolución patológica que reduzcan las condiciones de servicio o durabilidad. Requiere seguimiento o actuación a largo plazo.						
41-60	Deterioros que evidencien una reducción de las condiciones de servicio o durabilidad. Puede requerir una actuación a medio plazo.						
61-80	Deterioros que modifica el comportamiento resistente o funcional. Reducción importante nivel de servicio. Requiere actuación a corto plazo.						
81-100	Deterioros que compromete la seguridad o funcionalidad o que ya no es operativo. Requiere actuación inmediata/urgente.						

Figura 32. Ficha de inspección (Fuente: elaboración propia)

3.13.2. Tablas de planificación de actividades

En una infraestructura hidráulica como es un canal de riegos, para la planificación de las actividades se ha de tener en cuenta una serie de parámetros independiente de la propia infraestructura a mantener. Son parámetros vinculados al servicio y a las afecciones al usuario.

Dependiendo de la gestión del regadío, la temporalidad (campañas de riego), el terreno y el tipo de cultivo son dos aspectos a tener en cuenta a la hora de planificar.

Los accesos de que dispone la infraestructura (camino de servicio), también se tendrán en cuenta para analizar la temporalidad y recursos necesarios para realizar una operación.

Mediante la herramienta Excel, se puede establecer una tabla de doble entrada, en la que la fila superior corresponda a las fechas de la actuación y la primera columna corresponda a las actividades consideradas en el mantenimiento.

Las celdas de doble entrada (fecha y actividad) pueden completarse con recursos utilizados.

De esta manera, se puede realizar una planificación de las operaciones para la conservación y el mantenimiento de un canal y zona regable.

3.13.3. Partes de incidencias y operación

El parte incidencia y operación, es el documento generado para registrar y reportar la ejecución de los trabajos, tareas, actividades o eventos operativos.

Este documento permite la gestión y el seguimiento de las operaciones, lo que facilita un control preciso y sistemático de las acciones llevadas a cabo.

Los partes de incidencias y operación, se generan mediante Excel, incluyendo los siguientes campos:

- Denominación del parte
- Nomenclatura correlativa de las actuaciones
- Fecha
- Georreferenciación

- Tipo de actuación y fechas de inicio-fin de los trabajos
- Descripción de trabajos, recursos y medios.
- Valoración de la operación.
- Incorporación de plano de ubicación.
- Incorporación imagen estado antes de la reparación.
- Incorporación imagen estado durante de la reparación.
- Incorporación imagen estado después de la reparación.

Los partes de incidencia y operación, como herramienta de gestión y control de los trabajos de mantenimiento y conservación del canal, se han generado con Excel, automatizando en la medida de lo posible la inserción de datos.

Los partes de operación, al igual que las fichas de inspección, se encontrarán dentro del repositorio CDE según la metodología BIM, y con un enlace al mismo desde los parámetros del correspondiente elemento.

El archivo está a disposición en el Anexo V del presente TFM.

Como muestra, en el presenta apartado se presenta un modelo de parte de incidencia y operación que de manera genérica se podría extrapolar a cualquier canal de riego.

PARTE DE INCIDENCIA					COMUNICACIÓN		
DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA							
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO		
FECHA APERTURA DE INCIDENCIA			ORIGEN / DETECCIÓN DE LA INCIDENCIA:				
DÍA	MES	AÑO				CÓDIGO:	
INCIDENCIA DETECTADA:							
OBSERVACIONES:							
FOTOS INCIDENCIA: <input type="checkbox"/> SI Foto Situación zona afectada. <input type="checkbox"/> SI Foto Equipo / Elemento afectado. <input type="checkbox"/> SI Foto Detalle.							
PROPUESTA DE ACTUACIÓN							
TIPO ACTUACION		FECHA COMIENZO TRABAJOS			FECHA FINALIZACIÓN TRABAJOS		
		DÍA	MES	AÑO	DÍA	MES	AÑO
DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS NECESARIOS:							
PERSONAL NECESARIO:							
MEDIOS NECESARIOS:							
OBSERVACIONES:							
PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		ESTADO DE LOS TRABAJOS PARA COMIENZO			FECHA APROBACIÓN		
		[]			DÍA	MES	AÑO
CERTIFICACIÓN							
					MES	AÑO	

PARTE DE OPERACIÓN	RELACIÓN VALORADA

CANAL

DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA					
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO

FECHA APERTURA DE INCIDENCIA			ORIGEN / DETECCIÓN DE LA INCIDENCIA:		CÓDIGO:
DÍA	MES	AÑO			

INCIDENCIA DETECTADA:
OBSERVACIONES:

DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:

RELACIÓN VALORADA DE LOS TRABAJOS (PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL)					
Cod	UM	DESCRIPCIÓN	MED	PRECIO	PRECIO PARTIDA
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €

IMPORTE. EJECUCION MATERIAL - €

Baja (%)
 Baja

G.G y B.I. - €

Suma - €

Baja - €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA - €

IVA 21% - €

TOTAL - €

PARTE DE OPERACIÓN				FOTOGRAFÍAS	

CANAL					
DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA					
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO

Img. situación georeferenciada.

Img. Estado 1	Img. Estado 2

Img. Reparación 1	Img. Reparación 2

Img. Reparado 1	Img. Reparado 2

Figura 33. Parte de operación (Fuente: elaboración propia)

4. APLICACIÓN A CASO PRÁCTICO

4.1. Alcance del caso práctico

La metodología BIM aplicada al mantenimiento para canales de riego, pretende ser una herramienta compatible con cualquier infraestructura de este tipo. A este objeto, se ha efectuado una aplicación práctica a una infraestructura real.

El caso práctico se ha realizado sobre un tramo de canal existente, aplicando los conocimientos, sistemas y desarrollos asimilados durante la gestación del presente TFM.

Los objetivos a conseguir serán los siguientes:

- **Generación de una metodología de aplicación para el mantenimiento preventivo de canales en zonas regables**, mediante inspecciones sistemáticas y valoradas, que permitan planificar las distintas operaciones de conservación.
- **Generación un modelo digital del canal y sus elementos** (compuertas, tomas, etc.), obtenido mediante tecnología fotogramétrica de última generación y distintos softwares de desarrollo BIM, que permitan disponer de una herramienta digital para implementar el mantenimiento.
- **Generación de parámetros y atributos específicos para mantenimiento y conservación de canales en zonas regables**. Estos atributos estarán vinculados a las inspecciones y operaciones de mantenimiento, permitiendo una gestión más eficiente del sistema.
- **Disposición de un CDE** para el repositorio de la documentación vinculada y generada.

4.2. Características de la zona regable de la Real Acequia del Jarama y del canal de la Media Luna.

Uno de los aspectos fundamentales para de la gestión del mantenimiento y conservación en una infraestructura existente, es el conocimiento de la misma.

La zona regable de la Real Acequia del Jarama está situada entre la Presa del Rey en el término municipal de Rivas-Vaciamadrid (Madrid), donde nace la Real Acequia del Jarama y el término municipal de Mocejón (Toledo), donde tiene lugar el desagüe al río Tajo.

Esta zona regable y su composición, abarca casi cinco siglos (desde finales del siglo XVI hasta el siglo XX), pero la mayor parte de su construcción tuvo lugar a finales de los siglos XVII y XVIII y entre los siglos XVII y XIX y XX.

La primera propuesta se basó en ambiciosas predicciones sobre la actuación del monarca Felipe II en torno al palacio real de Aranjuez, en cuanto a la ordenación y uso de la zona comprendida entre Madrid y Toledo. Felipe II y sus sucesores pretendían regar las tierras de la Llanura del Tajo y Llanura del Jarama, y para conseguirlo el monarca preguntó a los ingenieros sobre la construcción en la zona de un canal. Los primeros estudios datan de 1562 en donde Pedro de Esquivel y los ingenieros de la época, respondieron positivamente a la posibilidad del riego.

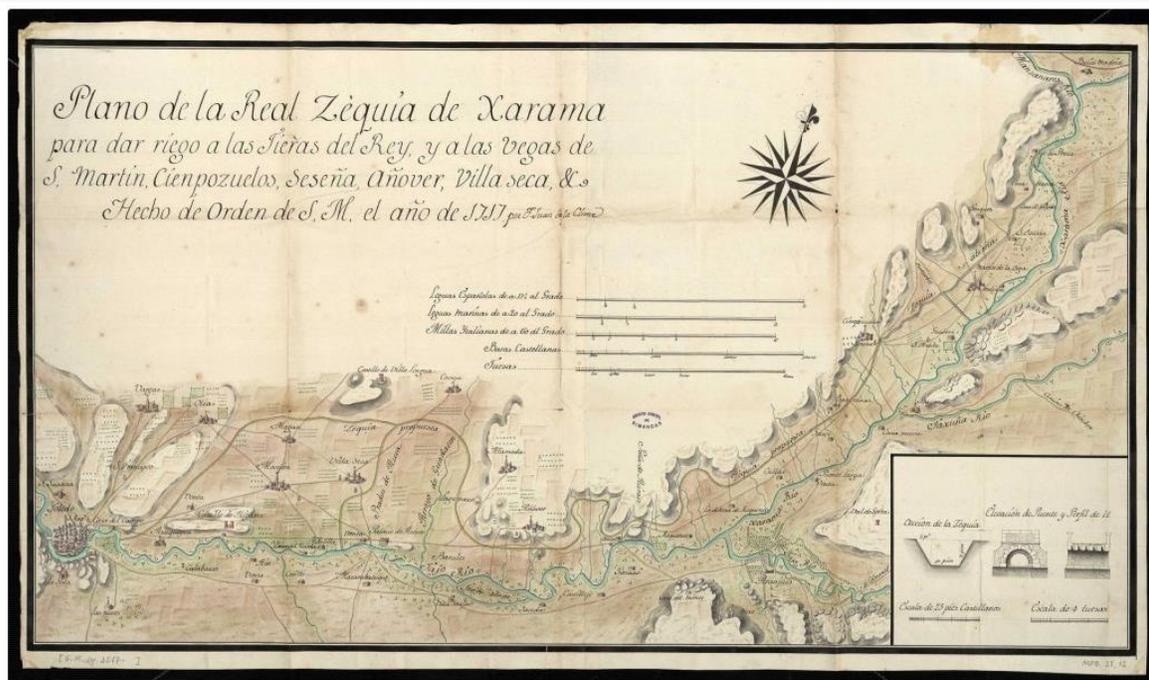


Figura 34. Plano de la Real Acequia del Jarama 1717 (Fuente: Ministerio de Cultura y Deporte)

Se propone un sistema constructivo que busca solucionar los problemas que puede provocar la naturaleza de la zona, al ser un terreno yesífero y muy poroso.

En 1571, Juan Otazo de Guevara, bajo la dirección de Juan de Herrera, comenzó a realizar obras de la Real Acequia del Jarama por un trazado similar a los construidos posteriormente.

En esta época se construyó la primera presa aguas debajo de la existente hoy en día, parte del canal de riego, y una interesante estructura que ahora es la esclusa conocida como "El Castillo".

Con posterioridad, bajo los reinados de Felipe IV y Carlos II, se realizan nuevos estudios y trazados para los canales de riego una vez despejados los terrenos.

La construcción se comenzó en caja de trinchera, con diversa problemática provocada por la tipología del terreno.

Se produjo un gran socavón entre las localidades madrileñas de San Martín de la Vega y Ciempozuelos, lo que dejó inutilizable el canal de riego.

Para solucionar este problema se exploró la apertura de canales alternativos como el canal de la Media Luna, permitiendo que canales de riego estuvieran garantizados.

A principios del siglo XIX se produjeron diversos problemas administrativos relacionados con las invasiones de Napoleón, lo que llevó a un período en el que los canales volvieron a quedar completamente abandonados.

Una vez expulsadas las tropas francesas, se retoma el control del canal y en 1815 se presenta un documento sobre el estado del canal de riego e indica lo que tiene que hacer. Podría considerarse una visión de actividades de conservación. Esto permitió seguir irrigando más de 50.000 fanegas de tierra (1 fanega equivale a 6.666 m²).

En 1816 el ingeniero Pedro Delgado deja constancia de labores de limpieza, retirada de aterramientos, desbroces y otras reparaciones, quedando documentado en "Importante Memoria sobre el Reconocimiento Científico de la Real Acequia".

Hasta mediados del siglo XX (1939-1945) la zona regable no se modificó. Son de esa época las ampliaciones y modificaciones.

En la actualidad el canal principal de la Real Acequia del Jarama transcurre por una longitud de 72 kilómetros y riego una superficie de 12.500 hectáreas



Figura 35. Plano de canales y acequias de la zona regable del Jarama (Fuente: elaboración propia)

Dentro de esta infraestructura, y a una escala más manejable para el presente TFM, uno de los ramales más importantes es el canal de la Media Luna.

Este canal cuenta con una longitud de 15 km, con tramos de sección trapecial y rectangular en hormigón en masa.

La Media Luna cuenta para la distribución de un caudal de $3\text{m}^3/\text{s}$ con una serie de compuertas planas de regulación tipo ataguía, y compuertas de toma tipo tajadera.

Por su trazado, próximo a infraestructuras ferroviarias, carreteras y explotaciones extractivas (graveras), también dispone de alguna estructura singular como pasos superiores.



Figura 36. Plano del canal de La Media Luna (Fuente: elaboración propia)

4.3. Modelización de las estructuras

4.3.1. Canal

La obtención del modelo digital del canal, se desarrolla a través de varios procedimientos y mediante el uso de distintos softwares de aplicación en BIM.

El primer paso, es la obtención de datos mediante fotogrametría desde la realidad al espectro digital. Esto se realizó mediante el uso de drones implementados con cámaras.



Ilustración 35. Canal de La Media Luna (Fuente: elaboración propia)

Con fecha 23 de febrero de 2024, y con una previsibilidad de climatología sin lluvia, viento ni fenómenos atmosféricos adversos, previa solitud a las autoridades aeroportuarias, se realizó el vuelo.

Los datos recogidos mediante tecnología de drones y las cámaras utilizadas son datos topográficos y fotográficos tanto del propio canal como de sus elementos más singulares (como compuertas, tomas, pasos sobre canal, etc.).

Para el vuelo se utilizó un multirrotoir compuesto por cuatro motores en configuración X de la marca DJI, modelo MAVIC 2 PRO con un empuje total de 2,50 kg, y un Husky como módulo de adquisición de datos.

Para tomar las fotografías se utilizó una cámara montada en un RPAS con un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles montado en una Hasselblad. La apertura de esta cámara es variable de F2.8 a F11.

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
L1D-20c (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 micras

Tabla 7. Características cámara dron. (Fuente: elaboración propia)



Ilustración 36. Dron multirotor. (Fuente: elaboración propia)

Con posterioridad, se utilizan los programas Agisoft Methshape y Agisoft Photoscan conjuntamente con técnicas de fotogrametría digital, para procesar imágenes digitales y generar reconstrucciones 3D del entorno.



Este software genera nubes de puntos a partir de múltiples imágenes para crear ortofotos georreferenciadas de alta resolución y modelos digitales del terreno.

La nube de puntos generada con el vuelo, presenta todos los elementos recogidos en el mismo (árboles, arbustivas, zonas de agua en el canal, etc.). Mediante el software CloudCompare, podemos visualizar esa nube de puntos.

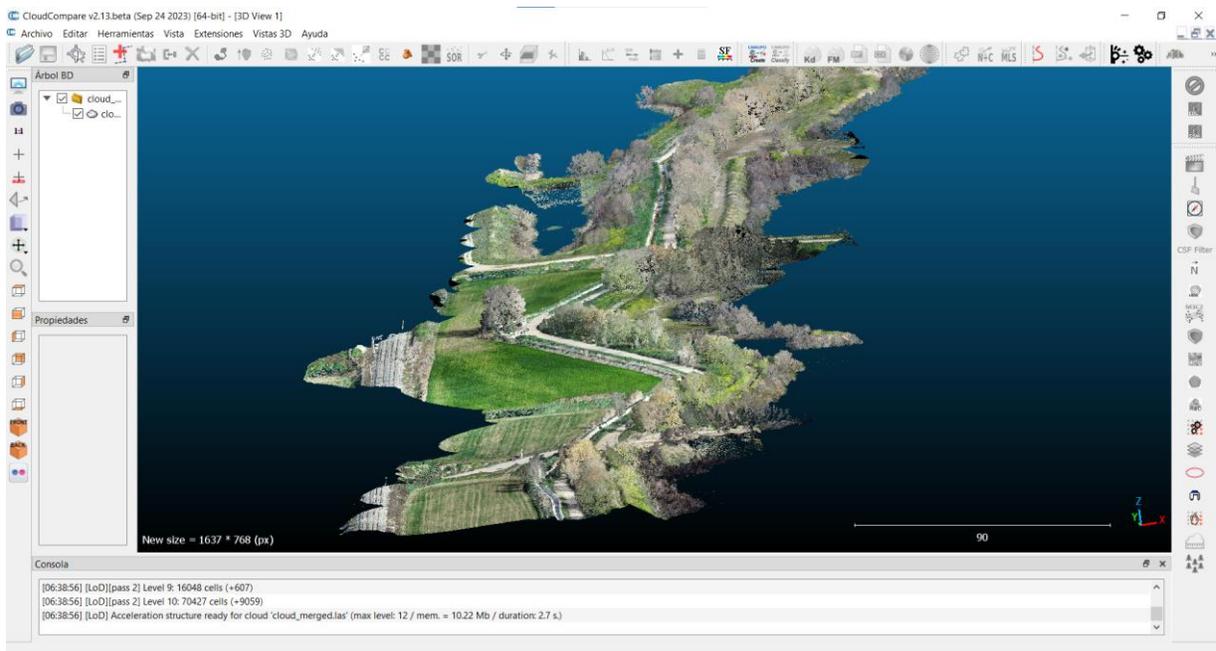


Figura 37. Nube de puntos en CloudCompare (Elaboración: fuente propia)

Nuestro objetivo es la digitalización del canal, por lo tanto, el resto de puntos del terreno no son necesarios, y requieren una limpieza para conseguir el trazado y la topografía de la infraestructura.

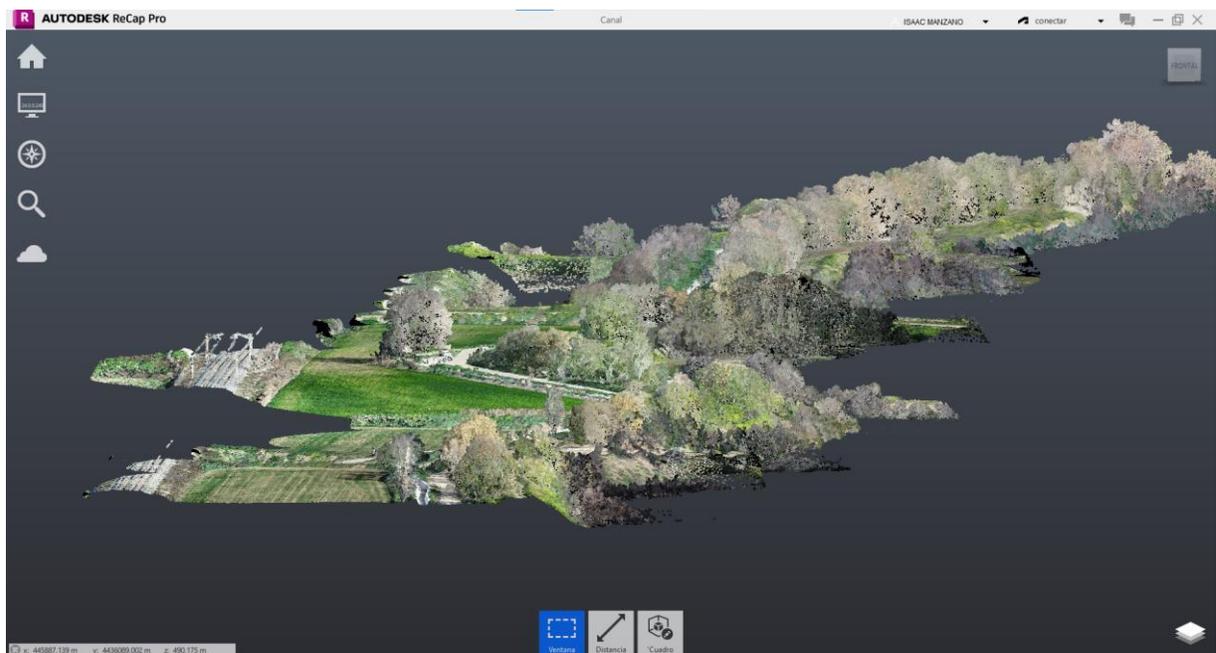


Figura 38. Nube de puntos en ReCap (Elaboración: fuente propia)

Mediante el software ReCap, se efectúa la eliminación por secciones de los puntos no referenciados al canal. De esta manera se obtiene una disposición limpia de la traza del mismo.

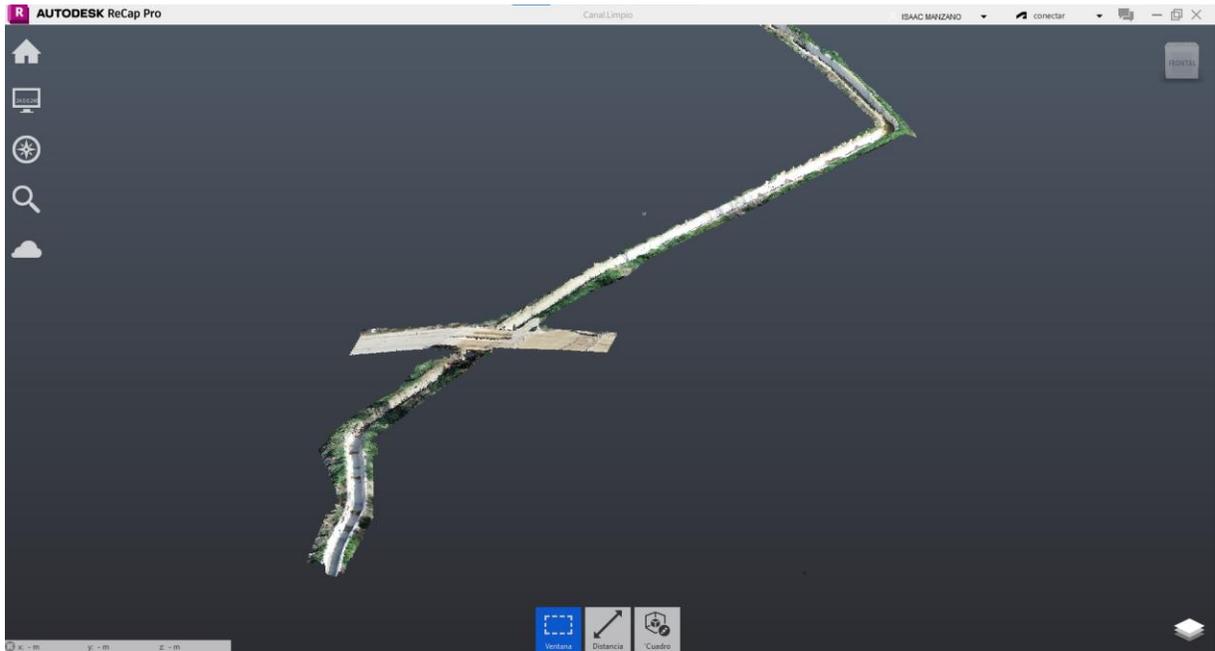


Figura 39. Nube de puntos limpia en ReCap (Elaboración: fuente propia)

Para la generación del modelo digital del canal, se optó por el uso del software ISTRAM. Se trata de una herramienta de uso en trazado de infraestructura lineales (ferrocarril, carreteras, etc).

De manera innovadora con este software, se realizó el modelo digital de un canal, lo que implicó una serie de dificultades solventadas durante el presente TFM en colaboración con Buhodra Ingeniería, S.A.

Incluimos la nube de puntos en nuestro proyecto de ISTRAM, para la obtención de un “terreno” digital que será nuestro canal.

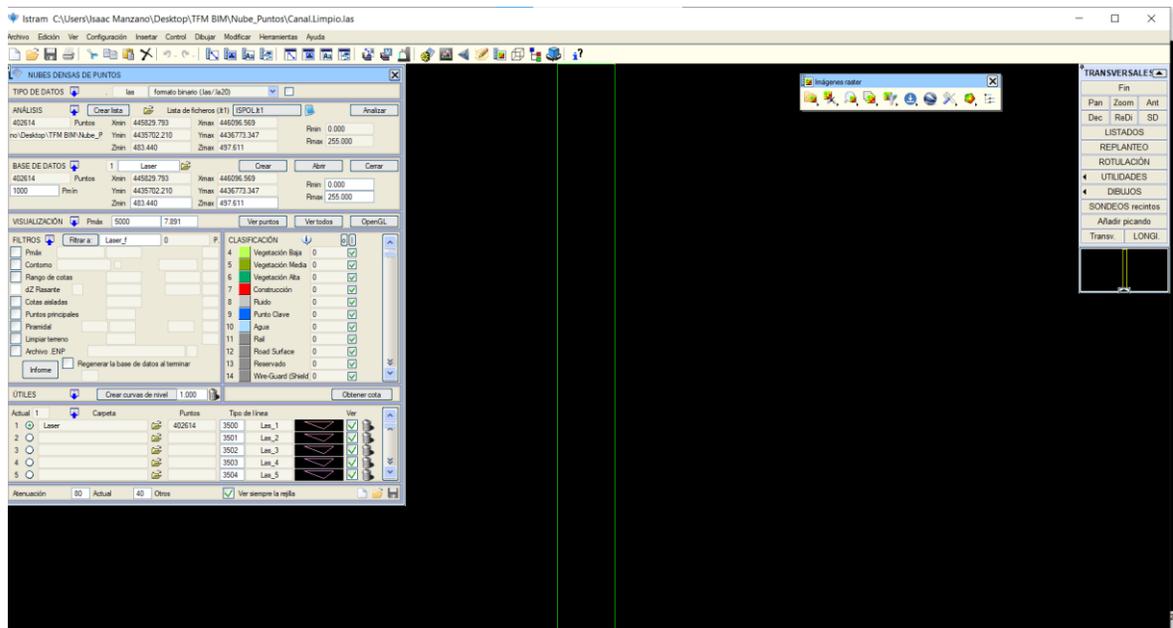


Figura 40. Inserción de nube de puntos en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)

Sobre ese “terreno”, describimos la planta del canal desarrollada con ejes de trazado.

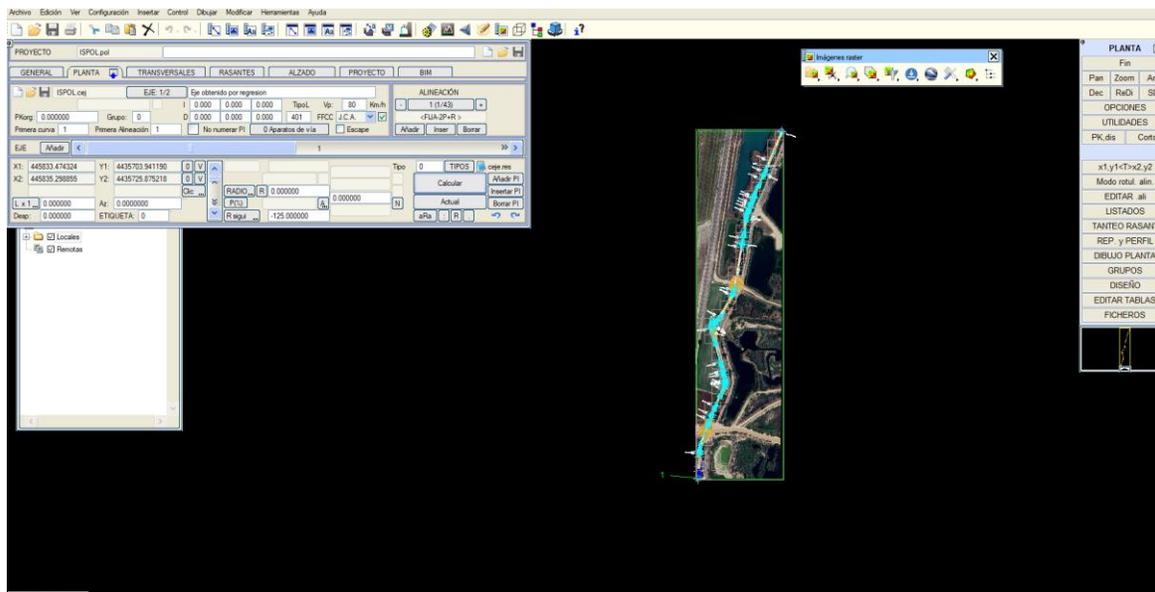


Figura 41. Inserción de ejes en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)

Una vez creada esa planta, se procede a la generación de perfiles transversales del “terreno” del canal.

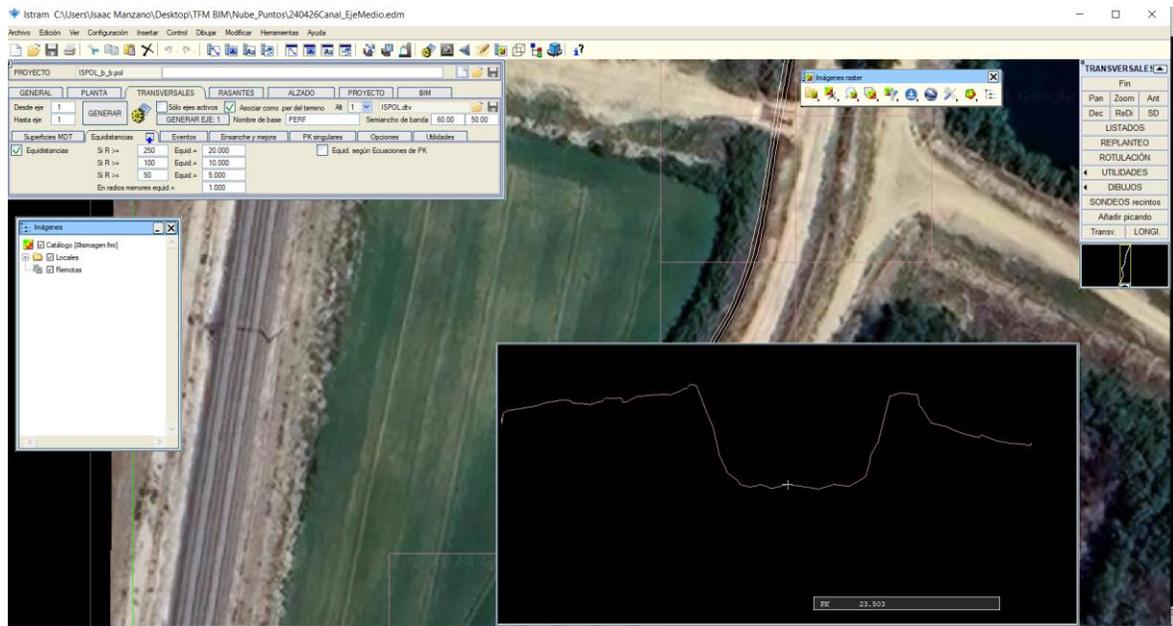


Figura 42. Generación de perfiles en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)

Para la obtención de un modelo más definido, generamos en alzado secciones tipo adaptadas al canal existente. Con el resultado de distinta secciones y transiciones a lo largo de la traza del canal.

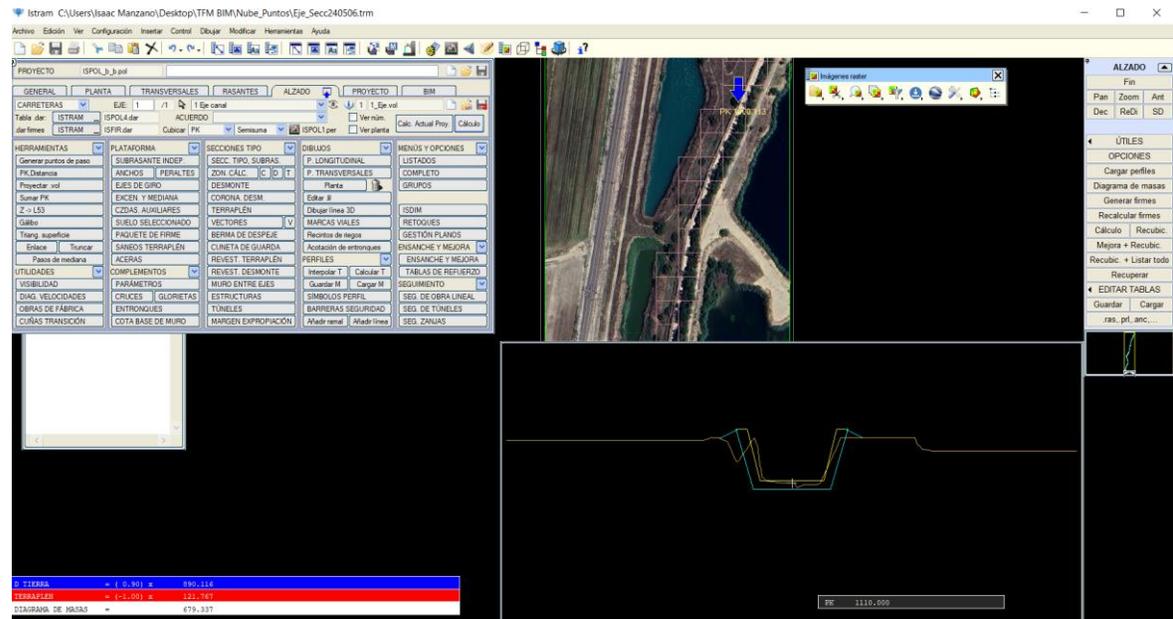


Figura 43. Generación de secciones en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)

ISTRAM permite la exportación de elementos y proyectos en formatos digitales diversos y adaptables a los distintos requerimientos de BIM.

Para la transposición al software de modelado REVIT, fue necesario generar cuatro tramos de eje de trazado, siendo exportados en archivos interoperable IFC 4.0., debido a la carga de datos del archivo.

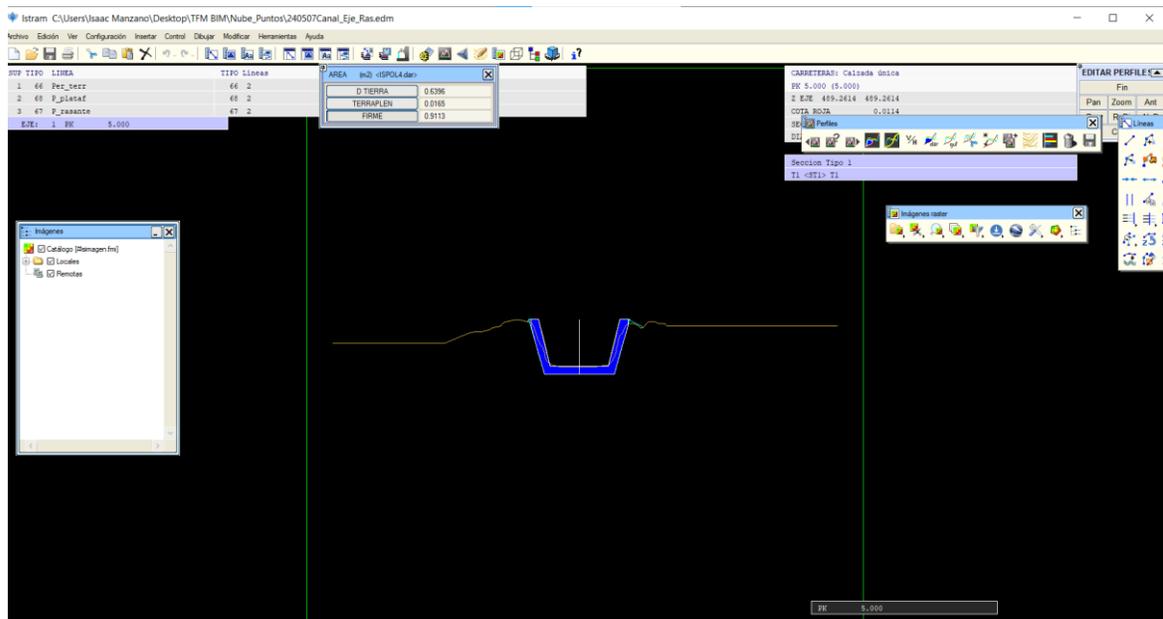


Figura 44. Sección de canal en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)

Para la inclusión del canal en Revit, establecemos las coordenadas del eje en CAD para referenciarlas al nuevo proyecto.

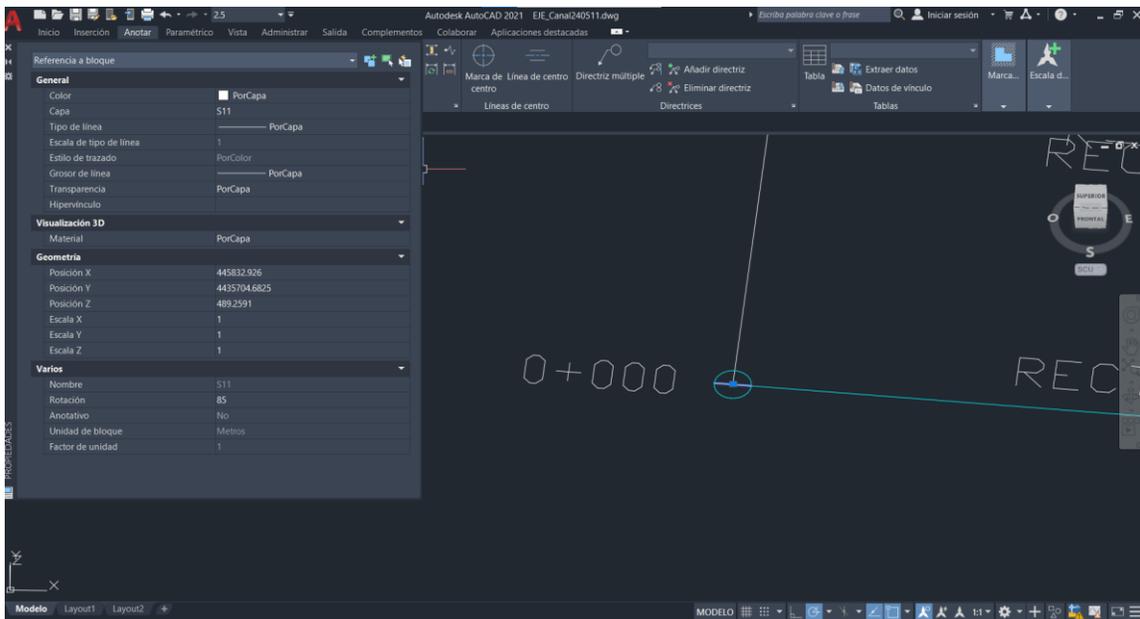


Figura 45. Punto base del eje en CAD. (Elaboración: fuente propia)

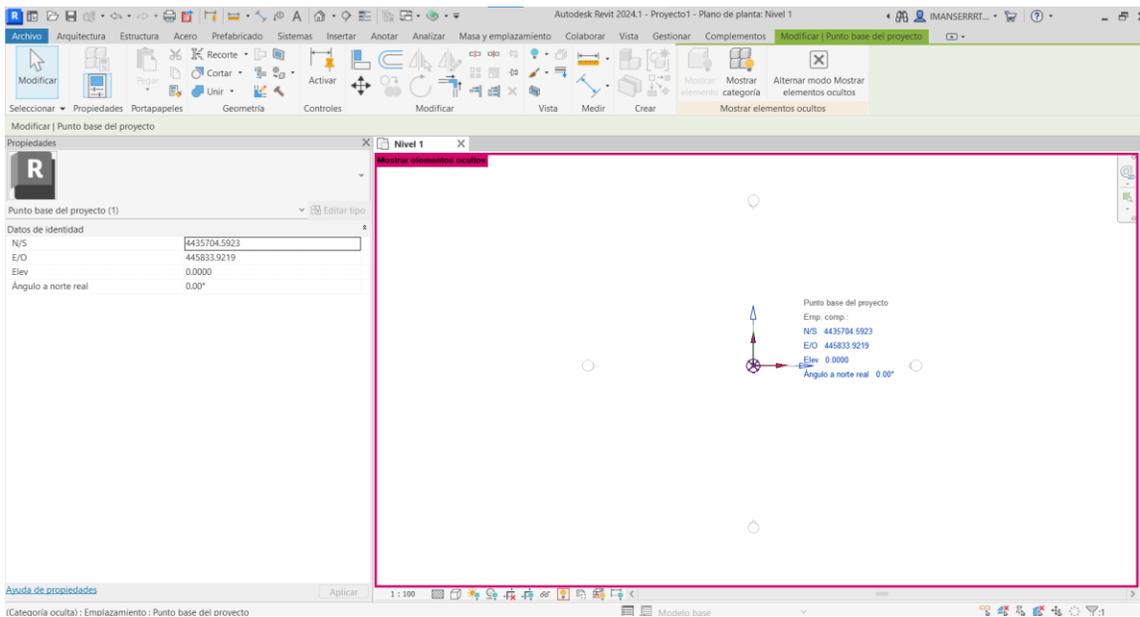


Figura 46. Inserción de punto base en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

Establecido el punto base del proyecto, se procede a la vinculación de los IFC del eje del canal. Referenciando los elementos singulares: compuertas reguladoras, compuertas de toma y pasos sobre canal mediante secciones.

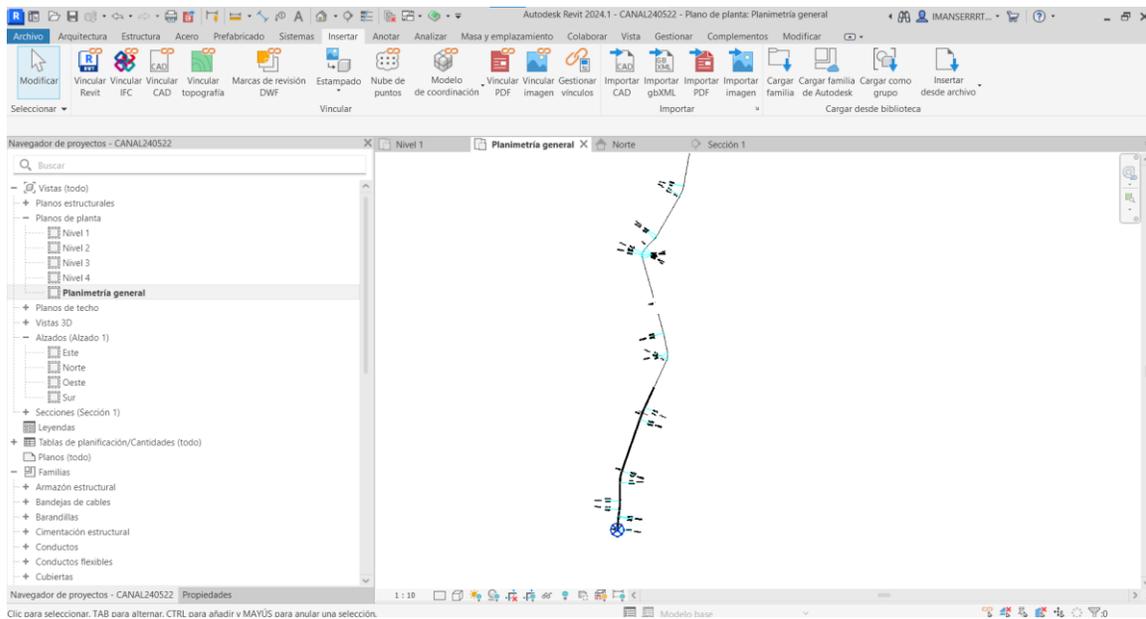


Figura 47. Eje del canal en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

Sobre el eje del canal se vincula la nube de puntos, para comprobación de la correcta ubicación de los elementos del canal.

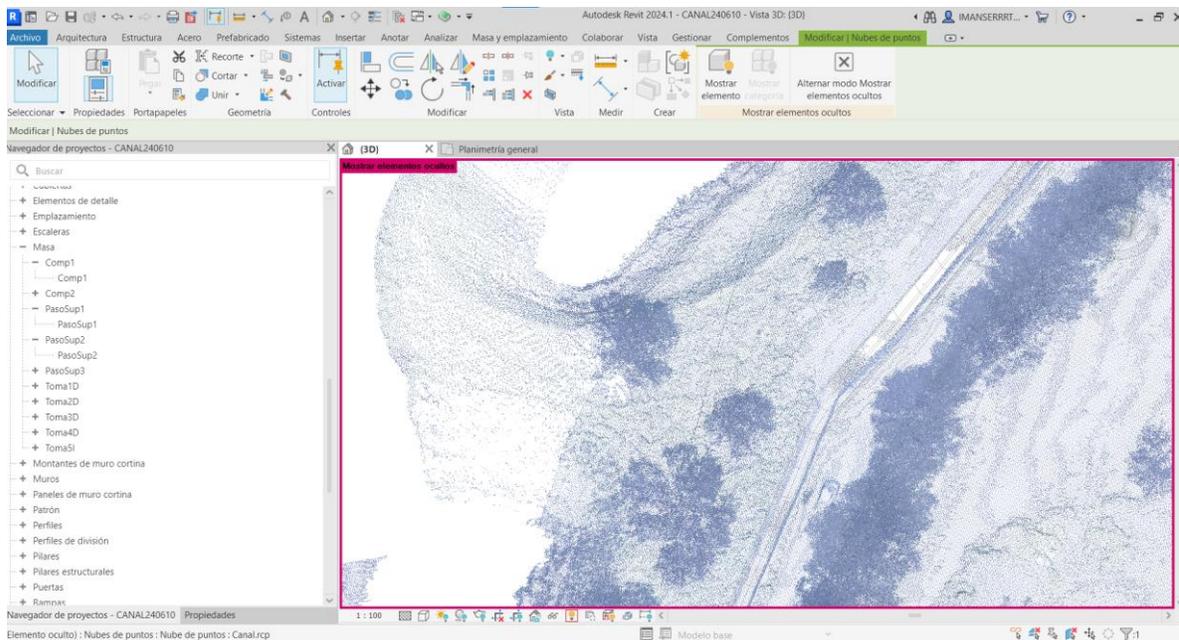


Figura 48. Nube de puntos en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

En la vista tridimensional el canal esta digitalizado.

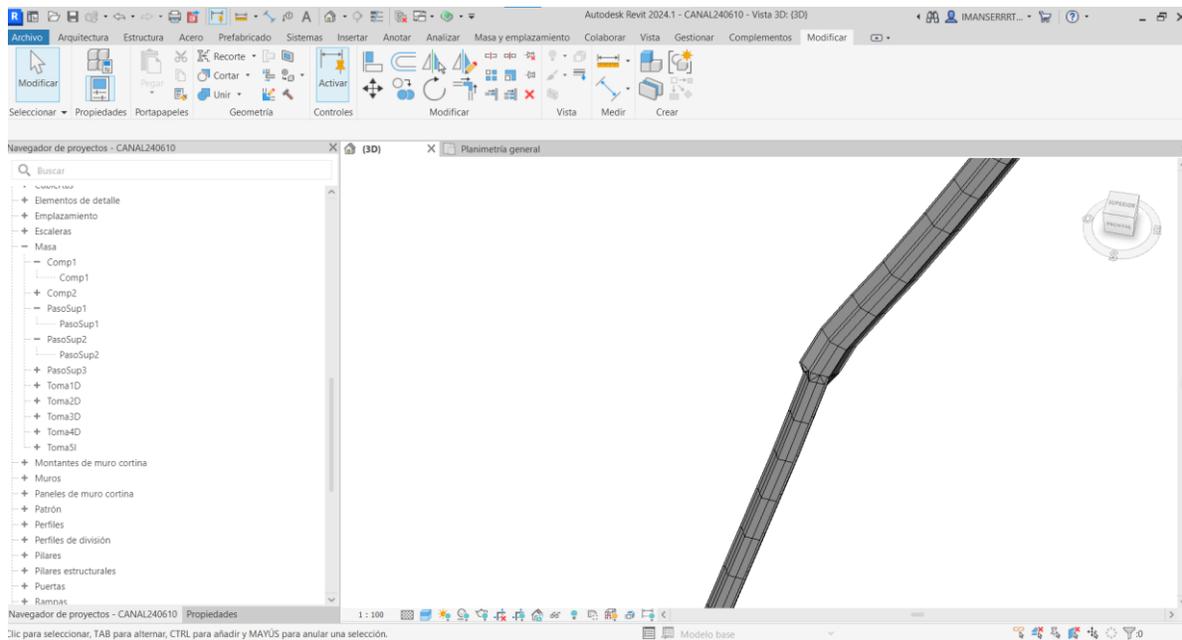


Figura 49. Canal generado en ISTRAM y vinculado en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

4.3.2. Compuerta de regulación.

Desde Revit, se permite cargar familias de fabricantes para incorporar elementos específicos y detallados en los modelos. Sin embargo, en ocasiones, es posible que no se encuentren disponibles las familias exactas de los elementos de campo que se necesitan. Desde AEAS, han dispuesto algunos elementos hidráulicos modelados, que no han podido implementarse en Revit al no estar en formato rfa.. Ante esta situación, se opta por reflejar los elementos utilizando un nivel de detalle bajo.

La adopción de esta decisión, se basa en que, para el mantenimiento, lo más importante es la información asociada a cada elemento georreferenciado, independientemente de su nivel de detalle. La ubicación y los datos relacionados con el elemento son lo importante para la gestión y el mantenimiento eficientes, más allá de la representación visual detallada en el modelo.

Así, aunque los elementos puedan verse simplificados en Revit, la información y la posición están incluidos, asegurando que los datos necesarios para el mantenimiento y la gestión estén siempre disponibles y actualizados.

Por lo tanto, se optó por la generación de las compuertas de regulación como una masa in situ de un sólido en Revit.

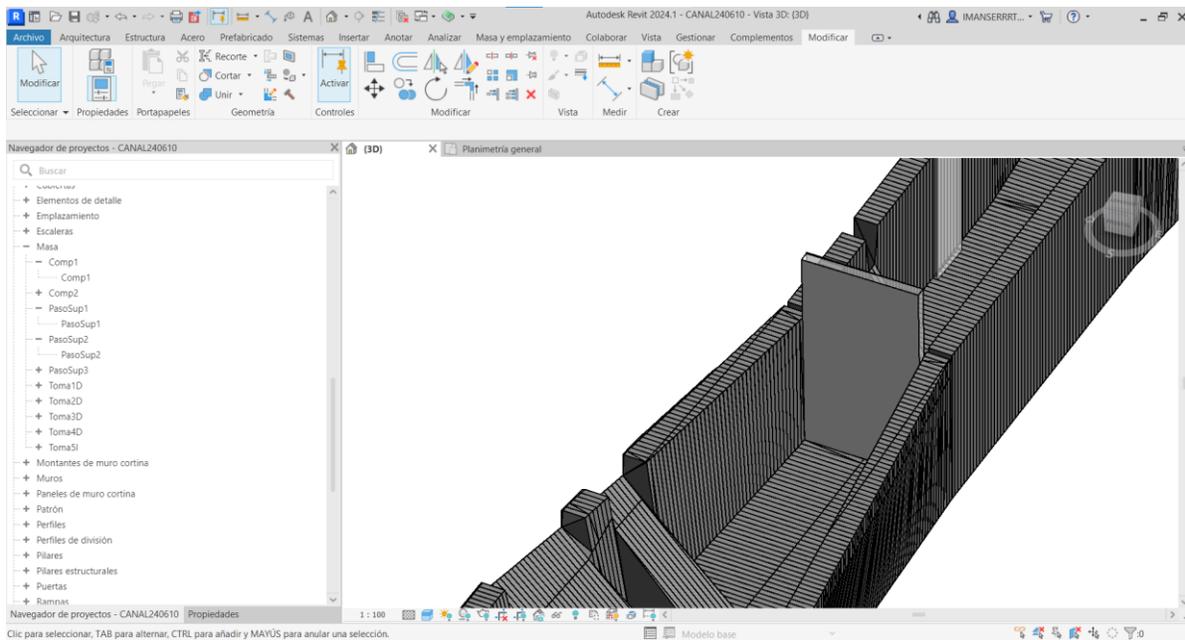


Figura 50. Compuerta de regulación modelada en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

4.3.3. Compuerta de toma de riego.

Al igual que en las compuertas de regulación, las compuertas de toma fueron generadas como masa in situ de sólido, al no encontrarse generadas como familia de elementos.

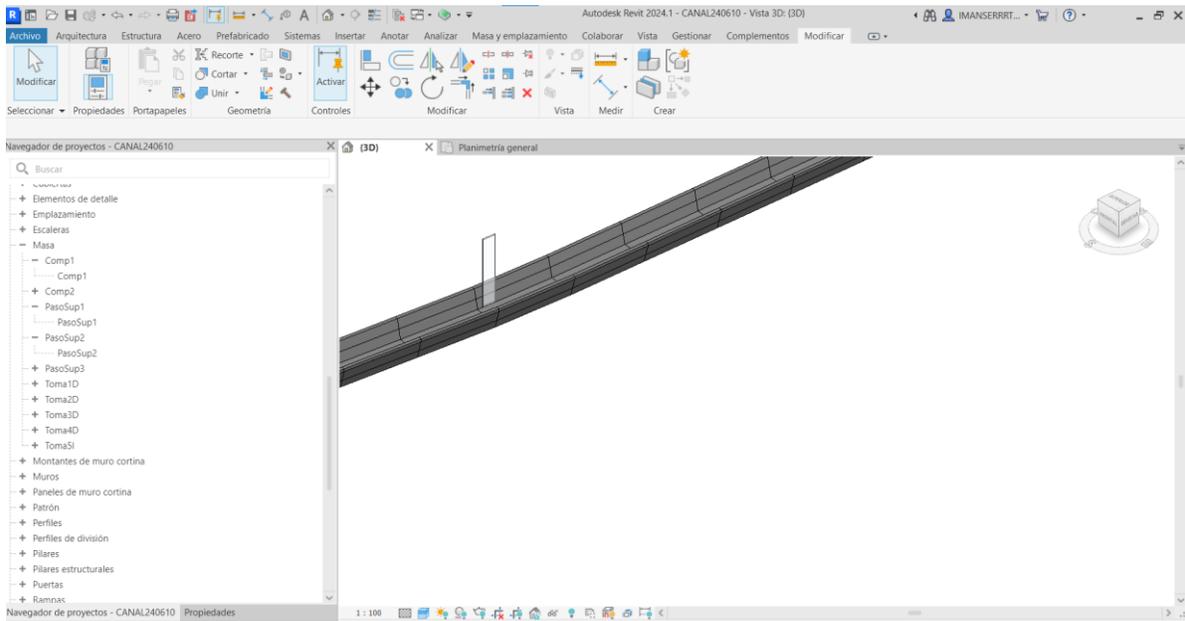


Figura 51. Compuerta de toma modelada en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

4.3.4. Estructuras singulares

Los pasos sobre canal, como estructuras singulares, también fueron generadas mediante el modelado en masa in situ como elemento sólido.

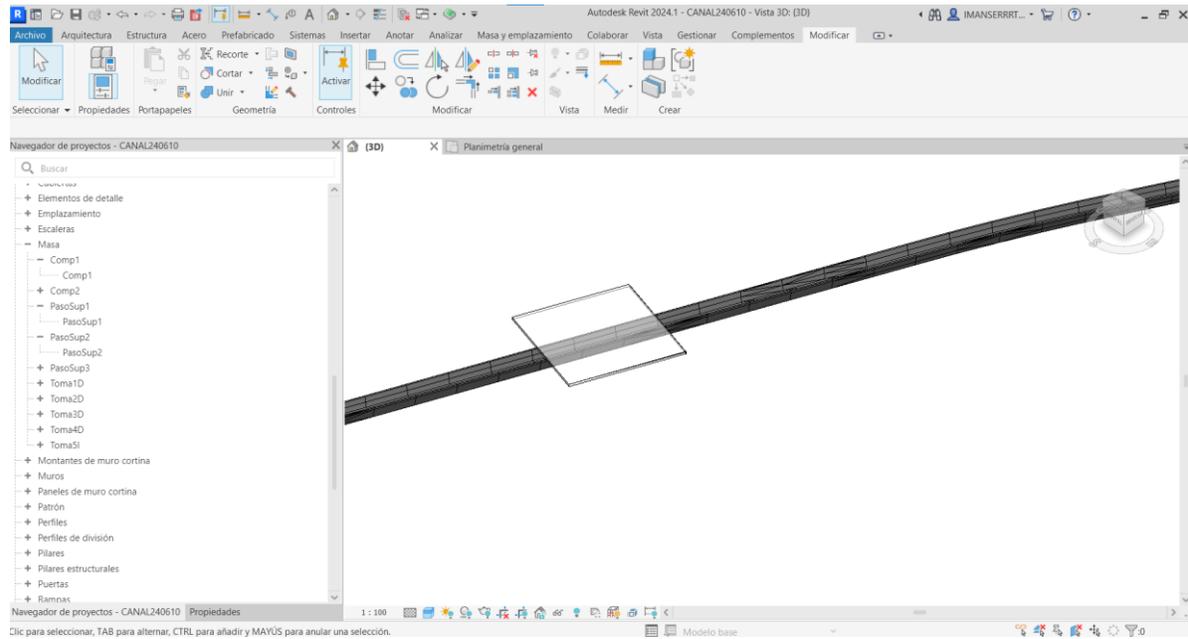


Figura 52. Paso sobre canal modelado en REVIT. (Elaboración: fuente propia)

4.4. Inserción de datos en los parámetros

La generación de parámetros y atributos propios de un sistema de mantenimiento y conservación de canales de riego, se integran dentro de cada elemento del modelo.

Dentro de las propiedades de cada elemento, van estableciéndose los atributos y vinculaciones con el CDE del mantenimiento del canal.

Tanto las fichas de inspección como los partes de operación.

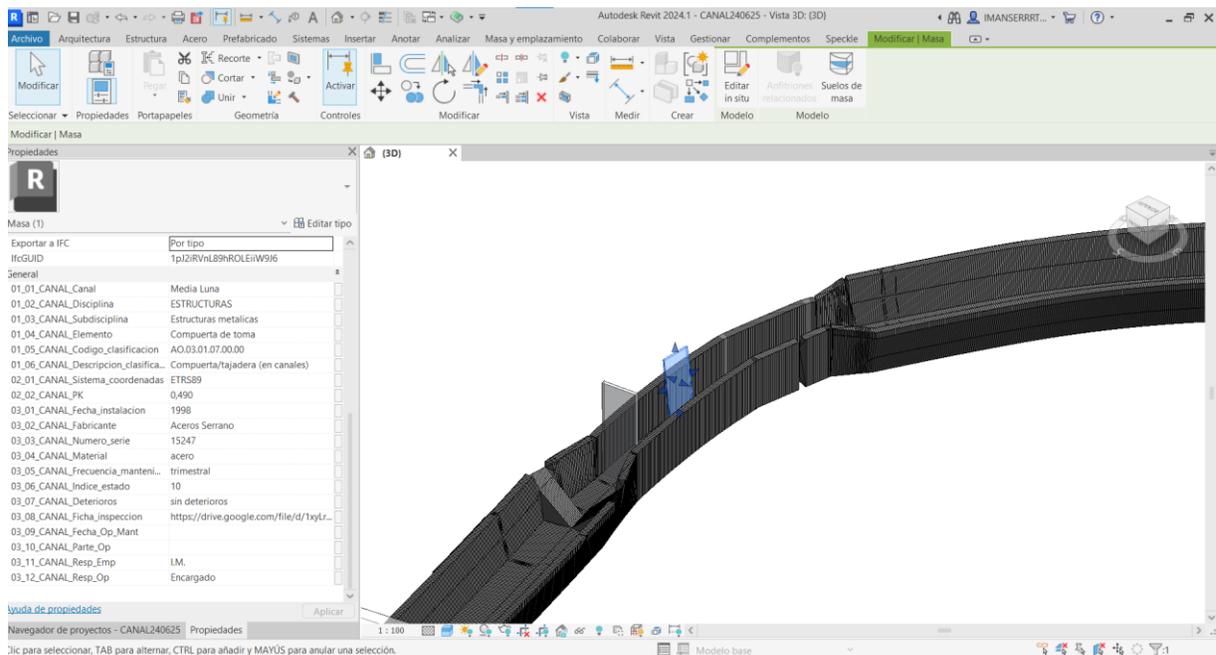


Figura 53. Inserción de datos en parámetros de REVIT. (Elaboración: fuente propia)

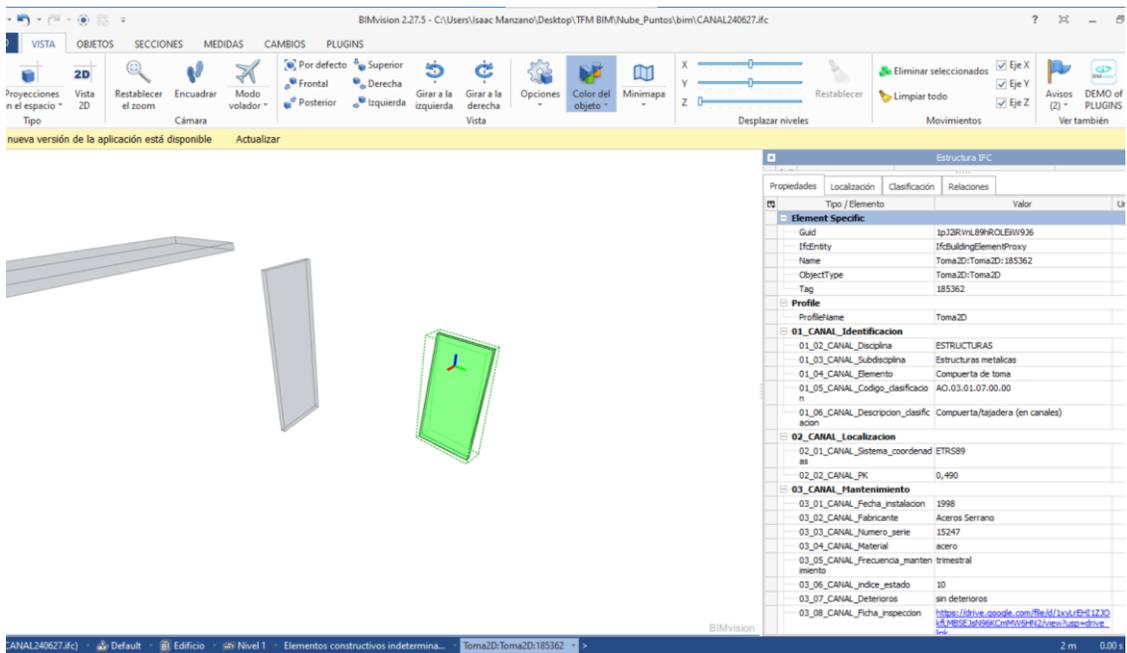


Figura 54. Visualizado de PSets y atributos en BIMVision (Elaboración: fuente propia)

4.5. Archivo de fichas de inspección.

Para la generación de fichas de inspección del canal, mediante la herramienta Excel, se ha planteado una ficha para cada elemento, que, de manera genérica, puede encontrarse en un canal de riego.

El archivo está a disposición en el Anexo IV del presente TFM.

Como ejemplo, en el presenta apartado disponemos la ficha de inspección de una toma de riego.

INSPECCION COMPUERTA							
CANAL		MEDIA LUNA		FECHA: 03/02/2023			
PK		0+490		INSPECTOR I.M.			
ID COMPUERTA		TOMA2D					
TIPO (planas, nivel constante, etc.)		TOMA					
Nº DE COMPUERTAS		1					
FUNCIÓN (CORTE, REGULACIÓN, OTROS)		TOMA					
PASARELA (INDICAR SI, NO o No Aplica)		NO					
TAPAS ARQUETAS (INDICAR SI, NO o No Aplica)		NO					
REJA (INDICAR SI, NO o No Aplica)		NO					
PONDERACIÓN	DESCRIPCIÓN DETERIOROS	EXTENSIÓN N (1-4)	AFECCION FUNCIONALIDAD (0-2)	EVOLUCIÓN N (0-2)	AFECCION SEGURIDAD (0-2)	VALORACIÓN SUMA	VALORACIÓN PONDERADA
2,75	Existencia de deterioros estructurales en compuerta que hacen necesario su reposición completa	1	0	0	0	1	2,75
2,20	Existencia de daños estructurales en pasarela (barandillas, losa)	1	0	0	0	1	2,2
1,75	Existencia de deterioros en cerramientos perimetrales (vallas, puertas, etc)	1	0	0	0	1	1,75
1,25	Existencia de deterioros estructurales en elementos metálicos que necesitan reposición o reparación individual (volante, husillo, desmultiplicador, etc)	1	0	0	0	1	1,25
0,80	Existencia de daños estructurales en acompañamientos (tajamares, , tapas, aliviaderos, rejillas, etc)	1	0	0	0	1	0,8
0,60	Existencia de sedimentos con reducción de capacidad hidráulica	1	0	0	0	1	0,6
0,40	Existencia de deterioros en sellados, fugas.	1	0	0	0	1	0,4
0,25	Existencia de deterioros superficiales en elementos metálicos que requieran rehabilitación (oxido, falta de engrase, etc)	1	0	0	0	1	0,25
Índice de Estado (0-100)							10
VALORACIÓN	SIGNIFICADO						
0-20	Sin deterioros evidentes o con deterioros sin consecuencias relevantes para la durabilidad, condiciones de servicio o seguridad.						
21-40	Deterioros que pueden tener una evolución patológica que reduzcan las condiciones de servicio o durabilidad. Requiere seguimiento o actuación a largo plazo.						
41-60	Deterioros que evidencien una reducción de las condiciones de servicio o durabilidad. Puede requerir una actuación a medio						
61-80	Deterioros que modifica el comportamiento resistente o funcional. Reducción importante nivel de servicio. Requiere actuación a						
81-100	Deterioros que compromete la seguridad o funcionalidad o que ya no es operativo. Requiere actuación inmediata/urgente.						
OBSERVACIONES							
Compuertas transversales del canal, incluidas las que están aguas abajo de un desagador.							
DETERIORO DETERMINANTE							
Daños compuerta completa							

Figura 55. Ejemplo de ficha de inspección. (Elaboración: fuente propia)

4.7. Generación de partes de incidencia y operación.

Los partes de incidencia y operación, como herramienta de gestión y control de los trabajos de mantenimiento y conservación del canal, se han generado con Excel, automatizando en la medida de lo posible la inserción de datos.

El archivo está a disposición en el Anexo V del presente TFM.

Como muestra, en el presenta apartado se presenta un modelo de parte de incidencia y operación que de manera genérica se podría extrapolar a cualquier canal de riego.

PARTE DE INCIDENCIA					COMUNICACIÓN	
OP_CANAL_CANAL_DE8B_230464						
DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA						
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO	
MEDIA LUNA	TRANSPORTE	EQUIPO 1	CANAL	VEGETACIÓN	350	
FECHA APERTURA DE INCIDENCIA			ORIGEN / DETECCIÓN DE LA INCIDENCIA:			CÓDIGO:
DÍA	MES	AÑO	Inspección			INS_CANAL_CANAL_2 30404
1	4	2023				
INCIDENCIA DETECTADA:						
OBSERVACIONES:						
<p>FOTOS INCIDENCIA: <input type="checkbox"/> SI Foto Situación zona afectada.</p> <input type="checkbox"/> SI Foto Equipo / Elemento afectado. <input type="checkbox"/> SI Foto Detalle.						
PROPUESTA DE ACTUACIÓN						
TIPO ACTUACIÓN	FECHA COMIENZO TRABAJOS			FECHA FINALIZACIÓN TRABAJOS		
	DÍA	MES	AÑO	DÍA	MES	AÑO
DESBROCE	4	4	2023	4	4	2023
DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS NECESARIOS:						
Desbroce						
PERSONAL NECESARIO:						
Equipo 1						
MEDIOS NECESARIOS:						
Retroexcavadora y giratoria con implemento desbrozador						
OBSERVACIONES:						
PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	ESTADO DE LOS TRABAJOS PARA COMIENZO			FECHA APROBACIÓN		
				DÍA	MES	AÑO
CERTIFICACIÓN						
			MES	AÑO		

PARTE DE OPERACIÓN	RELACIÓN VALORADA
OP_CANAL_CANAL_DE8B_230404	

CANAL

DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA					
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO
MEDIA LUNA	TRANSPORTE	EQUIPO 1	CANAL	VEGETACIÓN	350

FECHA APERTURA DE INCIDENCIA			ORIGEN / DETECCIÓN DE LA INCIDENCIA:		
DÍA	MESES	AÑO	Inspección		
4	2	2023	CÓDIGO: INS_CANAL_CANAL_230404		

INCIDENCIA DETECTADA:

OBSERVACIONES:

DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:

RELACIÓN VALORADA DE LOS TRABAJOS (PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL)

Cod	UM	DESCRIPCIÓN	MED	PRECIO	PRECIO PARTIDA
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €
				- €	- €

IMPORTE. EJECUCION MATERIAL - €

Imp (%)
Imp

G.G y B.I.	- €
Suma	- €
Baja	- €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	- €
I/A 21%	- €
TOTAL	- €

PARTE DE OPERACIÓN				FOTOGRAFÍAS	
OP_CANAL_CANAL_DE8B_230404					
CANAL					
DATOS GENERALES DE LA INCIDENCIA					
INSTALACIÓN	FUNCIÓN / SERVICIO	GRUPO - EQUIPO	ELEMENTO	RESUMEN PROBLEMA	PK / ELENCO
MEDIA LUNA	TRANSPORTE	EQUIPO 1	CANAL	VEGETACIÓN	350
					
			img. situación georeferenciada		
					
			img. Estado 1		
					
			img. Estado 2		
					
			img. Reparación 1		
					
			img. Reparación 2		
					
			img. Reparado 1		
					
			img. Reparado 2		

Figura 57. Ejemplo de parte de operaciones. (Elaboración: fuente propia)

5. CONCLUSIÓN Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

5.1. Conclusiones

El mantenimiento de canales en zonas regables, es un ámbito poco tecnificado en comparación con otro tipo de infraestructuras.

El desarrollo del presente TFM, ha analizado y evaluado este tipo de infraestructuras hidráulicas con respecto a otro tipo de mantenimientos, viendo sus necesidades.

Mediante el estado del arte se han adquirido conocimientos sobre las carencias y requerimientos que presentan los sistemas de mantenimiento y conservación de canales. Analizándose las distintas tipologías de mantenimiento.

Con todo ello, se ha generado una metodología de mantenimiento para canales de riego asociado a BIM.

Esta metodología permite una mejora en la gestión de la conservación, mediante un sistema de mantenimiento preventivo y planificado, asociado a la aplicación de nuevas tecnologías que nos aporta BIM.

Por lo tanto, tras el desarrollo de la metodología para mantenimiento de canales con metodología BIM, podemos concluir:

- Innovación. Se trata de un proceso innovador, puesto que, dentro del mantenimiento de este tipo de infraestructuras hidráulicas, no se había efectuado una parametrización específica de conservación para canales.

El uso del software ISTRAM de uso en infraestructuras lineales, como son carreteras y ferrocarriles, pero de escasa utilización para canales, ha supuesto un proceso de desarrollo con apoyo de los servicios de Buhodra Ingeniería S.A. para la modelización del canal.

La generación de fichas de inspección específicas para canales, basadas en el estudio y análisis de fichas de inspección para distintas infraestructuras y la experiencia profesional en el ámbito de mantenimiento de canales, con una valoración de los indicadores, permite optimizar la planificación del mantenimiento.

En definitiva, generar un sistema novedoso para el mantenimiento de este tipo de infraestructuras.

- Eficiencia. Mediante el uso de las herramientas tecnológicas, desde la generación de datos con drones hasta el uso de los softwares vinculados a la metodología BIM, permiten una mejora sustancial en la optimización de recursos para el mantenimiento.

La planificación mediante esta metodología, permite un ajuste en los tiempos de operación, lo que hace más eficiente la conservación en este tipo de infraestructuras.

- Extrapolable. La aplicación práctica se ha realizado en un canal tipo, con una cierta variabilidad de elementos, comunes en todos los canales de riego: compuertas de regulación, compuertas de toma y pasos sobre el canal, y con varias secciones tipo dentro del trazado (rectangular, trapecial, etc.) Estos elementos se han modelizado mediante REVIT con una parametrización exclusiva para canales.

Esto permite que la herramienta pueda adaptarse a cualquier canal de riego en España, con la modificación de parámetros dimensionales y tipología de materiales, siendo extrapolable como metodología de mantenimiento de estas infraestructuras.

- Sostenible. El concepto de mantenimiento lleva implícito la filosofía de la sostenibilidad. Una infraestructura conservada a lo largo del tiempo en estado óptimo de servicio es un logro sostenible.

Para un canal de riego, la sostenibilidad va más allá, puesto que se trata de una infraestructura vinculada a dos aspectos fundamentales para la vida humana, como son el agua y la agricultura. Ambos aspectos son objetivos de desarrollo sostenible dentro de la Agenda 2030.

La aplicación de esta metodología de mantenimiento con BIM, permite, mediante una adecuada conservación de la infraestructura, un uso más eficiente del agua, evitando pérdidas y optimizando su uso para los cultivos.

Por otro lado, la planificación con esta metodología, permite una optimización de medios y recursos que redunde en una mayor sostenibilidad del sistema.

En resumen, mediante los conocimientos adquiridos durante el Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y la experiencia profesional vinculada al mantenimiento y gestión de infraestructuras de riego, se ha generado una herramienta para la conservación de canales mediante metodología BIM y apoyada en nuevas tecnologías, que cumple criterios de innovación, abierta y sostenible.

5.2. Futuras líneas de trabajo

Durante el desarrollo del presente TFM, se han ido observando varios aspectos que han de ser objeto de profundización y futuras líneas de trabajo e investigación.

Siendo estas de gran utilidad para el implemento y mejora de la metodología de mantenimiento de canales con BIM.

A continuación, se presentan las futuras líneas de trabajo y desarrollo:

- Integración de la metodología BIM con GIS. La implementación del mantenimiento en BIM con sistemas georreferenciados puede permitir una mejora en la referencia espacial de las incidencias y operaciones del mantenimiento, proporcionando información relevante asociada a datos geográficos.

Para la integración es importante analizar la compatibilidad de los distintos software y archivos interoperables entre ambos sistemas.

La inclusión de GIS, aportando datos georreferenciados en tiempo real, supondría un interesante avance para la eficiencia del mantenimiento con BIM.

- Modelos predictivos. La aplicación de modelos matemáticos relacionados con las nuevas tecnologías, pueden resultar una revolución en el mantenimiento de canales.

La disponibilidad de datos históricos, junto con la obtención de datos en tiempo real obtenidos mediante sensores en la infraestructura y su incorporación al modelo predictivo basado en algoritmos, pueden generar una herramienta en el que, el mantenimiento evolucione de una metodología preventiva a un mantenimiento predictivo. Esto implica la posibilidad de generar simulaciones y herramientas de decisión.

El uso de modelos predictivos sería una evolución en la eficiencia y optimización de recursos para el mantenimiento de canales.

- Familia hidráulica modelo para canales. Dentro de elementos utilizados en el canal, fue necesario modelar las compuertas en REVIT. Al igual que en otro tipo de instalaciones e infraestructuras existen familiar modelizadas, en el ámbito de los canales para riego no se han encontrado este tipo de elementos. El desarrollo de distintas tipologías de compuertas, tanto de regulación como de toma, resultaría interesante para disponer de modelos en canales más completos.

- Drones inspectores. Mediante los implementos de fotogrametría vinculados a los drones, y con una cadencia de vuelo y planificación determinada, resultaría interesante por diferencias de imagen detectar modificaciones e incluso incidencias en la infraestructura.

El uso de drones resulta muy útil en zonas regables, puesto que la accesibilidad de algunos puntos resulta compleja. Esto quedaría solventado con el uso de drones.

- Vinculación IA, Big Data e IoT. El uso de la inteligencia artificial, Big data e internet de las cosas, está permitiendo grandes avances tecnológicos en múltiples campos.

En el ámbito del mantenimiento de canales, la posibilidad de vincular esta tecnología tanto al propio desarrollo de la planificación, operaciones de conservación y mantenimiento, inspecciones, etc. Puede suponer un interesante avance en aplicaciones para mantenimiento predictivo.

BIBLIOGRAFÍA

ACEX. (2007). Conservar es progresar. Libro Verde sobre la Conservación de Infraestructuras en España.

acuaMed. (2022a). Pliego de prescripciones técnicas particulares servicio de operación, mantenimiento y vigilancia de la desaladora de campo de dalías (Almería).

acuaMed. (2022b). Servicio de operación, mantenimiento y vigilancia de la desaladora de campo de dalías (Almería).

ADIF. (2015). Gestión de Activos en Adif.

ADIF. (2019). Catálogo de daños ADIF.

ADIF. (2021). Norma ADIF. Plataforma inspección principal de obras de tierra de ferrocarril.

ADIF. (2023). Norma Adif general inventario. Condiciones generales.

Adriazola, A. L. M. (2022). “Propuesta para la implementación de BIM 7D en el mantenimiento de una edificación en la UNALM”.

AEAS. (2023). 01_SC_AEAS_ENTREGA.zip [dataset].

AENOR. (2020). BIM. Plantillas de datos para los objetos de construcción utilizados en el ciclo de vida de cualquier activo construido. Conceptos y principios (ISO 23387:2020) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en diciembre de 2020.).

AENOR. (2020). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modeling) Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling) Parte 1: Conceptos y principios (ISO 19650-1:2018).

AENOR. (2020). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modeling) Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modeling) Parte 2: Fase de desarrollo de los activos (ISO 19650-2:2018).

AENOR. (2020). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modeling) Gestión de la información al utilizar BIM Parte

5: Enfoque de seguridad en la gestión de la información (ISO 19650-5:2020).

AENOR. (2021). BIM Nivel de información necesario Parte 1: Conceptos y principios.

AENOR. (2021). Modelado de la información de construcción (BIM). Estructura de información basada en la Norma EN ISO 16739-1 para el intercambio de plantillas y hojas de datos para objetos de construcción. Parte 2: Objetos de construcción configurables y requisitos (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en junio de 2023.).

AENOR. (2021). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modeling) Gestión de la información al utilizar BIM Parte 3: Fase de operación de los activos (ISO 19650-3:2020).

AENOR. (2022). Propiedades BIM para iluminación. Luminarias y sensores (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2022.).

AENOR. (2022). Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil Plantillas de datos para el uso en BIM de la información de las declaraciones ambientales de productos de construcción (ISO 22057:2022).

AENOR. (2023). BIM aplicado a infraestructuras. Necesidades de normalización y recomendaciones (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2023.).

AENOR. (2023). Modelado de información de construcción (BIM). Modelado y enlaces semánticos (SML). Parte 1: Patrones de modelado genéricos (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2023.).

AENOR. (2023). Modelado de la información de construcción (BIM). Manual de entrega de la información. Parte 3: Esquema de datos (ISO 29481-3:2022) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2023.).

AENOR. (2023). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modeling) Gestión de la información al utilizar BIM Parte 4: Intercambio de información (ISO 19650-4:2022).

AENOR. (2023). Orientación para la implementación de Planes de Ejecución BIM (BEP) y Requisitos de

Información de Intercambio (EIR) a nivel europeo basados en las Normas EN ISO 19650-1 y EN ISO 19650-2 (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2023.).

Alameda Villamayor, J. M. (2021). Aplicación a la inspección de las presas con drones y obtención de los datos necesarios para la construcción de un modelo reducido. aplicación en la presa de El Atance (Guadalajara).

Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.

Álvarez, E. F. (2018). Gestión de Mantenimiento. Lean Maintenance y TPM.

Armiñana, E. P., Palacios, R. P., Sanjuán, J. F., & Bello, J. S.-R. (2019). Sistema integral para el mantenimiento eficiente de pavimentos urbanos.

Arnaldos, V. P. (2008). Manejo y mantenimiento de instalaciones de riego localizado.

Arrofiqoh, E. N., & Chintya, N. P. P. (2023). The usefulness of UAV-LiDAR for irrigation canal identification.

Asociación Caminos. (2023). Valoración de la obra pública en España. Ciclo completo del agua 2023.

Asociación Caminos. (2024). Valoración global de los sectores analizados de la obra pública de España 2023.

Autodesk. (2021). Autodesk Next Gen BIM 360 Security Whitepaper.

Autodesk. (2022). Integración de BIM y GIS.

Ayora, M. J. M. (2023). Estudio y análisis del estado de la técnica de la metodología BIM y su relación con la Economía Circular.

Ayuntamiento de Motril. (2020). Servicios de desarrollo de software de gestión de riego SCADA en la nube, así como unidades y concentradoras y contadores.

Barco, D. (2020). Quinta entrega USOS BIM Prácticos 7D FM.

Benito Segura, Ó. (2015). LA INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA: ANÁLISIS DE TÉCNICAS.

- Berbel Vecino, J. (2020). Externalidades Positivas del Regadío.
- Bernabé---Crespo, M. B. (2020). Los canales del agua: abastecimiento y saneamiento en el campo de Cartagena mar Menor.
- Bizkaia diputación foral. (2022). Manual BIM en DIDT e Interbiak.
- BuildingSMART. (2014). Guía de usuarios BIM.
- Bustamante, W. O., Velázquez, J. F., & Capurata, R. E. O. (2016). Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico.
- Canal de Isabel II. (2007). Transferencias de Derechos de Agua entre Demandas Urbanas y Agrarias.
- Canal de Isabel II. (2011). El agua como elemento clave para el desarrollo.
- Canal de Isabel II. (2014). El agua en la antigua Mesopotamia.
- Carlos Adrián, C. G., & Coronel Sacoto, D. F. (2021). Aplicación de la metodología de la gestión BIM en el canal de conducción de agua del sistema de riego Chiticay – Paute.
- CARVALLO GARCÍA, S. (2022). Informe de estado actual mediante metodología BIM.
- Castro, S. J. C., González, E. M., & Canto, S. P. (2021). Metodología de implantación o de mejora de un sistema de gestión del mantenimiento.
- Centeno Martín-Romero, A. (2020). Big Data. Técnicas de machine learning para la creación de modelos predictivos para empresas.
- Cepa, J. J., Pavón, R. M., Alberti, M. G., & Caramés, P. (2023). Towards BIM-GIS integration for road intelligent management system. *journal of civil engineering and management*.
- Charalambous, S. (s. f.). Incorporating Smart Building Security with BIM.
- Cho, J., Kim, C., Lim, K. J., Kim, J., Ji, B., & Yeon, J. (2023). Web-based agricultural infrastructure digital twin system integrated with GIS and BIM.
- Cortés Pérez, A. (2022b). Metodología BIM aplicada a la gestión de infraestructuras de regadíos.

- Coyago Vega, M. A. (2023). Diagnóstico y propuestas de solución para la rehabilitación del canal de riego "Pucará", ubicado en el cantón Mejía, provincia de Pichincha.
- Cuadrat Prats, J. María. (2006). El agua en el siglo XXI: Gestión y planificación.
- De Abril. (2014). Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego.
- Dewberry. (2019). Construction Practices for Land Development: A Field Guide for Civil Engineers, 1st Edition. En Construction Practices for Land Development: A Field Guide for Civil Engineers
- Dinh Van, D., Nguyen Tung, P., Tran Van, D., Doan The, L., & Ton Nu Hai, A. (2023). Optimal Cost Structure in Operation and Maintenance Management of the Irrigation Systems in the Red River Delta, Vietnam. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*,
- El Abrouki, S. (2023). Aplicación de la metodología BIM para la evaluación del estado de conservación de puentes de fábrica.
- El Haite, A., & Boton, C. (2023). An Integrated BIM-GIS Dashboard to Improve BIM Coordination. En R. Gupta, M. Sun, S. Brzev, M. S. Alam, K. T. W. Ng, J. Li, A. El Damatty, & C. Lim (Eds.), *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference*
- Espín Leal, P. (2014). Gestión de activos. Sistema de gestión integral para empresas de abastecimiento de agua.
- Esri. (2023). Esri Software Security and Privacy.
- Estevan, A., & La Calle, A. (2012). Transferencias de derechos de agua entre demandas urbanas y agrarias: El caso de la Comunidad de Madrid. Canal de Isabel II.
- FENACORE. (2023, marzo). Boletín Intercuencias.
- FENACORE. (2023, septiembre). Boletín Intercuencias.
- Figueres Escribano, J. A. (2021). DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACION DE SISTEMAS PARA EL CONTROL DE LA EXACTITUD Y PRECISION DE LA MEDIDA DE CAUDALES EN INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS.

- Flores, A. P., & Severino, J. M. S. (2023). BIM como herramienta para la sostenibilidad en certificaciones BREEAM.
- García Montesinos., F. J., Villamor Tardáguila, M., González Díaz, José, & Blanco Aparicio., F. (2020). Guía BIM para propietarios y gestores de activos.
- García Rodenas, R. (2001). Metodología para el diseño de redes de transporte y para la elaboración de algoritmos en programación matemática convexa diferenciarle.
- García, S. C. (2021). Informe de Estado Actual mediante Metodología BIM. Clasificación y representación de los procesos patológicos.
- García Villanueva, N. H. (2016). Operación de canales conceptos generales.
- Gestagua. (2022). Herramientas para la gestión territorial sostenible del agua.
- Gómez, (2018). Los canales del agua.
- Gómez, M. I. P. (2017). Intermediate Conceptual Design Report.
- Gómez Martínez, P. (2017). Análisis de variables explicativas en modelos de predicción de roturas en redes de tuberías.
- González, L. A. P., Alberti, M. G., & Bazán, Á. M. (2019). Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil.
- Goula, M. M. (2005). Implantación del módulo de mantenimiento para la gestión de los procesos de un negocio a través de un programa informático.
- Gupta, R., Min, S., Alam, M. S., & Tsun Wai, K. (2022). Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2022.
- Gupta, R., Sun, M., Brzev, S., Alam, M. S., Ng, K. T. W., Li, J., El Damatty, A., & Lim, C. (Eds.). (2023). Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2022
- Herrera-Galán, M., & Duany-Alfonzo, Y. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento.

Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. (2014). Manual de Agricultura de Precisión.

Jardí Margalef, A. (2022a). Ventajas de la digitalización de los proyectos de infraestructura rural. utilización de la metodología BIM y GIS para gestionar los proyectos de una forma más eficiente.

Jiménez Nuñez, F. (2021). Programa de mantenimiento de canales de riego en la Dirección General del Agua.

Juárez, J. M. (2023). Energías alternativas para riego pros y contras.

Junjie Wang, Chengyao Tan, Tong Hu, Yu Xie, Yang Zhang, and Linlin Cui. (2024). UAV Dam Crack Detection System Based on Beidou and LIDAR.

León, G. (2019). Metodología para la implementación de un sistema de Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética (MCEE) en las organizaciones industriales a través de una herramienta informática.

Levy, S. M. (2018). The Role of 6D in the BIM Process. En Project Management in Construction (7th Edition). McGraw-Hill Education.

Levy, S. M., & Civitello, A. M., Jr. (2014). Section 3: General Contracts. En Construction Operations Manual of Policies and Procedures (5th Edition). McGraw-Hill Education.

Lloris, F. B. (2011). El regadío en la Hispania romana. estado de la cuestión.

Luca, A.-L., Sticea, A.-S., Tamsanu, f., & luca, m. (2020). research on structural and functional status of supply channels in irrigation systems.

Manzano Juárez, J. (2023). Energías alternativas para riego pros y contras.

Margalef, A. J. (2021). Módulo BIM. ventajas de la digitalización de los proyectos de infraestructura rural. utilización de la metodología BIM y GIS para gestionar los proyectos de una forma más eficiente.

Marín Maya, S. (2021). Caminos Andalucía. Especial BIM Andalucía Trabajos Fin del Máster BIM en Ingeniería Civil.

Martínez Álvarez, Á. (2008). AGRICULTURA 1.0.

MARTÍNEZ CODINA, Á. (2015). METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ROTURAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2022). Informe anual de indicadores agricultura, pesca y alimentación 2021.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2008). PLAN NACIONAL DE REGADÍOS - HORIZONTE 2008.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). Transporte del agua (canales, conducciones y trasvases). diseño, construcción y explotación.

Ministerio de Agricultura y Riego, P. (2013). Plan de operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.

Ministerio de Fomento. (2009). Inspecciones obras paso.

Ministerio de Fomento. (2012). Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado.

Ministerio de Fomento. (2019). Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal.

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). Libro blanco del agua en España.

Ministerio para la transición ecológica. (2019). Buenas prácticas en actuaciones de conservación, mantenimiento y mejora de cauces.

Ministerio para la transición ecológica. (2023). Líneas de actuación para la mejora de la seguridad de presas y embalses.

Ministerio de Economía. (2022). PERTE Digitalización del ciclo del agua.

Montaner Salas, E. (2022). Bernabé-Crespo, Miguel Borja, 2020: Los canales del agua: abastecimiento y saneamiento en el Campo de Cartagena-Mar Menor. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico y Mancomunidad de los Canales del Taibilla.

- Moraleda Mesa, J. A. (2023). BIM Sistemas de clasificación y parametrización de objetos en el sector del agua.
- Morales, M. Á. F. (2018). Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. modelo BIM 5d costes.
- Moreta Alfonso, J. (2021). Construcción colaborativa: Cuando BIM encontró a Blockchain.
- Nojedehi, P., O'Brien, W., & Gunay, H. B. (2022). A methodology to integrate maintenance management systems and BIM to improve building management. *Science & Technology for the Built Environment*
- OCH, Asociación Española de Construcción Industrializada. (2023). Guía de la construcción industrializada.
- Ojeda Bustamante, W., & Flores Velázquez, J. (2016). Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico.
- Olivos, L. (2022). Aplicación de la metodología BIM en el proyecto de canal de riego.
- Ortega, J. M. G. (2018). Infraestructuras hidráulicas para el regadío.
- ORTIZ CÁCERES, J. L. (2021). Desarrollo de un prototipo de un sistema de riego automatizado para el procesamiento, monitoreo y análisis de datos utilizando lógica difusa en tiempo real y IoT para optimizar el uso de agua aplicada en el cultivo.
- OSEPSA. (s. f.). Sistemas y métodos de ejecución para la reparación y mantenimiento de canales hidráulicos.
- Pelayo Sandoval, E. O. (2020). Implementación y metodología de modelos bim para el mantenimiento de puentes.
- Pérez, D. A. C. (2022). Aplicación de la metodología bim en la gestión del mantenimiento de infraestructuras de riego.
- Pinto Flores, A. (2023). BIM como herramienta para la sostenibilidad en certificaciones BREEAM.

- Polla, G. (2020). Metodología para mejorar la eficiencia de aplicación de riego en un distrito del alto valle de río Negro. Semiárida. Revista de la Facultad de Agronomía
- Pousada González, M. del M. (2021). Aplicación de algoritmos predictivos para la eficiencia en la gestión del riego.
- Regaber. (2023). Automatización y optimización de redes de riego.
- Sánchez Carvajal, D. (2023). Modelos BIM para la conservación y difusión de edificios históricos.
- Sancho Gómez-Zurdo, R. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno.
- Sancho Gómez-Zurdo, R., Galán Martín, D., González-Rodrigo, B., Marchamalo Sacristán, M., & Martínez Marín, R. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. Informes de la Construcción.
- Sandoval, E. O. P. (2020). Implementación y metodología de modelos BIM para el mantenimiento de puentes.
- SEIASA. (2022). Modelo de requerimientos BIM.
- SIC. (2023). Ciberseguridad europea con sabor español.
- Skatulla, S., & Beushausen, H. (Eds.). (2024). Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering: Proceedings of ICCCBE 20224
- Sotelo Navalpotro, J. A., & Sotelo Pérez, M. (2013). Canales, sifones y almenaras: El impacto ambiental de las infraestructuras del Canal de Isabel II (Madrid).
- Sticea, A., Luca, A.-L., Marcoie, N., & Luca, M. (2020). Studies and research on water losses from irrigation systems.
- Tejedo Cerrato, L. (2021). Metodología BIM aplicada al sector ferroviario: auditoría de la instalación de PCI de una estación del metro de Madrid.
- Tesen Heredia, U. I. (2023). Aplicación de la metodología BIM en el proyecto de canal de riego 24 de

junio Moyobamba.

Tinoco, M. Á. U. (2016). Propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego.

TRAGSA. (2021). Gestión y mantenimiento de la comunidad de regantes de Payuelos frente a los retos en la lucha contra el cambio climático.

Tribunal de cuentas europeo. (2021). Uso sostenible del agua en la agricultura.

Turner, A. (2009). Participación de Canal de Isabel II en el Proyecto Internacional de Eficiencia en la Gestión (IDMF). Canal de Isabel II.

VARGAS ZACARÍAS, A. B. (2021). Recuperación de la eficiencia hidráulica en estructuras de conducción abierta canal de riego Apata, región Junín en el 2019.

Vega, M. A. C., Asero, A. O. Q., & Martínez, V. V. Y. (s. f.). Diagnóstico y propuestas de solución para la rehabilitación del canal de riego "Pucará", ubicado en el cantón Mejía, provincia de Pichincha.

Vera Galindo, C. (2018). Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. modelo BIM 5d costes.

Villamayor, J. M. A. (2022). Introducción al BIM. Implantación del BIM en las obras del mapa.

Wang, B., Wang, Q., Cheng, J. C. P., Song, C., & Yin, C. (2022). Vision-assisted BIM reconstruction from 3D LiDAR point clouds for MEP scenes. *Automation in Construction*,

Wang, J., Tan, C., Hu, T., Xie, Y., Zhang, Y., & Cui, L. (2024). UAV Dam Crack Detection System Based on Beidou and LIDAR.

Xiao, Z., & Wu, W. (2022). Durability Analysis of Small Assembled Buildings in Irrigation Canal System.

ANEXOS

- ANEXO I. INDICE DE ILUSTRACIONES, FIGURAS Y TABLAS
- ANEXO II-BEP
- ANEXO III- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS
- ANEXO IV- FICHAS DE INSPECCIÓN
- ANEXO V- PARTE DE INCIDENCIA Y OPERACIÓN
- ANEXO VI- MODELO CANAL
- ANEXO VII- CANAL EN REVIT
- ANEXO VIII- MODELO INTEGRADO EN NAVISWORK

ANEXO I. INDICE DE ILUSTRACIONES, FIGURAS Y TABLAS

Ilustración 1. Riegos en Mesopotamia (Fuente http://www.timetoast.com/)	2
Ilustración 2. Nilómetro (Fuente http://losviajeros.com/).....	2
Ilustración 3. Riegos Rey Menes 3000 a.C. (Fuente: http://www.timetoast.com/)	3
Ilustración 4. Zhulong y Macha (Fuente: wikipedia)	3
Ilustración 5. Acueducto de Segovia (Fuente: Kamarero)	4
Ilustración 6. Acequia del sistema hidráulico morisco de Millares (Fuente: elaboración propia)	4
Ilustración 7. California State Water Project (Fuente: https://water.ca.gov/swp/)	5
Ilustración 8. Canal de Bardenas a su paso por Sádaba (Fuente: Zarateman)	28
Ilustración 9. Real Acequia del Jarama (Fuente: elaboración propia)	29
Ilustración 10. Canal de Montijo (Fuente: elaboración propia)	29
Ilustración 11. Canal de los Presos o Canal del Bajo Guadalquivir. (Fuente: Searus).....	30
Ilustración 12. Canal de Navarra (Fuente: elaboración propia).....	32
Ilustración 13. Canal de Castilla (Fuente: elaboración propia).....	32
Ilustración 14. Acueductos del Canal de Isabel II (Fuente: José A. Sotelo Navalpotro)	33
Ilustración 15. Obstrucción en canal (Fuente: elaboración propia)	34
Ilustración 16. Vegetación en canal (Fuente: elaboración propia).....	35
Ilustración 17. Degradación del canal (Fuente: elaboración propia).....	36
Ilustración 18. Caída vehículo a canal (Fuente: Diario Uno).....	37
Ilustración 19. Fisuras en canal (Fuente: elaboración propia).....	38
Ilustración 20. Rotura de canal (Fuente: elaboración propia)	39
Ilustración 21. Desbordamiento de canal (Fuente: Milenio Digital).....	40
Ilustración 22. Fallo por manipulación de compuertas en canal (Fuente: elaboración propia).....	40
Ilustración 23. Limpieza de lodos (Fuente: elaboración propia)	41
Ilustración 24. Desbroce por medios mecánicos del canal (Fuente: elaboración propia)	42
Ilustración 25. Trabajos de revestimiento en canal (Fuente: elaboración propia)	43

Ilustración 26. Retirada de vehículo del canal (Fuente: elaboración propia).....	44
Ilustración 27. Reparación de grietas del canal (Fuente: elaboración propia).....	45
Ilustración 28. Reconstrucción de canal (Fuente: elaboración propia).....	46
Ilustración 29. Recrecido de canal (Fuente: elaboración propia).....	47
Ilustración 30. Compuertas de nivel constante (Fuente: elaboración propia).....	47
Ilustración 31. Guía de inspecciones básicas de obras de paso (Fuente: MFOM).....	61
Ilustración 32. Inspección principal de túneles de ferrocarril (Fuente: ADIF).....	62
Ilustración 33. Normas para redes de abastecimiento del Canal de Isabel II. (Fuente: Canal de Isabel II)	63
Ilustración 34. Registros de productos homologados del Canal de Isabel II. (Fuente: Canal de Isabel II)	64
Ilustración 35. Canal de La Media Luna (Fuente: elaboración propia).....	149
Ilustración 36. Dron multirotor. (Fuente: elaboración propia).....	150
Figura 1. Software BIM (Fuente: elaboración propia).....	12
Figura 2. Zona regable del Jarama (Fuente: https://www.canaljarama.es/presentacion/).....	14
Figura 3. Área total regadíos (Fuente: FAO 2009).....	23
Figura 4. Estrés hídrico en la UE y previsiones futuras (Fuente: World Resoures Institute, 2021).....	24
Figura 5. Evolución superficie cultivada en España (Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023).....	25
Figura 6. Superficie regable en Europa por países (Fuente: Eurostat,2021).....	25
Figura 7. Regadíos existentes según PNR (Fuente: MITECO,2001).....	26
Figura 8. Canales en España (Fuente: MAPA,2021).....	26
Figura 9. Confederaciones hidrográficas en España (Fuente: MITECO,2007).....	28
Figura 10. Flujo de trabajo de mantenimiento (Fuente: elaboración propia).....	54
Figura 11. Evolución en el tiempo de los sistemas GMAO (Fuente: Berger-levrault).....	73
Figura 12 . Ciclo de vida del modelo BIM (Fuente: BuildingSmart).....	75

Figura 13. Implementación del BIM en Europa (Fuente: BuildingSmart).....	77
Figura 14. Metodología BIM en Europa (Fuente: e-Zigurat)	78
Figura 15. Plan de implantación BIM a la contratación pública en España (Fuente: Plan BIM).....	80
Figura 16. Definición de niveles BIM (Fuente: Plan BIM)	81
Figura 17. Licitación con metodología BIM (Fuente: BuildingSmart)	82
Figura 18. Licitación hidráulica con metodología BIM (Fuente: BuildingSmart)	82
Figura 19. Niveles de madurez BIM (Fuente: Bew-Richards)	83
Figura 20. Las dimensiones del BIM (Fuente: ACCA).....	88
Figura 21. Nivel de desarrollo BIM (Fuente: Muralit).....	94
Figura 22. Norma PAS 1192-3:2024 (Fuente: BSI)	97
Figura 23. Guía BIM (Fuente: Junta de Extremadura)	98
Figura 24. Manual BIM para BIC (Fuente: PRTR).....	98
Figura 25. Guía BIM de la Autoridad Portuaria de Sta. Cruz de Tenerife (Fuente: APST).....	99
Figura 26. Licitaciones BIM en mantenimiento y servicios. (Fuente: BuildingSmart)	100
Figura 27. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Fuente: ONU)	113
Figura 28. Estados en un CDE (Fuente: Espacio BIM).....	122
Figura 29. Introducción de parámetros en Revit. (Fuente: elaboración propia).....	134
Figura 30. Propiedades de parámetro en Revit. (Fuente: elaboración propia).....	135
Figura 31. Visualización de propiedades en Revit. (Fuente: elaboración propia)	135
Figura 32. Ficha de inspección (Fuente: elaboración propia).....	138
Figura 33. Parte de operación (Fuente: elaboración propia)	143
Figura 34. Plano de la Real Acequia del Jarama 1717 (Fuente: Ministerio de Cultura y Deporte).....	145
Figura 35. Plano de canales y acequias de la zona regable del Jarama (Fuente: elaboración propia) .	147
Figura 36. Plano del canal de La Media Luna (Fuente: elaboración propia)	148
Figura 37. Nube de puntos en CloudCompare (Elaboración: fuente propia).....	151
Figura 38. Nube de puntos en ReCap (Elaboración: fuente propia).....	151
Figura 39. Nube de puntos limpia en ReCap(Elaboración: fuente propia).....	152
Figura 40. Inserción de nube de puntos en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)	153

Figura 41. Inserción de ejes en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)	153
Figura 42. Generación de perfiles en ISTRAM (Elaboración: fuente propia).....	154
Figura 43. Generación de secciones en ISTRAM (Elaboración: fuente propia)	154
Figura 44. Sección de canal en ISTRAM (Elaboración: fuente propia).....	155
Figura 45. Punto base del eje en CAD. (Elaboración: fuente propia)	156
Figura 46. Inserción de punto base en REVIT. (Elaboración: fuente propia)	156
Figura 47. Eje del canal en REVIT. (Elaboración: fuente propia).....	157
Figura 48. Nube de puntos en REVIT. (Elaboración: fuente propia)	157
Figura 49. Canal generado en ISTRAM y vinulado en REVIT. (Elaboración: fuente propia).....	158
Figura 50. Compuerta de regulación modelada en REVIT. (Elaboración: fuente propia)	159
Figura 51. Compuerta de toma modelada en REVIT. (Elaboración: fuente propia)	159
Figura 52. Paso sobre canal modelado en REVIT. (Elaboración: fuente propia).....	160
Figura 53. Inserción de datos en parámetros de REVIT. (Elaboración: fuente propia).....	161
Figura 54. Visualizado de PSets y atributos en BIMVision (Elaboración: fuente propia)	162
Figura 55. Ejemplo de ficha de inspección. (Elaboración: fuente propia).....	163
Figura 56. Ejemplo de planificación de actividades. (Elaboración: fuente propia)	164
Figura 57. Ejemplo de parte de operaciones. (Elaboración: fuente propia)	167
Tabla 1. Definiciones de SIG (Fuente: Goochild y Rhind, 1991)	69
Tabla 2. Parámetros y atributos hidráulicos (Fuente: AEAS)	131
Tabla 3. Parámetros canales (Fuente: elaboración propia)	132
Tabla 4. Atributos 01 canales (Fuente: elaboración propia).....	133
Tabla 5. Atributos 02 canales (Fuente: elaboración propia).....	133
Tabla 6. Atributos 03 canales (Fuente: elaboración propia).....	133
Tabla 7. Características cámara dron. (Fuente: elaboración propia).....	150

ANEXO II-BEP

CANAL-GEN-PEB-001

Revisión		Modificaciones	Puntos Revisados
Nº	Fecha		
01	13/06/2024	-	-
02	21/06/2024	Atributos y ficheros de configuración	En su totalidad
03	29/06/2024		En su totalidad

RESPONSABLE

CÓDIGO

Isaac Manzano Serrano

CANAL

REVISIÓN

29/06/2024

Rev.03

Junio 2024

ÍNDICE

0.	PREFACIO	7
1.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.	Objeto	7
1.1.1.	Objetivos del PEB.....	7
1.1.2.	Actualización del plan de ejecución BIM	8
1.2.	Alcance	8
1.2.1.	Hitos relevantes de la actuación	8
1.3.	Términos.....	8
1.4.	Estándares de referencia.....	9
2.	OBJETIVOS BIM Y USOS DE MODELO.....	10
2.1.	Objetivos BIM	10
2.2.	Usos de modelo	10
3.	ESTRUCTURA DEL PEB.....	12
4.	RECURSOS	15
4.1.	Recursos humanos.....	15
4.1.1.	Organigrama de agentes BIM.....	15
4.1.2.	Roles y responsabilidades.....	15
4.2.	Recursos materiales.....	17
4.2.1.	Requisitos de hardware	17
4.2.2.	Plataformas de software y versiones	17
5.	ESTRATEGIA BIM.....	19
5.1.	Organización de modelos	19
5.1.1.	División de modelos	19
5.1.2.	Federación de modelos	19
5.2.	Nivel de información necesaria	19
5.2.1.	Nivel de detalle (LOD).....	20
5.2.2.	Nivel de información no gráfica y vinculada (LOI)	20
5.3.	Estructura de datos	20

5.3.1.	Sistema de clasificación de elementos	20
5.4.	Organización de parámetros	21
5.5.	Sistema de coordenadas.....	21
5.6.	Niveles y ejes de referencia.....	21
5.6.1.	Punto base.....	21
5.7.	Estrategia 2D.....	21
5.8.	Gestión de información existente	22
6.	DOCUMENTACIÓN BIM A ENTREGAR	22
7.	ENTORNO COMÚN DE DATOS	23
7.1.	Definición de CDE	23
7.2.	Roles y responsabilidades dentro del CDE	23
7.3.	Estrategia de colaboración	23
7.4.	Estructura de carpetas.....	24
7.5.	Estrategia de transmisión de datos	25
8.	CONTROL DE CALIDAD	26
9.	ESTANDARIZACIÓN	27
9.1.	Nombrado de documentación de contrato.....	27
9.2.	Unidades.....	27
10.	REUNIONES DIGITALES	28
10.1.	Estrategia de reuniones.....	28
11.	REFERENCIAS	28
	P2_contrato de servicios-1.pdf	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Organigrama BIM.....	15
Ilustración 2. Ejemplo estados del CDE.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de la actuación.	7
Tabla 2. Revisiones del plan de ejecución BIM.....	8
Tabla 3. Hitos relevantes de la actuación.....	8
Tabla 4. Estándares de referencia.	9
Tabla 5. Objetivos BIM.....	10
Tabla 6. Usos de modelo previstos.....	11
Tabla 8. Anexos del PEB.....	14
Tabla 9. Roles y responsabilidades.....	16
Tabla 10. Datos del equipo BIM.	16
Tabla 11. Listado y detalles del software utilizado.....	18
Tabla 12. División de modelos.....	19
Tabla 13. Federación de modelos.....	19
Tabla 14. Tabla de nivel de detalle.	20
Tabla 15. Tabla de geolocalización de punto base.....	21
Tabla 16. Documentación de partida.	22
Tabla 16. Entregables	22
Tabla 17. Descripción de los estados del CDE.	24
Tabla 18. Control de calidad de documentación BIM.	26
Tabla 19. Nombrado de documentación de contrato.....	27

Tabla 20. Calendario de reuniones digitales. 28

Tabla 21. Documentos de referencia. 28

0. Prefacio

El presente plan de ejecución BIM (BEP) sirva de articulación para la aplicación de metodología BIM en mantenimiento de canales.

1. Introducción

1.1. Objeto

Este PEB tiene como objeto establecer los procesos, recursos, técnicas, sistemas, etc. que serán aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados para la actuación de MANTENIMIENTO DE CANALES. En este documento se detallan las particularidades propias de la actuación, que tendrán siempre como respaldo el Contrato.

Datos de la actuación	
Nombre de la actuación	MANTENIMIENTO DE CANALES
Código de la actuación	CANAL
Dirección	Madrid
Fecha de comienzo	29/06/2024
Fecha de final	12/07/2024
Descripción de la actuación	El conjunto de actuaciones relacionadas con el mantenimiento del canal, tiene como finalidad principal modelar un canal de riego y sus elementos de regulación, compuertas y tomas, para integrar dentro de las operaciones de mantenimiento y conservación la metodología BIM.

Tabla 1. Identificación de la actuación.

1.1.1. Objetivos del PEB

Los objetivos del presente plan de ejecución BIM son:

- J Exponer ante UEM la interpretación que el autor del presente TFM ha hecho de las bases BIM recogidas en el pliego.
- J Garantizar ante UEM que los requisitos BIM del pliego serán satisfechos.
- J Servir de guía para el alumno del TFM en cuanto a cómo se producirá, coordinará y entregará la información BIM de la actuación.

1.1.2. Actualización del plan de ejecución BIM

Este plan de ejecución BIM es un documento vivo y, como tal, se actualiza frecuentemente para adaptarse a las decisiones que se tomen durante la realización de los trabajos.

Nº	Fecha	Responsable	Empresa
01	13/06/2024	Isaac Manzano Serrano	
02	21/06/2024	Isaac Manzano Serrano	
03	29/06/2024	Isaac Manzano Serrano	

Tabla 2. Revisiones del plan de ejecución BIM.

1.2. Alcance

1.2.1. Hitos relevantes de la actuación

A continuación, se muestra la relación de las fases de la actuación con sus hitos de entrega más importantes. Se trata de una aproximación general para enmarcar los tiempos de la actuación. Los detalles de los entregables se acotan y desarrollan en el plan general de desarrollo de la información (MIDP) que acompaña a este PEB.

Hito de entrega	Fecha de inicio	Fecha de entrega
1. PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS		
Entrega inicial	13/06/2024	20/06/2024
Entrega final	21/06/2024	29/06/2024
2. PLAN DE EJECUCIÓN BIM		
Entrega inicial	13/06/2024	20/06/2024
Entrega final	21/06/2024	29/06/2024
3. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		
Entrega final	13/06/2024	20/04/2024
4. MODELOS BIM		
Entrega inicial	13/06/2024	20/06/2024
Entrega final	21/06/2024	29/06/2024

Tabla 3. Hitos relevantes de la actuación.

1.3. Términos

EL CONTRATO incluye una terminología BIM, donde se encuentra el significado y las definiciones relativas al vocabulario específico BIM.

1.4. Estándares de referencia

Documento
ISO 19650-1. Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 1: Conceptos y principios
ISO 19650-2. Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 2: Fase de producción de los activos
Industry Foundation Classes (IFC), Building SMART International
Documentación de los subgrupos de trabajo de la comisión “ es.BIM ” actual Comisión BIM (CBIM)
Plan BIM Chile, Estándar BIM para proyectos públicos , 2019.
BIMe Initiative, 211in Model Uses List (v1.26), 2019.
PLANBIM 2022, Francia, EJE C: Convenciones de tipos BIM, 2020
Penn State, The Uses of BIM, Version 0.9, 2013
Penn State, BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.2, 2019
AEAS, Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. Manual BIM AEAS
BIM Forum, Level of Development Specification . 2020.
AEC (UK) BIM Protocol. V 2.0. AEC (UK) BIM & CAD Standards Site
Puertos del Estado, Guía BIM del Sistema Portuario de Titularidad Estatal , Junio 2019
Euskal Trenbide Sarea, Manual BIM , Abril 2020
Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, Manual BIM , Octubre 2020

Tabla 4. Estándares de referencia.

2. Objetivos BIM y usos de modelo

2.1. Objetivos BIM

Objetivos BIM	Descripción
Intercambiar información del canal acordada durante intervalos establecidos.	Utilizar el modelo para facilitar la transferencia de información del activo durante todo su fase de mantenimiento.
Colaborar utilizando modelos de información y datos para facilitar la revisión y la toma de decisiones.	Proporcionar soporte en la toma de decisiones. Mediante la generación de información y la visualización de la misma, se pretende facilitar la toma de decisiones en fase de proyecto y construcción, así como mejorar la capacidad de reacción ante posibles imprevistos y la comunicación entre los diferentes agentes implicados.
Tener un diseño totalmente coordinado antes del comienzo en el sitio. (3D)	Facilitar la coordinación de disciplinas durante el diseño, asegurando la coherencia entre las soluciones de las diferentes disciplinas, así como la comunicación entre los agentes implicados.
Producción de Planos a partir de modelos coordinados sin errores de coherencia entre ellos. (2D).	Aumentar y asegurar la calidad a lo largo de cada una de la fase mantenimiento del activo, minimizando así imprevistos y desviaciones.
Asegurarse de que los metadatos de activos adecuados se inserten en el modelo BIM.	Conocimiento del estado actual del entorno y de los elementos existentes, posibilitando un diseño integrado en fase de mantenimiento.

Tabla 5. Objetivos BIM.

2.2. Usos de modelo

A continuación, se detallan los usos de modelo previstos para la presente actuación, y las fases en las que aplican:

Usos de modelo	Descripción	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Autoría mediante modelos BIM 3D	La autoría mediante modelos BIM 3D implica la creación y gestión colaborativa de información detallada sobre el canal utilizando tecnología tridimensional para optimizar el mantenimiento.	X	X	X

Gestión documental, colaboración y entrega BIM (CDE)	La Gestión Documental, Colaboración y Entrega BIM (CDE) implica un sistema centralizado para almacenar, compartir y gestionar documentos y modelos BIM de manera colaborativa, asegurando una comunicación eficiente entre los participantes del sistema y facilitando la entrega integrada y precisa de datos BIM durante la fase de mantenimiento.	X	X	X
Documentación 2D, planos	La documentación 2D y los planos en el contexto del proyecto implican la creación detallada y visualmente comprensible de representaciones bidimensionales del canal y sus elementos, proporcionando información esencial para el mantenimiento, incluyendo dimensiones, detalles técnicos y especificaciones.	X	X	X
Reuniones digitales	Las reuniones digitales en este proyecto implican la utilización de herramientas BIM para organizar encuentros virtuales entre los equipos de diseño, ingeniería y mantenimiento, permitiendo la revisión conjunta de modelos, la resolución de problemas y la toma de decisiones colaborativa, optimizando la comunicación y asegurando la alineación de todos los participantes.	X	X	X
Levantamiento digital de activos existentes.	El levantamiento digital de activos existentes en este proyecto implica la creación detallada y precisa de modelos BIM a partir de datos capturados digitalmente de la infraestructura existente en el sitio.	X	X	X

Tabla 6. Usos de modelo previstos.

3. Estructura del PEB

El plan de ejecución BIM se compone de los siguientes documentos:

Estructura del PEB	Código del documento	Descripción
Plan de ejecución BIM		
Plan de ejecución BIM	CANAL-GEN-BEP-001	El Plan de Ejecución BIM es un documento detallado que establece las estrategias y los procesos específicos para implementar la metodología BIM en un proyecto de construcción, delineando cómo se generarán, gestionarán y compartirán los datos BIM a lo largo de todas las etapas de la fase de mantenimiento.
Anexos del PEB		
MIDP	CANAL-GEN-ANB-001-MIDP	El MIDP, o Manual de Implementación del Desarrollo del Proyecto BIM, es un documento que detalla los procedimientos específicos, roles y responsabilidades de los participantes, y los estándares BIM a seguir en un proyecto, asegurando una implementación coherente y efectiva de la metodología BIM en todas las fases del mantenimiento.
Documento de normas de trabajo con el modelo	CANAL-GEN-ANB-002-Normas_de_Trabajo	El Documento de Normas de Trabajo con el Modelo es un conjunto detallado de directrices y reglas específicas que establecen cómo se debe crear, organizar, gestionar y compartir el modelo BIM durante todas las etapas de la fase de mantenimiento, asegurando la coherencia y la colaboración efectiva entre los equipos y partes involucradas en la implementación BIM.
Plantilla de control de calidad	CANAL-GEN-ANB-003-Plantilla_de_control_de_calidad	La Plantilla de Control de Calidad es un documento estructurado que establece los criterios y procedimientos específicos para evaluar y asegurar la precisión y coherencia del modelo BIM y la información asociada, garantizando estándares de calidad

		durante todas las fases del mantenimiento en BIM.
Plantilla para actas en reuniones digitales	CANAL-GEN-ANB-004- Plantilla_Acta_Reuniones	La Plantilla para Actas en Reuniones Digitales es un formato estructurado que se utiliza durante las reuniones digitales, para registrar los puntos clave discutidos, decisiones tomadas y acciones acordadas, facilitando la documentación precisa y la comunicación efectiva entre los participantes del equipo.
Matriz de atributos	CANAL-GEN-ANB-005- Matriz_Atributos	La Matriz de Atributos es una tabla que organiza y presenta la información relacionada con los atributos de los elementos en un modelo BIM. Estos atributos pueden incluir información como el tipo de material, dimensiones, peso, número de referencia, entre otros. La matriz ayuda a gestionar y entender la información asociada a cada componente del modelo.
Archivo de Exportación de Revit	CANAL-GEN-ANB-006- Exportación_Revit	Revit permite asignar conjuntos de propiedades (Property Sets) a los elementos del modelo. Estos conjuntos de propiedades contienen información adicional sobre los elementos, como datos de fabricación, mantenimiento o cualquier otra información específica del proyecto. Un archivo de exportación de Revit con Property Sets sería un archivo que incluye estos conjuntos de propiedades junto con el modelo para compartir la información asociada con los elementos.
Fichero de chequeo de parámetros BIMCollab	CANAL-GEN-ANB-007- Chequeo_parámetros	Es archivo que contiene criterios y reglas específicas para verificar la calidad y consistencia de los parámetros dentro de un modelo BIM. Este archivo se utiliza para realizar revisiones y garantizar que el modelo cumpla con los estándares establecidos.
Tabla sistema de clasificación de aplicación	CANAL-GEN-ANB-008- Sistema_Clasificación	Este documento recoge un sistema de clasificación de aplicación se refiere a la estructura jerárquica que se utiliza para organizar y clasificar los elementos dentro de un modelo BIM. Puede incluir categorías

		como arquitectura, estructura, instalaciones, etc. Este sistema facilita la identificación y gestión de los componentes del modelo, proporcionando una estructura coherente y estandarizada
Archivo de configuración txt	CANAL-GEN-ANB-009- Archivo_configuración	Recoge la Tabla sistema de clasificación de aplicación en txt

Tabla 7. Anexos del PEB.

4. Recursos

4.1. Recursos humanos

4.1.1. Organigrama de agentes BIM



Ilustración 1. Organigrama BIM.

4.1.2. Roles y responsabilidades

Rol	Responsabilidades
UEM	
Responsable BIM	XXXXXXXXXXXXXX
Responsable de la gestión de la información	XXXXXXXXXXXXXX
Equipo de gestión BIM de Canal	
Responsable BIM	Liderar la correcta implantación y uso de la metodología BIM, así como coordinar a todos los equipos y conseguir que todos los agentes implicados cumplan los estándares estipulados desde el inicio del proyecto hasta el fin de la edificación y entrega de toda la información BIM

Responsable de la gestión de la información	Es el agente responsable de gestionar y controlar el flujo de información entre todos los agentes intervinientes en el proyecto BIM a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del proyecto
Coordinador BIM	Responsable de coordinar los trabajos entre las distintas disciplinas y Proyectos existentes
Equipo de Estructuras de Canal	
Coordinador BIM disciplina	Coordinar el trabajo de dicha disciplina, con la finalidad de que se cumplan los requerimientos del cliente
Modelador BIM	Responsable del modelado teniendo en cuenta todos los criterios que han sido recogidos en el Plan de Ejecución BIM o BEP.
Equipo de Trazado de Canal	
Coordinador BIM disciplina	Coordinar el trabajo de dicha disciplina, con la finalidad de que se cumplan los requerimientos del cliente
Modelador BIM	Responsable del modelado teniendo en cuenta todos los criterios que han sido recogidos en el Plan de Ejecución BIM o BEP.

Tabla 8. Roles y responsabilidades.

Los integrantes del equipo BIM de Canal y sus datos son los siguientes:

Rol	Nombre	Empresa	Contacto
Equipo de gestión BIM de Canal			
Responsable BIM	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Responsable de la gestión de la información	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Coordinador BIM	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Equipo de Estructuras de Canal			
Coordinador BIM disciplina	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Modelador BIM	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Equipo de Trazado de Canal			
Coordinador BIM disciplina	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es
Modelador BIM	Isaac Manzano	Canal	22238647@live.uem.es

Tabla 9. Datos del equipo BIM.

4.2. Recursos materiales

4.2.1. Requisitos de hardware

Los requisitos mínimos de Hardware son:

Sistema operativo	Microsoft® Windows® 11 y Windows 10 de 64 bits.
CPU	Procesador de 3 GHz o más rápido
RAM	2 GB de RAM (mínimo)
Gráficos	Tarjeta gráfica compatible con Direct3D 9® y OpenGL® con Shader Model 2 (como mínimo)
Pantalla	Pantalla VGA con una resolución de 1280 x 800 y color verdadero (se recomienda un monitor de 1920 x 1080 y un adaptador de pantalla de vídeo de 32 bits)
Dispositivo señalador	Dispositivo señalador compatible con ratón de Microsoft

4.2.2. Plataformas de software y versiones

A continuación, se especifica el software empleado por las diferentes disciplinas que forman parte de esta actuación, así como los formatos de los archivos que se generarán con cada uno de estos softwares:

Software	Versión	Propósito	Sistema operativo	Formatos generados
Equipo de gestión BIM de Canal				
ISTRAM	Versión 2023	Generador de modelos	Windows 11	.ILandXML
BIMCollab ZOOM	Versión 7.0	Generador de modelos	Windows 11	.IFC
Revit	Versión 2024	Detección de interferencias	Windows 11	.RVT
Equipo de estructuras de Canal				
BIM Vision	Versión 2.27.5	Visionado de modelos	Windows 11	.IFC
CloudCompare	Versión 2.12.4	Visionado de modelos	Windows 11	.IFC
Revit	Versión 2024	Generador de modelos	Windows 11	.RVT

Equipo de trazado de Canal				
ISTRAM	Versión 2023	Generador de modelos	Windows 11	.LandXML / BCF
BIMCollab ZOOM	Versión 7.0	Generador de modelos	Windows 11	.IFC
CloudCompare	Versión 12.4	Visionado de modelos	Windows 11	.IFC
Federación de Modelos y vídeos				
Navisworks	Versión 2024	Federación y renderización de modelos	Windows 11	.NWD
Lumion	Versión 2023	Federación y renderización de modelos	Windows 11	.DAE

Tabla 10. Listado y detalles del software utilizado.

5. Estrategia BIM

5.1. Organización de modelos

5.1.1. División de modelos

Se ha establecido la siguiente estrategia de división de modelos:

Nombre del modelo	Disciplina	Empresa responsable	Descripción
Canal-EST-MOD-001-Estructura	Estructuras	Canal	Estructuras y elementos dispuesto en el canal. Siendo estos: compuertas de regulación, compuertas de toma y pasos superiores.
Canal-VIA-MOD-001-Trazado	Trazado	Canal	Trazado lineal del canal.

Tabla 11. División de modelos.

5.1.2. Federación de modelos

En esta tabla donde se indica la estrategia de federación de modelos:

Nombre del modelo federado	Propósito	Modelos que forman parte del modelo federado
CANAL-FED-MOD-001-Federado	Mostrar el conjunto de los diferentes modelos que componen el canal	Los modelos de cada disciplina (Estructura y trazado).

Tabla 12. Federación de modelos.

5.2. Nivel de información necesaria

El nivel de información necesaria engloba el nivel de detalle gráfico (LOD) y el nivel de información no gráfica y vinculada (LOI).

5.2.1. Nivel de detalle (LOD)

Con objeto general se desarrolla el nivel de detalle y de contenidos (LOD) con la finalidad de poder llevar a cabo una comunicación y entendimiento conjunto entre los agentes involucrados en el proyecto. Nos permitirá simular y especificar los detalles de los elementos hasta el estándar adecuado para un óptimo desarrollo.

Con los datos que obtenemos y la correlación entre los niveles de geometría y los niveles de metadatos, podremos desarrollar unos modelos de contenidos con un grado de fiabilidad alto para dar veracidad y consistencia al modelado BIM.

El nivel de detalle necesario en un canal para la fase de mantenimiento se establece en un LOD 300:

Con ese nivel de detalle conseguimos llegar a representar los elementos reales que forman parte del modelo constructivo y de las actuaciones a acometer. A su vez revisar el correcto funcionamiento de los elementos junto a sus subelementos, con la posibilidad de su actualización si fuese necesaria.

Disciplina	Estado de los elementos	Fase
		Mantenimiento
Estructuras	Reformados/nuevos	LOD 300
	No reformados	LOD 300
Trazado	Reformados/nuevos	LOD 300
	No reformados	LOD 300

Tabla 13. Tabla de nivel de detalle.

5.2.2. Nivel de información no gráfica y vinculada (LOI)

El nivel de información, LOI, de los elementos de modelo, varía a lo largo del ciclo de diseño de los elementos.

Los elementos se clasificarán para lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto mediante la matriz de atributos proporcionada por Canal. Dicha matriz se puede encontrar en el Anexo II del presente TFM.

5.3. Estructura de datos

5.3.1. Sistema de clasificación de elementos

El sistema de clasificación de elementos se ha generado de para el presente TFM.

5.4. Organización de parámetros

Tanto la Matriz de Atributos como su organización se encuentran anexo a este documento en el Anexo N°5 y N°6 respectivamente.

5.5. Sistema de coordenadas

El proyecto utilizará la proyección UTM con sistema de referencia geodésico ETRS-89.

La unidad de medida geométrica de todos los modelos será el metro con hasta tres decimales de precisión.

5.6. Niveles y ejes de referencia

5.6.1. Punto base

El punto base de proyecto para los modelos será el siguiente, en coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM):

Punto base	
N/S	4435704.682
E/O	445832.926
Elevación	489.259
Ángulo a norte de proyecto	0,000

Tabla 14. Tabla de geolocalización de punto base.

La precisión de estos valores se fija en 3 decimales para las coordenadas N/S y E/O, en 3 decimales para la elevación, y en 3 decimales para el ángulo a norte de proyecto.

5.7. Estrategia 2D

En términos generales, los diseños en formato 2D (planos) deben generarse directamente desde el modelo, evitando exportar vistas 2D que sean susceptibles de modificaciones posteriores. Dado que este enfoque, contradice el principio BIM de mantener un modelo central de información.

No obstante, no implica que todo deba estar modelado. Por ejemplo, ciertos detalles constructivos pueden diseñarse utilizando software 2D y luego integrarse en la documentación 2D. Este proceso no implica una edición posterior del modelo.

Además, los planos deben estar en formato A3.

5.8. Gestión de información existente

Al tratarse de una infraestructura existente, la información de partida para desarrollar los entregables BIM, ha sido obtenida mediante procedimientos topográficos y fotogramétricos

Documentación de partida	Suministrador	Formato
Ubicación	Google Earth	.KMZ
Nube de punto	Dron	.LAZ

Tabla 15. Documentación de partida.

6. Documentación BIM a entregar

El listado de entregables con sus hitos y fechas de entrega se detallará en el Manual de Implementación del Desarrollo del Proyecto BIM.

ENTREGABLES BIM	FECHA DE ENTREGA	RESPONSABLE
BEP (1ª Versión)	13/06/2024	ISAAC MANZANO
Modelos Nativos		
ESTRUCTURA	21/06/2024	ISAAC MANZANO
TRAZADO	21/06/2024	ISAAC MANZANO
Modelos IFC		
ESTRUCTURA	21/06/2024	ISAAC MANZANO
TRAZADO	21/06/2024	ISAAC MANZANO
MODELO FEDERADO	29/06/2024	ISAAC MANZANO
BEP (Versión definitiva)	29/06/2024	ISAAC MANZANO

Tabla 166. Entregables

7. Entorno común de datos

7.1. Definición de CDE

La información de la actuación se gestiona dentro de un entorno común de datos (CDE). El CDE establecido es Drive de Google.

7.2. Roles y responsabilidades dentro del CDE

El responsable BIM de Canal es el responsable de la gestión de la información.

Las responsabilidades relacionadas con la gestión y uso del CDE para cada rol se definen en el apartado 4.1.2. [Roles y responsabilidades](#).

7.3. Estrategia de colaboración

-) Trabajo colaborativo entre agentes que desarrollan un mismo entregable.
-) Intercambio de información entre agentes.
-) Incorporación de cambios al modelo según órdenes de cambio aprobadas.
-) Control de calidad sobre la documentación antes de avanzar en el flujo.

A continuación, se incluye un gráfico representando los estados que se dan en el CDE hasta realizar la entrega en el repositorio de Canal.



Ilustración 2. Ejemplo estados del CDE.

Plataforma	Estado	Descripción y Links de acceso
CDE de Drive de Google	Trabajo en progreso	Entorno común a Canal para el almacenamiento de información del proyecto. https://drive.google.com/drive/folders/1YSQGLszxAxt474okzln2WyoRPWGw2hP?usp=drive_link
	Compartido	Entorno común a los distintos intervinientes para el almacenamiento de información. https://drive.google.com/drive/folders/1bYZyKlpSUs7IEjFj4A8h11eX-k33Clch?usp=drive_link
	Publicado	Entorno común donde se entregarán los archivos para la revisión por parte de Canal https://drive.google.com/drive/folders/1ryUHStE1DLaozz3KC931DNHTVVjQK4zQ?usp=drive_link

Tabla 177. Descripción de los estados del CDE

7.4. Estructura de carpetas

La estructura de carpetas utilizada en el CDE es la proporcionada por Canal. Esta estructura se utiliza en los estados siguientes:

-) Trabajo en progreso.
-) Compartido.
-) Publicado

7.5. Estrategia de transmisión de datos

El flujo de entregas será mediante el uso del CDE (estado Compartido). Las actualizaciones de seguimiento semanales, las posibles entregas parciales y las entregas finales se realizarán tras acuerdo con el cliente.

8. Control de calidad

Para garantizar la calidad exigida en los entregables se define la siguiente estrategia de control de calidad basada en dos enfoques:

-) Enfoque interno de producción: los entregables serán revisados por el Coordinador BIM de disciplina y posteriormente por Coordinador BIM y el BIM Manager
-) Enfoque interno de entrega de la documentación BIM: los entregables serán revisados antes de entregarlos por el Coordinador BIM de disciplina y posteriormente por Coordinador BIM y el BIM Manager

Documentación	Responsable	Fase	(1)	(2)
Plan de ejecución BIM (PEB)	Isaac Manzano	Final de mantenimiento	X	X
Modelo BIM Estructura	Isaac Manzano	Final de mantenimiento	X	X
Modelo BIM Trazado	Isaac Manzano	Final de mantenimiento	X	X
Modelo BIM federado	Isaac Manzano	Final de mantenimiento	X	X

*(1) = Enfoque interno de producción

*(2) = Enfoque interno de entrega de la documentación BIM

Tabla 18. Control de calidad de documentación BIM.

9. Estandarización

9.1. Nombrado de documentación de contrato

Sistema de nombrado de documentación de contrato:

ASIGNATURA – NOMBRE PROYECTO – DISCIPLINA – TIPO DE DOCUMENTO – N° DOCUMENTO – DESCRIPCIÓN

DISCIPLINA		TIPO DOC	
GEN	General	DMT	Documento de mantenimiento
EST	Estructura	MOD	Modelo
TRZ	Trazado	PEB	Plan de ejecución BIM
FED	Federado	ANB	Anejo al PEB

Ejemplo 1:

CANAL-EST-MOD-001-Estructura

Campos	Descripción	Formato	Número de caracteres
Asignatura	Canal	C1	2
Nombre proyecto	Canal	Canal	5
Disciplina	Estructuras	EST	3
Tipo de documento	Tipología	MOP	3
Número de documento	Numeración correlativa	XXX	3
Descripción	Nombre del modelo	Compuerta	Libre

Tabla 199. Nombrado de documentación de contrato.

9.2. Unidades

Como norma general se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (o el Sistema técnico cuando su uso es más habitual en la magnitud medida) y los modelos están en metros con precisión de milímetro.

10. Reuniones digitales

10.1. Estrategia de reuniones

A continuación, se detallan las principales reuniones digitales que se celebrarán entre CLIENTE y CANAL relacionadas con los hitos principales del contrato.

Tipo de reunión	Descripción	Frecuencia	Fecha	Responsable	Asistentes Requeridos
Aprobación del PEB	Validación del PEB, MIDP	Puntual	Sábado 27/01/2024	Proveedor de servicios	Responsable BIM proveedor Responsable Cliente
Revisiones intermedias	Estado del avance, revisiones y coordinación	Semanal	Sábados	Proveedor de servicios	Responsable BIM proveedor Responsable Cliente
Revisión final	Revisión antes de la entrega	Puntual	Sábado 06/14/2024	Proveedor de servicios	Responsable BIM proveedor Responsable Cliente

Tabla 20. Calendario de reuniones digitales.

11. Referencias

Una vez más adelantado el proyecto, en la tabla se listarán los documentos del *CONTRATO* que complementan la estrategia BIM de la actuación. Estos documentos deben ser tenidos en cuenta y aplicados en los trabajos BIM por los participantes en la actuación.

Documentos del acuerdo cliente
P2_contrato de servicios-1.pdf

Tabla 211. Documentos de referencia.

ANEXO III- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS



ANEXO IV- FICHAS DE INSPECCIÓN



ANEXO V- PARTE DE INCIDENCIA Y OPERACIÓN



ANEXO VI- MODELO CANAL



ANEXO VII- CANAL REVIT



ANEXO VIII- CANAL NAVISWORK MANAGE

