Propuesta metodológica para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial mediante un modelo BIM.

Adriana Marcela Benavides Zambrano

Carlos Alfonso Gómez Guacaneme



Director

Wilson Ernesto Vargas Vargas

Ingeniero Topográfico, MSc. Ph.D(c)

Codirector

Ing. Elkin Darío Cañon Buitrago

Ingeniero Topográfico, MSc.

UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS”

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS

NATURALES MAESTRÍA EN INFRAESTRUTURA VIAL

BOGOTÁ D.C.

2025

DEDICATORIA

A mis hijos Juan y Pipe quienes son mi mayor motivación para continuar, este esfuerzo lo hago pensando en su futuro, esperando ser ejemplo en su vida.

A mis padres y hermanos quienes son pilares fundamentales en mi vida y me han brindado su apoyo incondicional.

A los Ingenieros Elkin Cañon y Wilson Vargas, por compartir sus magnos conocimientos, por su paciencia y compromiso. Gracias por creer en nosotros para culminar esta etapa.

Y a todos aquellos que han contribuido en nuestro proceso para hoy poder decir con orgullo que lo logramos.

Adriana Benavides

A la Universidad Distrital y sus profesores,
A la Sra. Rosita, Don Felitos y Venhija mi familia.
A la Ingeniera Adriana por su constante apoyo durante esta travesía.

Carlos Gómez

ABSTRACT

The use of collaborative tools has transformed the way roads are designed and built, optimizing processes and improving efficiency at every stage of the project. This evolution not only positively impacts the productivity of the sector but also has direct economic effects, reducing costs, minimizing waste, and enhancing resource management. In this context, the integration of Building Information Modeling (BIM) in road infrastructure development has led to significant advancements in project planning and execution, fostering more structured workflows and facilitating data-driven decision-making.

Currently, in Colombia, some public entities such as the ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), INVIAS (Instituto Nacional de Vías), and UPIT (Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte) have developed technical annexes that guide and illustrate BIM concepts in road infrastructure projects. Additionally, academic studies and pilot experiences have explored the implementation of this methodology in certain design phases. These efforts have provided a preliminary understanding of its potential to improve information integration and optimize interdisciplinary coordination. However, there is currently no standardized methodology that allows the sequential development of an infrastructure project with established workflows for the different project phases.

In this context, this research aims to define the minimum guidelines for BIM application in road infrastructure projects, establishing clear principles for its implementation and aligning them with current regulations and the requirements of the entities responsible for project structuring and execution. By adopting these guidelines, road infrastructure projects are expected to be managed in a more integrated manner, with more efficient workflows and better-structured deliverables, ensuring more effective and sustainable planning and execution.

RESUMEN

El uso de herramientas colaborativas ha transformado la forma en que se diseñan y construyen carreteras, optimizando los procesos y mejorando la eficiencia en cada fase del proyecto. Esta evolución no solo impacta positivamente en la productividad del sector, sino que también tiene efectos directos en la economía de los países, al reducir costos, minimizar desperdicios y mejorar la gestión de recursos. En este contexto, la incorporación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el desarrollo de infraestructura vial ha permitido avances significativos en la planificación y ejecución de proyectos, generando procesos más estructurados y facilitando la toma de decisiones basada en datos precisos.

Actualmente, en Colombia, algunas entidades públicas como la ANI, INVIAS, UPIT han desarrollado anexos técnicos que guían e ilustran conceptos BIM en proyectos de infraestructura vial. Adicionalmente, se han llevado a cabo estudios académicos y experiencias piloto que han explorado la implementación de esta metodología en algunas etapas del diseño. Estos esfuerzos han brindado una visión preliminar sobre su potencial para mejorar la integración de información y optimizar la coordinación entre disciplinas. No obstante, no existe una metodología en la actualidad, que permita desarrollar un proyecto de infraestructura de manera secuencial, con flujos establecidos para las diferentes fases de un proyecto.

En este contexto, la presente investigación busca definir los lineamientos mínimos para la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura vial, estableciendo principios claros sobre su implementación y alineándolos con las normativas vigentes y las exigencias de las entidades encargadas de la estructuración y ejecución de estos proyectos. Al adoptar estos lineamientos, se espera que los proyectos viales puedan gestionarse de manera más integral, con procesos más eficientes y con entregables mejor estructurados, asegurando una planificación y ejecución más efectiva y sostenible.

CONTENIDO

DEDICATORIA....1
ABSTRACT....2
RESUMEN....3
CONTENIDO....4
INTRODUCCIÓN....6
GLOSARIO BIM....7
1. ANTECEDENTES....10
1.1. Inicios de BIM en Colombia....10
2. JUSTIFICACIÓN....14
3. OBJETIVOS....16
3.1. OBJETIVO GENERAL....16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS....16
4. MARCO TEÓRICO....17
4.1. Implementación de BIM en el Mundo....18
4.1.1. Europa....19
4.1.2. Asia....20
4.1.3. América Latina....22
4.1.4. Red BIM de Gobiernos Latinos....23
4.1.5. América del Norte....25
4.2. Gestión de la información....26
4.2.1. Gestión de información en proyectos de ingeniería....27
4.2.2. CDE para la gestión de información....29
4.2.3. Estados de la información y gestión de la información de la ISO 19650....35
4.2.3.1. Trabajo en progreso/Work In Progress (WIP, por sus siglas en inglés)....36
4.2.3.2. Control, revisión y/o autorización....36
4.2.3.3. Compartido (SHD Shared)....36
4.2.3.4. Revisión y/o aprobación....36
4.2.3.5. Publicado (PUB)....37
4.2.3.6. Archivado (ARCH)....37
4.3. Estándares BIM y la NTC-ISO 19650....38
4.3.1. Aplicación de los estándares BIM en Colombia....39
4.3.2. Ciclo de la información....40

4.3.3. Requisitos de información según la ISO 19650 43
4.3.4. Dimensiones BIM aplicadas a carreteras 46
4.3.4.1. Dimensión 1D BIM (concepto) 48
4.3.4.2. Dimensión 2D BIM (información bidimensional) 48
4.3.4.3. Dimensión 3D BIM (modelo) 49
4.3.4.4. Dimensión 4D BIM (Planificación) 50
4.3.4.5. Dimensión 5D BIM (presupuesto) 52
4.3.4.6. Dimensión 6D BIM (sostenibilidad) 53
4.3.4.7. Dimensión 7D BIM (operación y mantenimiento) 55
4.3.4.8. Otras dimensiones BIM, 8D, 9D y 10D 57
5. METODOLOGÍA 59
6. DESARROLLO METODOLÓGICO 61
6.1. Recolección de Información secundaria 61
6.2. Propuesta de un Esquema Básico del PEB (Plan de Ejecución BIM) 62
6.3. Definición de roles y responsabilidades 64
6.3.1. Director BIM 65
6.3.2. Gestor BIM 66
6.3.3. Coordinador BIM 67
6.3.4. Modelador BIM 68
6.4. Estructura de trabajo para el desarrollo de proyectos de infraestructura 70
7. DESARROLLO FASES II Y III 80
7.1. Fase de Planificación de un proyecto de infraestructura vial en Autodesk Construction Cloud 80
7.2. Diseño de Infraestructura 111
7.2.1. Fase de Diseño de un proyecto de infraestructura vial en Autodesk Construction Cloud 111
7.2.2. Documentación y exportación de modelos 152
7.2.3. Coordinación y revisión de modelos BIM 171
8. CONCLUSIONES 179
9. REFERENCIAS 181
ANEXO 1 – PLAN DE EJECUCIÓN BEP 184

INTRODUCCIÓN

El uso de las herramientas colaborativas ha permitido optimizar el trabajo en cualquier proyecto de diseño y/o construcción de carreteras, lo cual tiene consecuencias directas en la economía de los países, fomentando los beneficios y la productividad. La inclusión de la metodología BIM (Building Information Modeling) en los diseños de infraestructura vial, está permitiendo generar avances significativos en el desarrollo y ejecución de estos, logrando optimizar recursos que pueden mejorar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

En la actualidad en el ámbito colombiano, no existe una directriz y/o estándares técnicos que permitan establecer los procesos y/o lineamientos mínimos necesarios para implementar en los proyectos de infraestructura vial mediante la metodología BIM, no obstante, se han estado desarrollando algunos estudios académicos particulares para algunas etapas de diseño, permitiendo generar una idea del desarrollo de estos proyectos.

Con esta investigación se pretende establecer los lineamientos mínimos para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, utilizando la metodología BIM y aplicando sus conceptos, definiciones y normativas encaminados a cumplir los requisitos o solicitudes hechos por las entidades en la estructuración y/o ejecución de proyectos de infraestructura vial, permitiendo la entrega de proyectos integrales y apropiados para su ejecución.

GLOSARIO BIM

4D BIM - Fourth Dimension BIM: BIM en cuarta dimensión, integra información temporal para la planificación y programación de la construcción.

5D BIM - Fifth Dimension BIM: BIM en quinta dimensión, añade información relacionada con los costos del proyecto.

6D BIM - Sixth Dimension BIM: BIM en sexta dimensión, incorpora información para la gestión del ciclo de vida y sostenibilidad del activo.

7D BIM - Seventh Dimension BIM: BIM en séptima dimensión, enfocado en la operación y mantenimiento del activo.

AEC - Architecture, Engineering, and Construction: Arquitectura, ingeniería y construcción, industrias principales donde se utiliza BIM.

ACC: Autodesk Construction Cloud

AI in BIM - Artificial Intelligence in BIM: Uso de inteligencia artificial para mejorar procesos BIM.

AIM - Asset Information Model: Modelo de información del activo, contiene la información necesaria para la operación y mantenimiento de un activo construido.

BEP - BIM Execution Plan: Plan de ejecución BIM, un documento que detalla cómo se implementará la metodología BIM en un proyecto.

BIM - Building Information Modeling: Modelado de información de la construcción, una metodología para el diseño, construcción y gestión de proyectos basada en modelos digitales.

BIM 360 - Una plataforma de Autodesk para la gestión de proyectos BIM en la nube.

BIM Forum - Una organización que promueve el uso y desarrollo de estándares BIM.

BMS - Building Management System: Sistema de gestión de edificios, usado para integrar y gestionar sistemas técnicos del edificio mediante BIM.

CDE - Common Data Environment: Entorno de datos común, una plataforma centralizada para gestionar y compartir información en proyectos BIM.

COBie - Construction Operations Building Information Exchange: Intercambio de información de construcción y operaciones, un estándar para la entrega de información al cliente.

DTP - Digital Twin Platform: Plataforma de gemelo digital, que replica virtualmente un activo físico para su gestión y monitoreo.

Dynamo - Una herramienta de programación visual usada en Revit para automatizar procesos en BIM.

EIR - Employer's Information Requirements: Requisitos de información del empleador, un documento que especifica las necesidades de información del cliente.

GIS - Geographic Information System: Sistema de información geográfica, usado para integrar datos espaciales en el contexto BIM.

GIS-BIM Integration - La combinación de datos GIS y BIM para proyectos de infraestructura.

IFC - Industry Foundation Classes: Clases de base industrial, un formato abierto de intercambio de datos para modelos BIM.

IPD - Integrated Project Delivery: Entrega de proyecto integrada, un enfoque colaborativo para la gestión de proyectos BIM.

ISO 19650 - International Organization for Standardization 19650: Un estándar internacional para la gestión de la información en proyectos BIM.

LOD - Level of Development: Nivel de desarrollo, indica el grado de detalle y confiabilidad de un modelo BIM.

LOA - Level of Accuracy: Nivel de precisión, define cuán exactos son los datos o geometría en un modelo BIM.

LOI - Level of Information: Nivel de información, se refiere a la cantidad y calidad de los datos asociados a los elementos de un modelo BIM.

LOIN - Level of Information Need: Nivel de necesidad de información, especifica los datos necesarios para cumplir con los requisitos del cliente y del proyecto, conforme a ISO 19650.

MEP - Mechanical, Electrical, and Plumbing: Mecánica, eléctrica y plomería, disciplinas integradas en modelos BIM.

Navisworks - Software de Autodesk para la revisión de proyectos, detección de interferencias y simulación 4D en BIM.

OIR - Organizational Information Requirements: Requisitos de información organizacional, especifica las necesidades de información a nivel organizacional según la ISO 19650.

PAS 1192 - Publicly Available Specification 1192: Especificación disponible públicamente, que establece estándares para la implementación de BIM.

PIM - Project Information Model: Modelo de información del proyecto, representa la información del proyecto durante las fases de diseño y construcción.

PIR - Project Information Requirements: Requisitos de información del proyecto, especifica las necesidades de información específicas para el proyecto.

Revit - Software de Autodesk utilizado para el diseño arquitectónico y la gestión de proyectos BIM.

Scan to BIM - Tecnología que utiliza datos de escaneo láser para crear modelos BIM.

VDC - Virtual Design and Construction: Diseño y construcción virtual, un enfoque de simulación digital para proyectos BIM.

XR - Extended Reality: Realidad extendida, que incluye AR (Realidad Aumentada), VR (Realidad Virtual) y MR (Realidad Mixta) en el contexto BIM.

1. ANTECEDENTES

La metodología Building Information Modeling (BIM) ha revolucionado la industria de la construcción y la infraestructura a nivel mundial, facilitando la gestión eficiente de proyectos, mejorando la calidad de los diseños y optimizando el uso de los recursos. En Colombia, la adopción de BIM ha sido un proceso gradual influenciado por la necesidad de modernizar los procesos de planificación, diseño y construcción en el sector vial. Este documento traza una línea de tiempo que permite entender la evolución de BIM en el país, identificando hitos clave, avances normativos y su aplicación en infraestructura vial.

1.1. Inicios de BIM en Colombia

El concepto de BIM comenzó a ser introducido en Colombia a finales de la década de 2000, principalmente a través del sector privado y del ámbito académico. Las primeras implementaciones estuvieron enfocadas en proyectos arquitectónicos, siguiendo tendencias internacionales y adoptando software como Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD y Bentley AECOsim (Ortiz & Ramírez, 2014).

En el ámbito de la infraestructura vial, la aplicación de BIM fue mínima durante este período debido a diversas limitaciones como:

- Falta de conocimiento sobre la metodología y sus beneficios.
- Ausencia de normativas que exigieran su uso.
- Restricciones tecnológicas y resistencia al cambio en las empresas del sector.

A pesar de estas barreras, algunas universidades colombianas comenzaron a incluir BIM en sus programas académicos, principalmente en arquitectura y algunas ingenierías. Sin embargo, el enfoque seguía centrado en edificaciones y no en proyectos de infraestructura vial. La llegada de software especializados en diseño geométrico de carreteras, como Autodesk Civil 3D, Bentley OpenRoads y Trimble Novapoint, marcó el

inicio de una exploración en el sector de transporte, aunque su adopción fue limitada a empresas con mayor capacidad tecnológica.

Durante el período comprendido entre 2016 y 2019, el interés en BIM comenzó a expandirse más allá del sector privado y a captar la atención de entidades gubernamentales. En 2017, la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) realizaron estudios para evaluar el estado del BIM en el país y fomentar su adopción en proyectos de infraestructura (CAMACOL, 2018).

En 2018, la Financiera de Desarrollo Nacional (FDN) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) lideraron un diagnóstico sobre BIM en Colombia, destacando la necesidad de generar una estrategia nacional para su implementación. En el sector de infraestructura vial, entidades como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) comenzaron a evaluar el uso de BIM en proyectos piloto, aunque sin regulaciones específicas.

Dentro de los principales avances que se dieron en este período, se destacan los siguientes:

- Primeras experiencias en licitaciones públicas: Algunas concesiones de cuarta generación (4G) comenzaron a requerir el uso de BIM en fases de diseño.
- Mayor capacitación y especialización: Se desarrollaron diplomados y cursos sobre BIM en universidades y entidades del sector.
- Aumento en la inversión tecnológica: Empresas de consultoría e interventoría comenzaron a adoptar plataformas BIM para optimizar procesos.

El año 2020 representó un punto de inflexión para la digitalización del sector de la infraestructura, impulsado en gran medida por la pandemia del COVID-19. La necesidad

de continuar los proyectos de manera remota llevó a un aumento en la adopción de herramientas colaborativas basadas en la nube, lo que favoreció la implementación de BIM.

En este contexto, el DNP, con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), formuló la Estrategia Nacional BIM para Colombia, publicada en 2021 (DNP, 2021). Este documento estableció una hoja de ruta para la adopción de BIM en proyectos de infraestructura, con especial énfasis en el sector vial. Entre sus objetivos se incluyeron:

- La obligatoriedad progresiva de BIM en licitaciones estatales.
- El desarrollo de guías técnicas y estándares nacionales.
- La capacitación de funcionarios públicos en metodologías digitales.

En este periodo, se destacaron avances clave en la infraestructura vial como:

- INVIAS y ANI adoptaron BIM en grandes proyectos como la Vía 4G Bogotá - Villavicencio y la Autopista del Río Magdalena.
- Se establecieron lineamientos preliminares para el modelado de carreteras, incluyendo la integración de datos geoespaciales, drenaje y estructuras.
- Se promovió la interoperabilidad de software, facilitando la comunicación entre diferentes disciplinas y plataformas.

Con el creciente reconocimiento de BIM como un estándar en el desarrollo de infraestructura, el Gobierno Nacional formalizó en octubre de 2024 la Mesa de Articulación Interinstitucional BIM mediante resolución 50505. Este esfuerzo reunió a diversas entidades, incluyendo:

- Ministerio de Transporte
- Departamento Nacional de Planeación (DNP)
- INVIAS y ANI
- Superintendencia de Transporte
- CAMACOL y el sector privado

El propósito de esta mesa es alinear estrategias nacionales para la implementación de BIM en infraestructura vial, garantizando su aplicación uniforme en todo el país. Entre las iniciativas destacadas están:

- Elaboración de guías BIM específicas para carreteras.
- Obligatoriedad de modelos BIM federados en concesiones de gran escala.
- Creación del Centro de Documentación BIM, con acceso a normativas, estudios de caso y metodologías recomendadas.

Finalmente, el panorama actual sugiere que Colombia está en una fase de consolidación en la adopción de BIM en infraestructura vial. A medida que más proyectos gubernamentales incorporan la metodología, el sector privado ha comenzado a alinearse con estas exigencias, promoviendo una transformación digital más estructurada. No obstante, persisten desafíos que deben ser abordados en los próximos años como:

- Capacitación especializada: Se requiere una mayor formación de ingenieros y técnicos en el uso de BIM aplicado a infraestructura vial.
- Normatividad consolidada: Aunque se han dado avances, aún falta una reglamentación detallada que estandarice el uso de BIM en todas las fases de los proyectos.
- Interoperabilidad y acceso a tecnología: Es necesario mejorar la compatibilidad entre diferentes plataformas y fomentar el acceso a software y hardware adecuados.

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, el diseño y la construcción de infraestructura vial aún carecen de un documento técnico oficial que establezca de manera clara los lineamientos y metodologías para la implementación de Building Information Modeling (BIM) en estos proyectos. No obstante, en los últimos años, diferentes entidades han comenzado a reconocer la necesidad de estructurar una estrategia que permita la adopción progresiva de esta metodología en el sector.

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) ha sido una de las entidades que ha tomado la iniciativa en este proceso, incorporando en sus documentos técnicos un apartado denominado "Anexo BIM", el cual busca establecer los requisitos mínimos para la adopción de BIM en estudios y diseños de infraestructura vial. Por su parte, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) ha avanzado en la exigencia del uso de modelos BIM en concesiones viales estratégicas, promoviendo la integración de esta metodología en proyectos de gran envergadura.

Además, la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte (UPIT) ha trabajado en la estructuración de estrategias para la incorporación de BIM en la planificación y gestión de proyectos de infraestructura a nivel nacional, fomentando la transición hacia modelos digitales colaborativos y facilitando la toma de decisiones basada en datos. A través de estas iniciativas, Colombia está sentando las bases para una implementación más estructurada de BIM en el sector vial.

Sin embargo, la falta de un marco normativo consolidado no es el único desafío. Muchas entidades estatales y empresas privadas han mostrado cierta resistencia a innovar en sus procesos debido a la ausencia de formación académica especializada en BIM para infraestructura vial. Este desconocimiento, sumado a la percepción de costos adicionales asociados a la capacitación de profesionales y a la adquisición de plataformas tecnológicas, ha ralentizado su implementación a gran escala.

Ante este panorama, es fundamental proponer un esquema metodológico sólido que facilite la adopción de BIM en el desarrollo de proyectos viales. Este enfoque debe permitir la integración de herramientas colaborativas a lo largo de todas las fases del proyecto, optimizando la gestión de la información y mejorando la coordinación interdisciplinaria. Con ello, no solo se logrará una mayor eficiencia en la planificación, diseño y ejecución de la infraestructura, sino que también se fortalecerá la competitividad del sector, alineándolo con las tendencias globales en transformación digital y construcción inteligente

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta metodológica aplicable a un proyecto de infraestructura vial, mediante la implementación de la metodología BIM.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un esquema básico del PEB (Plan de ejecución BIM) enfocado a proyectos de infraestructura vial, que permita recopilar los elementos principales para la estructuración y el manejo del proyecto bajo la metodología BIM, enmarcado dentro de la normativa ISO 19650.

- Proponer mediante del uso de un entorno común de datos de la industria de la construcción, la estructura mínima necesaria que debe contener un proyecto enmarcado bajo la ISO 19650.

- Plantear diferentes flujos de intercambio de información entre las distintas especialidades que hacen parte de un proyecto de infraestructura vial, en las etapas de planificación y diseños definitivos, dentro de un entorno común de datos.

4. MARCO TEÓRICO

La metodología Building Information Modeling (BIM) ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, transformándose en un pilar fundamental para la digitalización del sector de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC, por sus siglas en inglés: Architecture, Engineering, and Construction). A través del uso de modelos digitales inteligentes y procesos colaborativos, BIM permite la gestión eficiente del ciclo de vida de un proyecto, desde su concepción hasta su operación y mantenimiento (Eastman et al., 2011).

Diferentes instituciones han definido BIM desde perspectivas complementarias:

El American Institute of Architects (AIA) describe BIM como "una representación digital de las características físicas y funcionales de un proyecto" (AIA, 2015).

El National BIM Standard (NBS) lo define como "una fuente compartida de información sobre una infraestructura, que permite la toma de decisiones durante todo su ciclo de vida" (NBS, 2015).

La Organización Internacional de Normalización (ISO) establece en la norma ISO 19650 que BIM es un conjunto de procesos normalizados para la gestión colaborativa de información en proyectos de construcción e infraestructura (ISO, 2018).

A partir de estas definiciones, se pueden identificar los pilares de BIM:

- Trabajo colaborativo entre diferentes disciplinas.
- Modelado de información con datos estructurados e integrados.
- Gestión del ciclo de vida del activo, desde la fase de diseño hasta su demolición o reutilización.

En esencia, BIM no es solo una herramienta para crear modelos 3D, sino un enfoque colaborativo que permite a todos los actores de un proyecto trabajar de manera

coordinada, compartiendo información en tiempo real y tomando decisiones basadas en datos precisos.

4.1. Implementación de BIM en el Mundo

La construcción y el desarrollo de infraestructura han sido históricamente sectores con procesos fragmentados, caracterizados por flujos de trabajo lineales y una gestión documental poco integrada. Durante décadas, la industria ha enfrentado desafíos relacionados con la eficiencia, sobrecostos, retrasos y la falta de interoperabilidad entre disciplinas (Eastman et al., 2011). En respuesta a estas problemáticas, la metodología Building Information Modeling (BIM) ha emergido como una solución integral que permite gestionar de manera digital y colaborativa el ciclo de vida de los proyectos, desde su concepción hasta su operación y mantenimiento (ISO, 2018).

A nivel mundial, la adopción de BIM ha seguido diferentes ritmos según el grado de madurez tecnológica y la voluntad política de cada país. Mientras que regiones como Europa han liderado la implementación mediante normativas y regulaciones que han impulsado su uso en proyectos públicos, América Latina ha avanzado de manera más gradual, con iniciativas estratégicas promovidas por gobiernos y entidades privadas (BuildingSMART International, 2020).

El impacto de BIM trasciende la simple digitalización de planos en 3D. Su verdadero valor radica en la capacidad de integrar información estructurada en modelos inteligentes, permitiendo una mejor toma de decisiones, optimización de costos, reducción de desperdicios y una planificación más precisa de los proyectos (AIA, 2015). En países como el Reino Unido, Francia y Alemania, la implementación de BIM ha sido impulsada por mandatos gubernamentales que exigen su uso en contratos públicos, asegurando que la industria se alinee con estándares internacionales como la ISO 19650 (UK BIM Task Group, 2016; BMVI, 2017).

En otras regiones, como Asia y Norteamérica, la adopción ha sido guiada por el sector privado, donde empresas han visto en BIM una oportunidad para aumentar la eficiencia

operativa y mejorar la calidad de los proyectos (McGraw Hill Construction, 2014). En América Latina, países como Chile, Brasil y Colombia han comenzado a integrar BIM en sus planes de infraestructura, estableciendo hojas de ruta nacionales y desarrollando proyectos piloto que demuestran su viabilidad y beneficios (Plan BIM Chile, 2019; CAMACOL, 2018).

Sin embargo, la implementación global de BIM no está exenta de desafíos. La falta de capacitación especializada, la resistencia al cambio, la necesidad de interoperabilidad entre plataformas y la ausencia de regulaciones uniformes siguen siendo obstáculos que ralentizan su adopción masiva (Deloitte, 2019). A pesar de ello, la tendencia es clara: BIM se está consolidando como un estándar en la industria de la construcción y la infraestructura, con un impacto significativo en la eficiencia, sostenibilidad y calidad de los proyectos en todo el mundo.

En este contexto, es fundamental comprender cómo diferentes países han abordado la implementación de BIM, qué estrategias han funcionado y cuáles han sido las barreras enfrentadas. Analizar estos casos de éxito y los modelos de adopción permitirá extraer lecciones aplicables a otras regiones, incluyendo Colombia, donde la transformación digital en el sector de la infraestructura se encuentra en plena evolución (DNP, 2021).

4.1.1. Europa

El desarrollo e implementación de la metodología BIM en Europa, quizás ha sido uno de los marcos de referencia a nivel mundial, esto debido que, en la actualidad es el continente con más países que se han unido a esta adopción y de los cuales muchos en América Latina han tomado como modelo para generar sus propios documentos que permitan establecer una línea base en pro de la implementación BIM.(Cañón et al., 2023)

Europa ha sido una de las regiones más avanzadas en la adopción de BIM, con países que han establecido mandatos obligatorios y estrategias nacionales para su implementación.

En España: En 2015, se creó la Comisión BIM (es.BIM) con el objetivo de estructurar una estrategia de implementación progresiva en el sector público. En 2017, se estableció la incorporación de requisitos BIM en licitaciones públicas, aunque sin un mandato obligatorio nacional (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020).

Francia: Implementó en 2015 el Plan Transition Numérique dans le Bâtiment, el cual estableció como objetivo la implementación total de BIM en la gestión y diseño de obras públicas para 2022 (PlanBIM, 2017).

Reino Unido: Ha sido un pionero en la implantación de BIM. Desde 2016, el gobierno británico exige el cumplimiento del BIM Nivel 2 en todos los proyectos públicos, lo que ha impulsado una transformación digital del sector (UK BIM Task Group, 2016). La regulación PAS 1192 sirvió como base para el desarrollo de la norma internacional ISO 19650.

Alemania: En 2015, el Gobierno Federal de Alemania lanzó el plan Stufenplan Digitales Planen und Bauen, estableciendo un cronograma de adopción de BIM en proyectos públicos con hitos de implementación hasta 2020. A través de la organización Planen-bauen 4.0, se han desarrollado estándares y proyectos piloto que han acelerado la transformación digital en la industria (BMVI, 2017).

4.1.2. Asia

Asia se ha posicionado como una de las regiones líderes en la adopción de la metodología BIM, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en sus proyectos de infraestructura. Países como Singapur, China, Japón y Corea del Sur han implementado BIM de manera estratégica, estableciendo estándares, normativas y políticas públicas que fomentan su uso. A continuación, se presenta un resumen del estado actual de BIM en Asia, destacando los avances, desafíos y casos emblemáticos.

Asia ha sido pionera en la implementación de BIM, con varios países adoptando esta metodología como parte de sus estrategias de digitalización y desarrollo urbano.

Singapur: Es uno de los líderes mundiales en la adopción de BIM. Desde 2015, el Building and Construction Authority (BCA) ha establecido un mandato que exige el uso de BIM en todos los proyectos públicos. Además, Singapur ha desarrollado estándares y guías para facilitar su implementación, lo que ha permitido mejorar la calidad y eficiencia de las construcciones (BCA, 2015).

China: El gobierno chino ha promovido activamente la adopción de BIM a través de políticas nacionales y estándares técnicos. En 2020, el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural (MOHURD) publicó directrices para la implementación de BIM en proyectos de infraestructura, con el objetivo de mejorar la planificación y reducir los costos (MOHURD, 2020).

Japón: BIM ha sido ampliamente adoptado en el sector privado, especialmente en proyectos de edificación y transporte. El gobierno japonés ha fomentado su uso a través de incentivos y programas de capacitación, lo que ha permitido una mayor eficiencia en la gestión de proyectos (Japan Institute of Architects, 2019).

Corea del Sur: El gobierno coreano ha implementado BIM en proyectos públicos desde 2016, con un enfoque en la mejora de la calidad y la reducción de costos. Además, Corea del Sur ha desarrollado estándares nacionales para facilitar la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM (Korea Institute of Construction Technology, 2017).

El futuro de BIM en Asia depende de la capacidad de los gobiernos, empresas y profesionales para superar los desafíos actuales. La creación de estándares regionales, la inversión en capacitación y la promoción de proyectos piloto serán clave para consolidar la adopción de BIM. Además, la colaboración entre países de la región puede facilitar el intercambio de conocimientos y mejores prácticas, acelerando la transformación digital del sector.

4.1.3. América Latina

La implementación de la metodología BIM en América Latina ha avanzado de manera significativa en los últimos años, aunque de forma desigual entre los países de la región. Mientras algunas naciones han adoptado BIM como parte de sus políticas públicas y normativas, otras aún se encuentran en etapas iniciales de exploración y adopción. A continuación, se presenta un resumen del estado actual de BIM en la región, destacando los avances, desafíos y casos emblemáticos.

Chile: Es uno de los pioneros en la región. En 2020, el gobierno chileno publicó el Plan BIM, una estrategia nacional que establece la obligatoriedad de usar BIM en proyectos públicos a partir de 2025. Este plan ha permitido la capacitación de profesionales y la implementación de BIM en proyectos emblemáticos, como hospitales y redes de transporte (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2020).

Brasil: Aunque no existe un mandato nacional, BIM ha sido adoptado de manera voluntaria en proyectos públicos y privados. En 2021, el gobierno brasileño anunció la creación de una Estrategia Nacional BIM, con el objetivo de promover su uso en proyectos de infraestructura y construcción (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021).

Argentina: En 2021, el gobierno argentino lanzó el Plan Nacional BIM, con el objetivo de implementar esta metodología en proyectos públicos para 2024. Este plan incluye capacitación, desarrollo de estándares y proyectos piloto (Secretaría de Obras Públicas, 2021).

A pesar de los avances, América Latina enfrenta varios desafíos en la adopción de BIM. En muchos países, la ausencia de mandatos obligatorios y estándares nacionales ha limitado la adopción de BIM. Por otro lado, la falta de profesionales capacitados en BIM es uno de los principales obstáculos. Aunque algunos países han implementado programas de formación, estos aún no cubren la demanda del sector. Adicionalmente, la adopción de BIM requiere inversiones en software, hardware y conectividad, lo que puede ser un desafío para empresas y gobiernos con recursos limitados. Finalmente, la industria

de la construcción en América Latina aún se basa en métodos tradicionales, lo que ha generado resistencia a la adopción de nuevas tecnologías y procesos.

El futuro de BIM en la región depende de la capacidad de los gobiernos, empresas y profesionales para superar los desafíos actuales. La creación de normativas claras, la inversión en capacitación y la promoción de proyectos piloto serán clave para consolidar la adopción de BIM. Además, la colaboración entre países de la región puede facilitar el intercambio de conocimientos y mejores prácticas, acelerando la transformación digital del sector.

4.1.4. Red BIM de Gobiernos Latinos

La Red BIM de Gobiernos Latinos es una iniciativa colaborativa que busca promover la adopción y estandarización de la metodología BIM en América Latina. Creada en 2019, esta red reúne a representantes de gobiernos, instituciones y expertos de la región con el objetivo de fomentar el uso de BIM en proyectos públicos, mejorar la eficiencia en la construcción y facilitar el intercambio de conocimientos y mejores prácticas.

El principal objetivo de la Red BIM de Gobiernos Latinos es impulsar la transformación digital del sector de la construcción en América Latina a través de la adopción de BIM. Para lograrlo, la red se enfoca en:

- Promover políticas públicas: Fomentar la creación de normativas y estándares que faciliten la implementación de BIM en proyectos públicos.
- Facilitar la colaboración regional: Crear un espacio de diálogo y cooperación entre los países de la región para compartir experiencias, conocimientos y recursos.
- Capacitar profesionales: Desarrollar programas de formación y capacitación para profesionales y funcionarios públicos, con el fin de cerrar la brecha de habilidades en BIM
- Establecer estándares comunes: Trabajar en la definición de estándares regionales que permitan la interoperabilidad y el uso eficiente de BIM en proyectos transfronterizos.

Por otra parte, La Red BIM de Gobiernos Latinos opera a través de una estructura colaborativa y participativa, que incluye reuniones periódicas donde los miembros de la red discuten avances, desafíos y estrategias relacionadas con la implementación de BIM en la región. De igual manera, se han establecido grupos temáticos que abordan áreas específicas, como normativas, capacitación, estándares técnicos y proyectos piloto.

La red facilita el intercambio de casos de éxito y lecciones aprendidas entre los países miembros, lo que permite acelerar la adopción de BIM. Los países miembros trabajan en proyectos conjuntos que sirven como ejemplos prácticos de la implementación de BIM en la región.

Desde su creación, la Red BIM de Gobiernos Latinos ha logrado avances significativos en la promoción de BIM en la región como normativas donde países como Chile, Colombia y Argentina han desarrollado políticas y normativas basadas en las recomendaciones de la red, lo que ha facilitado la adopción de BIM en proyectos públicos (Red BIM de Gobiernos Latinos, 2021). También, La red ha impulsado programas de formación en BIM, beneficiando a miles de profesionales y funcionarios públicos en la región.

El futuro de la Red BIM de Gobiernos Latinos se enfoca en consolidar su papel como líder en la promoción de BIM en la región. Para ello, se plantean los siguientes objetivos:

- Ampliar la membresía: Incorporar a más países y actores clave de la industria para fortalecer la colaboración regional.
- Desarrollar estándares regionales: Trabajar en la creación de estándares técnicos que faciliten la interoperabilidad y el uso eficiente de BIM en proyectos transfronterizos.
- Fomentar la innovación: Promover el uso de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el internet de las cosas, en conjunto con BIM.

4.1.5. América del Norte

América del Norte ha sido una de las regiones pioneras en la adopción de la metodología BIM (Building Information Modeling), con países como Estados Unidos y Canadá liderando su implementación en proyectos de infraestructura y construcción. La región ha logrado avances significativos en la integración de BIM, gracias a políticas públicas, estándares técnicos y una cultura de innovación que fomenta su uso. A continuación, se presenta un resumen del estado actual de BIM en América del Norte, destacando los avances, desafíos y casos emblemáticos.

América del Norte ha adoptado BIM de manera estratégica, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la calidad de los proyectos de construcción.

Estados Unidos: Es uno de los líderes mundiales en la implementación de BIM. Aunque no existe un mandato federal, muchas agencias gubernamentales, como el Departamento de Defensa y el Departamento de Asuntos de Veteranos, han adoptado BIM en sus proyectos. Además, el National Institute of Building Sciences (NIBS) ha desarrollado estándares como el NBIMS-US para promover su uso en la industria (NIBS, 2020).

Canadá: El gobierno canadiense ha implementado BIM en proyectos de infraestructura crítica, como hospitales, aeropuertos y redes de transporte. En 2021, se lanzó la Estrategia Nacional BIM, con el objetivo de promover su uso en proyectos públicos y privados, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad (Infrastructure Canada, 2021).

El futuro de BIM en América del Norte depende de la capacidad de los gobiernos, empresas y profesionales para superar los desafíos actuales. La creación de normativas claras, la inversión en capacitación y la promoción de proyectos piloto serán clave para consolidar la adopción de BIM. Además, la colaboración entre países de la región puede facilitar el intercambio de conocimientos y mejores prácticas, acelerando la transformación digital del sector.

4.2. Gestión de la información

En la era de la digitalización y la transformación tecnológica, la gestión de la información en proyectos de infraestructura se ha convertido en un eje fundamental para garantizar la eficiencia, sostenibilidad y calidad en el desarrollo de obras civiles. La evolución de los modelos tradicionales de gestión documental y coordinación de proyectos ha dado paso a metodologías más estructuradas y colaborativas, donde el Building Information Modeling (BIM) se posiciona como el estándar global para la estructuración, almacenamiento, intercambio y análisis de datos en el ciclo de vida de la infraestructura (ISO, 2018).

A diferencia de los métodos convencionales, donde la información se maneja de manera fragmentada en formatos estáticos como planos 2D y documentos independientes, BIM permite la creación de modelos digitales inteligentes que integran datos geoespaciales, estructurales, hidráulicos y operacionales en un único entorno de información federado (Eastman et al., 2011). Estos modelos no solo representan la geometría tridimensional de un proyecto, sino que también incorporan atributos paramétricos, cronogramas de ejecución (4D), análisis de costos (5D) y estrategias de mantenimiento y operación (6D y 7D), permitiendo una toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

En el ámbito de la infraestructura vial, ferroviaria, aeroportuaria e hidráulica, la gestión de información a través de BIM ha demostrado ser una herramienta clave para la optimización de procesos. Desde la planificación inicial hasta la fase de operación, la metodología facilita el acceso a información actualizada y centralizada, minimizando errores de interpretación y reduciendo costos asociados a modificaciones tardías (Ghaffarianhoseini et al., 2017). La interoperabilidad entre software y disciplinas permite una mejor coordinación entre actores clave como diseñadores, ingenieros, contratistas, interventores y operadores, asegurando que cada decisión tomada esté respaldada por datos verificables.

Uno de los desafíos más relevantes en la implementación de BIM para infraestructura es la estructuración de flujos de trabajo estandarizados para la gestión de la información. La aplicación de normas como la ISO 19650, que define los principios para la organización y digitalización de la información en entornos colaborativos, ha permitido a distintos países establecer marcos de referencia sólidos para la adopción de BIM en proyectos de infraestructura pública y privada (ISO, 2019). Estas regulaciones promueven la estandarización en la generación, almacenamiento y entrega de datos, facilitando su reutilización a lo largo del ciclo de vida de los proyectos.

Sin embargo, la implementación efectiva de BIM en la gestión de la información no solo depende de la tecnología, sino también de la capacitación y la transformación cultural dentro de las organizaciones. La integración de procesos digitales requiere un cambio en la mentalidad de los equipos de trabajo, fomentando la colaboración interdisciplinaria y el uso de herramientas digitales para la gestión eficiente de datos (Volk et al., 2014).

En este contexto, es esencial comprender los principios y mejores prácticas para la gestión de información en proyectos BIM de infraestructura. Este enfoque permitirá a las entidades públicas y privadas maximizar los beneficios de la metodología, reducir riesgos, optimizar costos y mejorar la sostenibilidad de las obras, posicionando a BIM como el eje central de la digitalización en el sector de la infraestructura.

4.2.1. Gestión de información en proyectos de ingeniería

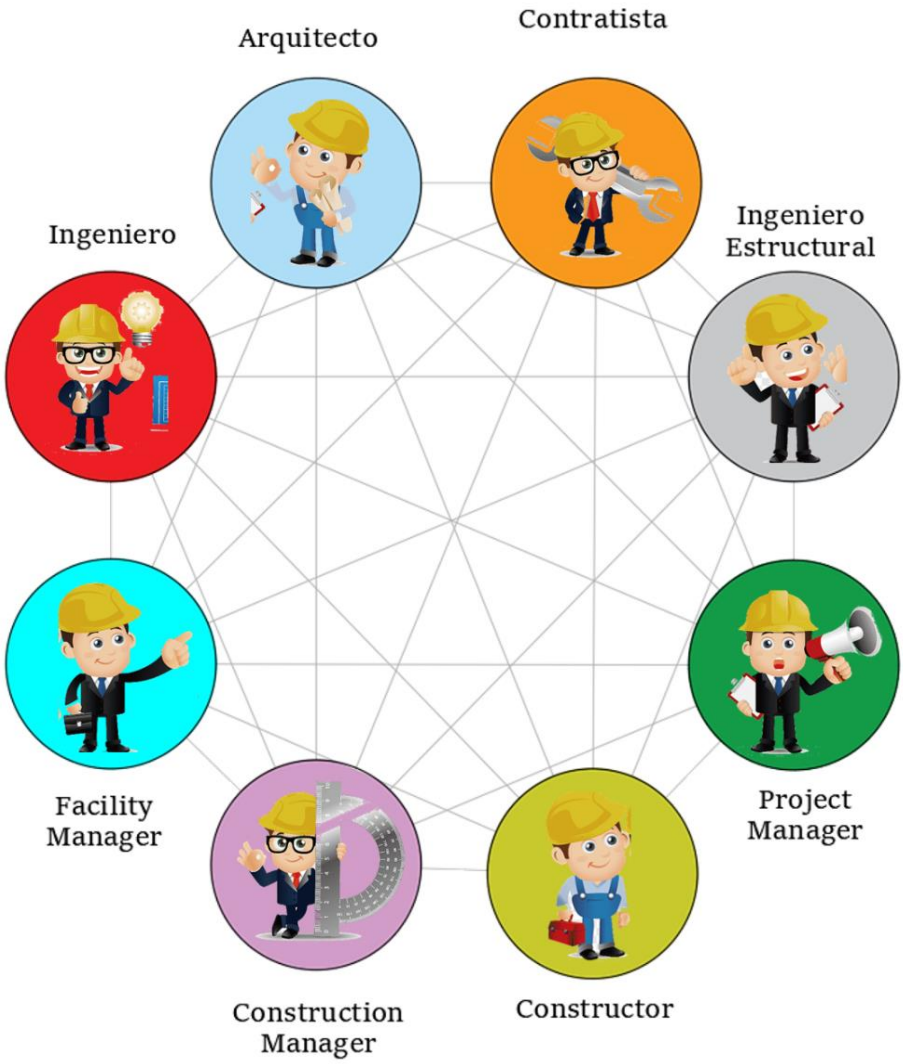
En los proyectos de ingeniería, la trazabilidad de la información es esencial para asegurar la coherencia, precisión y accesibilidad de los datos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, cuando se utilizan múltiples canales como correos electrónicos, documentos dispersos, y otras formas de comunicación, surgen importantes desafíos que pueden afectar negativamente la gestión de contratos y la ejecución del proyecto.

La fragmentación de archivos se produce cuando la información relevante se encuentra distribuida en diversas plataformas y formatos, como correos electrónicos, hojas de

cálculo, documentos y sistemas de gestión documental. Cuando los equipos trabajan con diferentes plataformas (como software CAD, hojas de cálculo y sistemas ERP), la integración de datos se vuelve compleja, generando silos de información que dificultan una visión unificada del proyecto. Esto puede derivar en errores en el diseño y planificación, afectando los cronogramas y presupuestos. Esta dispersión dificulta la localización y consolidación de datos, lo que puede llevar a retrasos y posibles pérdidas de información crítica.

Los problemas de comunicación en proyectos tradicionales de ingeniería sin el uso de un CDE son diversos y pueden tener consecuencias negativas para el éxito del proyecto. Estos problemas se deben a la falta de una plataforma común que facilite el intercambio, la gestión y el control de la información entre los distintos participantes (ver Figura 1). Algunos ejemplos de estos problemas son la falta de coordinación, la dificultad para acceder a la información actualizada, la pérdida o alteración de la información y la incompatibilidad entre los formatos y plataformas de información.

Figura 1 Método tradicional de intercambio de información, manejo de información en diferentes plataformas, archivos y versiones.



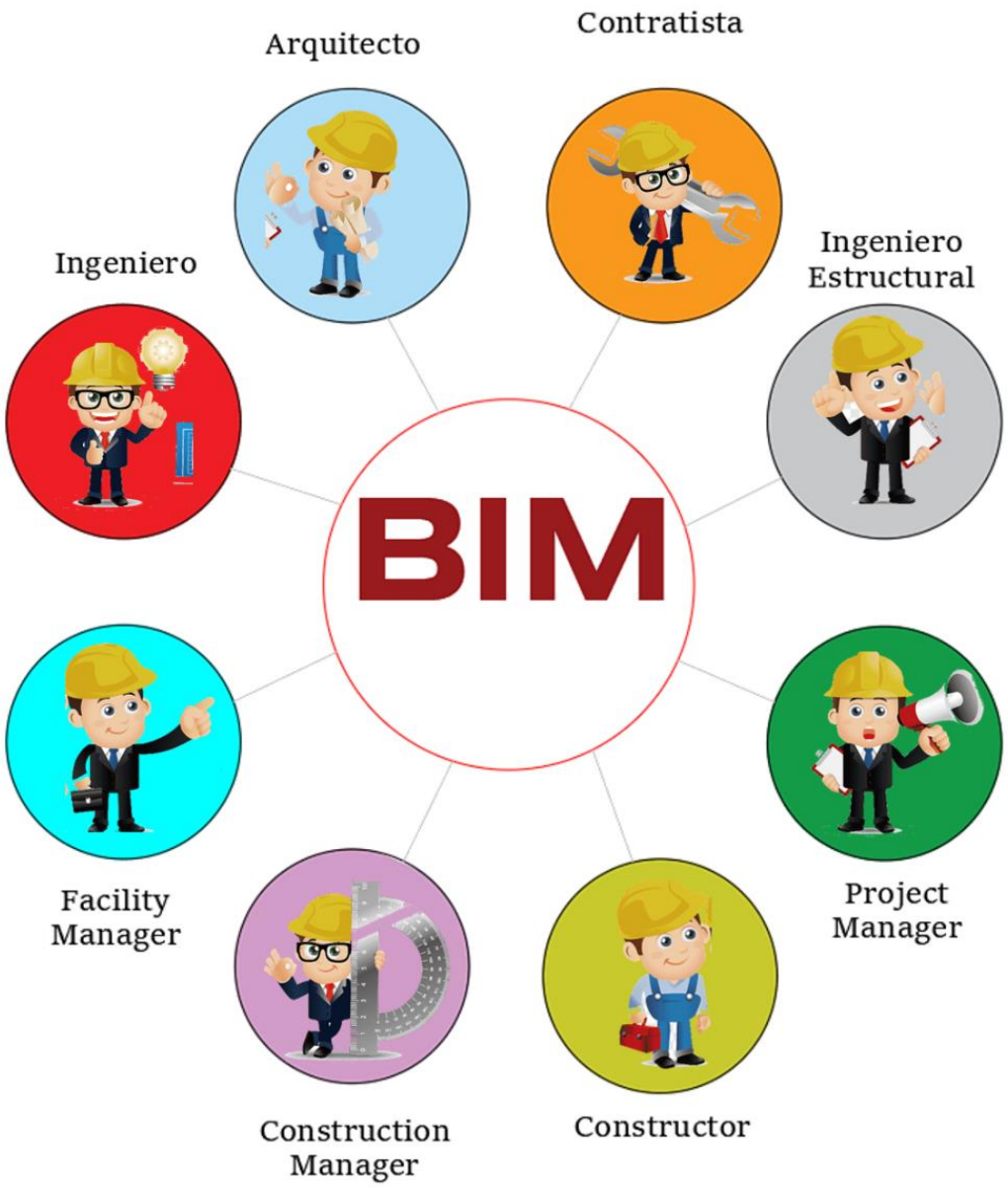
Fuente: (Cañón et al., 2023)

4.2.2. CDE para la gestión de información

La herramienta principal de intercambio de información dentro del flujo metodológico BIM se conoce como el Common Data Environment (CDE, por sus siglas en inglés) o entorno común de datos, que sirve para la recolección, la administración y el intercambio de información tanto BIM como cualquier tipo de información (documental, , siendo este la única fuente de información entre todos los miembros, con el fin de facilitar la

colaboración, la revisión y la evolución de los proyectos, evitando duplicados y errores durante todo el proceso (ver Figura 2). En este sentido, en función de lo dispuesto por las entidades públicas, la ISO 19650 y según lo establecido por la Estrategia Nacional BIM 2020-2026, todo proyecto deberá implementar una solución tecnológica adecuada para alojar y gestionar proyectos de manera efectiva.

Figura 2 Desarrollo de proyectos con información centralizada en un CDE



Fuente: (Cañón et al., 2023)

Implementar un Entorno Común de Datos (CDE) en proyectos contribuye a mejorar la comunicación al centralizar y mantener actualizada la información. Esto optimiza la colaboración, incrementa la eficiencia y realza la calidad del trabajo. Utilizar una plataforma única para el almacenamiento y gestión de datos permite fácil acceso, reduce errores y conflictos por desfases o duplicidades informativas, y acelera la toma de decisiones. Un CDE también mejora el control y seguimiento de los datos, fortaleciendo así la transparencia, trazabilidad y seguridad del proyecto.

Un CDE debe permitir:

Incorporar, consultar y obtener la información del proyecto tanto archivos y modelos como las comunicaciones entre los interesados (correos electrónicos, órdenes de cambio, tareas, consultas, documentos, modelos, etc.).

- Gestionar los accesos de acuerdo con los niveles de los contenedores de información indicados en la NTC-ISO 19650-1:2021.
- Compartir información a través de enlaces.
- Realizar control de versiones.
- Búsqueda eficiente de la información a partir de la aplicación de filtros, etiquetas, entre otros.
- Flujos de trabajo integrados en la gestión de la documentación: aprobaciones, comentarios, entre otros.
- Visualización y anotación de archivos y modelos.
- Gestión de modelos federados que permitan abrir archivos en formatos IFC para su visualización y análisis.
- Planificación del proyecto BIM: requerimientos de información del cliente, plan de ejecución, protocolos, niveles de detalle e información, gestión estructurada de datos, entre otros.

El CDE deberá cumplir con las especificaciones requeridas según la ISO 19650. En la Tabla 1, se presentan los principales requisitos necesarios para su implementación. Una

de las ventajas de usar un CDE es que permite una mejor colaboración y comunicación entre los diferentes actores involucrados en un proyecto de construcción, así como una mayor trazabilidad y calidad de la información. Sin embargo, para que el CDE funcione correctamente, es necesario establecer unos criterios claros y consensuados sobre su adquisición, gestión y utilización, que deben ser revisados contractualmente en cada caso.

Estos criterios pueden estar definidos en los pliegos de condiciones, en los anexos o volúmenes contractuales de las entidades o en los requisitos de contratación, dependiendo del tipo y alcance del proyecto. Algunos aspectos que se deben considerar son: la plataforma tecnológica, los roles y las responsabilidades, los procesos y los procedimientos, los formatos y los estándares de datos, los niveles de seguridad y la confidencialidad, los métodos de validación y verificación, y los indicadores de desempeño y calidad. Al definir estos aspectos contractualmente, se puede asegurar un uso eficiente y efectivo del CDE, y evitar posibles conflictos o inconvenientes derivados de su implementación.

Tabla 1 Especificaciones requeridas de un CDE para la gestión de proyectos según la ISO 19650

Funcionalidad		**Descripción**	**Requerimiento de la ISO 19650**
Flujo de trabajo y permisos	Controles de permiso personalizable	Restringir el acceso de lectura y edición de carpetas y archivos para permitir el correcto flujo de trabajo del CDE.	Si
	Aprobación y verificación	El sistema cuenta con un proceso controlado de aprobación y verificación, configurable a los métodos y los procedimientos del proyecto.	Si
	Archivo de información	Capacidad de archivar contenedores de información descartados o redundantes.	Si
	Notificaciones y alertas	Capacidad de configurar notificaciones y alertas automáticas. Para ayudar al flujo de trabajo colaborativo del CDE.	Opcional

Funcionalidad		Descripción	Requerimiento de la ISO 19650
Metadatos y registro de auditoría	Estados	Capacidad de pasar la información de un estado a otro (Producción-WIP, Compartido, Publicado, Archivado) con permisos controlados.	Si
	Nomenclatura	Capacidad de configurar las reglas de nombrado según la ISO 19650 y los estándares de información del proyecto, asegurando que todos los archivos cuenten con un nombre sin duplicación.	Si
	Metadatos	Capacidad de configurar y asignar atributos (estado, revisión, versión y descripción) para cada contenedor de información según la ISO 19650 y los estándares de información del proyecto.	Si
	Auditoría (transición de información)	Captura automática del nombre del usuario y la fecha cuando la información fue transmitida entre estatus.	Si
	Auditoría (en estado producción-WIP)	Captura automática de la trazabilidad de la producción de la información (historial de archivos e historial de versiones).	Si
Gestión de carpetas	Emisiones y transmisiones	Capacidad para emitir formalmente información a partes interesadas con un registro de transmisión.	Si
	Sistema de control de versiones	Capacidad de seguimiento de versiones y revisiones permitiendo ajustar el esquema según lo descrito en la ISO 19650 y los estándares de información del proyecto.	Si
	Gestión de paquetes de software	Capacidad para gestionar programas y formatos de archivos.	Si
	Gestión de biblioteca de empresa	Capacidad de gestionar la biblioteca de su empresa en un espacio centralizado y controlado, asegurando la marca actual, las plantillas y las personalizaciones utilizadas.	No
	Intercambio de archivos	Posibilidad de compartir y recibir información a través de	No

Funcionalidad		Descripción	Requerimiento de la ISO 19650
		enlaces HTTPS/navegadores web.	
	Gestión de email	Capacidad para gestionar la correspondencia del proyecto dentro del CDE.	No
	Visor de versiones y revisiones	Capacidad de ver y retroceder a versiones/revisiones de la información.	No
Accesibilidad	Acceso externo	Capacidad de proporcionar acceso restringido a partes externas/interesadas para ver y revisar la información.	No
	Accesibilidad a distancia	Capacidad de que el CDE sea accesible, independientemente del dispositivo o la ubicación (es decir, tabletas, celulares).	No
	Accesibilidad sin conexión	Capacidad de acceder a la información fuera de línea, de forma controlada y segura.	No
Sistema	Integraciones y API's	Capacidad de integración con otros CDEs y sistemas empresariales a través de integraciones directas, API o personalización. Esencial para crear un entorno CDE conectado.	Si
	Protección de la seguridad	Seguridad informática como cifrado de datos, recuperación de datos y redundancia.	Si
	Búsqueda avanzada	Capacidad de buscar rápidamente información por nombre, contenido y metadatos.	No
	Almacenamiento flexible	Flexibilidad de las opciones de almacenamiento para adaptarse a su organización, proyecto y/o cliente: nube, local, híbrido.	No
	Interfaz amigable	El CDE cuenta con una interfaz fácil de usar, permitiendo que los usuarios se adapten rápidamente.	No
	Formación, apoyo y documentación	El CDE tiene un alto nivel de formación apoyo y documentación. Esencial para garantizar el buen funcionamiento.	No

Fuente: Anexo Técnico BIM (ATB-F3) (p. 67).

4.2.3. Estados de la información y gestión de la información de la ISO 19650

Durante el ciclo de vida de un proyecto dentro de un CDE los contenedores de archivos (información) deberían conservarse para facilitar su consulta en caso de revisión, desacuerdos, aprobación, entre otros. Por tal razón, surgen cuatro estados de información descritos en la ISO 19650, que son necesarios para la gestión del proyecto desde su concepción hasta su entrega (ver Figura 3).

Figura 3 Estados de información y gestión según la ISO 19650



Fuente: Adaptado de la NTC-ISO-19650-1:2021).

4.2.3.1. Trabajo en progreso/Work In Progress (WIP, por sus siglas en inglés)

Es el estado inicial de la información, cuando se está creando o modificando por parte del diseñador o consultor. En este estado, la información no está disponible para otros participantes o áreas del proyecto, salvo que se solicite explícitamente. El consultor es responsable de verificar la calidad y la consistencia de la información antes de pasar al siguiente estado. La distribución y jerarquización es responsabilidad del consultor.

4.2.3.2. Control, revisión y/o autorización

El consultor, coordinador o director del área es el encargado de gestionar la información hacia el estado compartido, según las normas del proyecto, con el propósito de distribuir archivos (como planos, modelos e informes) a las demás áreas. Esta etapa se lleva a cabo mediante flujos de aprobación desde el CDE para asegurar la trazabilidad y el monitoreo del proyecto con aprobación interna del grupo de trabajo.

4.2.3.3. Compartido (SHD Shared)

Es el estado en el que la información se hace accesible para otros participantes o áreas del proyecto, con el fin de recibir comentarios, sugerencias o aportes. En este estado, la información puede estar sujeta a cambios, pero debe cumplir con los requisitos mínimos de formato, contenido y estructura definidos por el proyecto. El autor debe gestionar los posibles conflictos o inconsistencias que surjan de la retroalimentación recibida, y decidir si es necesario volver al estado anterior o avanzar al siguiente. En este estado de información se toma la decisión si está acorde a los requisitos contractuales para pasar a revisión por parte de la interventoría y/o evaluadores.

4.2.3.4. Revisión y/o aprobación

Esta fase implica cotejar la información con los requisitos estipulados en el contrato, anexos o documentos técnicos para asegurar una coordinación, integridad y precisión necesarios. Si se satisfacen los requisitos contractuales, técnicos y financieros, la información avanza al estado de 'publicado', señalando así la aprobación por parte de la interventoría, evaluador o parte designada por el cliente o la entidad para tal fin. De no

cumplir con estos criterios, se regresa al estado de 'trabajo en progreso' para hacer las correcciones o ajustes necesarios. Es responsabilidad del consultor iniciar los procesos de aprobación y de la interventoría, los evaluadores o la parte designada por el cliente o la entidad para revisar meticulosamente los archivos enviados para su no objeción o rechazo en el caso contrario.

4.2.3.5. Publicado (PUB)

Es el estado en el que la información se considera completa, correcta y aprobada por el cliente y los revisores pertinentes (evaluadores o interventores). En este estado, la información se convierte en un entregable oficial del proyecto y se comunica a los destinatarios correspondientes. La información publicada no debe modificarse, salvo que se detecte algún error o se requiera una actualización por algún cambio en el proyecto. En ese caso, se debe iniciar un nuevo ciclo de aprobación y generar una nueva versión de la información.

4.2.3.6. Archivado (ARCH)

Es el estado en el que la información se guarda para fines de documentación, consulta o auditoría. En este estado, la información no está activa ni visible para los participantes del proyecto, salvo que se solicite específicamente. La información archivada debe conservarse de acuerdo con las normas y las políticas de gestión documental establecidas por el proyecto o la organización.

Es importante señalar que los estados de información y procesos descritos en la ISO 19650 y sus complementos están siendo revisados globalmente. En consecuencia, estos estados podrían permanecer iguales, sufrir modificaciones o ampliarse. Por ello, para futuras ediciones, se deberá tener en cuenta la normativa vigente en Colombia que incluya lo indicado en este apartado.

4.3. Estándares BIM y la NTC-ISO 19650

La digitalización en la industria de la construcción ha llevado a la necesidad de establecer estándares y normativas que regulen la gestión de la información en proyectos de infraestructura. En este contexto, Building Information Modeling (BIM) ha emergido como la metodología clave para mejorar la eficiencia, coordinación y sostenibilidad de los proyectos. Sin embargo, su correcta implementación requiere la adopción de lineamientos claros y procesos estandarizados que garanticen la interoperabilidad y la estructuración eficiente de los datos.

A nivel internacional, la familia de normas ISO 19650 ha sido reconocida como el principal referente en la gestión de la información en entornos colaborativos BIM. Publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), esta norma establece un marco de trabajo para la administración de información a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, basado en los principios desarrollados previamente en el Reino Unido a través del PAS 1192 (ISO, 2018).

En Colombia, la adopción de estos estándares ha sido impulsada por entidades gubernamentales y el sector privado con el objetivo de unificar criterios y optimizar la implementación de BIM en la infraestructura nacional. En este sentido, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ha oficializado la norma NTC-ISO 19650, brindando un marco de referencia para estructurar los procesos de modelado, gestión y entrega de información en proyectos de construcción e infraestructura (ICONTEC, 2022).

La NTC-ISO 19650 establece principios y requisitos esenciales para la administración de información en proyectos BIM, promoviendo la colaboración efectiva entre los diferentes actores del proyecto permitiendo estandarizar la gestión de datos en un entorno digital, facilitar la interoperabilidad entre plataformas y software de modelado y optimizar la comunicación entre diseñadores, constructores, interventores y operadores. Finalmente, reducir riesgos y errores mediante la detección temprana de inconsistencias en los modelos.

Este estándar define roles y responsabilidades clave en el ciclo de vida del proyecto, incluyendo el Gestor de Información, el Responsable del Entorno Común de Datos (CDE) y los autores de modelos, quienes deben seguir procesos estructurados para la generación, validación y entrega de información en cada fase del proyecto (ISO, 2019).

4.3.1. Aplicación de los estándares BIM en Colombia

El proceso de adopción de BIM en Colombia ha avanzado de manera progresiva, con iniciativas lideradas por entidades como el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). A pesar de que aún no existe un mandato obligatorio para la implementación de BIM en todos los proyectos públicos, se han desarrollado estrategias que buscan promover su uso a través de estándares internacionales como la ISO 19650.

El BIM Forum Colombia, liderado por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), ha desempeñado un papel fundamental en la difusión de buenas prácticas y en la formulación de lineamientos para la adopción de BIM en el país. De igual forma, la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte (UPIT) ha promovido la inclusión de BIM en la estructuración y gestión de proyectos de infraestructura vial, destacando la necesidad de establecer estándares técnicos aplicables a nivel nacional.

La aplicación de la NTC-ISO 19650 en proyectos de infraestructura en Colombia trae consigo múltiples beneficios:

- Mayor transparencia en los procesos de diseño, construcción y mantenimiento.
- Reducción de sobrecostos y tiempos de ejecución mediante una mejor planificación.
- Mejor gestión del ciclo de vida de la infraestructura, facilitando el mantenimiento y operación a largo plazo.
- Mayor alineación con estándares internacionales, permitiendo la integración de Colombia en el mercado global de la construcción digital.

A pesar de los avances en la estandarización de BIM en el país, aún existen desafíos que deben ser abordados para lograr una adopción efectiva de la metodología:

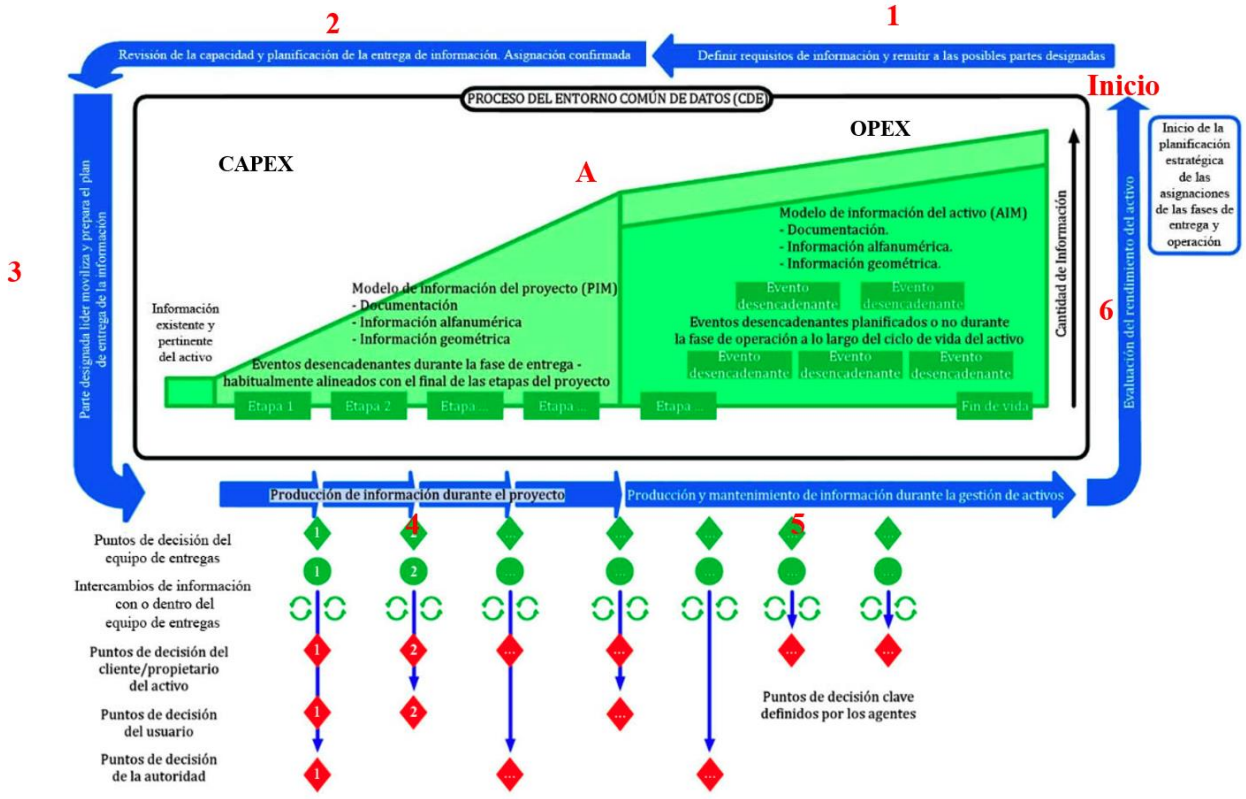
- Capacitación especializada: Es necesario fortalecer la formación de profesionales en la aplicación de la NTC-ISO 19650 y otros estándares BIM.
- Interoperabilidad tecnológica: Se requiere mayor inversión en herramientas digitales que permitan la integración de modelos y datos en plataformas colaborativas.
- Estandarización de procesos a nivel estatal: La creación de normativas específicas para cada tipo de infraestructura permitirá una aplicación más estructurada de BIM en proyectos públicos.

En este sentido, la consolidación de un marco normativo basado en la NTC-ISO 19650 representa un paso clave hacia la digitalización del sector de la infraestructura en Colombia. Con una implementación adecuada y el compromiso de todos los actores involucrados, BIM se convertirá en el pilar fundamental para la modernización de la construcción en el país.

4.3.2. Ciclo de la información[1]

Figura 4 Estandarización de la información ISO.

[1] (Cañón et al., 2023)



Fuente: *(Cañón et al., 2023)*

De la Figura 4 se puede entender que el inicio de la información y todos aquellos procesos de generación de información parten de la planificación y se convierte en un ciclo que siempre alimentará a un activo hasta el fin de su vida útil (ciclo de color azul). Esto es esencial cuando los promotores tienen claros los objetivos de la entidad o de la organización y tienen claro el para qué usarán BIM.

Posterior a ello, se definen los requisitos de intercambio de información (1), lo que la ISO define como EIR, requisitos que, en el momento de una licitación, deberán ser expuestos en algún apartado del documento, de manera clara, indicando qué se va a pedir y si existe algún documento guía o base para usarlo como lineamiento. Posterior a la generación de estos requisitos, y generado el proceso de adjudicación se establece la necesidad de revisar la capacidad (2), es decir, en qué medida el contratista está en capacidad de hacer lo solicitado en la adjudicación, esto es sumamente importante porque si el contratista no

está en la capacidad de atender estos requerimientos o no cuenta con la experiencia necesaria para desarrollar los diferentes entregables BIM que se están pidiendo puede generar conflictos y no podrá cumplir con las expectativas de gestión de información que tiene el promotor.

Una vez confirmada esta capacidad, el contratista y todos los subcontratistas implicados en el proyecto inician con la planificación y asignación de recursos (3), de forma que al final de esta fase, deberá generar un documento denominado PEB (Plan de Ejecución BIM), donde indicará quienes son los implicados, los responsables, la documentación que se va a generar, las fechas en las que se generarán, en donde se publicará la información, que entorno de datos empleará (CDE) y describe la operatividad del trabajo para lograr los objetivos.

Seguidamente, en la fase 4, inicia la producción de información durante el proyecto en donde aparece el concepto que los ingleses denominan CAPEX, allí los diferentes agentes generan el Modelo de Información del proyecto o PIM, el cual contendrá información alfanumérica e información geométrica y cualquier tipo de información asociada al proyecto que sirva como aporte a esa información. Allí se desarrollan las diferentes etapas de un proyecto (anteproyecto, fase de diseño, construcción entre otras), en donde a medida que se ejecutan estas etapas, el nivel de información se acrecienta llegando a un punto A y reposará en un entorno común de datos (CDE).

Luego de esto, se inicia una fase denominada por los ingleses como OPEX, etapa de operación donde se deja de hablar de PIM y se comienza a hablar de Modelo de Información del Activo (AIM), debido que ya se encuentra en operación y se estan haciendo labores que pueden ser de mantenimiento, de explotación, entre otras, y se comienza a generar documentación que, de igual manera aportan al historial del activo durante la operación (5).

Finalmente, el promotor en la fase 6 deberá evaluar el rendimiento del activo con el fin de retroalimentar el sistema, con el fin de iniciar una planificación estratégica de las adjudicaciones en posteriores contratos, en otras fases del ciclo de vida del activo y

aumentar el estado de madurez para futuras licitaciones y alimentar a partir de experiencias nuevamente el ciclo de formación.

4.3.3. Requisitos de información según la ISO 19650

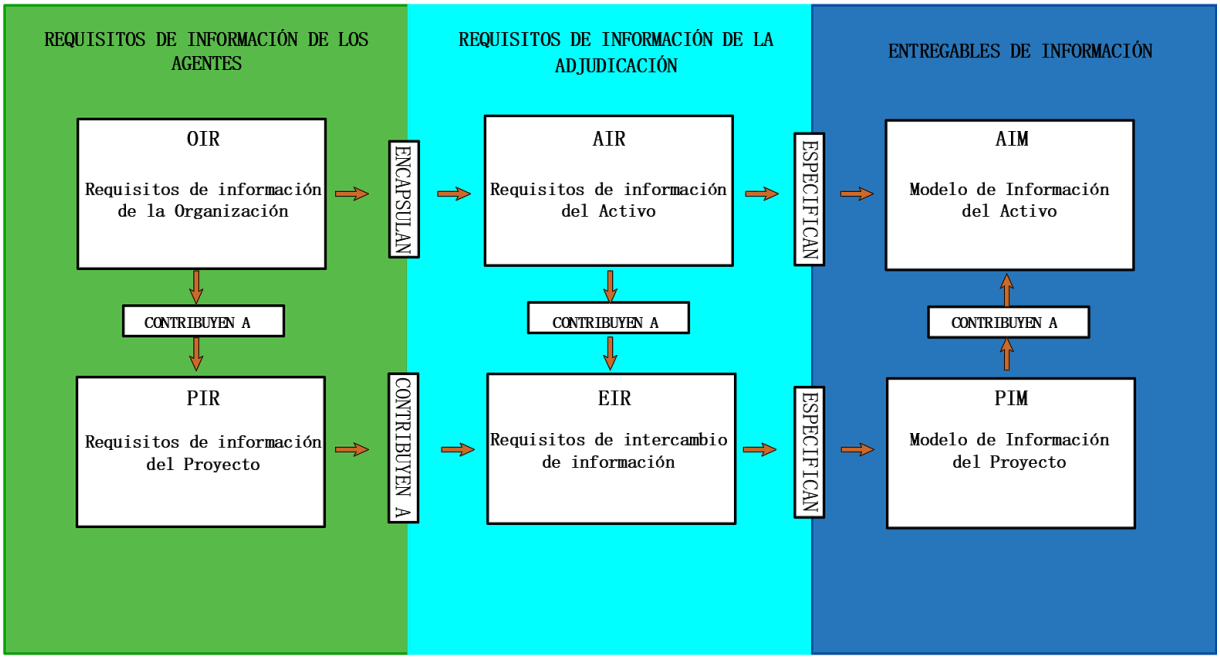
Para garantizar una gestión eficiente, coordinada e integrada de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo desde su fase de planificación hasta su operación y mantenimiento, la ISO 19650 establece una serie de requerimientos de información que deben ser definidos y gestionados de manera estructurada.

En primera instancia, el promotor del proyecto o la entidad designada debe tener claridad sobre qué tipo de información es necesaria para sus activos o proyectos, asegurando que esta respalde los objetivos estratégicos de la organización y facilite la toma de decisiones informadas. Estos requisitos pueden ser establecidos internamente por la entidad o definidos por agentes externos con base en normativas, necesidades operativas o criterios específicos del proyecto.

De acuerdo con los propósitos y estrategias organizacionales, se deben especificar los datos requeridos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, asegurando su disponibilidad en cada una de sus fases. Entre los aspectos clave a considerar en estos requerimientos se encuentran: registro de activos, cumplimiento normativo, gestión del riesgo, seguridad y vigilancia, soporte empresarial y estrategias de renovación y mantenimiento.

Cada uno de estos requisitos debe ser claramente documentado y estructurado conforme a las diferentes etapas del proyecto, garantizando una trazabilidad efectiva y permitiendo la integración de información en entornos colaborativos. La Figura 5 ilustra los diferentes tipos de requerimientos de información según el estándar BIM establecido.

Figura 5 Jerarquía de los requisitos de información.



Fuente: (Cañón et al., 2023)

En primer lugar, se encuentran los Requisitos de Información de los Agentes, los cuales constituyen la base sobre la que el promotor define la información esencial para desarrollar plenamente su proyecto. Dentro de estos se incluyen los Requisitos de Información de la Organización (OIR), que abarcan los datos globales de negocio que una entidad necesita para la gestión eficiente de sus activos y proyectos.

Por ejemplo, si una organización tiene como objetivo la ejecución de proyectos bajo un marco de desarrollo sostenible, sus estrategias pueden estar orientadas a la reducción del consumo energético, disminución de la huella de carbono, optimización de costos de construcción y mantenimiento, entre otros. Estos objetivos estratégicos forman parte de los OIR y deben reflejarse en los entregables de información. La ISO 19650 establece que estos requisitos pueden incluir aspectos como la gestión estratégica de activos, planificación de carteras de inversión, cumplimiento normativo y formulación de políticas empresariales.

Cuando el proyecto avanza hacia la fase de planificación y redacción, se requiere definir los Requisitos de Información del Proyecto (PIR), los cuales detallan la información específica necesaria para garantizar el cumplimiento de las políticas de la entidad. Muchas veces, los promotores establecen estos requisitos en sus manuales o guías BIM, asegurando que toda la información recopilada en los proyectos contribuya a alcanzar los objetivos definidos en los OIR.

Siguiendo el ejemplo anterior, para asegurar el cumplimiento de estrategias sostenibles, el PIR debe incluir datos como tipología del activo, garantías, medición de huella de carbono, consumo energético y eficiencia operativa. Estos requisitos son fundamentales para estructurar los Requisitos de Intercambio de Información (EIR), los cuales definen cómo debe entregarse la información a lo largo del contrato y suelen acompañar los pliegos de licitación.

Los EIR establecen de manera detallada qué información debe proporcionar el contratista, en qué formato y con qué nivel de detalle, asegurando la trazabilidad de los datos durante la ejecución del proyecto. Estos requisitos son documentados en el BEP (Plan de Ejecución BIM), donde se especifica la estructura del PIM (Modelo de Información del Proyecto), el cual a su vez respalda la entrega final del proyecto y la consolidación del AIM (Modelo de Información del Activo).

El PIM contiene información clave como modelos geométricos, ubicación de los equipos, especificaciones de funcionamiento, costos operativos y procesos de construcción o mantenimiento, asegurando que toda esta información sea accesible y útil para la gestión del activo a lo largo de su ciclo de vida.

En la fase de licitación y adjudicación, se establecen los Requisitos de Información del Activo (AIR), los cuales son esenciales para la etapa de operación y mantenimiento. Estos requisitos aseguran que la información recopilada a lo largo del desarrollo del proyecto sea coherente con las necesidades del propietario o gestor del activo, permitiendo una administración eficiente y fundamentada en datos.

El AIR está directamente vinculado con los OIR, ya que proporciona la información necesaria para tomar decisiones estratégicas sobre la conservación, actualización y optimización del activo, garantizando su operatividad a largo plazo.

Finalmente, una vez completado el proyecto, los entregables de información generados por los diferentes participantes son incorporados en el AIM (Modelo de Información del Activo). Este modelo actúa como un repositorio estructurado, proporcionando datos clave para la gestión eficiente del activo desde el primer día de operación.

El AIM incluye información relevante como registros de equipos, costos de mantenimiento, certificaciones de seguridad, fechas de renovación y datos operativos, facilitando la gestión proactiva del activo y asegurando su cumplimiento normativo y funcional.

4.3.4. Dimensiones BIM aplicadas a carreteras

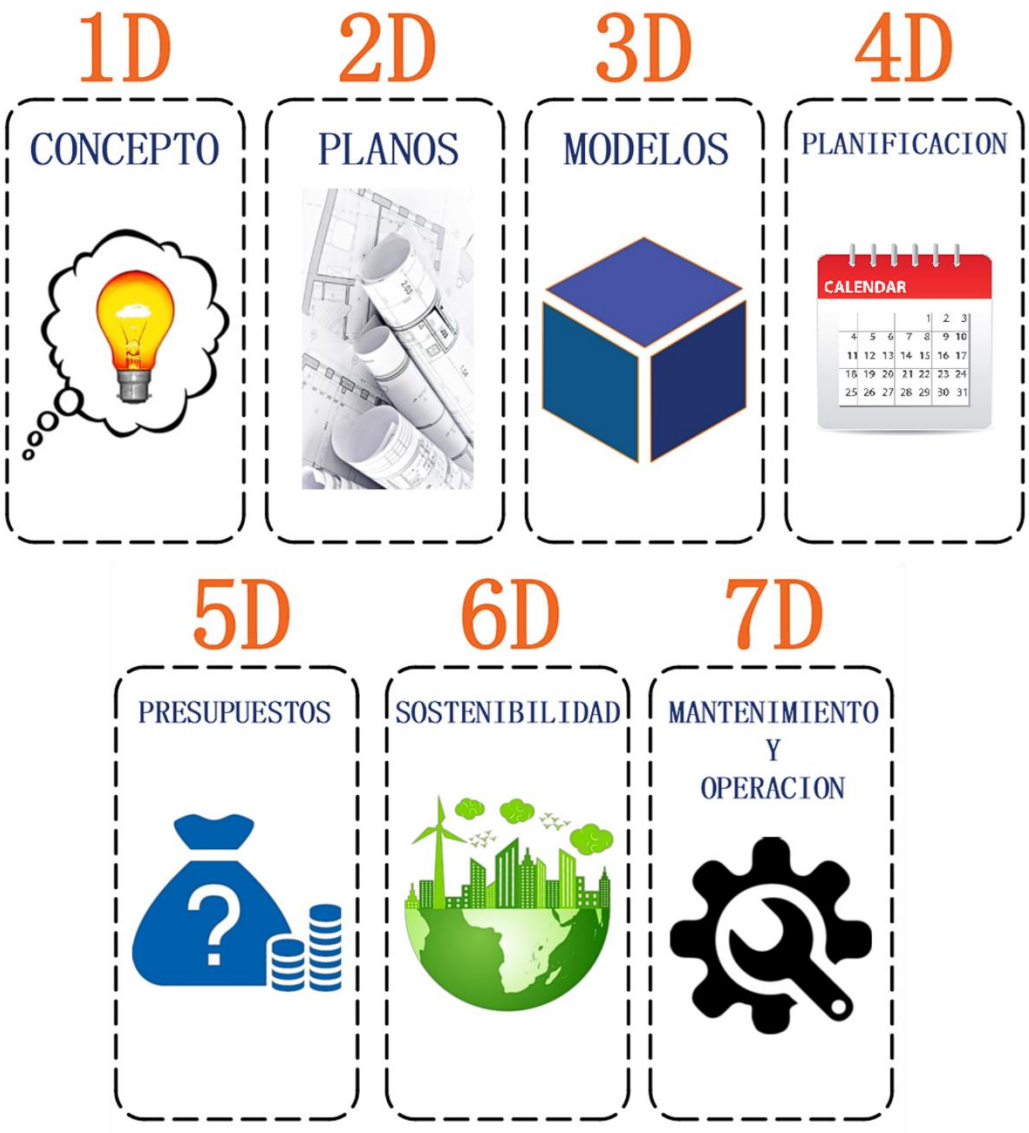
Las dimensiones BIM representan una clasificación estructurada que permite incorporar diversas características, funciones y niveles de información en un modelo tridimensional a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Su propósito es enriquecer el modelo con datos que optimicen los procesos de planificación, diseño, ejecución y mantenimiento, facilitando así la toma de decisiones y la gestión integral del activo.

Cada dimensión añade un nivel adicional de complejidad y detalle, permitiendo que el modelo evolucione desde una representación puramente geométrica hasta una herramienta digital que integra información sobre costos, tiempos, sostenibilidad y mantenimiento, entre otros aspectos clave.

En la Figura 6, se presenta la secuencia lógica para la implementación de las diferentes dimensiones BIM en un proyecto nuevo de diseño o construcción de carreteras. Para proyectos existentes que dispongan únicamente de información bidimensional como punto de partida, será necesario digitalizar y modelar los elementos en un entorno tridimensional, incorporando datos provenientes de documentos técnicos, planos CAD,

archivos geoespaciales (SHP), bases de datos y otros insumos relevantes. Este proceso de transformación digital no solo mejora la precisión del diseño, sino que también optimiza la interoperabilidad y la gestión de la información en todas las fases del proyecto.

Figura 6 Dimensiones BIM.



Fuente: (Cañón et al., 2023)

4.3.4.1. Dimensión 1D BIM (concepto)

La dimensión 1D BIM representa la base sobre la cual se desarrolla todo el proyecto de infraestructura vial. En esta etapa, se definen el alcance, los objetivos, las especificaciones técnicas y los requisitos funcionales de la carretera, estableciendo el marco general para su planificación y ejecución.

Esta dimensión se enfoca en la recopilación, organización y gestión de información textual y numérica, lo que permite documentar cada aspecto del proyecto desde su concepción hasta su entrega. En un enfoque tradicional, esta fase corresponde a la estructuración de la idea, donde se establecen los lineamientos estratégicos y se realiza una primera estimación de costos, tiempos y recursos necesarios.

El modelo 1D BIM es esencial para la planificación y el control del proyecto, ya que proporciona respuestas claras a preguntas fundamentales como qué se va a construir, cómo se llevará a cabo, cuándo se ejecutará y cuánto costará. Además, facilita la alineación del proyecto con los estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad, garantizando un diseño eficiente y optimizando los costos y tiempos de ejecución.

Al estructurar adecuadamente esta dimensión, se sientan las bases para una gestión eficiente de la infraestructura, asegurando que las fases posteriores del proyecto se desarrollen con información precisa y alineada con los objetivos estratégicos.

4.3.4.2. Dimensión 2D BIM (información bidimensional)

La dimensión 2D en BIM se enfoca en la generación de documentación gráfica y tabular que respalda el diseño y la construcción del proyecto. Esto incluye planos bidimensionales, archivos geoespaciales en formatos como SHP, tablas de cantidades y documentos técnicos que facilitan la interpretación y verificación del diseño.

A través de esta dimensión, es posible obtener información precisa y actualizada del proyecto, garantizando la coherencia entre los diferentes entregables. La integración de datos en formatos gráficos y tabulares permite tanto la documentación detallada del

diseño como la generación de reportes clave sobre mediciones, presupuestos, materiales, equipos y mano de obra.

Uno de los principales beneficios de la dimensión 2D BIM es la optimización del proceso de generación de planos y documentos. Al estar sincronizada con el modelo 3D, se evita la duplicidad de información y se minimizan errores derivados de inconsistencias en los datos.

En un flujo de información convencional, los entregables incluyen planos, memorias de cálculo y documentos técnicos. Sin embargo, dentro del enfoque BIM, la generación de estos documentos debe partir de un modelo tridimensional, asegurando que cualquier modificación en el diseño se refleje automáticamente en la documentación 2D, mejorando la eficiencia y la trazabilidad del proyecto.

4.3.4.3. Dimensión 3D BIM (modelo)

La dimensión 3D en BIM representa el punto de partida para la digitalización del proyecto, permitiendo la creación de un modelo tridimensional que integra todos los elementos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos, eléctricos y de señalización de la carretera. Este modelo no solo proporciona una visualización detallada del diseño, sino que también facilita la detección temprana de interferencias y errores que podrían comprometer la ejecución de la obra.

El modelo 3D permite analizar la distribución, volumetría y relaciones espaciales entre los distintos componentes de la infraestructura, optimizando la planificación y asegurando que cada disciplina involucrada en el diseño trabaje de manera coordinada. Además, la simulación en entornos virtuales contribuye a la evaluación de escenarios alternativos, mejorando la toma de decisiones y reduciendo el riesgo de modificaciones tardías en obra.

Uno de los principales beneficios de la dimensión 3D BIM es su capacidad para mejorar la comunicación y coordinación entre los diferentes equipos de trabajo. Al disponer de un

modelo digital centralizado, se optimiza el flujo de información entre diseñadores, ingenieros, gestores y entidades reguladoras, asegurando que todos los involucrados accedan a datos actualizados y coherentes.

Su implementación en la consultoría de diseño de carreteras requiere la colaboración de todas las disciplinas involucradas en el proyecto, desde la obtención de permisos hasta la planificación presupuestaria. La integración de estos equipos en función de los volúmenes o anexos técnicos permite una visión integral de la infraestructura, asegurando que cada fase del proyecto se desarrolle con la máxima eficiencia y alineada con los objetivos establecidos.

4.3.4.4. Dimensión 4D BIM (Planificación)

La dimensión 4D en BIM amplía el modelo tridimensional incorporando la variable tiempo, lo que permite la programación, simulación y control de las actividades y recursos requeridos para la construcción de la carretera. A través de esta dimensión, se puede visualizar y analizar el avance de la obra a lo largo del tiempo, facilitando la optimización del uso de mano de obra, materiales y equipos, así como la gestión eficiente de riesgos, cambios y restricciones que puedan surgir durante la ejecución del proyecto.

La implementación de BIM 4D en proyectos de infraestructura vial permite no solo anticipar potenciales interferencias y retrasos en la obra, sino también simular escenarios alternativos, optimizando la programación y asegurando que la ejecución se desarrolle conforme a los plazos establecidos.

Para desarrollar un modelo 4D BIM en la construcción de carreteras, se requieren los siguientes insumos esenciales:

- El punto de partida es disponer de un modelo tridimensional preciso que contenga:
    - Geometría y estructura de pavimentos.
    - Diseño de obras de drenaje laterales y transversales.

- Infraestructura complementaria, como puentes, túneles, muros de contención y elementos de señalización.
- Todos los elementos tridimensionales que forman parte del diseño del proyecto

- El cronograma de ejecución debe estar estructurado con un desglose detallado de actividades, especificando:
  - Duración de tareas y secuencia constructiva.
  - Adquisición y logística de materiales.
  - Ubicación y gestión de canteras y botaderos.
  - Rendimientos de maquinaria y frentes de obra.
  - Restricciones ambientales y permisos asociados.
  - Plan de Manejo de Tránsito (PMT) y medidas de seguridad vial.
  - Condicionantes técnicas y constructivas que puedan impactar la programación del proyecto.

- El uso de herramientas digitales especializadas es fundamental para vincular el modelo 3D con la planificación temporal, permitiendo:

  - Visualización dinámica y secuencial del avance de la obra.
  - Identificación temprana de conflictos, restricciones o interferencias.
  - Análisis de posibles desviaciones en el cronograma y simulación de escenarios correctivos.
  - Optimización en la gestión de recursos y control de hitos del proyecto.

Entre los software más utilizados para la gestión 4D BIM se encuentran Synchro Pro, Navisworks y Primavera P6, los cuales permiten integrar la planificación con el modelo digital y generar simulaciones precisas del progreso de la construcción.

La implementación de BIM 4D en infraestructura vial está sujeta a los anexos y documentos técnicos que acompañan el contrato, los cuales definen los criterios para la programación y seguimiento de la obra. Además, su aplicabilidad varía según la etapa de

diseño en el ciclo de vida del proyecto, ya que las simulaciones constructivas y el seguimiento del progreso proporcionan información valiosa para fases más avanzadas, tales como:

- Diseños de detalle y estudios definitivos.
- Fase III de diseño y estructuración de proyectos.
- Intervenciones de mejoramiento y rehabilitación vial.
- Operación y mantenimiento del corredor.

4.3.4.5. Dimensión 5D BIM (presupuesto)

Es la dimensión que añade el factor costo al modelo 3D, es decir, el presupuesto estimado y real del proyecto. El modelo 5D permite controlar y monitorear los costos de la construcción de la carretera, así como realizar análisis de rentabilidad, viabilidad y sostenibilidad del proyecto. El modelo 5D también facilita la gestión de las mediciones, las certificaciones y las facturas de los contratistas y los proveedores. Para la dimensión 5D se requieren los siguientes insumos:

- La dimensión 3D del proyecto de construcción de la carretera que contenga toda la geometría y los atributos de los elementos que la componen, como el trazado, el pavimento, las cunetas, los puentes, las señales, etc.
- Una base de datos de costos que contenga los precios unitarios, los rendimientos, los factores de ajuste y los impuestos de los materiales, la mano de obra, el equipo y los servicios involucrados en el proyecto.
- Un software especializado en 5D BIM que permita vincular el modelo 3D con el cronograma y/o la base de datos de costos, y realizar simulaciones, análisis y reportes del presupuesto estimado y real del proyecto.
- Un sistema de clasificación adecuado es clave para organizar y codificar los componentes de un modelo 3D por su categoría, función, posición geográfica, material, entre otros parámetros relevantes. En el flujo de trabajo BIM para edificaciones, los métodos más comúnmente empleados son MasterFormat, Uniformat y Omniclass. Sin embargo, estos no se ajustan completamente a las

exigencias normativas específicas de los proyectos de carreteras. Estos sistemas de clasificación se crearon inicialmente para edificaciones y, pese a haber sido revisados y extendidos, no abarcan todas las necesidades de obras viales. Por ejemplo, algunos aspectos como la estructura geométrica, funcional y topológica de los caminos, así como los estándares de diseño, construcción y mantenimiento no se reflejan con precisión en los sistemas existentes. Además, el uso de diferentes grados de detalle, nomenclaturas y códigos pueden causar confusión e inconsistencias al clasificar elementos idénticos.

Por ello, es esencial desarrollar un sistema de clasificación que utilice análisis de precios unitarios y se base en las especificaciones de construcción de carreteras, como las del INVÍAS. Este enfoque permite crear un sistema más coherente, exacto y adaptado a los estándares del sector. Facilita la identificación, la descripción y la cuantificación de los componentes del proyecto en función de su calidad y coste, siguiendo las normativas técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). De esta manera, se mejora la administración de recursos, tiempo y presupuesto, y se potencia la comunicación entre los diversos participantes del proyecto.

4.3.4.6. Dimensión 6D BIM (sostenibilidad)

La dimensión 6D en BIM amplía el modelo tridimensional tradicional al incorporar la evaluación del impacto ambiental y social del proyecto. Su propósito es garantizar que el diseño, la construcción y la operación de la carretera se realicen bajo principios de sostenibilidad, eficiencia energética y responsabilidad social, minimizando los efectos negativos sobre el entorno y maximizando los beneficios para las comunidades involucradas.

El modelo 6D permite analizar y reducir las emisiones de carbono, el consumo energético, la contaminación ambiental y acústica, la generación de residuos y otros factores que influyen en la huella ecológica de la infraestructura. Asimismo, facilita la integración de medidas para mejorar la seguridad vial, la accesibilidad y la calidad de vida tanto de los usuarios como de las comunidades cercanas al proyecto.

Para incorporar la dimensión 6D BIM en un proyecto de construcción de carreteras, es necesario contar con los siguientes insumos:

- El punto de partida es disponer de un modelo tridimensional preciso que contenga la geometría, propiedades y relaciones de los elementos que conforman la carretera, tales como:
    - Pavimentos y estructuras viales (puentes, túneles, pasos peatonales).
    - Señalización vertical y horizontal.
    - Drenajes, taludes y áreas verdes.
    - Infraestructura complementaria, como estaciones de peaje o áreas de servicio.

Este modelo debe estar enriquecido con datos técnicos que permitan su integración con herramientas de análisis ambiental y sostenibilidad.

- Es fundamental contar con plataformas que permitan evaluar los efectos ecológicos y sociales del proyecto en cada fase de su desarrollo. Estas herramientas deben proporcionar análisis sobre:
    - Emisiones de carbono y huella ecológica.
    - Consumo energético durante la construcción y operación.
    - Impacto del ruido y la contaminación en comunidades aledañas.
    - Gestión y reducción de residuos de obra.

- Para evaluar el comportamiento de la carretera en diferentes condiciones, se requieren herramientas que permitan simular escenarios como:
    - Fluctuaciones en el tráfico y congestión vehicular.
    - Condiciones climáticas extremas y su impacto en la infraestructura.
    - Análisis de siniestros viales y evaluación de medidas de seguridad.
    - Estos modelos permiten optimizar el diseño y prever soluciones para mejorar la seguridad y la eficiencia operativa del corredor vial.

- El desempeño ambiental y social del proyecto debe ser medido y comparado con estándares normativos y objetivos de sostenibilidad. Para ello, se requiere la definición de indicadores clave, tales como:
    - Eficiencia energética y reducción de emisiones.
    - Gestión eficiente del agua y otros recursos naturales.
    - Minimización del impacto sobre ecosistemas y biodiversidad.
    - Accesibilidad e integración con el entorno urbano y rural.

- Todo proyecto de infraestructura vial debe contar con un plan de gestión ambiental, en el cual se establezcan las medidas de mitigación, compensación y optimización de los impactos ambientales y sociales. Este documento debe incluir estrategias para:
    - Restauración ecológica y reforestación.
    - Gestión sostenible de residuos y materiales de construcción.
    - Programas de monitoreo ambiental y participación comunitaria.

- Para garantizar la correcta aplicación de BIM 6D, es esencial contar con un equipo de trabajo compuesto por profesionales de diversas áreas, tales como:
    - Ingeniería civil y de transporte, para el diseño y estructuración del proyecto.
    - Arquitectura y planificación urbana, para la integración con el entorno.
    - Ecología y gestión ambiental, para la evaluación de impacto y sostenibilidad.
    - Sociología y gestión social, para garantizar la inclusión y participación de las comunidades.

El equipo debe contar con formación y experiencia en herramientas BIM, asegurando la correcta integración de datos y el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

4.3.4.7. Dimensión 7D BIM (operación y mantenimiento)

La dimensión 7D en BIM extiende el modelo tridimensional tradicional al incluir la gestión integral de la operación, mantenimiento y seguimiento de un proyecto de infraestructura

vial. Su propósito es garantizar una administración eficiente del ciclo de vida del activo, permitiendo no solo su conservación óptima, sino también la planificación de futuras expansiones, modificaciones, inversiones y renovaciones.

Este modelo permite almacenar y actualizar en tiempo real toda la información relevante sobre el funcionamiento y mantenimiento de la carretera, incluyendo planos, especificaciones, garantías, manuales, registros de inspección, reparaciones y necesidades de repuestos. Su implementación proporciona una visión detallada del estado actual de la infraestructura, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y optimizando la gestión de recursos.

Para incorporar la dimensión 7D BIM en un proyecto de construcción de carreteras, es necesario contar con los siguientes insumos clave:

- El punto de partida para la integración de la dimensión 7D es disponer de un modelo 3D actualizado que contenga toda la información relevante del proyecto, incluyendo:
    - Datos geométricos, estructurales y funcionales de la vía.
    - Parámetros ambientales que permitan evaluar el impacto en su entorno.
    - Información del ciclo de vida y rendimiento esperado del pavimento y demás elementos viales.
    - Este modelo debe mantenerse sincronizado con la condición real de la carretera para permitir su visualización, simulación y análisis en distintos escenarios, facilitando la detección temprana de necesidades de mantenimiento y optimización operativa.

Para garantizar una administración eficiente del activo, es fundamental contar con un sistema que integre el modelo digital BIM con otras plataformas clave, tales como:

- Sistemas de Información Geográfica (GIS) para la localización y análisis espacial de la infraestructura.
- Sistemas de Control, Supervisión e Instrumentación (SCADA), que permiten monitorear el comportamiento estructural de la vía en tiempo real.

- Sistemas de Gestión del Tráfico Inteligente (ITS), los cuales facilitan la optimización del flujo vehicular y la seguridad vial.
- Plataformas de monitoreo y comunicación, que permiten la supervisión remota y la respuesta oportuna ante eventos críticos.

Este sistema debe facilitar la planificación, programación y ejecución de las actividades de operación y mantenimiento, asegurando la disponibilidad de los recursos humanos, materiales y financieros necesarios.

El éxito de la implementación de BIM 7D depende en gran medida de contar con un sistema eficiente para la gestión de la información del proyecto. Este debe garantizar la seguridad, integridad, accesibilidad y trazabilidad de la documentación generada durante todo el ciclo de vida del activo, incluyendo:

- Contratos, licencias y permisos regulatorios.
- Estudios técnicos, informes de auditoría y certificaciones de calidad.
- Registros de mantenimiento, reportes de inspección y recomendaciones de intervención.

Además, el sistema debe cumplir con los estándares y normativas aplicables, asegurando que la información esté estructurada y disponible para su consulta y actualización en entornos colaborativos.

4.3.4.8. Otras dimensiones BIM, 8D, 9D y 10D

Las dimensiones 8D (Salud y Seguridad), 9D (Lean Construction o Construcción Ajustada) y 10D (Construcción Industrializada) representan una evolución del concepto tradicional de Building Information Modeling (BIM), extendiendo su aplicación más allá de las fases establecidas en el ciclo de vida de los proyectos. Estas dimensiones buscan integrar aspectos clave como sostenibilidad, seguridad laboral, accesibilidad y participación ciudadana dentro del entorno BIM, promoviendo un enfoque más holístico en el desarrollo de infraestructura.

A pesar de su potencial, en 2024 estas dimensiones aún no pueden implementarse de manera plena en los proyectos de infraestructura vial, principalmente debido a la falta de normativas, metodologías definidas, herramientas tecnológicas especializadas y bases de datos estructuradas que permitan su aplicación práctica en el sector. Sin embargo, se espera que en los próximos años se desarrollen estrategias que faciliten su adopción, permitiendo así su integración en la planificación, diseño, construcción y operación de carreteras.

Conforme estas dimensiones (8D, 9D y 10D, junto con cualquier otra que pueda surgir) sean respaldadas por normativas, metodologías y estándares específicos para el sector del transporte, su aplicación se convertirá en un requisito dentro de las distintas fases del ciclo de vida de los proyectos viales. Esto no solo mejorará la calidad y eficiencia de la infraestructura, sino que también potenciará su impacto positivo en términos de seguridad, sostenibilidad y optimización de recursos, asegurando que las carreteras del futuro sean más seguras, eficientes y alineadas con las necesidades de la sociedad.

5. METODOLOGÍA

La metodología corresponde a un tipo de investigación no experimental – transversal, con un enfoque cualitativo y a continuación, se presenta el método planteado para llevar a cabo el estudio en función de la situación problemática planteada y de los objetivos definidos para hacer un acercamiento a la solución de la pregunta de investigación definida en principio.

FASE I

- Se realizará recolección de información secundaria existente, mediante solicitudes a la entidad del proyecto de diseño ya realizados para sobre este aplicar los flujos de trabajo propuestos mediante BIM.

- Proponer un esquema básico del PEB (Plan de ejecución BIM) enfocado a proyectos de infraestructura vial, que permita recopilar los elementos principales para la estructuración y el manejo del proyecto bajo la metodología BIM, enmarcado dentro de la normativo ISO 19650.

- Establecer los roles base de los profesionales que conforma el equipo de trabajo para un proyecto específico.

- Desarrollar la estructura de trabajo mínima para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial bajo un CDE

FASE II

- Generar un modelo base federado que incluya los modelos topográficos, geométricos, hidráulicos y estructurales producto de un estudio dentro de la etapa de pre-inversión (estudios y diseños definitivos) haciendo uso de un CDE

- Se tramitará una solicitud ante la entidad el uso de los entregables de un contrato, conformado por los trece volúmenes de un diseño tipo según regulación INVIAS.

FASE III

- Se realizará la validación y verificación de los modelos con el fin de integrarlos y de no existir la condición que permita su integración se procederá a su ajuste al modelo para que se pueda integrar.
- Se coordinará con los especialistas dichas interferencias (de existir), con el fin de que sean corregidas antes de realizar la entrega final del modelo.

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

La Fase I es el punto de partida para la implementación de la metodología BIM en este proyecto de infraestructura vial. En esta etapa, se busca sentar las bases para el desarrollo del proyecto, recopilando información clave, definiendo roles y estableciendo un marco de trabajo que permita la gestión eficiente de los datos y modelos bajo un Entorno Común de Datos (CDE). Esta fase es fundamental para garantizar que todos los actores involucrados tengan claridad sobre los objetivos, responsabilidades y procesos que se seguirán durante el proyecto.

6.1. Recolección de Información secundaria

Se realizará una recopilación exhaustiva de información primaria (datos proporcionados por la entidad) y secundaria (documentación técnica, normativas, estándares y estudios previos).

Esta información servirá como insumo para aplicar los flujos de trabajo propuestos mediante BIM, asegurando que los modelos y datos estén alineados con los requerimientos del proyecto.

Para este caso se realizó la solicitud de planos, estudios topográficos, informes geotécnicos y diseños preliminares a la entidad contratante, dando como resultado los insumos de diseño base para posteriormente ser adaptados mediante flujos de trabajo establecidos en modelos tridimensionales con propiedades extendidas y trabajados en un entorno común de datos propio de la industria, que para el caso fue Autodesk Construction Cloud.

La Tabla 2 muestra los productos entregados por la entidad para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2 Listado de insumos y formatos suministrados por la entidad

ENTREGABLE	FECHA	FORMATO DE ENTREGA
Volumen I. Estudio de transportes	Abril 2024	Pdf
Volumen II. Estudio de topografía, trazado y diseño geométrico, señalización y seguridad vial y plan de manejo de transito	Mayo 2024	Pdf/archivos CAD
Volumen III. Geología para ingeniería	Junio 2024	Pdf
Volumen IV. Estudio de suelos para el diseño de fundaciones de estructuras	Julio 2024	Pdf
Volumen V. Estudio de estabilidad y estabilización de taludes	Julio 2024	Pdf
Volumen VI. Estudio geotécnico y diseño del pavimento	Agosto 2024	Pdf
Volumen VII. Estudio de fuentes de materiales	Julio 2024	Pdf
Volumen VIII. Estudio de hidrología, hidráulica y socavación	Septiembre 2024	Pdf/archivos CAD
Volumen IX. Estudio y diseño de estructuras	Octubre 2024	Pdf/arhivos CAD
Volumen X. Gestión ambiental y social del proyecto	Diciembre 2024	Pdf
Volumen XI. Gestión predial	Diciembre 2024	Pdf

Fuente: elaboración propia

A partir de estos insumos se procederá a realizar los modelados mediante flujos de trabajo, partiendo por un modelado de prefactibilidad, con el fin de recrear lo más cercano posible a la información suministrada, esto debido que, los insumos para modelos suministrados se encontraban en formato CAD. El proceso se detalla en el desarrollo de la Fase II y siguiente.

6.2. Propuesta de un Esquema Básico del PEB (Plan de Ejecución BIM)

El Plan de Ejecución BIM (BEP, por sus siglas en inglés) es un documento fundamental en la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling). Funciona como una hoja de ruta que define cómo se utilizará BIM en un proyecto específico, estableciendo los objetivos, procesos, roles y estándares que guiarán a todos los actores involucrados. En el contexto de proyectos de infraestructura vial, el BEP se convierte en

una herramienta clave para garantizar la eficiencia, la colaboración y la calidad en todas las fases del proyecto, desde los estudios preliminares hasta la construcción y operación.

El BEP (BIM Execution Plan) es un documento vivo que describe cómo se implementará BIM en un proyecto. No es solo un requisito formal, sino una guía práctica que asegura que todos los participantes comprendan y sigan los mismos protocolos. Según la norma ISO 19650, el BEP debe incluir:

- Objetivos BIM: Qué se espera lograr con la implementación de BIM en el proyecto.
- Roles y responsabilidades: Quién hace qué y cómo se coordinarán las tareas.
- Estándares y protocolos: Cómo se gestionará la información, se crearán los modelos y se resolverán los conflictos.
- Entorno Común de Datos (CDE): Dónde y cómo se almacenará y compartirá la información del proyecto (la estructura del CDE, servirá como repositorio centralizado para la información del proyecto incluyendo la organización de carpetas por fases y disciplinas, el control de versiones y permisos de acceso y los flujos de Trabajo. Adicionalmente, se establece cómo se crearán y gestionarán los modelos, niveles de desarrollo (LOD) requeridos para cada fase del proyecto, formatos de archivo y software a utilizar. Finalmente, los protocolos para la detección y resolución de interferencias.

En proyectos de infraestructura vial, el BEP adquiere una relevancia especial debido a la complejidad de estos proyectos, que involucran múltiples disciplinas (topografía, geotecnia, hidráulica, estructuras, etc.) y requieren una coordinación precisa para evitar errores y retrasos.

Los proyectos de infraestructura vial son, por naturaleza, multidisciplinarios y de gran escala. Involucran la integración de estudios topográficos, diseños geométricos, análisis hidráulicos y estructurales, entre otros. Sin un BEP bien estructurado, es fácil que surjan problemas como:

- Falta de coordinación: Diferentes equipos trabajan con estándares o formatos incompatibles.
- Pérdida de información: Datos críticos no son compartidos o se pierden en el proceso.
- Conflictos en el diseño: Interferencias entre disciplinas que no son detectadas a tiempo.

El BEP actúa como un "manual de instrucciones" que evita estos problemas, asegurando que todos los actores trabajen de manera alineada y eficiente. Por ejemplo, en un proyecto vial, el BEP define cómo se integrarán los modelos topográficos con los diseños geométricos, cómo se gestionarán las interferencias entre drenajes y estructuras, y cómo se garantizará la calidad de los entregables.

Para este proyecto, se llevó a cabo el desarrollo del BEP, el cual se encuentra dentro de los anexos como ANEXO 1.

6.3. Definición de roles y responsabilidades[2]

El desarrollo de un proyecto de infraestructura vial es un proceso complejo que involucra la participación de múltiples disciplinas y profesionales. Desde la planificación y el diseño hasta la construcción y operación, cada fase requiere de un equipo especializado que trabaje de manera coordinada para garantizar el éxito del proyecto. En este contexto, la definición clara de roles y responsabilidades es fundamental para evitar confusiones, optimizar los recursos y asegurar la calidad de los entregables. A continuación, se presentan los roles principales que intervienen en un proyecto de infraestructura vial, junto con una descripción de sus funciones clave.

[2] (Cañón et al., 2023)

6.3.1. Director BIM

Es el profesional encargado de liderar la implementación y gestión de la metodología Building Information Modeling (BIM) dentro de una organización o entidad. Su principal función es garantizar que los procesos y flujos de trabajo BIM se desarrollen de manera eficiente y alineados con los objetivos estratégicos de la organización a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Este rol requiere un enfoque integral, donde la combinación de habilidades técnicas, liderazgo y visión estratégica permita impulsar la transformación digital y optimizar la gestión de la información en proyectos de infraestructura y edificación.

Para desempeñar eficazmente este cargo, el Director BIM debe contar con las siguientes capacidades:

- Experiencia en gestión estratégica de proyectos y organizaciones, asegurando una implementación estructurada y alineada con los objetivos corporativos.
- Liderazgo e influencia, fomentando la adopción de BIM en equipos multidisciplinarios y promoviendo la cultura de trabajo colaborativo.
- Habilidades de negociación y comunicación efectiva, facilitando la articulación entre las distintas partes interesadas del proyecto.
- Visión estratégica a largo plazo, permitiéndole anticipar tendencias, oportunidades y desafíos en la digitalización del sector.
- Organización y orientación a resultados, garantizando el cumplimiento de hitos y la optimización de procesos en la gestión de la información.
- Capacidad de innovación y adaptación al cambio, impulsando mejoras tecnológicas y metodológicas dentro de la organización.
- Rol de agente de cambio, asegurando la alineación de equipos y la redefinición de estrategias cuando sea necesario para optimizar la implementación de BIM.

6.3.2. Gestor BIM

El Gestor BIM es el profesional responsable de controlar, coordinar y liderar las actividades relacionadas con la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en un proyecto u organización. Su principal función es asegurar que los procesos se desarrollen conforme a la planificación, los objetivos estratégicos, los requisitos de calidad y los usos BIM definidos por el cliente.

Además, este rol implica la administración eficiente de recursos humanos y tecnológicos, garantizando que la integración de BIM en el proyecto se lleve a cabo de manera estructurada y alineada con los estándares establecidos.

El Gestor BIM es el encargado de:

- Definir los estándares y metodologías de modelado que se utilizarán en el proyecto.
- Establecer la vinculación de modelos y la organización de la información, asegurando su coherencia y trazabilidad.
- Desarrollar y supervisar los protocolos de comunicación, facilitando la colaboración entre equipos.
- Organizar entregables y reuniones BIM, garantizando el cumplimiento de hitos y plazos establecidos.

Para desempeñar eficazmente su función, el Gestor BIM debe contar con las siguientes capacidades:

- Manejo de estandarización y optimización de procesos, asegurando la correcta aplicación de metodologías BIM.
- Administración eficiente de proyectos, gestionando equipos y recursos de manera estratégica.
- Liderazgo y coordinación de equipos multidisciplinarios, promoviendo la integración y colaboración efectiva.

- Generación y gestión de procesos, definiendo flujos de trabajo claros y estructurados.
- Comunicación clara y efectiva, facilitando el entendimiento entre todas las partes involucradas.
- Capacidad de organización de la información, asegurando la correcta estructuración y clasificación de datos.
- Habilidades de análisis, síntesis y administración, permitiendo la toma de decisiones fundamentadas en datos y necesidades del proyecto.

6.3.3. Coordinador BIM

El Coordinador BIM es el profesional encargado de dirigir y supervisar la coordinación de información dentro de una disciplina o fase del proyecto, asegurando que se cumplan los requisitos establecidos por el cliente. Su rol es clave en la integración y gestión de datos entre los distintos actores del proyecto, permitiendo una comunicación efectiva y la correcta federación de modelos.

El Coordinador BIM desempeña las siguientes tareas esenciales:

- Garantizar la comunicación según el BEP (Plan de Ejecución BIM), asegurando que los flujos de información cumplan con los protocolos definidos.
- Coordinar el trabajo entre distintas especialidades para consolidar un modelo federado, optimizando la interoperabilidad entre disciplinas.
- Realizar controles de calidad, verificando que los modelos cumplen con los estándares y requisitos del proyecto.
- Generar informes de transmisión periódicos, documentando avances y validando la integridad de la información intercambiada.
- Federar y consolidar modelos provenientes de diferentes especialidades, garantizando su compatibilidad y correcta estructuración.
- Validar la correcta entrega de información, asegurando la precisión y cumplimiento de formatos y estándares.

- Asegurar la interoperabilidad de modelos y plataformas, permitiendo la integración de datos en entornos colaborativos.
- Gestionar la documentación del proyecto, organizando y estructurando la información de acuerdo con los lineamientos BIM.
- Establecer programas TIDP (Task Information Delivery Plan), definiendo el cronograma de entregables de cada equipo.
- Movilizar recursos y tecnología, asegurando que el equipo cuente con las herramientas necesarias para una implementación efectiva.

El Coordinador BIM desempeña un papel fundamental en la estructuración de los modelos, garantizando la calidad de la información y la interoperabilidad entre sistemas. Su labor facilita la integración de las distintas disciplinas del proyecto, optimizando los procesos de diseño, construcción y operación. Gracias a su capacidad de gestión y supervisión, el Coordinador BIM se convierte en un nexo estratégico entre los equipos técnicos, promoviendo la eficiencia y la colaboración en un entorno digital estructurado.

6.3.4. Modelador BIM

El Modelador BIM es el profesional responsable de la construcción digital del modelo del proyecto, asegurando la representación precisa de los elementos y la correcta extracción de documentación técnica. Su labor es fundamental para traducir los diseños conceptuales en modelos tridimensionales detallados, facilitando el análisis y la planificación del proyecto.

El Modelador BIM lleva a cabo las siguientes actividades clave:

- Desarrollar el modelo correspondiente a su especialidad, integrando aspectos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos, eléctricos, entre otros.
- Elaborar y editar los elementos modelados, asegurando su precisión y conformidad con los estándares del proyecto.

- Generar y extraer cantidades, proporcionando datos exactos para la planificación y presupuestación.
- Estructurar la información siguiendo el sistema de clasificación definido, facilitando la organización y el acceso a los datos.
- Verificar la disponibilidad de información necesaria, garantizando que los modelos estén completos y actualizados.
- Producir datos conforme a las directrices establecidas, cumpliendo con los requisitos técnicos y normativos.
- Revisar el modelo de información, identificando y corrigiendo posibles inconsistencias o errores.
- Asegurar el cumplimiento de los requisitos técnicos, validando que el modelo cumpla con las especificaciones del proyecto.

El rol del Modelador BIM es crucial para la creación de un modelo digital robusto, que no solo representa con fidelidad el diseño físico, sino que también soporta la toma de decisiones y la gestión eficiente de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

A través de su experiencia técnica y atención al detalle, el Modelador BIM contribuye a mejorar la calidad del diseño, facilita la coordinación entre disciplinas y optimiza el flujo de trabajo en entornos colaborativos.

Existen múltiples usos y roles BIM, de conformidad con el proyecto a definir, el objetivo por supuesto, es fomentar una mejor colaboración con un lenguaje común práctico, inclusivo, fácil de entender y fácil de adoptar para los títulos, descripciones y responsabilidades de los roles. Para crear una visión clara, es necesario acordar descripciones sobre los componentes.

El contratante puede especificar los perfiles necesarios para cumplir con los objetivos de la implementación de la metodología, según lo establecido en el documento ISBN 978-628-96746-1-3: Documento técnico Guía de roles BIM de la MAI-BIM. El alcance, la experiencia y los perfiles necesarios dependerán significativamente de lo documentado

en cada ATB o VTB de la entidad a la que se presenten diseños en cada fase del proyecto, así como de los requisitos acordados en el EIR para entidades privadas.

Para este proyecto se emplearon los roles específicos de Coordinador BIM, Modelador BIM y Director BIM.

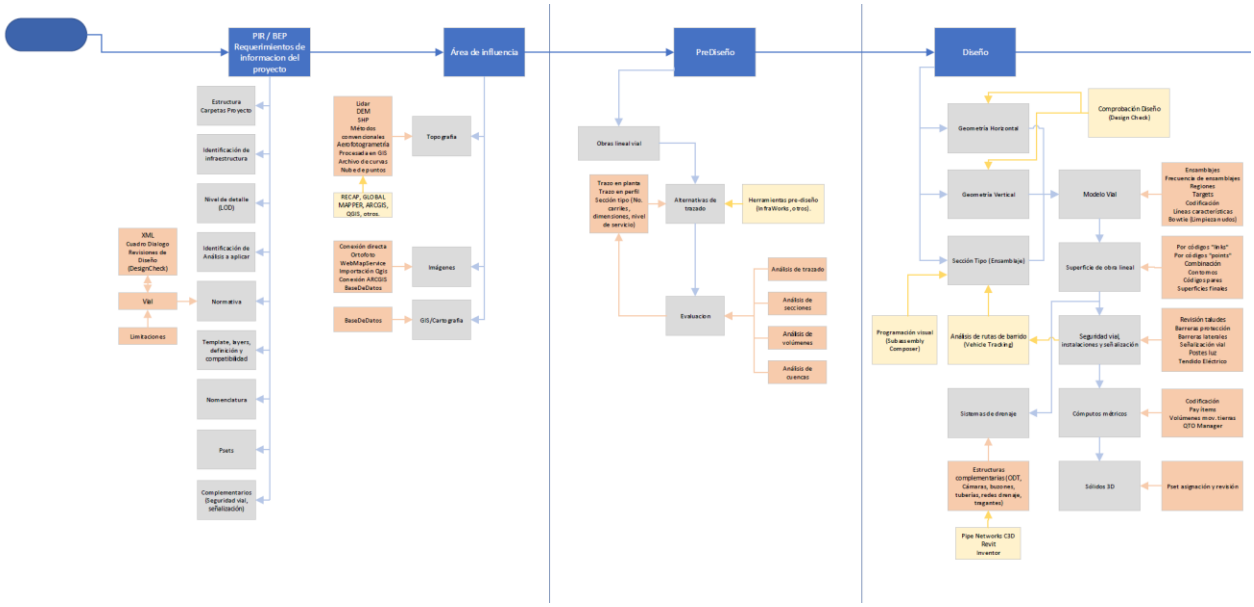
6.4. Estructura de trabajo para el desarrollo de proyectos de infraestructura

El desarrollo de proyectos de infraestructura vial es un proceso altamente estructurado que requiere la integración de diversas disciplinas, tecnologías y metodologías para garantizar su eficiencia, sostenibilidad y cumplimiento normativo. Desde la planificación inicial hasta la operación y mantenimiento, cada fase del proyecto debe seguir una estructura de trabajo clara, donde la interoperabilidad entre equipos y el acceso a información precisa son factores determinantes para el éxito de la obra.

En la actualidad, la implementación de enfoques colaborativos como la metodología BIM (Building Information Modeling) y el uso de sistemas de gestión digital han transformado la manera en que se diseñan, construyen y operan las infraestructuras viales. A diferencia de los métodos tradicionales, donde la información se gestiona de forma fragmentada en múltiples documentos y formatos, hoy es posible integrar modelos inteligentes y bases de datos estructuradas que permiten una mejor toma de decisiones y optimización de recursos (ISO, 2018).

La Figura 7 representa el flujo de trabajo propuesto para el desarrollo del proyecto. Se ha propuesto un flujo robusto, sin embargo, debido a los insumos entregados por la entidad, algunos de estos insumos y procesos no fueron requeridos.

Figura 7 Flujo de trabajo para el desarrollo de un proyecto de infraestructura vial.



Fuente: Elaboración propia

En resumido, La base de cualquier proyecto BIM es la definición clara de los requerimientos de información (EIR - Employer's Information Requirements), los cuales establecen los criterios, formatos y entregables que deben generarse a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Estos requerimientos incluyen:

- Alcance del proyecto y objetivos estratégicos.
- Formatos de entrega de modelos y documentación.
- Niveles de Desarrollo (LOD) esperados en cada fase.
- Normativa y estándares aplicables.
- Sistemas de clasificación y nomenclaturas a utilizar.
- Entorno Común de Datos (CDE) y herramientas digitales.
- Protocolos de comunicación y validación de modelos.

Una vez establecidos los requerimientos, se procede a la estructuración de carpetas dentro del Entorno Común de Datos (CDE), organizando los archivos en función de su naturaleza y fase de desarrollo.

Para garantizar un acceso eficiente y seguro a la información del proyecto, se debe estructurar un sistema de carpetas basado en una jerarquía lógica y estandarizada dentro del CDE. La organización típica incluye:

- Documentación administrativa y contractual.
- Modelos BIM separados por especialidad (vial, hidráulica, geotécnica, estructural, eléctrica, ambiental, etc.).
- Datos de referencia geoespacial y cartografía base.
- Normativa técnica y guías aplicables.
- Entregables en diferentes formatos (IFC, RVT, DWG, PDF, SHP, etc.).
- Versionado de modelos y auditoría de cambios.

Antes de iniciar el modelado, se debe realizar un estudio exhaustivo del entorno y la infraestructura existente. Para ello, se recopila y analiza la información primaria, incluyendo:

- Datos LIDAR: Modelos digitales de terreno y superficie con alta precisión.
- Imágenes satelitales y fotografías aéreas: Permiten una mejor caracterización del área de influencia.
- Cartografía oficial: Información georreferenciada relevante para el diseño.
- Datos geotécnicos e hidrológicos: Fundamentales para la toma de decisiones sobre trazado y estructuras.
- Información de redes de servicios y restricciones ambientales.

El Nivel de Desarrollo (LOD) establece el grado de precisión y confiabilidad que debe tener cada componente del modelo en cada fase del proyecto. Los niveles más utilizados en infraestructura vial incluyen:

- LOD 100-200: Estudios previos y anteproyecto.
- LOD 300: Diseño definitivo.
- LOD 350-400: Documentación constructiva.
- LOD 500: Modelo As-Built y operación/mantenimiento.

La correcta ejecución del proyecto requiere alinearse con la normativa técnica vigente, incluyendo:

- Normas de diseño geométrico y estructural (AASHTO, Normas INVÍAS, Manuales de Diseño Vial).
- Estándares BIM internacionales (ISO 19650, PAS 1192, IFC).
- Normativa ambiental y de sostenibilidad aplicable a proyectos de infraestructura.
- Especificaciones técnicas de materiales y procesos constructivos.

Para optimizar la modelación y garantizar la coherencia entre disciplinas, se deben emplear templates y configuraciones predeterminadas que incluyan:

- Familias y objetos paramétricos adaptados a normativa local.
- Estructuras de capas y estilos de visualización estandarizados.
- Perfiles y secciones tipo predeterminadas.
- Configuraciones de exportación y compatibilidad IFC.

La correcta parametrización del modelo requiere establecer conjuntos de propiedades (Pset) que describan las características de cada elemento del modelo. Esto incluye:

- Propiedades geométricas (dimensiones, volúmenes, áreas).
- Propiedades materiales (tipo de pavimento, resistencia estructural).
- Propiedades funcionales (clasificación vial, capacidad, diseño de drenaje).
- Propiedades de mantenimiento (vida útil, costos operativos).
- Los Pset deben definirse desde la fase de estudio previo, asegurando que la información fluya correctamente en todas las fases del proyecto.

Además del modelo principal, es fundamental gestionar volúmenes complementarios que contengan información adicional clave, tales como:

- Modelos específicos de interferencias y análisis de colisiones.
- Volúmenes de gestión de riesgos y afectaciones prediales.
- Modelos de simulación de tránsito y análisis de demanda.
- Modelos de drenaje y gestión de aguas pluviales.

- Modelos de señalización y seguridad vial.

Estos volúmenes permiten realizar análisis más detallados y tomar decisiones informadas en cada etapa del diseño.

Una vez recopilada y organizada toda la información, se procede con la fase de estudio previo, donde se evalúan las condiciones del terreno, restricciones normativas y variables técnicas que influirán en el diseño. Esta fase incluye:

- Análisis de viabilidad técnica y ambiental.
- Estudio de afectaciones prediales y restricciones urbanísticas.
- Generación de trazados preliminares y opciones de diseño.

Con base en esta información, se desarrolla el anteproyecto, en el cual se comparan diferentes alternativas de diseño considerando factores como:

- Costos de construcción y mantenimiento.
- Impacto ambiental y social.
- Seguridad vial y eficiencia del trazado.
- Factibilidad de implementación y compatibilidad con normativas.

Posteriormente, se pasa a la fase de prediseño y análisis de alternativas en el proyecto para determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto antes de avanzar al diseño detallado. En esta etapa, se establecen las diferentes opciones de trazado, se evalúan las condiciones del entorno y se selecciona la alternativa óptima con base en criterios técnicos, normativos y de sostenibilidad.

Para garantizar un proceso estructurado y eficiente, se debe seguir un flujo metodológico que permita integrar la información recopilada en fases anteriores, aplicar herramientas

de modelado conceptual y análisis multicriterio, y generar una base sólida para la toma de decisiones.

El punto de partida en la fase de prediseño es la identificación y modelado de distintas alternativas de trazado, considerando:

- Condiciones geográficas y topográficas del corredor.
- Restricciones ambientales y sociales que puedan influir en la selección del trazado.
- Interferencia con infraestructura existente (vivienda, redes de servicios, cuerpos de agua, áreas protegidas).
- Factibilidad técnica y constructiva en función de la geotecnia y la disponibilidad de materiales.

Para ello, se emplean software de conceptualización y modelado preliminar, para este caso Autodesk InfraWorks, recreando el escenario de diseño preliminar en un entorno 3D.

Una vez generadas las opciones de trazado, se procede con su evaluación utilizando un análisis multicriterio, el cual permite ponderar los factores técnicos, económicos y ambientales para determinar la alternativa más viable.

Los principales criterios para la comparación de alternativas incluyen:

- Condiciones geométricas (radios de curvatura, peraltes, pendientes, visibilidad).
- Costos de construcción y mantenimiento (movimientos de tierra, obras de drenaje, estructuras).
- Impacto ambiental (afectación de ecosistemas, cuerpos de agua, emisiones de CO_2).
- Factibilidad predial y social (reasentamiento, accesibilidad, conectividad con redes viales).
- Seguridad vial (riesgo de accidentes, cumplimiento de normativas de diseño).

El análisis de alternativas se apoya en herramientas como:

- QGIS o ArcGIS: Evaluación geoespacial de restricciones ambientales y prediales.
- InfraWorks Traffic Simulation: Simulación de tráfico para evaluar capacidad y niveles de servicio.
- HEC-RAS o SWMM: Análisis de impacto hidrológico de cada alternativa.
- Cost Estimator (ConceptStation, Civil 3D): Estimación preliminar de costos de cada trazado.

A partir de estos análisis, se genera una matriz de evaluación comparativa, donde se asignan ponderaciones a cada criterio, permitiendo una selección objetiva de la alternativa más eficiente y sostenible.

Una vez elegida la alternativa más viable, se procede a su ajuste y optimización para mejorar su rendimiento en términos de seguridad, costos y sostenibilidad.

En esta fase se realizan las siguientes acciones:

- Ajuste de alineación horizontal y vertical para mejorar el confort y la eficiencia operativa.
- Optimización de obras de drenaje para reducir impactos en cuerpos de agua.
- Evaluación de impacto predial para minimizar afectaciones a propietarios.
- Ajustes en intersecciones y accesos para mejorar conectividad y movilidad.

Estas optimizaciones se realizaron mediante el uso de software especializado Civil 3D, asegurando una integración eficiente de datos y evitando reprocesos en fases posteriores. Este modelo debe incluir:

- Modelo 3D del corredor con alineación definitiva.
- Definición preliminar de estructuras (puentes, viaductos, muros de contención).
- Ubicación de obras de drenaje y señalización preliminar.
- Estimación de volúmenes de obra para validación de costos.

Antes de avanzar a la siguiente fase del proyecto, se realiza una validación integral de la alternativa seleccionada, asegurando que cumple con:

- Normativas de diseño geométrico y estructural aplicables.
- Criterios ambientales y de sostenibilidad establecidos en la evaluación de impacto.
- Viabilidad económica y constructiva con base en costos y logística.
- Factibilidad social y predial minimizando conflictos con comunidades y propietarios.

Esta validación se realiza a través de revisiones internas con los equipos técnicos y con la entidad contratante, generando los entregables de prediseño que servirán como base para la fase de diseño definitivo.

Para la última etapa, se optimiza el trazado, se integran los aspectos geométricos, hidráulicos y estructurales, y se verifican los diseños para garantizar la viabilidad constructiva y operativa del proyecto.

El objetivo de esta fase es ajustar técnicamente el diseño horizontal, vertical y la sección transversal, mejorar el diseño hidráulico, generar los modelos tridimensionales del corredor y los cómputos de materiales, y finalmente, producir la documentación técnica conforme al MIDP (Model Information Delivery Plan).

El diseño geométrico es el primer componente que se ajusta en esta fase. Este proceso incluye la optimización de la alineación horizontal y vertical, asegurando que cumpla con las normativas vigentes y brinde seguridad, eficiencia y confort para los usuarios, se realiza el ajuste de alineación para mejorar fluidez y minimizar costos de construcción, se optimizan los radios de curvatura y peraltes, garantizando seguridad vial.

Se ubican las intersecciones y accesos, asegurando la conectividad con la red vial existente. Se definen las rasantes optimizadas considerando la topografía del terreno, asegurando las pendientes adecuadas para la operación de los vehículos. De igual manera se verifica los parámetros de visibilidad y control de alturas de coronación.

También se optimizan los anchos de calzada y bermas, garantizando funcionalidad y seguridad. Se reafirma o no la ubicación de elementos complementarios como separadores, ciclovías y andenes. De igual manera se definen los taludes y tratamiento de cortes y rellenos para estabilidad del corredor.

Para este proceso, se utilizó el software especializado Autodesk Civil 3D, que permite realizar ajustes en un entorno dinámico y garantizar la integridad geométrica del diseño.

Adicionalmente, se debe:

- Realizar diseño de drenaje longitudinal y transversal, ubicando alcantarillas y cunetas.
- Generar el modelado de flujo hidráulico con herramientas como HEC-RAS, SWMM o StormCAD.
- Verificar la capacidad de conducción y evacuación de aguas pluviales.
- Diseñar obras de control y protección como disipadores de energía y sistemas de retención de sedimentos.

Una vez definidos los diseños geométrico e hidráulico, se realizan pruebas y simulaciones para comprobar su eficacia y cumplimiento normativo incluyendo:

- Pruebas de visibilidad y seguridad vial utilizando software de simulación de tráfico.
- Verificación de pendientes y cumplimiento de restricciones geométricas.
- Control de compatibilidad entre drenaje y diseño estructural.

Con los ajustes finalizados, se procede a la generación del modelo tridimensional del corredor, incorporando:

- Modelado de la superficie topográfica ajustada al diseño final.
- Creación del corredor digital con sus elementos geométricos y funcionales.
- Generación de sólidos tridimensionales de la infraestructura.
- Integración con modelos de estructuras, drenaje y señalización.

Una vez surtida dicha etapa, se realiza el análisis de volúmenes para la planificación de costos y la optimización de recursos. En esta etapa se generan:

- Cálculo de movimientos de tierra (cortes y rellenos).
- Estimación de volúmenes de pavimento, drenaje y estructuras.
- Análisis de materiales requeridos y costos preliminares.

Esto permite preparar las bases para la planificación constructiva y el presupuesto del proyecto.

Con la información validada, se generan los documentos técnicos del diseño, asegurando que cumplen con el MIDP (Model Information Delivery Plan) y las normativas establecidas. Entre los principales entregables se encuentran:

- Planos de planta, perfiles y secciones transversales.
- Memorias de cálculo y especificaciones técnicas.
- Modelos 3D en formatos interoperables (IFC, RVT, DWG).
- Informes de compatibilidad y validación de interferencias.

Esta documentación es clave para la aprobación del diseño y la preparación de la siguiente fase del proyecto.

Antes de cerrar la fase de diseño, se realiza un análisis de coordinación y detección de colisiones, asegurando que todos los modelos (vial, hidráulico, estructural) estén correctamente integrados. Para ello, se empleó directamente el CDE, ya que contaba con dicha herramienta, no obstante, es posible usar otros softwares especializados como:

- Navisworks o Solibri para detección de interferencias entre disciplinas.
- InfraWorks o Synchro para simulaciones constructivas.
- Dynamo o Grasshopper para optimización y control de modelos BIM.

Esta es la última etapa para el proyecto en mención ya que hasta esta fase se contempló la aplicación de la metodología.

7. DESARROLLO FASES II Y III

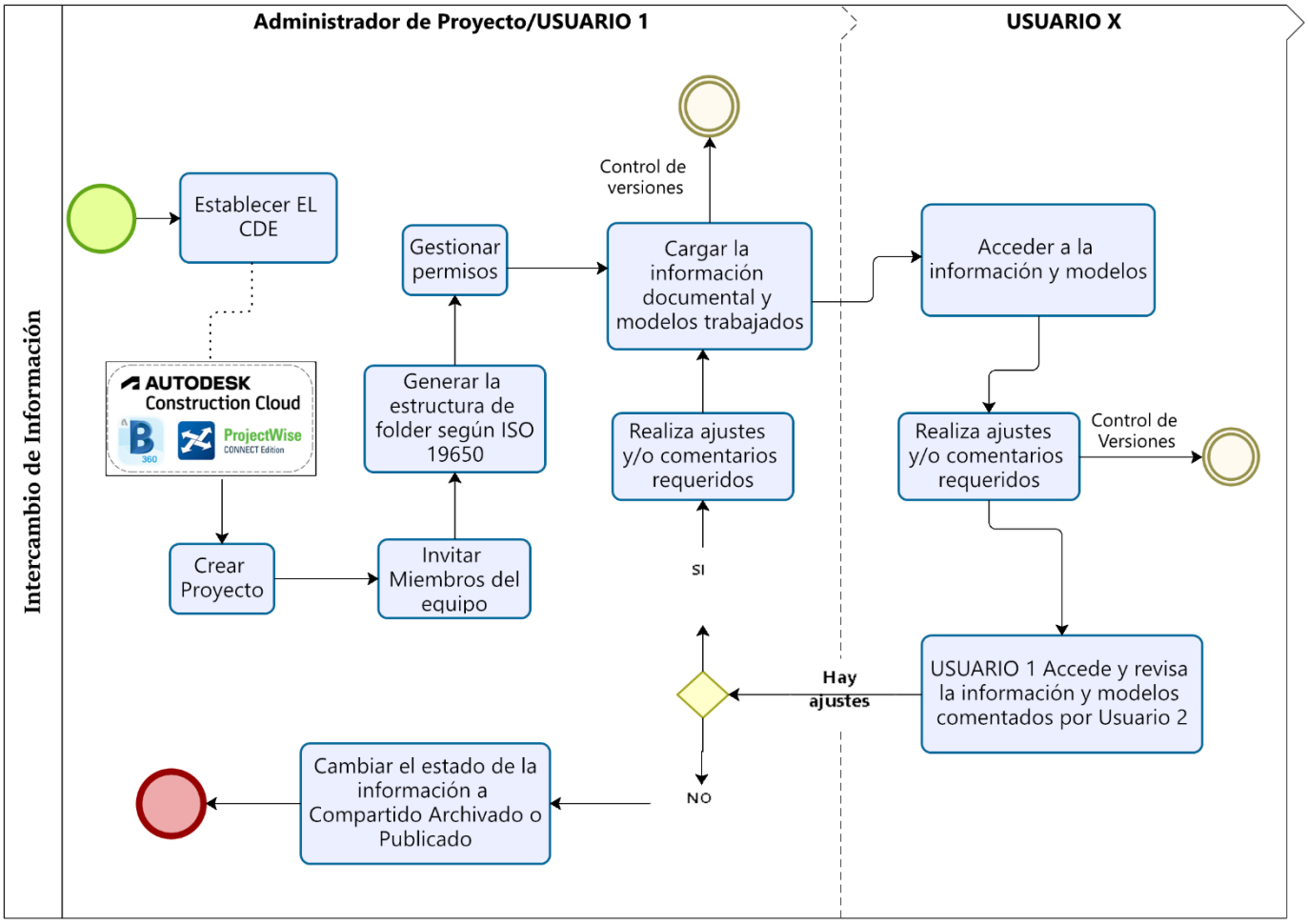
A continuación, se presenta de manera detallada, los flujos y procesos realizados para generar los modelos a partir de la información suministrada por la entidad, haciendo uso del CDE (Autodesk Construction Cloud) desde la generación de modelos conceptuales, hasta los diseños definitivos. De igual manera se ilustra el uso de herramientas como el desarrollo de flujos de trabajo en el CDE, revisiones, consumo de información y análisis de interferencias entre especialidades.

7.1. Fase de Planificación de un proyecto de infraestructura vial en Autodesk Construction Cloud

Un entorno común de datos que permita el trabajo directo en la nube y la gestión de información y modelos es una forma popular y útil de colaborar. "Los CDE de la industria de la construcción son más eficientes y completos que los entornos de gestión de la información, ya que proporcionan una plataforma basada en web para la gestión de proyectos, más rentable y con mayores herramientas para la gestión, documentación y seguimiento de los proyectos".

Para realizar este ejercicio, hemos utilizado Autodesk Construction Cloud - ACC, que requiere una cuenta de Autodesk". A continuación, se demostrará el proceso de trabajo conjunto en la fase de planificación, que es comparable al que se muestra en la siguiente figura. En este tipo de CDE, no es necesario utilizar herramientas de comunicación, pero es muy recomendable utilizar herramientas alternativas para garantizar que los miembros del equipo estén actualizados y al tanto de las novedades del proyecto, no obstante, es el mismo CDE quien se encargará de mantener informados a los miembros del proyecto en todo momento.

Figura 8 Flujo de intercambio de información en ACC

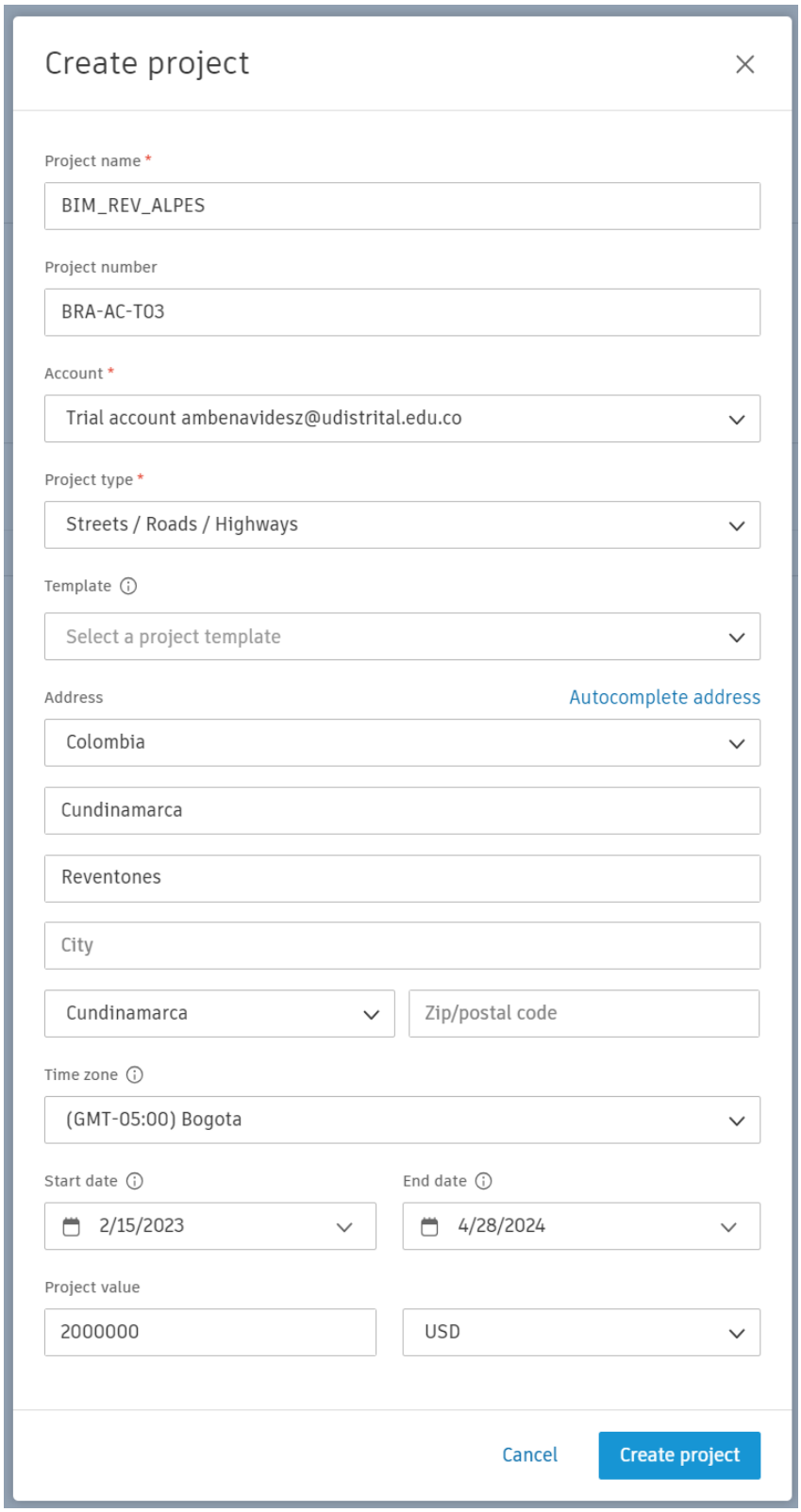


Fuente: (Cañón et al., 2023)

Basándonos en el intercambio de información presentado en la Figura 8, podemos concluir:

Para empezar, es fundamental establecer las condiciones para manejar, almacenar y compartir información durante la planificación del proyecto de infraestructura y las etapas posteriores de este. Es crucial resaltar que esta plataforma ha sido definida previamente en el BEP. Después de elegir la plataforma adecuada (en este caso, el ACC), el paso inicial es crear el proyecto. Esto implica asignar datos como el nombre del proyecto, número, cuenta asociada, tipo (en nuestro caso, vías), ubicación, fecha de inicio y finalización y costo si corresponde. La Figura 9 ilustra este ejemplo.

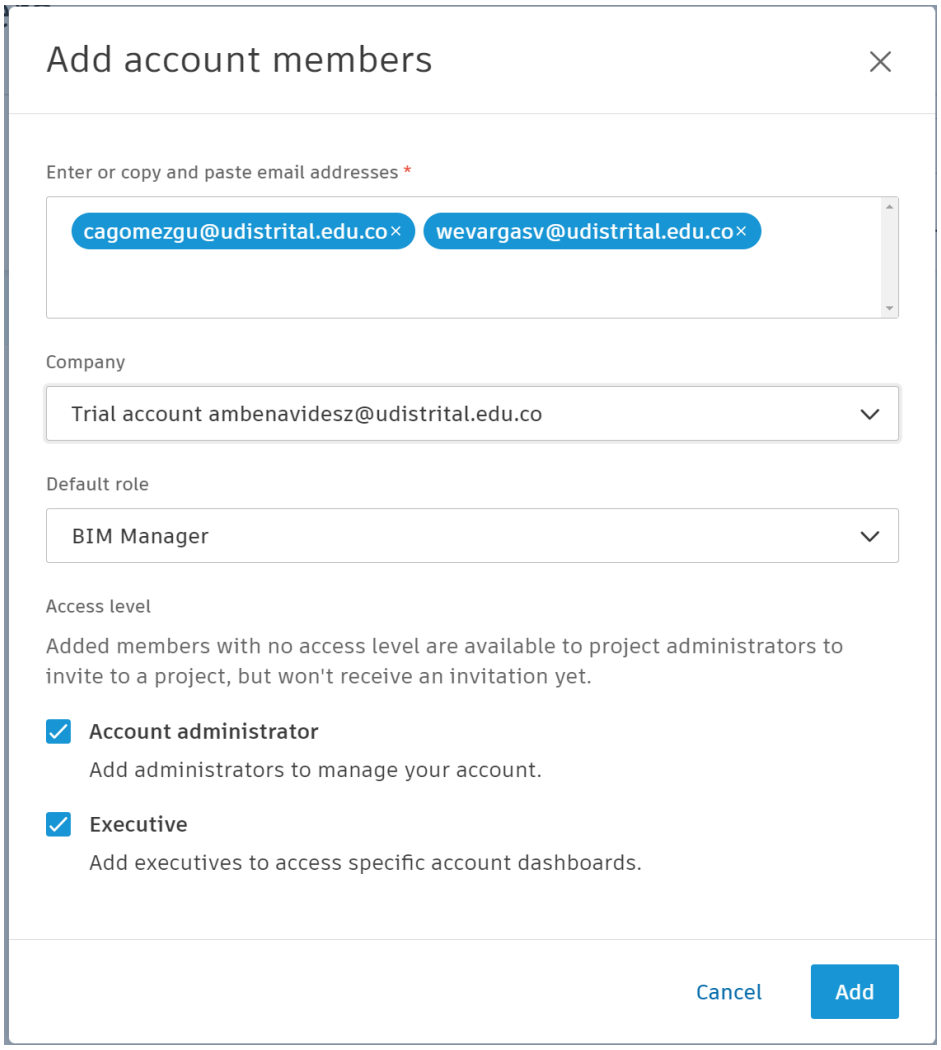
Figura 9 Creación de proyecto en ACC



Fuente: propia

Una vez creado el proyecto y mantenido el flujo en la Figura 8, se procede a invitar a los miembros del equipo e involucrados (diseñadores, interventores, steakholders, constructores, supervisores, entre otros) a unirse ingresando sus direcciones de correo electrónico, al igual que se asigna la entidad o compañía y el rol respectivo que desempeñará cada uno.

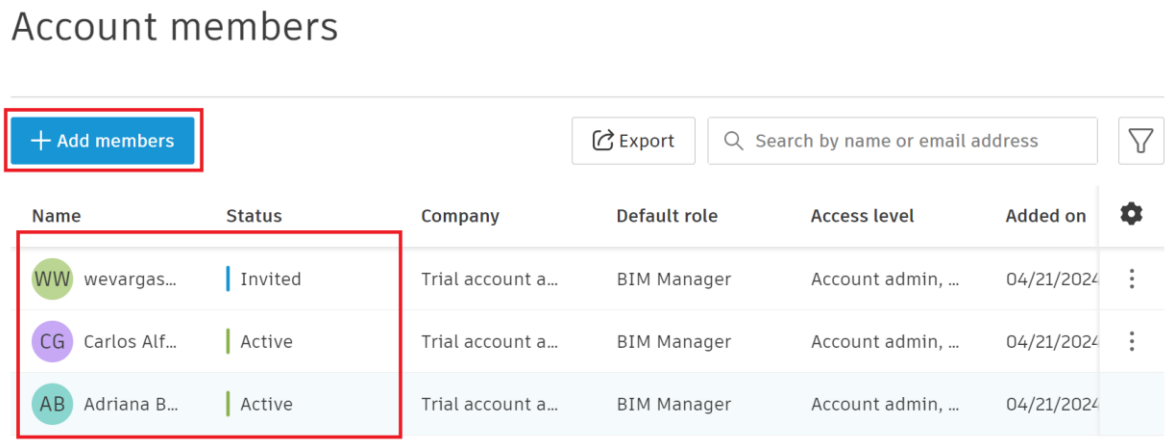
Figura 10 Adición de miembros al proyecto en ACC



Fuente: propia

Después de invitar a los miembros, podemos verificar si todos los requeridos aparecen en sus respectivas secciones. Si no, podemos agregar más". La Figura 11 muestra las personas que han sido invitadas previamente a unirse al proyecto.

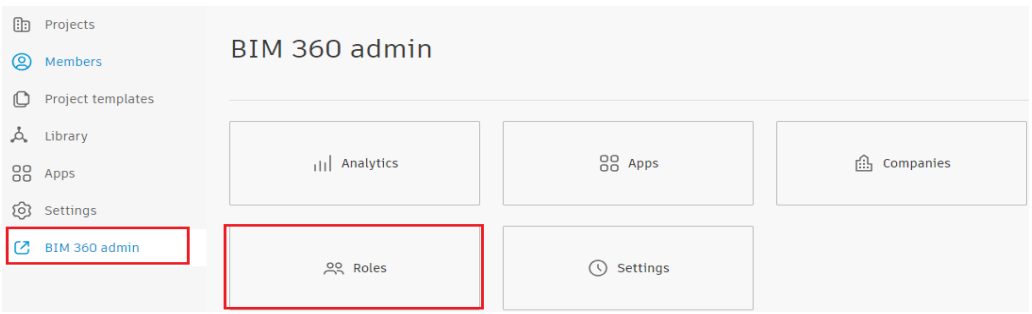
Figura 11 Miembros del equipo de trabajo en ACC



Fuente: propia

Para configurar las carpetas en ACC, primero debemos definir los roles y responsabilidades para determinar las especialidades de trabajo y quién se encargará de ellas. En la cuenta de administrador, dentro de las opciones de BIM 360 Admin, elegiremos la opción Roles. Esto nos permitirá crear roles, administrarlos, asignar permisos y otorgar acceso a aquellos roles que necesitan acceso a temas específicos como documentación, gestión de costos, colaboración y diseño.

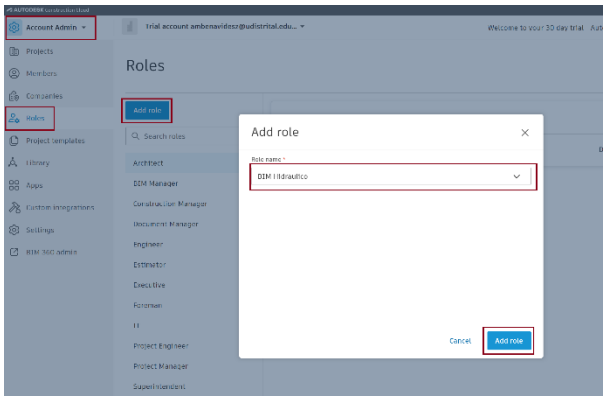
Figura 12 Miembros del equipo de trabajo en ACC



Fuente: propia

Para generar un rol en particular, simplemente se escribe el rol deseado en la barra de búsqueda. La plataforma tiene algunos roles predeterminados, como BIM Manager, Document Manager e Ingeniero de proyectos. Sin embargo, para proyectos de infraestructura, es posible que se necesiten especialistas adicionales y modeladores más específicos. Ahora, estableceremos los roles de Modelador geométrico y otorgaremos acceso a funciones específicas de ACC para administrar, modelar, colaborar y generar información. Ingresamos "Modelador geométrico" en la barra de búsqueda, pero como no existe tal rol, lo elegimos de la lista de verificación y luego lo agregamos.

Figura 13 Creación de rol en ACC



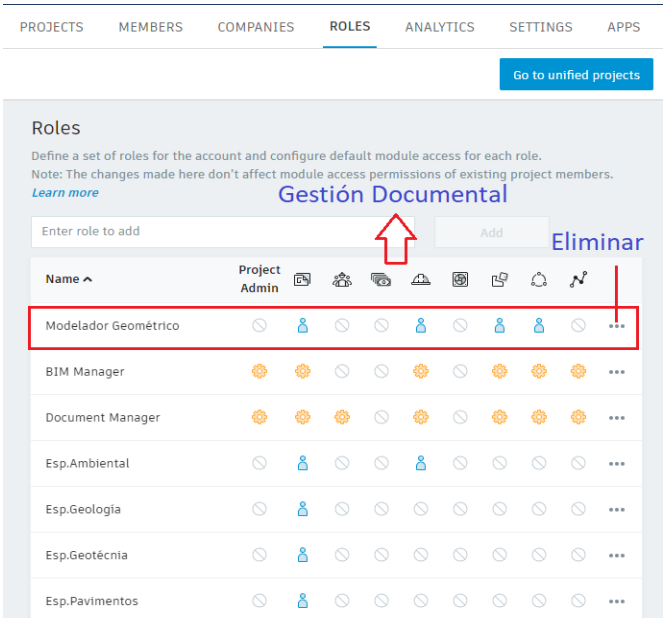
Fuente: propia

El nuevo rol se agrega automáticamente a la lista actual y puede otorgarle los permisos adecuados para manejar y compartir información haciendo clic en el elemento que coincida, como se muestra en la siguiente figura. Si bien un rol no necesariamente determina una especialidad, puede requerir la colaboración con varios especialistas que pueden solo proporcionar información documental y no contribuir activamente al diseño o intercambio de modelos, por lo que se han incluido especialistas como ingenieros ambientales y de pavimentos.

No olvide incluir los distintos roles que son necesarios para el proyecto, los mismos especificados en el BEP. Para eliminar un rol, haga clic en los tres puntos (...) y elija eliminar. La forma de manejar la información y su protección depende de quién y cómo la utiliza. Es fundamental realizar esta tarea de forma responsable. En caso de ser

necesario se puede modificar los accesos en cualquier momento agregándolos o quitándolos según el rol.

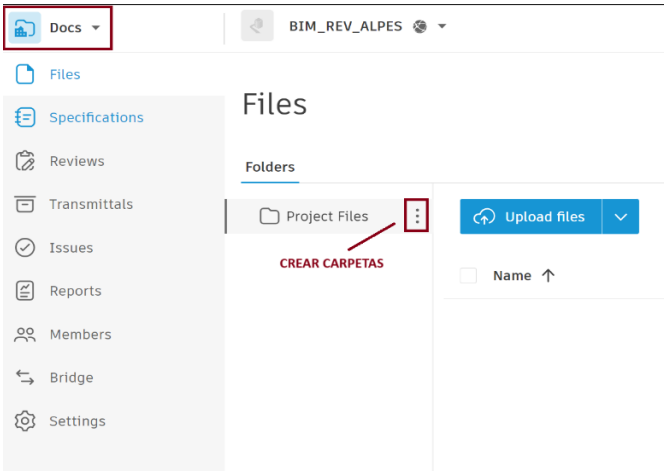
Figura 14 Creación de rol en ACC



Fuente: propia

Después de asignar los roles, las carpetas se organizan según los lineamientos de la ISO 19650 y las instrucciones del BEP (Plan de ejecución BIM) del proyecto. Para ello, en el entorno web crearemos las carpetas necesarias en el apartado Docs.

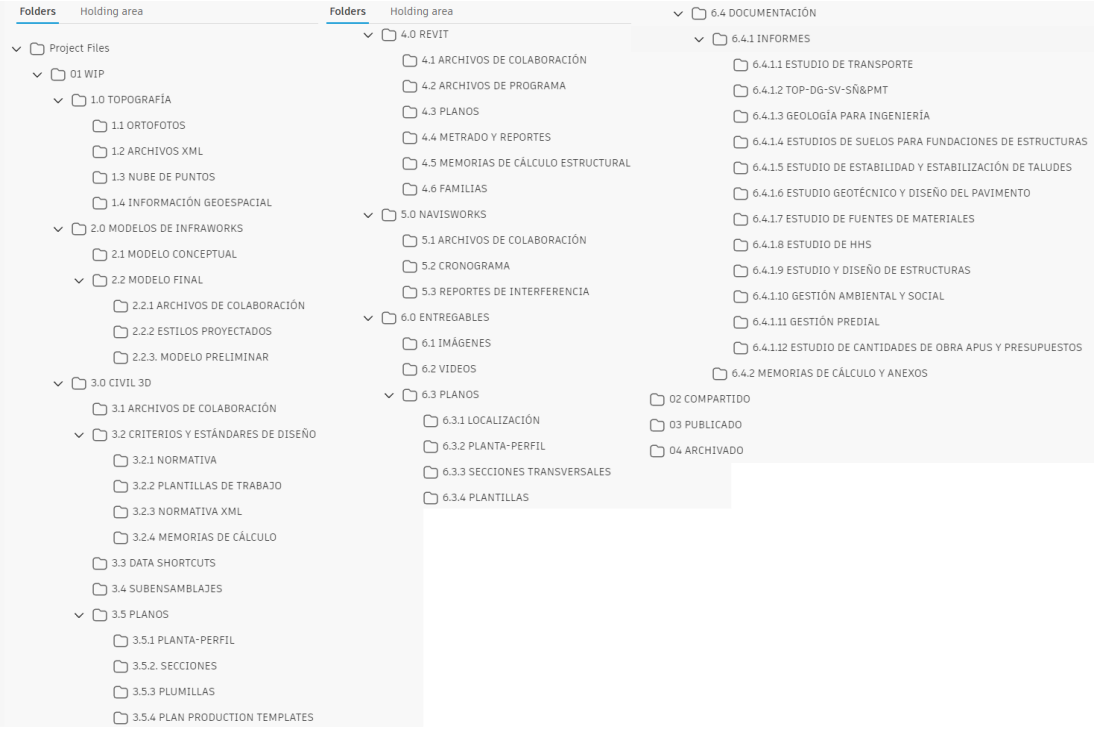
Figura 15 Creación de estructura de carpetas en ACC



Fuente: propia

Para este ejercicio hemos definido la estructura de conformidad con la jerarquía establecida en el BEP. A continuación, se muestra en la Figura 16.

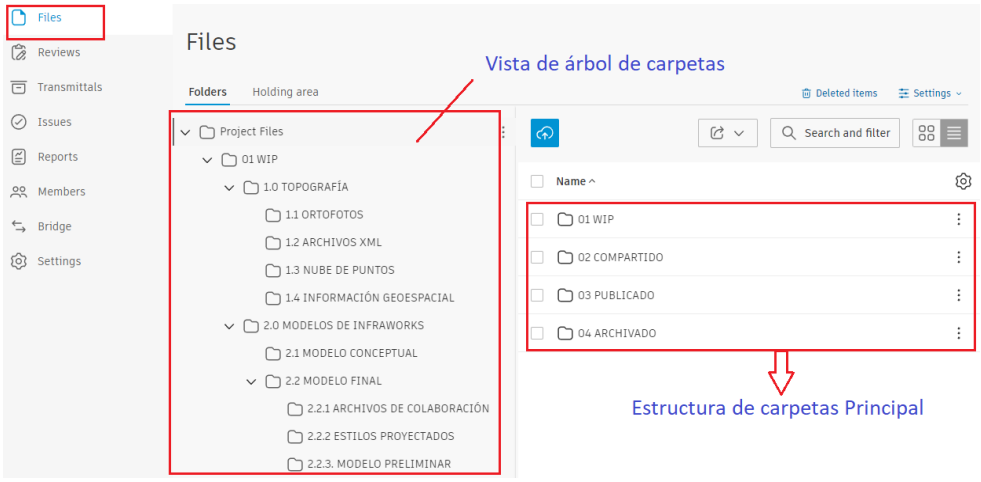
Figura 16 Creación de estructura de carpetas en ACC



Fuente: propia

Concluida la estructuración de carpetas, se observará el entorno de la siguiente manera.

Figura 17 Vista de estructura de carpetas en ACC

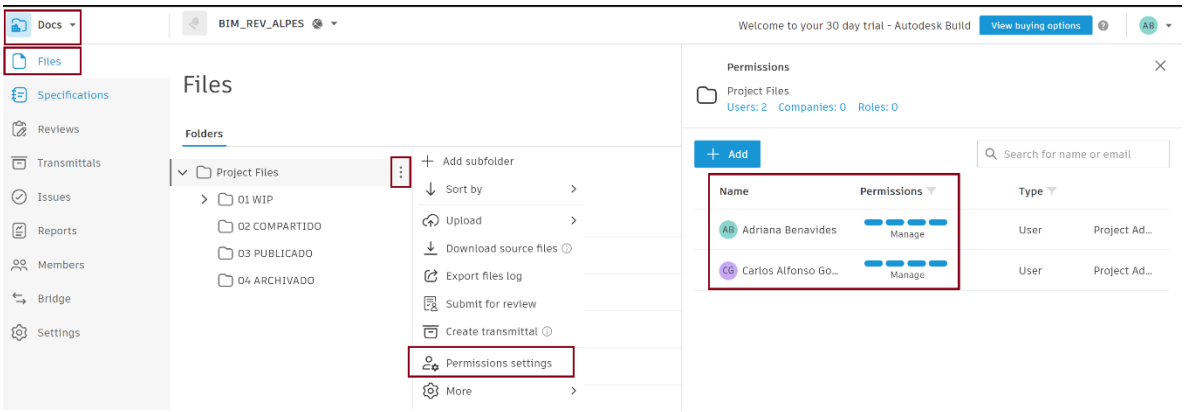


Fuente: propia

Después de eso, cada miembro del equipo o rol tiene la autoridad para ver, ver y descargar, crear, crear y actualizar, editar o tener control total sobre los archivos cargados de acuerdo con sus características. Tenemos que elegir una de estas opciones para cada folder en la sección de Permisos.

Estos se distribuyen según los roles. Se enfatiza una vez más la importancia de asignar cuidadosa y exhaustivamente estos permisos.

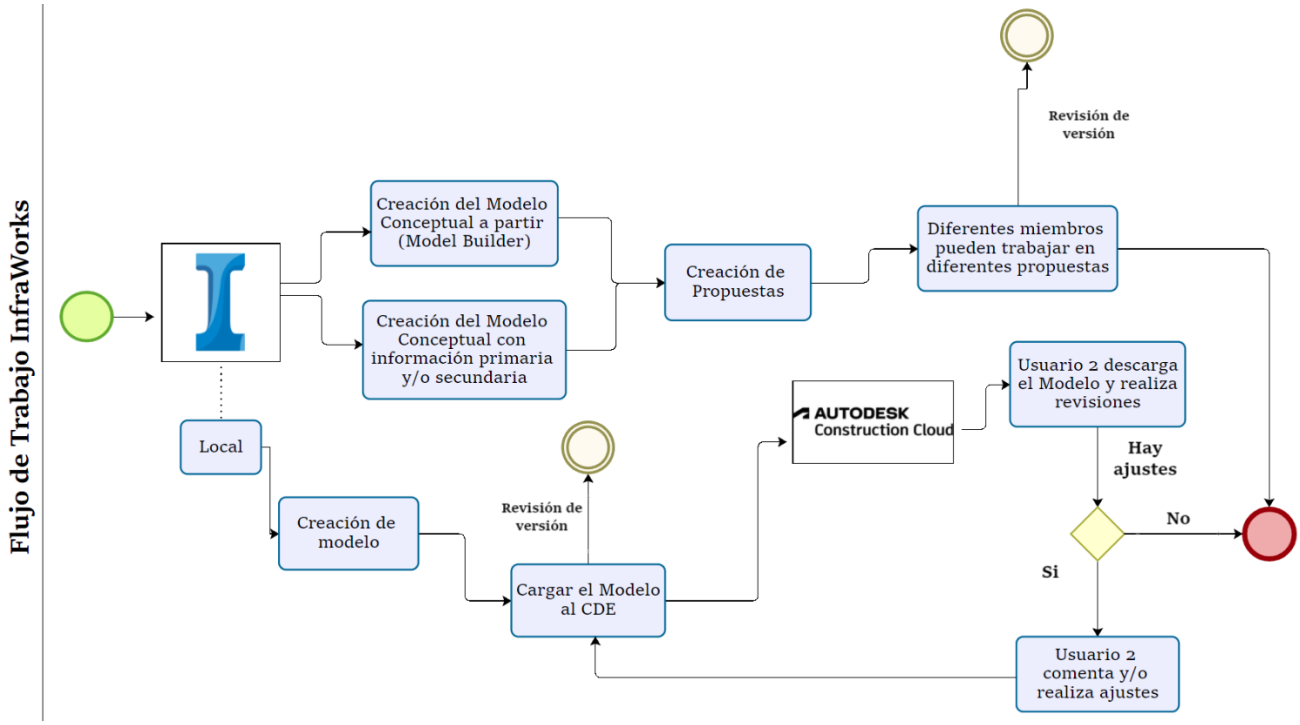
Figura 18 Lista de permisos en ACC



Fuente: propia

Una vez configurados los roles, permisos y estructura de carpetas, el siguiente paso es importar los datos necesarios, como documentos, planos e informes, a sus respectivas carpetas. Primero, iniciaremos el proceso de diseño conceptual utilizando la herramienta InfraWorks y los datos previamente descargados de los geoportales (carreteras, drenajes, zonas de protección y carreteras). Estos datos se utilizarán para mejorar el modelo. Luego seguiremos un flujo de trabajo específico para comprender los pasos necesarios para el desarrollo y revisión del modelo conceptual.

Figura 19 Flujo de trabajo InfraWorks



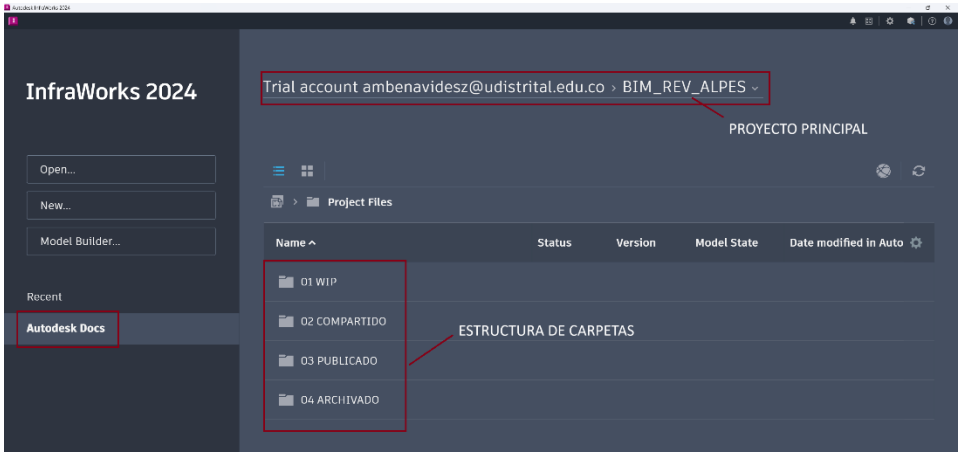
Fuente: (Cañón et al., 2023)

Para empezar, iniciamos el software InfraWorks y trabajamos bajo el CDE ACC. Luego navegamos hasta la sección Autodesk Docs, donde encontramos las carpetas que creamos en el entorno web de ACC. Buscamos en estas carpetas para crear el modelo conceptual, comenzando por el estado inicial en WIP (trabajo en progreso).

Para garantizar un manejo adecuado de los archivos y las versiones, es aconsejable que las plataformas utilizadas para la interacción tengan la misma versión. Por ejemplo, usaremos InfraWorks 2024 y AutoCAD Civil 3D 2024. Si las versiones no coinciden, pueden surgir errores de sincronización, que se notificarán de inmediato a ACC y requerirán resolución manual. El objetivo del ejercicio no es demostrar cómo utilizar InfraWorks o AutoCAD Civil 3D, sino ilustrar el proceso general de cómo se comparte la información y cómo se aplica el enfoque BIM a un proyecto de carretera.

La siguiente figura ilustra el área dentro de la jerarquía de carpetas, donde diseñaremos el modelo conceptual.

Figura 20 Pantalla de inicio InfraWorks 2025 sección Autodesk Docs



Fuente: propia

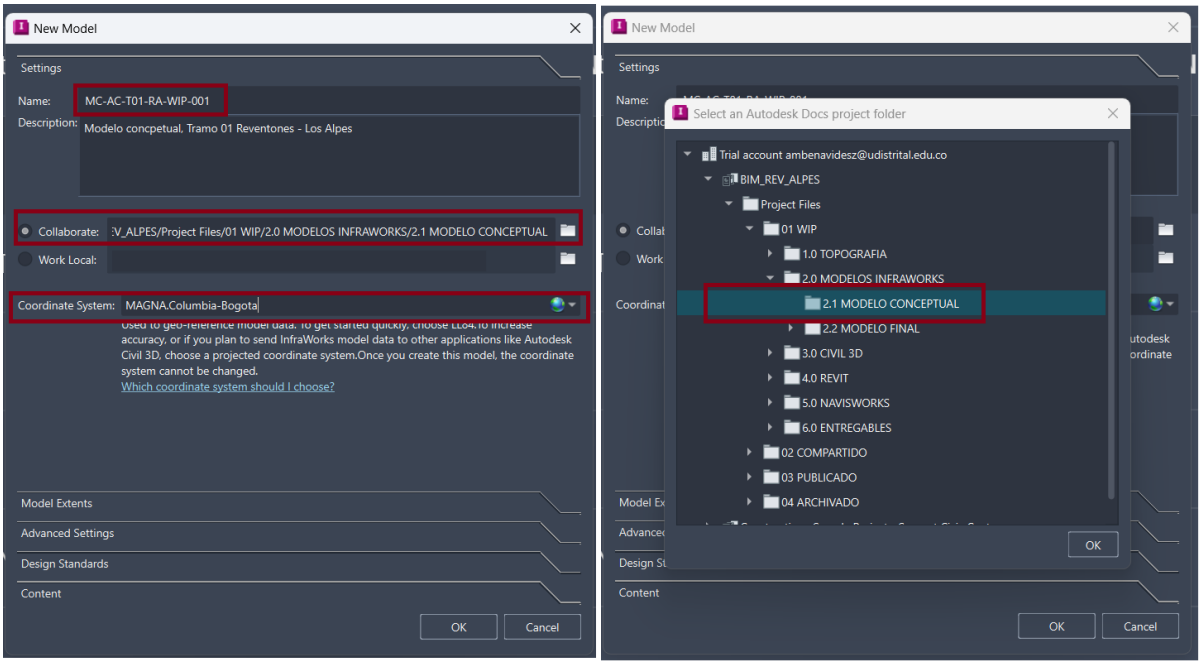
Después de colocar los archivos en sus carpetas designadas, generamos el modelo conceptual, al que llamaremos MC-AC-T01-RA-WIP-001 (MC significa Modelo Conceptual) de la Figura 19, es posible crear el modelo en la nube usando el Model Builder (cuando no tenemos ningún tipo de información o solo un archivo de limitación de zona) o manualmente (cuando tenemos información primaria o secundaria). En este ejercicio, construiremos manualmente el modelo, siempre que previamente se hayan obtenido archivos de forma que contengan elementos cruciales en la región (carreteras, drenajes, zonas de protección y vías).

Como se discutió previamente en el BEP, es crucial establecer el sistema de coordenadas para el proyecto, y para ello se eligió el origen MAGNA.Colombia-Bogotá

El comando MAPCSLIBRARY le permite utilizar orígenes locales tanto en InfraWorks como en Civil 3D, pero no funciona en ACC porque ACC no admite sistemas de coordenadas personalizados. Cuando se crea un modelo en InfraWorks, no tiene un sistema de coordenadas personalizado, por lo que, si otro usuario lo abre en ACC, será un archivo nuevo. Se sugiere que cada estación de trabajo tenga el sistema de coordenadas en la biblioteca de Autodesk.

Luego generamos el modelo, configuramos el sistema de coordenadas y lo posicionamos en el directorio designado como se muestra en la Figura 21.

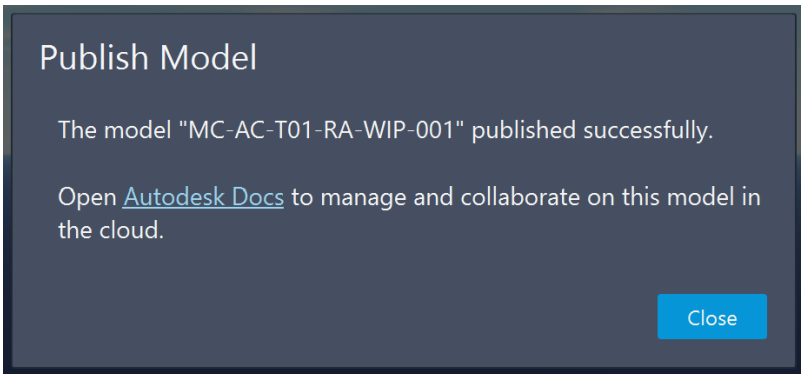
Figura 21 Creación de modelo conceptual en Autodesk Docs – InfraWorks



Fuente: propia

Una vez creado y publicado el modelo en el CDE, aparecerá una ventana que notifica que el proceso ha sido satisfactorio tal como se evidencia en la Figura 22.

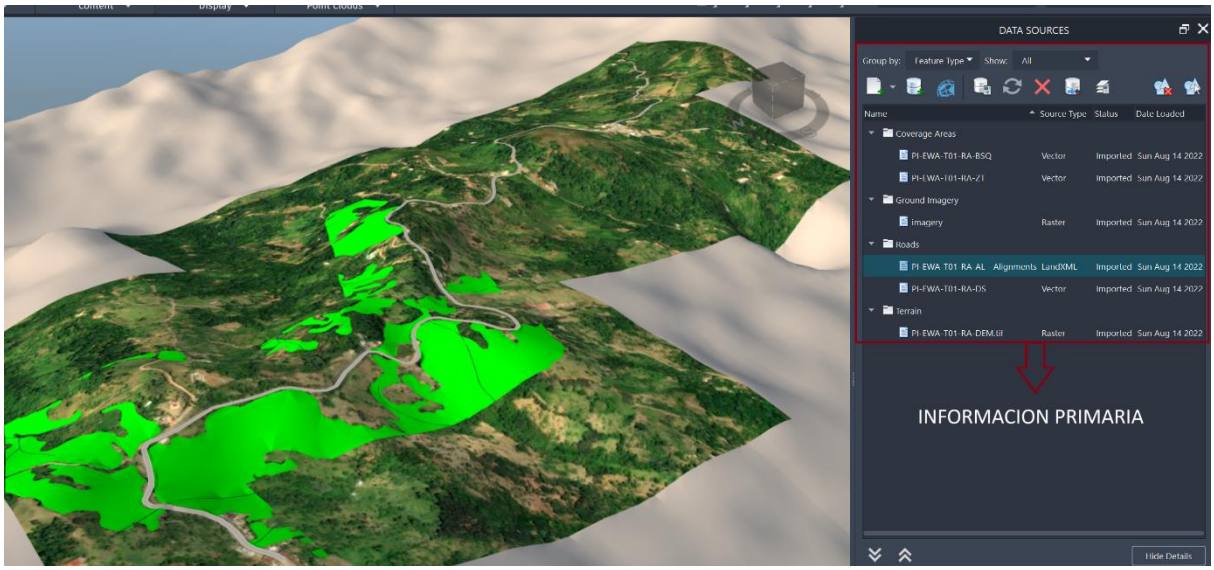
Figura 22 Creación satisfactoria del modelo en Autodesk Docs – InfraWorks



Fuente: propia

El modelo conceptual se creará de forma muy aproximada sumando todos los archivos descargados de los geoportales. Adicionalmente se ha incorporado un XML con la topografía final. El resultado se muestra en la Figura 23.

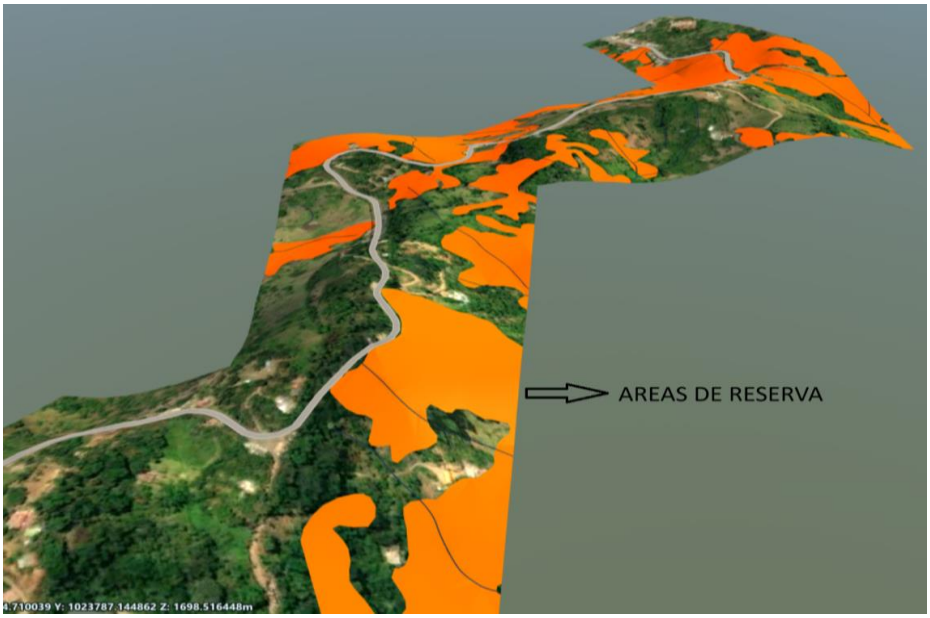
Figura 23 Incorporación de información secundaria al modelo conceptual



Fuente: propia

Es posible ignorar información que no es requerida o que no aporta al proyecto dado que el tamaño en disco duro de los modelos es decisivo a la hora de trabajar colaborativamente. Para ello, procedemos a cortar le MDT únicamente a la zona de trabajo aferente a esta carretera. Adicionalmente se incorporará una imagen satelital provista por BING Maps. El resultado se observa a continuación.

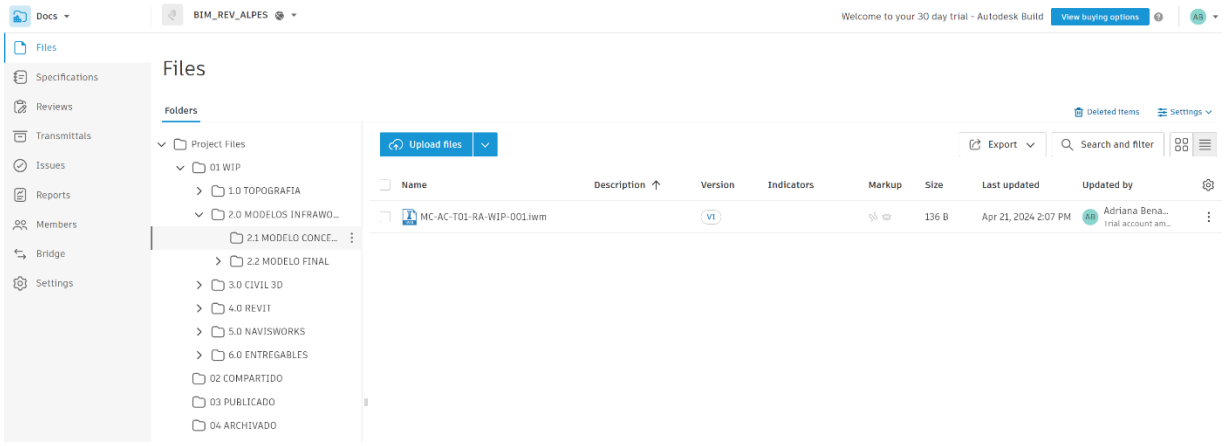
Figura 24 Información secundaria de la zona de trabajo



Fuente: propia

Podemos ver en el ACC, que el modelo ha sido almacenado y reposa en la ubicación establecida, de igual manera podemos ver información como la versión, tamaño y creador, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25 Modelo conceptual visto en ACC

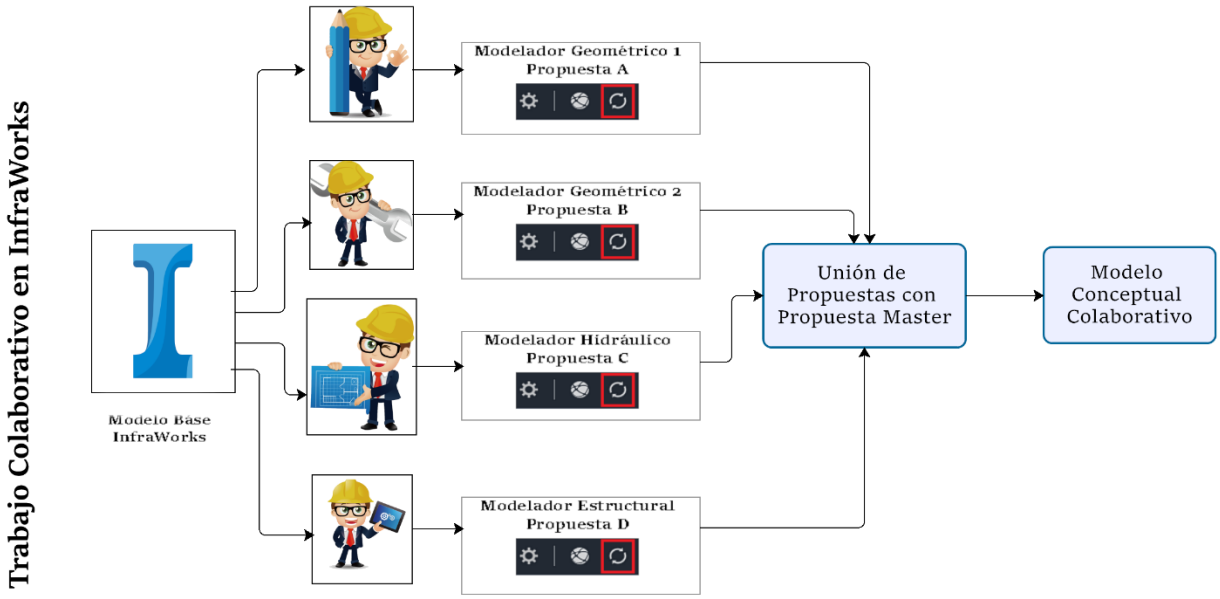


Fuente: propia

Es importante mencionar que, es el CDE quien controla e indica qué versión es la más actualizada sin tener que cambiarle el nombre ni indicar algo adicional, esto es una característica de estos CDE, y en ningún momento la versión fue editada o escrita por ningún usuario. A medida que se genera información, cualquier usuario con acceso y permiso a las carpetas puede cargarla en ACC, allí el CDE se encargará de actualizar la versión e indicar esta.

Al final otros usuarios con acceso al modelo podrán generar sus propias propuestas y será es posible unir las diferentes propuestas con la propuesta maestra que se muestra en el siguiente Flujo.

Figura 26 Flujo de trabajo colaborativo InfraWorks - Propuestas

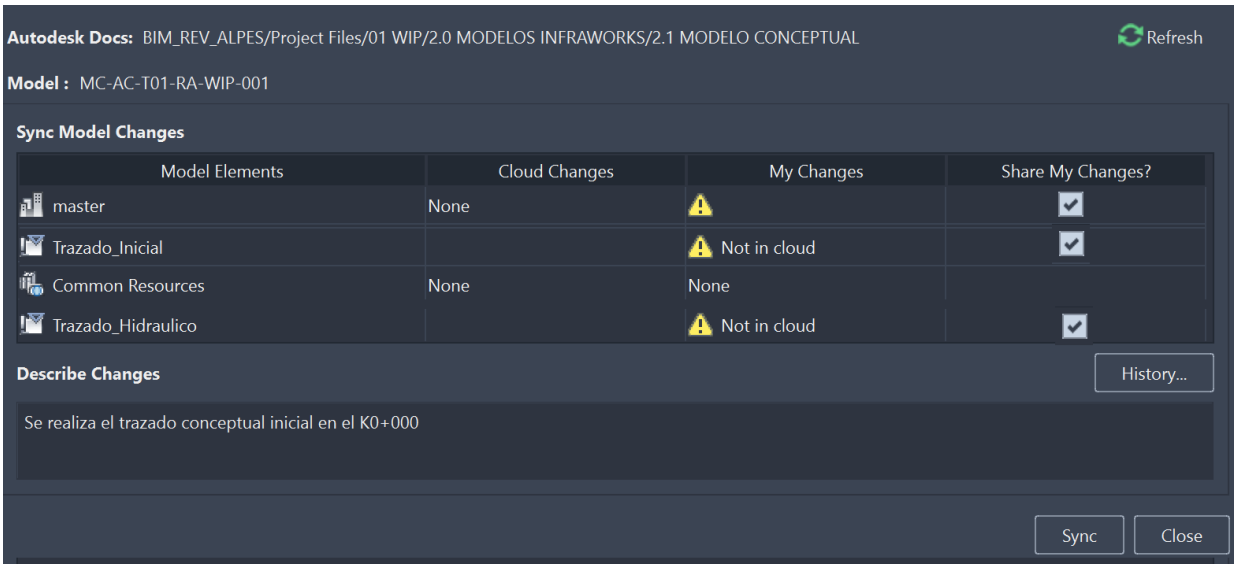


Fuente: *(Cañón et al., 2023)*

El modelo base de InfraWorks estará disponible para todos los especialistas y modeladores, permitiéndoles crear sus propuestas sin necesidad de colaborar. Una vez finalizada esta tarea, deben alinear el modelo para que registre las modificaciones en el CDE. Para sincronizar los datos, el usuario debe proporcionar una descripción de las modificaciones y elegir los datos que desea sincronizar. Para ayudar, la herramienta muestra qué datos faltan en la nube, es necesario hacer clic en la información seleccionada y luego sincronizarla, como se muestra en la Figura 27.

En el ejercicio, el usuario 1 comenzó creando una propuesta de sección inicial (k0+000-k3+000), mientras que el usuario 2, trabajando desde una terminal diferente, abrió simultáneamente el proyecto y creó una propuesta de sección final (k3 +000-k4+500). Otros usuarios crearon el diseño inicial de las redes hidráulicas y la ambientación del entorno

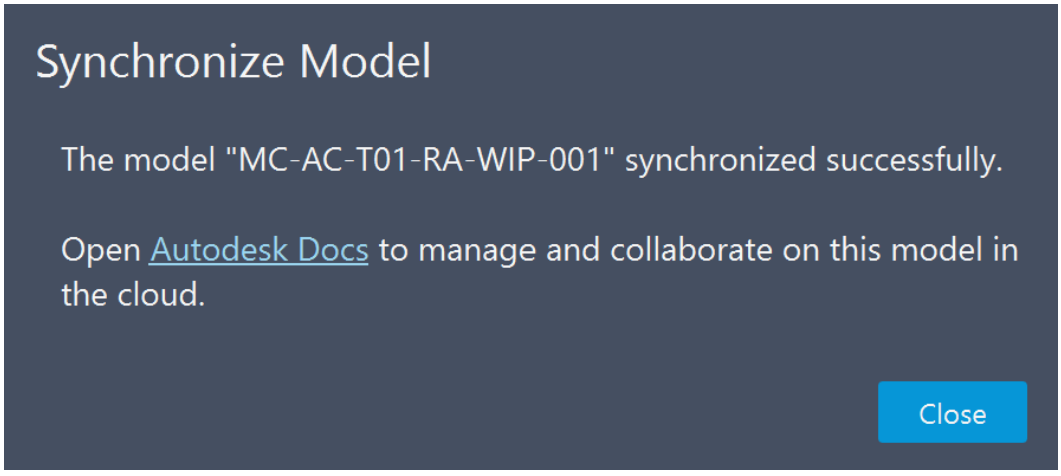
Figura 27 Sincronización del modelo por usuario 1 - InfraWorks



Fuente: propia

La sincronización varía según la cantidad de datos incluidos, el entorno de la red local y el hardware utilizado. Una vez finalizado el proceso, aparecerá una ventana indicando que se hizo correctamente la sincronización.

Figura 28 Sincronización satisfactoria del modelo por usuario 1

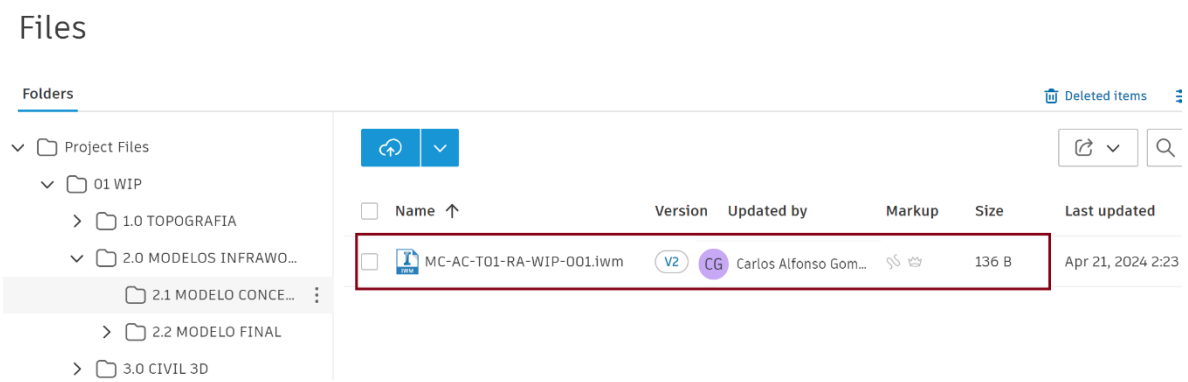


Fuente: propia

Después de la sincronización, se puede observar que la versión en el entorno web de ACC o en InfraWorks se actualizó a la versión 2, ya que el usuario 1 realizó cambios

(creación de la propuesta de Sección_inicial), como se muestra en la Figura 29. Cuando se sincroniza un modelo, se genera una versión nueva.

Figura 29 Cambio de versión al sincronizar por el usuario 1 en InfraWorks y ACC



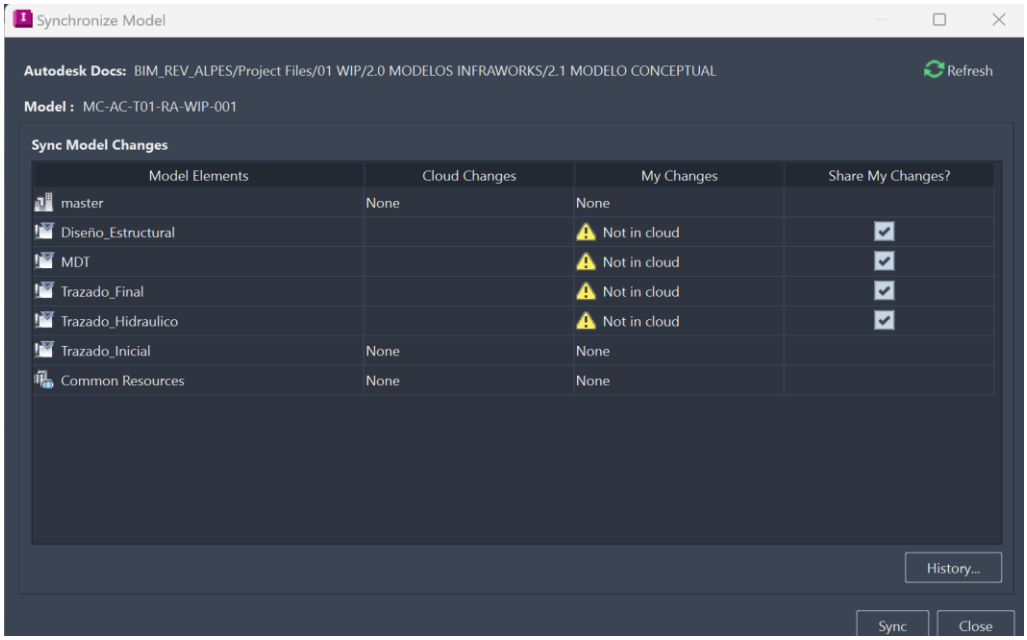
Fuente: propia

Para agregar más detalles, es crucial tener en cuenta que, cuando se trabaja en la nube, y un usuario usa varios estilos o temas, pero otro usuario no los usa, el modelo usará un estilo predeterminado en los objetos basados en el estilo del usuario 1, por lo que es importante guardar los estilos y temas. El Coordinador o el responsable de integrar los modelos debe aplicar los estilos finales para prevenir confusiones o diferentes estilos en el proyecto.

Se procedió a ajustar pendientes, secciones transversales, perfiles verticales, radios de curvatura y otras modificaciones necesarias para todas las especialidades y alternativas contempladas en el proceso de planificación. InfraWorks es un software que ayuda a crear modelos, diseños y detalles de manera preliminar para los proyectos, y posteriormente utilizar otro software como Civil 3D, OpenRoads, Istram, e.t.c., para los diseños definitivos a partir de los modelos preliminares.

Para fusionar las propuestas, se debe sincronizar el modelo una vez más, incluso si no se han realizado modificaciones, se mostrarán todas las propuestas generadas.

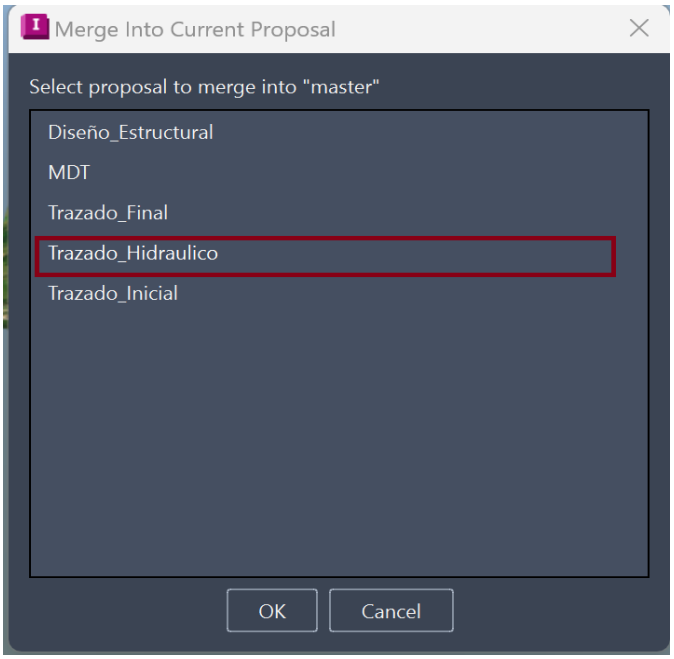
Figura 30 Sincronización de propuestas al modelo base



Fuente: propia

La propuesta final, “Trazado_Hidraulico”, se combinó con la propuesta “Trazado_Final” dentro de la propuesta “master”, usando la opción Unir como se muestra en la Figura 32.

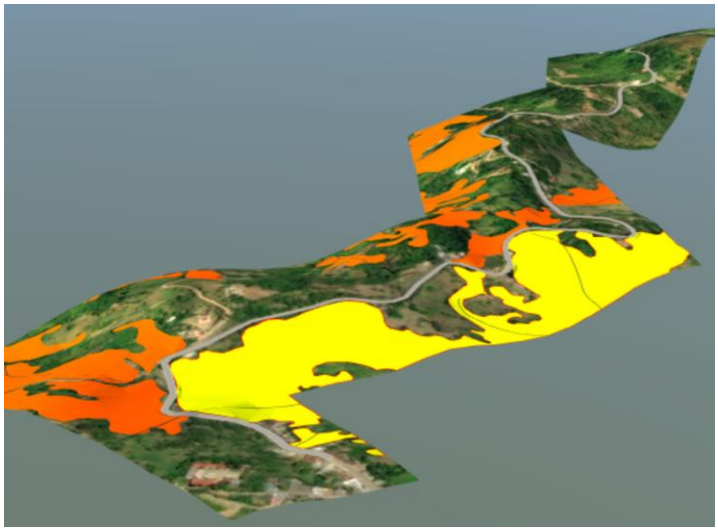
Figura 31 Unión de propuestas a la master



Fuente: propia

El resultado del modelo conceptual final se aprecia en la Figura 32.

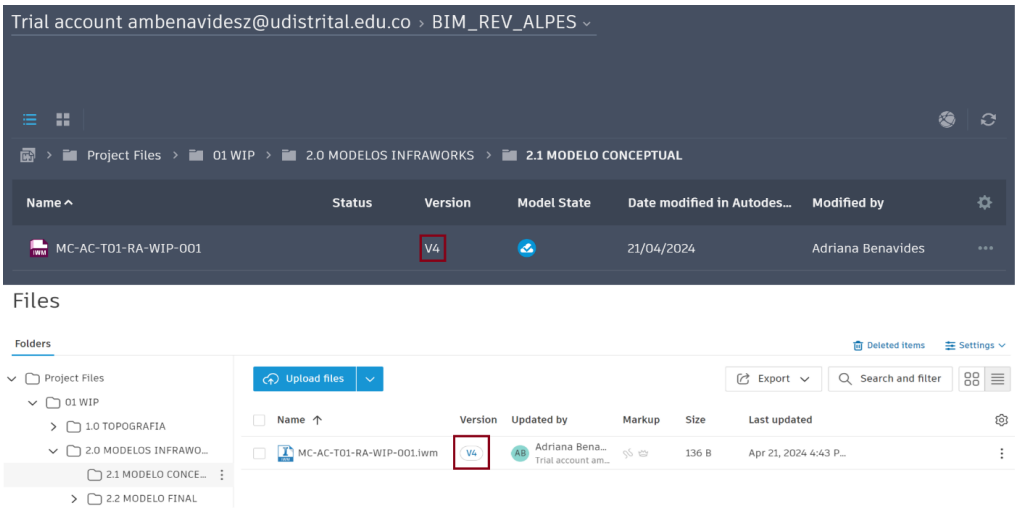
Figura 32 Modelo conceptual final



Fuente: propia

Para concluir, es esencial sincronizar una última vez; el resultado final en ACC se muestra en la siguiente figura. La última versión fue la número 4. El archivo del modelo conceptual ahora está listo para ser compartido siguiendo los lineamientos de la norma ISO 19650. Sin embargo, pasará por las debidas revisiones para ser aprobado y luego compartido.

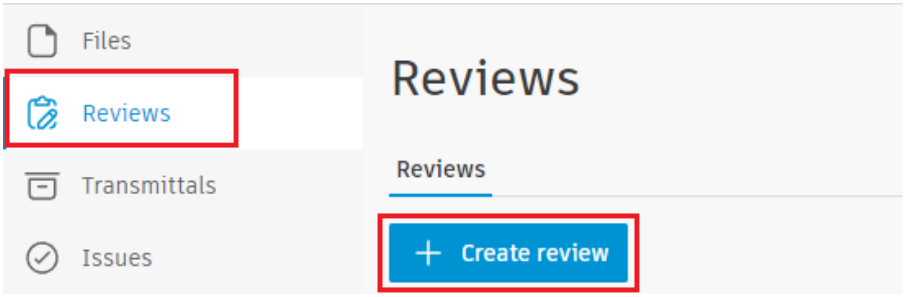
Figura 33 Modelo conceptual final V4



Fuente: propia

Se pueden generar flujos de trabajo en ACC para establecer el proceso de revisión y aprobación del modelo acordado por los roles necesarios antes de compartir o modificar la información. Para lograr esto, es fundamental generar una revisión y al mismo tiempo establecer un proceso que determine si se puede implementar o no la versión aprobada. Para lograr esto, en la sección Review en ACC, generaremos una revisión y un proceso sencillo. En la Figura 34 se puede observar la opción para crear revisiones en ACC.

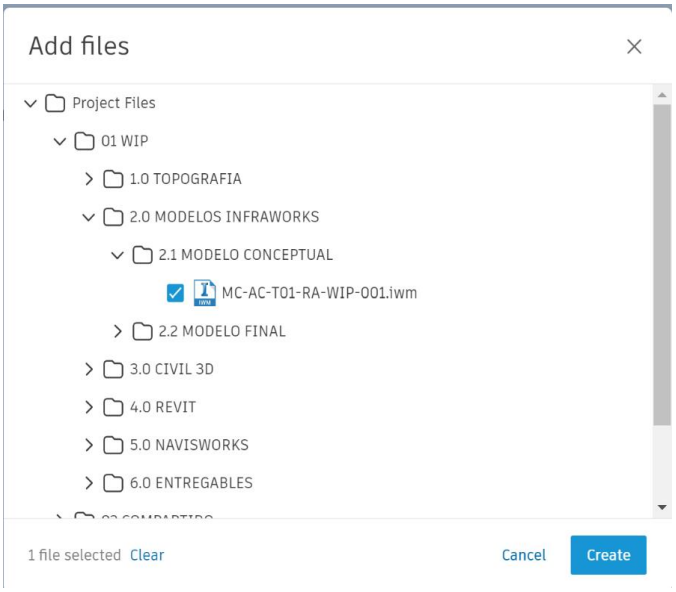
Figura 34 Crear revisiones en ACC



Fuente: propia

Después de eso, se eligen los archivos que serán objeto de revisión, pueden ser documentos o modelos. Sólo se elegirán el modelo conceptual y luego seleccionamos la opción crear.

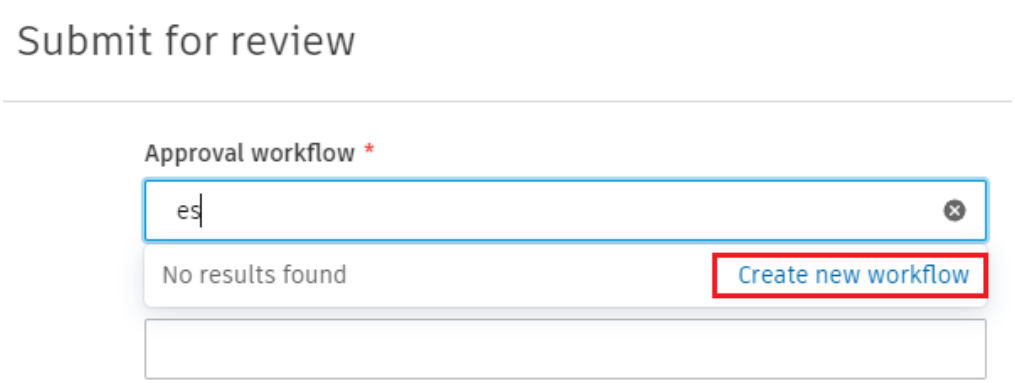
Figura 35 Selección de archivos a revisar



Fuente: propia

Ahora en la ventana emergente se selecciona la opción de Crear nuevo flujo de trabajo como se observa en la Figura 36.

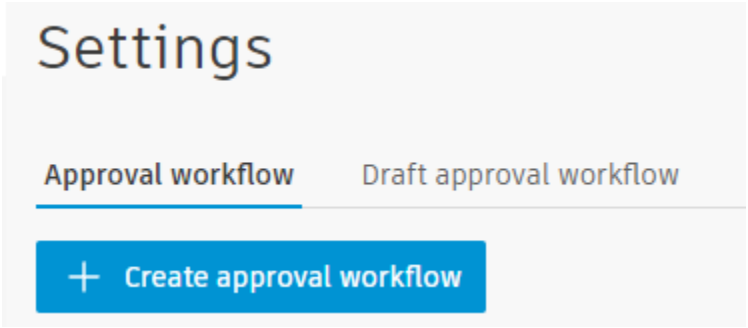
Figura 36 Creación de un nuevo flujo de trabajo



Fuente: propia

Luego, se despliega en las configuraciones, la opción de crear flujo de trabajo para aprobación como se muestra a continuación.

Figura 37 Creación de un flujo de trabajo para aprobación

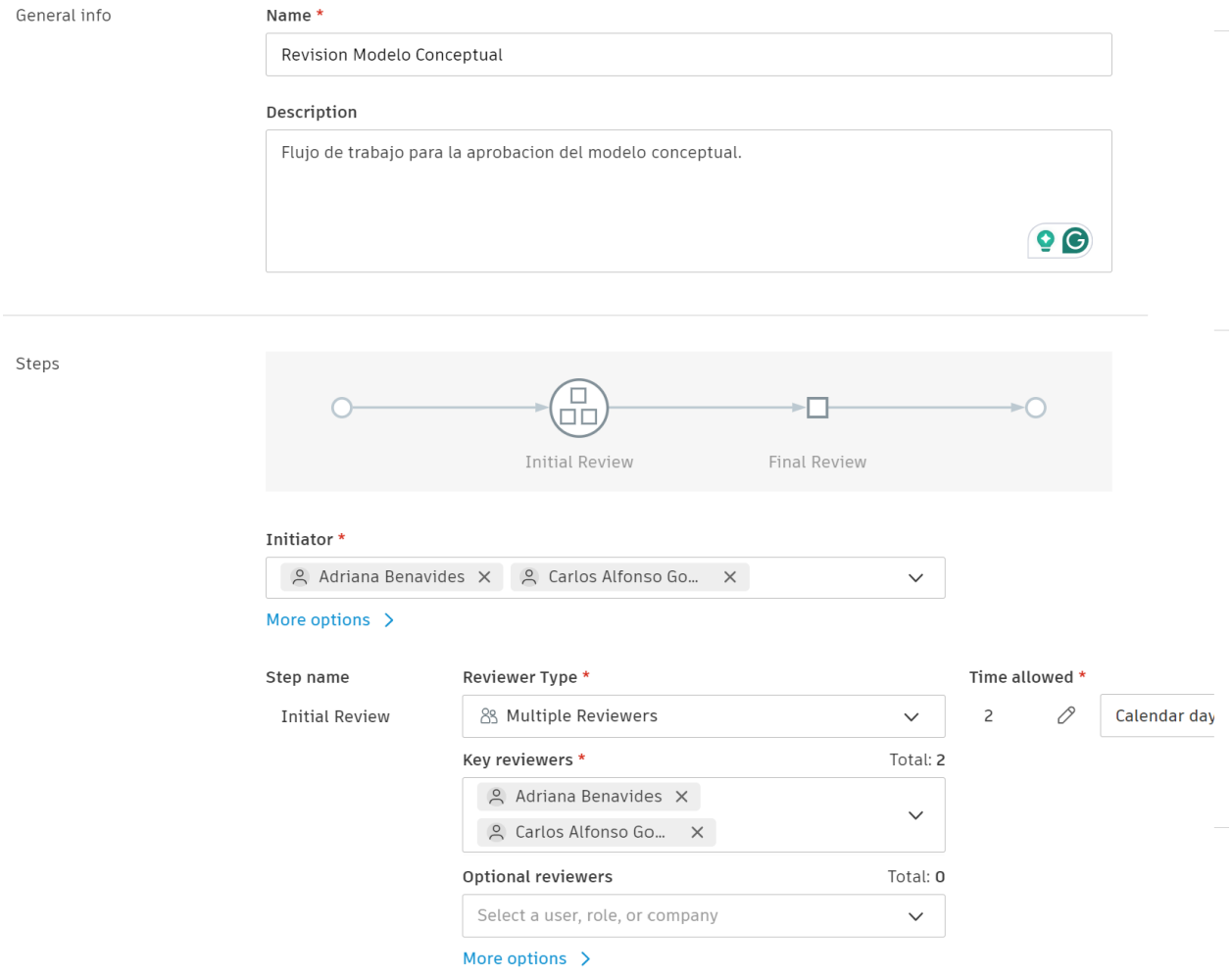


Fuente: propia

La ventana emergente muestra los pasos generales para configurar el flujo de trabajo, el seleccionado es un paso de aprobación, pero hay varias plantillas, dependiendo de la cantidad de personas y aprobaciones necesarias antes de continuar. Después de elegir la plantilla adecuada, aparecerá una ventana donde podemos ingresar un nombre para la revisión, proporcionar una breve descripción, especificar la persona o rol que inicia o comparte la información y marcar la persona o rol(es) que tienen la última palabra sobre la revisión.

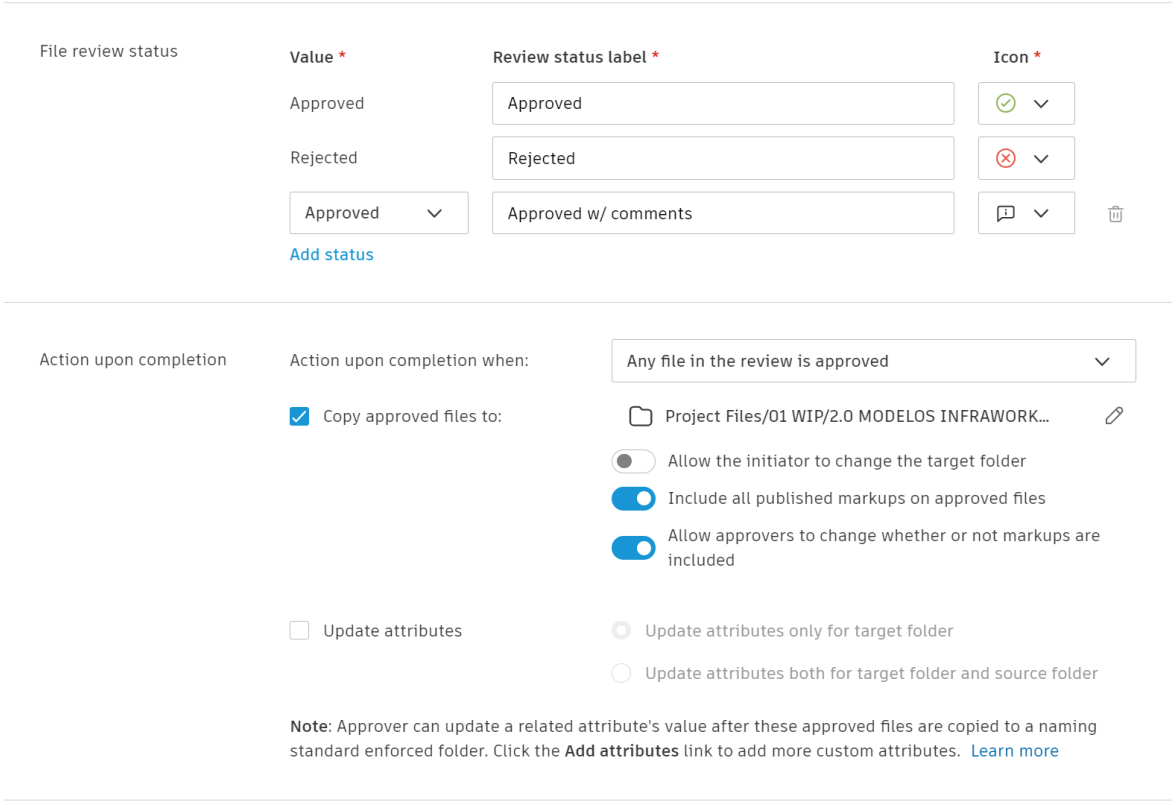
También puede establecer un límite para la duración de la revisión y asignar algunas etiquetas que muestren el resultado de la revisión, como aprobada, rechazada o aprobada con comentarios. Es posible generar etiquetas adicionales si el usuario lo desea. La Figura 38, muestra el flujo de trabajo para la revisión del modelo conceptual entregado. Finalmente se deben guardar los cambios.

Figura 38 Flujo de trabajo para aprobación del modelo conceptual



Fuente: propia

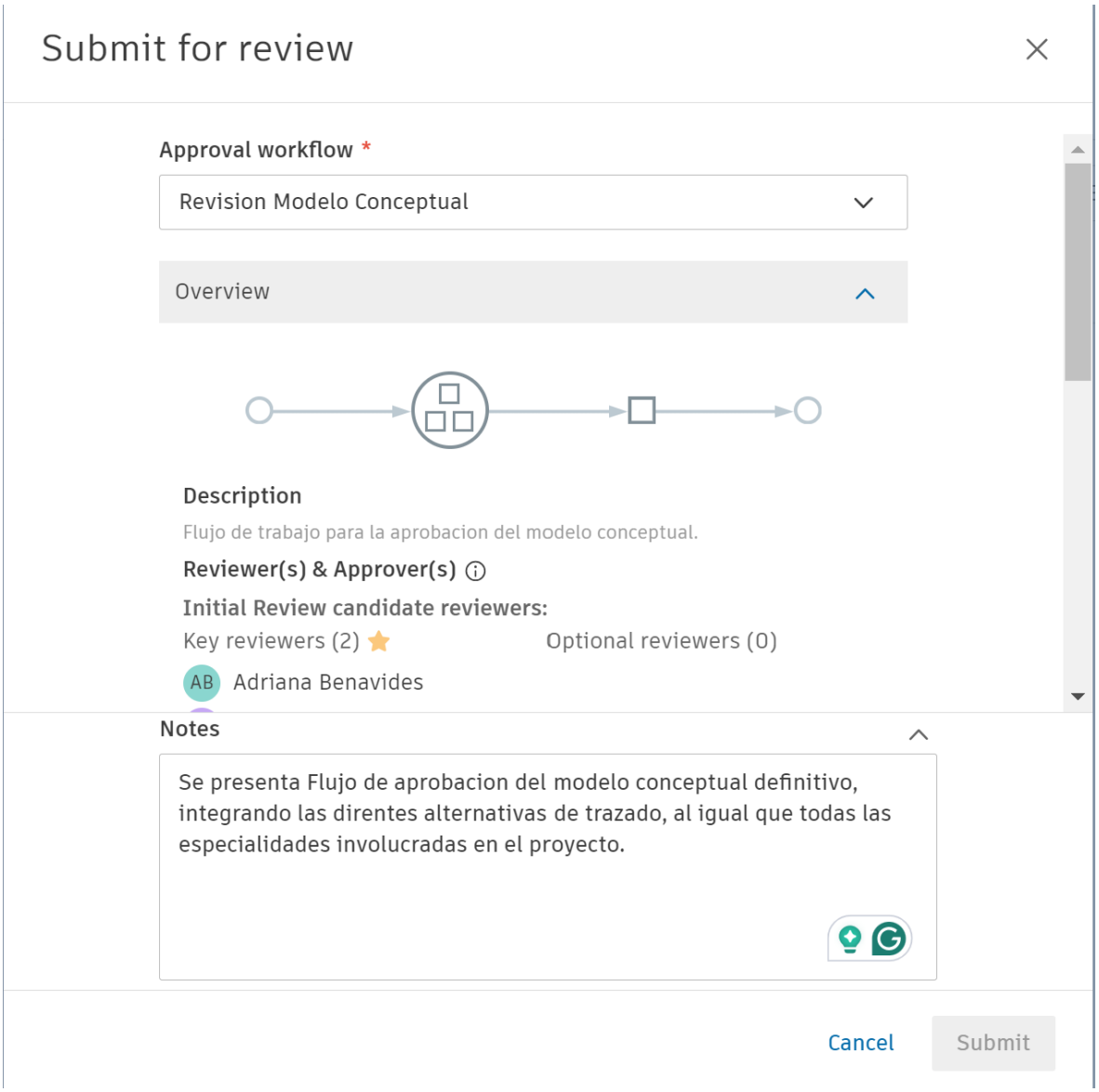
Figura 39 Flujo de trabajo para aprobación del modelo conceptual continuación



Fuente: propia

Es posible agregar una nota o descripción al flujo una vez que se le asigne un nombre y posteriormente procedemos a la creación. La definición de la revisión del modelo conceptual se muestra en la Figura 40.

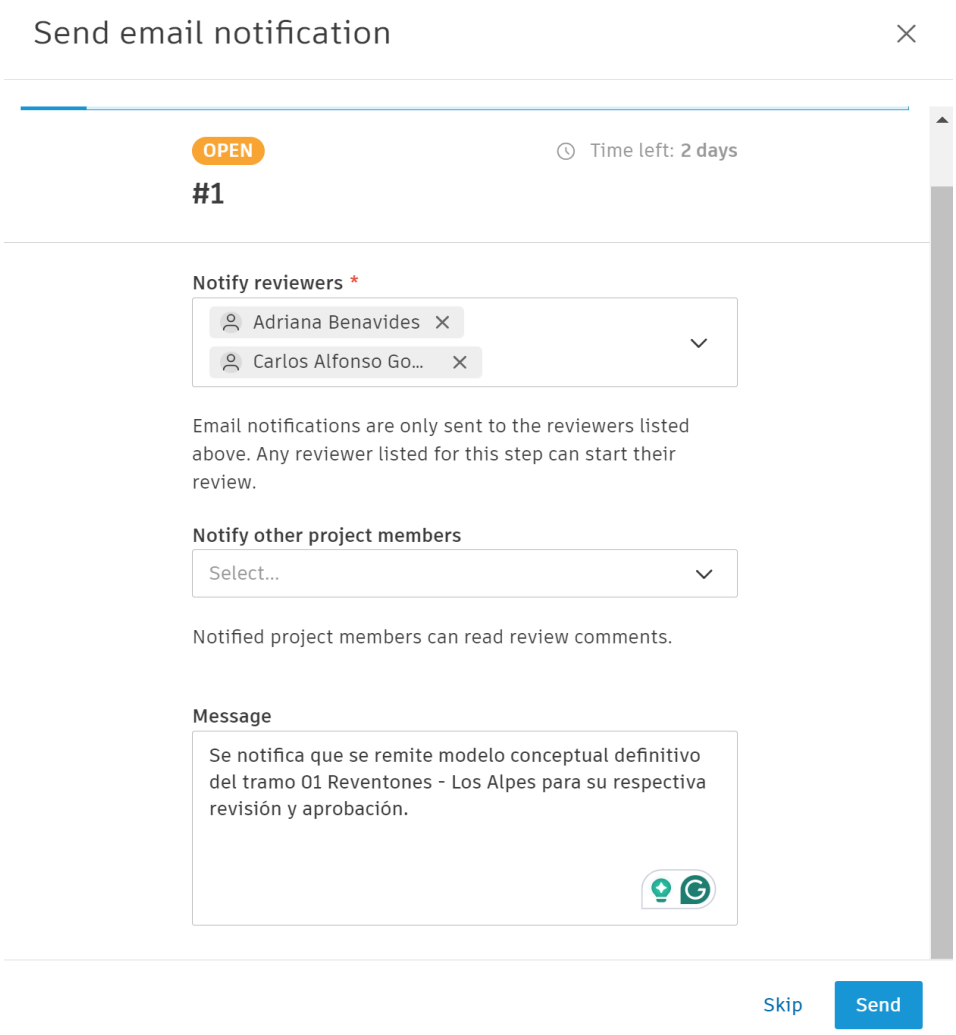
Figura 40 Revisión del modelo conceptual



Fuente: propia

La revisión debe comunicarse a los demás roles. Los revisores y otros miembros del equipo reciben una notificación por correo electrónico. Simplemente se ingresa el rol o el correo electrónico e incluya un mensaje como se muestra en la Figura 41.

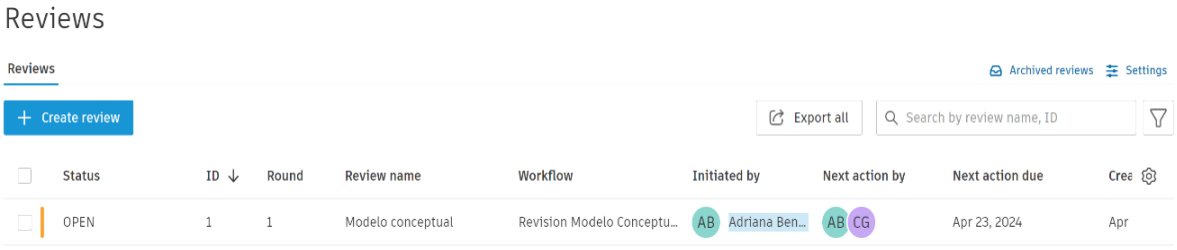
Figura 41 Notificación a los revisores y miembros del equipo



Fuente: propia

Una vez registrada la acción de revisión aparecerá en el ACC de la siguiente manera.

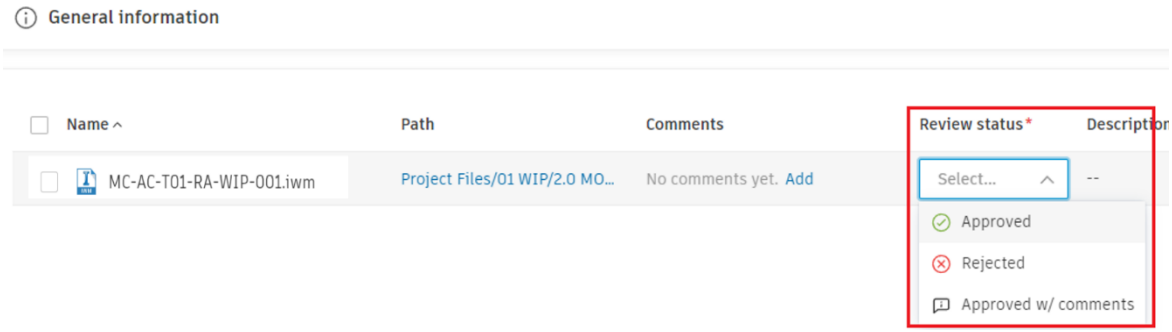
Figura 42 Revisión de la modelo conceptual abierta



Fuente: propia

Una vez notificado al respectivo rol encargado de la revisión, se procederá a iniciar la revisión de la información y modelos bajo su responsabilidad, al finalizar deberá aprobarla, rechazarla o el estado que se haya creado previamente.

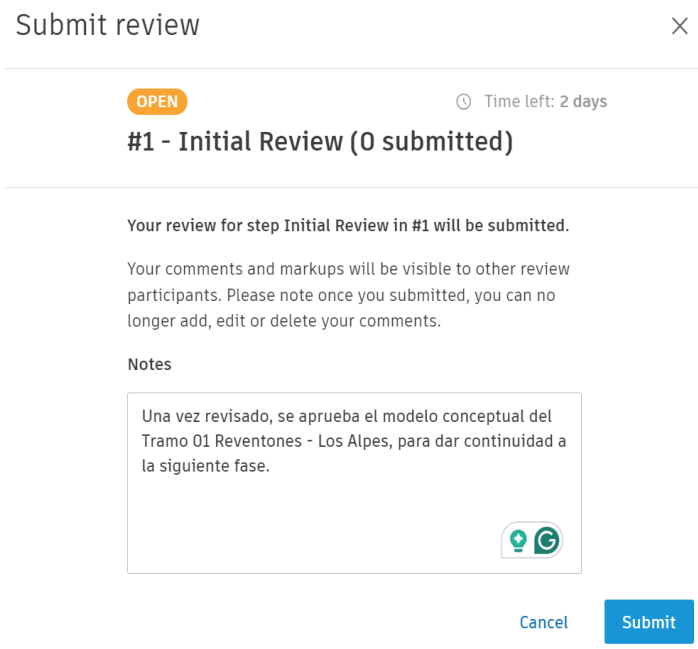
Figura 43 Estado de la revisión de la información



Fuente: propia

Una vez elegido el estado, es importante enviar las revisiones, pero también es posible delegar la tarea a otra persona. Para mantener la comunicación con todos los participantes del proyecto, se debe notificar por correo electrónico y agregar una nota que respalde el estado seleccionado, como se muestra en la Figura 44.

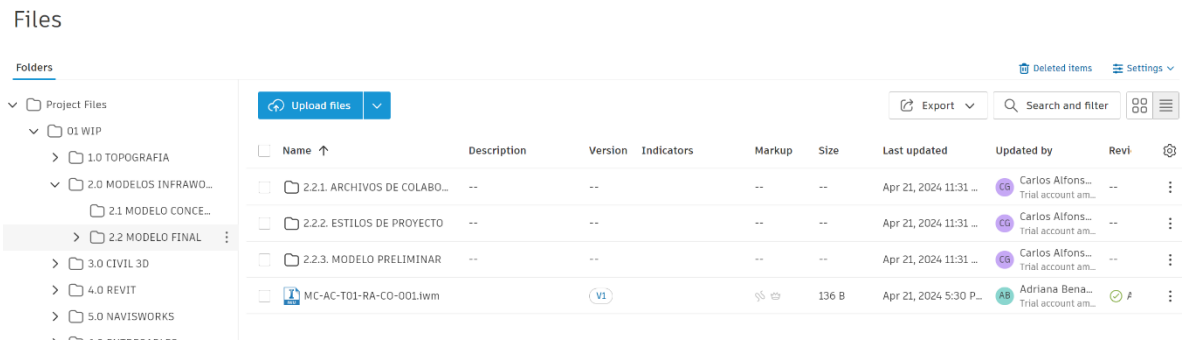
Figura 44 Envió de revisión a los demás miembros del equipo



Fuente: propia

Una vez comprobada y aceptada la información, se realizará un duplicado del modelo y su estado pasará a ser compartido. Es importante asegurarse de que cada archivo coincida con la convención de nomenclatura descrita en el BEP. La nomenclatura empleada para este proyecto fue MC-AC-T01-RA-CO-001.

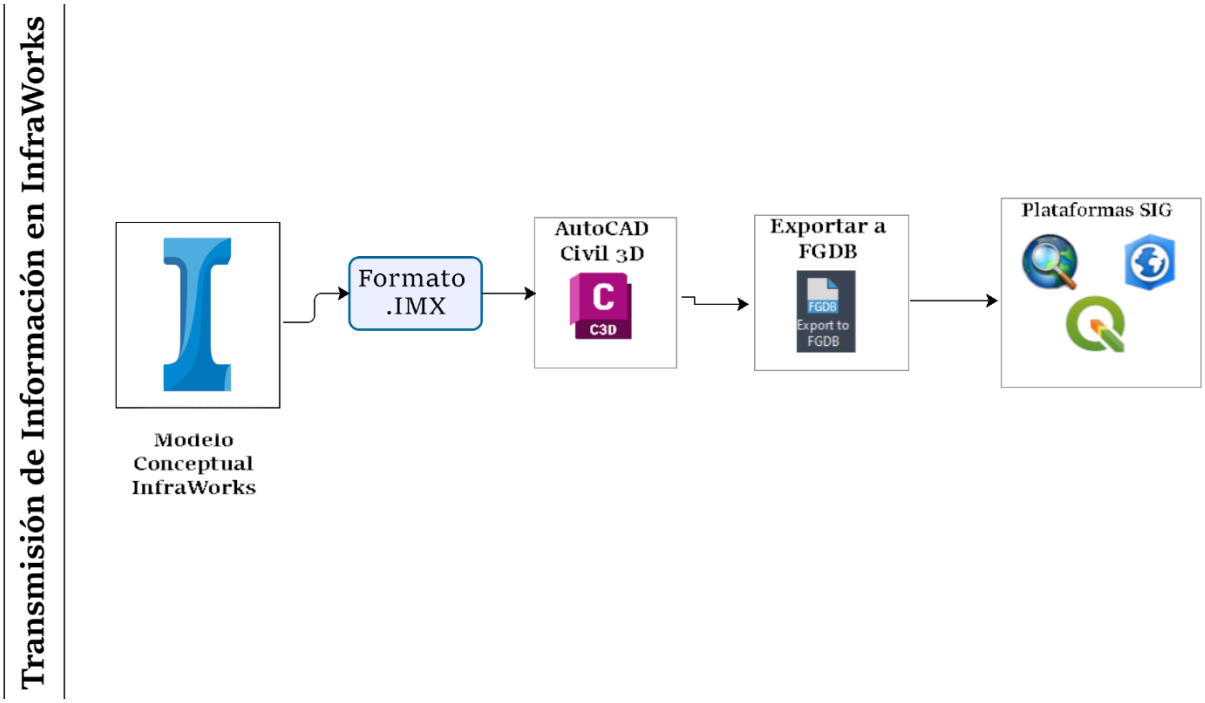
Figura 45 Cambio de estado del modelo conceptual a Compartido



Fuente: propia

Se debe tener en cuenta que cuando compartamos nuestro estado con otros integrantes, ellos podrán utilizar nuestros modelos y datos, darnos su opinión y, si tienen los permisos adecuados, realizar cambios en ellos. Para completar, emplearemos el modelo conceptual para el diseño final. Seguiremos un flujo de trabajo específico para el intercambio y la compatibilidad de datos, que nos permitirá modificar los diseños utilizando diversas herramientas de software como Civil 3D, OpenRoads e Istram. En este caso, utilizaremos AutoCAD Civil 3D como lo indica la siguiente figura.

Figura 46 Transmisión de información desde InfraWorks



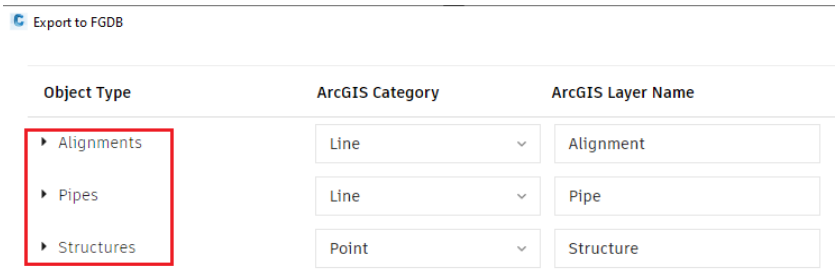
Fuente: (Cañón et al., 2023)

Del anterior flujo de trabajo podemos decir que, el principal formato de intercambio de información que tiene InfraWorks es el formato de extensión .IMX, el cual únicamente hasta el momento es solo entendido y aceptado por AutoCAD Civil 3D, en este último software hay dos posibilidades de abrir este archivo, directamente abriendo el modelo de InfraWorks o importando el archivo .IMX, cualquiera de estas opciones, requerirá una configuración adicional para determinar cómo se leerá y representará dicha información y a su vez la zona de extensión de los archivos. La principal diferencia es que el archivo .IMX cargará toda la información del modelo (alineamientos, corredores, superficies existentes y de corredor), mientras que la apertura del modelo, permitirá escoger los elementos que desea importar. Es importante resaltar la necesidad de configurar el sistema de coordenadas en AutoCAD Civil 3D mediante las configuraciones del dibujo previo a cualquiera de las dos opciones de intercambio de información ya mencionados, los sistemas de coordenadas deben ser exactamente los mismos. (Cañón et al., 2023)

Una vez que tenga los componentes necesarios en AutoCAD Civil 3D, podrá convertirlos en una geodatabase FGDB. Este archivo almacena las ubicaciones de los elementos y

funciona bien con un software SIG y se puede convertir a archivos de extensión .SHP más adelante. Además, también es posible ajustar la configuración de los tipos de objetos como Alineaciones, tuberías y estructuras, como se ilustra en la Figura 47.

Figura 47 Exportación de elementos a geodatabase



Fuente: propia

Una vez finalizado el modelo y con los datos en ACC, puede ver el modelo conceptual con todas sus opciones y sugerencias, que se guarda como un archivo .IWM. Si accede a él a través de la web, verá un visor parecido a InfraWorks, que permite a otras personas que no están familiarizadas con el software o los aspectos técnicos del proyecto ver y comprender lo que está sucediendo, lo que se sugiere, y lo que se está mapeando en él.

También se puede acceder a una variedad de herramientas, incluido el administrador de capas, el administrador de propuestas, mediciones, comparación de versiones y otras más.

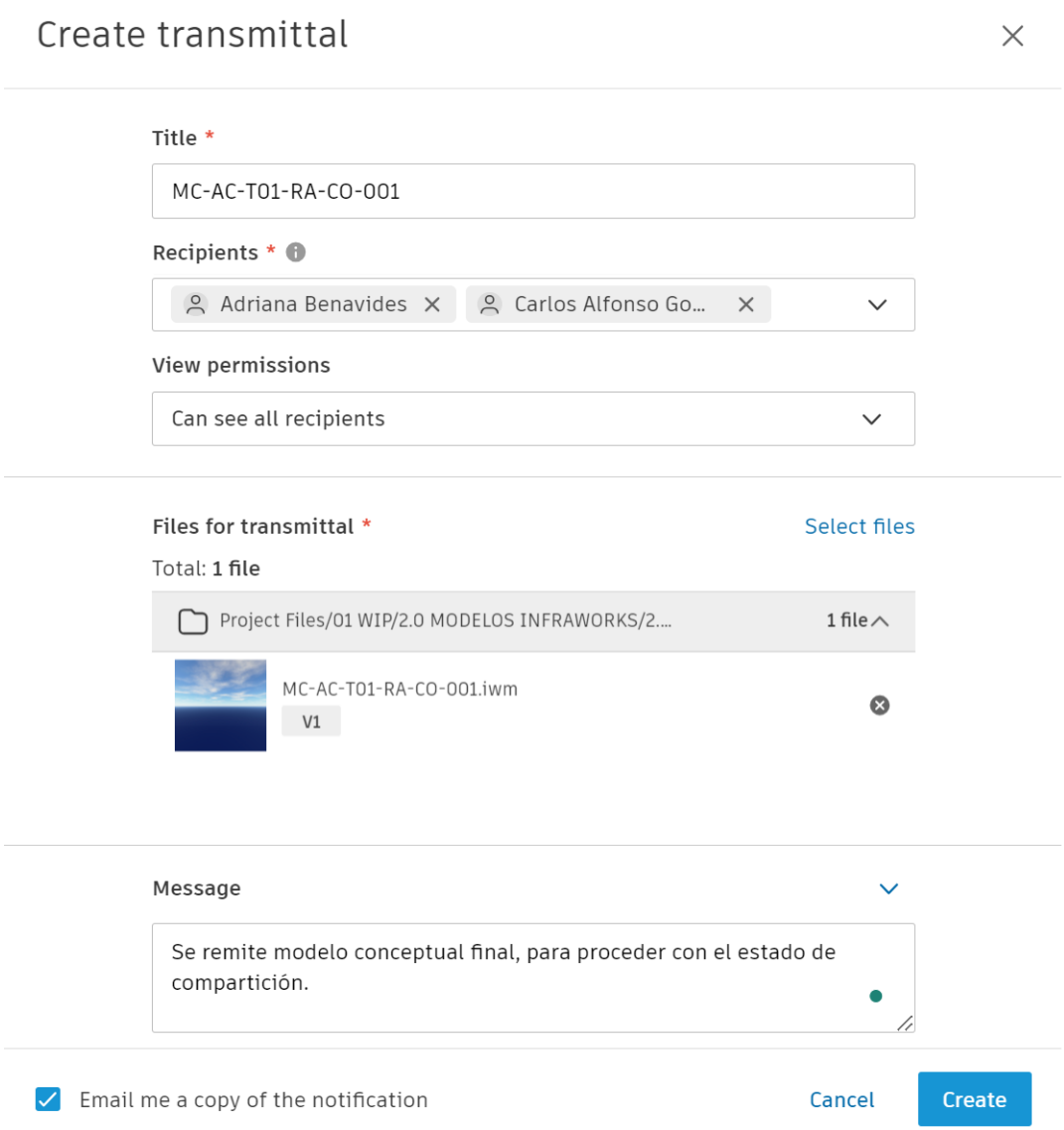
Figura 48 Visor web del modelo conceptual en ACC



Fuente: propia

De manera similar, también es factible generar Transmittals, que es la transmisión oficial de información. Para acceder a la información, visite la sección designada y elija el contenido previamente revisado y aprobado. Los Transmittals no están destinados a que otros revisen y proporcionen comentarios sobre la información. En cambio, sirven como medio final para enviar información que ya ha sido revisada y aprobada. La Figura 49 muestra cómo generar e informar a los demás participantes o roles del proyecto sobre la información.

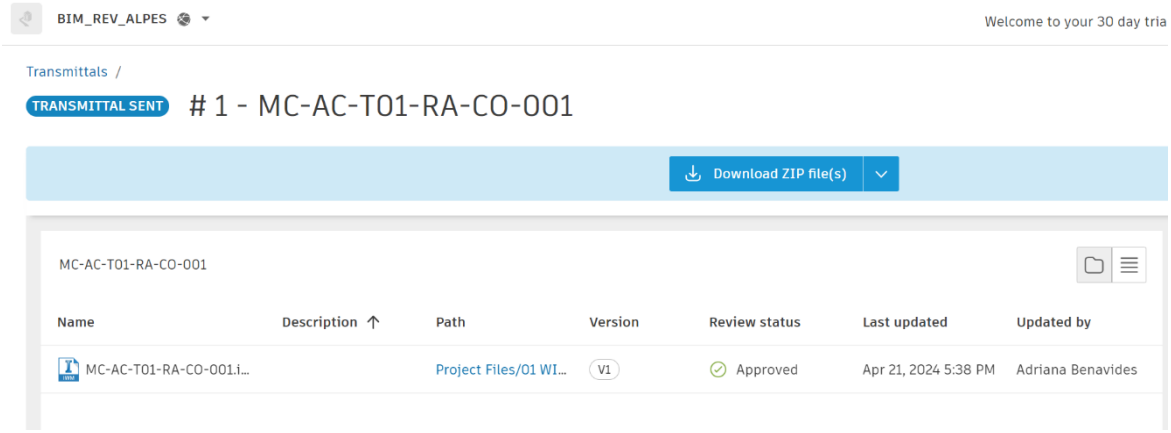
Figura 49 Creación de Transmittal



Fuente: propia

La dirección de correo electrónico asociada al rol designado recibirá la notificación, solicitándole que revise la información proporcionada. También se pueden descargar archivos en formato.ZIP.

Figura 50 Notificación de Transmittal disponible



Fuente: propia

El punto clave de gestionar revisiones, transmittales y otra información directamente desde ACC es que le permite monitorearlas, ya que mostrará para cada revisión o envío un elemento adicional, que puede ayudarlo a verificar si la información fue enviada o si el o los modelos aún no han sido aprobados, mejorando así el control temporal sobre estos.

7.2. Diseño de Infraestructura

Ahora bien, una vez dejando de lado la fase de planificación, pasamos a la etapa de diseño detallado, esta etapa es más precisa que la etapa anterior porque la información para la etapa de construcción se deriva de estos diseños. En este punto, se considera beneficioso utilizar plataformas de diseño definitivas como AutoCAD Civil 3D, OpenRoads, Istam, Revit y otras.

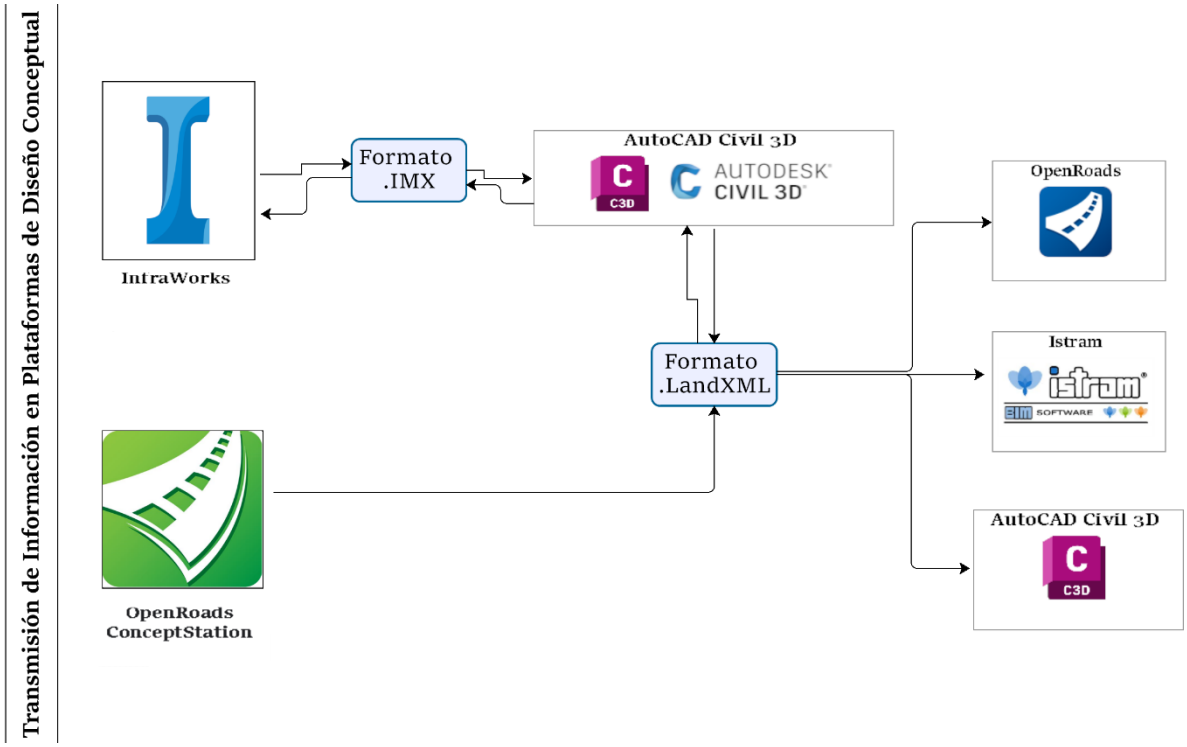
Es fundamental contar con un sistema de coordenadas que ya esté establecido para el proyecto de trabajo específico, ya sea local o nacional, como se estableció en el BEP. Se sugiere utilizar un CDE para manejar y transferir datos (ACC). Los flujos de trabajo sugeridos a continuación sirven como base para el desarrollo de estas y las etapas siguientes; se pueden adoptar, ajustar o ampliar según los requisitos del proyecto y la experiencia del equipo.

7.2.1. Fase de Diseño de un proyecto de infraestructura vial en Autodesk Construction Cloud

Una vez el diseño conceptual ha finalizado, procedemos a iniciar los diseños de detalle, definitivo o ejecutivos, enmarcados bajo una normativa vigente, independientemente el componente, ya sea este hidráulico, geotécnico, geométrico, estructural, entre otros.

Para esto, se presenta el siguiente flujo de trabajo para la transmisión de información desde plataformas de diseño conceptual.

Figura 51 Transmisión de información desde plataformas de diseño conceptual

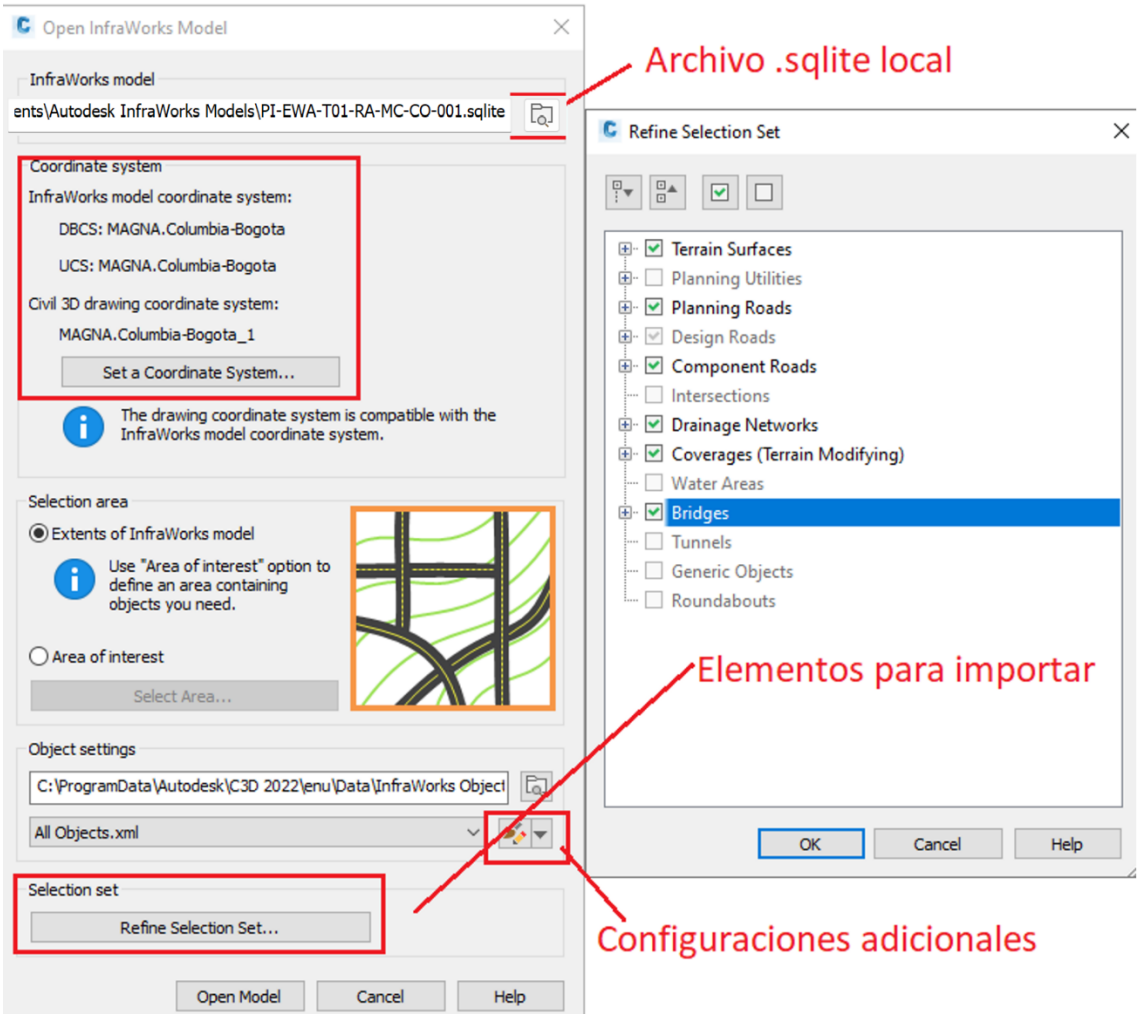


Fuente: (Cañón et al., 2023)

Del anterior flujo de trabajo tenemos que, si empleamos para el diseño conceptual plataformas como InfraWorks, se hace necesario como ya se mencionó hacer uso del formato .IMX o acceder al modelo desde la interfaz de AutoCAD Civil 3D, se configura el sistema de coordenadas y enseguida se abre el modelo de extensión .sqlite. Para acceder a dicho modelo, es necesario contar con la carpeta completa y el modelo sqlite, el cual reposa en los documentos locales donde se ha creado el proyecto, por lo general en la ruta **C:\Users\Documents\Autodesk InfraWorks Models\Autodesk 360**, no es posible cargarlo desde la nube puesto que allí no se almacena el proyecto .sqlite.

De igual manera, el modelo de InfraWorks antes de cerrarse, debe quedar la propuesta definitiva activa, de lo contrario cargará únicamente los elementos de la propuesta que se encuentre activa antes de haberlo cerrado. Posteriormente, configurados los elementos de importación, se procede a importar los elementos como se muestra en Figura 52 (Cañón et al., 2023)

Figura 52 Abrir modelo de InfraWorks en AutoCAD Civil 3D

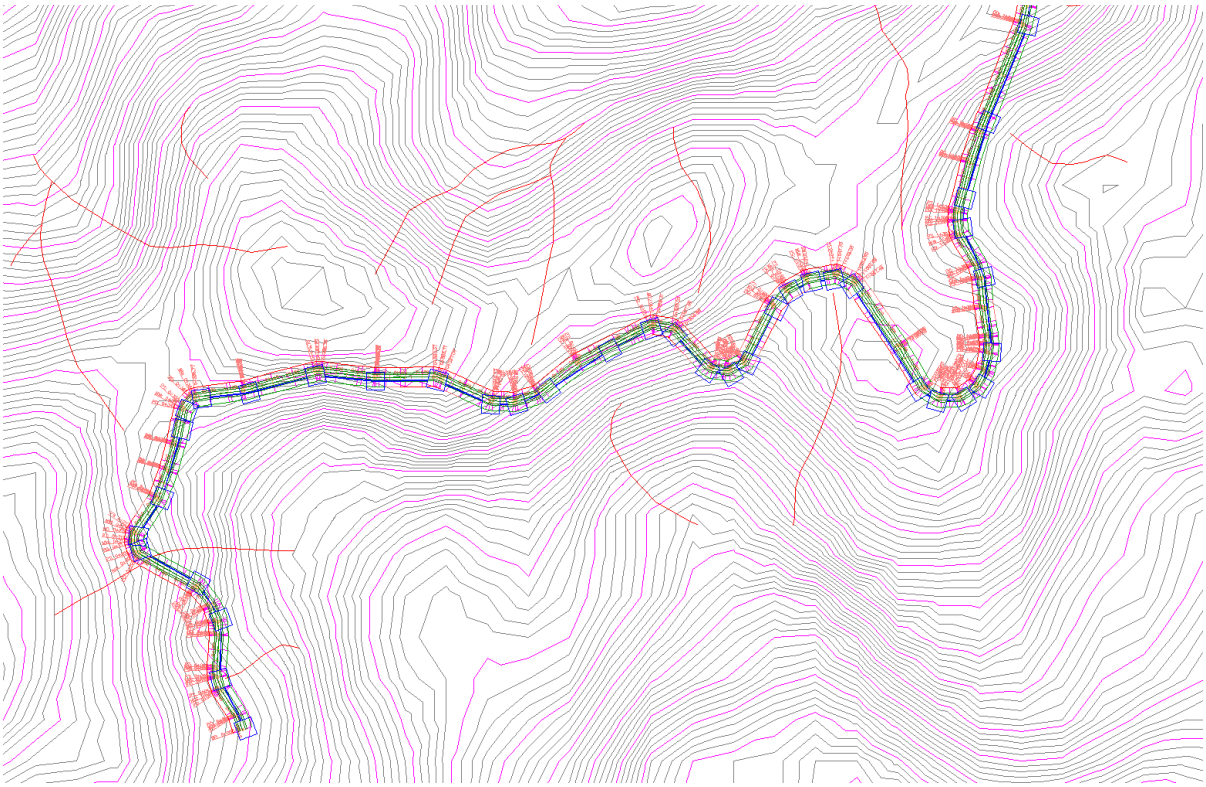


Fuente: propia

Es posible importar diversos elementos como superficies de terreno, carreteras de planificación, carreteras compuestas, intersecciones, cuerpos de agua, puentes y túneles. En este paso, es importante verificar que el sistema de coordenadas esté configurado tanto en la información de entrada como en la plataforma de diseño definitivo (AutoCAD Civil3D) correctamente antes de importar los elementos. Ahora se pueden observar diferentes disposiciones visuales y otras características en las configuraciones de todos los objetos.

Primero se deben importar los archivos y luego se debe verificar y confirmar la ubicación del proyecto si es necesario mediante coordenadas u ortofotos. El resultado después de ingresar los datos se muestra en la siguiente figura.

Figura 53 Modelo de InfraWorks en AutoCAD Civil 3D



Fuente: propia

Los elementos que se han montado se cargan sin guardar los estilos y otras configuraciones, por lo que es imprescindible configurarlos, incluyendo el intervalo de curva de nivel, el estilo de corredor, secciones típicas, colores, entre otros.

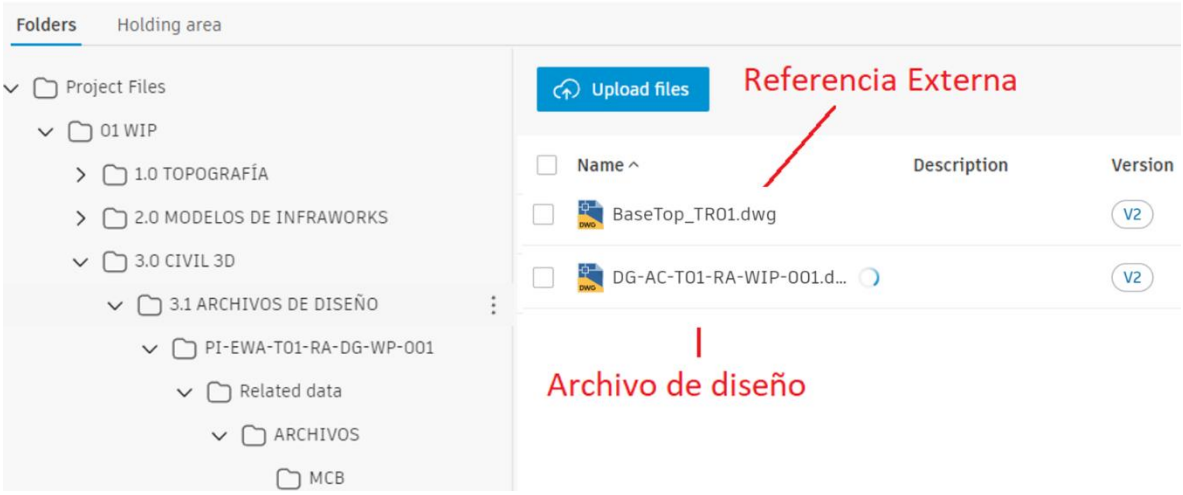
La siguiente figura ilustra los componentes que se utilizarán para crear los diseños definitivos, incluyendo las tuberías, la carretera compuesta, de tener estructuras tipo puente, también se importaría, drenajes o rejillas hidráulicas, cuerpos de agua, zonas de protección, eje vial, y demás capas involucradas en el proyecto, a partir de estos elementos se procederá a refinar los diseños, generando los diseños definitivos.

Para el proyecto, no se contaba con un diseño estructural (no requería) por lo que no fue tratado, no obstante, de contar con una estructura, será en software de diseño como Revit o Tekla, donde se importe la estructura proveniente de InfraWorks y se proceda con el diseño estructural del mismo. Es importante recordar que, dado que el proyecto final requiere información definitiva, se debe contar con un MDT generado por herramientas apropiadas (topografía convencional, Lidar, GNSS, entre otros).

Estos datos (terreno), se pueden integrar utilizando el formato.LandXML, que es compatible tanto con plataformas de diseño conceptual como con plataformas de diseño definitivo, como se muestra en la Figura 51, la etapa actual implica integrar información de terreno definitiva y realizar los ajustes finales al diseño en planta, perfil y sección transversal. Otras especialidades, como hidráulica y estructuras, también incorporarán la nueva información y realizarán sus propios ajustes. De forma paralela se desarrollarán diversos tipos de documentación como informes técnicos, avances de diseño, normativa aplicable y otros.

En la mayoría de los proyectos, se necesitan referencias externas para referenciar a otras especialidades dentro de los diseños, como un levantamiento topográfico o un archivo estructural. Las referencias en ACC se encuentran en la sección documental, simplemente se deben insertar de manera convencional y al guardar cambios, se creará una nueva carpeta en la misma ubicación que el archivo base y allí se agregará la referencia externa. La Figura 54 muestra la posición de las referencias externas empleadas, en el directorio del proyecto.

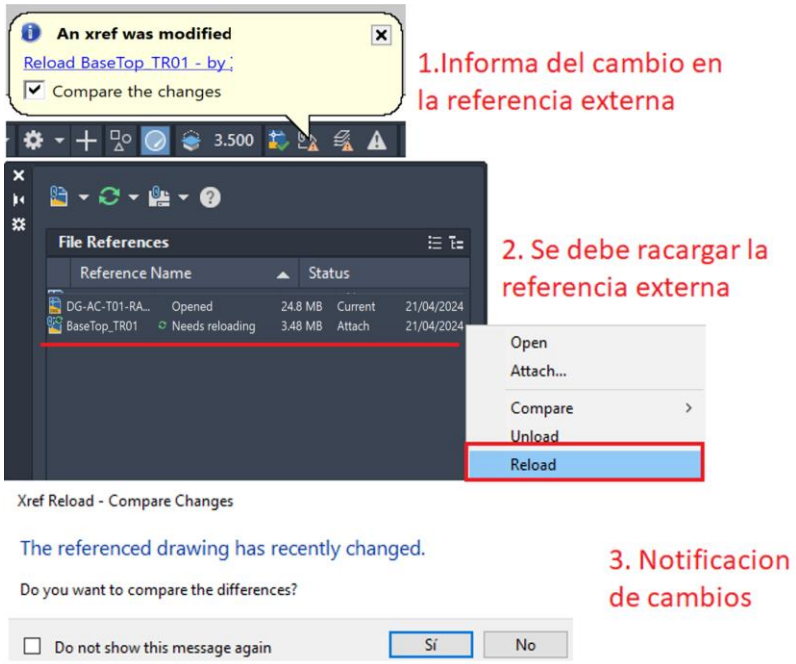
Figura 54 Ubicación de referencia externa en ACC



Fuente: propia

Aunque las referencias externas siempre están sujetas a cambios, es fundamental contar siempre con la versión más reciente. Para lograr esto, una vez se actualice una referencia externa, se deben guardar los cambios en el archivo que contiene la referencia y volver a cargarlo, asegurando la sincronización y manteniendo la referencia actualizada. La Figura 55 muestra el procedimiento.

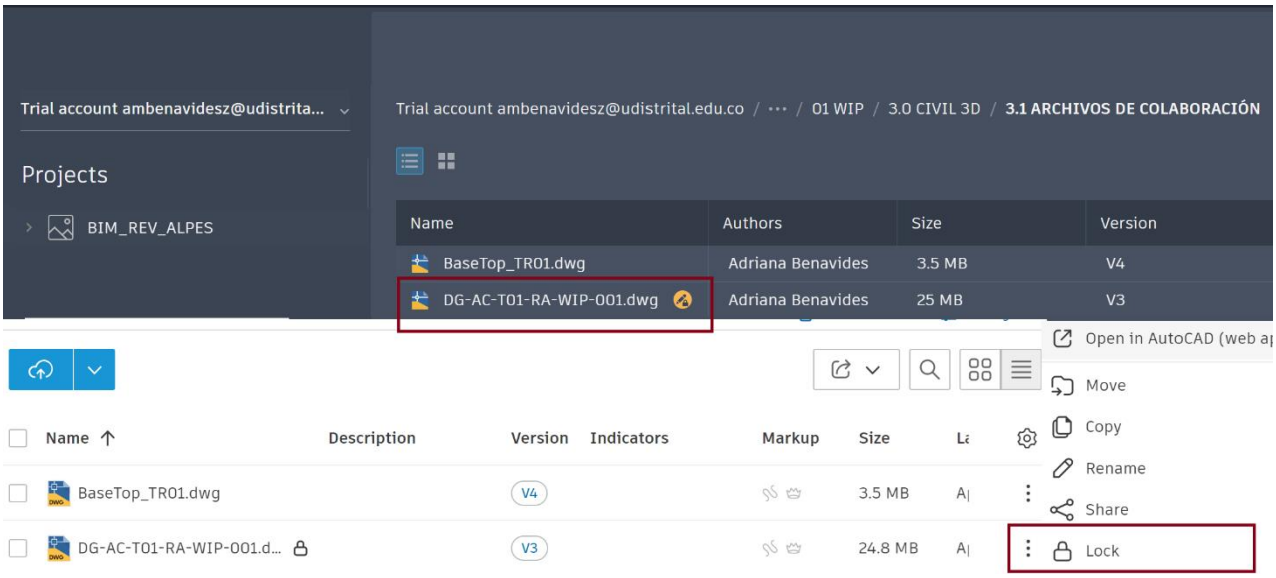
Figura 55 Proceso de actualización de referencias externas



Fuente: propia

En ocasiones fue necesario evitar que los usuarios modificaran o alteraran los modelos en cualquier momento. Desde ACC, se pueden bloquear los archivos o desbloquear si es necesario. Esta figura demuestra el procedimiento.

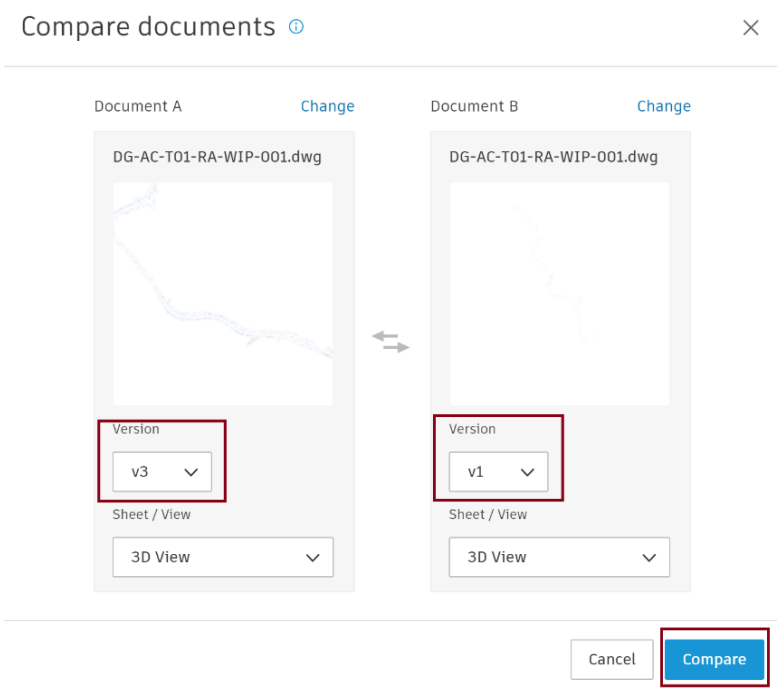
Figura 56 Vista de elemento bloqueado / Desbloquear un archivo en ACC



Fuente: propia

Durante el proceso de diseño, con frecuencia se suelen crear diferentes versiones del diseño, donde se han plasmado cambios a lo largo de este. Es fundamental tener control de versiones en ACC y ser consciente de las diferencias entre las distintas versiones, ya que pueden confundirse fácilmente y provocar errores. En ACC, es posible comparar archivos que tienen diferentes versiones. El proceso es sencillo, para ello se elige el número de versión y aparecerá un panel lateral, donde se puede comparar con otra versión disponible. Solo basta seleccionar el archivo dwg que se desee analizar.

Figura 57 Vista de comparación previa de versiones en ACC



Fuente: propia

Ahora en el navegador se puede apreciar la comparación entre las versiones.

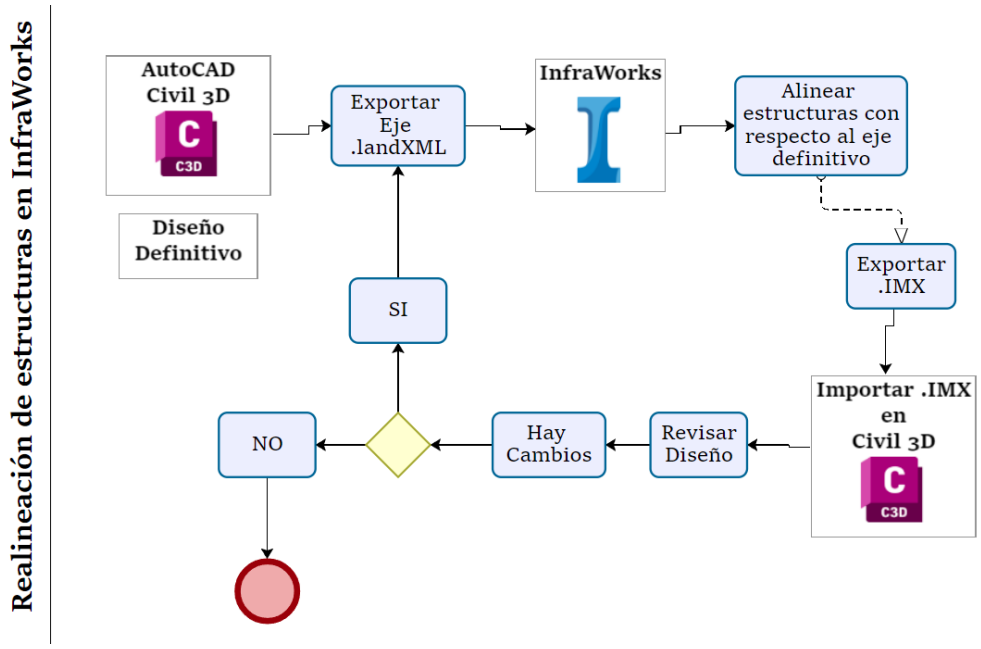
Figura 58 Comparación de versiones en ACC



Fuente: propia

A lo largo del proceso de diseño, se suelen presentar ajustes necesarios, tales como modificación de rasantes, cotas de pozos o modificar elementos estructurales por cambio en la ubicación o porque no cumple con una normativa específica. Para ello se presenta el siguiente flujo de trabajo.

Figura 59 Flujo de trabajo para realineación de estructuras en InfraWorks



Fuente: (Cañón et al., 2023)

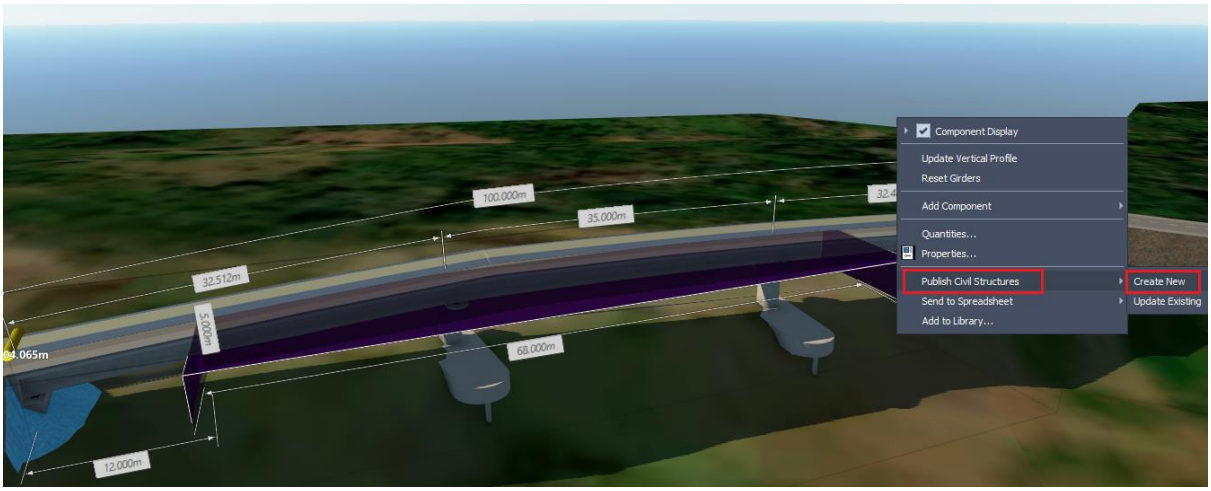
De acuerdo con el anterior flujo de trabajo propuesto, en caso de requerir alguna modificación a nivel de especialidades, es necesario exportar el alineamiento definitivo en formato .LandXML desde AutoCAD Civil y posteriormente, cargarlo en el modelo de InfraWorks. Luego se realiza el cambio requerido (realineación de estructuras, ubicación, tuberías, pozos, puentes, túneles, etc) y de nuevo se exporta el modelo en formato .IMX.

Una vez actualizado, sincronizado y publicado el modelo de InfraWorks, se debe abrir el modelo en un archivo de diseño definitivo en Civil 3D y si todo está en su lugar, se continua con el proceso de diseño definitivo.

Aunque este proyecto no involucró una estructura tipo puente, se documenta la manera en que se puede exportar una estructura, para ser trabajada en otros softwares (Revit, Tekla) como se mencionó anteriormente.

Para publicar una estructura (puente) desde InfraWorks, es necesario exportarla en un formato con extensión .IMX del puente, con esto se evita cargar nuevamente todo el modelo. Para realizar esto, sobre la estructura y dando clic derecho se selecciona la opción “publicar estructura civil” como se observa en la Figura 60, si previamente la publicó y esta sufre cambios, se puede igualmente actualizarla.

Figura 60 Publicación de puente en InfraWorks



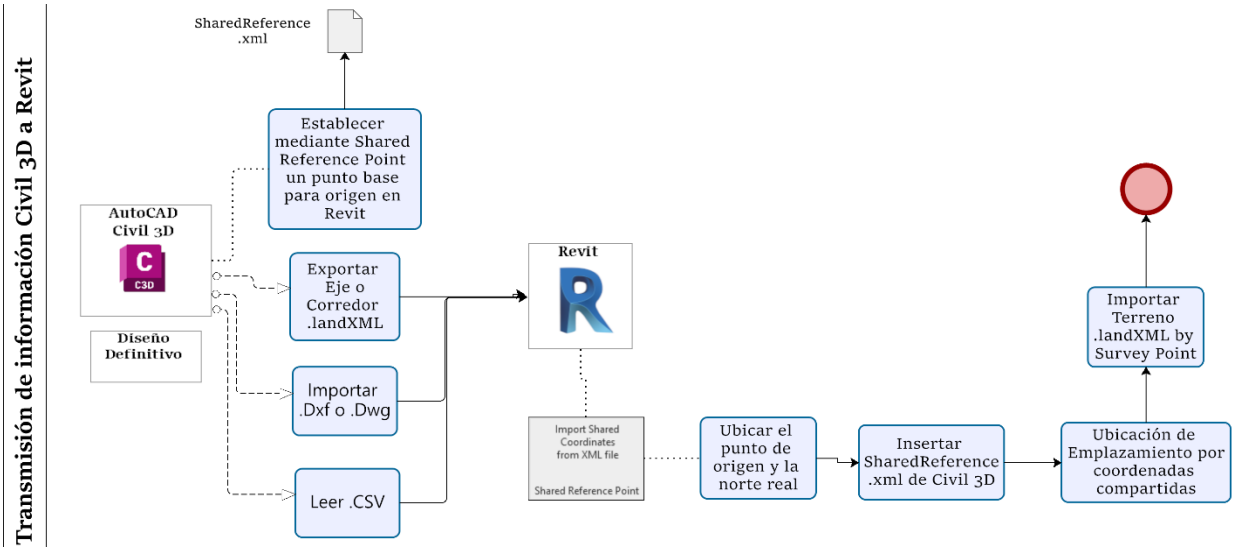
Fuente: propia

Cuando la estructura se cargue nuevamente al archivo de Civil 3D definitivo esta tomará los cambios realizados previamente.

La estructura de un puente modelada no es más que un elemento paramétrico, pero a nivel conceptual (ya que proviene de InfraWorks), es por esta razón que se requiere llevarlo a otra plataforma que admita el intercambio de información y se pueda modelar los diseños definitivos del puente de acuerdo con la necesidad del proyecto. Revit es una herramienta bastante fuerte en esta especialidad, a continuación, se propone un flujo de trabajo que garantiza el modelado geométrico y estructural del puente, facilitando la extracción de cantidades y generando información para la documentación del proyecto.

A continuación, se presenta de manera sencilla el flujo de intercambio de información entre Auto CAD Civil 3D y Revit.

Figura 61 Flujo de transmisión de información de Civil 3D a Revit

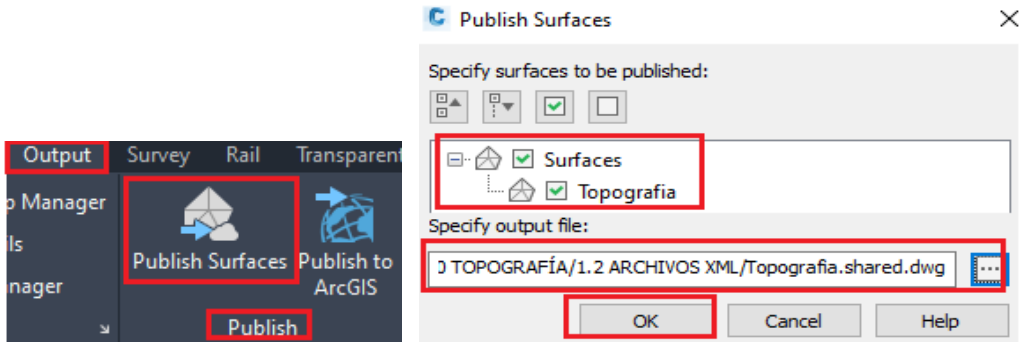


Fuente: (Cañón et al., 2023)

En primera instancia, es necesario contar con la extensión para AutoCAD Civil de Shared Reference Point, en las nuevas versiones se encuentra dentro del Toolspace, en la barra Toolbox > Autodesk Reference Point, allí la herramienta solicita especificar un punto de referencia sobre el modelo, para adoptar las coordenadas x,y y z y finalmente especificar la norte real.

Una vez realizado esto, se creará un archivo con extensión .xml que será un archivo de entrada para ubicar las estructuras y la topografía en coordenadas reales y compartidas. Una vez creado el archivo, se procede a publicar la superficie en el directorio de trabajo compartido, debe esperar unos minutos para poderlo cargar en Revit. Para ello en la pestaña Output en Civil 3D, se procede a publicar la superficie como se muestra en la Figura 62 (Cañón et al., 2023)

Figura 62 Publicación de superficie en Civil 3D

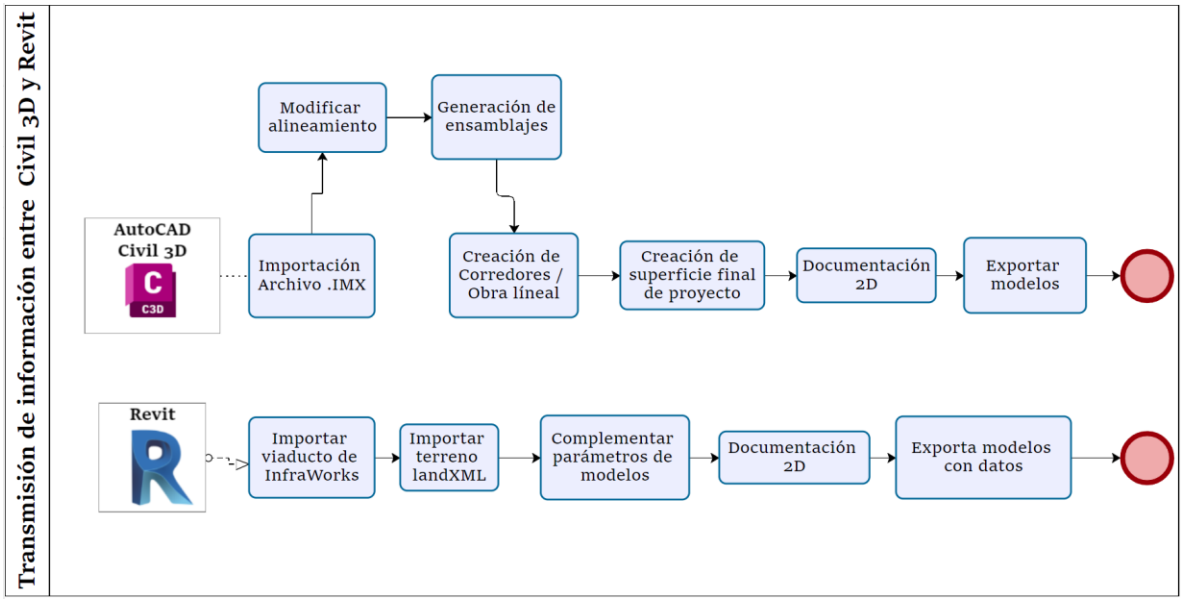


Fuente: propia

De la misma manera en Revit, a partir del modelo importado de InfraWorks, y el terreno proveniente de Civil 3D, se complementan los diseños estructurales y se procede a la documentación 2D y generación de planos, para al final exportar modelos totalmente documentados y con datos importantes para la coordinación y otras dimensiones que requieran el uso de modelos.

En Civil 3D también se requiere crear el corredor definitivo que servirá como base para las demás especialidades involucradas en el proyecto. A continuación, se presenta el flujo planteado para la creación del diseño definitivo del corredor.

Figura 63 Transmisión de información entre Civil 3D y Revit

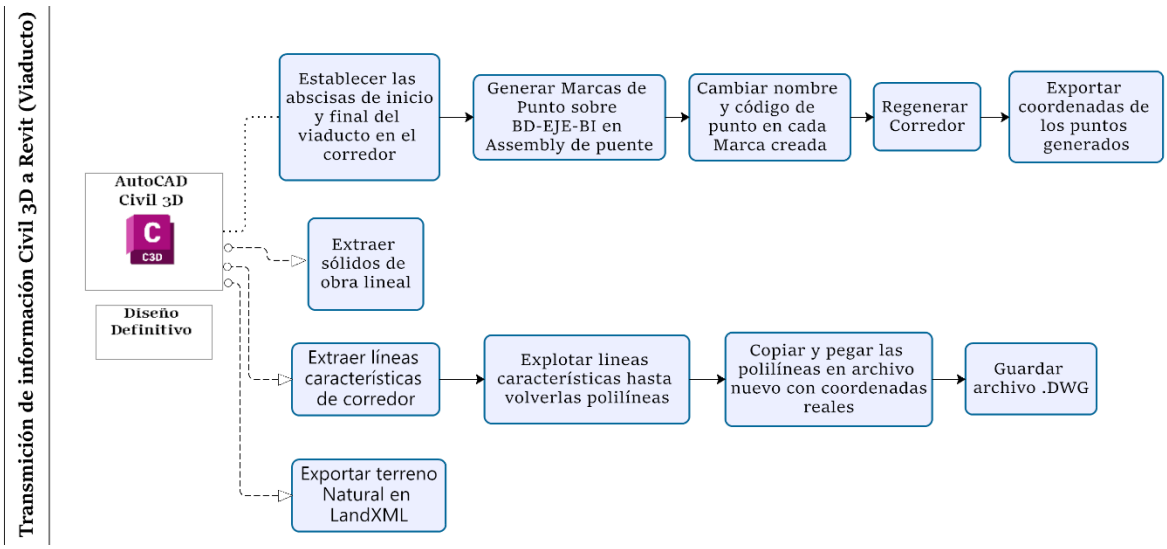


Fuente: (Cañón et al., 2023)

El diseño del corredor en Civil 3D requiere algunas modificaciones, como alinearlo horizontalmente y ajustar su pendiente para cumplir con la normativa INVIAS o la que haya a lugar. El corredor también implica la creación de unas secciones típicas que incluyan diferentes partes y secciones que requiera el proyecto, por otro lado, al generar el corredor se recomienda hacerlo por regiones y frecuencias, de igual manera establecer las superficies de proyección como lo son la datum y top. Por último, se debe crear la superficie final del proyecto, la cual se empleará para la documentación y para posteriores etapas de coordinación y simulación de procesos constructivos.

El siguiente paso es comprender el método más sencillo para transferir datos de Civil 3D a Revit, que luego permitirá realizar el modelado detallado de las estructuras (aunque no aplica para este proyecto). Revit permite crear diseños complejos de las estructuras necesarias para un proyecto, que incluyen box culvert, alcantarillas, puentes, pontones y más. El objetivo no es ilustrar cómo modelar estas estructuras, sino garantizar la forma de intercambio de información para desempeñar su función y sus tareas en un entorno de datos compartidos.

Figura 64 Flujo de intercambio de información estructural (viaducto) de Civil 3D a Revit



Fuente: (Cañón et al., 2023)

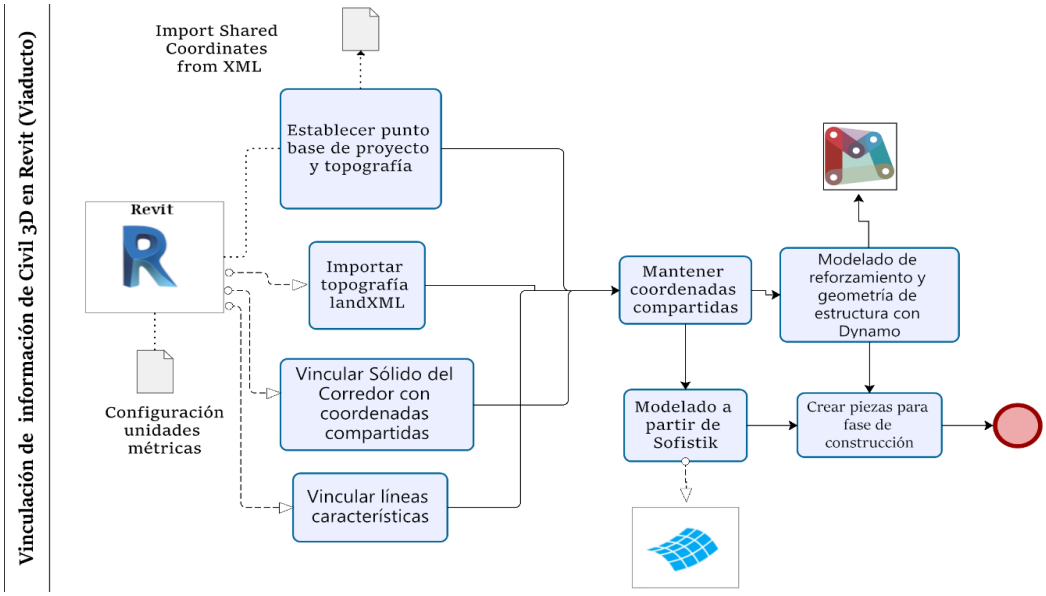
El anterior flujo de trabajo permite enviar la información de una estructura tipo viaducto a Revit con el fin de proceder a realizar los diseños definitivos de esta estructura. Por un

lado, es necesario definir de manera exacta el abscisado de inicio y final de esta, posteriormente, se debe crear la sección típica que representará la geometría del viaducto. Una vez definida esta condición, se deben exportar las coordenadas de los bordes derecho, izquierdo y eje central para posteriormente a vincularlas en Revit ya sea mediante archivos Excel o feature lines.

Siguiendo con el flujo de trabajo, se debe extraer los sólidos de la obra lineal y las líneas características del puente (rasante borde derecho, eje y borde izquierdo). Estas líneas deberán ser copiadas a un nuevo archivo, georreferenciado que cuente con las coordenadas originales, luego deberá descomponer (explotar) las líneas características hasta convertirlas en 3D polyline. Finalmente, se debe guardar el archivo en formato .DWG.

Para concluir el flujo de trabajo, es necesario exportar la superficie en formato landXML y contar con las coordenadas compartidas, desde Civil 3D. Con esta información generada, bastará para realizar la respectiva vinculación de información para que el modelador pueda realizar sus respectivos diseños en Revit empleando el siguiente flujo de trabajo.

Figura 65 Flujo de trabajo modelación de puente en Revit



Fuente: (Cañón et al., 2023)

Existen diferentes maneras de trabajar un modelo estructural y geométrico de un puente, en el anterior flujo de trabajo, se presenta una forma sencilla trabajando de forma colaborativa y con coordenadas compartidas directamente en Revit, es importante saber que, se requieren ciertos elementos de entrada para poder desarrollar dicha modelación, entre estos están, las líneas características, la superficie landXML y el sólido del corredor. Existen otras herramientas que permiten vincular directamente el trazado que se ha realizado en Civil 3D o la herramienta de diseño escogida con Revit u otro software de diseño estructural, una de ellas es Sofistik, herramienta que combina diferentes tipologías y familias paramétricas, permitiendo modelar las condiciones requeridas de una manera sencilla (Cañón et al., 2023)

La herramienta que elija para el modelado de estructuras debe ir acompañada de datos de entrada y un flujo de trabajo para crear de manera efectiva el proceso de modelado, independientemente del campo en el que esté trabajando. Los diversos flujos de trabajo mencionados en este documento son flexibles y se pueden ajustar o revisar para cada proyecto según los requisitos. La metodología BIM permite el uso de diversas herramientas, complementos y funciones, así como la capacidad de ajustar y mejorar los flujos de trabajo para optimizar la gestión de la información de un activo a lo largo de su ciclo de vida.

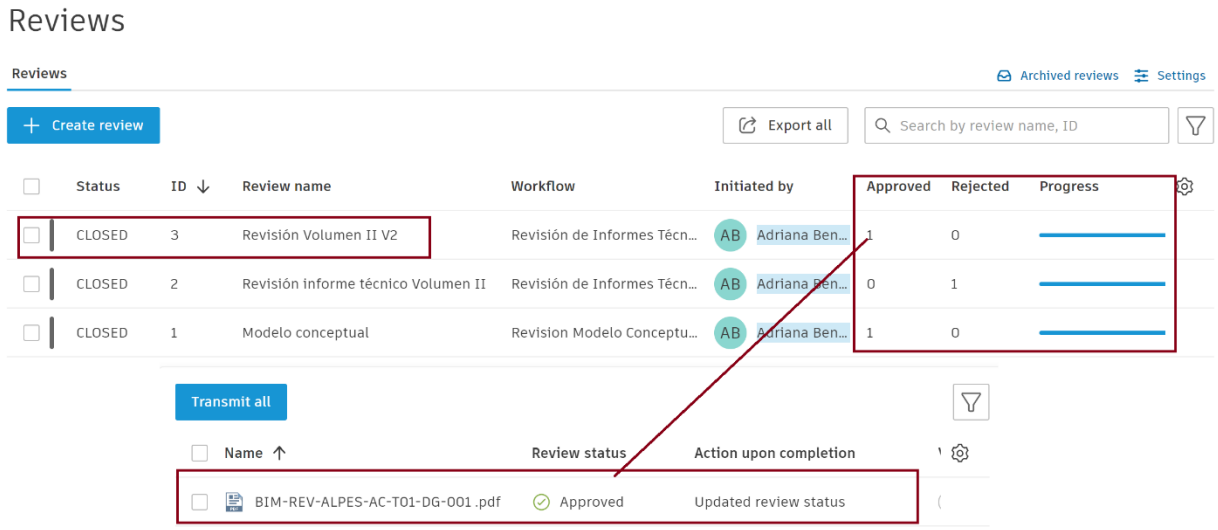
A lo largo de este documento, se ha enfatizado la importancia de la documentación de activos haciendo uso de la metodología BIM. Si bien es cierto que algunas especialidades, como las involucradas en proyectos de infraestructura vial, generan modelos (geométrico, estructuras, hidráulico, etc), existen otras especialidades que generan solo información complementaria, como pavimentos, tránsito, geología, medio ambiente y factores sociales, entre otros.

Un proyecto está compuesto por diferentes grupos o ramas de especialidades que están trabajando en sus tareas lo que se conoce como WIP (trabajo en progreso), pero todas aportan información valiosa y aplicable al proyecto, y algunas de ellas se basan en información de otras especialidades para crear sus modelos, por ejemplo, el diseño

geométrico y las estructuras. La información del CDE creado para el proyecto, de acuerdo con la estructura de carpetas definida en el BEP y con acceso a los miembros del equipo y sus roles, debe ser sometida a revisiones, modificaciones y actualizaciones hasta su finalización y cambio de estado a Compartido.

Para lograr este proceso de revisión, es necesario crear flujos dentro de ACC para los modelos previos y para la documentación complementaria como informes, anexos, carteras, entre otros, siguiendo un flujo de trabajo establecido y asignando los respectivos revisores, así se podrán realizar comentarios y dependiendo estos, aceptar, rechazar o aceptar bajo comentarios cualquier información. La Figura 66 muestra un ejemplo de los procesos de revisión dentro del CDE.

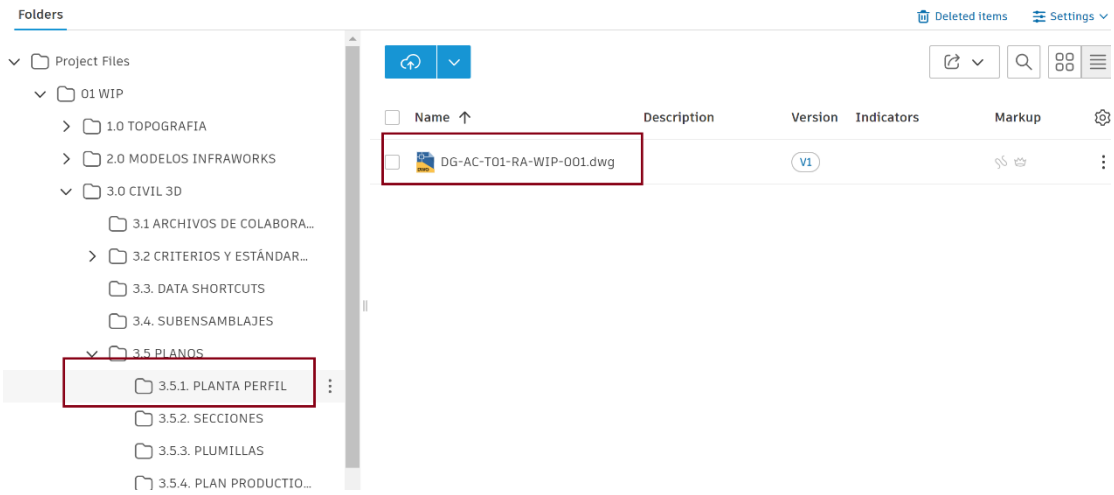
Figura 66 Revisión de documentación en ACC



Fuente: propia

Además, es crucial examinar minuciosamente tanto los documentos como los modelos o archivos base de los modelos, como los archivos de topografía, que permitirá localizar puntos o áreas de interés que pueden afectar los diseños, incluidas escuelas, áreas protegidas y zonas con características únicas, entre otras. ACC tiene dentro de sus flujos de trabajo en la nube la opción de revisiones. La Figura 67 muestra la geometría empleada en el proyecto de infraestructura.

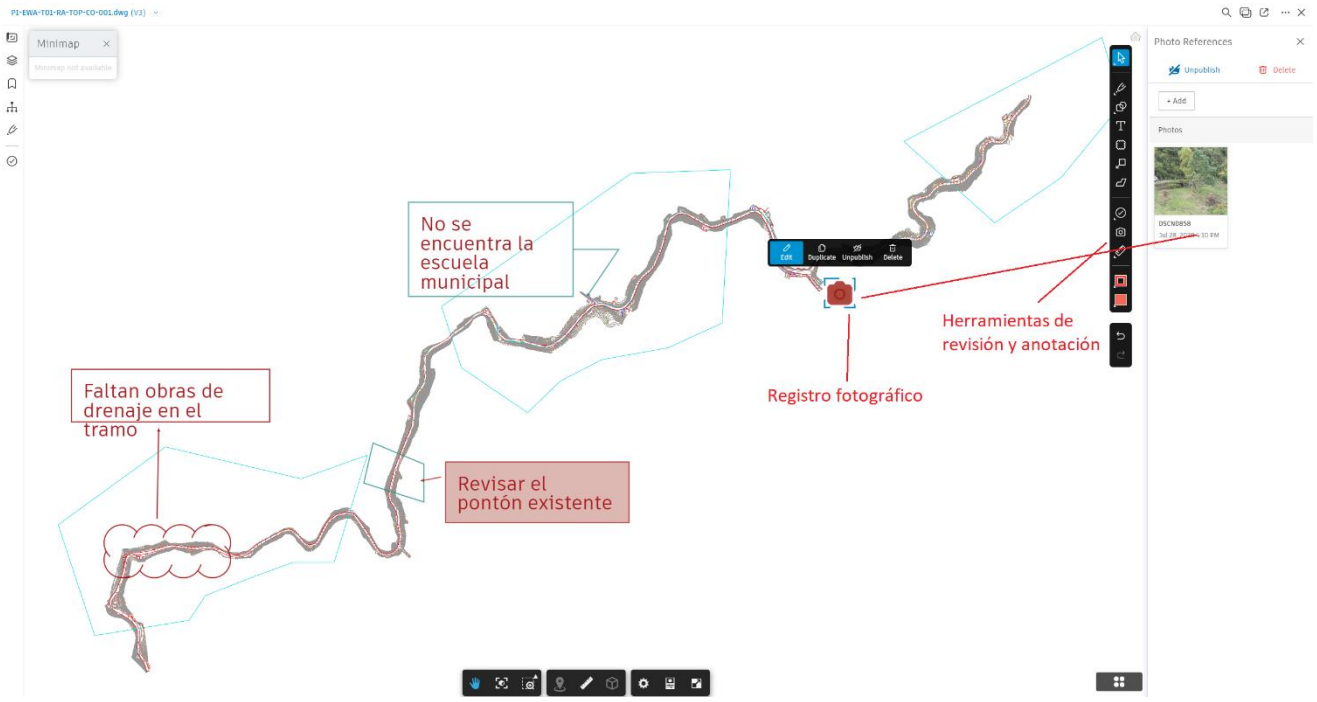
Figura 67 Apertura del modelo geométrico en ACC



Fuente: propia

Al abrir el archivo dwg en el entorno web, se pueden realizar las anotaciones pertinentes. La revisión interna de los archivos se llevará a cabo antes de compartirlos, con el fin de poderlos ajustar y ahí si poder cambiar de estado la información. El modelo permite la entrada directa de revisiones, anotaciones y notas, que luego se publican para que el responsable del producto (en este caso el MDT) las revise y tome las acciones apropiadas para mejorar el producto antes de la aprobación final y su posterior compartición.

Figura 68 Revisión del modelo topográfico en ACC



Fuente: propia

Es posible emplear colores por especialidades, dependiendo de la estructura de la reseña que se configure, incluso es factible vincular registros fotográficos que afirmen el comentario o la revisión realizada. Una vez que se compartan estos hallazgos y se actualice la vista web, se podrán visualizar todos estos comentarios y anotaciones por los grupos de trabajo.

Figura 69 Marcas y revisiones de modelos en ACC

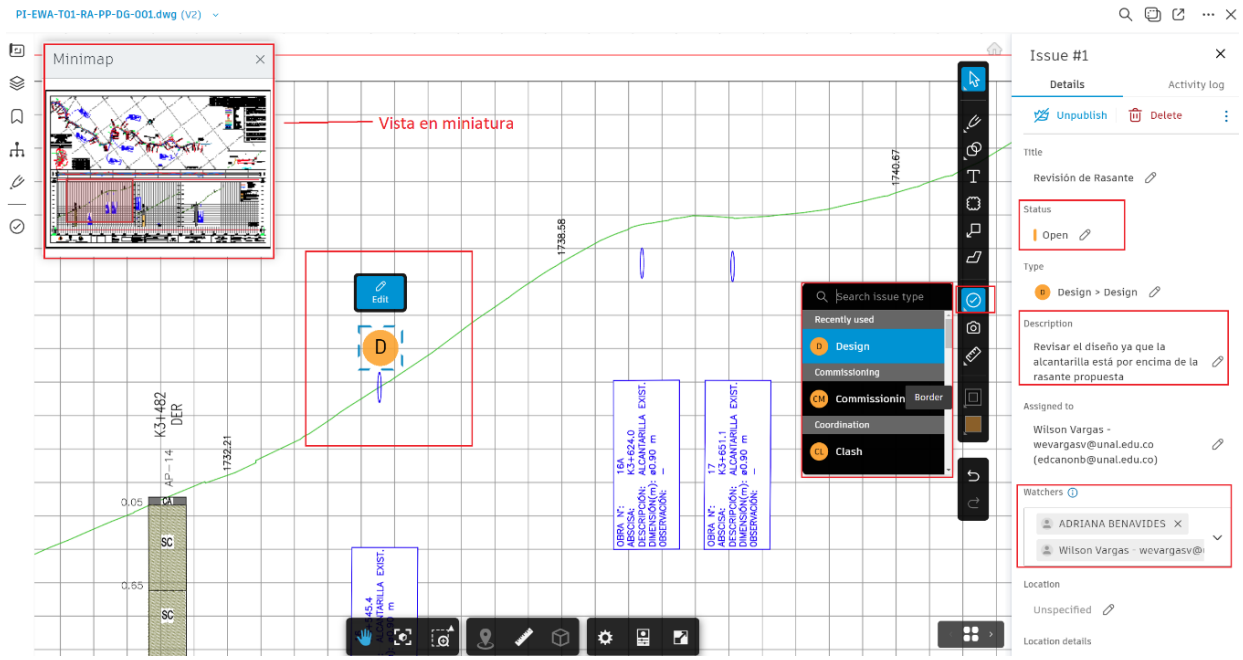


Fuente: propia

También, es posible ver inconsistencias en los diseños dentro de cada especialidad, es por ello por lo que, dentro de la herramienta de revisión y anotación, se puede incluir observaciones de los problemas identificados, ya sea que pertenezcan a una

especialidad, o a problemas de coordinación que puedan afectar los procesos constructivos. La siguiente figura permite ver, una inconsistencia encontrada durante el proceso de revisión, asociada a una cámara de recolección de aguas, cuya rasante está por encima del diseño geométrico.

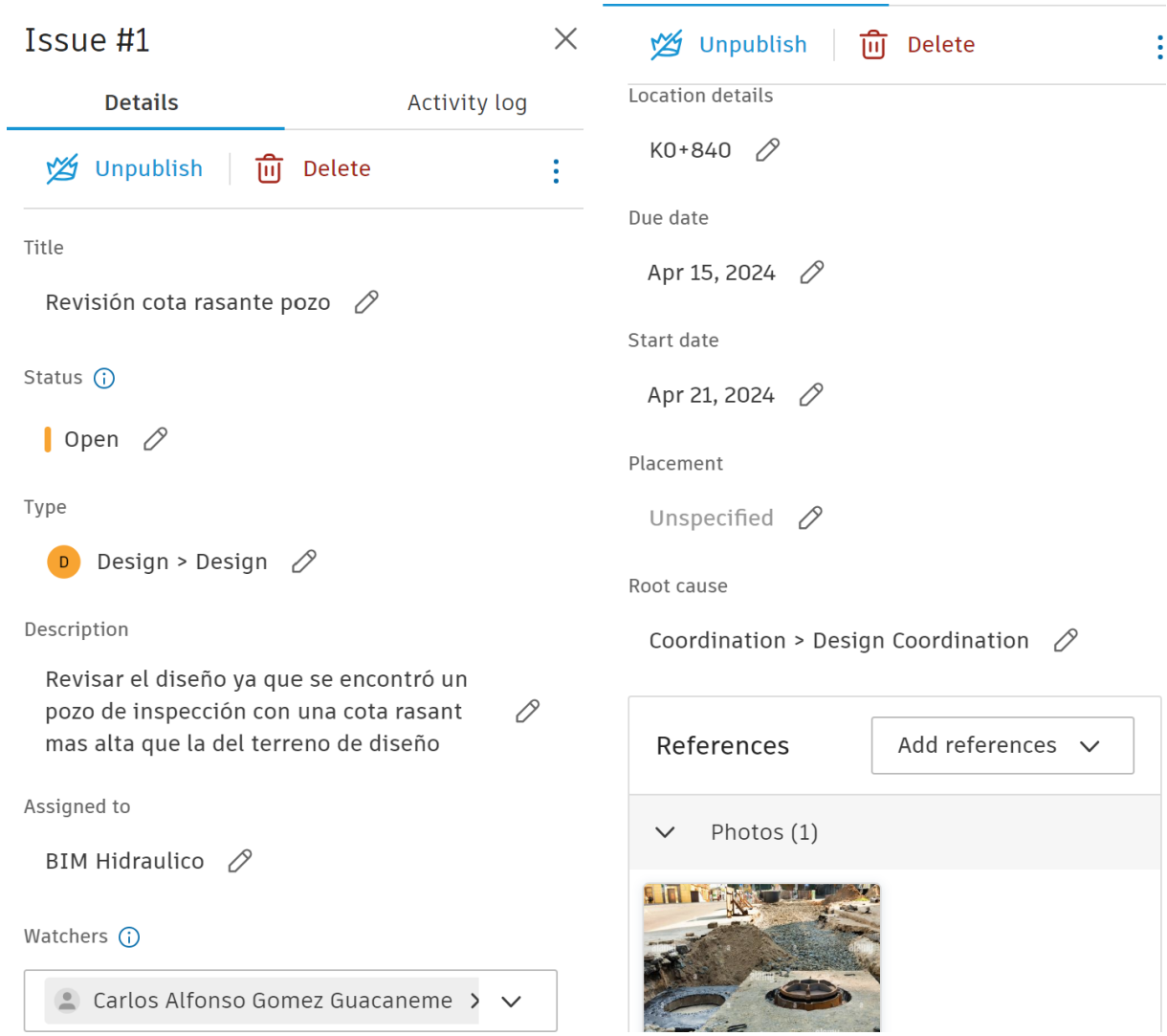
Figura 70 Identificación de conflictos en modelos en ACC



Fuente: propia

Dentro de las herramientas existentes en ACC, se puede crear todo un pool de opciones para reportar incidencias y asociarlas al rol respectivo para su debida corrección, indicando la fecha límite para su modificación y actualización de los diseños, garantizando los tiempos y con ello evitando demoras en las entregas. Es importante mencionar que, dentro de la metodología BIM quien se encarga de realizar las respectivas correcciones en cada especialidad, es cada grupo de especialistas encargados de crear las tareas, mas no el coordinador o el revisor de la información, este se encarga de reportar los hallazgos y una vez ajustados volver a realizar la revisión de la información con el fin de dar por solucionado el incidente reportado y aprobar dicha revisión. La Figura 71muestra el reporte de la incidencia encontrada anteriormente entre las especialidades hidráulica y geométrica.

Figura 71 Configuración de conflictos en modelos en ACC

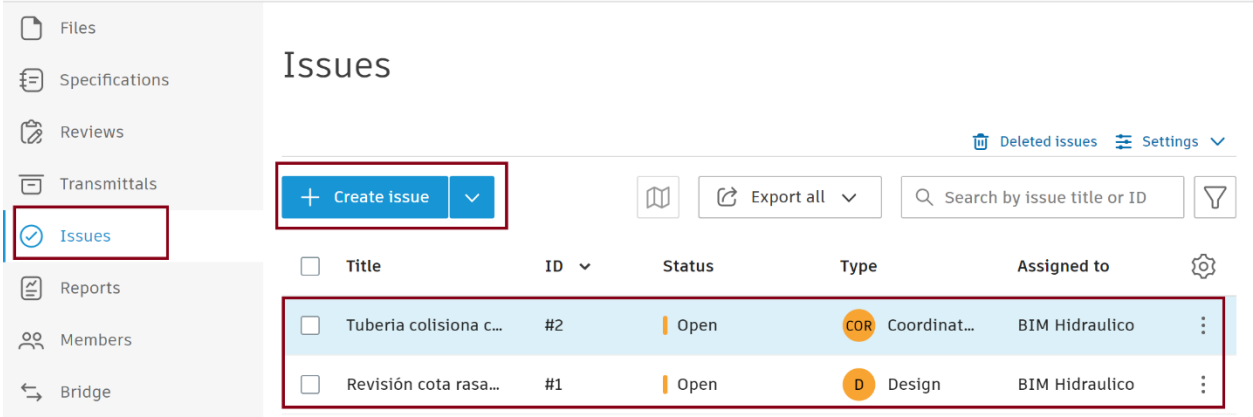


Fuente: propia

Cuando una inconsistencia es publicada, se notifica a la cuenta de correo asociada al proyecto del especialista o encargado asignado, que se ha encontrado una inconsistencia y deberá revisarla.

Una vez reportada la inconsistencia en el entorno web de ACC, en la misma sección (issues) se enlistan todas las inconsistencias encontradas de los modelos revisados y el estado en que se encuentran esas inconsistencias, de igual manera se muestra el histórico de estas con el fin de contar con la trazabilidad de estas.

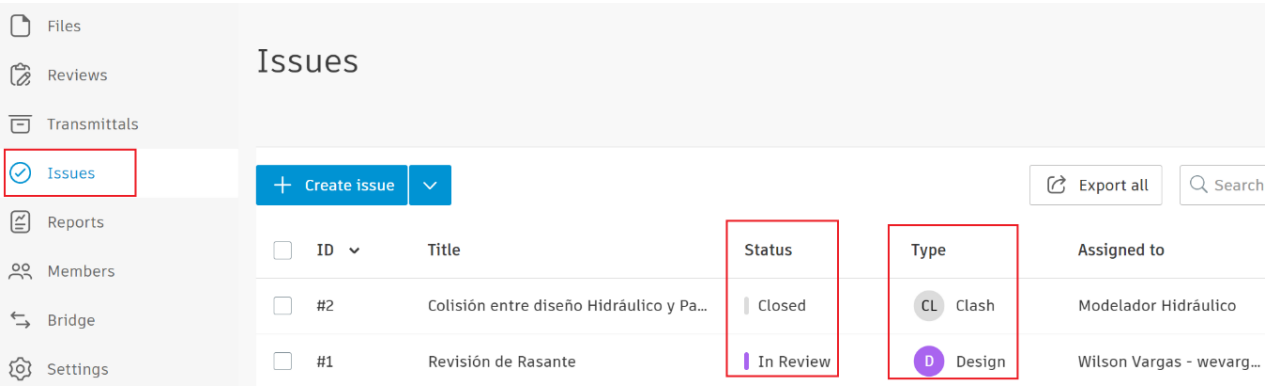
Figura 72 Revisión de conflictos en modelos en ACC



Fuente: propia

Al ser notificado, el especialista debe realizar los ajustes necesarios y posteriormente debererá actualizar el modelo en ACC para así dar por cerrada o completada la incidencia abierta. Cada cambio de estado, nuevamente se notifica se acuerdo con la configuración creada previamente. En la Figura 73 se muestra la incidencia reportada anteriormente y el estado de esta como cerrado, de igual manera otra incidencia encontrada y que se encuentra en proceso de revisión.

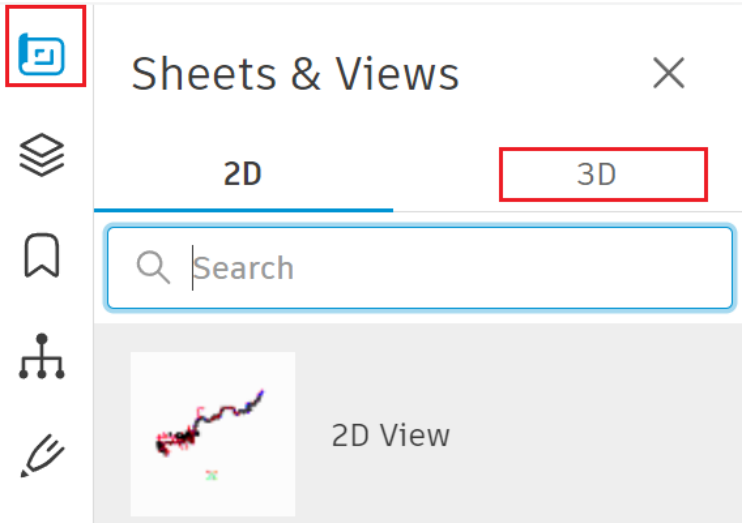
Figura 73 Estado de revisión de inconsistencias en modelos en ACC



Fuente: propia

Al momento de las revisiones se pueden realizar sobre el modelo en 3D directamente, con el fin de mejor interpretación y análisis de la incidencia, ACC permite alternar entre las vistas 2D y 3D como se muestra a continuación.

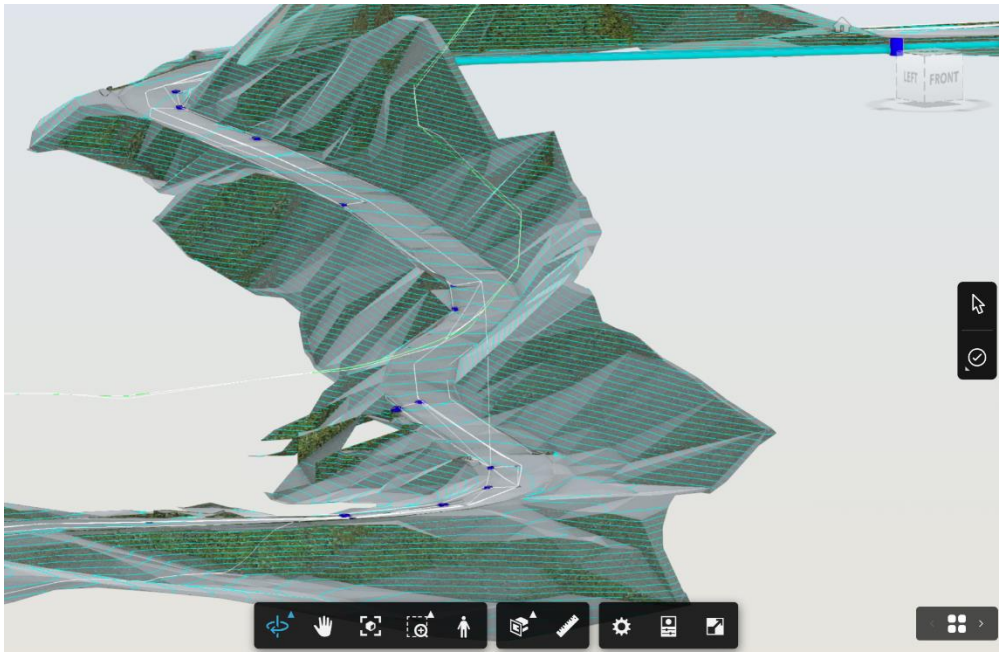
Figura 74 Notificación de cambio de estado de conflictos



Fuente: propia

La vista en 3D del modelo se presenta a continuación.

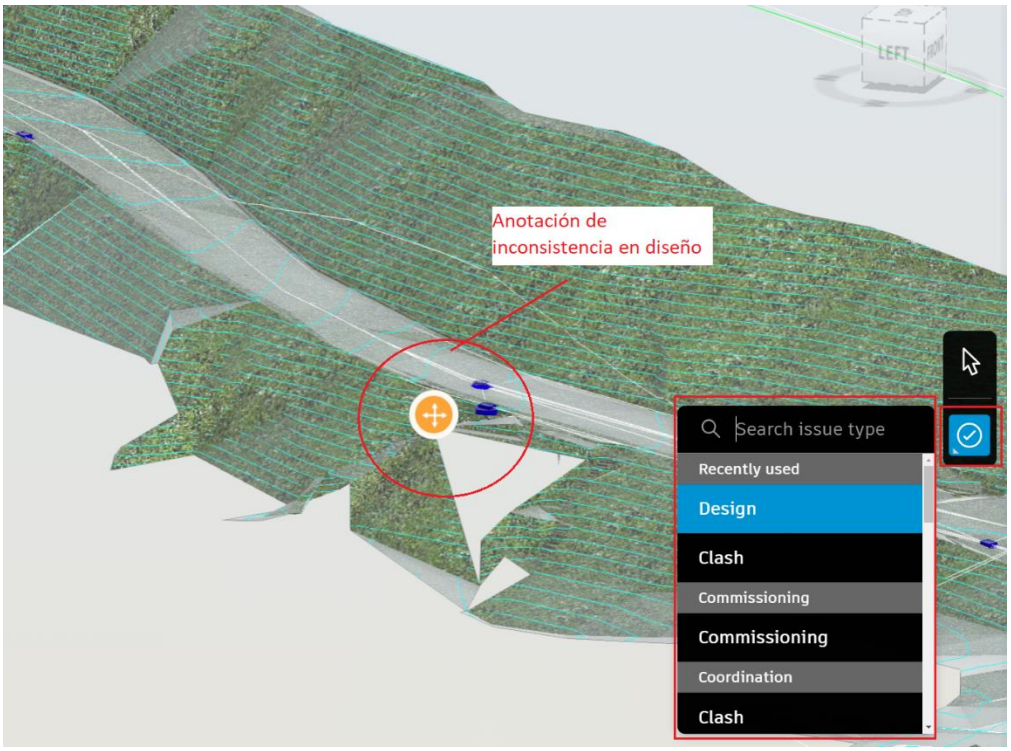
Figura 75 Vista de modelos 3D



Fuente: propia

Al realizar revisiones y anotaciones sobre el modelo 3D se aprecia de la siguiente manera

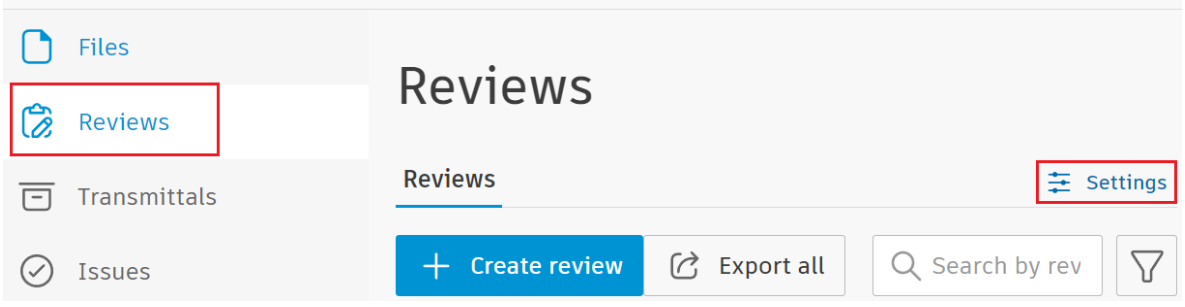
Figura 76 Anotaciones y revisiones en modelos 3D



Fuente: propia

Anteriormente se ha mencionado la posibilidad de crear diversos flujos de trabajo que permitan la aprobación o rechazo de modelos y documentación específica. En ACC, se pueden ajustar estos flujos en la sección de revisiones. La configuración de revisión se puede encontrar en la pestaña Revisiones.

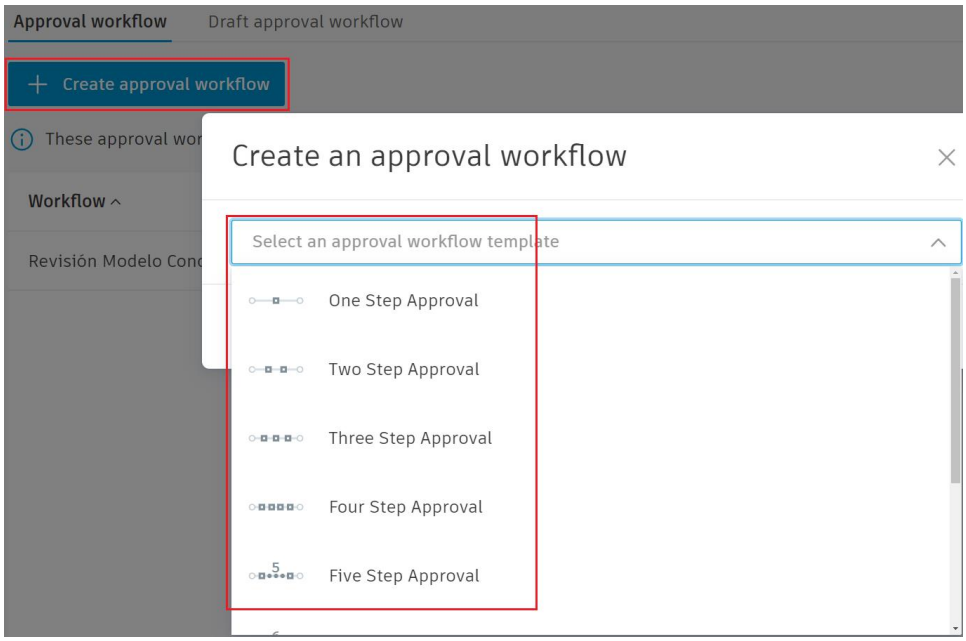
Figura 77 Configuración de flujos de trabajo para revisión



Fuente: propia

Existen diferentes esquemas predeterminados para la aprobación de los documentos, pueden ser de un único paso o más según la rigurosidad que se quiera establecer para la aprobación de la información, tal como se muestra en la Figura 78.

Figura 78 Creación de flujos de trabajo para aprobación de información

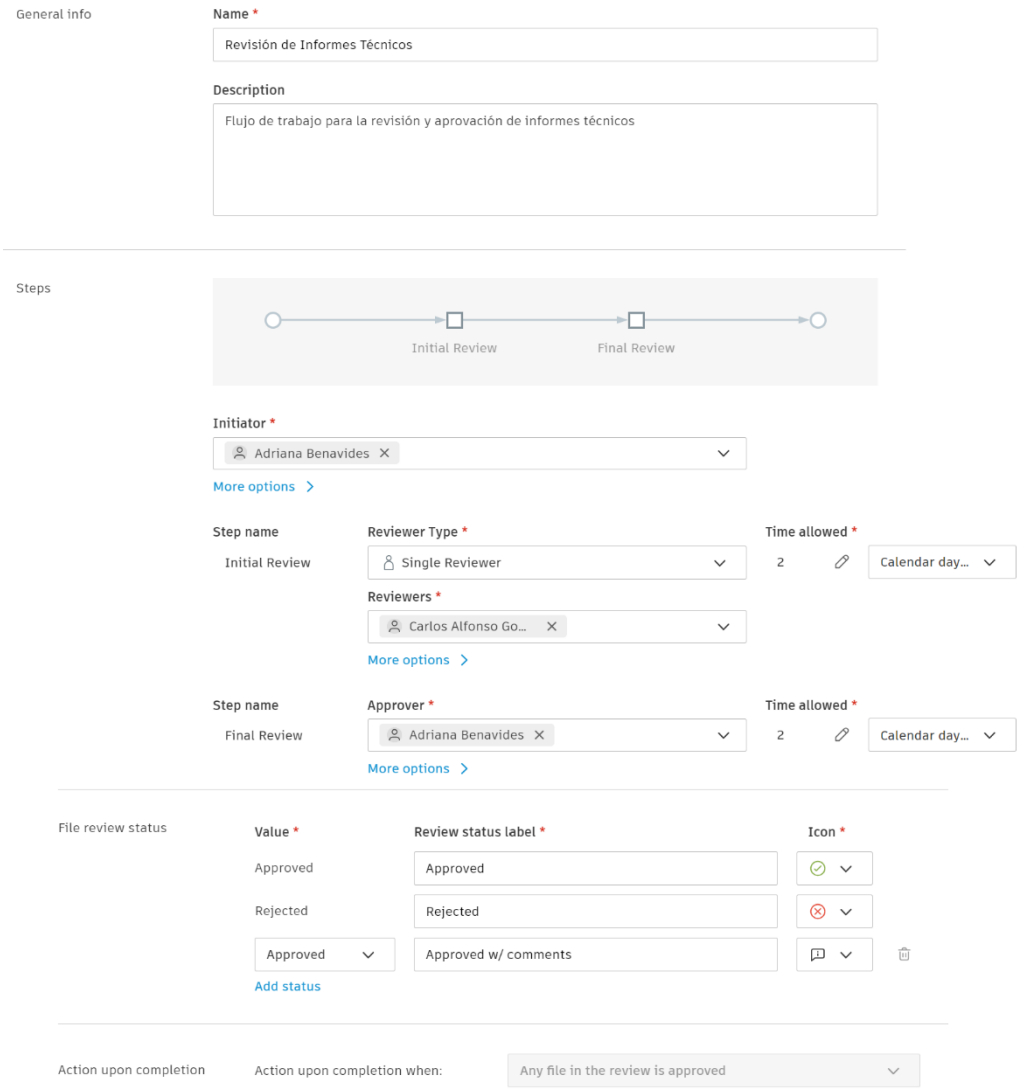


Fuente: propia

Como recomendación, es importante establecer flujos entre 2 y 3 pasos, con el fin de tener una revisión fuerte de la información para el cambio de estado de esta, para este proyecto fue necesario crear un flujo con dos pasos de aprobación, donde se configuraron datos como nombre de la revisión, una breve descripción, los roles requeridos, el tiempo establecido para la revisión y los estados de esta.

La Figura 79 representa el flujo de trabajo empleado en donde el primer paso revisa el modelador y el segundo paso revisa el coordinador, una vez aprobados ambos, se procede a la aprobación definitiva de la información. También como buena práctica se recomienda que, una vez aprobada la información, se cree una copia en la carpeta respectiva asignada para la información final dentro del CDE.

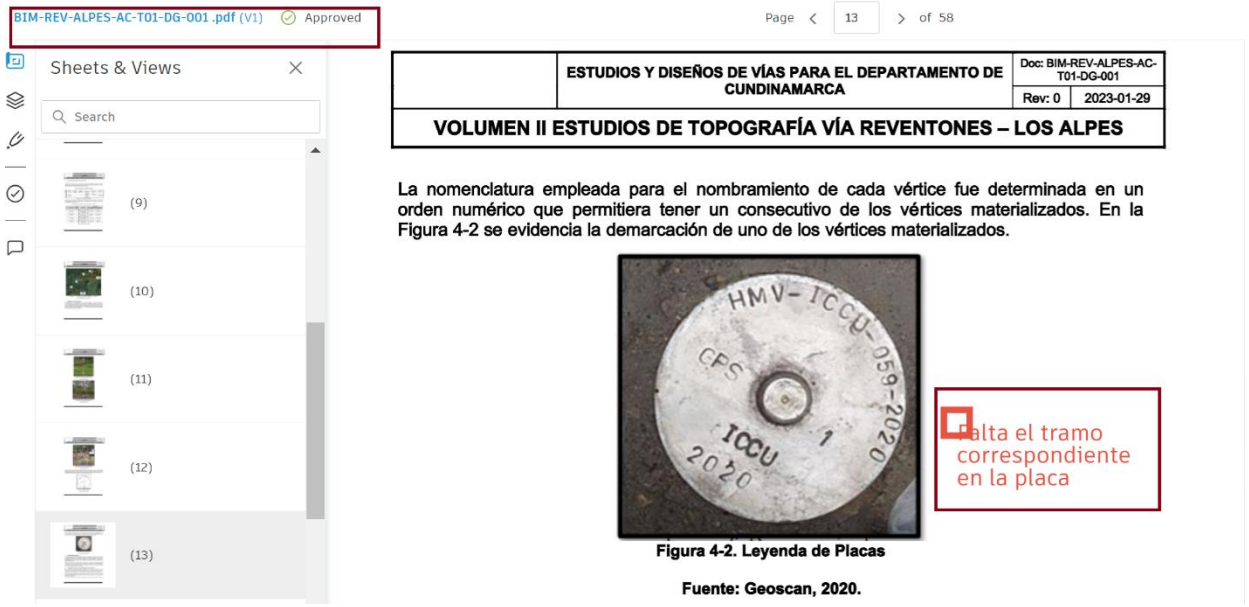
Figura 79 Creación de flujo de trabajo para aprobación de informes



Fuente: propia

Una vez cree los flujos de revisión, esta se puede llevar a cabo directamente en ACC, y con el fin de aprobar, rechazar o comentar los modelos e informes provenientes de las especialidades, la Figura 80 muestra el informe de topografía el cual una vez revisado fue rechazado debido a que presentaba un error en el sistema de coordenadas que se había empleado en el proyecto.

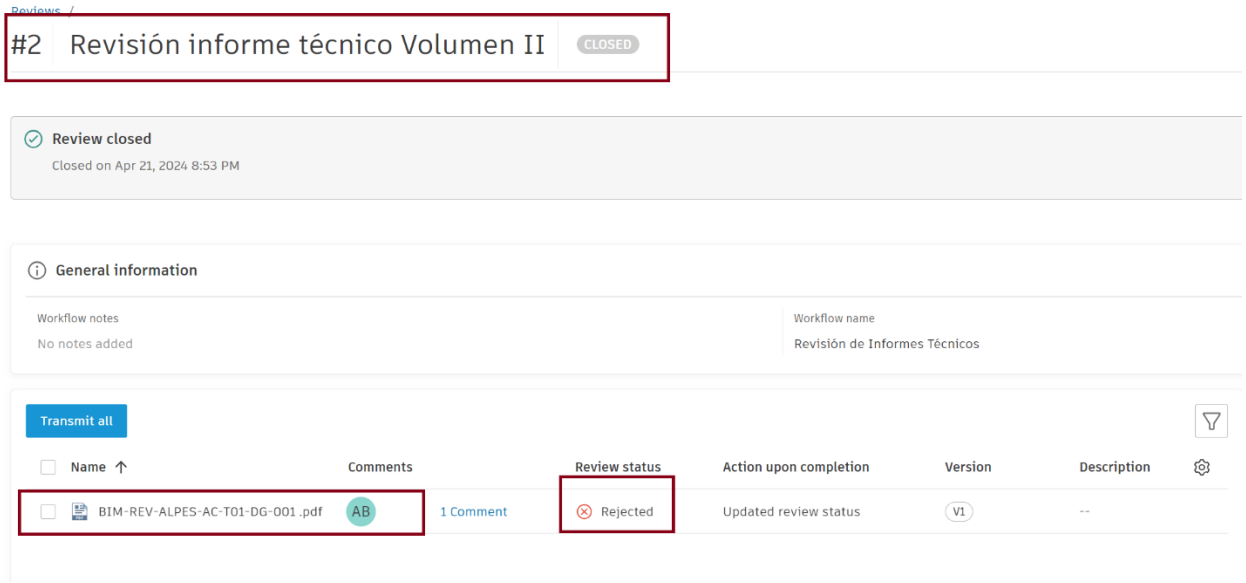
Figura 80 Revisión de informe en ACC



Fuente: propia

Una vez se creó la revisión, de acuerdo con el flujo creado previamente, el oficinista de topografía contaba con dos días para realizar la respectiva atención a los comentarios realizados. Una vez cumplida dicha tarea, se muestra la segunda revisión que a la vez concluyó en un estado cerrado, donde se puede notar el cambio de ícono estado, y la aprobación por parte de los coordinadores del proyecto, finalmente de forma automática se copió el informe a la carpeta de documentación final (definida previamente en el BEP), con el fin de evitar errores en la manipulación o copia de la información aprobada (esto lo hace el mismo CDE según la configuración mencionada anteriormente).

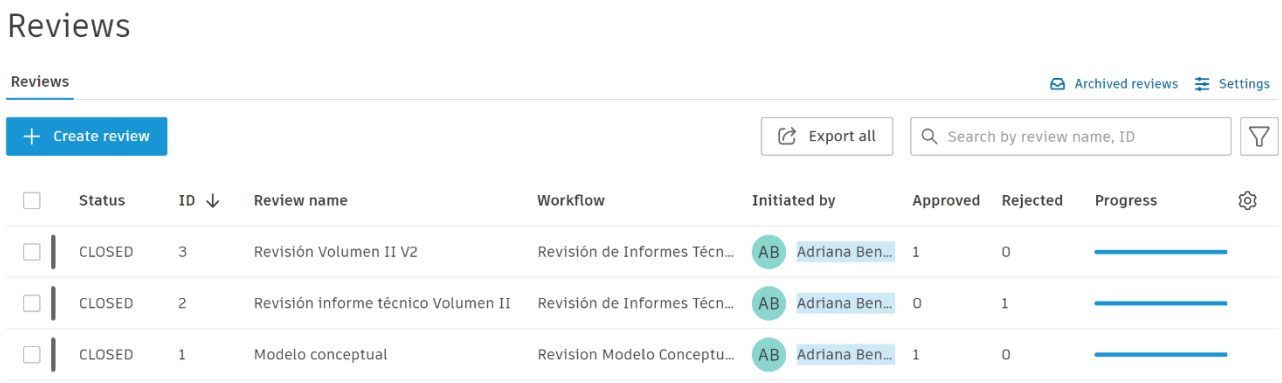
Figura 81 Revisión de informe rechazado y cerrado



Fuente: propia

Por último, es importante mencionar que, independientemente se cierre la revisión y se apruebe, ACC conserva el historial de las revisiones y los estados que estas tuvieron, con fines de seguimiento. Para este proyecto se realizaron diversas revisiones de algunos informes por errores de digitación, información inconsistente, y falta de información que requiere ser complementada como se observa en la Figura 82.

Figura 82 Historial de revisiones



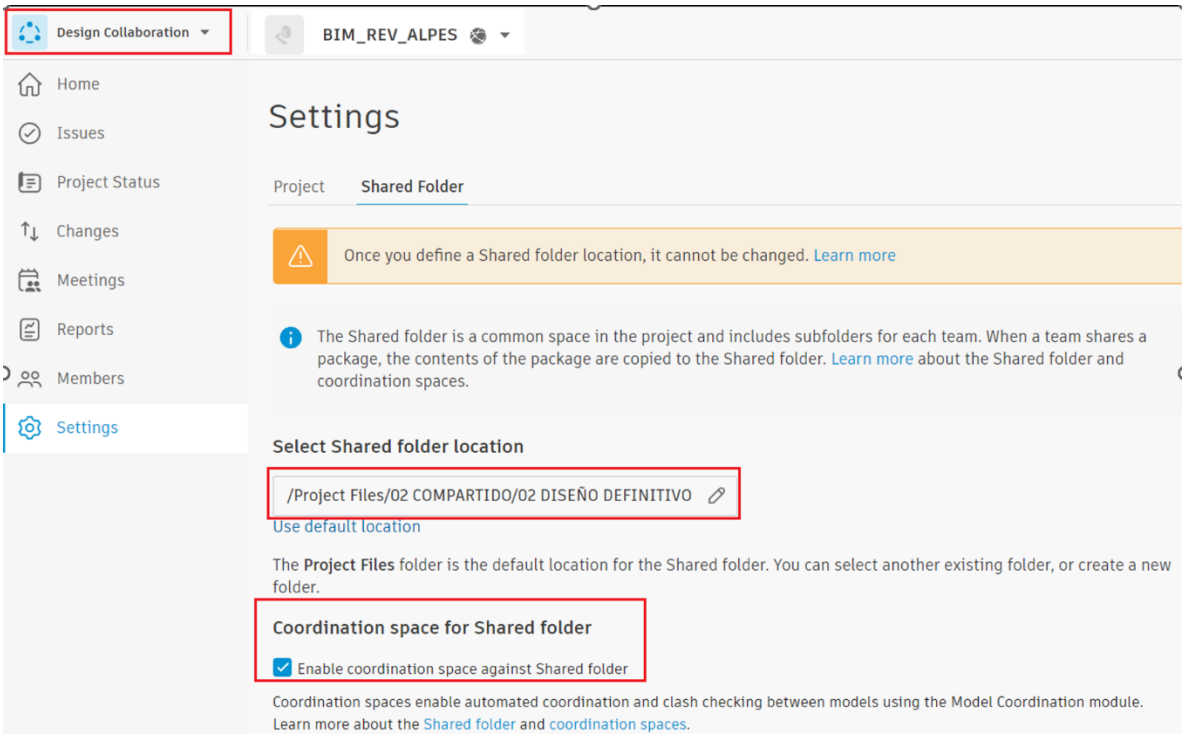
Fuente: propia

Uno de los recursos valiosos que posee ACC es la "Colaboración de diseño", que permite minimizar las tareas redundantes, mejorar la eficiencia y acelerar la finalización del

proyecto. Al monitorear el progreso del diseño en el proyecto de principio a fin, se puede lograr una visión general de este más completa. También es posible distribuir datos de diseño en paquetes específicos con controles estrictos, gestionando sin esfuerzo los requisitos de datos de diseño del equipo del proyecto en la opción “Design Collaboration”.

El paso inicial es configurar la carpeta donde se almacenarán los modelos compartidos. También está disponible la opción de crear una subcarpeta para organizar los elementos. La Figura 83 ilustra la información mencionada anteriormente.

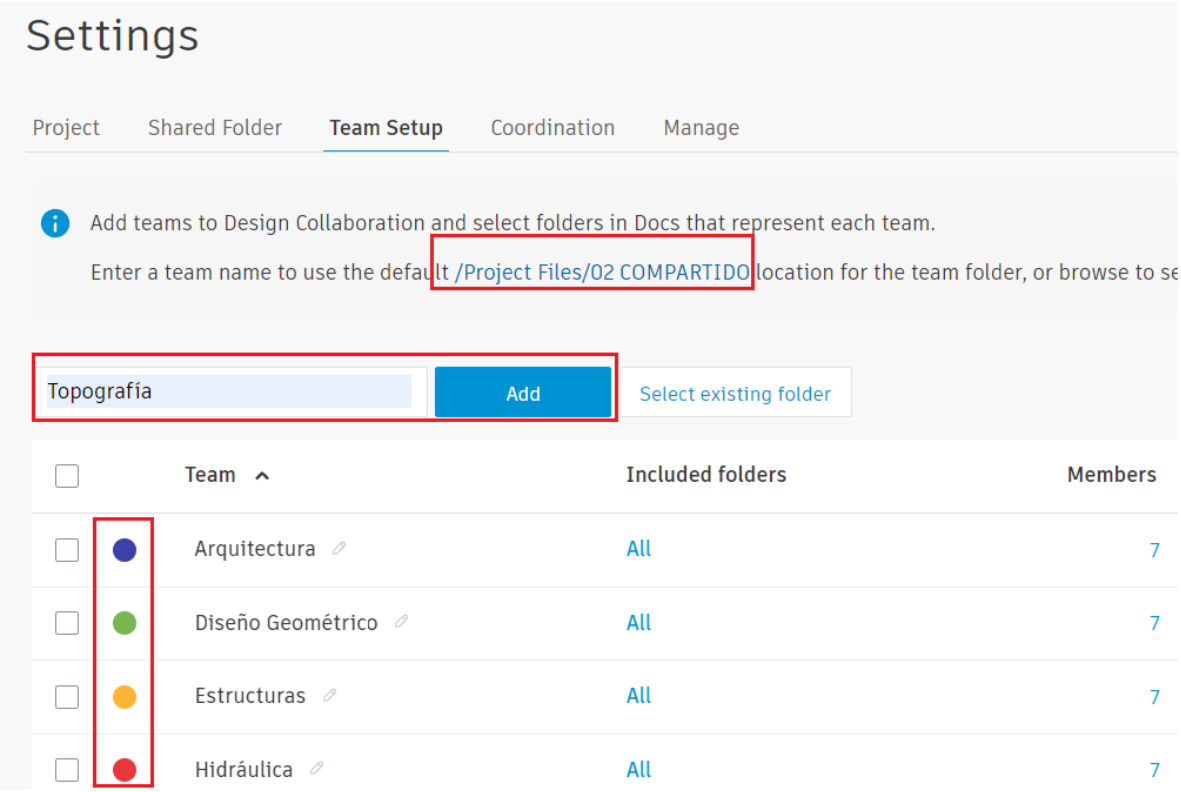
Figura 83 Configuración de Design Collaboration



Fuente: propia

Después de eso, se puede mencionar las distintas especialidades que están involucrados en el proyecto y que crean modelos, con el fin de conectarlos y trabajar colaborativamente sobre estos. Es posible formar equipos y designarles un color específico para facilitar la identificación de las respectivas especialidades. De la misma manera, la ruta del directorio dentro de la estructura de carpetas que se ha especificado en el BEP. La Figura 84 ilustra lo anteriormente mencionado.

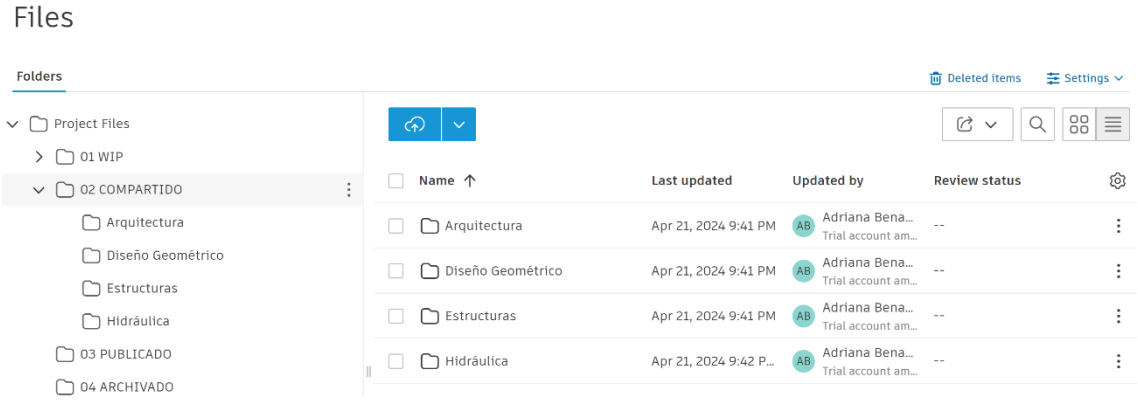
Figura 84 Configuración de equipos de colaboración



Fuente: propia

Todos los equipos creados, se les asigna automáticamente una carpeta en la ubicación definida anteriormente como se muestra en la Figura 85. Al interior de estas carpetas se crea una subcarpeta con el nombre “Consumed” donde se disponen los modelos.

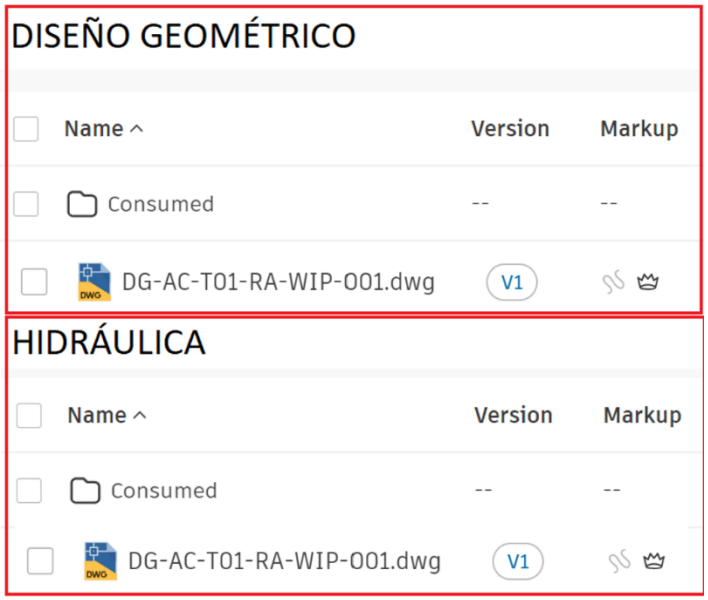
Figura 85 Creación de carpetas automáticas para colaboración



Fuente: propia

Es necesario hacer una copia de toda la información cuyo estado ya es aprobado por cada especialidad, esto debido a que ahora esa información cambiará a un estado compartido de acuerdo con lo indicado en la ISO 19650, los modelos e informes se copian en cada carpeta dependiendo la especialidad como se muestra en la Figura 86.

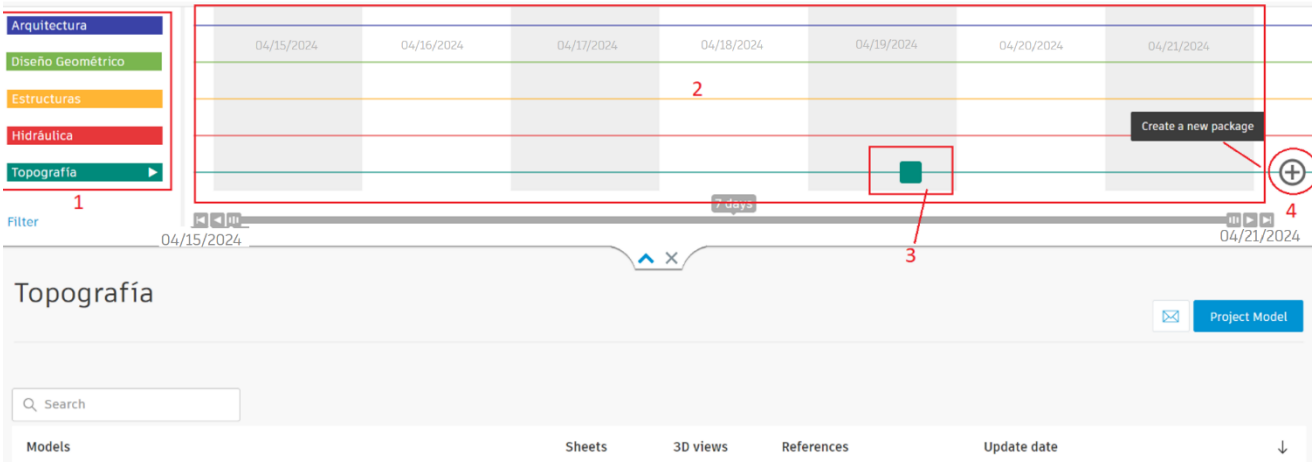
Figura 86 Modelos de trabajo por especialidades en Docs



Fuente: propia

De la siguiente figura se identifican los siguientes elementos.

Figura 87 Panel de creación de paquetes



Fuente: propia

Al costado izquierdo se encuentran todas las especialidades creadas previamente con los colores asignados y en forma de árbol de trabajo, frente a este listado, se encuentra una línea de tiempo (color verde), la cual permite controlar la fecha de creación del consumo de información o de la compartición de la información, cada paquete se crea acorde al color asignado de la especialidad, por ejemplo en la figura anterior, se creó un paquete de topografía el 19 de abril de 2024, al crearse se ubica en la línea de tiempo un recuadro que indica la creación y publicación de un paquete en específico, por último, aparece la opción de crear un nuevo paquete, el cual aparece después de seleccionar la especialidad requerida y dando click en el símbolo.

Al crear un paquete, aparecerán los siguientes datos para configurar

Figura 88 Creación de paquete de topografía

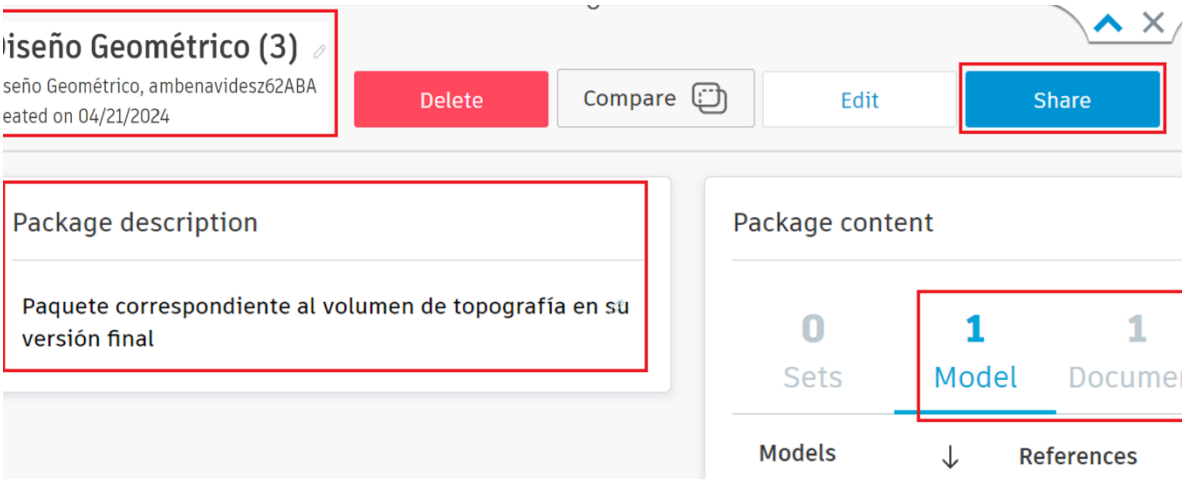


Fuente: (Cañón et al., 2023)

1. El nombre o la versión del paquete a publicar.
2. Espacio de selección de modelos, incluso puede seleccionar documentos por ejemplo informes o carteras.
3. Espacio de visualización del modelo.

Luego de creado y configurado el paquete, se procede a guardarlo, ahora está disponible el paquete para ser compartido, de manera general se puede observar que se compartirá un modelo y un archivo como se observa en la Figura 89.

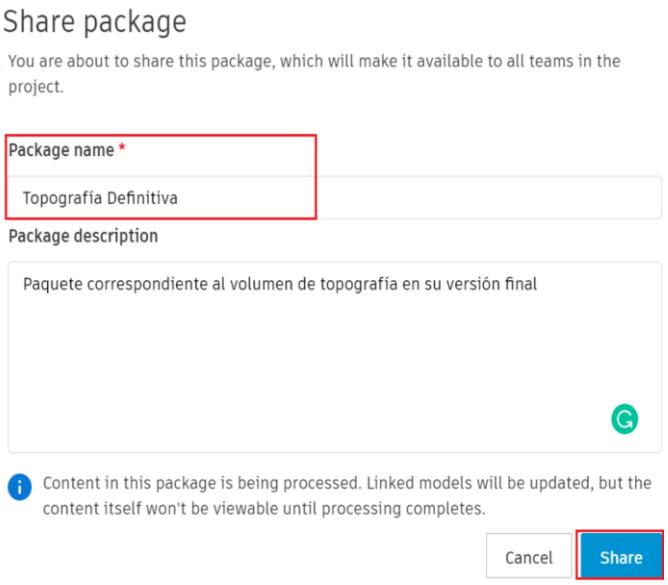
Figura 89 Creación de paquete de topografía



Fuente: propia

Es importante crear una descripción general para explicar el paquete creado, es importante verificar los modelos y documentos que se van a compartir. Finalmente se comparte el paquete de información.

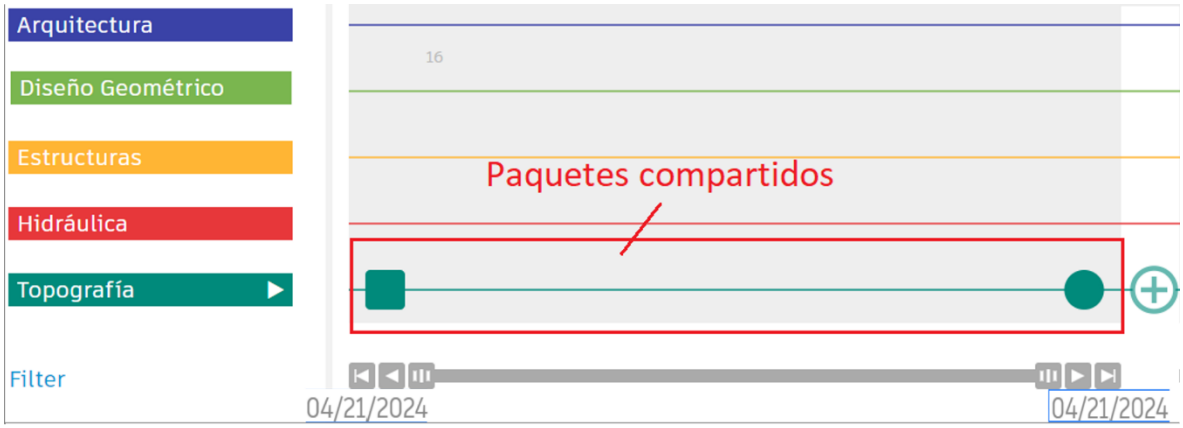
Figura 90 Opción de compartir paquete de información



Fuente: propia

Es posible verificar esta acción en el administrador principal como se observa en la Figura 91.

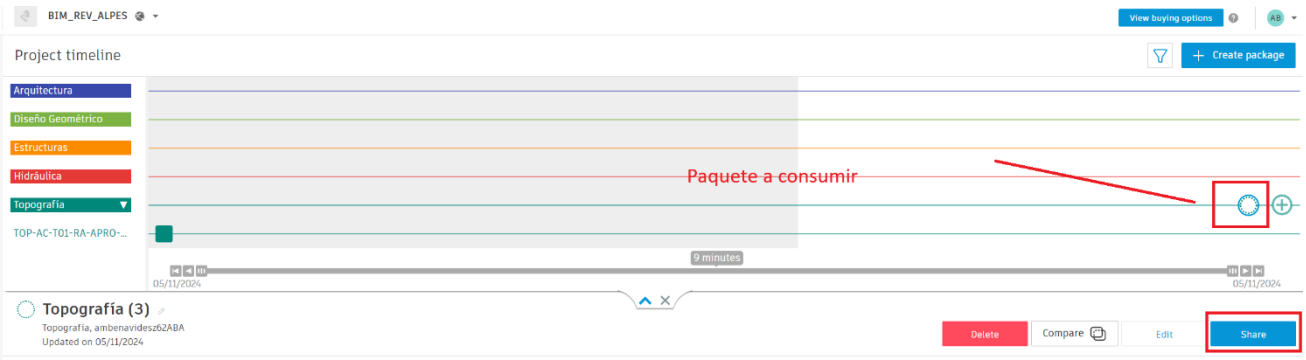
Figura 91 Visualización de paquetes compartidos



Fuente: propia

Para el proyecto, una vez creado el paquete de topografía, se procedió a crear un paquete por cada especialidad (hidráulica, pavimentos, presupuestos, etc), esto permite que las demás especialidades no solo puedan ver los modelos e informes, sino que puedan hacer uso de estos. Para poder usarlos, es necesario “consumir” el paquete, por ejemplo, cuando el componente hidráulico requiere el paquete de topografía, solo se necesita seleccionar dicho paquete y en seguida cliquear la opción “Consumir” como se indica a continuación.

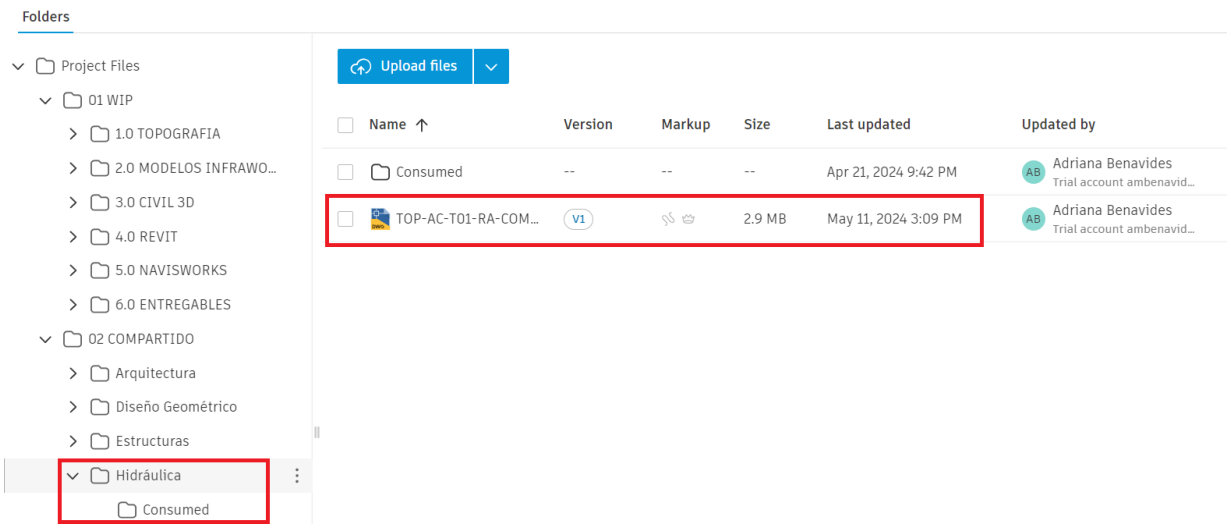
Figura 92 Consumo de paquete de topografía



Fuente: propia

Una vez creados los paquetes, en el árbol de trabajo del proyecto se ha creado la carpeta respectiva como se observa en la Figura 93.

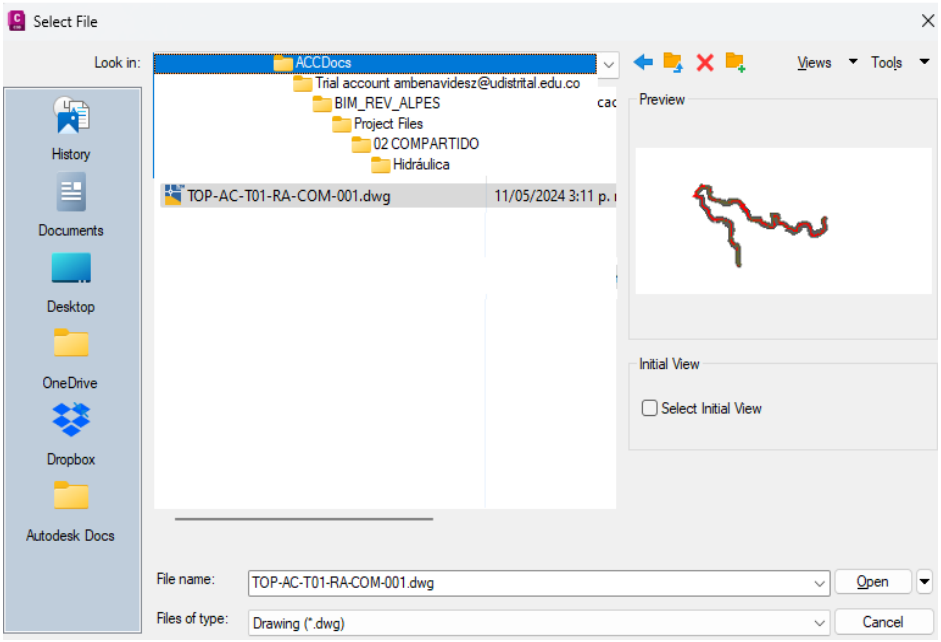
Figura 93 Espacio de consumo creado



Fuente: propia

A su vez, en Civil 3D es posible aperturar esta información, directamente desde la carpeta de Autodesk Docs del proyecto como se ilustra en la Figura 94.

Figura 94 Espacio de consumo creado en Civil 3D



Fuente: propia

Es esencial la creación de los paquetes, ya que a partir de estos se crean las referencias externas o los DataShortcuts, enlazando de forma directa los archivos a la carpeta de consumo.

Cuando un paquete fue “consumido” o empleado por una especialidad, se puede ver el modelo donde puede seleccionar el cargue del modelo como se observa en la Figura 95.

Figura 95 Poción de visualización del modelo del proyecto



Fuente: propia

Es importante tener en cuenta que cuando acceda al modelo, encontrará los datos que ha utilizado. Puede alternar estos modelos para verlos individualmente. El modelo se puede ver de conformidad con el color de la especialidad, por ejemplo, si el componente hidráulico es rojo se verá como en la Figura 96.

Alternativamente, puedes ver los modelos 3D que se han configurado para visualizar, para el ejemplo del proyecto, tanto el modelo hidráulico como el topográfico.

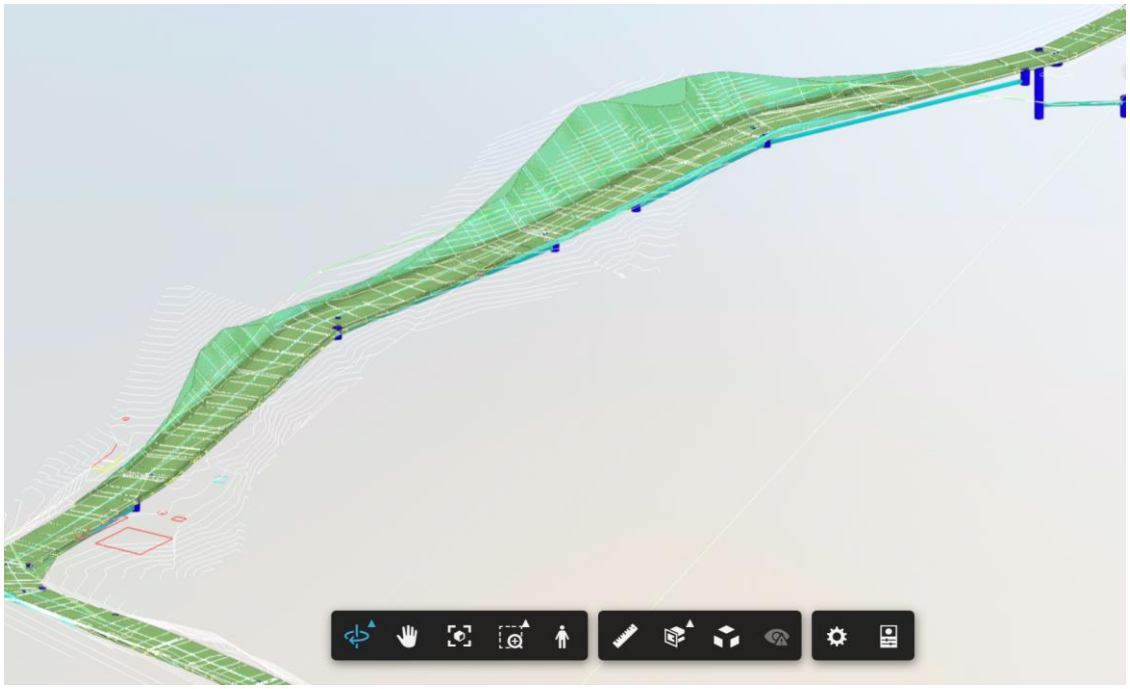
Figura 96 Consumo de información en proyecto modelo



Fuente: propia

Al cargar todos los modelos requeridos puede verificar la sincronización del proyecto por especialidades, esto es necesario para el proceso de coordinación de los modelos. Una vez agregado el diseño geométrico al hidráulico se observa así.

Figura 97 Sincronización de consumo de información en proyecto modelo

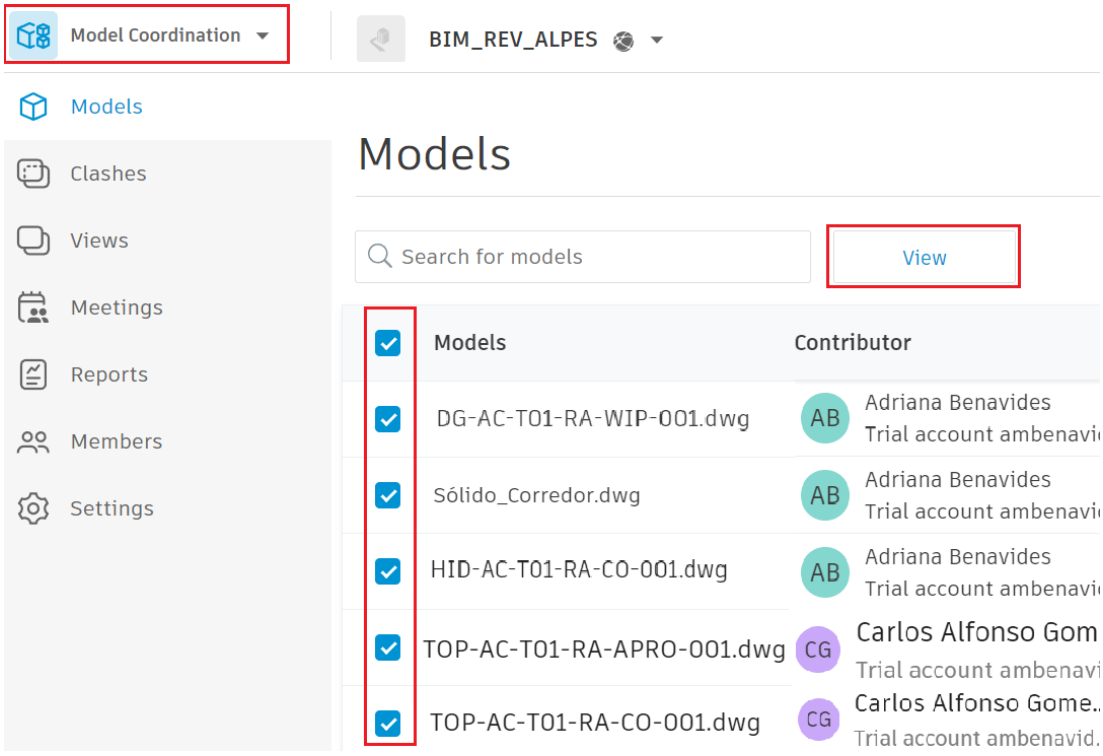


Fuente: propia

Posterior a la creación y consumo de los paquetes, haciendo uso de la herramienta de “Model Coordination” en ACC, se puede no solo visualizar sino revisar todos los modelos del proyecto, adicionalmente se corre el proceso de detección de conflictos o incidencias entre especialidades. Se debe realizar la coordinación entre especialidades, de acuerdo con lo establecido en el BEP, para el proyecto se realizó la coordinación del proyecto geométrico e hidráulico y topográfico. Se puede coordinar múltiples especialidades a fin de evitar demoras o reprocesos en el proceso constructivo.

Dentro del espacio “Model Coordination”, una vez seleccionados los modelos existentes, para el proyecto, la topografía, el diseño geométrico, el hidráulico, adicionalmente el sólido del corredor se procede a verlos de manera conjunta dando clic en la opción “Vista”.

Figura 98 Modelo de coordinación



Fuente: propia

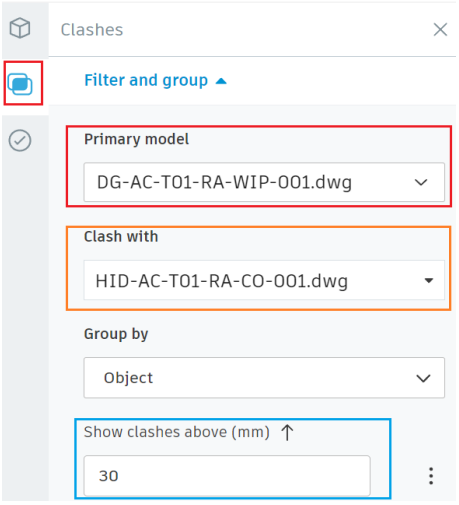
El proceso de coordinación es única y exclusivamente para identificar incidencias o colisiones entre especialidades, no con fines de corregir dichos errores. El proceso para

ello es informar y registrar las incidencias, posteriormente serán notificados los diseñadores quienes deberán hacer los ajustes pertinentes, una vez corregidos y actualizados se deben nuevamente compartir y volver a crear los paquetes de información para finalmente realizar un nuevo modelo de coordinación, así sucesivamente hasta tanto no existan más incidencias entre las especialidades.

Sin duda, una de las aplicaciones potentes del módulo de coordinación de modelos, es el detector de colisiones o “Clashes”. Es posible cargar modelos RVT, DWG, NWC e IFC para esta función, seleccionando el espacio de colisiones se detecta de manera automática cualquier conflicto existente entre dichos modelos. A partir de estas colisiones, se marcan los conflictos y crear incidencias para resolver con mayor detalle o de igual manera puede determinar como una “No incidencia” en caso de no requerir una acción (Cañón et al., 2023)

Con el fin de realizar la coordinación en el proyecto, accediendo a la herramienta Clashes, se indica el modelo principal (rojo) y el modelo secundario (naranja) para identificar las colisiones, también se puede indicar la tolerancia admisible que por lo general es en mm, para el proyecto, se realizó el proceso entre los modelos hidráulicos y geométricos con una tolerancia de 30mm como se indica en la Figura 99.

Figura 99 Opciones de configuración de colisiones



Fuente: propia

Como resultado, se encontraron un total de (8) interferencias. De color rojo se resaltan aquellos elementos que presentan colisiones con la especialidad, adicionalmente en un panel lateral izquierdo, en la parte inferior, se muestran las interferencias detectadas individualmente, al seleccionar una o todas, se visualiza un poco más oscuro en los mismos colores tal como se observa en la Figura 100.

Figura 100 Interferencia entre diseño hidráulico y geométrico

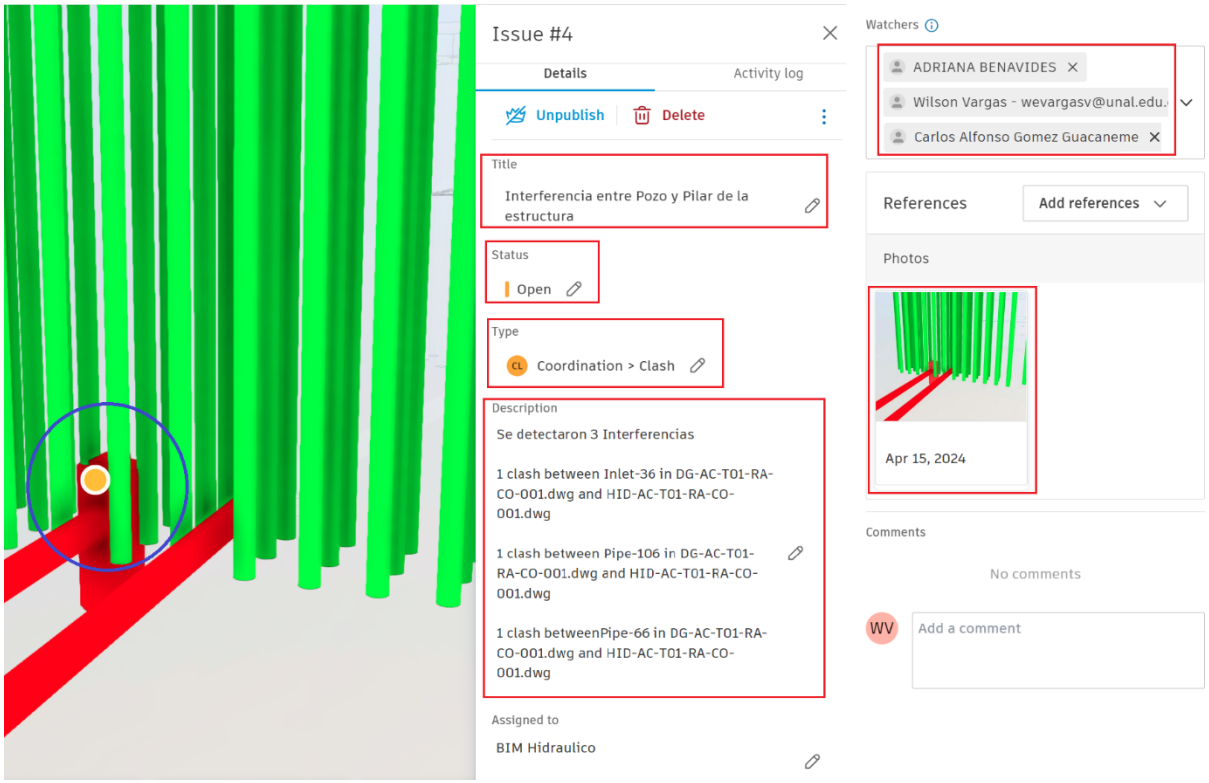


Fuente: propia

Una vez reconocida la interferencia, se procede a marcarla y abrir una incidencia, para ello en la parte lateral izquierda se presenta la opción “Crear incidencia” (Create issue). Una vez hecho esto, en pantalla se selecciona el punto de interferencia, automáticamente se crea un pin y se apertura una ventana al costado derecho mostrando la configuración de la incidencia.

En este panel se procede a configurar campos como el estado, el nombre, el tipo de interferencia, el rol al que se le asigna la incidencia así puede incluir notas adicionales que den soporte a la incidencia, al final se presenta una vista en miniatura que facilita el entendimiento de la interferencia encontrada. Adicionalmente puede exportar la interferencia en formato pdf, dando clique sobre el icono (⋮). La Figura 101 presenta las configuraciones establecidas para la anterior interferencia.

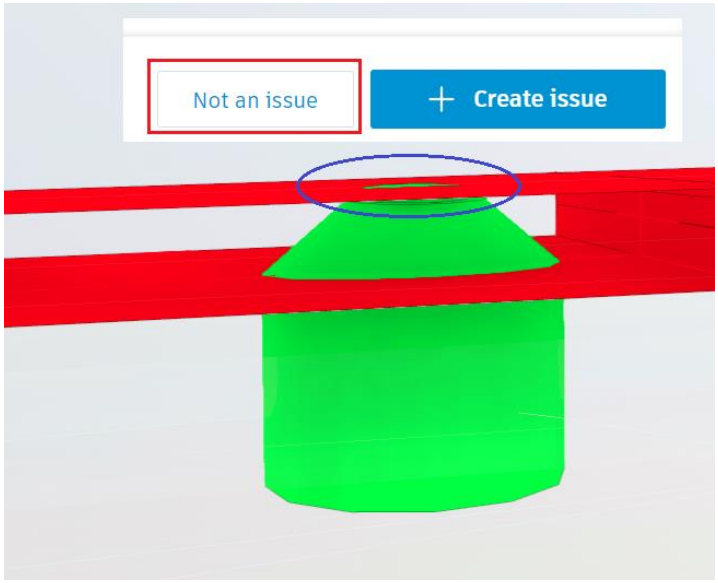
Figura 101 Configuración de interferencias encontradas



Fuente: propia

En ocasiones puede pasar que las incidencias están enmarcadas dentro del nivel de tolerancia establecido, al suceder esto, se debe marcar como una no incidencia como se muestra en la Figura 102. Este proceso se debe realizar de manera manual pasando una a una las incidencias encontradas.

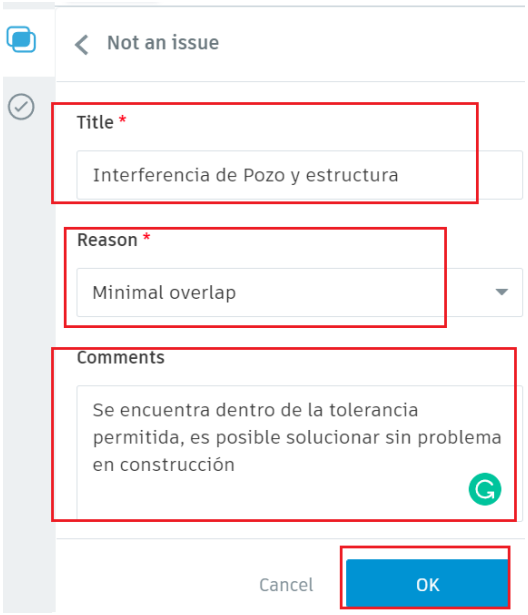
Figura 102 Interferencia que no implica una incidencia



Fuente: propia

Al igual que una incidencia, en una no incidencia se apertura un panel donde se indica porque razón no es una incidencia seleccionando algunas opciones predeterminadas disponibles, también un espacio de detalle para poner una descripción de la razón como se muestra en la Figura 103.

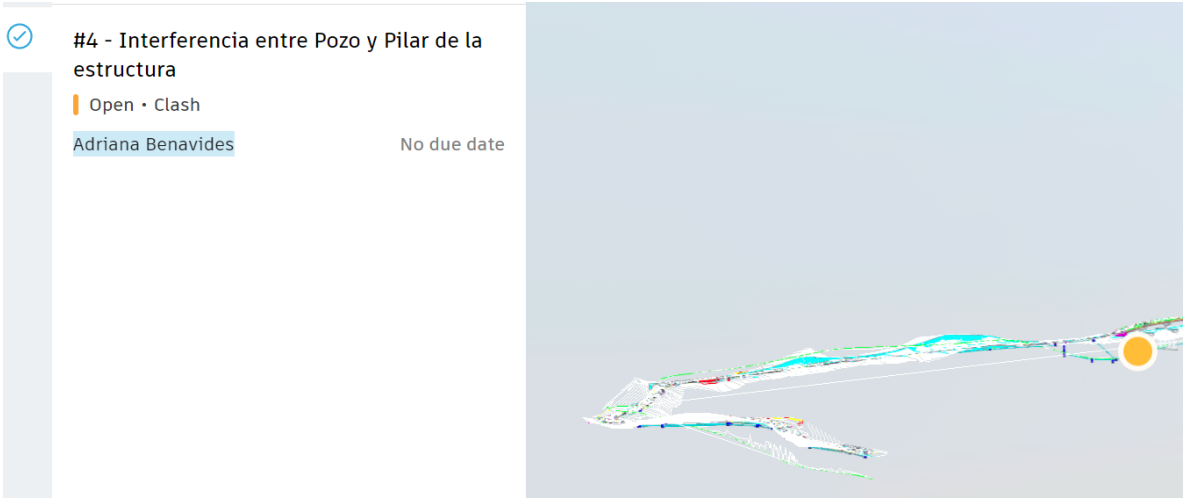
Figura 103 Configuración de una no incidencia



Fuente: propia

Las interferencias quedarán registradas en la siguiente pestaña, como se observa a continuación.

Figura 104 Compilación de interferencias



Fuente: propia

Una vez cada rol o especialista encargado de cada interferencia dé solución a cada una de ellas, procederá a cargar nuevamente el modelo definitivo de la especialidad en el espacio determinado para la coordinación de modelos, para que nuevamente el coordinador realice la verificación de interferencias y así una vez confirmada la coordinación satisfactoria entre todos los modelos presentes, estará lista la información para cambiar de estado y proceder a la generación de la documentación respectiva (Cañón et al., 2023).

7.2.2. Documentación y exportación de modelos

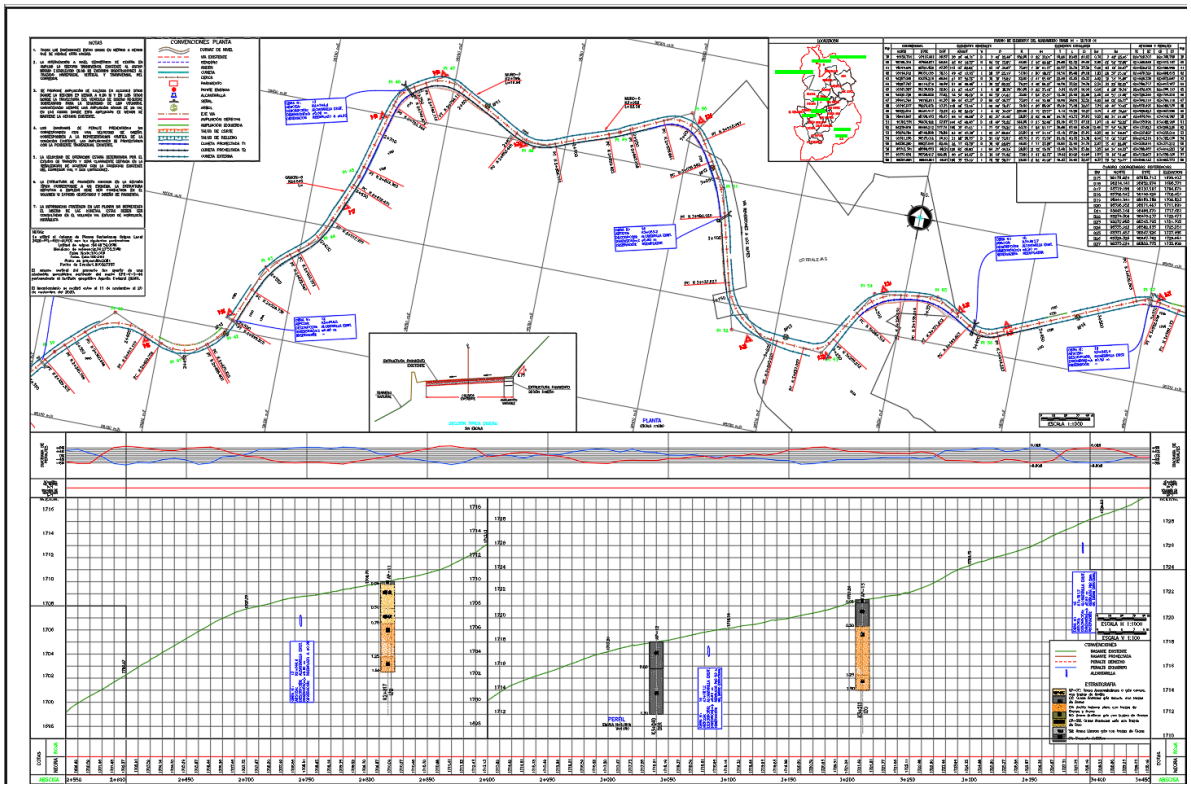
La versión final de cada especialidad contiene los diseños de detalle, y este es un punto crucial en la metodología BIM donde se emite la información generada y modelada en las herramientas de autoría de diseño. La creación de planos e informes es una tarea crucial que no se limitará a un archivo físico, sino que se almacenará en un CDE. Esta información servirá como base para futuras fases del mismo activo, incluyendo su construcción, operación y mantenimiento, e incluso su demolición. Es importante señalar que, en cada fase del ciclo de vida del activo, nueva información va surgiendo y se va

complementando, robusteciendo los modelos y actualizando cada vez mas la información.

Es de suma importancia preparar la documentación para la generación de planos, estilos de alineamientos, etiquetas, plantillas de planos y todos los demás elementos que aseguren el pleno cumplimiento de los requisitos tanto técnicos como de interpretación de la información. Es importante recordar que todos estos tipos de extensiones y plantillas deben ubicarse en las respectivas carpetas dentro del CDE, y es importante alejarse de la idea de trabajar solo y comenzar a considerar la colaboración.

En la Figura 105 se muestran los planos definitivos planta perfil del diseño geométrico y el hidráulico.

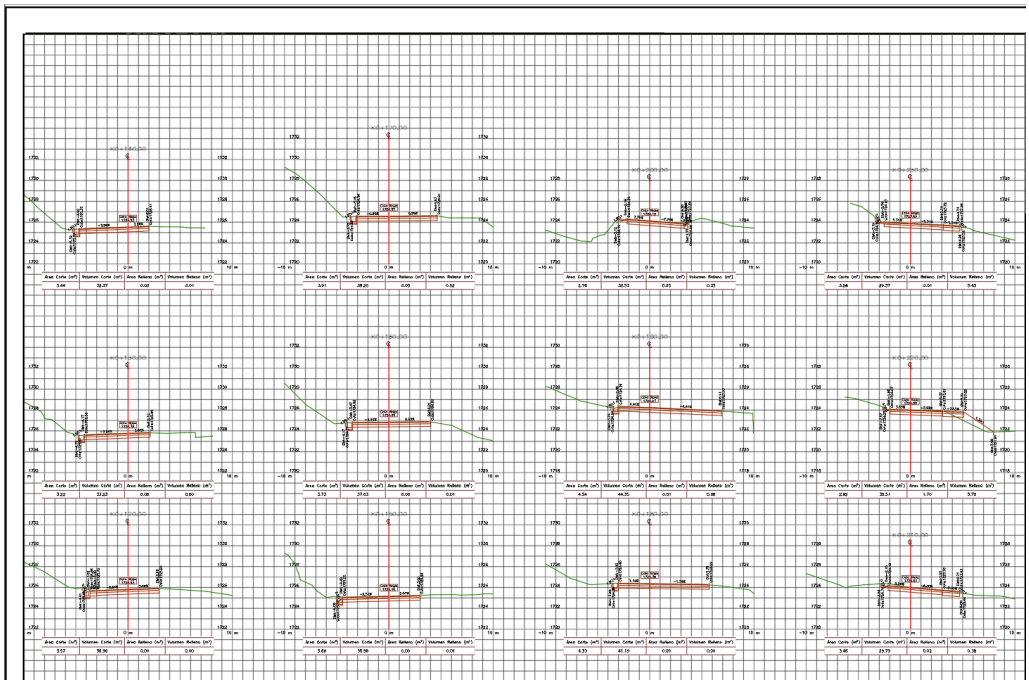
Figura 105 Planos planta perfil definitivos



Fuente: propia

De la misma manera se presentan las secciones transversales del diseño geométrico

Figura 106 Planos secciones transversales



Fuente: propia

Aparte de los planos generados directamente en Civil 3D, serán necesarios los generados en otras plataformas de diseño como Revit, Tekla u otras plataformas BIM empleadas durante la elaboración del proyecto.

Es importante recordar que en el proceso de documentación no sólo se incluyen los planos o modelos de las especialidades, sino que también es imprescindible acompañarla de informes técnicos y ejecutivos, carteras de cálculo, localización del trazado, ubicación de elementos, movimiento de tierras, cantidades de materiales y toda información adicional relevante con el fin de asegurar la ejecución exitosa del trabajo.

Los modelos creados con parámetros específicos deben entregarse en formatos IFC o formatos abiertos para ser utilizados por los agentes involucrados en las posteriores fases de desarrollo (4D, 5D, 6D, entre otros, mantenimiento y operación del activo), incluso si este no es el caso.

Algunas carteras del componente geométrico se presentan a continuación.

Figura 107 Cartera de elementos de curvas horizontales

ESTUDIOS Y DISEÑOS DE VÍAS PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DE CUNDINAMARCA (ICCU)
TRAMO REVENTONES – LOS ALPES

SECTOR 1

CARTERA ELEMENTOS HORIZONTALES

ELEMENTOS DEL ALINEAMIENTO "3340-TRAMO 01 - SECTOR 01"

PI#	COORDENADAS		ELEMENTOS GENERALES				ELEMENTOS CIRCULARES							ABSCISAS Y PERALTES				PI#
	NORTE	ESTE	DIST	AZIMUT	S	D	R	Gc	T	L	CI	Ext	Dc	TE	EC	CE	ET	
PIP	97198.172	96732.963													K0+000.000			PIP
1	97210.169	96729.643	12.448	44° 31' 59.11"	I	19° 08' 19.55"	59.8	5° 57' 29.28"	10.082	19.975	19.883	0.844	19° 08' 19.55"	K0+002.367		K0+022.342		1
2	97242.154	96707.573	38.86	25° 23' 39.57"	D	39° 17' 57.67"	46.9	° 13' 18.05"	16.746	32.169	31.542	2.9	39° 17' 57.67"	K0+034.375		K0+066.544		2
3	97319.454	96713.92	77.56	4° 41' 37.24"	I	66° 52' 53.79"	58.6	° 58' 39.92"	38.699	68.404	64.586	11.625	66° 52' 53.79"	K0+088.658		K0+157.062		3
4	97366.932	96623.916	101.759	97° 48' 43.44"	D	96° 41' 22.01"	18	° 11' 00.63"	20.235	30.376	26.898	9.082	96° 41' 22.01"	K0+199.887		K0+230.263		4
5	97409.721	96653.326	51.922	34° 30' 05.45"	I	13° 16' 04.38"	64	° 53' 42.92"	7.443	14.82	14.787	0.431	13° 16' 04.38"	K0+254.506		K0+269.327		5
6	97448.382	96668.348	41.477	21° 14' 01.07"	I	9° 56' 29.16"	337.6	° 10' 10.97"	29.362	58.577	58.504	1.274	9° 56' 29.16"	K0+273.997		K0+332.575		6
7	97505.32	96679.717	58.061	11° 17' 31.91"	D	72° 25' 42.23"	21	° 43' 43.06"	15.378	26.546	24.814	5.028	72° 25' 42.23"	K0+345.896		K0+372.442		7
8	97511.033	96731.64	52.236	83° 43' 14.14"	I	9° 12' 55.25"	190	° 18' 05.61"	15.313	30.559	30.526	0.616	9° 12' 55.25"	K0+393.988		K0+424.548		8
9	97530.822	96803.021	74.074	74° 30' 18.89"	D	23° 38' 26.72"	73.9	° 46' 31.16"	15.466	30.492	30.276	1.601	23° 38' 26.72"	K0+467.843		K0+498.335		9
10	97523.275	96855.742	53.258	98° 08' 45.62"	I	10° 50' 03.77"	237.9	° 14' 27.02"	22.56	44.986	44.919	1.067	10° 50' 03.77"	K0+513.567		K0+558.553		10
11	97525.972	96913.166	57.487	87° 18' 41.85"	D	29° 07' 03.48"	74	° 46' 27.38"	19.219	37.607	37.203	2.455	29° 07' 03.48"	K0+574.261		K0+611.868		11
12	97490.329	96984.877	80.08	16° 25' 45.33"	I	65° 47' 01.96"	60.7	° 56' 38.14"	39.256	69.692	65.927	11.588	65° 47' 01.96"	K0+633.472		K0+703.165		12
13	97536.266	97040.891	72.442	50° 38' 43.37"	D	11° 28' 01.30"	193	° 17' 48.73"	19.378	38.627	38.562	0.97	11° 28' 01.30"	K0+716.972		K0+755.599		13
14	97580.062	97123.652	93.634	62° 06' 44.67"	D	76° 39' 28.89"	30.5	° 52' 43.08"	24.113	40.807	37.831	8.38	76° 39' 28.89"	K0+805.743		K0+846.550		14
15	97510.902	97184.259	91.958	38° 46' 13.56"	I	12° 22' 54.40"	25	° 17' 31.14"	37.332	49.036	41.545	19.929	12° 22' 54.40"	K0+877.064		K0+926.100		15
16	97610.059	97233.457	110.69	26° 23' 19.16"	D	50° 51' 37.72"	65.4	° 52' 33.93"	31.097	58.054	56.167	7.017	50° 51' 37.72"	K0+968.362		K1+026.416		16
17	97623.382	97292.333	60.366	77° 14' 56.88"	D	68° 29' 13.82"	31.81	° 48' 04.50"	21.654	38.024	35.8	6.671	68° 29' 13.82"	K1+034.032		K1+072.055		17
18	97551.424	97341.353	87.068	45° 44' 10.71"	D	3° 43' 16.98"	340.319	° 10' 06.09"	11.056	22.104	22.1	0.18	3° 43' 16.98"	K1+126.414		K1+148.518		18
19	97496.775	97373.598	63.453	49° 27' 27.69"	I	82° 36' 36.76"	31.815	° 48' 03.55"	27.955	45.871	42	10.537	82° 36' 36.76"	K1+172.960		K1+218.831		19
20	97515.783	97418.048	48.343	66° 50' 50.93"	I	55° 56' 20.67"	37.4	° 31' 55.27"	19.86	36.514	35.081	4.946	55° 56' 20.67"	K1+219.359		K1+255.873		20
21	97554.101	97425.433	39.023	10° 54' 30.26"	I	20° 10' 05.36"	70.1	° 49' 02.46"	12.467	24.675	24.548	1.1	20° 10' 05.36"	K1+262.570		K1+287.245		21
22	97588.984	97419.746	35.343	50° 44' 24.90"	D	3° 58' 09.39"	113	° 30' 25.36"	3.916	7.828	7.827	0.068	3° 58' 09.39"	K1+306.206		K1+314.034		22
23	97626.35	97416.286	37.526	54° 42' 34.29"	I	28° 57' 18.32"	63.7	° 53' 58.10"	16.447	32.192	31.85	2.089	28° 57' 18.32"	K1+331.197		K1+363.389		23
24	97662.736	97391.516	44.017	25° 45' 15.98"	D	48° 26' 26.28"	42	° 21' 51.18"	18.893	35.509	34.461	4.054	48° 26' 26.28"	K1+372.065		K1+407.574		24
25	97738.805	97410.757	78.464	14° 11' 42.25"	D	7° 42' 40.86"	452.12	° 07' 36.22"	30.471	60.85	60.804	1.026	7° 42' 40.86"	K1+436.674		K1+497.524		25
26	97861.827	97460.227	132.596	21° 54' 23.12"	I	20° 25' 55.67"	130.4	° 26' 21.79"	23.5	46.502	46.256	2.101	20° 25' 55.67"	K1+576.148		K1+622.650		26

Fuente: propia

Figura 108 Cartera de movimiento de tierras

ESTUDIOS Y DISEÑOS DE VÍAS PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DE CUNDINAMARCA (ICCU)
TRAMO REVENTONES – LOS ALPES
SECTOR 1
MOVIMIENTO DE TIERRA

Station	Área de Corte (m²)	Área de Relleno (m²)	Volumen de Corte (m³)	Volumen de Relleno (m³)	Cum. Volumen Acumulado Corte (m³)	Volumen Acumulado Relleno (m³)
K0+000	3.11	0	0	0	0	0
K0+010	3.31	0.07	31.9	0.39	31.9	0.39
K0+020	3.29	0.02	32.74	0.49	64.63	0.88
K0+030	3.07	0.01	31.76	0.19	96.39	1.08
K0+040	3.25	0	31.6	0.11	127.99	1.18
K0+050	3.3	0	32.55	0.07	160.54	1.26
K0+060	3.22	0	32.28	0.05	192.82	1.31
K0+070	2.92	0.03	30.5	0.17	223.32	1.47
K0+080	2.72	0.03	28.18	0.28	251.51	1.75
K0+090	3.36	0.02	30.35	0.21	281.86	1.97
K0+100	3.61	0	34.51	0.08	316.36	2.04
K0+110	3.93	0	37.3	0	353.67	2.04
K0+120	3.57	0	36.96	0	390.63	2.04
K0+130	3.22	0	33.23	0	423.86	2.04
K0+140	3.44	0	32.37	0.01	456.23	2.06
K0+150	3.86	0	35.58	0.01	491.82	2.07
K0+160	3.73	0	37.63	0.01	529.45	2.09
K0+170	3.91	0	38.2	0.02	567.65	2.1
K0+180	4.33	0	41.19	0	608.84	2.11
K0+190	4.54	0.01	44.35	0.08	653.19	2.19
K0+200	2.76	0.05	36.53	0.33	689.72	2.52
K0+210	3.46	0.02	29.79	0.38	719.51	2.9
K0+220	2.92	1.7	30.51	5.7	750.01	8.6
K0+230	3.28	0	29.37	5.65	779.38	14.24

Fuente: propia

Figura 109 Cartera de cantidad de materiales

ESTUDIOS Y DISEÑOS DE VÍAS PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DE CUNDINAMARCA (ICCU)
TRAMO REVENTONES – LOS ALPES

SECTOR 1

PAVIMENTOS

	TIPO	AREA	VOLUMEN	ACUMULADO
K0+000				
	MDC-19	0.36	0	0
	BG	0.9	0	0
	SBG	1.49	0	0
K0+010				
	MDC-19	0.39	3.73	3.73
	BG	0.97	9.33	9.33
	SBG	1.65	15.72	15.72
K0+020				
	MDC-19	0.4	3.92	7.65
	BG	0.99	9.8	19.14
	SBG	1.69	16.75	32.47
K0+030				
	MDC-19	0.38	3.87	11.53
	BG	0.95	9.68	28.82
	SBG	1.62	16.57	49.04
K0+040				
	MDC-19	0.38	3.8	15.33
	BG	0.96	9.5	38.32
	SBG	1.65	16.24	65.28
K0+050				
	MDC-19	0.38	3.8	19.12
	BG	0.96	9.49	47.81
	SBG	1.65	16.23	81.51

Fuente: propia

Al exportar modelos en formato IFC, considere otras posibilidades como configuración de pset, estilos de tabla y más. Además, asegúrese de verificar el sistema de coordenadas que está utilizando, ya que Revit maneja las coordenadas del proyecto, compartidas, locales o de puntos del terreno, según la ubicación espacial del elemento exportado.

Los parámetros del proyecto se pueden ajustar según el campo y los requisitos para maximizar la cantidad de datos que se pueden exportar, ya que es un aspecto crucial de esta metodología. De la misma manera, proporcione todos los detalles necesarios sobre los componentes estructurales y sus propiedades, dimensiones y demás información pertinente para la fase de construcción.

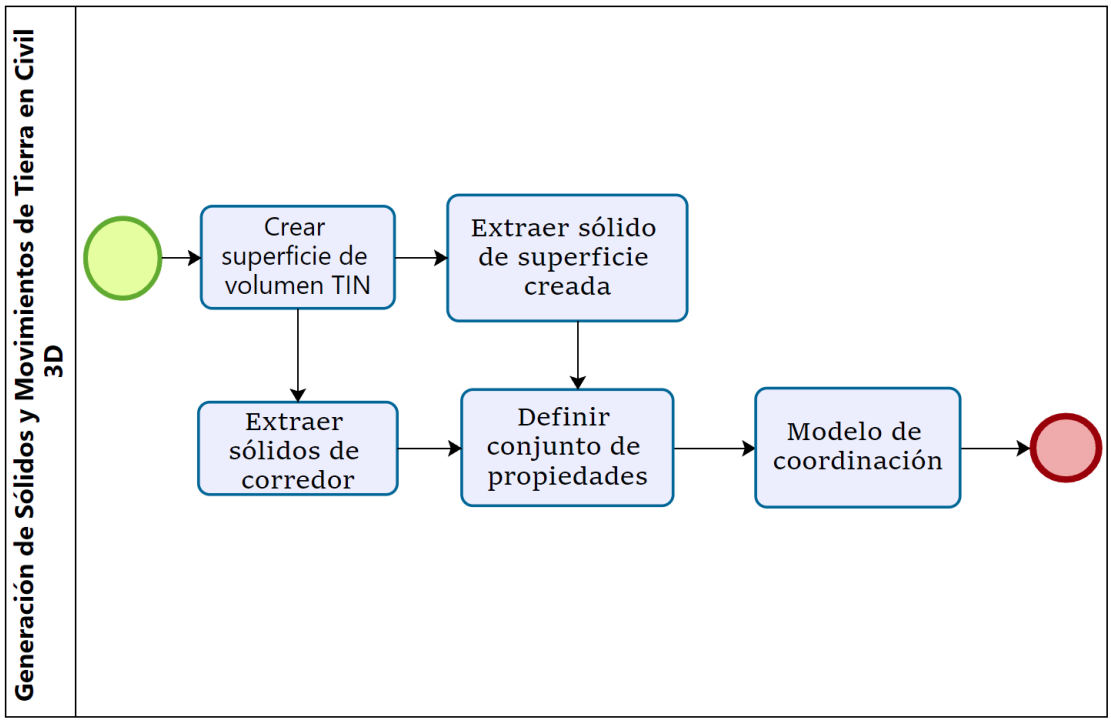
Los modelos de Revit deben exportarse primero y luego se debe hacer lo mismo en Civil 3D. Es crucial exportar las distintas partes del proyecto lineal de la manera más efectiva,

ya que servirán como base para la planificación, revisión y coordinación de los Modelos. El paso inicial es crear los sólidos de corte y relleno que resultaron durante el proceso de diseño.

Como es ampliamente reconocido, todas las obras lineales producen cortes y rellenos, sin importar su cantidad, es crucial mapearlos a partir de superficies que fueron creadas directamente desde el corredor, lo que comúnmente se conoce como superficie superior o final del corredor.

Si bien es importante entender que estos elementos no poseen propiedades inherentes asignadas por Civil, es necesario establecer un conjunto de parámetros y configuraciones que permitan a otras plataformas reconocer entidades para la medición y cuantificación de proyectos. Esto facilitará los procesos de planificación y revisión de una manera más eficiente. Este flujo de trabajo que se presenta a continuación sirve para preparar los modelos para el intercambio de información con otras plataformas.

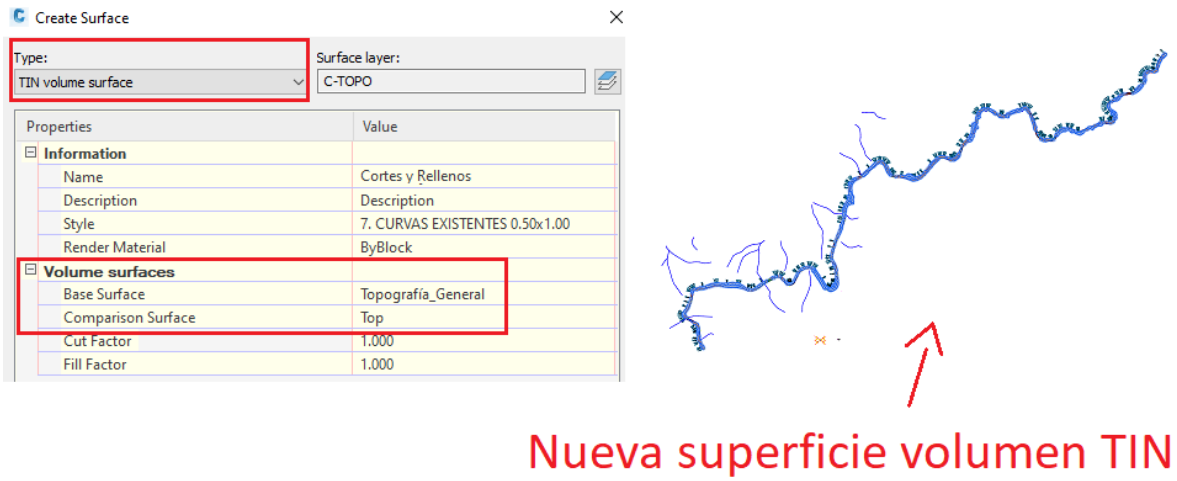
Figura 110 Generación de sólidos y movimientos de tierra para modelo de coordinación



Fuente: *(Cañón et al., 2023)*

Como podemos observar, lo primero a realizar es la creación de una superficie de volumen TIN, donde se seleccionará como base la superficie topográfica general y como superficie de comparación seleccionaremos la superficie TOP del corredor, si cuenta con factores de expansión en corte y relleno, puede indicarlos. Como resultado se obtuvo una nueva superficie donde se resalta los cortes y rellenos con respecto a la superficie inicial, tal como se observa en la Figura 111.

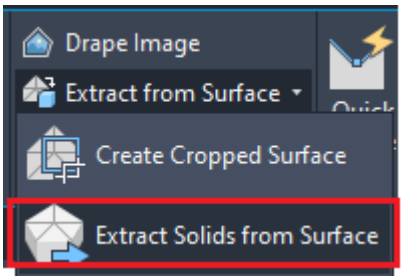
Figura 111 Generación de superficie Volumen TIN



Fuente: propia

Posterior a la creación de la superficie de volumen TIN, se procedió a extraer sólidos de superficie como se indica en la Figura 112.

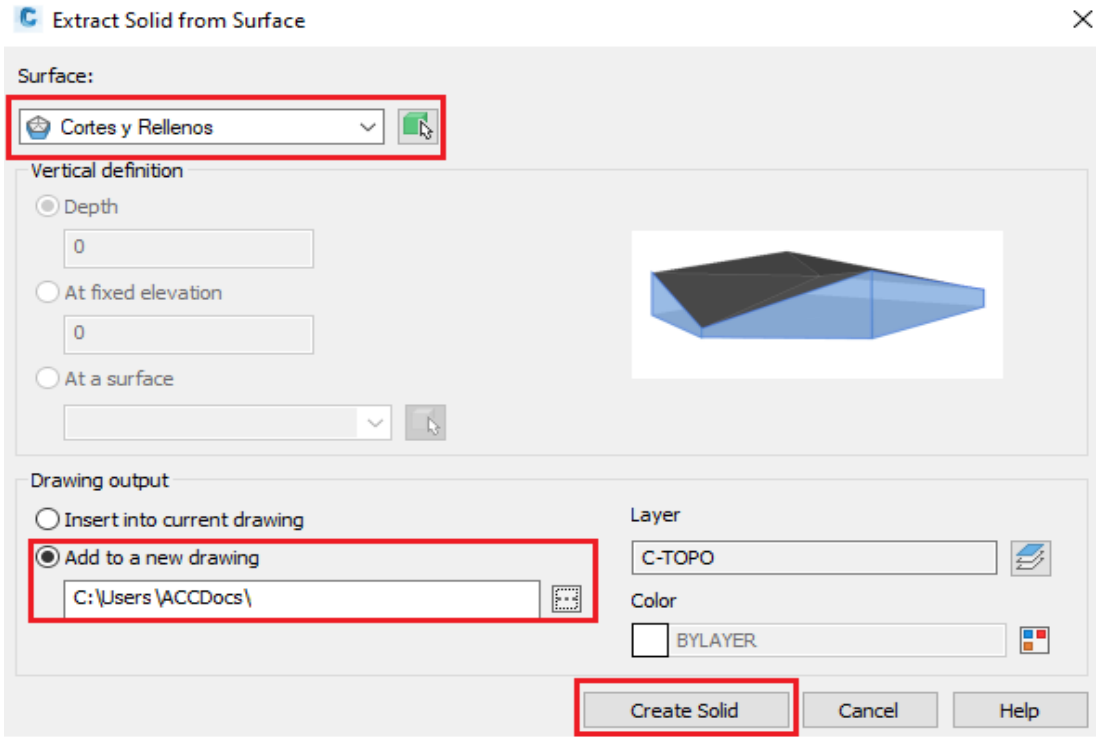
Figura 112 Opción extraer sólidos de superficie



Fuente: propia

Es importante configurar la extracción de sólidos, para el proyecto se creó en un archivo nuevo como se indica en la Figura 113.

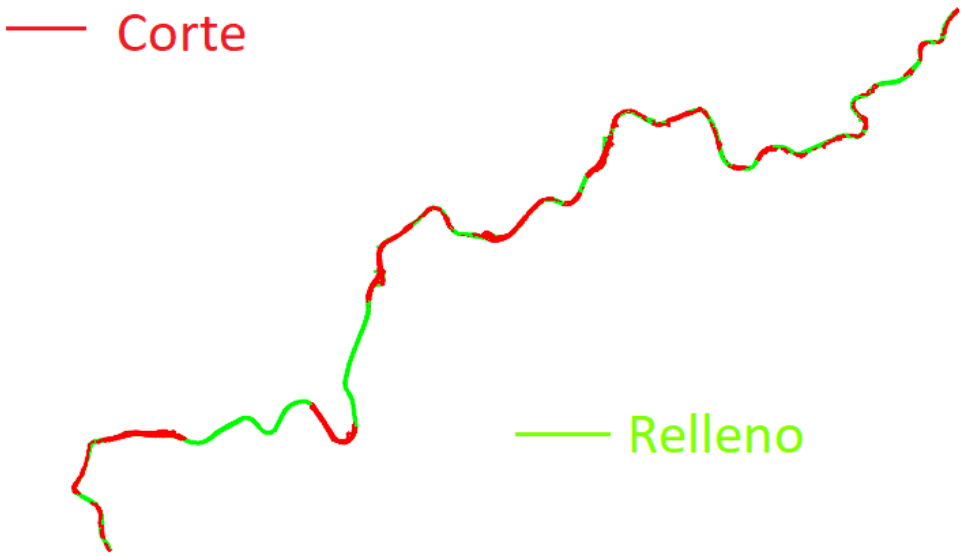
Figura 113 Configuración de extracción de sólidos Civil 3D



Fuente: propia

Es necesario generar dos sólidos correspondientes al corte y al relleno. El color rojo representa el corte y el verde el relleno, tal como se visualiza en la Figura 114.

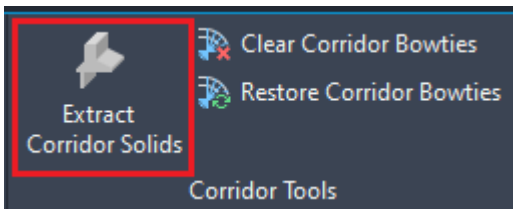
Figura 114 Sólidos de corte y relleno



Fuente: propia

Por otra parte, también se procedió a extraer los sólido del corredor, mediante la opción “Extraer sólidos de corredor” como se muestra en la Figura 115.

Figura 115 Opción extraer sólidos de corredor



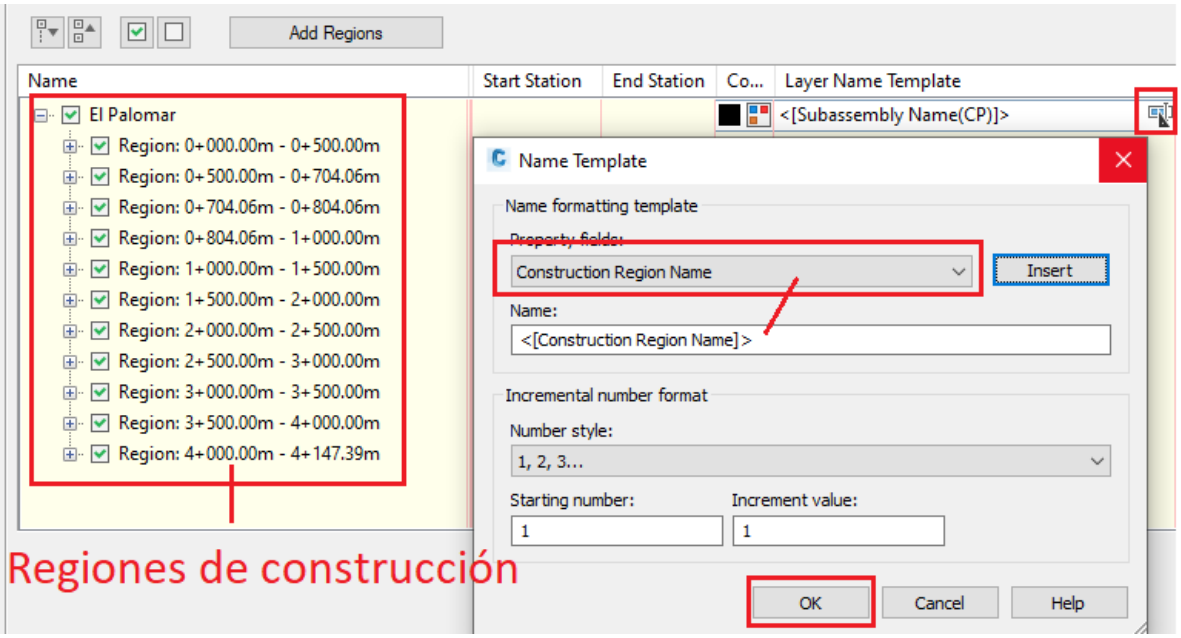
Fuente: propia

Como recomendación para el modelo de coordinación se recomienda segmentar los elementos del corredor al igual que la superficie por abscisado, esto dará la impresión de un proceso constructivo paulatino y por abscisas (como normalmente se haría) así no se cambie de ensamblaje o sección transversal, para el proyecto, se segmentó el corredor cada 500 metros. Para diferenciar las capas se asignaron colores diferentes a la carpeta asfáltica, la base y la subbase con el fin de ver los volúmenes por capa y por tramos (cada 500 m).

También es posible indicar el nombre por región para ser exportada, es decir, se han renombrado las regiones como K0+000-K0+500 y así sucesivamente cada 500 m, en la siguiente figura se indica que se exporte la región con el nombre de la misma región. De esta manera se exportarán la región 1 de k0+000-k0+500 y tendrá el mismo nombre, así con cada región creada.

No se recomienda hacer una obra lineal tan larga, es decir, sin segmentar el corredor, como ya se mencionó es más común realizarlos en tramos constructivos de 100 o 500 metros o como se pretenda realizar el proceso de construcción. Así al final se puede cubicar cada 500 metros la estructura de pavimento, las cantidades de otros elementos y los movimientos de tierra.

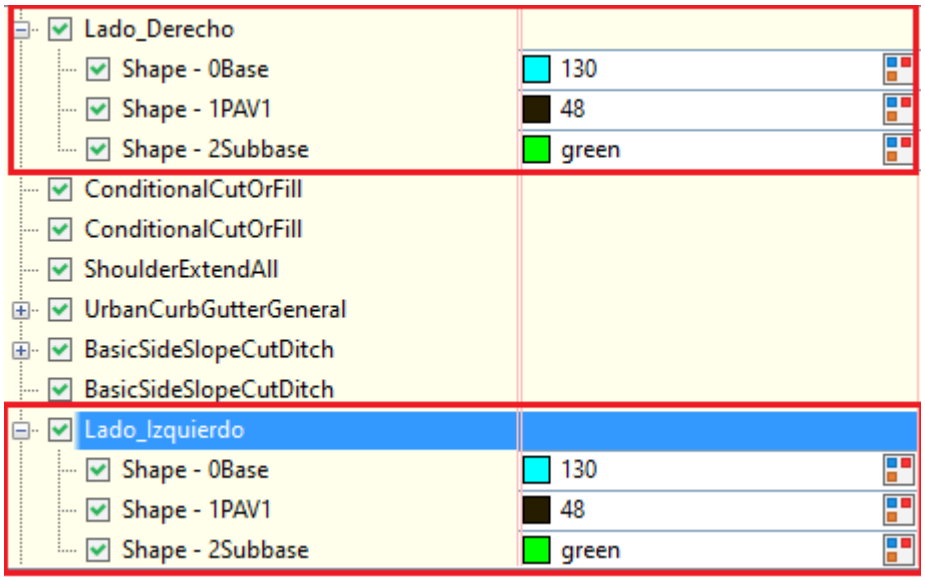
Figura 116 Configuración de extracción de sólidos de corredor – nombre de la región



Fuente: propia

La configuración de colores se observa en la Figura 117.

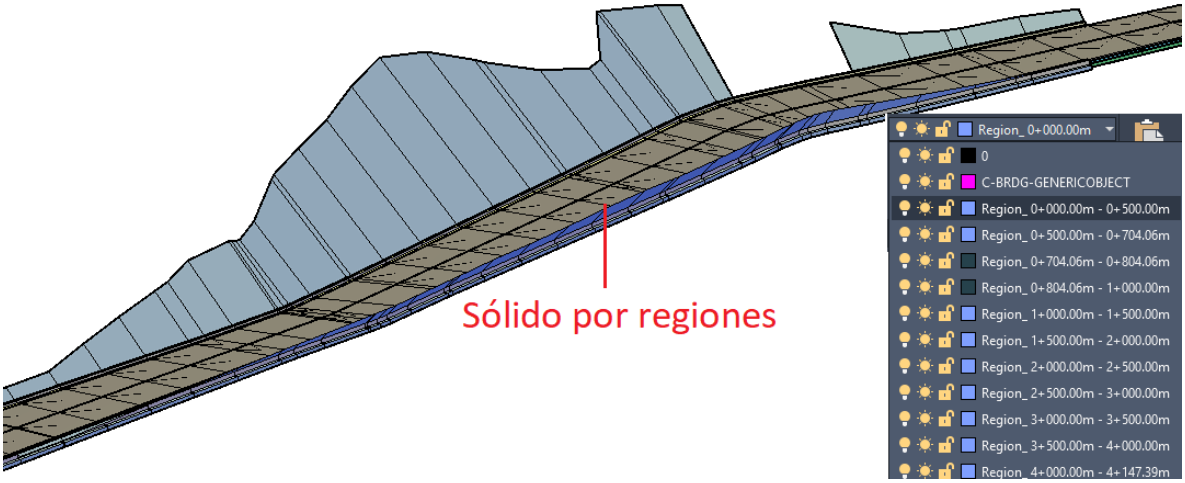
Figura 117 Configuración de colores para estructura de pavimento



Fuente: propia

El resultado se aprecia a continuación.

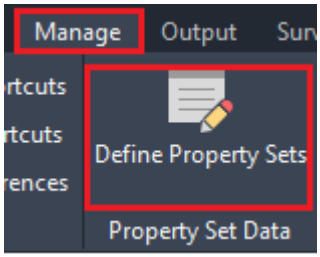
Figura 118 Sólidos de corredor



Fuente: propia

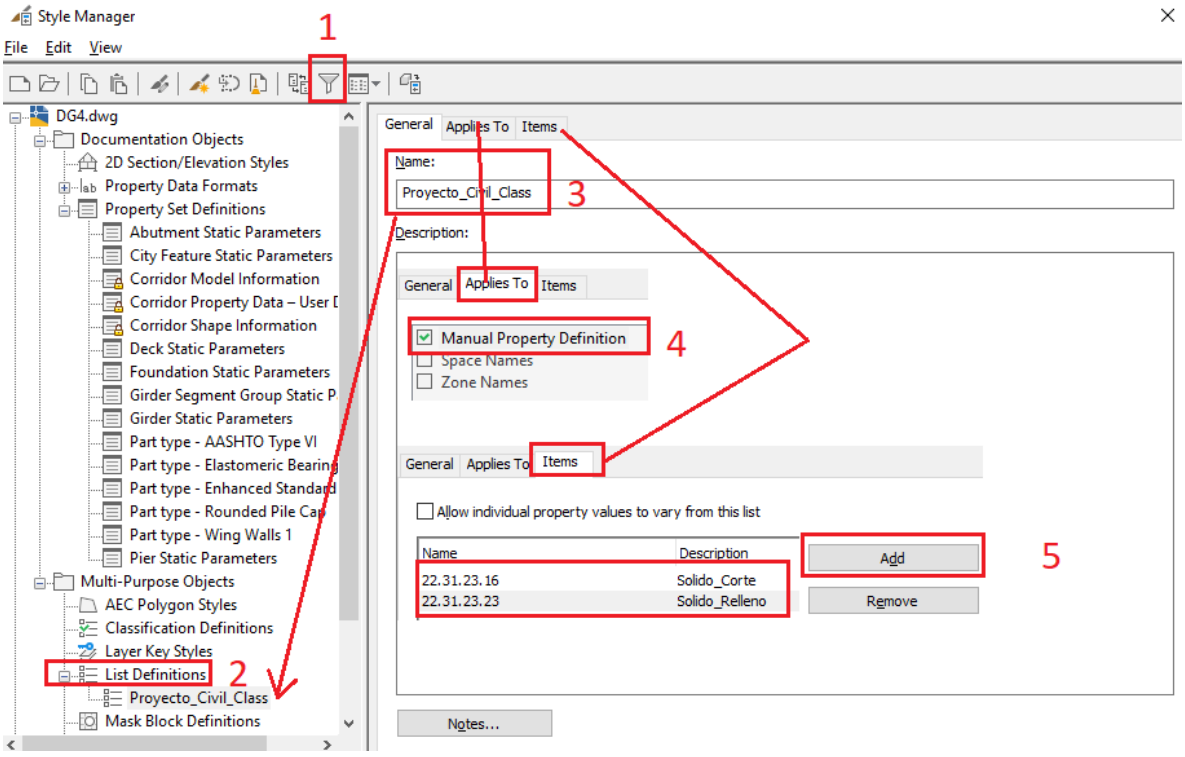
Una vez generados los respectivos sólidos viene una de las actividades clave de la metodología BIM, la cual es crear propiedades específicas del usuario ya que las propiedades de los sólidos son muy básicas y se requiere mucha más información (establecida en el BEP). Para ello fue necesario crear mediante el menú Manage >> Define Property Sets los siguientes campos de manera manual, allí se pueden emplear sistemas de clasificación, los cuales previamente se han declarado en el BEP.

Figura 119 Opción definir conjunto de propiedades



Fuente: propia

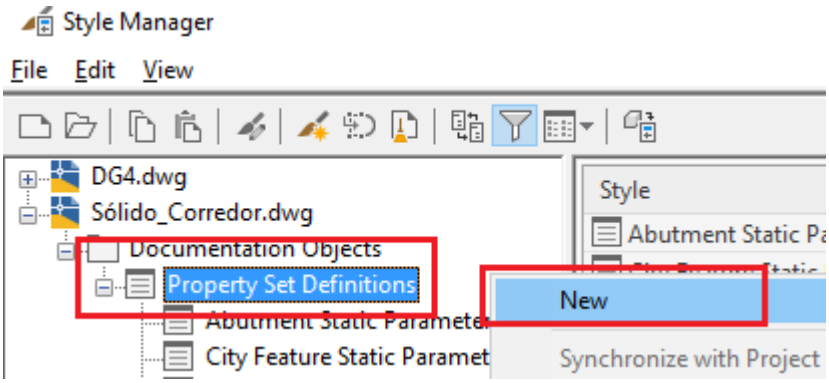
Figura 120 Configuración de conjunto de propiedades



Fuente: propia

Una vez creada la lista de definición, se procedió a crear las propiedades extendidas de los elementos o como se conoce comúnmente como Psets, ingresando nuevamente a Define Property Sets, en el apartado “Property Set Definition” dando clic derecho a la opción Nuevo como se observa en la Figura 121.

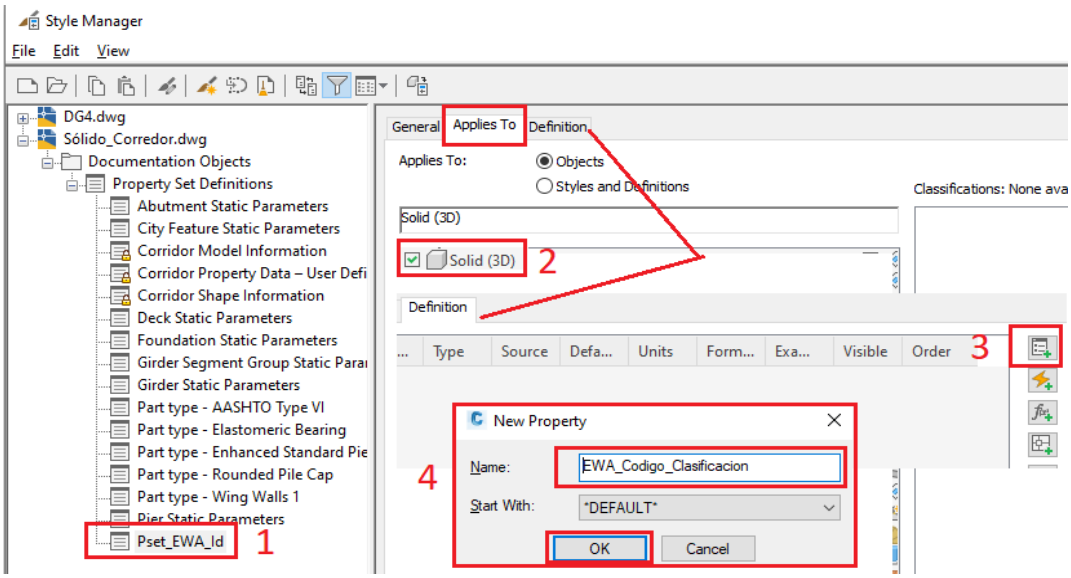
Figura 121 Creación de una Pset



Fuente: propia

Se crearon Pset como “Pset_EWA_Id” para indicar el id, en la pestaña Aplicar a, seleccionaremos la opción Sólido(3D), y en la pestaña Definición, crearemos una nueva definición, allí indicaremos el nombre “EWA_Codigo_Clasificacion” seguidamente OK. La Figura 122resume el proceso anterior.

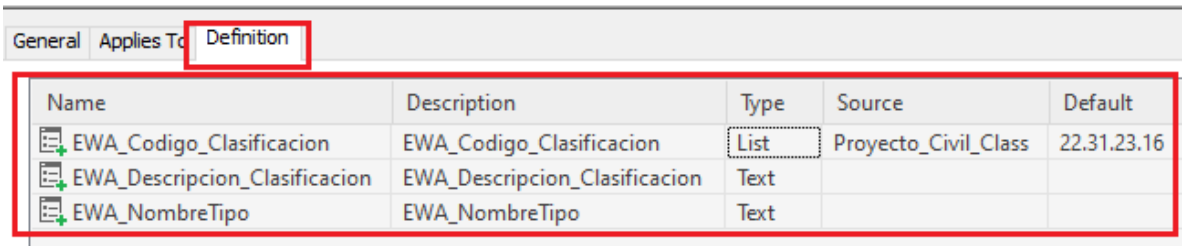
Figura 122 Creación de una Pset



Fuente: propia

Una vez creada la nueva propiedad, se le asignó el Tipo lista para que enliste el código de clasificación creado anteriormente. De igual manera se creó otra propiedad indicando la descripción de la clasificación, la cual fue nombrada como “EWA_Descripcion_Clasificacion” y se le asignó el tipo Texto, también fue necesario crear una propiedad llamada “EWA_NombreTipo” y tambien de Tipo Texto como se indica en la Figura 123.

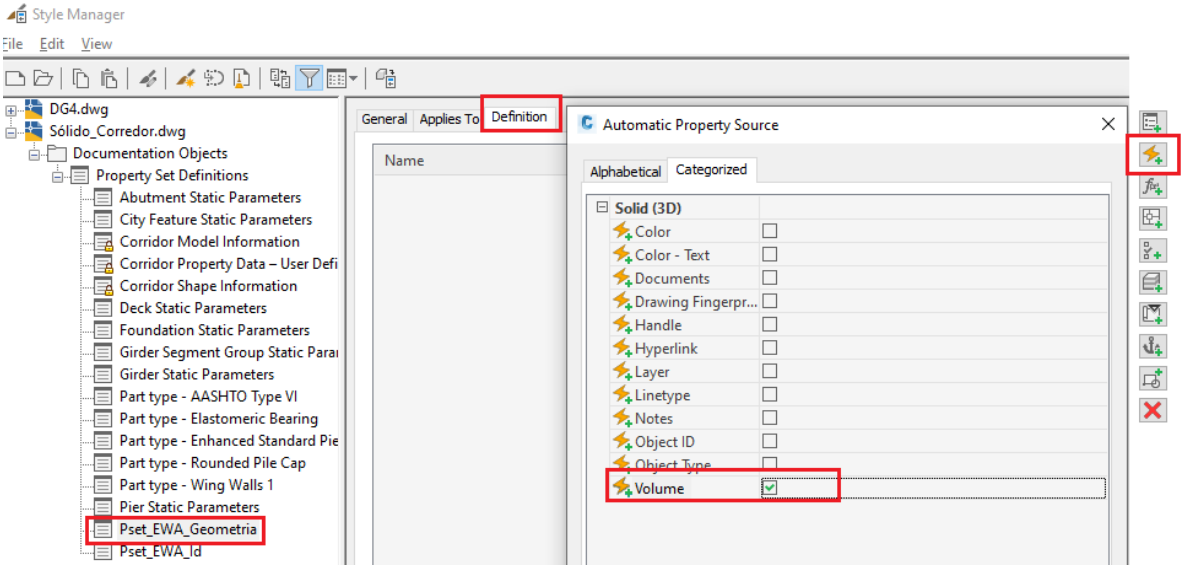
Figura 123 Definición de una Pset



Fuente: propia

Otra Pset creada fue la propiedad de volumen “Pset_EWA_Geometria”, la cual se aplicó a solidos 3D, la diferencia es que se seleccionó una propiedad automática generada por el mismo Civil 3D, esta propiedad será volumen como se observa en la siguiente Figura.

Figura 124 Origen automático de una Pset

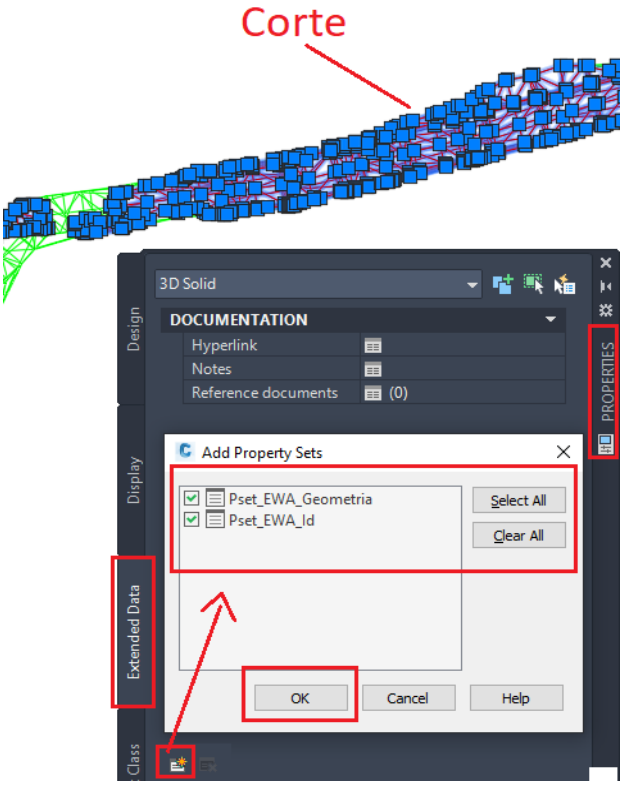


Fuente: propia

Al final se crearon un total de 57 Psets de acuerdo con lo establecido en el BEP.

Una vez creadas las propiedades, es necesario cargarlas a cada sólido generado, para esto, seleccionando el sólido, en las propiedades de este, se encuentra la pestaña Extended Data, al principio no se muestra nada de información, sin embargo, se debe seleccionar la opción de “Add Property Sets” allí se enlistarán las Psets creadas anteriormente, se deben checar aquellas que desea insertar como se muestra en la Figura 125.

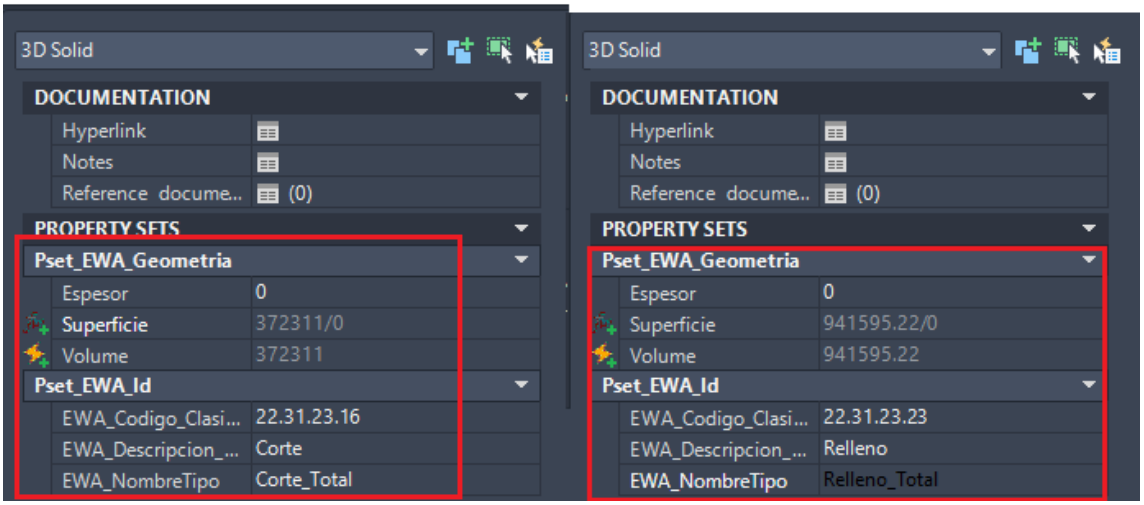
Figura 125 Propiedades extendidas del sólido de corte



Fuente: propia

Una vez agregadas las Pset, aparecerán de forma automática aquellos valores configurados y otras más serán necesarias diligenciarlas. El resultado es el siguiente.

Figura 126 Propiedades extendidas del sólido de corte



Fuente: propia

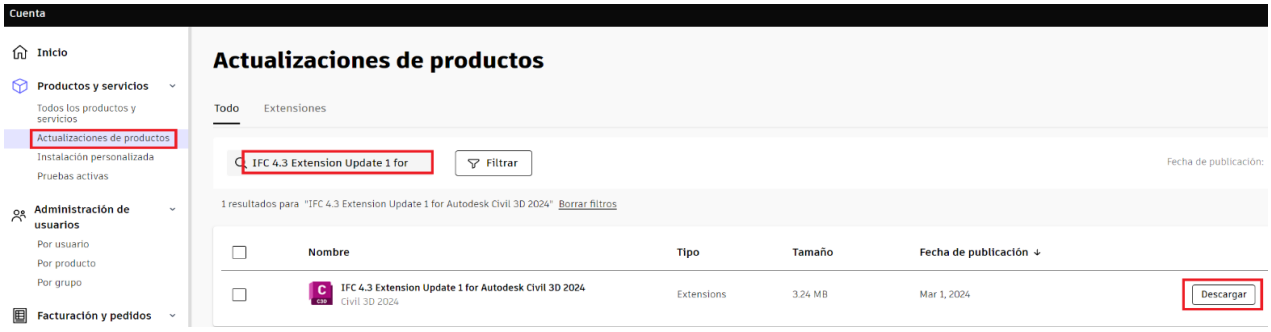
Esta acción se debe realizar con todos los sólidos generados en el modelo.

Tenga en cuenta que, para un mejor detalle, en el momento del diseño, puede dividir la estructura y nombrar por capas cada elemento, por ejemplo, puede crear un sólido de solo la base, otro de la subbase y otro de la capa de rodadura (se hizo asignando colores), puede hacerlo por carril o en general, de esta manera se preparan los elementos para hacer no solo la revisión de modelos sino la simulación constructiva mucho más realista.

De igual manera podrá crear mayor secciones en el corredor y hacerlo por ejemplo cada 500 metros, como ya se ha mencionado, así en el proceso constructivo se simulará cada 500 metros la excavación, luego la instalación de subbase, base y finalmente rodadura, y así sucesivamente. Explore todo el tipo de propiedades manuales, calculadas y en general todas las opciones disponibles, puede crear propiedades como nombre del proyecto, ubicación, lado, y otros tantos que crea conveniente y que haya establecido en el BEP, tanto más información se tenga mucho mejor, recuerde que el nivel de información también estará asociado al LOD (Cañón et al., 2023).

Finalizada la inclusión de propiedades a los elementos en Civil 3D, procedimos a exportar el archivo a formato IFC, para ello fue necesario descargar desde Autodesk el complemento denominado IFC 4.3 Extension Update 1 for Autodesk Civil 3D 2024, disponible en el menú de administrador de la cuenta Autodesk, en el panel de Actualizaciones de producto como se muestra en la Figura 127.

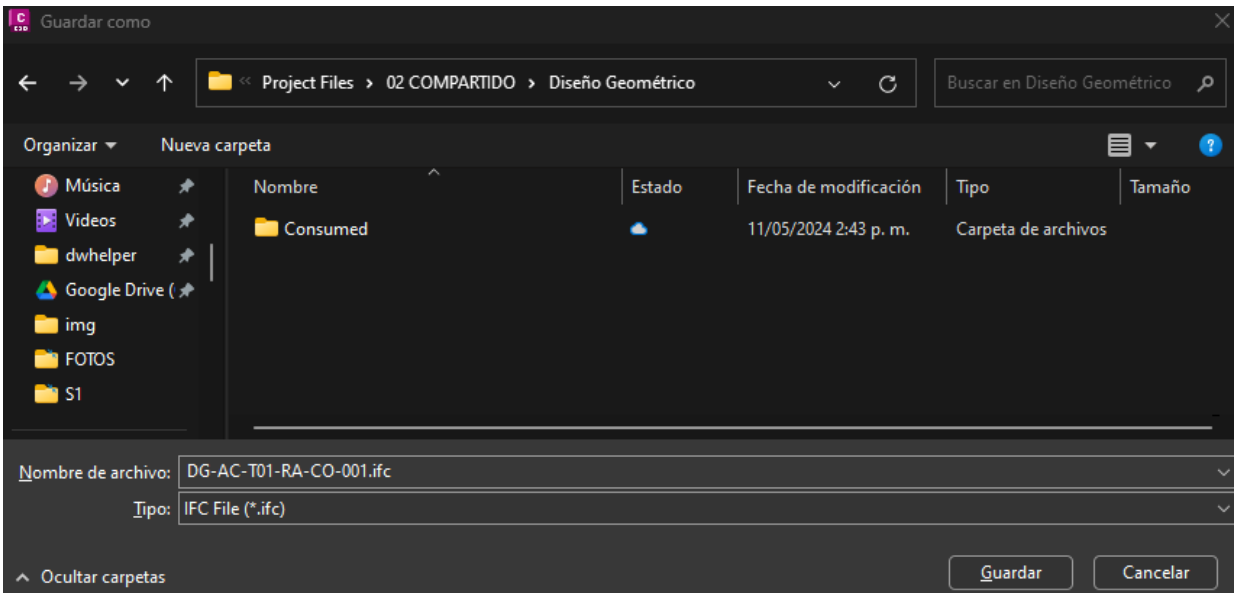
Figura 127 Descarga de complemento IFC 4.3 para Civil 3D 2024



Fuente: propia

Haciendo uso del comando “IFCINFRAEXPORT” se enruta a la carpeta de trabajo asignada.

Figura 128 Exportación en formato IFC del Corredor



Fuente: propia

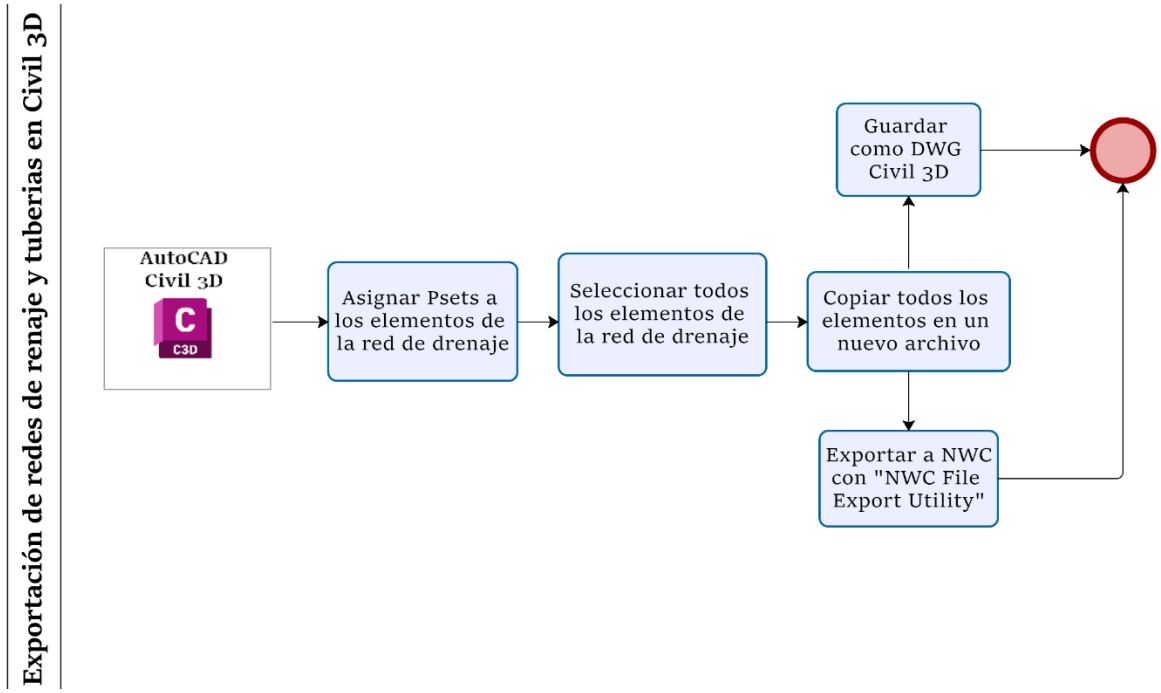
El archivo IFC se puede ver en cualquier visor como BIMcollab ZOOM, OPEN IFC o cualquier otro, y puede examinar los datos creados para asegurarse de que se ajusten a los requisitos establecidos. Además, puede explorar otras opciones y probar la posibilidad de vincular información adicional. El método más eficaz para establecer propiedades es mediante prueba y error, ya que no existe un estándar universalmente aceptado para determinar qué información debe contener un archivo IFC.

Los archivos y modelos ahora están preparados para su uso en otra dimensión BIM, como la planificación y los presupuestos. El proceso de coordinación comparte similitudes con el realizado en ACC, pero también puede utilizar plataformas externas como Synchro o Navisworks, además, puede crear una simulación del proceso de construcción de la obra lineal utilizando todos los archivos necesarios. Este documento no pretende instruir sobre cómo utilizar estas plataformas, sino mostrar demostrar algunas características de la herramienta Navisworks dentro del flujo de trabajo para

desarrollar la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial, para el proyecto en mención el proceso de coordinación también se llevó a cabo en el software NavisWorks.

Para terminar el proceso de exportación de elementos, es importante ver como debe ser la configuración para poder exportar de manera satisfactoria una red de drenaje o tuberías a un formato de interoperabilidad. A continuación, se presenta el siguiente flujo de trabajo.

Figura 129 Flujo de trabajo para exportar redes de drenaje a NWC



Fuente: (Cañón et al., 2023)

El primer paso después de que el diseño hidráulico en Civil 3D esté completamente integrado con los requisitos del proyecto y el trabajo lineal, es asignar los Psets creados previamente a todos los elementos de la red, y crear nuevos si es necesario. Las tuberías y estructuras de drenaje pueden requerir información adicional, como material, diámetro, longitud, pendiente, tipo, dimensiones clave y otros detalles relevantes. Al asignar Psets en la pestaña de propiedades extendidas de la tabla de propiedades del elemento, es crucial recordar que esto debe hacerse exclusivamente para elementos comunes.

Una vez finalizada la etapa de asignación de información, se elige toda la red, incluyendo tuberías, rejillas, pozos y estructuras que forman parte de ella. Se sugiere que si existen múltiples redes realice este proceso por separado, es decir, no mezcle las redes ni trabaje en ellas al mismo tiempo. El procedimiento es sencillo cuando se eligen componentes comparables y también se separan, lo que dará como resultado que solo se muestre en la pantalla la red de tuberías, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 130 Red de drenaje aislada



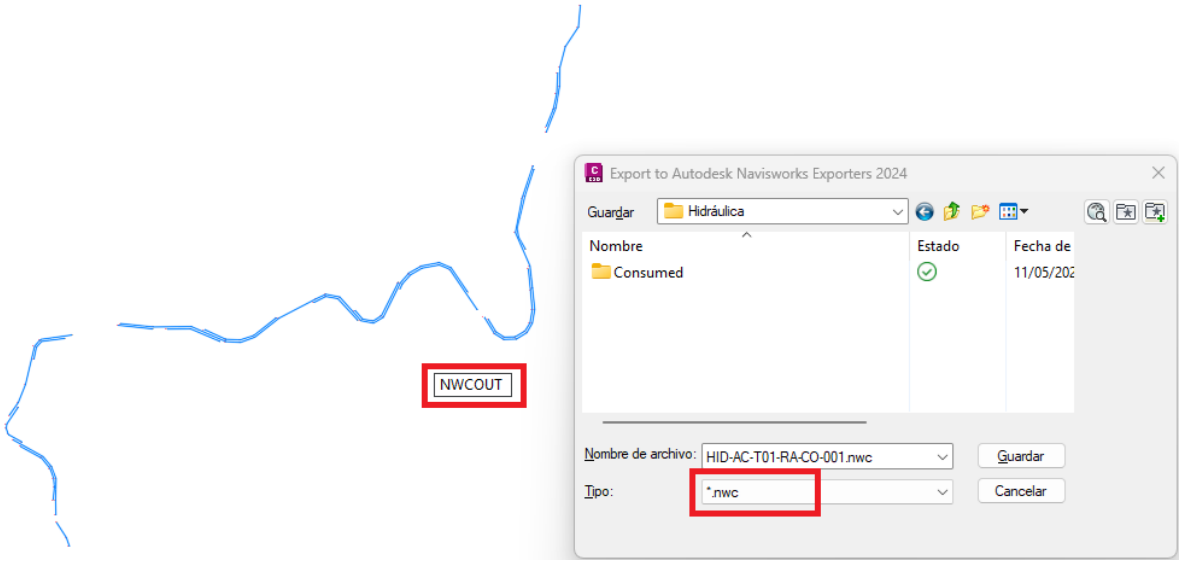
Fuente: propia

Posteriormente, una vez seleccionados todos los elementos de la red, se deben copiar y pegar con coordenadas originales en un nuevo archivo, esto lo hacemos con el fin de exportar únicamente la red de drenaje y sus estructuras, de lo contrario exportaríamos todos los elementos dentro de un mismo archivo.

El archivo debe guardarse y verificarse para garantizar que todos los elementos estén presentes y tengan la capacidad de modificarse como si fueran el archivo original. Hay dos alternativas viables, las cuales son efectivas. La primera es conectar el archivo de

Civil 3D que acaba de guardar directamente en Navisworks como DWG, pero deben ser versiones idénticas para que Navisworks las reconozca. La segunda opción es utilizar el complemento Navisworks NWC File Export Utility, que se puede encontrar en la página de Autodesk. El resultado de la exportación se ilustra en la siguiente figura.

Figura 131 Comando de exportación de red de drenaje a Nwc



Fuente: propia

7.2.3. Coordinación y revisión de modelos BIM

El flujo de trabajo sugerido por Autodesk incluye Navisworks, una herramienta que ayuda en la revisión y coordinación del proyecto, para mejorar la fase de entrega, también permite visualizar y combinar todos los datos y modelos que se han exportado desde otras plataformas y conectarlos en un modelo federado. BIMcollab ZOOM al igual que Synchro son otras herramientas potentes que se pueden emplear.

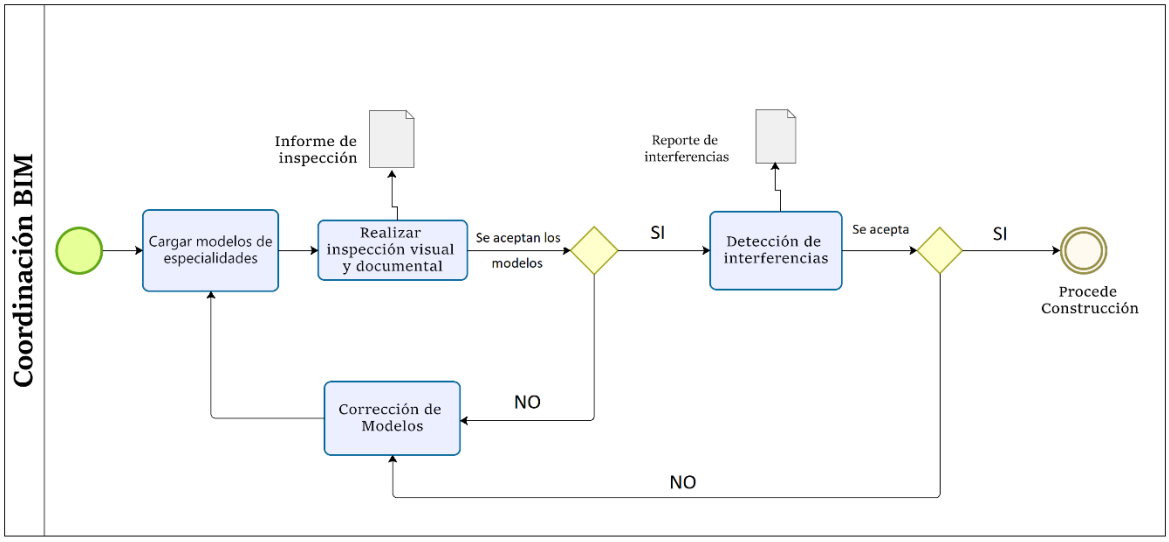
Estas herramientas pueden ayudar a encontrar y solucionar problemas que pueden afectar el diseño y la construcción de un proyecto lo que puede ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo. Es crucial tener en cuenta que estas herramientas no están destinada a solucionar estos problemas, sino más bien a identificarlos para que el equipo de diseño

los aborde y proporcione una versión revisada para su posterior revisión y coordinación con otras especialidades.

El modelo de Navisworks se puede complementar con ortofotos, pero pierden sus referencias reales al exportarse en formato.FBX. Sin embargo, aún se pueden integrar en el modelo principal para proporcionar un contexto preciso. El objetivo es comunicar eficazmente los resultados obtenidos mediante ajustes manuales e iterativos. La evaluación de proyectos debe considerarse en relación con su contexto, y esto debe definirse en el BEP y ser supervisado por una persona designada.

El proceso de coordinación BIM se desarrolla bajo el flujo de trabajo presentado en la Figura 132.

Figura 132 Flujo de trabajo coordinación BIM



Fuente: (Cañón et al., 2023)

El flujo de trabajo anterior enfatiza la importancia de los modelos producidos por diversas especialidades, como geometría, hidráulica, estructuras y topografía. Los modelos se enlazan en Navisworks, donde se revisan componentes gráficos y no gráficos para garantizar que tengan las propiedades requeridas para la transferencia de información y el reconocimiento de elementos. Además, se confirma si se adhieren a los principios

geométricos y se trazan con precisión. El informe de incidencias se crea una vez completada la inspección, documentando los hallazgos en este punto.

Después, es necesario confirmar si estos modelos son adecuados para la siguiente etapa de detección de interferencias. Si los modelos no son aprobados, será necesario informar al especialista encargado nuevamente para que realicen los ajustes pertinentes. El proceso se iniciará tantas veces sea necesario hasta que se acepten las modificaciones.

El paso final implica identificar cualquier conflicto entre estos modelos, lo que se documentará en un informe de interferencias. Se debe contactar al especialista si un modelo no es aceptado y se debe reiniciar todo el proceso de revisión y detección de colisiones. Si se aprueban los modelos, se creará un informe para mostrar qué tanto cumplen los modelos con los requisitos y si están listos para la siguiente fase de construcción.

Antes de iniciar el proceso constructivo, es fundamental realizar una tarea muy empleada en el uso de la metodología BIM, independientemente del tipo de proyecto. El proceso de revisión requiere procedimientos específicos para comunicar cualquier problema que surja durante la revisión a las personas apropiadas.

Cuando se habla de revisiones, es fundamental recordar que la cantidad de información vinculada a un elemento es tan importante como su apariencia visual o geométrica. Es crucial tener en cuenta que debe haber una directriz en el BEP que permita establecer un proceso de revisión de información confiable, de modo que se pueda definir claramente las expectativas para los modelos y lo que se necesita revisar. Es fundamental que todas las personas involucradas en el proyecto cumplan con estas pautas para garantizar que todos trabajen hacia el mismo objetivo, lo que en última instancia conduce a una mejor toma de decisiones.

El proceso de revisión deberá realizarse sobre el modelo de coordinación, independientemente el tipo de archivo que esté manejando (ifc, nwc, dwg) deberán

contar con ciertas propiedades mínimas para su aceptación o no. Como ya se ha mencionado existen unos requerimientos de información que, de no proveerlos directamente las herramientas de modelado, deberemos crearlos mediante Psets propias, dentro de estos parámetros de información más relevantes encontramos los siguientes (Cañón et al., 2023)

- Estructura de archivos y su nomenclatura.
- Comprobación del sistema de coordenadas empleado de manera común para todos los modelos.
- Clasificación de los elementos.
- Identificación de los elemeentos conforme se han definido en el BEP.
- Sentido
- Ensamblaje
- Contenido geométrico de los elementos (volumen, área, espesor)
- Contenido paramétrico de los elementos
- Verificación de asignación de parámetros al formato IFC.
- Simulación 4D (Task_ID)

Adicionalmente para estructuras de pavimento se recomiendan parámetros como:

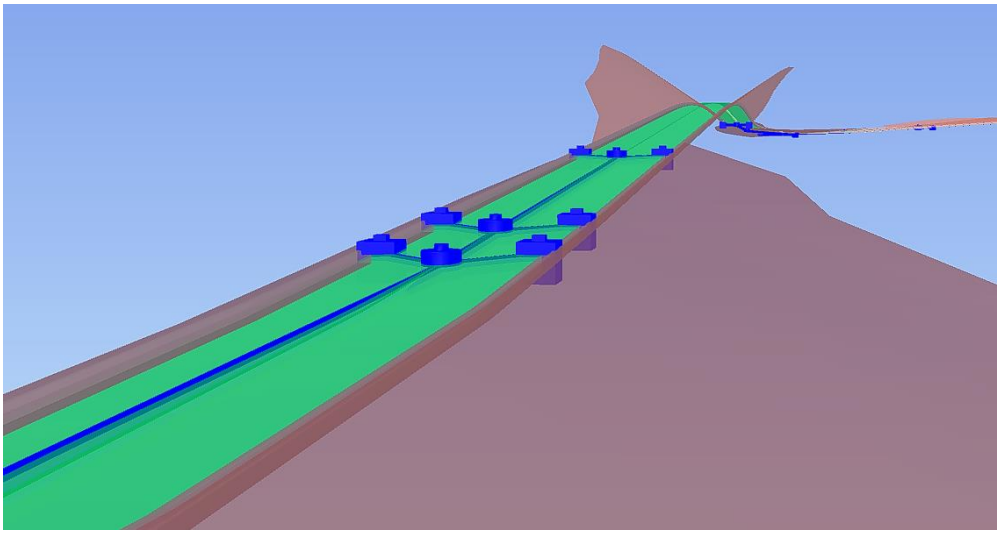
- Material
- Norma de ensayo
- Item de Pago
- Granulometría
- Densidad esperada
- Especificación de Construcción
- Costo por unidad de medida (m2/m3, etc)

Se recomienda el uso de listas de chequeo que permitan estandarizar los parámetros de revisión, preferiblemente de conocimiento y de común acuerdo con todos los partícipes del proyecto con el fin de evitar inconvenientes más adelante por desconocimiento de los

requisitos de revisión. Es importante siempre pensar en las siguientes etapas, ya que la información generada en esta servirá para la construcción y posteriormente para la operación y el mantenimiento. Más adelante complementaremos estas Psets para la entrega de los modelos As Built (Cañón et al., 2023)

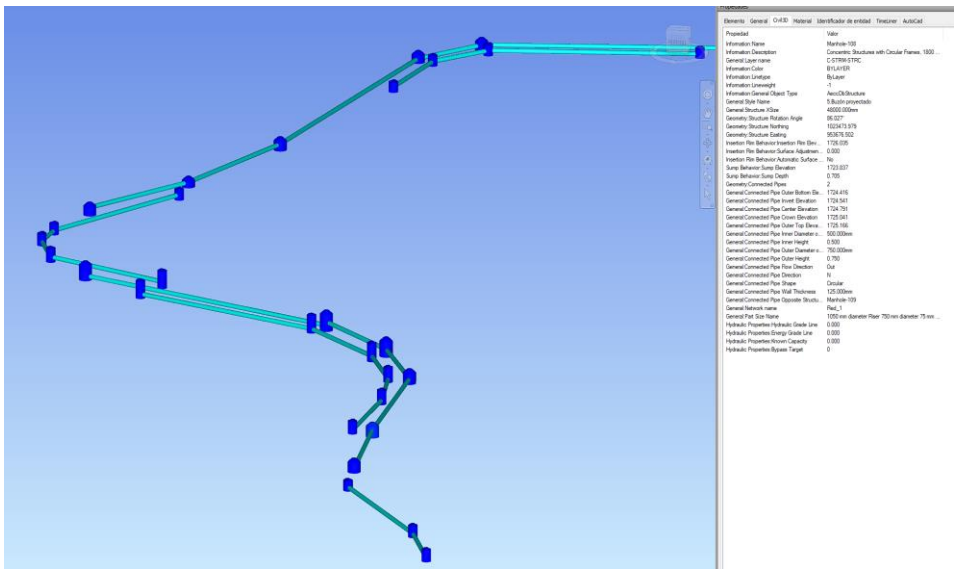
Una vez incorporados los modelos en Navisworks, se puede observar el resultado en las siguientes Figuras.

Figura 133 Vista estructura – red de tuberías



Fuente: propia

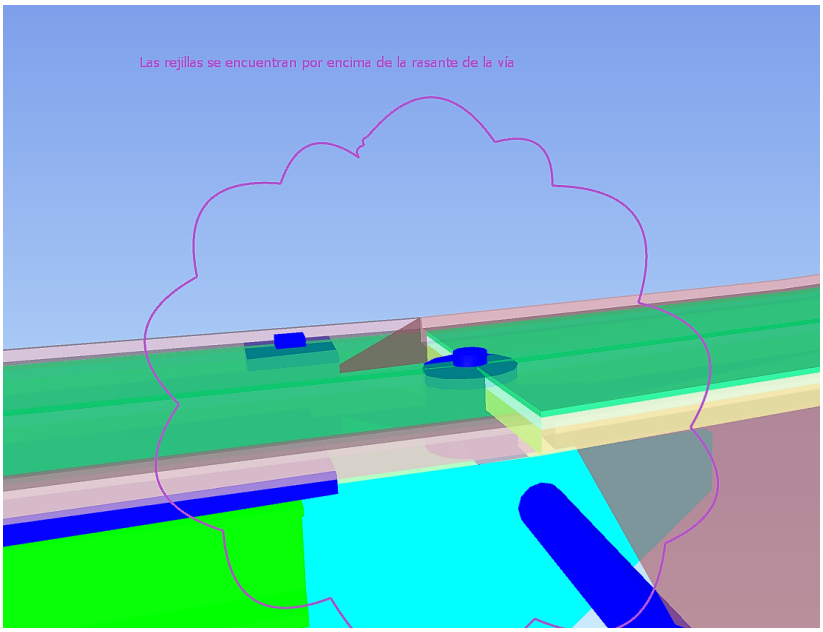
Figura 134 Propiedades de estructuras de drenaje



Fuente: propia

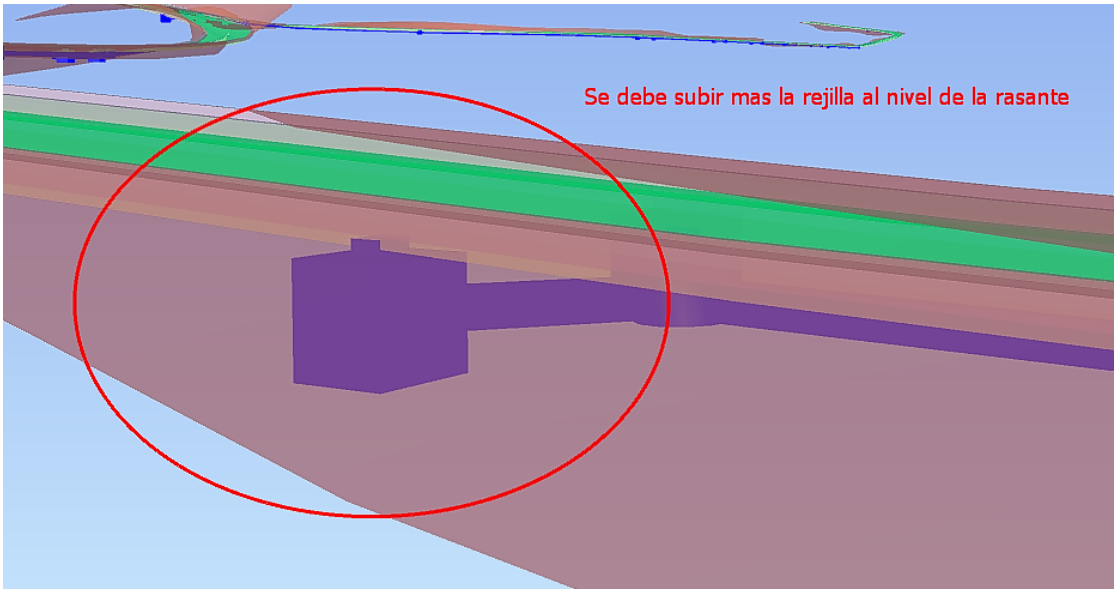
Como se indicó anteriormente, es factible examinar los modelos y producir anotaciones que puedan ser distribuidas a las personas o cargos responsables de la creación de los modelos, para que puedan corregirlas y repetir el proceso de revisión y coordinación. Las siguientes figuras ilustran algunos métodos para mostrar anotaciones.

Figura 135 Anotaciones de revisión



Fuente: propia

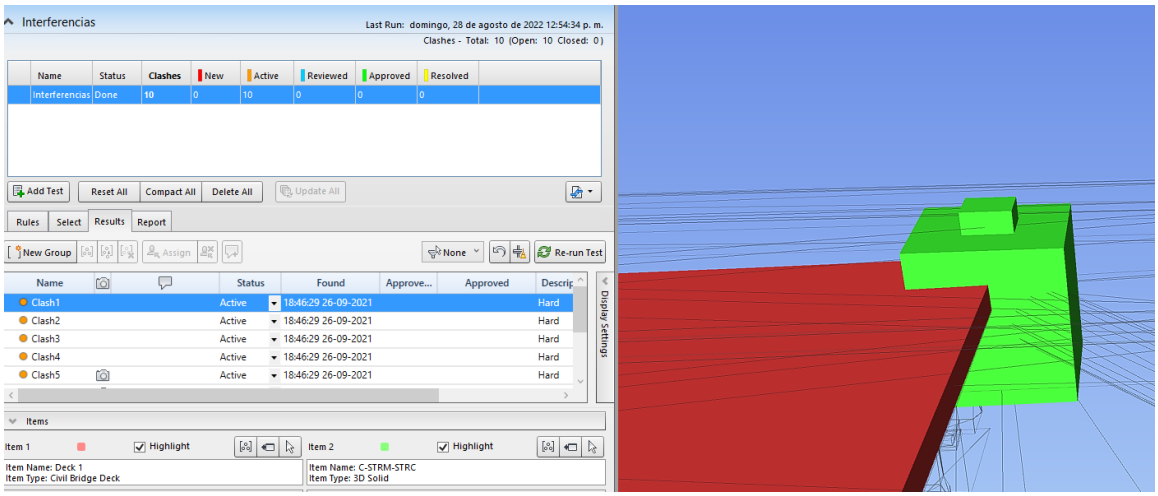
Figura 136 Anotaciones de revisión



Fuente: propia

De manera similar a cómo ACC coordina elementos, es importante comparar diferentes modelos para garantizar que Navisworks muestre con precisión cualquier conflicto entre ellos. Como se ilustra en la figura, los modelos geométricos e hidráulico están alineados en términos de su representación espacial, con una cuadrícula que coincide con la carretera. El sistema permite visualizar la interferencia de varios colores y crea una pequeña representación de esta para facilitar su comprensión.

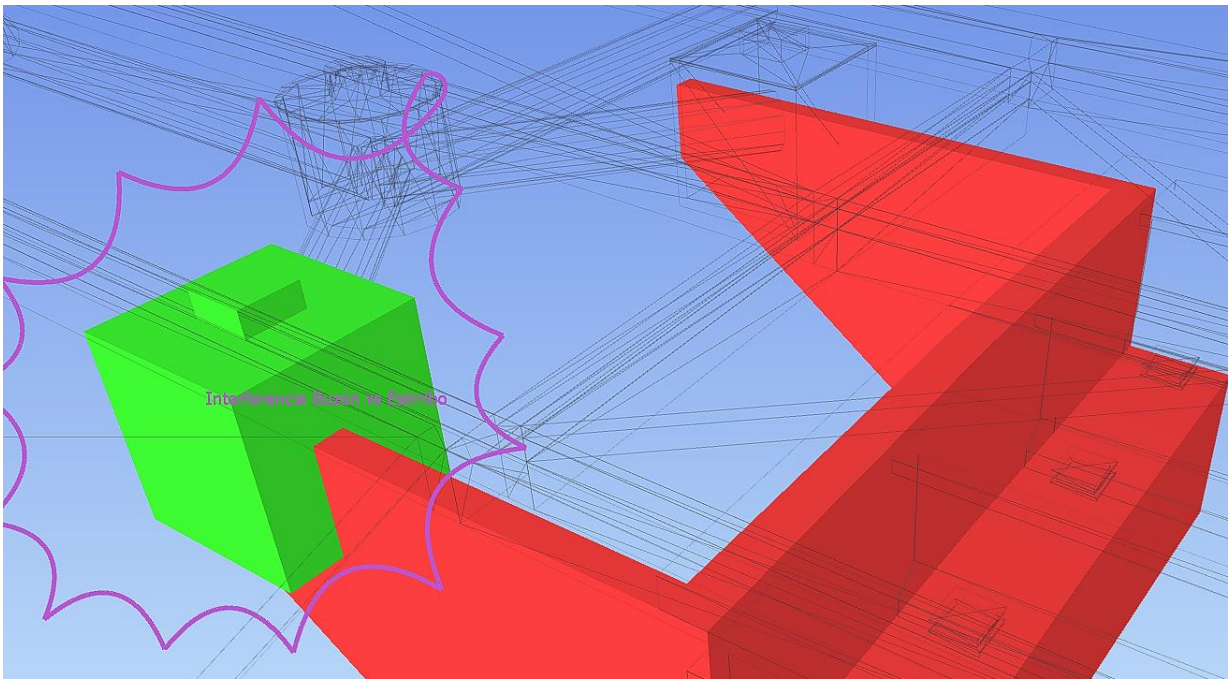
Figura 137 Detección de interferencias



Fuente: propia

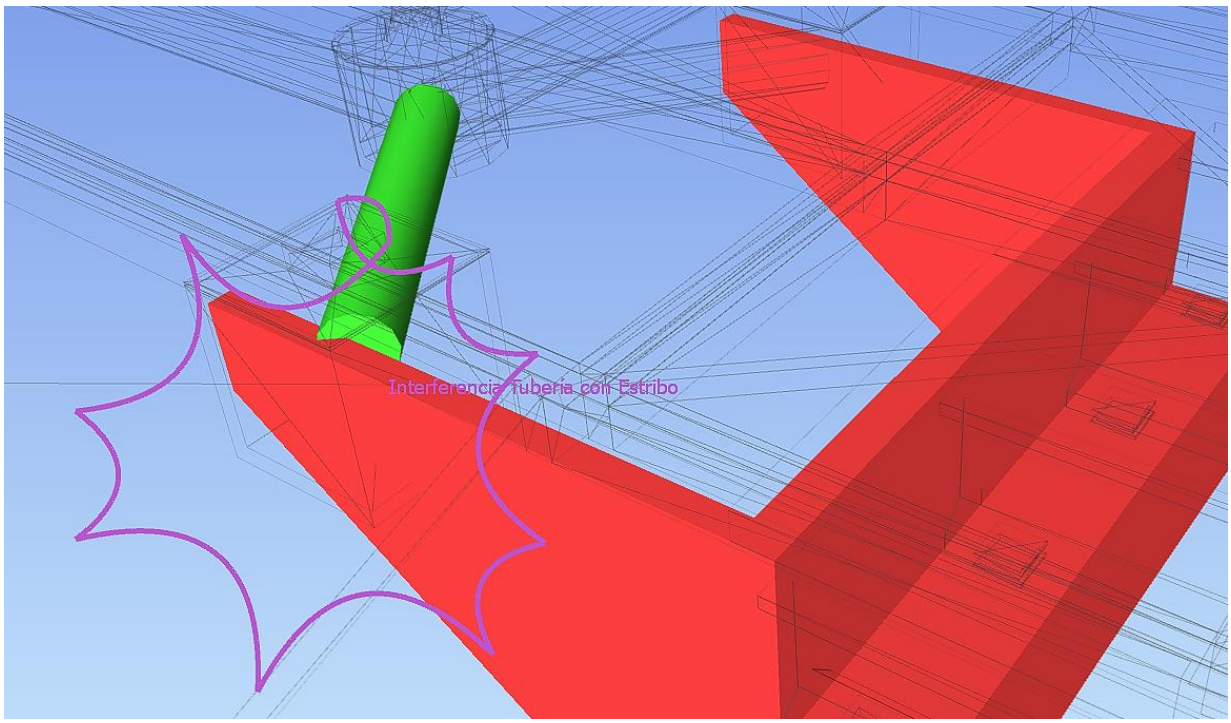
Así mismo, es posible asignarle comentarios a dichas interferencias para complementar la información gráfica como se puede observar en las siguientes Figuras.

Figura 138 Detección de interferencias



Fuente: propia

Figura 139 Detección de interferencias



Fuente: propia

8. CONCLUSIONES

- La implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial representa un cambio significativo en la forma en que se conciben, estructuran y gestionan estos proyectos. A través del desarrollo de una propuesta metodológica específica, es posible estandarizar procesos y optimizar la colaboración entre las diferentes disciplinas involucradas, garantizando una gestión de la información más eficiente y alineada con las mejores prácticas internacionales.

- El diseño de un Plan de Ejecución BIM (PEB) adaptado a proyectos viales permitió definir los elementos esenciales para la planificación, ejecución y control del proyecto dentro del marco normativo de la ISO 19650. Este enfoque asegura que la implementación de BIM se realice de manera estructurada, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos y actualizados.

- El uso de un Entorno Común de Datos (CDE) facilitó la integración de la información en un esquema ordenado, accesible y estandarizado, estableciendo la estructura mínima requerida para garantizar la interoperabilidad entre plataformas y actores del proyecto. Al definir esta estructura bajo la ISO 19650, se fomenta la transparencia en la gestión de la información, reduciendo errores, optimizando tiempos de ejecución y mejorando la trazabilidad de los procesos.

- La definición de flujos de intercambio de información entre las distintas especialidades que intervienen en un proyecto de infraestructura vial, tanto en la fase de planificación como en el diseño definitivo, permitió mejorar la coordinación y minimizar inconsistencias. Estos flujos, estructurados dentro del CDE, garantizan que la información fluya de manera ordenada, asegurando que cada disciplina tenga acceso a datos actualizados y validados, lo que contribuye a una mayor precisión en el desarrollo del proyecto.

- La integración de BIM en infraestructura vial, a través de la aplicación de una metodología estructurada, un PEB adaptado, la implementación de un CDE eficiente y la definición de flujos de información estandarizados, fortalece la planificación y ejecución de los proyectos viales, asegurando mayor eficiencia, sostenibilidad y calidad en la entrega de resultados. Al adoptar estos principios, el sector de la infraestructura puede avanzar hacia una gestión más digital, colaborativa y optimizada, en línea con las exigencias actuales y futuras de la ingeniería y la construcción.

9. REFERENCIAS

- AIA. (2015). BIM and Integrated Project Delivery Guide. American Institute of Architects.
- BCA (Building and Construction Authority). (2015). BIM Mandate in Singapore. Recuperado de https://www.bca.gov.sg
- BMVI. (2017). Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- BuildingSMART International. (2019). BIM Execution Plan (BEP) Guide. Recuperado de https://www.buildingsmart.org
- BuildingSMART International. (2020). The BIM Standardization Landscape and its Future.
- CAMACOL. (2018). Estado y perspectivas de la metodología BIM en Colombia. Cámara Colombiana de la Construcción.
- Cañón, E. D., Vargas, W. E., & Benavides, A. M. (2023). Metodología BIM – 1ra edición (Edición en español) – Ecoe Ediciones (ECOEEdiciones, Ed.; Primera). https://www.ecoeediciones.com/producto/metodologia-bim-1ra-edicion-impreso/
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2020). Plan BIM Chile: Estrategia Nacional para la Implementación de BIM. Santiago, Chile.
- Deloitte. (2019). Digital Transformation in Construction: The role of BIM in the industry's evolution.
- DNP. (2021). Estrategia Nacional BIM para Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2022). Mesa de Articulación Interinstitucional BIM. Bogotá, Colombia.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., & et al. (2017). "Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its

implementation, risks and challenges." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 1046-1053.

- ICONTEC. (2022). NTC-ISO 19650-1: Organización y digitalización de la información sobre edificios e infraestructuras, incluidos los modelos de información de la construcción (BIM). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Infrastructure Canada. (2021). National BIM Strategy in Canada. Recuperado de https://www.infrastructure.gc.ca
- ISO (International Organization for Standardization). (2018). ISO 19650: Gestión de la Información en la Construcción. Ginebra, Suiza.
- ISO. (2018). ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM. International Organization for Standardization.
- ISO. (2019). ISO 19650-2: Information Management using BIM - Delivery Phase of the Assets. International Organization for Standardization.
- INVIAS (Instituto Nacional de Vías). (2020). Implementación de BIM en el Puente Pumarejo. Bogotá, Colombia.
- Japan Institute of Architects. (2019). Adoption of BIM in Japan. Tokio, Japón.
- Korea Institute of Construction Technology. (2017). BIM Standards in South Korea. Seúl, Corea del Sur.
- McGraw Hill Construction. (2014). The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets.
- Ministério do Desenvolvimento Regional. (2021). Estrategia Nacional BIM en Brasil. Brasilia, Brasil.
- MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development). (2020). Guidelines for BIM Implementation in China. Beijing, China.
- National Institute of Building Sciences (NIBS). (2020). National BIM Standard-United States (NBIMS-US). Recuperado de https://www.nibs.org
- NIBS (National Institute of Building Sciences). (2020). NBIMS-US: National BIM Standard for the United States. Recuperado de https://www.nibs.org
- Plan BIM Chile. (2019). Estrategia Nacional BIM Chile.

- Secretaría de Obras Públicas. (2021). Plan Nacional BIM Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- UK BIM Task Group. (2016). Government Construction Strategy: BIM Level 2 mandate.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs." Automation in Construction, 38, 109-127.

ANEXO 1 – PLAN DE EJECUCIÓN BEP