

Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Guía Técnica para la Implementación de Metodología Building Information Modeling
para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO®**

Llevado a cabo por el estudiante:

Lara Muñoz Leonardo

Carné:

2017048076

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador el lunes 29 de agosto de 2022 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por GUSTAVO
ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)
Fecha: 2022.09.01
23:23:55 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya, MSc.
Director de la Escuela

LUIS GUSTAVO
ROJAS CHACON
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por LUIS GUSTAVO
ROJAS CHACON (FIRMA)
Fecha: 2022.08.30
20:37:51 -06'00'

Ing. Luis Gustavo Rojas Ch., MAP
Profesor Guía

CARLOS MANUEL
UGALDE
HERNANDEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por CARLOS MANUEL
UGALDE HERNANDEZ
(FIRMA)
Fecha: 2022.09.01
09:50:35 -06'00'

Arq. Carlos Ugalde Hernández, MU
Profesor Lector

MILTON
ANTONIO
SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)
Fecha: 2022.08.30
08:45:23 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MBA
Profesor Observador

Abstract

With the elaboration of this proposed the implementation of a technical guide for the development of infrastructure projects of lineal works made by the company AECO, making use of the Building Information Modeling. Through an interview with the company, it was determined that the current methods for the use of BIM in the construction projects carried out were not properly standardized.

Exhaustive bibliographical research was carried out in databases and reliable sources on how to apply BIM to linear works. From this, the key points were identified through a compendium of information to determine what information is relevant for the creation of the technical guide.

A technical guide for BIM implementation in its linear works projects was generated as a deliverable for AECO. This was evaluated in two pilot projects to corroborate its usefulness. The members of the company were prepared for the use of this guide through training.

Through the evaluation made to the technical guide using an evaluation rubric, it is shown that it is functional by applying the BIM methodology to two pilot projects of linear works.

Keywords: BIM, linear works, implementation, guide, modelling.

Resumen

Con la elaboración de este proyecto, se propone la implementación de una guía técnica para el desarrollo de proyectos de infraestructura de obras lineales de la empresa AECO, haciendo uso de la metodología Building Information Modeling. Mediante una entrevista a la empresa, se determinó que los métodos actuales para el uso de BIM en los proyectos constructivos elaborados no estaban debidamente estandarizados.

Se hizo una exhaustiva investigación bibliográfica, en bases de datos y fuentes confiables, sobre cómo aplicar BIM a obras lineales. A partir de esta, se identificaron los puntos claves para determinar qué información es relevante para la creación de la guía técnica.

Se generó, como entregable para AECO, una guía técnica de implementación BIM en sus proyectos de obras lineales. Esta fue evaluada en dos proyectos pilotos para corroborar su utilidad. Los miembros de la empresa fueron preparados para el uso de esta guía mediante una capacitación.

Por medio de la evaluación hecha a la guía técnica, en la cual se usó una rúbrica de evaluación, se demuestra que esta es funcional al lograr aplicar la metodología BIM a dos proyectos pilotos de obras lineales.

Palabras claves: BIM, obras lineales, implementación, guía, modelado.

Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO

Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO

LEONARDO LARA MUÑOZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto del 2022

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	3
Marco teórico	5
Metodología	15
Resultados	18
Análisis de los resultados	42
Conclusiones.....	47
Recomendaciones	48
Apéndices	49
Referencias	50

Prefacio

La industria de la construcción es una de las más grandes a nivel nacional e internacional, por lo cual también es una de las más competitivas. Es por esta razón que para las empresas es necesario destacar entre las demás. Para lograrlo, se debe de trabajar de una forma más eficiente, ya que así se reducen los costos y los tiempos constructivos.

Ahora bien, existen distintas formas para aumentar la eficiencia de una empresa constructora; una de ellas es la implementación de la metodología BIM. Esta cuenta con años de existencia y múltiples beneficios, sin embargo, todavía no se ha implementado de forma universal en los proyectos constructivos.

En relación con lo anterior, en Costa Rica se presenta un atraso considerable con respecto a la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de obras civiles. Uno de los factores que más ha incidido en esta problemática es que actualmente el país no cuenta con un estándar o una normativa que rijan cómo se deben de llevar a cabo dichos proyectos.

Además de esto, las referencias de BIM que existen a nivel mundial se enfocan principalmente en la construcción de edificaciones, por lo que, consecuentemente, existe una faltante aún mayor de referencias BIM para otro tipo de proyectos, como lo son las obras lineales. Por lo tanto, poseer un método para la aplicación de la metodología BIM en obras lineales significaría una enorme ventaja para el desarrollo de este tipo de obras.

Precisamente, la empresa AECO desea apoyarse en la metodología BIM para el desarrollo de sus proyectos de obras lineales. Para lograr obtener este beneficio, el objetivo de este proyecto es generar una guía técnica para la implementación de la metodología BIM para los proyectos de obras lineales que desarrolla la empresa AECO.

Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a este punto. Por su apoyo incondicional, agradezco a mi madre Ana Lorena Muñoz Arley, a mi padre Abelardo Lara Hidalgo y a mi hermano Bryan Lara Muñoz; los amo.

Por su tiempo y colaboración en todos estos meses, les quiero agradecer a Ing. Mauricio Rojas Quesada y Ing. Everardo Rodríguez Rodríguez de AECO; sin ustedes este proyecto no hubiera sido posible.

A mis amigos Fiorella Quesada, Sofía Padilla, Tomás Quirós y Mónica Murillo, les agradezco por estar ahí cuando más lo necesitaba, me ayudaron más de lo que pudieron imaginar. Un especial agradecimiento a Kathia Aguilar Vindas y a Randall Muñoz Camacho por su confianza y ayuda en mi etapa universitaria. También a los Vikingos por su amistad durante mi tiempo universitario, gracias a ustedes la universidad fue un tiempo memorable.

A mi profesor Ing. Luis Gustavo Rojas Chacón, por guiarme en este proyecto y por su insistencia en ser cada vez mejor. Por último, le agradezco a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción que me transmitieron sus conocimientos en todos estos años.

Resumen ejecutivo

Para la elaboración de proyectos de construcción, se pueden aplicar distintas metodologías de trabajo, entre estas existe una denominada BIM. Las empresas constructoras cada vez se ven más atraídas a utilizar BIM gracias a los muchos beneficios que esta tiene, pero muchas veces prefieren no hacerlo debido a la curva de aprendizaje que implica aplicarla en una organización.

El desarrollo de este proyecto se dio bajo la modalidad de una práctica profesional dirigida para la empresa AECO. Esta empresa nació al identificar la necesidad y la falencia de servicios complementarios a los profesionales, las empresas y los desarrolladores del sector de construcción. Una de estas falencias es la de la implementación de BIM en proyectos de obras lineales; como es el caso de carreteras, aceras, drenajes y redes de agua.

El objetivo principal de este trabajo final de graduación es generar una guía técnica para la implementación de la metodología BIM para los proyectos de infraestructura de obras lineales que desarrolla AECO. Dicha guía será beneficiosa, ya que servirá como una referencia de cómo se deben de llevar a cabo este tipo de obras constructivas aplicando una metodología de trabajo tan innovadora como lo es BIM.

Para lograr esto, se diagnosticó las gestiones de la empresa AECO en cuanto a su implementación de BIM en sus proyectos pasados. Para ello, se hizo un acercamiento a la empresa mediante entrevistas y reuniones. Por medio de estas, se identificó que los intentos de implementación de la metodología BIM por parte de la empresa habían sido deficientes, puesto que realmente no se logró hacerlo de forma correcta.

Tras identificar el problema que tenía la empresa con respecto a la implementación de BIM, se desarrolló una investigación documental a través de consultas de referencias bibliográficas de BIM y de su implementación en obras lineales. Se logró obtener un compendio de información con los puntos primordiales en la aplicación de BIM en este tipo de obras, además de un listado de acciones a seguir para poder desarrollar la guía técnica. No obstante, se observó una clara faltante de información respecto a la aplicación de esta metodología en obras de infraestructura de tipo lineal.

Para la materialización de la *Guía Técnica para la Implementación de BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales*, se utilizó el listado de acciones, mencionado anteriormente, como punto de referencia de los contenidos que esta debía llevar. La generación de matrices de información y flujos de trabajo de la aplicación BIM en los proyectos de obra lineal, así como el establecimiento de los lineamientos principales de la guía, permitió que se alcanzaran los requerimientos mínimos para la implementación BIM en AECO.

Además, se ejecutó de forma satisfactoria dos proyectos pilotos, utilizando la *Guía Técnica* generada como estándar para la información de los modelos BIM y de los procesos a seguir. Se hizo uso de distintos softwares y aplicaciones para poder aplicar las indicaciones de la guía. Como principal resultado, se logró demostrar que esta guía es funcional dado que permitió el desarrollo de los proyectos pilotos desarrollados.

Finalmente, los miembros de la empresa AECO fueron debidamente capacitados en la utilización de la *Guía Técnica* una vez que se comprobó su funcionalidad. Con ello, se demostró un manejo satisfactorio de la guía por parte de estas personas, por lo cual se alcanzó satisfactoriamente el objetivo del presente trabajo.

Introducción

En la industria de la construcción siempre se están buscando formas para poder optimizar el trabajo que se realiza, con el fin de mejorar la productividad y de entregar obras de calidad. En relación con ello, el desarrollo de nuevas metodologías de trabajo ha convertido a esta industria en una cada vez más competitiva. La implementación de la metodología Building Information Modeling, o bien BIM por sus siglas en inglés, se está haciendo más presente en las obras a nivel mundial y Costa Rica no es la excepción. Sin embargo, el país presenta un atraso considerable con respecto a la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de obras civiles.

Uno de los factores que más ha incidido en esta problemática es que actualmente el país no cuenta con un estándar o normativa que rijan cómo se deben llevar a cabo dichos proyectos, lo cual no permite garantizar que la metodología mencionada realmente se esté implementando de forma adecuada. Aunado a ello, no se cuenta con documentación suficiente al respecto.

A raíz del rezago que existe con la implementación de BIM en el país, en el 2020 se presentó la Estrategia Nacional BIM Costa Rica. Esta tiene el objetivo de aumentar la productividad y la eficiencia del sector de la construcción en el país, integrando la metodología BIM en todo el ciclo de vida de los proyectos y, así, generar valor económico, social y ambiental en el país (MIDEPLAN, 2020).

Pese a los avances que se han logrado, actualmente los recursos disponibles en cuanto a BIM están más dirigidos a la construcción de edificaciones y no tanto a obras civiles, específicamente obras lineales. De acuerdo con Pérez (2019), las estructuras, los componentes, las terminologías y las metodologías de modelados entre un edificio y las obras de ingeniería civil son muy diferentes; por lo que la aplicación de la metodología BIM en caso de obras lineales debe tener un enfoque dirigido a este tipo de obras.

La empresa AECO, 3-102-806697 SRL, nace al identificar necesidades y falencias de servicios complementarios a los profesionales, las empresas y los desarrolladores del sector de construcción. Una de estas necesidades que ha identificado es la falta de un documento dirigido a la implementación de la metodología BIM dentro de proyectos de obras lineales.

Este proyecto busca generar una guía técnica para la entrega de proyectos BIM en infraestructura lineal, que se va a enfocar y desarrollar para la empresa AECO. Contar con una guía técnica de este tipo le permitiría a la empresa aumentar la productividad y se reducirían los tiempos en distintas etapas de los proyectos.

Objetivos

El objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto se establecen a continuación.

Objetivo General

- Generar una guía técnica para la implementación de metodología BIM para proyectos de infraestructura de obras lineales que desarrolla la empresa AECO.

Objetivos específicos

- Diagnosticar las gestiones que ha realizado la empresa AECO respecto a la implementación de la metodología BIM, identificándose entre otras cosas las obras lineales que comúnmente desarrollan.
- Investigar acerca de la implementación de BIM en obras lineales para la identificación de los parámetros que requiere la organización.

- Materializar la Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO.
- Evaluar la Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO propuesta, mediante su implementación en un proyecto.
- Capacitar al personal de la empresa AECO en el uso de la Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales

Marco teórico

AECO

La empresa costarricense AECO, 3-102-806697 SRL, nace al identificar la necesidad y la falencia de servicios complementarios a los profesionales, las empresas y los desarrolladores del sector de construcción. AECO ofrece servicios de diseño, inspección de obras, gerencia de proyectos y estudios especializados, apoyados en: metodologías de trabajo bajo protocolos BIM, generación de nubes de puntos mediante sistemas LiDAR, análisis de factibilidad técnico-constructiva y de constructibilidad, así como cuantificaciones y estimaciones de tiempos de proyectos. Esta empresa emplea tecnología de vanguardia para brindar soluciones a las necesidades de la industria AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operation).

No obstante, AECO no ha logrado implementar la metodología BIM en el desarrollo de sus proyectos de obras lineales, a causa de la faltante de una guía técnica de implementación de dicha metodología en este tipo de proyectos. En la actualidad, la empresa debe de hacer un modelo con distinto formato para cada proyecto que realice, lo cual genera que se den atrasos dado que la información no se encuentra parametrizada. Al existir estos atrasos en tiempo y al tener que invertir recursos en darles solución, la productividad de la empresa no es la óptima, puesto que esto va generando que sus ingresos sean menores y que la empresa sea menos competitiva frente a otras que sí implementan BIM de forma completa en sus proyectos.

Building Information Modeling

Existen distintas metodologías que se pueden aplicar dentro de la industria de la construcción

que buscan el optimizarla; entre ellas se encuentra la Building Information Modeling (BIM). De acuerdo a Planbim (2021), BIM se define como el “conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en espacio virtual” (p.15).

Lo que BIM pretende es lograr llevar a cabo un proyecto de forma colaborativa y ordenada, donde todos los participantes siguen un mismo estándar para la elaboración de sus respectivos avances. Busca centralizar toda aquella información de un proyecto en un modelo a partir de información creada por sus agentes (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018). Cabe destacar que la utilización de esta metodología puede abarcar el proyecto desde la planificación, el diseño, la construcción y la operación; o sea, desde su concepción hasta el final de su vida útil.

Ventajas de BIM

El surgimiento de BIM se da en respuesta a la necesidad, por parte de la industria de la construcción, de poder llevar a cabo proyectos de forma más eficiente. De ese modo, esta metodología trae consigo amplios beneficios para todas las partes, tanto quien va a desarrollar el proyecto como quien lo ejecuta.

De forma gráfica, el diagrama de la Curva de MacLeamy o de esfuerzo constructivo permite observar el contraste que existe entre proyectos que han implementado BIM y aquellos que se mantienen con los modelos tradicionales (Brenes, 2020). En la Figura 1, se observa la gráfica de esta curva, donde en el eje de las ordenadas, se ubica el efecto que posee el realizar cambios en un proyecto y, en el de las abscisas, el momento en el que estos cambios se realizan; esta misma figura además está dividida en las etapas del proyecto.

Según Carmona-Zúñiga (2019), la Curva de MacLeamy “muestra que es necesario generar un ambiente para reducir la incertidumbre al inicio de los proyectos y así evitar cambios dentro de los procesos de ejecución que pueden representar un alto costo dentro del proyecto” (p.16). La curva 1 es la habilidad que se tiene para influenciar el

costo, por lo que entre más antes se tomen ciertas decisiones, mayor será su impacto sobre el costo. Es por esta razón que la curva 4 es la deseada, ya que sus efectos se ven en las etapas tempranas, en las cuales realizar cambios posee un menor

impacto que en etapas avanzadas. Por su parte, el modelo tradicional se ve reflejado en la curva 3, la cual tiene su pico en la etapa de construcción y documentación; implicando así una mayor dificultad para realizar cambios.

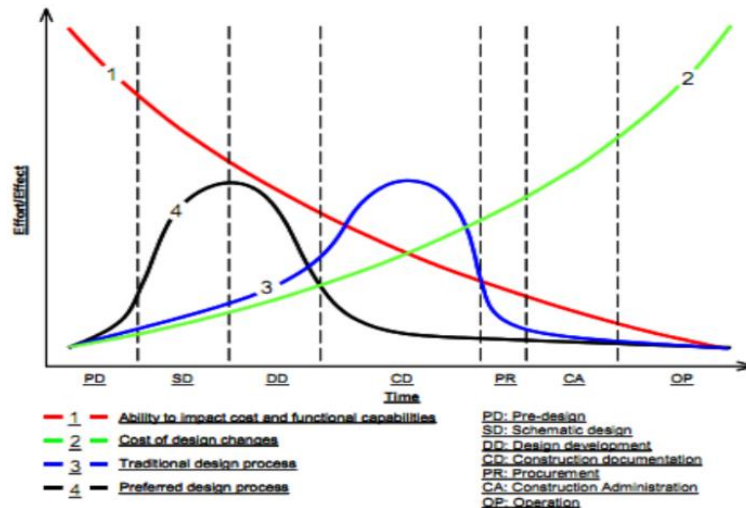


Figura 1. Curva de MacLeamy.
Fuente: Ilozor & Kelly (2012)

Al implementar BIM se permite establecer un estándar que todos los involucrados van a tener que seguir y que va a permitir aumentar la productividad de la empresa en sus proyectos. Las primeras etapas de implementación pueden llegar a ser dificultosas, pero, según la Cámara Costarricense de la Construcción (2018), “una vez superada la curva de aprendizaje, permite mayor rendimiento a menores plazos y mayor control en el desarrollo de tareas habituales” (p.13).

Además, BIM trae consigo beneficios a lo largo de las distintas etapas de la construcción. Según Carmona-Zúñiga (2019) estas ventajas se pueden ver de la siguiente forma en estas etapas:

- Planificación:** Permite distinguir los requisitos y la rentabilidad del proyecto; facilita el modelado y mediciones del terreno existente; facilita la planificación de distintas fases del proyecto y la ubicación de espacios.
- Diseño:** Establecimiento de un sistema de comunicación eficiente; permite el análisis para la toma de decisiones para reducir costos y esfuerzos; incorporación de los encargados de la construcción y operación desde etapas tempranas; reducción de esfuerzos por retrabajos y centralización de la información en modelos BIM.

- Construcción:** Permite planificar la obra; realizar replanteos de los diseños de forma sencilla en caso de ser necesario, cuantificar los recursos, llevar el control de calidad de la obra y gestionar el modelo As-Built.
- Operación y mantenimiento:** Permite definir los trabajos de mantenimiento y hace más fácil planificarlos.

Dimensiones BIM

Contrario a la creencia popular errónea, BIM no es solamente la utilización de algunos softwares para la generación de modelos en 3D, sino que va más allá. Esta contempla una serie de dimensiones de información, las cuales actualmente se considera que van desde la 1D hasta la 7D; sin embargo, hay fuentes que aseguran que estas se pueden extender hasta la 10D. Estas dimensiones reflejan todas las fases del ciclo de vida de una edificación, como se observa en la Figura 2, desde su concepción, pasando por construcción, mantenimiento y finalmente la demolición (Equipo BIMnD, 2019).

CICLO DE VIDA DE LA EDIFICACIÓN.

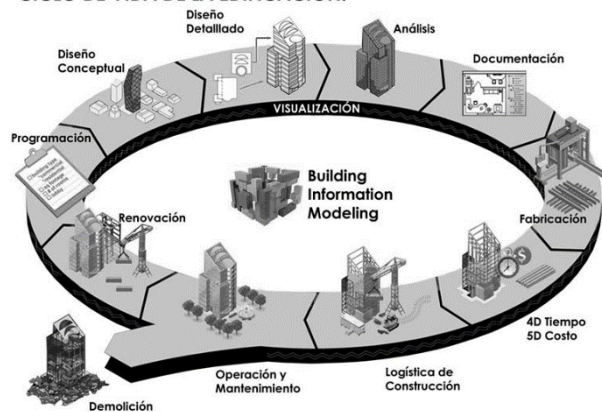


Figura 2. Ciclo de vida de la edificación.
Fuente: Sánchez (2016)

Las siete dimensiones BIM, según Sánchez (2016) son las siguientes:

- 1D, La idea: A partir de una idea se definen las condiciones iniciales, la ubicación; se hacen las primeras estimaciones de superficie, volúmenes y costos. Se establece el PEB, entre otros.
- 2D, El boceto: Consiste en la preparación del software para modelar, como la proyección de las primeras líneas.
- 3D, Modelado de la información de construcción: Con base en la información recuperada, se genera un modelo BIM (3D) que será la base para el resto del ciclo de vida del proyecto. Este modelo es más que una simple representación visual, puesto que incorpora información que será necesaria para las demás etapas.
- 4D, El tiempo: La dimensión de tiempo se le agrega a lo que antes se consideraba como algo estático, de modo que se establece por medio de la planificación temporal las bases del proyecto.
- 5D, Costes: Esta tiene que ver con el control de costos y el cálculo de los gastos del proyecto. En esta dimensión se busca mejorar la rentabilidad del proyecto.
- 6D, La simulación: Tiene que ver con la simulación de posibles alternativas del proyecto para llegar a la alternativa óptima. También es conocido como Green BIM por su relación a la ecoeficiencia.
- 7D, Gestión del activo: Aquí se establece el manual que se va a implementar en el

proyecto BIM durante su ciclo de vida, una vez se haya terminado la construcción. Esto contempla el uso y el mantenimiento que se le tenga quedar.

Conceptos de BIM

Solicitud de información (SDI)

La Solicitud de Información BIM, o bien SDI BIM, es un documento que establece el por qué y el para qué se utilizará BIM en un proyecto. Dentro de dicho documento, se insta de manera formal y explícita todo entregable BIM y la información que deban contener estos (Planbim, 2021). El contratante es el encargado de llevar a cabo este documento; el cual será entregado a la parte contratada, consultores o contratistas, ya sea cuando se dé una licitación o un concurso privado (BIM Forum Costa Rica, 2020).

Además, el SDI BIM permite que quien quiera desarrollar un proyecto tenga la oportunidad de presentarle a las otras partes todos los lineamientos que estos consideren necesarios que contenga el proyecto. Es por ello que se establecen una serie de aspectos mínimos recomendados que debe contener el SDI BIM. Estos son los siguientes, de acuerdo con BIM Forum Costa Rica (2020):

- Objetivos generales y específicos
- Entregables BIM
- Tipos de modelos BIM requeridos
- Documentos relacionados a modelos BIM
- Definir el estado de avance de la Información de los Modelos BIM
- Usos categorías y niveles de detalle BIM requeridos
- Estrategias de colaboración
- Organización de modelos

Plan de Ejecución BIM (PEB)

Una vez entregado el SDI BIM a la parte contratada, esta deberá dar como respuesta el Plan de Ejecución BIM o PEB. El BIM Dictionary (2022) define el término de PEB como “una

respuesta a los requerimientos de intercambio de información y se entrega como entrada en línea o como un documento compilado al adjudicatario”.

El PEB se puede presentar de dos formas: uno de oferta para el periodo previo a la adjudicación y otro definitivo para luego de la adjudicación, el cual ya es más completo y detallado. Este documento debe contar con los siguientes aspectos como mínimo, de acuerdo con lo que recomienda BIM Forum Costa Rica (2020):

- a) Objetivos del proyecto y usos de BIM asociados
- b) Descripción general de procesos BIM y procedimiento de la planificación
- c) Diseño del proceso e intercambio de información BIM
- d) Diseño del flujo de trabajo en el proceso y procedimientos de colaboración
- e) Definir la estructura de soporte para la implementación del BIM
- f) Ejecución del procedimiento de Implementación BIM
- g) Procedimientos de control de calidad y de definición de entregables
- h) Anexos, como lo son protocolos, guías, estándares internacionales, entre otros.

Modelos BIM

Un modelo BIM es una representación digital 3D basada en objetos, es rico en datos y es creado por un participante del proyecto haciendo uso de herramientas de software BIM (BIM Dictionary,

2022). Existen distintos modelos BIM que se pueden generar por distintos participantes en diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto. Según Planbim (2021), se pueden presentar los siguientes tipos de modelo para edificación o infraestructura:

- a) Sitio
- b) Volumétrico
- c) Arquitectura o Diseño de Infraestructura
- d) Estructura
- e) Mecánico Eléctrico Sanitario (MEP)
- f) Coordinación
- g) Construcción
- h) As-Built
- i) Operación

Dentro de estos modelos se encuentran las entidades, las cuales son elementos virtuales que representan un objeto físico o abstracto en una construcción, parametrizable o no, ya sea en 2D o 3D (Planbim, 2021).

Usos BIM

Kreiger y John (2013) definen un uso BIM como un método para aplicar BIM durante el ciclo de vida de una obra para lograr alcanzar uno o más objetivos específicos. Los usos BIM permiten explicarles a los participantes de un proyecto las distintas formas en cómo pueden utilizar BIM.

Estos pueden ser utilizados en distintas etapas de un proyecto constructivo. Es por ello que en la Figura 3 se observa en cuáles etapas en específico se usa cada uno de estos.

Tabla 06. Usos BIM



Basada en Project Execution Planning Guide version 2.1, mayo 2011

Figura 3. Usos BIM
Fuente: Planbim (2021)

Normas INTE/ISO 19650

Las normas INTE/ISO 19650 tienen como objetivo ayudar a que las partes involucradas en un proyecto cumplan sus objetivos comerciales por medio de la adquisición, el uso y la gestión de información efectiva y eficiente durante la fase de desarrollo de los activos (INTECO, 2020). Estas se encuentran divididas en dos partes: la primera define los conceptos y principios recomendados para el sector de la construcción, sirviendo como apoyo de la gestión y la producción de información al utilizar la metodología BIM, según lo establecido en la serie ISO 19650; la segunda permite que la parte contratante pueda establecer los requisitos de información durante la etapa de desarrollo de los activos y que proporcione el entorno adecuado, tanto empresarial como de colaboración de las partes contratadas para la producción de información de forma efectiva y eficiente. Estas aplican tanto para activos construidos como para proyectos de construcción de cualquier tamaño.

Las normas establecen la aptitud y capacidad del equipo de desarrollo; o sea, la parte contratada

principal y las subcontratadas. En relación con ello, es necesario que la parte contratante evalúe la aptitud y la capacidad del equipo de desarrollo propuesto para el cumplimiento de los requisitos de información. Esta evaluación se puede hacer en cualquier momento, pero preferiblemente durante la contratación.

La revisión de estas aptitudes y capacidades debe incluir al menos los siguientes factores:

- Compromiso de cumplir con el INTE/ISO 19650.
- Capacidad del equipo de desarrollo para trabajar de forma colaborativa y experiencia.
- Acceso y experiencia en las tecnologías de información especificadas.
- Número de personas con experiencia y equipadas dentro del equipo de desarrollo.

Otro aspecto que las normas recomiendan considerar es la planificación del desarrollo de la información, la cual es responsabilidad de la parte contratada. Se debe definir un programa de desarrollo de información para todo el proyecto, con el cual se llevará el control de la gestión de

activos de acuerdo con el cronograma. Estos programas deberán tener:

- a) ¿Cómo se llevará a cabo el cumplimiento de la información según los requisitos?
- b) ¿Cuándo se entregará la información?
- c) ¿De qué forma se entregará la información?
- d) Forma de coordinar la información con la de las demás partes contratadas.
- e) ¿Qué información se va a desarrollar?
- f) ¿Quién es el responsable del desarrollo de la información?
- g) ¿Quién será el destinatario de la información?

También se debe establecer la matriz de responsabilidad donde se identifiquen las funciones de gestión de la información y las tareas de gestión de la información. Además, se debe definir la estrategia de federación y la estructura de distribución de los contenedores de información. Esta estrategia se debe desarrollar en una o más estructuras de distribución de los contenedores de información durante la planificación detallada para explicar cómo estos contenedores se van a relacionar entre sí. Dicha estrategia debe ser actualizada a medida que se designan nuevos equipos de trabajo. Asimismo, se deben establecer referencias cruzadas entre los contenedores de información y los equipos de trabajo.

Estrategia de colaboración

Durante la ejecución de un proyecto es indispensable gestionar e intercambiar la información de una forma adecuada. Con el fin de que todos los participantes de la obra tengan la información actualizada y que esta sea trazable, es necesario contar con una estrategia de colaboración para que los integrantes de los equipos de trabajo tengan un lugar donde compartir la información de un proyecto.

Esto puede ser logrado por medio de un Entorno de Datos Compartidos (CDE), el cual es un área para la colaboración digital, normalmente una nube, que almacena la información de un proyecto de forma segura y que les brinda acceso a los miembros según el rol que estos desempeñen. Es necesario que el CDE sea la única fuente de información de un proyecto y que

esté en el formato correspondiente. Además, el acceso a dicha información se debe restringir por medio de permisos y de control de usuarios según lo establecido en el PEB (Esatre, 2020).

Existen distintos servicios comerciales que permiten la implementación de CDE. Entre estos, un servicio denominado Pcloud es utilizado por AECO para compartir información entre sus colaboradores. Pcloud es un servicio de nube en línea que permite tener sincronizada la información en todos los dispositivos, así como compartir y colaborar en estos archivos de forma sencilla; además, protege los archivos por medio de encriptación (Pcloud, s.f.).

Otro de estos servicios es Trimble Connect, el cual es una solución de CDE basado en la nube y una plataforma que permite el trabajo colaborativo diseñado específicamente para la industria de la construcción (Trimble, s.f.). Esta aplicación permite compartir, ver y anotar en modelos y documentos en tiempo real desde cualquier lugar con acceso a internet. Aunado a ello, mejora los flujos de trabajo y garantiza la entrega a tiempo de los proyectos al reducir la repetición del trabajo y los retrasos constructivos.

Para agregar, la norma ISO 19650-1:2018 permite localizar la información de un respectivo proyecto en varias ubicaciones y el CDE es quien permite que el flujo de trabajo esté distribuido en distintas plataformas tecnológicas (Planbim, 2021). Como se muestra en la Figura 4. Estados de desarrollo de contenedores de información. La información publicada puede estar en distintos estatus de desarrollo. Es por ello que INTECO (2020), en las INTE/ISO 19650:2020, define estas etapas como: Trabajo en progreso, Compartido, Publicado y Archivado, según corresponda.

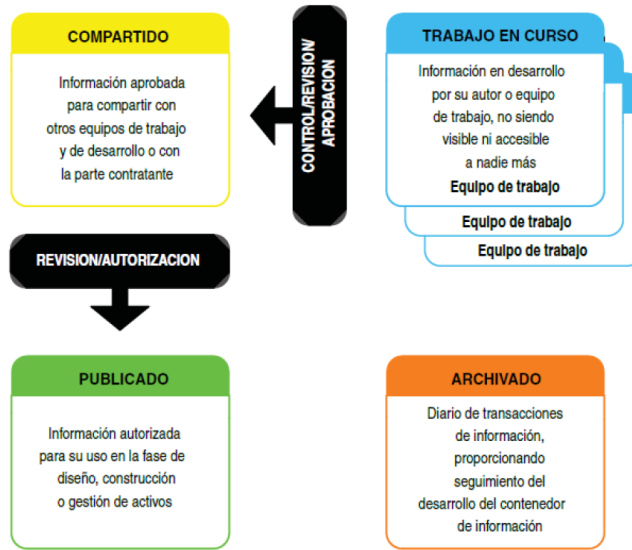


Figura 4. Estados de desarrollo de contenedores de información.

Fuente: INTECO (2020).

Roles

Para poder llevar a cabo una correcta gestión de un proyecto BIM, es recomendable definir los roles y las responsabilidades del equipo de trabajo que va a desarrollar el modelo BIM. Un individuo puede asumir uno o más roles, los cuales pueden ir cambiando. Cabe agregar que estos roles son funciones y responsabilidades de cada uno dentro de un proyecto, y no cargos específicos en la empresa (Vargas, 2020).

La Cámara Costarricense de la Construcción (2018) hace mención a los siguientes roles más importantes dentro de una organización que implementa BIM:

- Modelador BIM:** Su principal función es la creación de modelos según los diseños, funciones y especificaciones de los distintos elementos constructivos. Debe asegurarse que se dé el uso adecuado de las herramientas de los programas de modelado y que la información sea documentada y coordinada para su correcta interpretación.
- Documentadores BIM:** Estos son lo que se encargan de realizar la producción gráfica de los modelos, crear los planos de construcción, generar la documentación de cuantificación y generar presupuestos.

- Coordinador BIM:** Es quien se encarga de coordinar el trabajo dentro de la misma disciplina para que se cumplan los requerimientos que se establecen en los estándares del proyecto. Realiza la revisión de calidad del modelo BIM y su compatibilidad con las demás disciplinas del proyecto.
- Gerente BIM:** También conocido como BIM Manager, es quien administra la implementación de BIM en los proyectos. Establece los lineamientos del BEP de los proyectos, establece los alcances, los objetivos, los roles, los LODs y el software que se utilizarán. Da el seguimiento correspondiente a todos los procesos BIM en los proyectos.
- Director BIM:** Este es quien se encarga de liderar la implementación de BIM y controlar las condiciones para el desarrollo de la labor BIM en la empresa. Además, es responsable de la estructura organizacional del equipo BIM, las herramientas de software y de hardware a utilizar, los flujos de trabajo y la comunicación. Da seguimiento al trabajo realizado por los BIM managers y revisa el estado general de los proyectos que se están ejecutando.

Niveles BIM

En cuanto a los niveles de adopción de BIM, estos son usados para conocer en qué punto se encuentran las empresas y hacia qué nivel de adopción de BIM desean dirigirse (Rodríguez, 2019). Estos le permiten a la empresa medir sus capacidades en cuanto a su conocimiento e implementación de la metodología BIM. En la Figura 5, se observan los niveles de adopción de BIM que existen en la actualidad.

En el nivel 0 de adopción de BIM, no existe trabajo colaborativo y la información es generada y distribuida por lo general en 2D CAD. Luego, en el nivel 1, se incorpora el uso de 3D CAD sin la colaboración interdisciplinaria, pero sí con los permisos que tramitan con 2D CAD por medio del uso de archivos digitales. Posteriormente, se tiene el nivel 2, para el cual se usan tipos de archivos que permiten la coordinación de distintas partes del diseño. Por último, el nivel 3 desarrolla un solo

modelo colaborativo que integra todas las disciplinas en el ciclo de vida del proyecto y que es

almacenado en un servidor en línea (Carmona-Zúñiga, 2019)

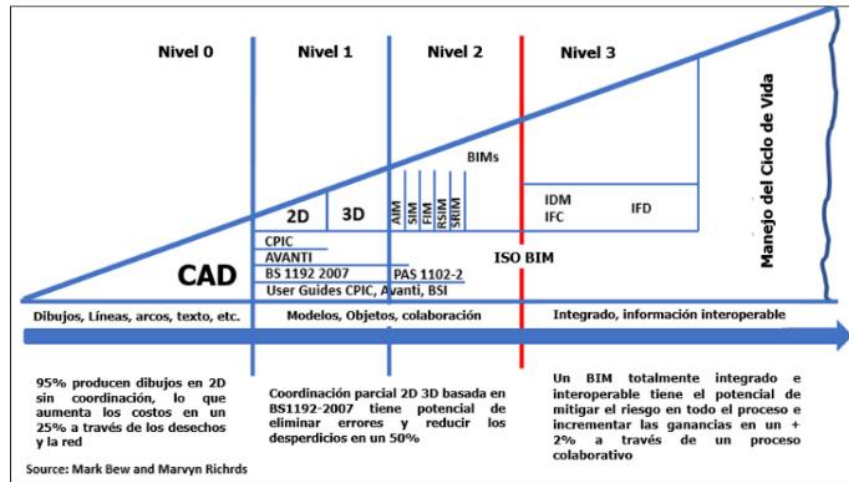


Figura 5. Niveles de adopción de BIM.
Fuente: Carmona-Zúñiga (2019) adaptado de BIMThinkSpace (2015)

Software BIM

Existen en el mercado diversas opciones de software específicamente para modelar, documentar, analizar y coordinar haciendo uso de la metodología BIM. Un aspecto de suma importancia acerca de los softwares BIM es la interoperabilidad que tienen, dado que estos programas son capaces de interactuar con otros softwares (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018). La mayoría de estos softwares tienen la capacidad de exportar los archivos que generan en formato IFC (Industry Foundation Classes), lo cual es parte de lo que permite esta interoperabilidad.

Además, existen distintos desarrolladores de softwares para la industria de la arquitectura y la construcción. Muchos de estos desarrolladores producen sus softwares con distintos enfoques y dirigidos a los distintos campos de la construcción, como lo son: infraestructura de transporte, energía, utilidades, recreacional y de manejo del agua (Cheng, Lu, & Deng, 2016). La Figura 6 permite visualizar algunos de los softwares más utilizados para el desarrollo de infraestructura civil y señala para qué áreas son utilizados.

A continuación, se detallan algunos de los softwares BIM que existen:

- Civil Designer: Dentro de los distintos softwares que existen para el modelado BIM,

uno de ellos es Civil Designer. Este es un conjunto integrado de software que cubre el diseño de terrenos, carreteras y redes de tuberías. De acuerdo con su desarrollador Civil Designer (s.f.), entre las ventajas que tiene están las siguientes:

- Se puede configurar para solo comprar los módulos que se necesiten.
 - Autonomía de licencias al permitir compartir las licencias con su equipo de trabajo.
 - Interfaz común entre módulos.
 - El diseño de procesos intuitivos.
 - Módulos de diseño integrados
 - Interoperabilidad
- Plannerly: Es posible hacer el PEB de forma tradicional por medio de plantillas, pero actualmente existen aplicaciones que permiten redactar el PEB de forma sencilla y facilitando el trabajo colaborativo; una de estas aplicaciones se llama Plannerly. Esta aplicación permite usar plantillas de PEB basadas en diferentes estándares como lo son Level 2, PAS1192, BS1192, ISO 19650, AIA y BIM Forum; además de que se pueden importar los estándares de la compañía de proyectos anteriores (Plannerly, 2022).
 - usBIM.viewer+: Esta aplicación es un editor de IFC que permite ver, convertir y editar archivos

IFC en un solo lugar de proyecto de construcción. Este software permite agregar una entidad nueva a un modelo, cambiar la geometría de una entidad ya existente, mover o rotar entidades, eliminar entidades y modificar o actualizar las propiedades (ACCA Software, s.f.).

- Plexos Project: Esta aplicación está creada bajo los principios de Lean Construction para

Major software vendors and tools for CIM.

un flujo de trabajo BIM para el trabajo colaborativo y multidisciplinario. Plexos Project permite crear de forma sencilla cronogramas complejos integrando modelos BIM, bases de datos de costos y presupuestos en la nube (Plexos Project, s.f.).

Vendor	Software tool	Civil Infrastructure					Are API ¹ or SDK ² available
		Transportation infrastructure	Energy infrastructure	Utility infrastructure	Recreational Facility infrastructure	Water management infrastructure	
Autodesk	Revit	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD	✓	✓	✓	✓	✓	
	AutoCAD Map 3D	✓	✓	✓	✓	✓	
	AutoCAD Civil 3D	✓		✓			✓
	Autodesk InfraWorks (formerly Infrastructure Modeler)	✓		✓			
	Structural Bridge Design	✓					
	AutoCAD Utility Design			✓			
Bentley	Autodesk 3ds Max Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Navisworks	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RM Bridge, LEAP Bridge, LARS Bridge	✓					
	Power Rail Track, Power Rail Overhead Line, MXRAIL	✓					
	Power InRoads, Power GEOPAK, MXROAD, and PowerCivil	✓					
	PlantWise, OpenPlant, AutoPLANT, and PlantSpace		✓				
	HAMMER, WaterCAD, WaterGEMS, SewerCAD, SewerGEMS, CivilStorm, StormCAD					✓	
	MicroStation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AECOSim Building Designer (Bentley Architecture, Structural Modeler)	✓	✓	✓	✓	✓	
	Prosteel	✓	✓	✓	✓	✓	
CSI	Bentley Substation	✓	✓	✓	✓	✓	
	Bentley Navigator	✓	✓	✓	✓	✓	
	ProjectWise	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoPIPE and STAAD.Pro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SAP2000		✓		✓	✓	
Tekla	CSiBridge	✓					✓
	Tekla Structures	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Graphisoft	Tekla Bimsight	✓	✓	✓	✓	✓	
	ArchiCAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vico	Vico Office Suite	✓	✓	✓	✓	✓	
	FORUM8	✓					✓

1. API: Application program interface.
2. SDK: Software development kit.

Figura 6. Mayores softwares para infraestructura civil.
Fuente: Cheng, Lu y Deng (2016)

Obras civiles lineales

Las obras civiles fueron desarrolladas con el fin de solucionar problemas y satisfacer las necesidades de las personas en cuanto a la faltante de alguna estructura. Estas obras son aquellas desarrolladas por civiles, como profesionales en ingeniería y arquitectura, para que se usen por distintos grupos de un sector (Admisión UTEM, 2020). Existen distintos campos en los que se aplican obras civiles como lo es el caso de la generación y la distribución de energía, el transporte, la comunicación, la recreación, los acueductos y otros.

Es posible la clasificación de las obras también según su tipo. Entre estas se ubican las obras lineales, cuya característica principal, como

su nombre lo indica, es una línea (Fernández, 2011).

Si bien es cierto que una obra lineal no es únicamente una obra en forma de línea, esta sí está compuesta en gran medida de tramos en líneas y, por lo general, posee un comportamiento similar a lo largo de la obra. A diferencia de las edificaciones, las obras lineales usualmente se extienden de forma horizontal. Entre estas se encuentran: los caminos y las carreteras, las líneas férreas, los canales, los acueductos, etc.

Redes de agua

El agua es fundamental para la supervivencia de cualquier ser vivo; ya sea para consumo, para regar plantas o generación de energía. No siempre se tiene acceso a este recurso en ciertos sectores,

por lo que es necesario generar infraestructura que sea capaz de transportarlo.

Una red de distribución de agua es un conjunto de tuberías que tienen el fin de brindarle agua al usuario. Esta distribución inicia desde un tanque de regularización y posee tuberías de distintos diámetros que van enterrados bajo la vía pública. A estas tuberías se conectan otras tuberías de menor tamaño que introducen agua a los distintos edificios (Rodríguez, 2001).

Las redes de agua se pueden clasificar según el tipo de agua que conducen. En primer lugar, se tiene la red de abastecimiento de agua potable la cual es un conjunto de infraestructura y equipo para la captación, la potabilización y la distribución de agua potable a un núcleo poblacional (Acueductos y Alcantarillados, 2016). El segundo lugar corresponde a la red pública de tuberías que se usa para la recolección y el transporte de las aguas residuales hasta el punto de descarga (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2016).

Carreteras

El transporte de bienes y personas es fundamental para la sociedad. Es por ello que se han conectado los centros de población con caminos que permitan el transporte efectivo entre estas. Las carreteras son obras civiles lineales que permiten esto.

Una carretera es una infraestructura de transporte que tiene el fin de permitir la circulación de vehículos de forma continua en el espacio y tiempo, tomando en cuenta la seguridad y comodidad (Cárdenas, 2015). Existen distintas clasificaciones para carreteras, una de estas es la clasificación en carreteras primarias, secundarias y terciarias; de acuerdo a su capacidad y sus puntos de conexión.

Sistemas de drenaje pluviales

El drenaje es cuando se da la remoción o descarga de excesos de agua. Existen distintas situaciones en las que se puede presentar esto como en el drenaje de una casa, urbanización, ciudad, carretera, aeropuerto, campo deportivo o un campo agrícola (Villón-Bejár, 2007).

Por ende, los sistemas de drenajes son aquellas estructuras que sirven para drenar aguas, ya sea a un río o a un centro de captación. Por su naturaleza, estas son obras lineales al tener sus características similares a lo largo de su estructura.

El drenaje se puede dar de forma superficial, donde el agua escurre por medio de un canal o una zanja excavada; como lo son las cunetas y los cordones de caño. También, se puede dar el drenaje subterráneo, como alcantarillas por medio de zanjas o canales profundos, drenes topo o drenaje entubado (SENARA, 2022).

Aceras

La seguridad durante la movilidad del peatón es muy importante; para garantizar esto es que existen estructuras como las aceras. Estas estructuras facilitan la movilidad de las personas entre sus comunidades; se pueden utilizar para comercio, asistencia a centros de educación o de trabajo, entre otros (LanammeUCR, 2017).

Además, las aceras no son usadas únicamente por personas que transitan a pie, sino que también hay personas con movilidad limitada que también las usan, en sillas de ruedas o con asistencia de muletas. Es por ello que es necesario aplicar normativa, como la Ley 7600, para garantizar que toda persona tenga accesibilidad a estas estructuras.

Metodología

Diagnóstico de las gestiones de AECO

Se realizó la recolección de información acerca de las gestiones que ha realizado AECO, respecto a la implementación de la metodología BIM. Se aplicó dos métodos, los cuales fueron entrevistas y reuniones.

Entrevista

Mediante la herramienta Google Forms, se realizó una entrevista a distancia a un miembro de AECO, con el fin de recolectar información acerca del estado de la empresa en cuanto a la implementación de BIM en esta organización. Se seleccionó este medio para mantener el distanciamiento social, en respuesta a la pandemia del Covid-19, y para permitir a quien contestara que lo hiciera en el momento que le fuera más oportuno.

Por medio de la entrevista, se buscó conocer sobre la historia de la empresa y un poco de sus antecedentes; esto con el propósito de poner en contexto la realidad de AECO. Además, se elaboraron preguntas para determinar el estado actual de implementación de BIM en la empresa y para identificar con qué recursos cuenta la empresa para realizar esto. También, se brindó un espacio para que la empresa pudiera dar a conocer cualquier otra información que se considerase importante tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Reuniones

Por medio de reuniones virtuales con miembros de AECO, usando aplicaciones como Google Meets y Zoom, se permitió el intercambio de información. Las primeras reuniones sirvieron para establecer

los puntos clave que el proyecto iba a seguir. Se estableció el rol que iba a tener la empresa en cuanto a la información que esta tenía que brindar. De ese modo, se acordó que la empresa iba a determinar cuáles proyectos consideraba pertinentes para el desarrollo del trabajo y así obtener un compendio de la información que tuviera disponible sobre los mismos.

Luego, por medio de un trabajo en conjunto, se logró formular una tabla que permitiera visualizar distintos proyectos que la empresa ha realizado. Para ello, primero fue necesario establecer qué parámetros se consideraban necesarios medir en estos proyectos con base en el criterio profesional de los miembros de AECO.

De ese modo, se logró desarrollar un cuadro que permitiera ver qué tipos de obras han realizado en sus proyectos; además, se identificó si de alguna forma u otra se aplicó BIM en estos y cuáles problemas surgieron. Esto se realizó por medio de la consulta del material sobre estos proyectos que tenían disponible en sus bases de datos y de la experiencia de los involucrados por parte de la organización.

Investigación de implementación BIM

En esta sección se llevó a cabo una investigación acerca de la implementación de BIM en una empresa y de su implementación en obras lineales. Esto implicó tres pasos, los cuales consistieron en la consulta de bibliografía, el análisis de la información recopilada y el compendio de la información.

Consulta bibliográfica

Se consultó distintas fuentes bibliográficas confiables con la finalidad de obtener información relacionada con la implementación de BIM y su uso en obras lineales. Las fuentes consultadas fueron obtenidas en repositorios de trabajos de graduación, bases de datos confiables, otras empresas que han implementado BIM, estándares y documentos realizados por entes con renombre en la implementación a nivel nacional e internacional. Las fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración del compendio de información fueron las siguientes:

- a) BIM Kit 2 – Documentos Técnicos: 1. Infraestructura
- b) Guía de Implementación BIM para las empresas
- c) Pasos claves para empezar un proyecto piloto en BIM
- d) Aplicación de la Metodología CIM a una Infraestructura Viaria. Caso de estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5
- e) Implementación de la Metodología BIM en el Diseño de Proyectos de Infraestructura Vial de la Organización INTRA Consultores
- f) Implementación de la Metodología BIM en los procesos de Trabajo de una Empresa de Arquitectura y Construcción Ubicada en Cuenca, Ecuador
- g) Can a fully integrated approach enclose the drainage system design and the flood risk analysis?
- h) Planificación y Programación de la Construcción de Aceras y Bordillos del Barrio Las Palmeras Bajas, en las Calles Felipe Vera y Mativi del Cantón Las Naves, Provincia Bolívar
- i) An Integrated BIM–GIS Method for Planning of Water Distribution System

Análisis de información

De la información recopilada, fue necesario analizar cuáles poseen elementos de uso para el presente proyecto, dado que la información consultada fue extensa y no toda era relevante para el proyecto. Se identificó la

información relativa a la implementación de BIM y a los procesos necesarios para realizar proyectos de obras lineales.

Elaboración del compendio

Para la elaboración del compendio de información, primero, se detallaron los puntos claves de los documentos consultados; luego, se elaboraron los diagramas de flujos de los proyectos de obra lineal y los listados de información importante, lo cual permitió visualizar la información de forma práctica y que ayudara a las siguientes etapas del proyecto. Los mapas conceptuales fueron realizados con la herramienta Lucidchart.

Materialización de la guía técnica

A partir del compendio, se estableció la información relevante que serviría de apoyo al generar la Guía Técnica. Esta sección corresponde a cómo se materializó el cuerpo de la Guía Técnica.

En primer lugar, se estableció la plantilla del documento a partir del formato de los reportes actuales de AECO, con el fin de generar un documento que fuera acorde con lo que la empresa acostumbra. Esto consideraba el formato de la portada del documento, así como la fuente a utilizar, el formato del encabezado y el pie de página, así como el formato de presentación de tablas y figuras.

En segundo lugar, se establecieron los capítulos y los apartados principales que debía llevar la Guía Técnica, lo cual permitió visualizar la estructura que iba a llevar la guía. Esto se llevó a cabo con base en el compendio y a lo solicitado por AECO según sus necesidades. Así, la guía se compone de varios capítulos, a saber: Plan de Implementación BIM en Proyectos de Obra Lineal de AECO, Libro de estilos, Procesos de Implementación BIM en Obras Lineales y el Proyecto Piloto. Además de esto, se agregó en el apartado de apéndices de la guía el diagnóstico de AECO y los conceptos importantes para la utilización de la guía.

Para la primera sección, se establecieron los lineamientos que deben de seguir los

miembros de AECO durante la ejecución de sus proyectos de obra lineal BIM. Para ello, se realizaron distintas matrices de presentación de información que permitan al lector entender esta información de forma clara y concisa. Posteriormente, se elaboró el Libro de Estilos que deben de seguir los proyectos elaborados por AECO, de igual forma se elaboraron tablas y figuras para la presentación de información.

Para la sección que consiste en la presentación de los procesos de implementación de la metodología BIM, se elaboraron diagramas de flujo para la elaboración de los proyectos de obra lineal en las etapas de Anteproyecto, Diseño y Construcción para cuatro tipos de obras lineales: Carreteras, Redes de aguas, Drenajes y Aceras. Estos diagramas de flujos fueron elaborados en la aplicación LucidChart.

Como elementos adicionales, se agregó en la sección de apéndices los elementos necesarios para poner en contexto la guía técnica, como lo fue la evaluación de AECO y los conceptos importantes. Para ello, se utilizaron figuras, matrices y se redactó el cuerpo para comunicarle al lector la información necesaria.

Evaluación de la guía técnica

Se evaluó el desempeño de la Guía Técnica al elaborar el capítulo referente a los Proyectos Pilotos. En esta sección, se desarrollaron dos proyectos: el primero, para evaluar las etapas de planificación, anteproyecto y diseño, el cual consistió en hacer el diseño de anteproyecto y de diseño de las calles dentro de un condominio ubicado en Santa Cruz; el segundo, para la etapa de construcción, el cual tenía que ver específicamente con el control de avance de la construcción de una calle aplicada en un tramo de 500 metros de longitud ubicado en Naranjo.

Para llevar a cabo los proyectos, se definieron las características generales de estos. Para el primero, en la etapa de planificación, se estableció que el estándar a utilizar sería la Guía Técnica; se generó un PEB para el proyecto en la aplicación llamada Plannerly; se estableció el CDE en Trimble Connect, y se definió que el medio de gestión de información sería Discord. En la etapa de anteproyecto, se siguió el proceso definido en

la guía para así obtener el modelo de anteproyecto. De igual forma, con la parte de diseño, se muestra el proceso detallado de la generación de los modelos BIM de las calles del proyecto, por medio de capturas de pantalla del software Civil Designer. En todo momento, se siguió lo que se estableció en la Guía Técnica para ambas etapas.

Para el segundo proyecto piloto, se elaboró el control de calidad del modelo, mediante la lista de control de calidad del modelo en Excel, para determinar que este estuviera acorde a los requerimientos mínimos de la guía técnica. Se editaron los archivos IFC en usBIM.viewer+ para agregar categorías y así poder asociarles hipervínculos que permitieran dirigirse fácilmente a las carpetas del CDE en Trimble Connect y almacenar los reportes de los controles de avance. Se detalló el proceso del control de avance siguiendo lo estipulado en los procesos de la Guía Técnica por medio de capturas de pantalla del software Plexos Project.

Se elaboró una rúbrica de evaluación que permitió identificar el impacto de la Guía Técnica en la elaboración de los proyectos pilotos. Dentro de esta rúbrica, se incluyeron aspectos de eficiencia del tiempo, gestión de comunicación, procesos, control de calidad, modelos y la utilización de los distintos apartados de la guía. La rúbrica asigna valores distintos para cada categoría de acuerdo con su importancia; esta es en base a 100.

Capacitación del personal

Se capacitó al personal de AECO en el uso de la Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales. Esto se realizó por medio de una reunión virtual en la cual se presentó el archivo de la guía en PDF, haciendo uso de Adobe Acrobat DC, donde se explicó en detalle cada apartado de la guía y de la forma de utilizar las distintas matrices de información y diagramas de flujos presentes en la guía.

Con el fin de aclarar dudas, se permitió la participación de los miembros de la empresa durante la presentación y también se ofreció un espacio al final para dudas generales. Además, a los miembros presentes, se les envió un cuestionario elaborado en Google Forms, para

evaluar su entendimiento sobre la utilización de la guía técnica. Asimismo, el cuestionario se aprovechó para obtener retroalimentación por

parte de los miembros de AECO presentes al final de la presentación.

Resultados

En esta sección se tienen los distintos resultados que se obtuvieron a partir del desarrollo del presente proyecto acerca de la implementación de un guía BIM para la empresa AECO.

miembros de la empresa en cuanto a la implementación de BIM.

El Cuadro 1 posee la información general correspondiente a las condiciones actuales en las que se encuentra AECO.

Entrevista

A continuación, se presenta una síntesis de las respuestas por parte del ingeniero Mauricio Rojas Quesada, en nombre de la empresa AECO. En este caso, se presenta una sola respuesta, ya que esta es la visión general que tienen todos los

CUADRO 1. SÍNTESIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE AECO	
Categoría	Descripción
Servicios que ofrece	Servicios de diseño, inspección de obras, gerencia de proyectos, y estudios especializados, apoyados en metodologías de trabajo bajo protocolos BIM, generación de nubes de puntos mediante sistemas líder, análisis de factibilidad técnico-constructiva y de constructibilidad, así como cuantificaciones y estimaciones de tiempos de proyectos.
Proyectos realizados	Se han realizado proyectos para el sector público y el privado. Se han dado servicios de apoyo a proyectos de diseños de carreteras en temas geométricos e hidráulicos, en proyectos como accesos a puentes en la Quebrada Cañas y Quebrada Mandarin. Informes evaluativos de situaciones hidráulicas para el proyecto de ampliación de la Ruta Nacional 1, Limonal - Cañas. Diseños de infraestructura de sistema de agua potable en la ampliación del ramal en la Calle Bosque del Niño. Diseños arquitectónicos y estructurales de casas y edificios. Diseños geométricos, análisis hidrológicos y diseños estructurales de alcantarillas de cuadro en la Ruta Nacional 901.
Softwares usados actualmente por AECO	Civil Designer, Civil 3D, SkechUp, Plexos Project, Excel, Word.

CUADRO 1. SÍNTESIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE AECO	
Categoría	Descripción
Hardware actual de AECO	Drone Phantom 4 para levantamientos fotométricos. Los socios aportan equipos de cómputo para el desarrollo de los proyectos. Estaciones totales para trabajos de topografía.
Colaboradores con los que cuenta AECO	Actualmente AECO posee tres colaboradores a tiempo completo; también tiene otros cinco socios, de los cuales dos trabajan a tiempo completo, dos a tiempo compartido y uno está disponible cuando se requiere.

Fuente: Autoría propia.

El cuadro 2 sintetiza la información correspondiente al estado actual de implementación de BIM en la empresa AECO.

CUADRO 2. SÍNTESIS DEL HISTORIAL DE APLICACIÓN DE BIM EN AECO	
Categoría	Descripción
Historial de aplicación BIM	La empresa ha intentado implementarlo, pero solo se ha podido aplicar en algunos proyectos donde los participantes son los socios que tienen mayor conocimiento en BIM.
Retos de implementación BIM	La aplicación estricta de la metodología (se desarrollan lineamientos para el desarrollo de proyectos, pero no se llevan a cabo por todos los colaboradores o se implementan irregularmente). Tampoco se ha establecido el flujo de trabajo con los diferentes softwares a utilizar para la implementación de la metodología (se tiene una idea de los softwares a implementar, pero no se ha “aterizado”). La falta de la definición del libro de estilo también ha sido un reto para trabajar de la misma manera en cualquier proyecto.
Conocimiento BIM de los colaboradores	Los colaboradores no poseen mayor conocimiento en BIM. Solo un socio sí tiene un alto conocimiento de la metodología, al contar con dos maestrías en esta materia; y otro socio tiene conocimiento práctico por autoaprendizaje.
Asignación actual de roles BIM	Se tienen roles no formales, que a veces no están claros, y las responsabilidades tampoco quedan claras. Se requiere definir los roles claramente.
Recursos BIM disponibles	No se ha implementado ningún tipo de recurso. Se han llevado a cabo intentos para utilizar nombres de carpetas y archivos, pero con un resultado regular. En temas de diseño, se ha tratado de utilizar estándares para la obtención de modelos que contengan al menos la información básica para ser exportados a modelos IFC. Se han realizado trabajos tratando de aplicar los usos BIM sin el tipo de trabajo a desarrollar, con resultados aceptables.
Estado de uso de CDE	No se tiene un sistema totalmente definido. Se trabajan con algunas herramientas y directrices, pero no de manera formal y aplicable en todos los proyectos y documentos.
Sistema de clasificación utilizado	Se tiene el conocimiento de la existencia, pero no se han aplicado en ningún de los proyectos.

Fuente: Autoría propia

Matriz de proyectos

En los siguientes cuadros se permite visualizar la información importante de la empresa en la

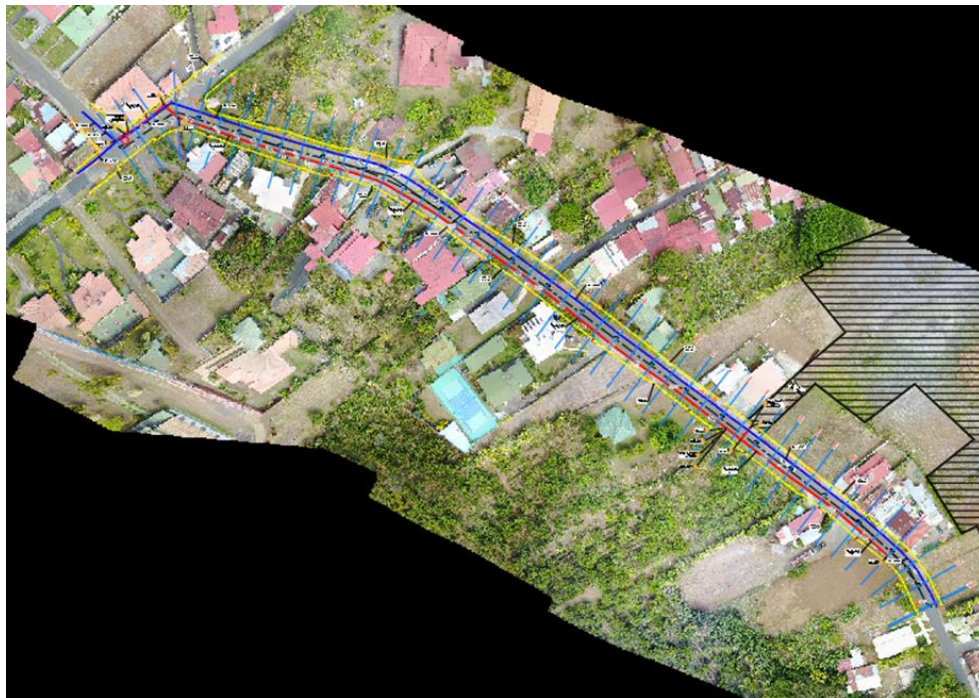
ejecución de algunos de sus proyectos pasados, en cuanto al nivel de implementación BIM que ha logrado. El Cuadro 3 permite caracterizar el tipo de proyectos en los que ha participado AECO y muestra información relevante de los mismos.

CUADRO 3. MATRIZ DE PROYECTOS REALIZADOS POR AECO.									
ID	Proyecto	Año	Ubicación	Obra Lineal	Duración	Costo (\$)	Cantidad	Cliente	Descripción
1	Ampliación Ramal Acueducto Cocaleca.	2019	Palmares, Costa Rica.	Tubería potable	1 mes	60000	400 m	Hermanos Solórzano Araya S. A.	Diseño de ampliación de ramal de sistema de agua potable para el acueducto del AyA de Palmares.
2	Pasarela peatonal Bungalows West Resort.	2020	Bocas del Toro. Panamá.	Muelle	1 mes	960000	500 m	West Resort	Diseño de una pasarela peatonal tipo muelle para acceso a Bungalows.
3	Movimiento de tierra, ampliación Hotel Andaz.	2021	Golfo de Papagayo, Costa Rica.	Caminos y terrazas	1 mes	400000	400 m	ARCONS A	Construcción de caminos y terrazas para la ampliación del Hotel Andaz.
4	Ampliación de Ramal en la calle Bosque del Niño.	2021	Grecia, Costa Rica.	Tubería potable	3 meses	250000	3500 m	ASADA San Isidro de Grecia	Diseño de un acueducto nuevo para la calle 2-03-102, conocida como Bosque del Niño.
5	Construcción Puente Río Cañas.	2021	Alajuela, Costa Rica.	Carretera	15 días	300000	200 m	Comisión Nacional de Emergencias	Diseño de accesos para el nuevo puente sobre el Río Cañas en

CUADRO 3. MATRIZ DE PROYECTOS REALIZADOS POR AECO.									
ID	Proyecto	Año	Ubicación	Obra Lineal	Duración	Costo (\$)	Cantidad	Cliente	Descripción
									Barrio Fátima.

Fuente: Autoría propia.

En las siguientes figuras se puede observar los productos obtenidos como parte de la elaboración de los proyectos descritos en la tabla anterior.



*Figura 7. Proyecto 1, ampliación del ramal del acueducto Cocaleca. Tomado de Civil 3D.
Fuente: AECO.*

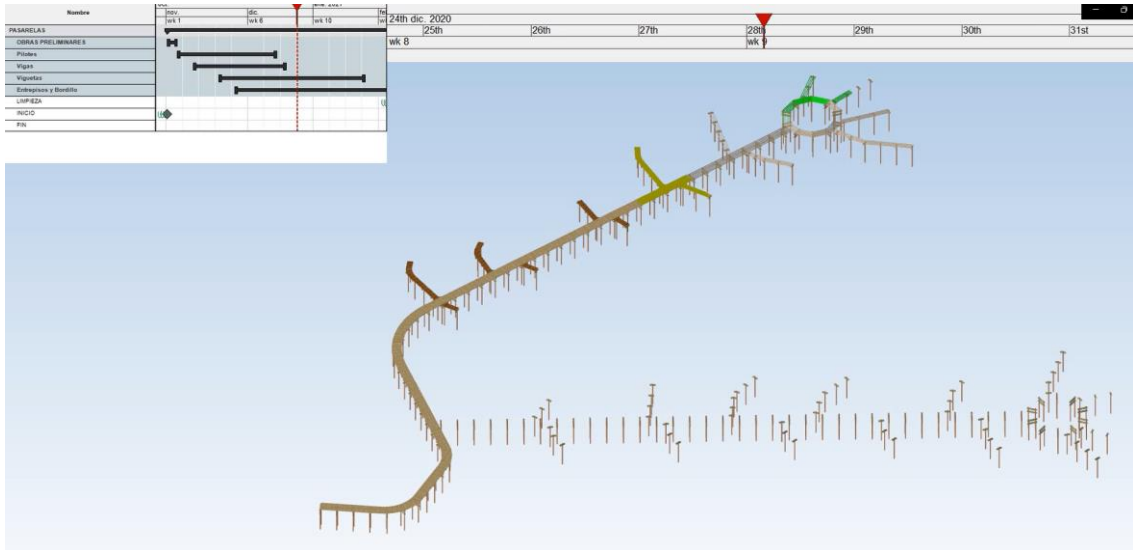


Figura 8. Proyecto 2, renderización de la pasarela peatonal para el acceso a Bungalows. Tomado de SketchUp.
Fuente: AECO.



Figura 9. Proyecto 3, renderización del movimiento de tierras para el Hotel Andaz. Tomado de Civil Designer.
Fuente: AECO.

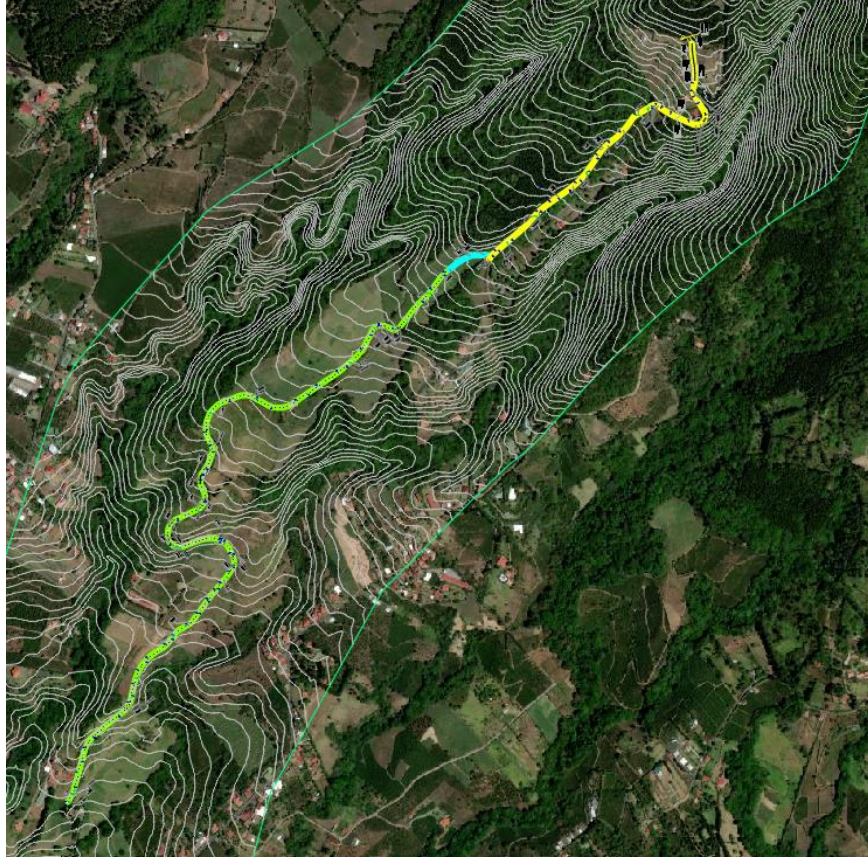


Figura 10. Proyecto 4, alineamiento de la ampliación del ramal del Bosque del Niño. Tomado de Civil 3D.
Fuente: AECO.

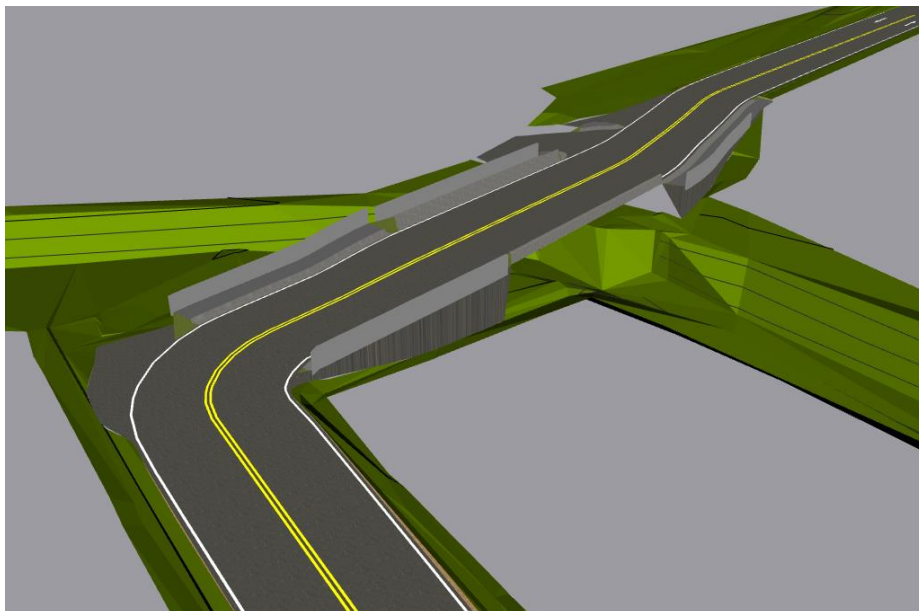


Figura 11. Proyecto 5, Renderización del puente sobre el río Cañas. Tomado de Civil Designer.
Fuente: AECO.

El Cuadro 4 identifica el desempeño de la metodología BIM en los proyectos denotados en el Cuadro 3. Aspectos como el nivel de BIM se basan en la clasificación de la Figura 5. Además, cabe recalcar que para el proyecto 4 se reconoce que

se aplicó BIM de forma parcial, dado a que el proyecto inició de esta forma, pero conforme al desarrollo del mismo se tuvo que regresar a la metodología tradicional.

CUADRO 4. DESEMPEÑO DE BIM EN LOS PROYECTOS DE AECO					
ID	¿Se implementó BIM?	Nivel de BIM	¿Qué de BIM se implementó?	¿Se usaron CDE?	Software usado
1	Sí	1	-Sistema de coordenadas -Nube de puntos -Modelos 3D	Internamente Sí, Pcloud. Externamente No, por correo electrónico	Civil 3D
2	Sí	1	-Sistema de coordenadas -Modelos 3D -Modelo 4D	No, solo correo electrónico	SketchUp Synchro Project
3	Sí	1	-Modelos 3D -Modelo 4D	Internamente Sí, Pcloud. Externamente No. Correo electrónico.	Civil Designer Plexos Project
4	Parcialmente	0.5	Sistema de coordenadas	Internamente Sí, Pcloud. Externamente No.	Civil 3D AutoCAD
5	Sí	1	-Sistema de coordenadas -Modelos 3D	Internamente Sí, Pcloud. Externamente No, Correo electrónico	Civil Designer

Fuente: Autoría propia.

El Cuadro 5 corresponde a una comparación del desempeño de BIM en los proyectos de AECO. Se identifica cuáles problemas surgieron respecto a la implementación de BIM y qué soluciones se les

dieron. Además, se posee una columna que indica qué beneficios se hubieran alcanzado si la metodología BIM se hubiera implementado adecuadamente.

CUADRO 5. DESEMPEÑO DE AECO EN SUS PROYECTOS DE OBRAS LINEALES			
ID	Problemas	Soluciones	¿Qué se hubiera obtenido si se aplicara BIM correctamente?
1	No estaba normalizado el uso de nombre de archivos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Se tendría un modelo final IFC debidamente coordinado, estandarizado y con cantidades.
	No estaba normalizada la estandarización de elementos.	No se implementó ningún tipo de solución.	
2	No se tuvo PEB, y se hizo un SDI que no se implementó.	Se presentó el proyecto según lo que se consideró que era lo que requería el cliente.	Se habrían eliminado diferencias por el alcance del trabajo realizado.

CUADRO 5. DESEMPEÑO DE AECO EN SUS PROYECTOS DE OBRAS LINEALES			
ID	Problemas	Soluciones	¿Qué se hubiera obtenido si se aplicara BIM correctamente?
	No estaba normalizada la estandarización de elementos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Se tendría un modelo final IFC, debidamente coordinado, estandarizado y con cantidades.
	No estaba normalizado el uso de nombre de archivos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. De estar codificado, sería sencillo encontrar las especialidades, los tipos de archivo, las versiones vigentes, etc.
	No se tenía un sistema de CDE para interactuar con el cliente.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. De estar codificado, sería sencillo encontrar las especialidades, los tipos de archivo, las versiones vigentes, etc.
3	No se tenía un PEB ni SDI.	Se presentaron planos e informes, con un alcance según el criterio de cada parte.	Se tendría claro el formato, los niveles de detalle, los entregables, los alcances y las responsabilidades de cada parte.
	No estaba normalizada la estandarización de elementos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Se tendría un modelo final IFC, debidamente coordinado, estandarizado y con cantidades.
	No estaba normalizado el uso de nombre de archivos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. Estando codificado sería sencillo encontrar las especialidades, tipos de archivo, versiones vigentes, etc.
	No se tenía un sistema de CDE para interactuar con el cliente.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. Estando codificado sería sencillo encontrar las especialidades, tipos de archivo, versiones vigentes, etc.
4	Se iniciaron con modelos 3D, pero al realizar los planos se pasaron a 2D. Cada vez que se hacía una actualización del proyecto, se debían actualizar manualmente los planos.	No se implementó ningún tipo de solución.	La actualización de planos sería automática.
	No estaba normalizada la estandarización de elementos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Se tendría un modelo final IFC, debidamente coordinado, estandarizado y con cantidades.
	No estaba normalizado el uso de nombre de archivos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la

CUADRO 5. DESEMPEÑO DE AECO EN SUS PROYECTOS DE OBRAS LINEALES			
ID	Problemas	Soluciones	¿Qué se hubiera obtenido si se aplicara BIM correctamente?
	La CDE funcionó inicialmente, pero al incorporar un asesor externo, se perdió el uso de la CDE, y se manejaba por correo electrónico. Había que estar revisando el correo para tener la última versión, con el riesgo que implicaba equivocarse en la búsqueda.	No se implementó ningún tipo de solución.	ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. De estar codificado, sería sencillo encontrar las especialidades, los tipos de archivo, las versiones vigentes, etc.
5	No estaba normalizado el uso de nombre de archivos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Sería más eficiente el intercambio de información entre el cliente y la ingeniería. Se tendría la información oficial y actualizada disponible para todas las partes. De estar codificado, sería sencillo encontrar las especialidades, los tipos de archivo, las versiones vigentes, etc.
	No se tenía un sistema de CDE para interactuar con el cliente.	No se implementó ningún tipo de solución.	
	No estaba normalizada la estandarización de elementos.	No se implementó ningún tipo de solución.	Se tendría un modelo final IFC debidamente coordinado, estandarizado y con cantidades.
	No se tenía un PEB ni SDI	Se presentaron planos e informes, con un alcance según el criterio de cada parte.	Se tendría claro el formato, los niveles de detalle, los entregables, los alcances y las responsabilidades de cada parte.

Fuente: Autoría propia.

Compendio de información

En esta sección se presenta un compendio de información en el Cuadro 6, acerca de la implementación de BIM, principalmente en obras

de

lineales, con el fin de identificar qué parámetros son necesarios para AECO. Se utilizaron diversas fuentes como: publicaciones en formato de Trabajo Final de Graduación (TFG), publicaciones de artículos de páginas web y guías nacionales e internacionales publicadas por organizaciones encargadas de la implementación BIM.

CUADRO 6. COMPENDIO DE INFORMACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA		
ID Documento	Documento	Información
1	BIM Kit 2 – Documentos	<ul style="list-style-type: none"> Propone las actividades para la aplicación de BIM en los proyectos de infraestructura.

CUADRO 6. COMPENDIO DE INFORMACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA		
ID Documento	Documento	Información
	Técnicos: 1. Infraestructura (BIM FORUM Colombia, s.f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Propone el proceso de gestión de información de modelos BIM. • Establece las actividades para el diseño de infraestructura vial de un proyecto BIM. • Propone los roles necesarios para la ejecución de un proyecto BIM de infraestructura de acuerdo con su tamaño.
2	Guía de Implementación BIM para las empresas (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las capacidades de la organización. • Establecimiento de los objetivos BIM. • Identificación del tipo de proyectos. • Establecimiento de los Niveles de Definición (NDI).
3	Pasos claves para empezar un proyecto piloto en BIM (Vargas, s.f.)	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de un proyecto piloto con capacidad de evidenciar los beneficios del uso de BIM. • Aplicar entrenamiento previo en las herramientas BIM a los miembros, aprovechando las capacidades que estos ya tienen. • Análisis y evaluación de los resultados obtenidos por medio de la implementación del proyecto piloto ayudan a depurar los procesos.
4	Aplicación de la Metodología CIM a una Infraestructura Viaria. Caso de estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5 (Pérez, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de modelado de una obra lineal utilizando la metodología BIM. • La estructura de un proyecto piloto.
5	Implementación de la Metodología BIM en el Diseño de Proyectos de Infraestructura Vial de la Organización INTRA Consultores (Brenes, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de la etapa de planificación de un plan de acción BIM.
6	Implementación de la Metodología BIM en los	<ul style="list-style-type: none"> • Los puntos clave del plan de implementación como guía basado en el Diagnóstico, la Evaluación, un Plan de implementación y un Proyecto piloto.

CUADRO 6. COMPENDIO DE INFORMACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA		
ID Documento	Documento	Información
	procesos de Trabajo de una Empresa de Arquitectura y Construcción Ubicada en Cuenca, Ecuador (Vélez-Martínez, 2020)	
7	Can a fully integrated approach enclose the drainage system design and the flood risk analysis? (Ferrante et al, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de modelado de proyecto de drenaje de aguas.
8	Planificación y Programación de la Construcción de Aceras y Bordillos del Barrio Las Palmeras Bajas, en las Calles Felipe Vera y Matiaví del Cantón Las Naves, Provincia Bolívar. (Gavilanez & Solorzano, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de modelado de proyecto de acera.
9	An Integrated BIM-GIS Method for Planning of Water Distribution System. (Zhao, Liu, & Mbachu, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de modelado de proyecto de red de agua potable.

Fuente: Autoría propia.

A continuación, se presentan las actividades recomendadas para la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura de obra lineal, de acuerdo con lo descrito en el documento 1 del compendio de información.

CUADRO 7. ACTIVIDADES PARA LA APLICACIÓN DE BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL DOCUMENTO 1.		
Actividades para la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura	Proceso de gestión de información	Actividades para el Diseño de Infraestructura Vial de un proyecto BIM
<p>a) Actividades en prefactibilidad: Por medio de herramientas BIM de modelado 3D y la creación de propuestas, se pueden analizar las propuestas de solución; estas alimentadas de información de mapas topográficos y geológicos, aerofotogramétricas, SIG (Sistemas de Información Geográfica) y otras fuentes. Su fin es obtener las curvas de nivel, la identificación de corredores, los trazados preliminares y la identificación de zonas críticas. Además, se recomienda el uso de RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). Según el PEB, se presenta LOD 100.</p> <p>b) Actividades en factibilidad: Relacionado con levantamientos topográficos, partir de los cuales se hace un Modelo Digital de Superficie (MDS); con el que se puede hacer análisis volumétrico, de secciones, de movimiento de masas y otros. Con los modelos se plantean las secciones transversales, corredores, entre otros. Se presenta LOD 200.</p> <p>c) Actividades en etapa de estudios y diseños de detalle: Consisten en mejorar nivel de detalle de modelos. En esta etapa se gestionan los componentes técnicos, jurídicos, financieros,</p>	<p>a) Evaluación de las necesidades</p> <p>b) Petición de ofertas</p> <p>c) Presentación de ofertas</p> <p>d) Contratación</p> <p>e) Movilización</p> <p>f) Producción colaborativa de la información</p> <p>g) Entrega del modelo de información</p> <p>h) Fin de la fase de desarrollo (cierre de etapa del proyecto)</p>	<p>a) Programación BIM -Planteamiento de alcance y objetivos -Recopilación y análisis de información -Planteamiento de flujos de trabajo y elección de herramientas BIM</p> <p>b) Diseño conceptual BIM -Planteamiento de la alternativa de diseño -Análisis técnico, geométrico y presupuestario de las alternativas</p> <p>c) Diseño de detalle BIM -Selección de alternativa -Aplicación de normativa y diseño con software BIM</p> <p>d) Diseño Conceptual BIM -Comprobación sistematizada de normativa, análisis gráfico y recorrido del modelo -Elaboración de diagrama de masas -Análisis hidráulico de sistema de drenajes</p> <p>e) Documentación BIM -Extracción de reportes de diseño geométrico -Elaboración planos -Extracción de reportes de cantidad de obras</p>

CUADRO 7. ACTIVIDADES PARA LA APLICACIÓN DE BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL DOCUMENTO 1.		
Actividades para la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura	Proceso de gestión de información	Actividades para el Diseño de Infraestructura Vial de un proyecto BIM
<p>ambientales, entre otros. Se recomienda que la información sea transmitida por medio del CDE. Se presenta LOD 200 – LOD 350.</p> <p>d) Actividades dentro de la etapa de construcción: Constan de gestionar la información alimentando al Modelo de Información del Proyecto (PIM). Se hace seguimiento por medio de RPAS o equipo terrestre; como escaneo láser, fotografías 360, bitácoras digitales, etc. Se presenta LOD 300 – LOD 350.</p>		

Fuente: Autoría propia, adaptado de (BIM FORUM Colombia, s.f.)

A continuación, se tienen los siguientes diagramas de los procesos de Modelado BIM para los distintos tipos de obras lineales.

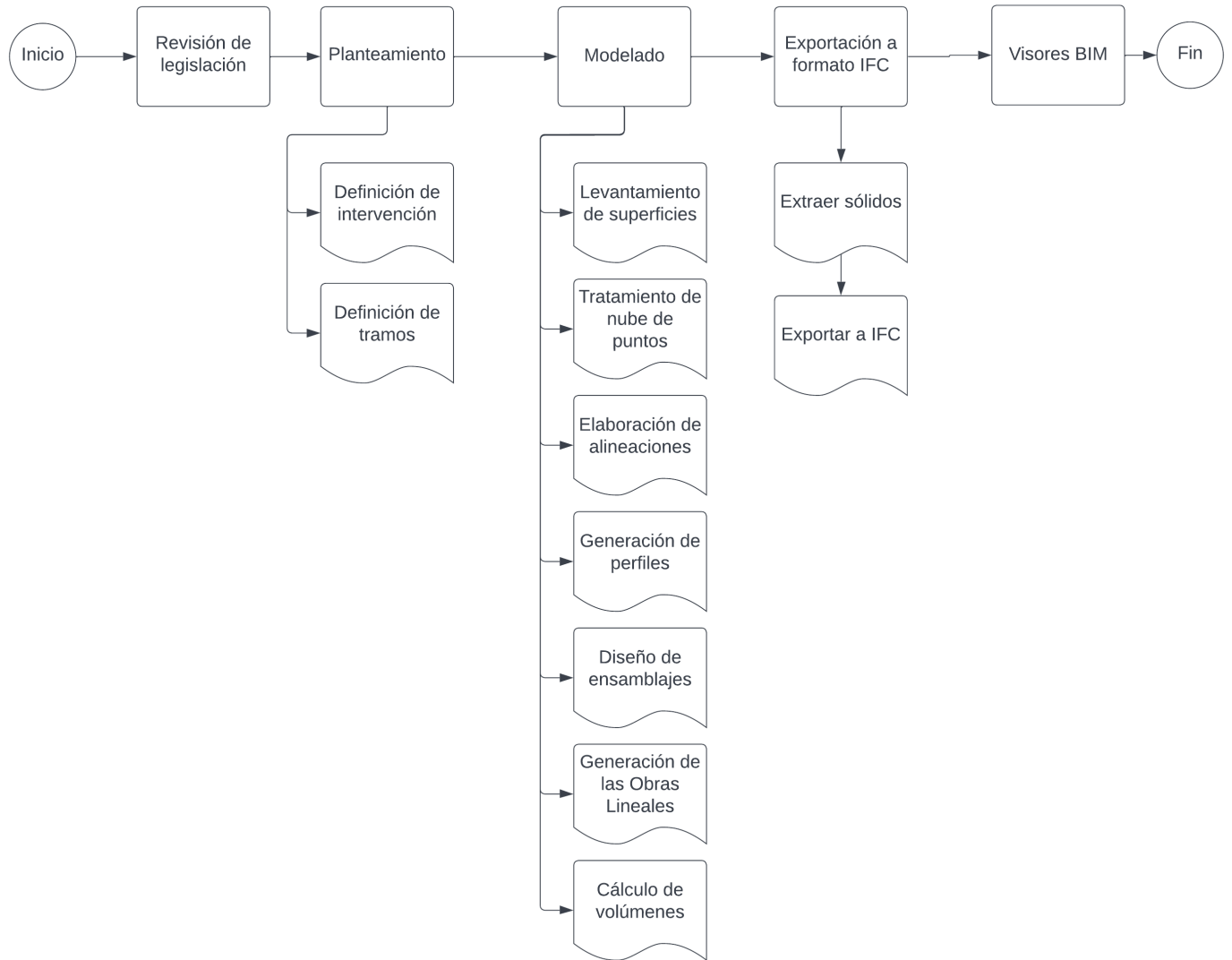


Figura 12. Diagrama de modelado de proyecto de infraestructura vial.
 Fuente: Autoría propia elaborado en LucidChart, basado en (Pérez, 2019).

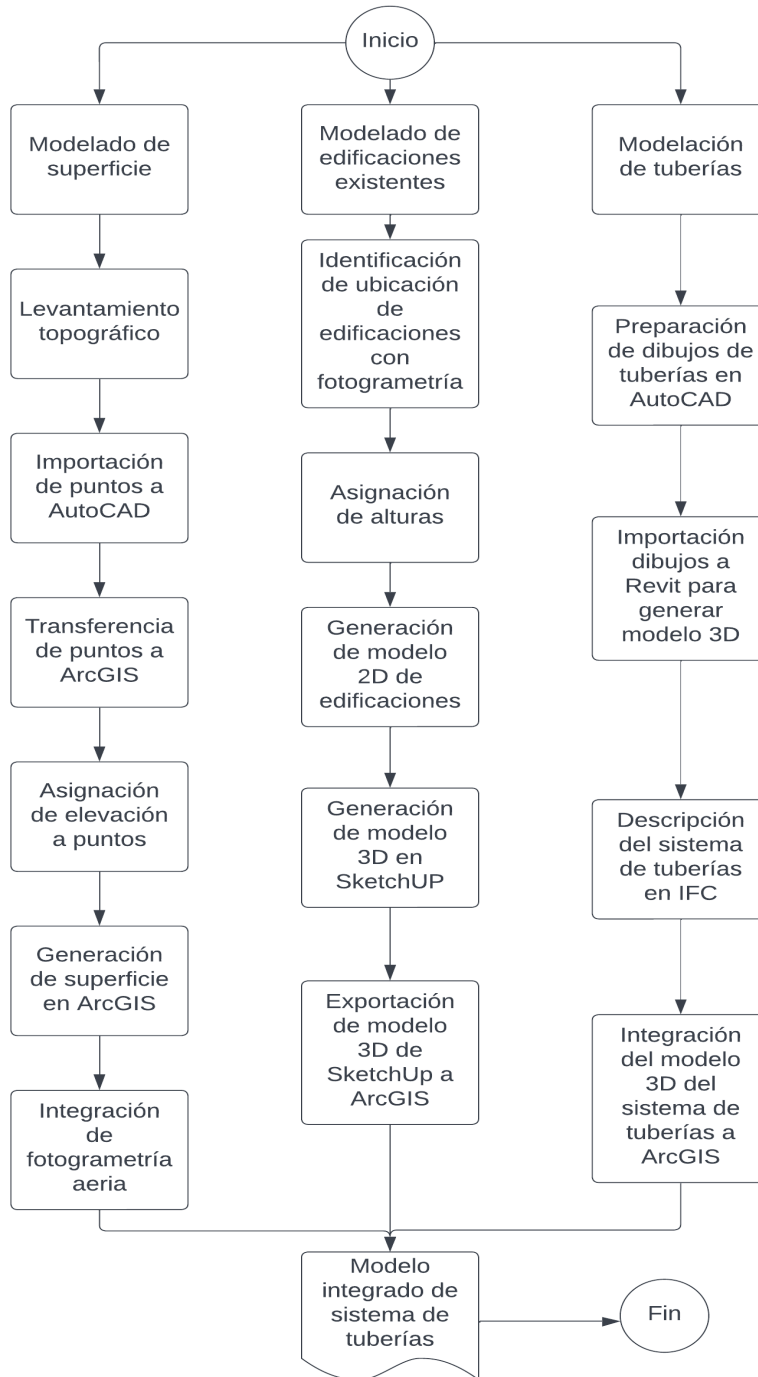


Figura 13. Diagrama de modelado de proyecto de red de agua potable.
 Fuente: Autoría propia elaborado en LucidChart, basado en (Zhao, Liu, & Mbachu, 2019)

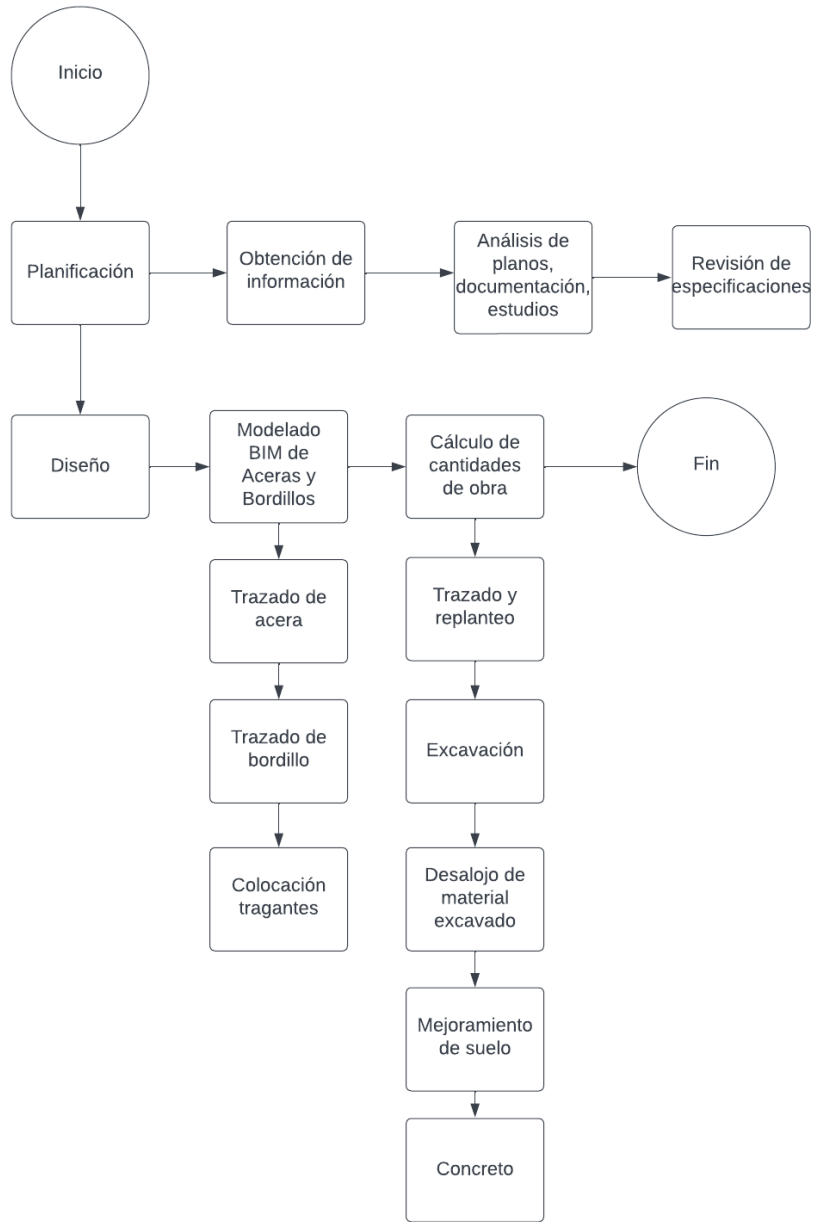


Figura 14. Diagrama de modelado de proyecto de acera.
 Fuente: Autoría propia elaborado en LucidChart, basado en (Gavilanez & Solorzano, 2020)

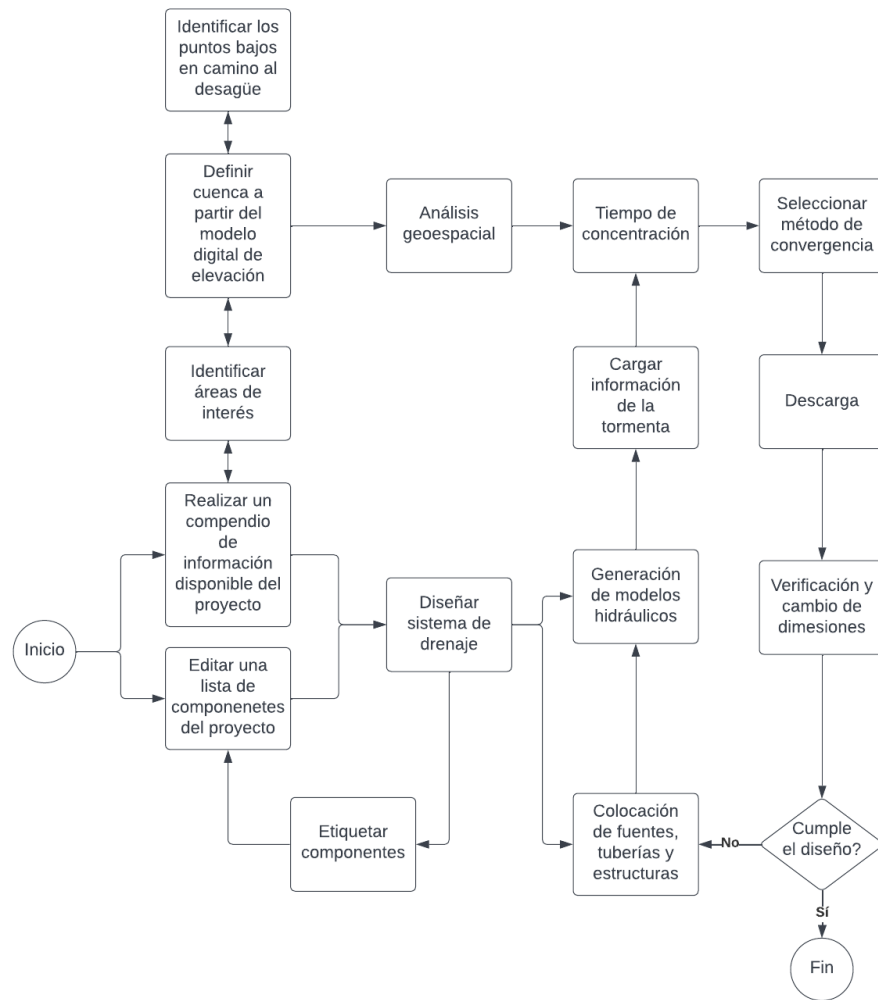


Figura 15. Diagrama de modelado de proyecto de drenaje de aguas.
Fuente: Autoría propia elaborado en LucidChart, basado en (Ferrante et al., 2020)

El Cuadro 8 presenta el listado de puntos relevantes a incluir dentro de un plan de implementación BIM de una empresa constructora.

CUADRO 8. PROCESO DE CREACIÓN DE PLAN DE IMPLEMENTACIÓN BIM			
1. Diagnóstico	2. Evaluación	3. Plan de Implementación	4. Proyecto Piloto
<ul style="list-style-type: none"> • Descripción Empresa • Recursos humanos • Software • Hardware 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de madurez • Escenarios BIM • Recursos humanos • Software • Hardware 	<ul style="list-style-type: none"> • Definición del plan de implementación BIM - Madurez BIM - Objetivos BIM - Roles BIM 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de comunicaciones • Gestión de información • Redacción PEB • Modelado

CUADRO 8. PROCESO DE CREACIÓN DE PLAN DE IMPLEMENTACIÓN BIM			
1. Diagnóstico	2. Evaluación	3. Plan de Implementación	4. Proyecto Piloto
<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de comunicación • Gestión de información • Actuales flujos de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de comunicación • Gestión de información 	<ul style="list-style-type: none"> - Software - Hardware - Gestión de comunicaciones - Gestión de información • Libro de estilos <ul style="list-style-type: none"> - Plantilla de proyectos - Flujo de creación de un proyecto - Construcción del modelo - Planificación obra • Definición del Plan de Ejecución BIM para el proyecto • Flujo de trabajo de proyectos BIM • Control de calidad de modelos 	<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura - Estructura - Instalaciones • Observaciones

Fuente: Elaboración propia basado en Vélez-Martínez (2020).

Listado de acciones a seguir

Esta sección corresponde a los pasos a seguir para la generación de la guía, la cual se basa en la información conseguida en el compendio de información. Esta lista son los pasos a seguir para poder generar la guía técnica:

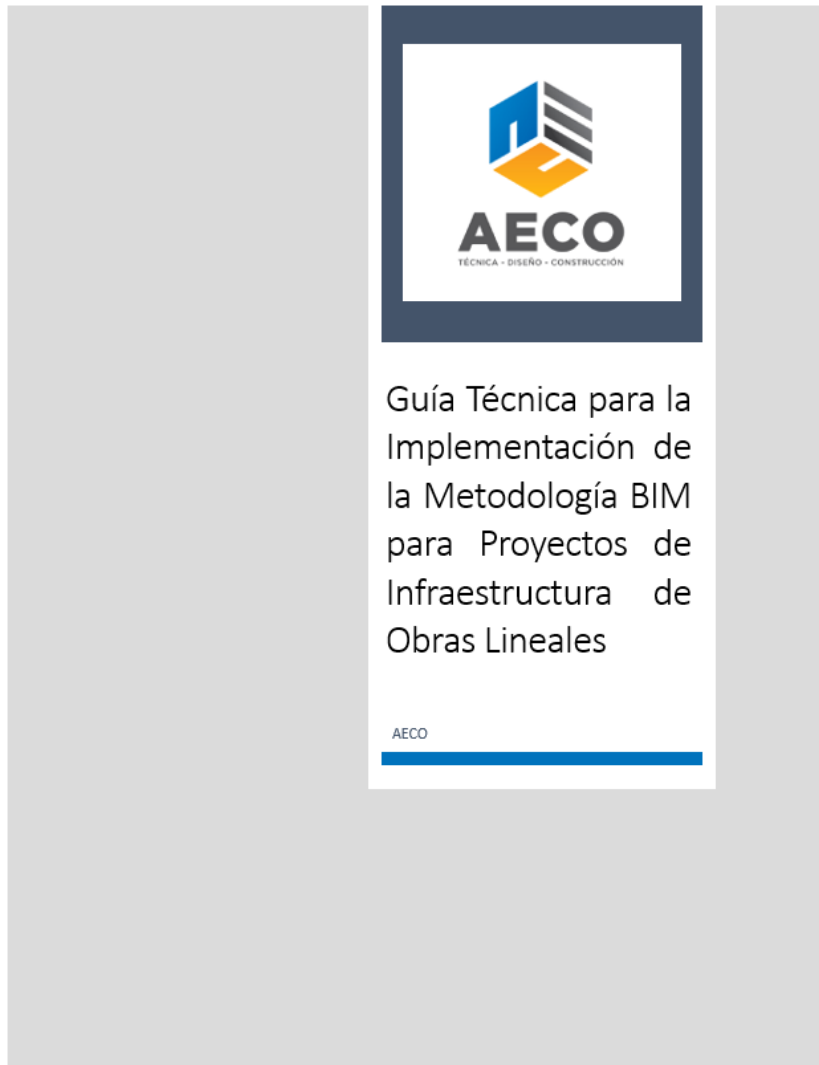
- a) Definir los capítulos de la guía
- b) Definir los apartados de cada capítulo
- c) Establecer un formato o plantilla para desarrollar la guía
- d) Aprovechar la información recolectada anteriormente e incluir lo necesario en la guía.
- e) Para la redacción de la guía técnica:
 - Definir los distintos aspectos BIM con los miembros de AECO.

- Establecer los roles BIM, quién va a asumir cada rol, sus funciones y las necesidades de capacitación.
 - Seleccionar los softwares a utilizar para cada etapa de los proyectos de obra lineal.
 - Establecer los requerimientos mínimos con los que tiene que contar el equipo de cómputo de AECO.
 - Proponer el sistema de gestión de información, también considerando la nomenclatura a utilizar para las carpetas de los proyectos.
 - Generar un libro de estilos.
 - Establecer flujos de trabajo para la ejecución de BIM en proyectos de obra lineal.
 - Elaborar una *checklist* para el control de calidad de los modelos.
- f) Para el apartado de apéndices:

- Identificar los softwares que actualmente se están usando en la organización y describir los softwares por utilizar.
- Identificar los canales de comunicación actuales de AECO.
- Buscar los requerimientos de hardware necesarios para los softwares más demandantes.

Guía Técnica

Se materializa la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales.



*Figura 16. Portada de la Guía Técnica.
Fuente: Autoría propia.*

La Guía Técnica posee los siguientes contenidos, los cuales están divididos en cuatro capítulos principales, incluyendo la evaluación de los

proyectos pilotos. Además, se incluyen los apéndices y las referencias.

Contenido	
Contenido	2
Introducción	5
Plan de Implementación BIM en Proyectos de Obra Lineal de AECO	6
1 Lineamientos Generales de la Implementación BIM	6
1.1 Generalidades del plan de implementación para AECO	6
1.1.1 Madurez	6
1.1.2 Objetivos BIM de AECO	6
1.1.3 Roles BIM para AECO	7
1.1.4 Software BIM a utilizar por AECO	10
1.1.5 Hardware mínimo para los equipos de AECO	12
1.1.6 Gestión de comunicaciones de AECO	13
1.1.7 Gestión de información para los proyectos de AECO	18
1.2 Definición del Plan de Ejecución BIM para AECO	21
1.3 Control de calidad de modelos	22
2 Libros de estilos de AECO	24
2.1 Introducción Libro de Estilos	24
2.2 Pautas para proyectos BIM de Obra Lineales	24
2.2.1 Usos BIM	25
2.2.2 Entidades mínimas para proyectos de obra lineal	26
2.2.3 Niveles de Desarrollo de las entidades	27
2.2.4 Codificación	28
2.2.5 Nombre de archivos de los modelos BIM	30
3 Procesos de Implementación de BIM en Obras Lineales	31
3.1 Planificación	32
3.2 Anteproyecto	33
3.2.1 Carretera	33
3.2.2 Redes de agua	34
3.2.3 Drenajes de agua pluviales	35
3.2.4 Aceras	36
3.3 Diseño	37
3.3.1 Carretera	37
3.3.2 Redes de agua	38
3.3.3 Drenajes de agua pluviales	39

*Figura 17. Contenido de la Guía Técnica.
Fuente: Autoría propia.*

3.3.4	Aceras.....	40
3.4	Construcción	41
3.4.1	Carretera.....	41
3.4.2	Redes de agua	42
3.4.3	Drenajes de agua pluviales	43
3.4.4	Aceras.....	44
4	Evaluación de la Guía Técnica.....	45
4.1	PO57 Condominio Playa Blanca	45
4.1.1	Planificación.....	46
4.1.2	Anteproyecto.....	50
4.1.3	Diseño.....	57
4.2	PO60 Calle Valverde.....	76
4.2.1	Construcción.....	77
Apéndices.....		86
1	Diagnóstico de AEEO	86
1.1	Descripción de la empresa.....	86
1.2	Equipo de trabajo	88
1.3	Software	89
1.4	Hardware.....	90
1.5	Gestión de comunicaciones	90
1.6	Gestión de información	91
2	Conceptos	92
2.1	Nivel de madurez	92
2.2	Roles BIM.....	93
2.3	Softwares	93
2.3.1	Plannerly.....	94
2.3.2	Civil Designer.....	94
2.3.3	usBIM.viewer+	96
2.3.4	Plexos Project.....	96
2.4	Hardware.....	97
2.5	Gestión integral de información.....	98
2.5.1	Trimble Connect	99
2.6	Gestión de comunicaciones	99
2.7	Plan de Ejecución BIM	100
3	Plan de Ejecución BIM – PO57.....	100
Referencias		101

*Figura 18. Contenido de la guía técnica
Fuente. Autoría propia.*

Rúbrica de evaluación guía técnica

La rúbrica de evaluación califica de forma crítica y objetiva la implementación de la guía técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales en los proyectos pilotos desarrollados.

CUADRO 9. RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA						
Categorías	Deficiente 0	Malo 1	Regular 2	Muy bien 3	Puntos	Puntos obtenidos
Utilización de apartados de la guía	No se implementó ningún capítulo en el desarrollo del proyecto piloto.	Se implementó el uso de algunos de los capítulos de la guía, solo se usó algunos de los apartados de estos.	Se implementaron todos los capítulos de la guía técnica, pero haciendo uso solo de algunos de los apartados.	Se implementaron todos los capítulos de la guía técnica, haciendo uso de todos los apartados.	30	30
Eficiencia de tiempo	La implementación de la guía no permitió que el proyecto se desarrollara.	La implementación de la guía provocó que el tiempo de desarrollar el proyecto fuera mayor que con el método tradicional.	La implementación de la guía permitió que el tiempo de desarrollar el proyecto fuera igual que con el método tradicional.	La implementación de la guía permitió que el tiempo de desarrollar el proyecto fuera menor que con el método tradicional.	10	3,33
Gestión de Comunicación	La comunicación no fue posible con el método establecido en la guía.	La comunicación fue menos efectiva que con el método tradicional.	La comunicación fue igual a con el método tradicional.	La comunicación fue más efectiva y controlada que con el método tradicional.	10	10
Procesos	No se utilizaron los procesos de implementación BIM en Obras Lineales.	Hizo falta pasos del proceso de implementación BIM en Obras Lineales.	Partes del proceso de implementación BIM en Obras Lineales fueron omitidos.	Todo el proceso de implementación BIM en Obras Lineales se utilizó.	20	20
Control de calidad	No se aplicó control de calidad de modelos.	El control de calidad pasó por alto falencias en los modelos.	El control de calidad identificó problemas en los modelos, pero no se corrigieron.	El control de calidad permitió identificar y corregir algo malo en un modelo.	10	10
Modelos	Los modelos no hacen uso de las entidades mínimas, los NDI correctos, las codificaciones adecuadas y los nombres correctos.	Los modelos hacen uso de pocas de las entidades mínimas, los NDI correctos, las codificaciones adecuadas y los nombres correctos.	Los modelos hacen uso de la mayoría de las entidades mínimas, los NDI correctos, las codificaciones adecuadas y los nombres correctos.	Los modelos tienen las entidades mínimas, los NDI correctos, las codificaciones adecuadas y los nombres correctos.	20	20
Total					100	93,33

Fuente: Autoría propia.

Capacitación personal

Se capacitó al personal de AECO acerca de la utilización de la Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales, en la aplicación de Discord.



Figura 19. Reunión de capacitación de la guía técnica.
Fuente: Autoría propia.

Del cuestionario realizado a los miembros de AECO presentes en la reunión, los puntajes obtenidos para las 3 respuestas dadas fueron los siguientes:

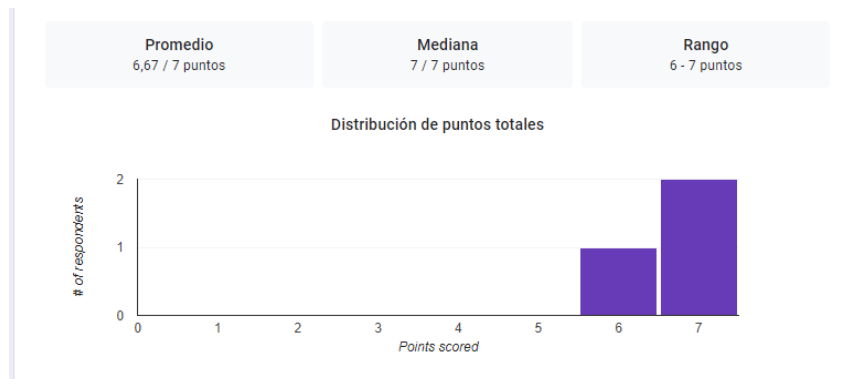


Figura 20. Puntuaciones de cuestionario capacitación.
Fuente: Google Forms.

¿Cuál aplicación se usa para establecer el CDE?

[Copiar](#)

2 / 3 respuestas correctas

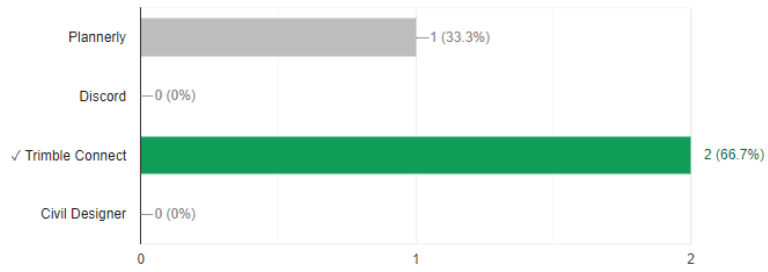


Figura 21. Pregunta 3 cuestionario capacitación.
Fuente: Google Forms.

Análisis de los resultados

En esta sección se presenta el análisis de los resultados que se obtuvieron con el desarrollo de este proyecto. Esta va a permitir entender la realidad en la que se encuentre la empresa frente a la implementación de BIM en sus proyectos; además de los pasos que tiene que seguir la organización para implementar dicha metodología.

Estado actual AECO

Respecto al estado actual de la empresa en estudio, la información en los cuadros 1 y 3 permite identificar que AECO realiza, en su mayoría, proyectos que cumplen con las características de una obra lineal, principalmente en cuanto a que estas son similares a lo largo de todo su trayecto, como lo es el caso de las tuberías y las redes de agua. Además, estos proyectos suelen ser desarrollados en sus etapas de anteproyecto, diseño y construcción. Aunado a ello, se identifica que los clientes con los que se trabaja son del sector público y del sector privado, lo cual significa que la empresa participa tanto en licitaciones públicas como en concursos privados.

En cuanto al Cuadro 2 acerca de la implementación de BIM en el desarrollo de estas obras lineales, se determina que esta ha sido deficiente e incompleta. Es por esta razón que en el Cuadro 4 se clasifican los proyectos según el nivel de implementación BIM entre 0,5 y 1. Se evidencia la implementación de sistemas de coordenadas, nubes de puntos, modelos 3D y modelos 4D, los cuales van acorde con los lineamientos que plantea BIM. También, se observa que para el desarrollo de los proyectos se hizo uso de software BIM.

Sin embargo, pese a que AECO ha implementado aspectos de BIM, aún no se cumple con todos los requisitos necesarios para su

implementación completa. Por ejemplo, el no tener normalizado el uso de nombres de archivos ni de los elementos complica la obtención de un modelo final IFC debidamente coordinado y estandarizado. Por estas razones, no se evidencia que se haya alcanzado el nivel 2 ni 3 de implementación BIM dentro de la organización.

De igual forma, el Cuadro 2 y el Cuadro 4 evidencian que también se ha hecho uso de los CDE para almacenar y compartir información en algunos de sus proyectos. Tal es el caso del uso de una nube de almacenamiento de datos como Pcloud; no obstante, externamente la empresa se vio obligada a usar correo electrónico para esto, lo cual no cumple con lo establecido por los estándares de BIM. Pese al haberse utilizado un CDE anteriormente, no se tiene un protocolo debidamente establecido. Si se hubiera hecho uso de CDE de forma externa, en este caso con el cliente, el intercambio de información entre cliente e ingeniería sería más sencillo. Esto le habría permitido al cliente tener información oficial y actualizada disponible en el momento que este la necesitara.

Por otra parte, la matriz de los proyectos realizados por AECO en el Cuadro 3, evidencia que la empresa desarrolla una gran variedad de proyectos de obra lineal, de distintas dimensiones y en varios sectores del país e incluso en el extranjero. Además, los trabajos realizados para cada proyecto son de distintas etapas de desarrollo y no precisamente de la ejecución de todo el proyecto.

En el Cuadro 5, se observa que no se pudieron subsanar los problemas que tenía la empresa en cuanto a implementar modelos BIM, por lo que en muchos de sus casos se tuvo que optar por los métodos tradicionales para poder completar las tareas. Se reconoce que, en caso de existir una guía de implementación BIM, se podrían tener diversos beneficios, como: tener modelos IFC completos, eficiente intercambio de información, formatos definidos, entre otros. Ahora bien, cada uno de estos proyectos genera distintos

entregables, como se pueden observar desde la Figura 7 hasta la Figura 11.

En cuanto al equipo de trabajo con el que cuenta la empresa AECO, estos poseen conocimiento desde muy avanzado hasta lo más básico, como se puede ver en el Cuadro 2. A su vez, los roles BIM de estos colaboradores no se encuentran definidos formalmente, lo cual genera que las responsabilidades no queden claras. Por ello, es necesario definir estos roles adecuadamente.

Además, AECO cuenta con equipo de hardware para implementar BIM, desde equipo para la recolección de datos hasta para la interpretación de esta y el diseño de los distintos modelos BIM. De igual forma, la mayoría de los softwares que la empresa utiliza actualmente son parte de los softwares BIM. Esto facilitaría la transición de la metodología tradicional a la metodología BIM, dado que ya los colaboradores tienen experiencia con estos.

Lo anterior evidencia la falta de una guía de implementación de BIM para los proyectos que AECO realiza, específicamente en sus proyectos de obras lineales. Se conoce que AECO es una empresa formada recientemente, la cual ofrece servicios de diseño y consultoría de distintas obras civiles. Es por esto que el poseer un plan de implementación BIM representaría una ventaja competitiva para la empresa en relación con sus competidores, ya que esto le permitiría establecerse como una de las empresas líderes en esta área.

Análisis del Compendio

La información disponible acerca de la implementación de BIM en una organización y en sus proyectos es muy amplia y diversa. Se identifica que, en su mayoría, la literatura con respecto a BIM está dirigida principalmente hacia su aplicación en edificaciones y no tanto hacia infraestructura u obras civiles en general. Es por esta razón que un compendio de la información relevante para la implementación de BIM en obras lineales permite visualizar la información de forma sencilla.

Del documento 1 del compendio de información, se identifica la necesidad de pasar del método tradicional para la ejecución de obras de infraestructura hacia la metodología BIM. La complejidad de los proyectos que se desarrollan actualmente hace necesario que estos se desarrollen bajo esquemas de trabajo eficientes y que permitan el trabajo colaborativo. El Cuadro 7 establece las distintas actividades recomendadas en la aplicación de BIM en los proyectos de infraestructura, las cuales dictan un listado ordenado de los pasos a seguir en la ejecución de los proyectos BIM.

En cuanto al documento 2, se reconoce la necesidad de identificar las capacidades actuales de AECO para que, a partir de esto, se puedan establecer objetivos escalables durante el proceso de implementación BIM. Para lograrlo, es necesario formular un plan de implementación, en el que se deben definir todos los aspectos operativos de la organización y que servirán de base para el resto del documento. Esto le permitiría a la organización definir la ruta para pasar de la metodología tradicional hacia la metodología BIM.

Ahora bien, establecer una guía de implementación BIM no sería de mucha ayuda si no se prueba en la ejecución de un proyecto. Por ello, el documento 3 contiene los pasos fundamentales para poder llevar a cabo un proyecto piloto. La evaluación de este proyecto le permite a la organización realizar los ajustes necesarios a la guía de implementación y evaluar su funcionamiento. También, esto les permitiría a los colaboradores reconocer las deficiencias que tienen respecto a la metodología BIM, y serviría como referencia para mejorar a futuro.

La parte del proceso de modelado de obras civiles también es una parte esencial de la ejecución de cualquier proyecto BIM. El documento 4, por medio de un caso de estudio, establece los pasos que se siguieron en el desarrollo de un proyecto de infraestructura. En relación con ello, en la Figura 12, se tiene el diagrama del proceso de modelado del caso de estudio, en el cual se observa que se sigue un proceso lógico y ordenado, pero aplicando los parámetros establecidos por la metodología BIM. De ese modo, realizar un proyecto de esta forma permite al equipo de trabajo exportar los archivos a formato IFC donde se pueden aprovechar sus propiedades en otras etapas del proyecto.

A modo de referencia, se tiene otro TFG que corresponde al documento 5. Este también se relaciona con la implementación de BIM dentro de una organización; sin embargo, está más dirigido al aspecto operativo. Se identifican tres focos importantes en los que se basa la implementación de BIM, los cuales corresponden a: planificar, implementar y mantener. Este documento sirve de referencia para aspectos importante a considerar dentro de la guía técnica por elaborar.

Asimismo, el documento 6 también corresponde a otro plan de implementación BIM que sirve como referencia para la elaboración de la guía técnica. El Cuadro 8, posee los capítulos y los apartados que contiene este plan de implementación dirigido a edificaciones. En gran medida, estos mismos apartados pueden servir como base para elaborar una guía técnica para la implementación de BIM en obras lineales, ya que estos corresponden a aspectos de la metodología BIM en general.

Los documentos 7, 8 y 9 se tratan de adaptaciones de los procesos de modelado recomendados por distintas fuentes. Estos poseen el mismo enfoque que es el de la implementación de BIM para distintas obras lineales; estos se describen en la Figura 12, Figura 13, Figura 14 y Figura 15.

El compendio de información para la generación de la guía técnica permitió establecer los puntos claves que debe contener el compendio de información. De esta forma, se estableció un listado de acciones a seguir como un punto de partida para la creación de la guía técnica.

Materialización Guía Técnica

Como se mencionó anteriormente, se evidencia una clara falta de estandarización en la elaboración de los proyectos de obra lineal de AECO bajo la modalidad BIM en la actualidad. Es por esto que es necesaria la creación de una Guía Técnica que indique los pasos a seguir en la implementación de esta metodología para este tipo de proyectos.

Se identifica que la guía posee los puntos claves necesarios para la elaboración de un proyecto BIM de acuerdo con lo establecido en el

Cuadro 6. Así, la guía dicta los lineamientos generales de BIM, al definir las reglas primordiales que la empresa debe de seguir al realizar sus proyectos de obra lineal. Además, en ella se definen las funciones de los distintos miembros del proyecto y las herramientas que estos deben de utilizar durante la ejecución de los proyectos BIM. El hecho de que estos roles se encuentren debidamente definidos va a permitir a los miembros conocer las tareas que les tocan; a su vez, establece una jerarquía dentro de los proyectos.

Desde un punto de vista del lado colaborativo del proyecto, la guía establece cómo se va a llevar a cabo la comunicación y la forma en cómo la información se va a gestionar. Esto les permite a los colaboradores del proyecto establecer un flujo de comunicación y de intercambio de información más eficientes.

Por su lado, el libro de estilos que la guía técnica establece define cómo se maneja la información dentro de los modelos BIM. Al establecer los lineamientos dentro de estos modelos, se va a garantizar que todo aquel que vaya a utilizar estos mismos modelos tenga los mismos estilos, siempre y cuando se utilice la misma guía como referencia; esto va a potenciar la interoperabilidad que BIM ofrece al estandarizar la información.

Se reconoce que los procesos BIM establecidos permiten establecer el flujo de trabajo ordenado para las distintas etapas en las que se encuentre un proyecto. Dichos procesos van enfocados a distintos tipos de obras lineales, ya que este tipo de proceso resulta distinto al de otros tipos de obras, como las edificaciones. De ese modo, los procesos establecidos permiten que los colaboradores conozcan los pasos a seguir durante el desarrollo del proyecto; además, funcionan como punto de referencia para saber si el trabajo se está haciendo de la forma adecuada según lo establece la guía técnica.

Finalmente, se determina que la Guía Técnica es más beneficiosa para su uso dentro de la misma compañía. Los métodos de trabajo de otras compañías son distintos a los de AECO, puesto que estos pueden tener sus propios lineamientos para la aplicación de BIM o incluso pueden no implementar ningún elemento de esta metodología. Consiguientemente, para poder utilizar la guía entre compañías, es necesario compartir esta guía previamente con las otras

partes involucradas y así establecer un estándar entre los involucrados.

Evaluación Guía Técnica

La evaluación de la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obra Lineal se dio en el desarrollo de dos proyectos pilotos: el primero para evaluar las etapas de anteproyecto y diseño y el segundo para la etapa de construcción. Para ambos proyectos, los tipos de obra lineal evaluados fueron de carreteras, dado que al momento de la realización de este trabajo de graduación eran los proyectos que estaba desarrollando AECO. Debido a esto, no se evaluó el proceso de aplicación de la guía en los demás tipos de obras que contiene la guía técnica.

El desarrollo de los proyectos pilotos evidencia que la aplicación de la guía técnica permite estandarizar la generación de modelos BIM, el intercambio de información y la gestión de comunicaciones durante el desarrollo de los mismos. Esto significa que los lineamientos generales están acordes con la metodología BIM. Cabe mencionar que para ambos proyectos solo se evidencia la participación de una empresa, por lo cual no se puede determinar su funcionamiento al aplicarla para varias empresas a la vez.

Por otro lado, seguir los flujos de trabajo propuestos durante la elaboración de los proyectos pilotos evidencia que estos procesos funcionan, dado que se logra alcanzar los resultados esperados. Además, todos los softwares establecidos por la guía fueron utilizados para el desarrollo de los proyectos; a raíz de ello, se observa cómo estos se pueden incorporar adecuadamente dentro de la metodología BIM.

Como complemento al desarrollo de los proyectos pilotos, en el Cuadro 9 que corresponde a la rúbrica de evaluación de la implementación de la guía técnica en estos proyectos, se observa que respetan lo que establece el libro de estilos; dado que se cumplen con las entidades mínimas, las codificaciones, los colores y demás. En el mismo cuadro, se observa cómo la mayoría de categorías obtienen la calificación máxima, excepto la

correspondiente a la eficiencia del tiempo; esto se debe a que al ser una metodología nueva dentro de la organización los tiempos para los primeros proyectos van a ser mayores mientras que se supera la curva de aprendizaje de la misma; sin embargo, una vez superada esta, se espera que los tiempos se reduzcan.

Dado que en la *RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA* se obtiene una calificación de 93,3 de 100 puntos, se comprueba que la guía técnica es beneficiosa para la aplicación de la metodología BIM dentro de los proyectos de obra lineal de AECO. Aunado a ello, por medio de esta evaluación, se determina que las ventajas que ofrece la implementación de la guía técnica sobre los métodos tradicionales son:

- Estandarización de los modelos.
- Reducción de los reprocesos.
- Verificación de calidad de modelos.
- Ordenamiento de archivos de los proyectos.
- Gestión de la comunicación.
- Enfoque a obras lineales.

Además, se reconoce que estas ventajas son posibles gracias a las facilidades que la guía técnica ofrece, a saber:

- Establecimiento de los lineamientos generales BIM en los proyectos de obras lineales utilizando figuras y tablas.
- Definición de cómo se desarrollan los proyectos BIM por medio de los diagramas de flujos.
- Definición del para qué y cuándo se deben utilizar los softwares.
- Sistema de nomenclatura de los archivos de los proyectos.
- Definición de funciones de los roles BIM.
- Codificaciones por disciplinas.

Capacitación de AECO

El personal de AECO es capacitado en el uso de la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales. Como se observa en la Figura 20, este demuestran tener entendimiento de la guía, dado que después de la exposición dos de los tres miembros participantes

lograron obtener nota perfecta en el cuestionario realizado; sin embargo, la persona que no obtuvo todos los puntos solamente falló una pregunta, lo cual también demuestra entendimiento sobre cómo usar la Guía Técnica.

Además, la única pregunta que se falló corresponde a la mostrada en la Figura 21. La razón de esto se puede deber a que la respuesta correcta corresponde a uno de los softwares nuevos como lo demuestra el Cuadro1. Por ello, lo que esto demuestra es un simple error humano y no el desconocimiento en cuanto a cómo utilizar la guía técnica. Es por esto que los miembros de AECO ahora son capaces de desarrollar proyectos de obra lineal bajo la metodología BIM haciendo uso de la Guía Técnica.

Conclusiones

En esta sección se enlistan las conclusiones de los resultados obtenidos a través del trabajo desarrollado.

- Se identificó que los intentos de implementación de BIM por parte de AECO fueron deficientes, por motivo de que no se presentaba alguna guía que indicara los pasos de implementación de la metodología.
- Se determinó que AECO principalmente participa en las etapas de anteproyecto, diseño y construcción en el desarrollo de sus proyectos actuales de obras lineales.
- A partir de la investigación hecha, se determinó que la metodología BIM está enfocada principalmente en la elaboración de edificaciones; pese a que se puede aplicar también a obras lineales, en esta área aún posee faltantes.
- La Guía Técnica contempla los requerimientos mínimos para la implementación de la metodología BIM para proyectos de infraestructura de obras lineales como carreteras, aceras, redes de agua y drenajes de aguas pluviales.
- Se demuestra que la Guía Técnica es funcional al permitir el desarrollo de dos proyectos pilotos para las etapas de anteproyecto, diseño y construcción.
- El personal de AECO se encuentra debidamente capacitado para la utilización de la Guía Técnica en el desarrollo de sus proyectos de obras lineales bajo la metodología BIM.
- La utilización de la Guía Técnica es beneficiosa para AECO, ya que permite realizar los proyectos BIM de forma ordenada y eficiente.

Recomendaciones

En esta sección, se enlistan las siguientes recomendaciones.

- Se recomienda a AECO aplicar la Guía Técnica en todos los proyectos de obra civil que vayan a desarrollar a futuro.
- Complementar los softwares BIM establecidos en esta guía con otros que también cumplan con la metodología BIM.
- Para el desarrollo de los proyectos, la Guía Técnica se debe complementar con guías de diseño y especificaciones.
- Evaluar la guía técnica para cada uno de los tipos de proyectos de obra lineal cubiertos por la Guía Técnica.
- Se recomienda a AECO ampliar la guía a futuro por medio de retroalimentación obtenida de la utilización de esta en sus proyectos futuros.
- Analizar la aplicación de otras metodologías en conjunto con BIM, como es el caso de LEAN.
- Capacitar constantemente a los miembros de AECO en cuanto a la utilización de BIM.
- Se recomienda ampliar la guía técnica a que incorpore la fase de operación.
- Crear una estrategia de capacitación para la implementación de la guía técnica por en empresas y universidades, tanto públicas como privadas.

Apéndices

Apéndice 1. Respuestas a la entrevista realizada a AECO acerca de la implementación de BIM.

Apéndice 2. Cuestionario de la capacitación de la Guía Técnica a AECO.

Apéndice C. Guía Técnica para la Implementación de Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales que desarrolla la empresa AECO.

Apendice 1. Respuestas a la entrevista realizada a AECO acerca de la implementación de BIM

Entrevista AECO - Implementación BIM

1 respuesta

[Publicar datos de análisis](#)

¿Cual es su nombre?

1 respuesta

Mauricio Rojas Quesada

¿Cuál es el nombre de la empresa?

1 respuesta

AECO (Nombre comercial)

¿En que año se formó la empresa?

1 respuesta

2021

¿Qué servicios ofrece actualmente la empresa?

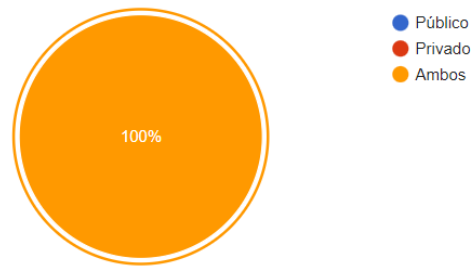
1 respuesta

Diseños de infraestructura, diseños arquitectónicos y estructurales. Consultoría en temas de hidrología, tramitología, topografía, entre otros.

¿Han realizado trabajos para el sector público y/o para lo privado?

 Copiar

1 respuesta



¿En que proyectos ha desarrollado anteriormente AECO?

1 respuesta

Ha brindado servicios de apoyo a proyectos de diseños carreteras en temas geométricos y hidráulicos, en proyectos como accesos a puentes en la Quebrada Cañas y Queb. Mandarina. Informes evaluativos de situaciones hidráulicas para el proyecto de ampliación de la Ruta Nacional 1, Limonal - Canas. Diseños de infraestructura de sistema de agua potable en la ampliación del ramal en la Calle Bosque del Niño. Diseños arquitectónicos y estructurales de casas y edificios. Diseños geométricos, análisis hidrológicos y diseños estructurales de alcantarillas de cuadro en la Ruta Nacional 901.

¿Con cuántos colaboradores cuenta AECO?

1 respuesta

3 Colaborador (a tiempo completo). 5 socios (2 a tiempo completo, 2 a tiempo compartido, y 1 cuando se requiere la colaboración).

Indique la formación con respecto a BIM que poseen los colaboradores de la empresa.

1 respuesta

1 socio tiene 2 maestrías en BIM. 1 socio posee conocimiento experimental. Los otros socios y colaboradores solo tienen nociones del tema BIM.

¿La empresa ha implementado BIM? Especifique

1 respuesta

La empresa ha intentado implementarlo, pero solo se ha podido aplicar, en algunos proyectos donde los participantes son los socios que tienen mayor conocimiento en BIM. Se tiene como parte de los principales objetivos y parte de la misión y visión de la empresa, ser una empresa líder en temas tecnológicos, y el BIM es parte fundamental para cumplir con este compromiso, tanto internamente, como con los clientes de AECO.

¿Qué recursos BIM ha creado o implementado AECO en cuanto a la implementación de BIM? (plan de implementación, ..)

1 respuesta

No se han implementado ningún tipo de recurso. Se han llevado a cabo intentos para utilizar nombres de carpetas y archivos, pero con un resultado regular. En temas de diseño se ha tratado de utilizar estándares para la obtención de modelos que contengan al menos la información básica para ser exportados a modelos IFC. Se han realizado trabajos tratando de aplicar los usos BIM sin el tipo de trabajo a desarrollar, con resultados aceptables.

¿Con respecto a los colaboradores, cuantos cuentan con conocimientos de BIM?

1 respuesta

Los colaboradores no poseen mayor conocimiento en BIM. Solo un socio si tiene un alto conocimiento de la metodología, al contar con 2 maestrías en esta materia; y otro socio tiene conocimiento practico por autoaprendizaje.

¿La empresa hace uso de gestión integral de documentos? (servidores, nubes de almacenamiento, ...)

1 respuesta

No se tiene un sistema totalmente definido. Se trabajan con algunas herramientas y directrices, pero no de manera formal y aplicable en todos los proyectos y documentos.

¿Cuáles softwares usan para el desarrollo de sus proyectos actuales y cuales han usado anteriormente?

1 respuesta

Civil Designer, Civil 3D, SkecthUp, Plexos Project, Excel, Word.

¿Con que hardware cuenta AECO para el desarrollo de sus proyectos?

1 respuesta

AECO cuenta con drone Phanthon 4 para levantamientos fotométricos. Además, los socios aportan equipos de computo para el desarrollo de los proyectos, así como estaciones totales para trabajos de topografía y/o complemento a levantamientos fotométricos.

¿Con que retos se ha encontrado AECO en cuanto a la implementación de BIM?

1 respuesta

La aplicación estricta de la metodología (se desarrollan lineamientos para el desarrollo de proyectos, pero no se llevan a cabo por todos los colaboradores o se implementas irregularmente). También no se ha establecido el flujo de trabajo con los diferentes software a utilizar para la implementación de la metodología (Se tiene un idea de los software a implementar, pero no se ha aterrizado). La falta de la definición del libro de estilo también ha sido un reto para trabajar de la misma manera en cualquier proyecto.

¿Hacen uso de algún sistema de clasificación BIM? Como lo es Omniclass, Uniclass, Uniformat, etc.

1 respuesta

Se tiene el conocimiento de la existencia, pero no se han aplicado en ningún de los proyectos.

Considerando que quieren desarrollar una guía de implementación BIM enfocada a proyectos de Obra Lineal ¿A qué se debe que quieran que la guía se enfoque en este tipo de obras?

1 respuesta

El desarrollo y la implementación del BIM en la edificación esta mucho más acaparada que en temas de infraestructura, y como empresa (tanto en la visión como negocio como en la eficiencia en el desarrollo de proyectos) vemos que la implementación y aplicación del BIM en infraestructuras será una ventaja competitiva. Implementar y aplicar BIM de manera temprana implicará ser las empresas que liderarán estos temas, y como un efecto esperable, será una empresa referente. También, al iniciar ahora con el uso de BIM, dentro de unos años seremos de las empresas con mayor experiencia, lo que tendría mayor valoración de la experiencia a la hora de evaluar ofertas. Por otro lado, muy importante, se tiene certeza que la implementación de esta metodología dentro de la empresa, representará una mayor eficiencia en el desarrollo de proyectos, por lo que se puede traducir en mayor competitividad contra las otras empresas, principalmente por la calidad de los proyectos a entregar.

¿Tienen asignados los roles BIM? Ejemplo: Modelador BIM, Coordinador BIM, etc. En caso de que sí detallar cuales son.

1 respuesta

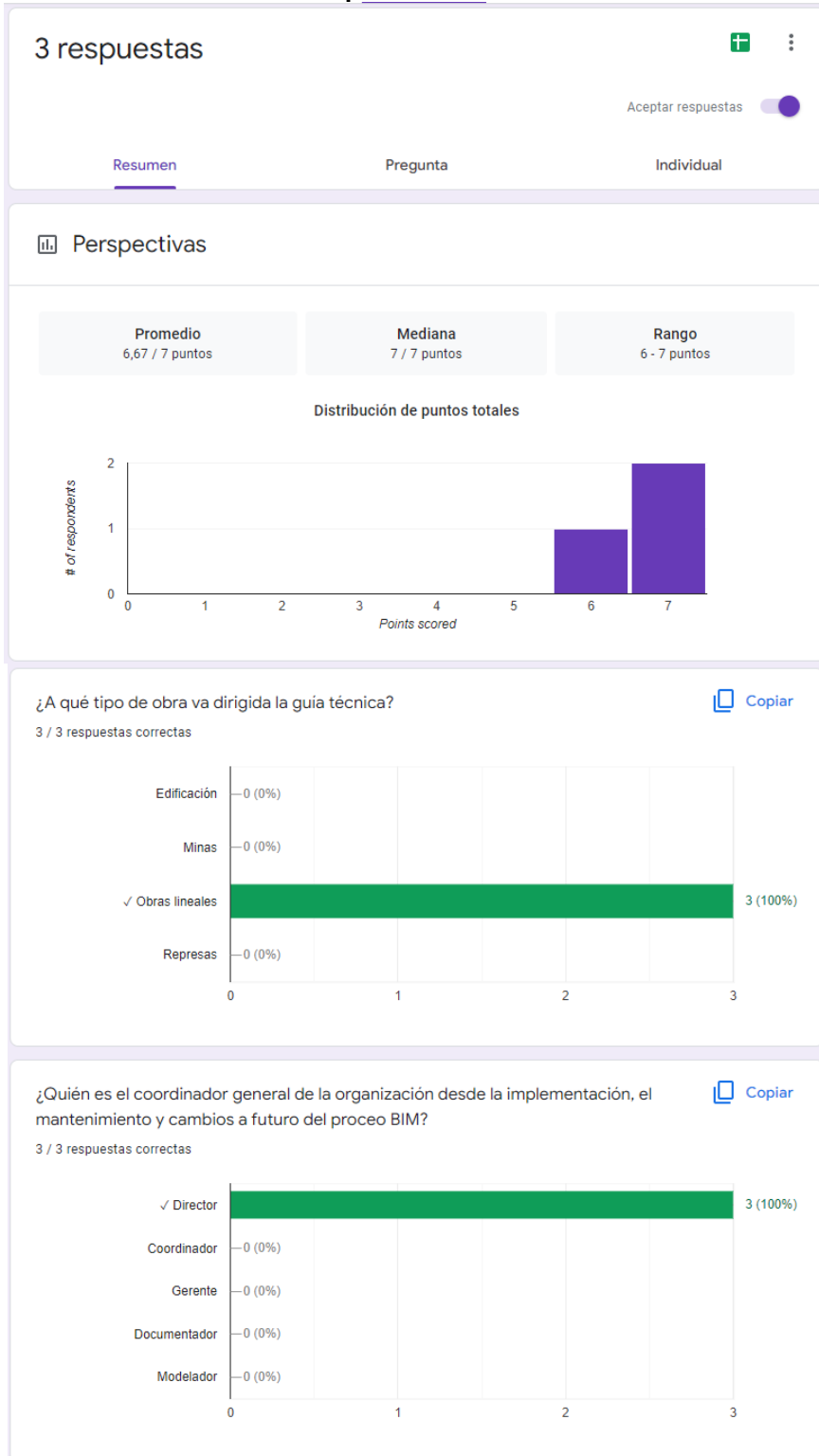
Se tiene roles no formales, que a veces no están claros, y las responsabilidades no quedan claras . Se requiere definir los roles claramente.

Si considera que haya cualquier otra información relevante que sea necesaria agregar, favor hacerlo en esta sección.

1 respuesta

Considero que tenemos el conocimiento de la forma en que se trabaja en BIM, pero no tenemos el como se trabaja con BIM. A lo que apuntamos es definir la manera de como debemos trabajar. Por ejemplo, definir que y como se modela, los nombres y codificación de elementos, las relaciones entre las diferentes codificaciones, definir las especialidades la codificación de estas, los tipos y codificación de los documentos, formatos finales del proceso BIM, el flujo en la CDE, definir los software y establecer el flujo de intercambio entre los distintos softwares, definir la librería de elementos debidamente codificada. Por estas consideraciones es que creo que debemos apuntar mas a definiciones puntuales del trabajo interno. También, no hay que dejar de lado el tema de la definición de los usos BIM, los roles, los NDI los TDI, etc, pero dado que estos temas están mas documentados, considero que no se debe desarrollar tan fondo estos temas, ya que se pueden aplicar las estándares ya existentes, con algunas modificaciones si se consideran necesarias.

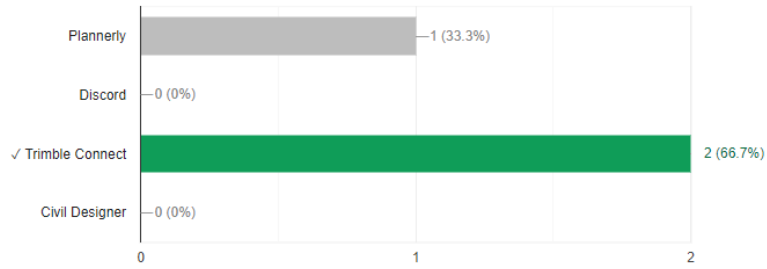
Apendice 2. Cuestionario de la capacitación de la Guía Técnica a AECO



¿Cuál aplicación se usa para establecer el CDE?

[Copiar](#)

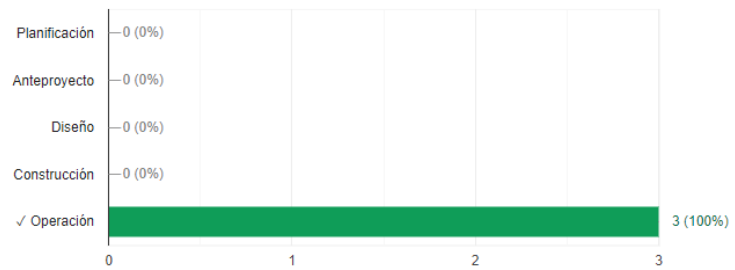
2 / 3 respuestas correctas



¿Cuál etapa del proceso constructivo no se incluye en la guía?

[Copiar](#)

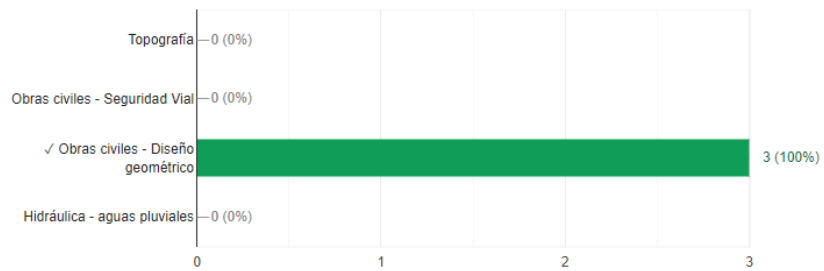
3 / 3 respuestas correctas



La abreviatura de la codificación OCV_GEM significa...

[Copiar](#)

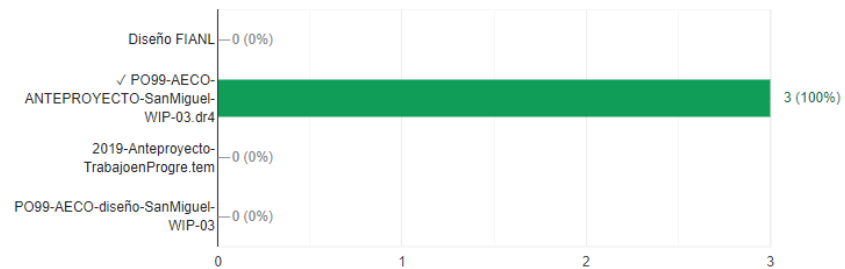
3 / 3 respuestas correctas



¿Cuál estructura de nombre de archivo es correcta?

[Copiar](#)

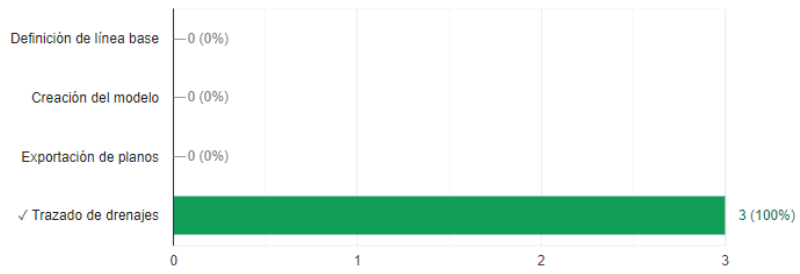
3 / 3 respuestas correctas



¿Qué tarea corresponde al proceso 4.2 para el anteproyecto de drenajes de aguas pluviales?

 Copiar

3 / 3 respuestas correctas



Si tienen alguna retroalimentación con respecto a la guía técnica, por favor colocarlo aquí.

2 respuestas

Todo bien, sin comentarios.

Todo claro, la guía es sencilla de seguir. Sirve de base para lo que AECO quiere lograr y se puede seguir ampliando a futuro.



Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales

AECO

Elaborado por Leonardo Lara Muñoz

Contenido

Contenido	2
Introducción.....	5
Plan de Implementación BIM en Proyectos de Obra Lineal de AECO	6
1 Lineamientos Generales de la Implementación BIM	6
1.1 Generalidades del plan de implementación para AECO	6
1.1.1 Madurez.....	6
1.1.2 Objetivos BIM de AECO	6
1.1.3 Roles BIM para AECO	7
1.1.4 Software BIM a utilizar por AECO.....	9
1.1.5 Hardware mínimo para los equipos de AECO	11
1.1.6 Gestión de comunicaciones de AECO.....	11
1.1.7 Gestión de información para los proyectos de AECO.....	16
1.2 Definición del Plan de Ejecución BIM para AECO	19
1.3 Control de calidad de modelos.....	20
2 Libros de estilos de AECO	22
2.1 Introducción Libro de Estilos	22
2.2 Pautas para proyectos BIM de Obra Lineales.....	22
2.2.1 Usos BIM	23
2.2.2 Entidades mínimas para proyectos de obra lineal	24
2.2.3 Niveles de Desarrollo de las entidades.....	25
2.2.4 Codificación	26
2.2.5 Nombre de archivos de los modelos BIM	27
3 Procesos de Implementación de BIM en Obras Lineales.....	29
3.1 Planificación	30
3.2 Anteproyecto	31
3.2.1 Carretera	31
3.2.2 Redes de agua	32
3.2.3 Drenajes de agua pluviales	33
3.2.4 Aceras	34
3.3 Diseño.....	35
3.3.1 Carretera	35
3.3.2 Redes de agua	36
3.3.3 Drenajes de agua pluviales	37

3.3.4	Aceras	38
3.4	Construcción	39
3.4.1	Carretera	39
3.4.2	Redes de agua	40
3.4.3	Drenajes de agua pluviales	41
3.4.4	Aceras	42
4	Planes pilotos de implementación de la guía técnica	43
4.1	PO57 Condominio Playa Blanca	43
4.1.1	Planificación.....	44
4.1.2	Anteproyecto.....	48
4.1.3	Diseño	55
4.2	PO60 Calle Valverde.....	77
4.2.1	Construcción.....	79
	Apéndices.....	94
1	Diagnóstico de AECO	94
1.1	Descripción de la empresa.....	94
1.2	Equipo de trabajo	95
1.3	Software	96
1.4	Hardware.....	97
1.5	Gestión de comunicaciones	97
1.6	Gestión de información	98
2	Conceptos	98
2.1	Nivel de madurez	98
2.2	Roles BIM.....	99
2.3	Softwares	100
2.3.1	Plannerly.....	100
2.3.2	Civil Designer.....	100
2.3.3	usBIM.viewer+	102
2.3.4	Plexos Project.....	102
2.4	Hardware.....	104
2.5	Gestión integral de información.....	104
2.5.1	Trimble Connect	105
2.6	Gestión de comunicaciones	106
2.7	Plan de Ejecución BIM	106
	Referencias	107



Introducción

La industria de la construcción es sumamente competitiva, por lo que siempre se están buscando formas para poder optimizar el trabajo que se realiza, con el fin de mejorar la productividad y de entregar obras de calidad. El desarrollo de nuevas metodologías de trabajo ha convertido esta industria en una cada vez más competitiva. En ese contexto, la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) se está haciendo cada vez más presente en las obras a nivel mundial y Costa Rica no es la excepción.

Pese a los avances que se han logrado, actualmente los recursos disponibles en cuanto a BIM están más dirigidos a la construcción de edificaciones y no tanto a obras civiles, específicamente a obras lineales. Por esa razón, esta Guía Técnica se enfoca en dicho tipo de obras, puesto que busca plantear los lineamientos BIM que la empresa AECO debe seguir para poder implementar esta metodología en sus proyectos de obras lineales.

De ese modo, el presente documento corresponde a la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales por parte de la empresa AECO. Este consta del Plan de implementación BIM en los proyectos de obra lineal de AECO y de la implementación de esta en dos proyectos pilotos; además de esto, se incluyen la evaluación de las condiciones de la empresa previo a la implementación de la guía y los conceptos importantes que los lectores de la guía deben de conocer.

Plan de Implementación BIM en Proyectos de Obra Lineal de AECO

1 Lineamientos Generales de la Implementación BIM

En este apartado, se define el proceso a seguir en la elaboración de distintos proyectos de obra lineal desarrollados por AECO, en los cuales se implementa la metodología BIM. Asimismo, se establecen los lineamientos generales de la implementación de BIM y el proceso que se debe seguir para las distintas etapas de un proyecto de obra lineal.

1.1 Generalidades del plan de implementación para AECO

1.1.1 Madurez

AECO pretender alcanzar un nivel 2 de madurez en sus próximos proyectos BIM, según la Figura 108. Para obtener esto, es necesario establecer dentro de los proyectos una colaboración completa con la información; donde los archivos generados deberán ser elaborados con base en lo que se define en esta guía. Así, se definirá los LOD, la codificación adecuada y normada, y el protocolo de nombrado de archivos; además, se establecerá la referencia interna y una adecuada gestión de la información.

En esta etapa, con ayuda de esta Guía Técnica, se sentarán las bases para que, en un futuro, AECO aspire a alcanzar un nivel 3. Debido a las limitantes existentes, por el momento esto no se puede lograr; sin embargo, la experiencia obtenida en esta fase será de mucho beneficio para la organización.

1.1.2 Objetivos BIM de AECO

A continuación, se realiza el planteamiento de objetivos BIM que responden a la realidad en la que se encuentra AECO y hacia donde se quiere llegar. Estos van a permitir darle seguimiento a la implementación de BIM dentro de la organización y medir su nivel de madurez. Esta guía establece los objetivos generales descritos a continuación:

- Minimizar los errores, mejorando la conceptualización del proyecto.
- Establecer un sistema de gestión de la información que sea eficiente y eficaz para el manejo de documentación.
- Coordinar las especialidades para minimizar las interferencias entre ellas.
- Estructurar la información de los proyectos, mejorando la planificación y el control de los mismos.
- Facilitar la planificación y el control de los proyectos, mejorando la estructuración su información.
- Favorecer la presupuestación y el control de costos, estandarizando la información de los proyectos.
- Documentar cada una de las etapas del proyecto de mejor manera.
- Establecer un sistema de gestión de comunicación.

- Generar el Plan de Ejecución BIM (PEB) para los proyectos de obras lineales de la empresa.
- Incorporar el uso de listas de verificación en procura de la calidad del proyecto.
- Generar la información en formatos abiertos como parte del cierre de los proyectos.

1.1.3 Roles BIM para AECO

En este apartado, se definen los distintos roles BIM para AECO, además de las funciones y las competencias de cada uno de estos. Se establecen un total de 5 roles distintos, los cuales van a ser necesarios de acuerdo con el tamaño y la complejidad del proyecto.

En general, todos los roles deben de tener conocimientos generales de la metodología BIM, los flujos Open BIM, los estándares, los conocimientos de construcción, entre otros aspectos. A continuación, se presenta la siguiente tabla de los roles con las funciones que cada miembro debe desempeñar en cada proyecto y de las competencias mínimas que debe de tener para poder asumir el rol asignado.

Tabla 1. Funciones y competencias para los Roles BIM de AECO

Rol	Funciones	Competencias
Director	<p>Coordinador general de la organización, desde la implementación, el mantenimiento y los cambios a futuro del proceso BIM.</p> <p>Da seguimiento a los proyectos de manera general, enfocado en la parte BIM.</p>	Experiencia en la gestión estratégica de proyectos.
Gerente	<p>Encargado de la definición del PEB.</p> <p>Encargado de implementar el proceso BIM del proyecto.</p> <p>Administrar, controlar y dar seguimiento al proceso BIM del proyecto.</p>	<p>Según el proyecto, deberá cumplir todas o algunas de las siguientes competencias: estandarización y optimización de procesos tecnológicos, planificación y administración de proyectos de obra lineal, operación y mantenimiento de activos.</p> <p>Liderazgo de equipos.</p>
Coordinador	Coordinar los trabajos de los modeladores dentro de la misma disciplina.	Experiencia en el desarrollo de proyectos de obra lineal; conocimiento de objetivos

Rol	Funciones	Competencias
	<p>Revisa el cumplimiento de los modelos con el PEB.</p> <p>Revisa la compatibilidad de los modelos con las demás disciplinas.</p> <p>Revisa la calidad del modelo en caso de que no haya Documentador.</p>	<p>técnicos y normativos de este tipo de proyectos.</p> <p>Liderazgo de equipos.</p>
Documentador	<p>Realizar la producción gráfica de los modelos.</p> <p>Crear los planos de construcción.</p> <p>Generar la documentación de cuantificación.</p> <p>Generar presupuesto.</p> <p>Revisar que los modelos tengan la información y el detalle gráfico según lo requerido.</p>	<p>Conocimiento de objetivos técnicos y normativos de proyectos de obra lineal por revisar.</p> <p>Según el proyecto, es necesario que tenga algunas o todas de las siguientes competencias: fiscalización, validación, auditoría, control, desarrollo y ejecución con base en la información que se tenga del proyecto de obra lineal.</p>
Modelador	<p>Modelar según la especialidad que se le asigne.</p> <p>Lo que modele debe de estar debidamente codificado según esta guía.</p> <p>Modelar objetos BIM.</p> <p>Actualizar modelos en las etapas constructivas.</p> <p>Si no hay Documentador BIM, este debe colaborar con el Coordinador para la parte de documentación del proyecto.</p> <p>Generar planos y extraer cantidades en caso de no haber Coordinador BIM.</p>	<p>Conocimiento de modelado con software BIM.</p> <p>Conocimiento de objetivos técnicos y normativos de proyectos de obra lineal a modelar.</p>

Fuente: Elaboración propia, basado en (Planbim, 2021).

Los roles necesarios en cada proyecto de obra lineal van a depender del tamaño del mismo. Entiéndase para esta guía que un proyecto pequeño es todo aquel proyecto menor a 3 km lineales. A continuación, se presenta su aplicación de acuerdo con el tamaño del proyecto de obra lineal.

Tabla 2. Roles mínimos necesarios según el tamaño del proyecto.

Roles	Proyecto pequeño	Proyecto grande
Director	X	X
Gerente		*
Coordinador		X
Documentador		*
Modelador	X	X

Fuente: Elaboración propia.

*Necesario según la complejidad del proyecto, establecido en PEB.

1.1.4 Software BIM a utilizar por AECO

Para trabajar en el entorno BIM de los proyectos de obra lineal se deben usar distintos softwares BIM. El uso de cada uno de estos va a depender de las necesidades del proyecto a realizar. En caso de que se requiera el uso de algún otro además de estos softwares BIM, se deberá comunicar al Director BIM para su respectiva aprobación. Los softwares a utilizar deben de ser acorde a lo establecido (ver el apartado del apéndice denominado Softwares).

En la siguiente tabla, se establecen los softwares BIM y el uso que se le va a dar a cada uno de estos en el desarrollo de los proyectos de obra lineal de AECO:

Tabla 3. Usos asignados para cada software BIM

Software BIM	Uso asignado
Civil Designer	Diseño y conceptualización de especialidades.
Plannerly	Herramienta para colaborar con la planeación.
SketchUp	Modelado de elementos estructurales, pozos tragantes, bastiones, válvulas, etc.

	Conceptualización de proyectos
Plexos	Programación y presupuesto
Excel	Elaboración de hojas de cálculo para hacer memorias Cuantificaciones Control de calidad de modelos BIM
Word	Generación de reportes e informes
usBIM.viewer+	Enriquecer modelos IFC
Trimble Connect	Auditoría de modelos CDE Detección de interferencias

Fuente: Elaboración propia.

El uso de cada uno de estos softwares va a depender de la etapa constructiva en la que se encuentra el proyecto de obra lineal; este se establece según la siguiente tabla:

ANTEPROYECTO	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN
Plannerly		
	Sketchup	
	Civil Designer	
	Excel	
	Word	
	Trimble Connect	
		Plexos
		usBIM.viewer+

Figura 1. Softwares a utilizar en la implementación BIM por AECO.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.5 Hardware mínimo para los equipos de AECO

Los requisitos para el hardware, específicamente las computadoras de los colaboradores, va a depender de los requerimientos mínimos del software más demandante. Sin embargo, considerando que varios de estos softwares van a demandar más cuando se utilicen con otros de forma simultánea, se establecen los siguientes requerimientos mínimos para los equipos de los colaboradores de AECO:

Tabla 4. Requerimientos mínimos para el equipo computacional de AECO

Categoría	Requerimiento Mínimo
Sistema operativo	Windows 10, 64 bits
Procesador (GHz)	3,5
Memoria (GB)	16
Resolución de pantalla (píxeles)	1920 x 1080
Tarjeta gráfica	Nvidia GeForce GTX 1650, Quadro K6000, AMD Radeon RX 470 o mejor
Espacio en disco (TB)	1

Fuente: Elaboración propia.

Además de esto, se debe contar con accesorios como mouse y auriculares. Se recomienda, además, el uso de un segundo monitor.

1.1.6 Gestión de comunicaciones de AECO

Se define la aplicación Discord como el medio de comunicación oficial para la comunicación interna de la empresa durante el desarrollo de los proyectos de obra lineal BIM.

1.1.6.1 Organización del Servidor:

El servidor de la organización posee el nombre de *AECO – BIM*. A este se accede exclusivamente por medio de un enlace de invitación, con el fin de mantener la privacidad del servidor.

1.1.6.1.1 Categorías

Dentro del servidor, se encuentran distintos canales de texto denominados categorías. Una de estas categorías va a ser el canal GENERAL, el cual tiene la función de hacer

anuncios masivos a todos los miembros de la organización. Además de este, las demás categorías van a corresponder a los distintos proyectos que ejecute AECO; se debe asignar el nombre correspondiente a cada proyecto. Por último, se tiene la categoría de CANALES DE VOZ, la cual va a ser destinada para la realización de reuniones por videollamada. A continuación, se observa un ejemplo de estas categorías.



Figura 2. Categorías del servidor de Discord.

Fuente: Tomado de Discord.

1.1.6.1.2 Canales

Dentro de cada categoría de proyecto, se van a crear canales de texto; específicamente, para cada categoría se van a crear canales de acuerdo con las especialidades involucradas en cada proyecto. Como se observa en la siguiente figura, dentro de la categoría de PROYECTO 1 existen distintas especialidades, pero estas van a depender de cada proyecto por aparte.

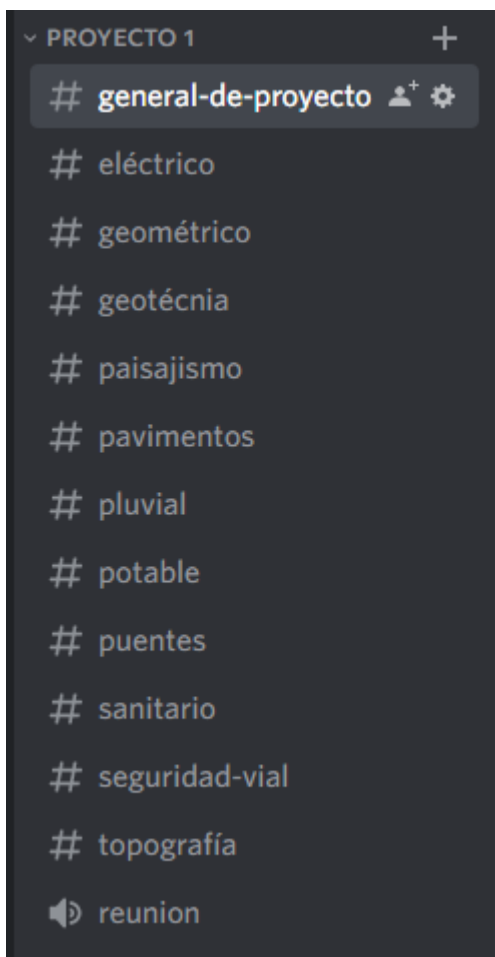


Figura 3. Canales del servidor de Discord.

Fuente: Tomado de Discord.

Los canales de voz también se encuentran en cada categoría de proyecto. Ahora bien, existen dos canales de voz generales: el primero es la Sala de reuniones, la cual será utilizada para la ejecución de reuniones de un carácter más formal y convocadas por medio de la programación de un evento; el segundo corresponde a la Sala de dudas, la cual es para reuniones más cortas, en caso de que algunos de los miembros requieran una comunicación breve. Estos canales permiten la comunicación por llamada y videollamada, además de la opción de compartir pantalla en vivo.

1.1.6.1.3 Hilos

Dentro de cada uno de los canales de especialidad, se van a crear hilos correspondientes al último nivel de desglose del servidor. Estos hilos se van a dividir según la etapa de del proyecto. A manera de ejemplo, se observa que dentro de la categoría de PROYECTO 1, en el canal de especialidad-1, existen dos hilos denominados Anteproyecto y Diseño. La cantidad de etapas van a depender del alcance del proyecto.

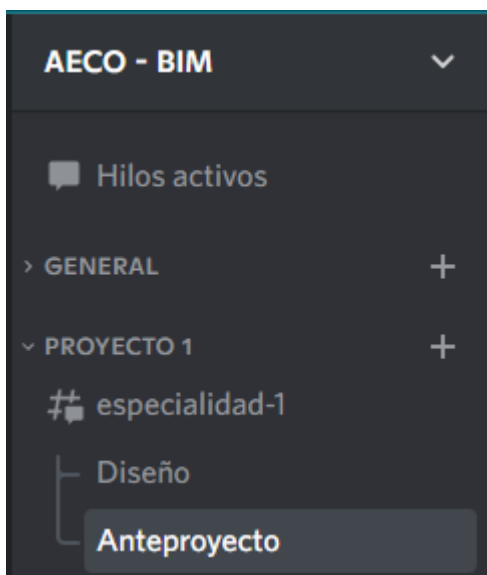


Figura 4. Hilos de un canal del servidor de Discord.

Fuente: Tomado de Discord.

Para la comunicación efectiva, dentro de cada uno de los hilos es donde se va a desarrollar el intercambio de textos, archivos e imágenes relacionadas con el proyecto. Todo mensaje deberá contener a quién va dirigido; esto se logra al colocar “@” y luego el nombre de la persona destinataria. En caso de no colocar a alguien, se asume que se refiere a todos los miembros. Los textos deberán ser breves y concisos con el fin de hacer más efectiva la comunicación.

1.1.6.1.4 Roles

Dentro del servidor, se asignan roles a cada miembro. Estos van dirigidos principalmente a la asignación de responsabilidades en cuanto a permisos; sin embargo, se van a aprovechar también para asignar los Roles BIM de los proyectos. Los siguientes son los roles asignados con sus respectivos colores.

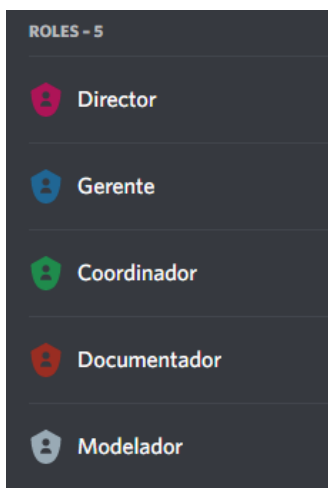


Figura 5. Roles creados para el servidor de Discord.

Fuente: Tomado de Discord.

1.1.6.1.5 Miembros

Todo miembro será admitido por los administradores del servidor. Cada miembro deberá cambiar su nombre de usuario en el servidor al siguiente formato “Nombre PrimerApellido”. A cada miembro se le puede asignar roles dentro del servidor.

1.1.6.1.6 Creación de eventos

Para la programación de alguna reunión o evento, se usará a la herramienta de Crear Evento, en la cual se puede programar una reunión por medio de algún canal de voz o en alguna ubicación externa. Para ello, se debe escoger un canal de voz en específico y la fecha y hora de inicio; además, se puede incluir una descripción de lo que tratará la reunión.



Figura 6. Ventana de creación de eventos del servidor de Discord.

Fuente: Tomado de Discord.

1.1.7 Gestión de información para los proyectos de AECO

Se establece, como la solución del Entorno Común de Datos (CDE), la aplicación Trimble Connect para la gestión de la información de los proyectos de obra lineal de AECO basados en la metodología BIM.

1.1.7.1 Convenio de carpetas

Para mantener un orden estandarizado de las carpetas, se establece la siguiente estructuración por niveles del directorio de carpetas para los proyectos de obra lineal de AECO, basado en lo establecido por la Junta de Extremadura (2021).

- **Nivel 1**

El nivel 1 corresponde a la carpeta principal, donde se encuentra toda la información relacionada con el proyecto. El nombre de la carpeta corresponde al año en el que se genera el expediente, seguido del código asignado al proyecto y separado por un guion bajo; tendrá el siguiente formato:

20##_PO##

- **Nivel 2**

Este nivel corresponde a dos subdivisiones, las cuales se utilizan para separar la información administrativa de la técnica. Estas dos carpetas tendrán el siguiente formato:

00_DOC ADMINISTRATIVOS

01_DOC TECNICOS

- **Nivel 3**

En este nivel se diferencian los estados de desarrollo de la información del proyecto de acuerdo con lo establecido en INTE/ISO 19650:2020 y según se definen en la Figura 110. Estas carpetas tendrán el siguiente formato:

01_TRABAJO EN PROGRESO

02_COMPARTIDO

03_PUBLICADO

04_ARCHIVADO

- **Nivel 4**

Este nivel es el último nivel de desglose, el cual corresponde a la diferenciación de los archivos de acuerdo con la especialidad a la que pertenezca. Esta codificación se hará con base en la. Como ejemplo:

TOP

GEO

OCV

A continuación, se presenta una imagen del árbol de carpetas dentro de Trimble Connect:

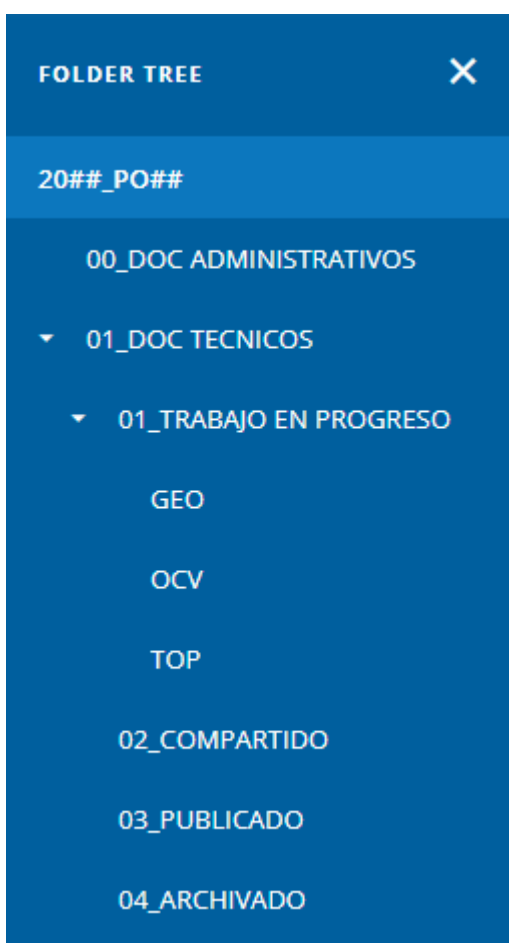


Figura 7. Estructuración del directorio de carpetas.

Fuente: Elaboración propia, tomado de Trimble Connect.

1.1.7.2 Miembros y permisos

Los miembros del CDE son agregados directamente por medio de una invitación al correo electrónico. Dentro de la aplicación Trimble Connect, en la pestaña de *Team* se selecciona el botón de *Invite people to project*, marcado en el cuadro rojo en la siguiente imagen:

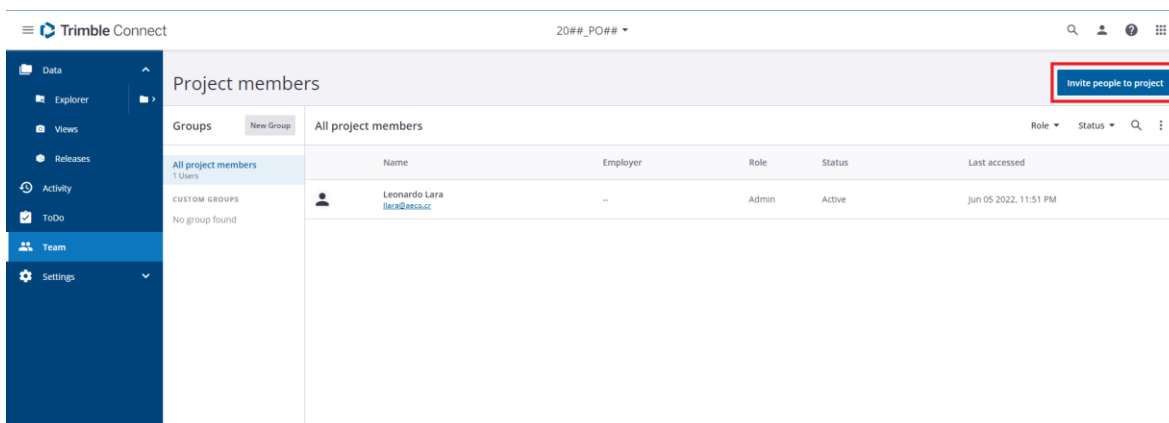


Figura 8. Invitación de miembros a Trimble Connect.

Fuente: Elaboración propia. Tomado de Trimble Connect.

A cada miembro se le debe asignar permisos para editar o visualizar los archivos según corresponda. También para poder asignar los permisos se pueden agrupar los miembros en grupos y a estos se les asignan permisos.

1.1.7.3 Visualizador de archivos

Trimble Connect posee una herramienta para visualizar los modelos en línea. Para poder acceder a este, simplemente se debe abrir el archivo del modelo en la carpeta correspondiente. El visualizador permite revisar las propiedades de cualquier elemento; como lo son: el material, las dimensiones y la información estructural.

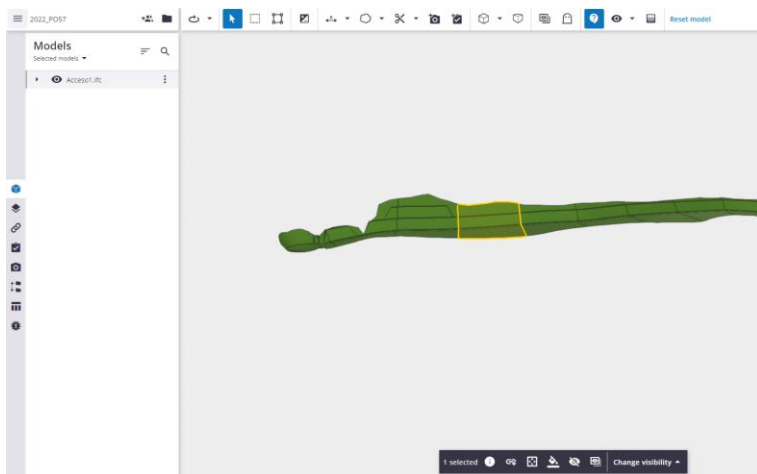


Figura 9. Visualizador de modelos en línea.

Fuente: Tomado de Trimble Connect.

1.2 Definición del Plan de Ejecución BIM para AECO

La redacción del PEB se hará por medio de la aplicación de Plannerly. Dentro de Plannerly, se debe crear un proyecto en el cual se va a desarrollar la redacción y el seguimiento del PEB. Como se muestra en la siguiente figura; a cada proyecto se le deben agregar todos los detalles necesarios para poder caracterizarlo adecuadamente. Además, se le debe asignar el tipo de obra lineal que es, en la parte de “tipo de proyecto”, y en estándar se coloca Planbim Chile.

Project Settings

Project Title
 Proyecto_PLANTILLA_PEB

Project Type

Address

Description

Project Standard
 None

Project Language
 English (US)

Plan Text Direction
 Left to right (LTR)

Exported Paper Size
 Letter (8 1/2 x 11 in)

Project Timezone

Show/Hide Modules:

Plan

Scope

Track

Verify

Working Time:

Sun Mon Tues Wed Thurs Fri Sat

Start Hour: 08:00

End Hour: 17:00

Figura 10. Asignación de los detalles del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, tomado de Plannerly.

También se debe definir a los equipos de trabajo y los miembros que los conforman; asimismo, se les deben de asignar los roles y los permisos que van a tener dentro del proyecto. Esto se aplica como se muestra en la Figura 11.

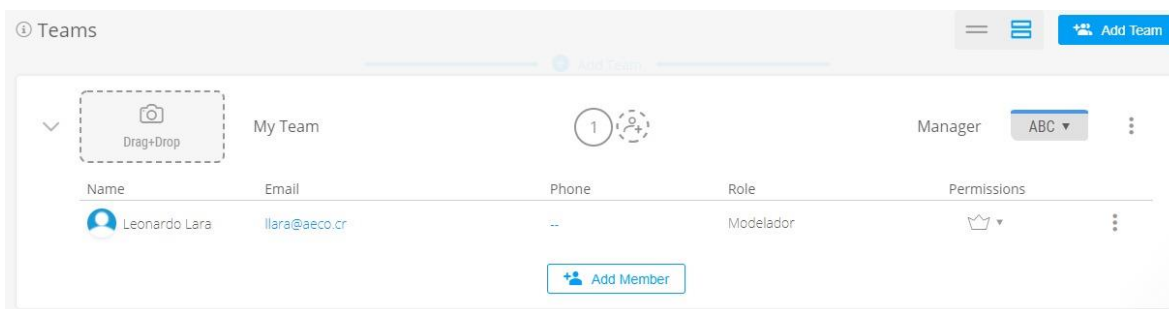


Figura 11. Asignación de los equipos de trabajo y miembros.

Fuente: Elaboración propia, tomado de Plannerly.

Una vez con todos los parámetros establecidos, se puede iniciar con la redacción del Plan de Ejecución BIM. Los miembros deberán hacer sus respectivos aportes y comentarios para que el documento sea publicado y exportado a formato PDF cuando esté listo.

1.3 Control de calidad de modelos

Se establece una lista de control de calidad de los modelos BIM elaborados para los proyectos de obra lineal de AECO; para tener un método que permita identificar falencias en los modelos BIM y que estas se puedan corregir. Esta lista se trabajará en Excel y se colocará en el CDE de cada proyecto para así permitir el trabajo colaborativo.

Con esta lista se deben revisar los modelos BIM necesarios, con el fin de verificar que contenga la información mínima para garantizar la calidad. En caso de que alguno de los criterios no se cumpla, se debe de anotar los detalles correspondientes. Luego, es necesario volver y hacer la corrección correspondiente y, posteriormente, verificar una vez más en una nueva versión de la lista.

Para el mismo proyecto, se usará un solo libro de Excel que debe de llevar como nombre el código del proyecto. Dentro de este libro, cada hoja de Excel será destinada a un tipo de modelo; las distintas versiones de un mismo modelo se tendrán en la misma hoja. La lista de control se puede ver en la Figura 12.

Lista de control calidad de modelos BIM			
Información del proyecto			
Encargado de revisión			
Código de Proyecto			
Nombre del Proyecto			
Nombre de Modelo			
Versión de revisión			
Fecha			
No	Verificaciones	¿Cumple?	Detalles
1.0	Cumplimiento de guía técnica		
1.1	Se utilizó los software establecido en la guía técnica		
1.2	Modelo presenta las entidades mínimas establecidas		
1.3	Nombre de entidades correctos (clasificación IFC)		
1.4	Parámetros de codificación correctos		
1.5	Parámetros de niveles de desarrollo correctos		
1.6	Revisión de objetos duplicados		
1.7	Revisión de conflictos de objetos		
1.8	Los archivos se cargaron en el CDE adecuado		
2.0	Revisión visual		
2.1	Los elementos se encuentran sobre la superficie adecuada		
2.2	No hay irregularidades visibles en el modelo		
2.3	Se observan todos los elementos necesarios		
3.0	Verificación de interferencias		
3.1	No existen interferencias con otras especialidades		
3.2	No existen interferencias con la misma especialidad		
3.3	Se genera reporte de interferencia en el CDE		

Figura 12. Lista de control de calidad de los modelos BIM.

Fuente: Elaboración propia, basado en Vargas (2020)

2 Libros de estilos de AECO

2.1 Introducción Libro de Estilos

El fin del presente libro de estilos BIM es estandarizar la información y el cómo se presenta en los modelos BIM para los proyectos de obra lineales de la empresa AECO en los cuales se aplica la metodología BIM. Para la elaboración del libro de estilos, se tomaron como referencia algunas guías y estándares, pero adaptándolos específicamente a obras lineales y a las necesidades de AECO; como es el caso del Estándar BIM para Proyectos Públicos – PlanBIM.

2.2 Pautas para proyectos BIM de Obra Lineales

Para la ejecución de los proyectos de obra lineal por parte de AECO, se deberá seguir lo establecido en las siguientes pautas.

- Usos BIM
- Entidades mínimas para proyectos de obra lineal
- Niveles de Desarrollo de las entidades
- Codificación

Nombre de archivos

2.2.1 Usos BIM

A partir de la Solicitud de Información (SDI) que entregue el contratista, se van a establecer los Usos BIM del proyecto, a partir de los objetivos establecidos en este documento. A partir de los usos BIM se establece los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, para ello se debe consultar las Fichas de Usos BIM del Plan BIM Chile. Esta guía técnica va a considerar los siguientes usos BIM basado Project Execution Planning Guide versión 2.1, mayo 2011, Penn State University, y en Plan BIM Chile.

Tabla 5. Usos BIM.



















PLANIFICACIÓN	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN
1. Levantamiento de condiciones existentes		
2. Estimación de cantidades y costos		
3. Planificación de fases		
4. Análisis cumplimiento del programa espacial (Zonas)		
5. Análisis de ubicación		
	6. Coordinación 3D	
	7. Dis. especialidad	
	8. Revisión de diseño	
	9. Análisis estructural	
	10. Análisis lumínico	
	11. Análisis energético	
	12. Análisis mecánico	
	13. Otros análisis	
	14. Eval. sustentable	
	15. Validación Norma	
		16. Planificación obra
		17. Diseño sistemas
		18. Fabricación digital
		19. Control de obra
		20. Modelación as-built

Fuente: Elaboración propia, basado en (Planbim, 2021) y (PennState, 2011).

2.2.2 Entidades mínimas para proyectos de obra lineal

Se establecen las entidades mínimas necesarias para cada tipo de modelo BIM, específicamente para proyectos de obra lineal, independiente de cuál obra lineal sea este. En la Figura 13, se establecen las siguientes entidades mínimas para los proyectos de obra lineal desarrollados por AECO, basado en el Estándar Chileno. Además, tiene el respectivo nombre de estas entidades y su descripción de IFC.

Figura 13. Entidades mínimas.

Modelo BIM Obra lineal		Sitio	Volumétrico	Diseño de Infraestructura	Estructura	Mecánico Eléctrico Sanitario (MEP)	Coordinación	Construcción	As-Built	Operación
										
Entidades										
Ejes IfcAlignment				X	X	X	X	X	X	*
Terreno IfcSite		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elementos civiles IfcCivilElement		*	*	X	X		X	X	X	X
Elementos Geográficos IfcGeographic Element		*	*	X			X	X	X	X
Espacios IfcZone		X	X	X		X	X	X	X	X
Losas IfcSlab		*		X	X		X	X	X	X
Muros IfcWall		*		X	X		X	X	X	X
Estructuras Especiales IfcElementAssembly				X	X		X	X	X	X
Tuberías IfcDistributionFlow Elemente				X		X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia, basado en (Planbim, 2021).

*Necesario según la complejidad del proyecto.

2.2.3 Niveles de Desarrollo de las entidades

Es necesario que el Nivel de Desarrollo (NDI) de las entidades establecidas anteriormente en los modelos BIM de las distintas especialidades cumplan con lo establecido en la siguiente tabla:

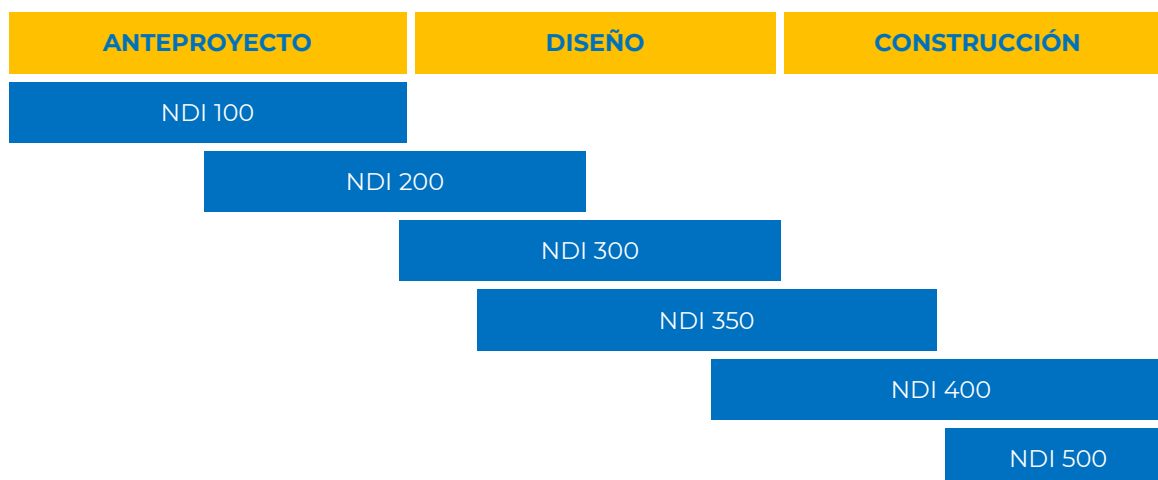
Tabla 6. Niveles de Desarrollo (NDI) de las entidades

NDI	Definición
NDI 100	Estos elementos no son representaciones geométricas. Ejemplo de ello es la información asociada a otros elementos de modelos o símbolos que muestra la existencia del componente, pero no su forma, su tamaño o su ubicación.
NDI 200	Para este nivel, los elementos pueden ser reconocidos como los componentes que representan o pueden ser volúmenes para reserva de espacio. La información que se deriva de esta debe ser considerada aproximada.
NDI 300	La cantidad, el tamaño, la forma, la ubicación y la orientación del elemento en este nivel pueden ser medidas directamente desde el modelo sin necesidad de referirse a información no modelada como apuntes externos.
NDI 350	Este incluye todas aquellas partes necesarias para la coordinación del elemento con los elementos aledaños, como lo son soportes y conexiones. De igual forma que el NDI 300, las mediciones se pueden hacer directamente del modelo.
NDI 400	Un elemento modelado de este nivel tiene el detalle y la precisión suficientes para la fabricación de dicho elemento.
NDI 500	El elemento del modelo es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. En otras palabras, es la representación del As-Built.

Fuente: Elaboración propia, basado en BIM Fórum (2015).

El NDI de los elementos de los proyectos de obra lineal se va aplicar en medida al estado de avance al que se presenta en el proyecto, de acuerdo con la siguiente tabla:

Figura 14. NDI de acuerdo a la etapa del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.4 Codificación

Se establece la siguiente codificación de acuerdo con cada área de especialidad. En ella, se contempla la codificación estándar de cada uno de los nombres de las especialidades y además el color respectivo; los cuales vienen en el formato RGB. El uso de esta codificación se va a utilizar a lo largo del desarrollo del proyecto, entre ellos están:

- Nombre de carpetas
- Nombre de capas
- Nombre de plumas
- Nombre de canales del servidor de Discord

En la siguiente figura, se encuentra la codificación para los proyectos de obra lineal de AECO:

TOP: Topografía	R:120 G:70 B:30
GEO: Geotecnia	R: 40 G:190 B: 65
LDK: Paisajismo	R:255 G:140 B:45
EST: Estructuras	
CES: Cálculo estructural	R:165 G:165 B:165
PUE: Puentes	R:220 G:70 B:180
VIA: Viaductos	R:220 G:70 B:180
OCV: Obras civiles	
GEM: Diseño geométrico	R: 55 G: 85 B: 35
SEG: Seguridad vial	R:250 G:165 B:25
PAV: Pavimentos	R:80 G:45 B:240
ELE: Electricidad	
ATT: Alta tensión	R:150 G:160 B:55
BTT: Baja tensión	R:120 G:255 B:0
ALU: Alumbrado	R:205 G:220 B:55
SHL: Hidráulica	
APT: Agua potable	R:65 G:195 B:255
ASN: Sistema sanitario	R:125 G:30 B:160
ATR: Aguas tratadas	R:195 G:25 B:90
ALL: Sistema pluvial	R:255 G:85 B:160
RIE: Riego	R:120 G:85 B:70

Figura 15. Codificación de acuerdo con las especialidades.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Nombre de archivos de los modelos BIM

Para la estructura de los archivos de los modelos BIM se establece la siguiente nomenclatura:

Código proyecto-Empresa-Etapa-Nombre-Estatus-Revisión.xyz

Nota: xyz se refiere a la extensión de formato del archivo.

Para el apartado de la etapa va ser utilizado

- ANTEPROYECTO
- DISEÑO
- CONSTRUCCION

En el caso del apartado del estatus, se usan las siguientes abreviaturas:

- WIP: Trabajo en progreso
- C: Compartido
- P: Publicado
- A: Archivado

Un ejemplo de esto sería como se observa a continuación:

PO##-AECO-ANTEPROYECTO-Nombre-WIP-##.dr4

3 Procesos de Implementación de BIM en Obras Lineales

Los flujos de procesos son meramente de la aplicación de la metodología BIM dentro del desarrollo de los proyectos de obra lineal. Estos presentan una combinación de los procesos establecidos por el INTE/ISO 19650, los procesos constructivos identificados para cada obra lineal y las necesidades de AECO.

Los flujos de trabajo para aplicar los procesos de las obras lineales van a depender tanto de la etapa en la que se encuentra un proyecto como del tipo de obra lineal.

Para el desarrollo de los proyectos de BIM de obra lineal de AECO se establecen unos flujos de trabajo que deben de ser seguidos por los miembros de los equipos de trabajo al desarrollar estos proyectos. Estos procesos van acorde a los establecidos por el INTE/ISO 19650 y los procesos modelados y constructivos convencionales, los cuales han sido adaptados a las necesidades de implementación BIM de AECO en sus obras lineales.

Los diagramas se dividen en dos secciones. La primera corresponde al proceso como tal, en el cual se establece la secuencia en que se deben de llevar a cabo las distintas tareas; algunas de estas tareas tienen recuadro de color que significa que se debe de utilizar un software en específico, el cual está indicado en la simbología. La segunda corresponde al intercambio de información que hace referencia a los archivos que entran y que salen del proceso, cuyas líneas son punteadas.

Los procesos se dividen por etapas y por tipo de obra, como se muestra a continuación:

- Planificación
- Anteproyecto
 - Carreteras
 - Redes de agua
 - Drenajes de aguas pluviales
 - Aceras
- Diseño
 - Carreteras
 - Redes de agua
 - Drenajes de aguas pluviales
 - Aceras
- Construcción
 - Carreteras
 - Redes de agua
 - Drenajes de aguas pluviales
 - Aceras

3.1 Planificación

El proceso de planificación se debe hacer para todo tipo de proyecto de obra, ya que a partir de este se establecen las bases para llevar a cabo el proyecto y se obtiene el PEB del mismo.

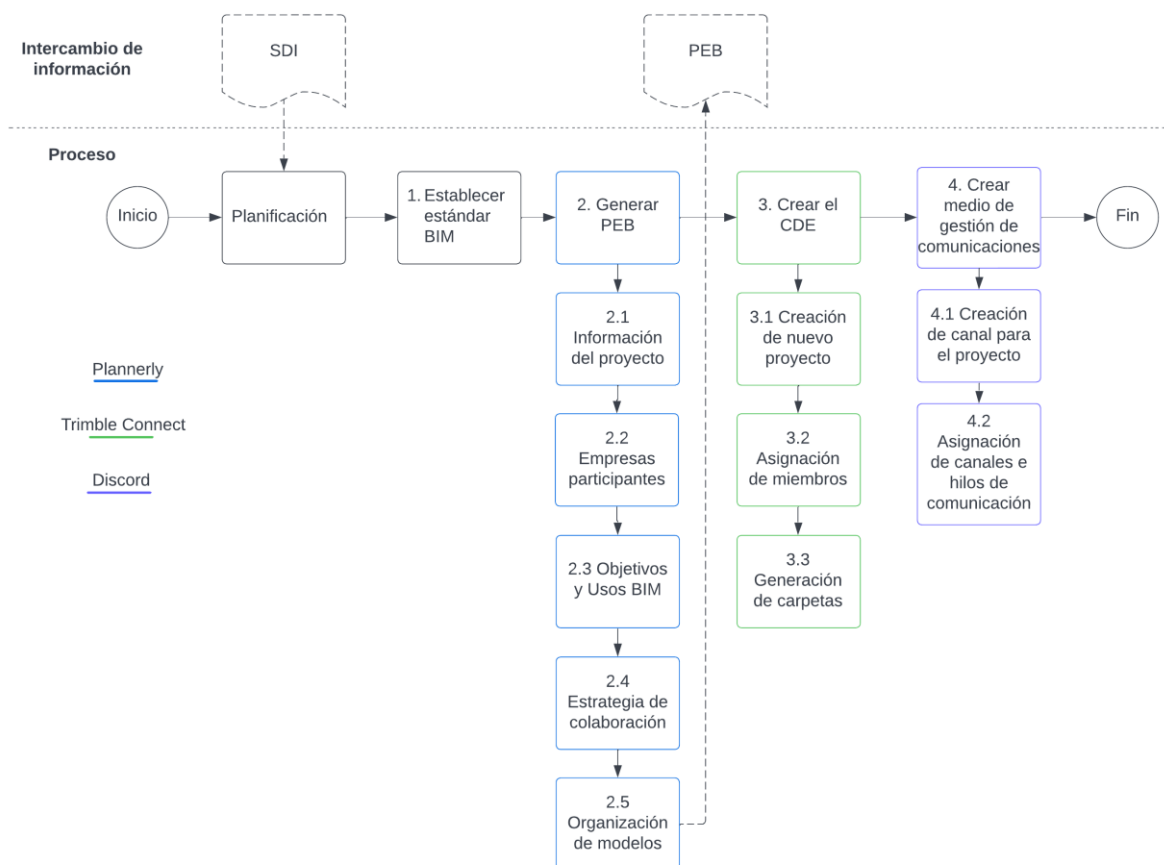


Figura 16. Proceso de planificación BIM.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Anteproyecto

3.2.1 Carretera

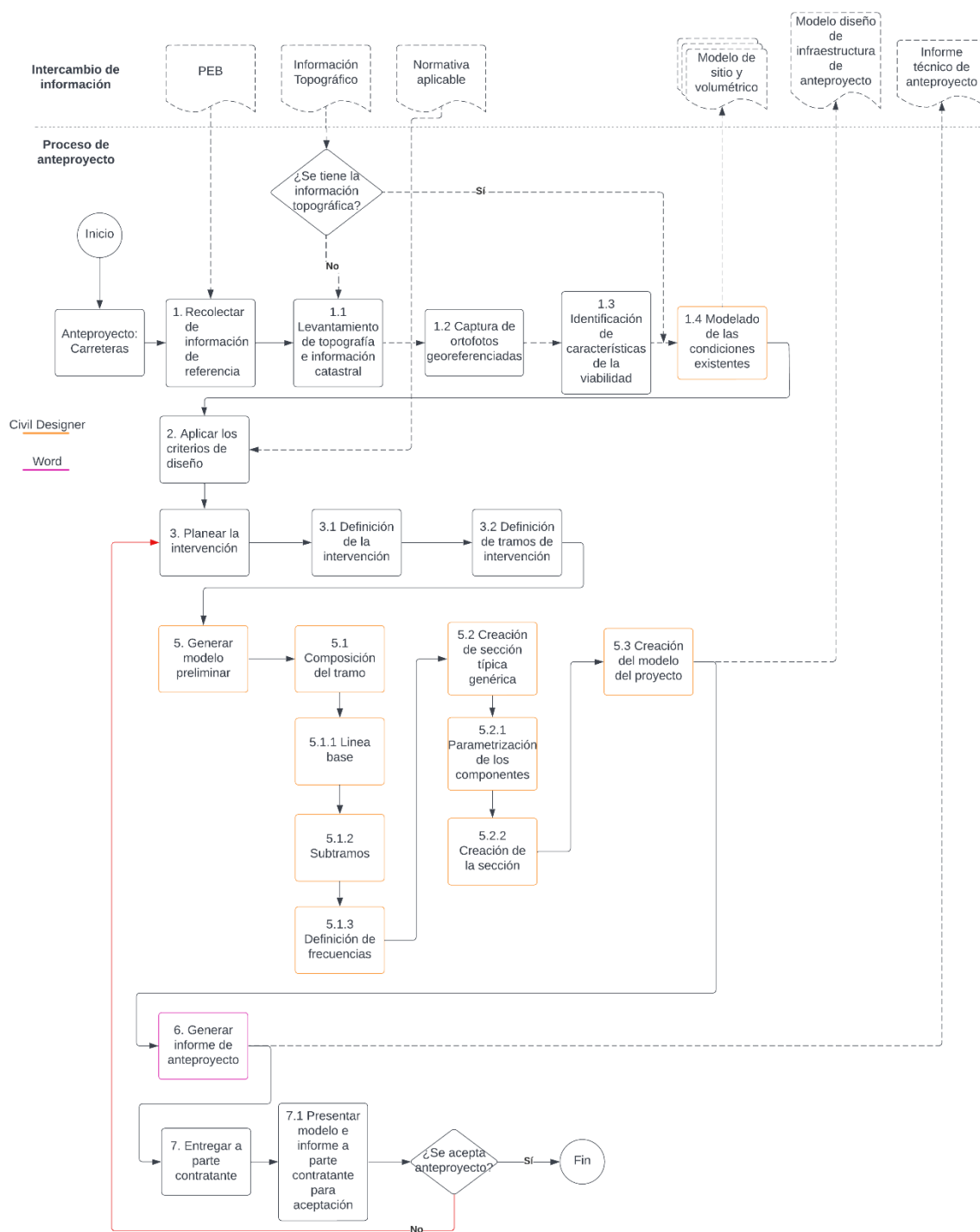


Figura 17. Proceso de anteproyecto de carreteras.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Redes de agua

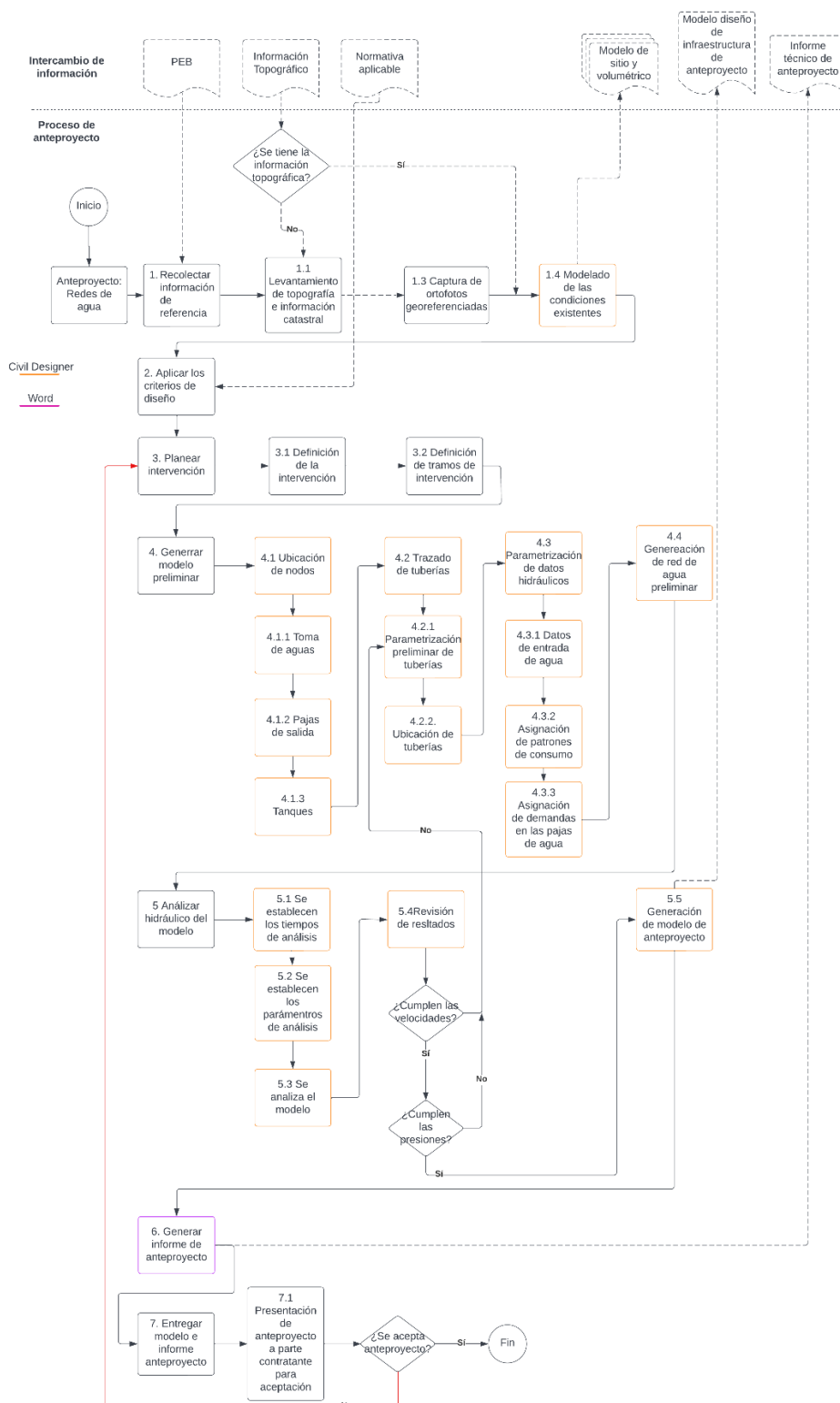


Figura 18. Proceso de anteproyecto de redes de aguas.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Drenajes de agua pluviales

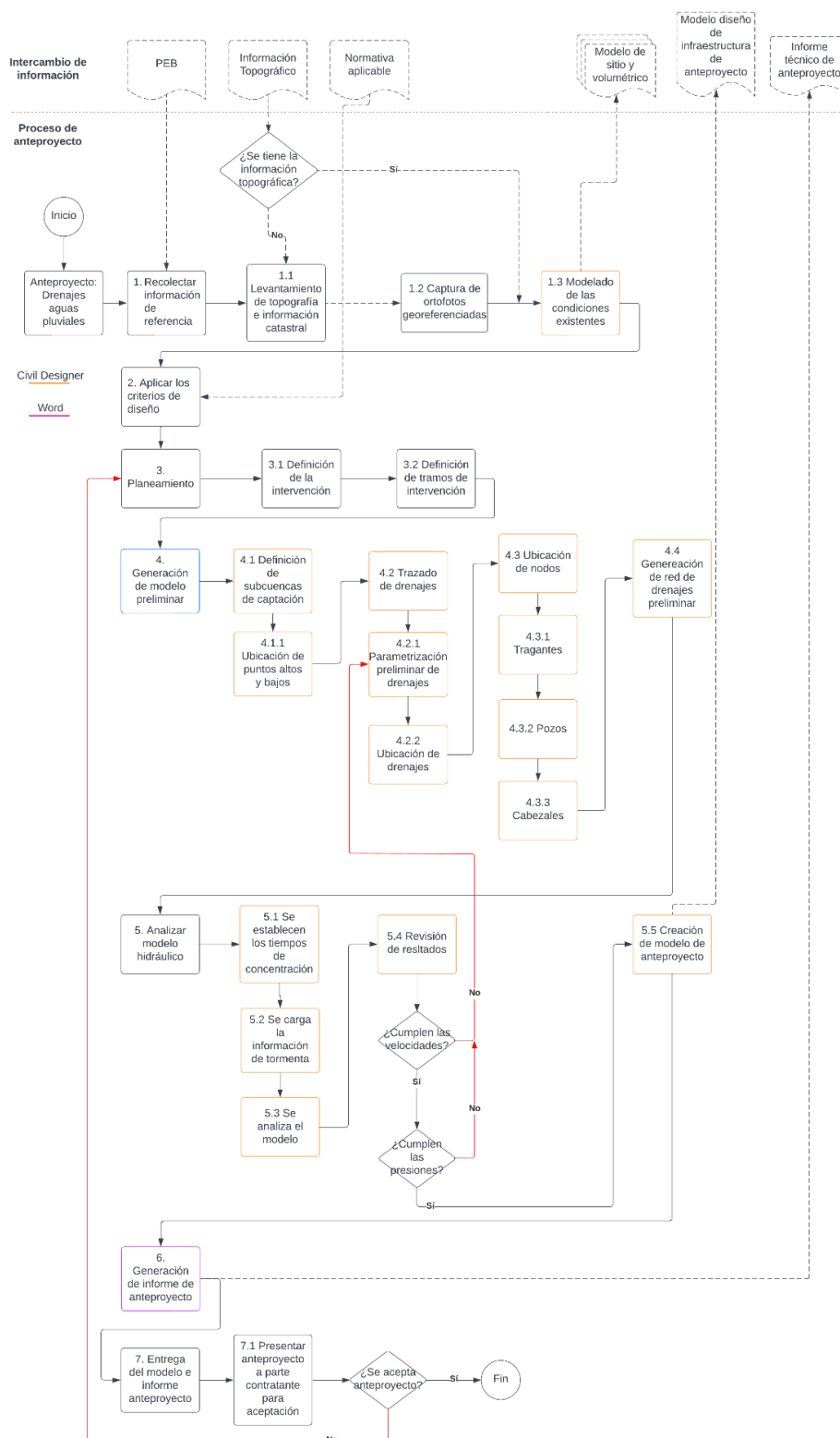


Figura 19. Proceso anteproyecto de drenajes de aguas pluviales.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Aceras

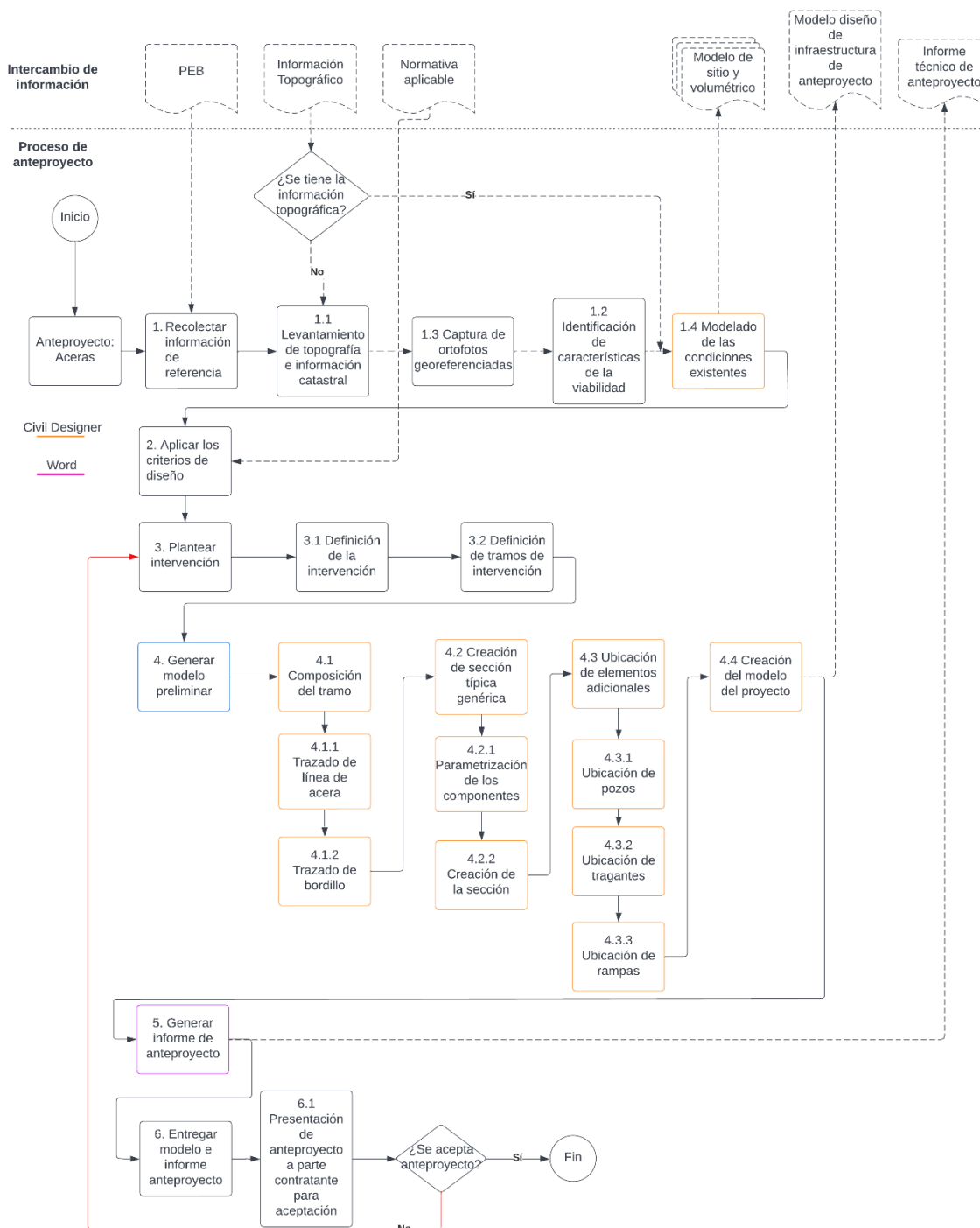


Figura 20. Proceso anteproyecto de aceras.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Diseño

3.3.1 Carretera

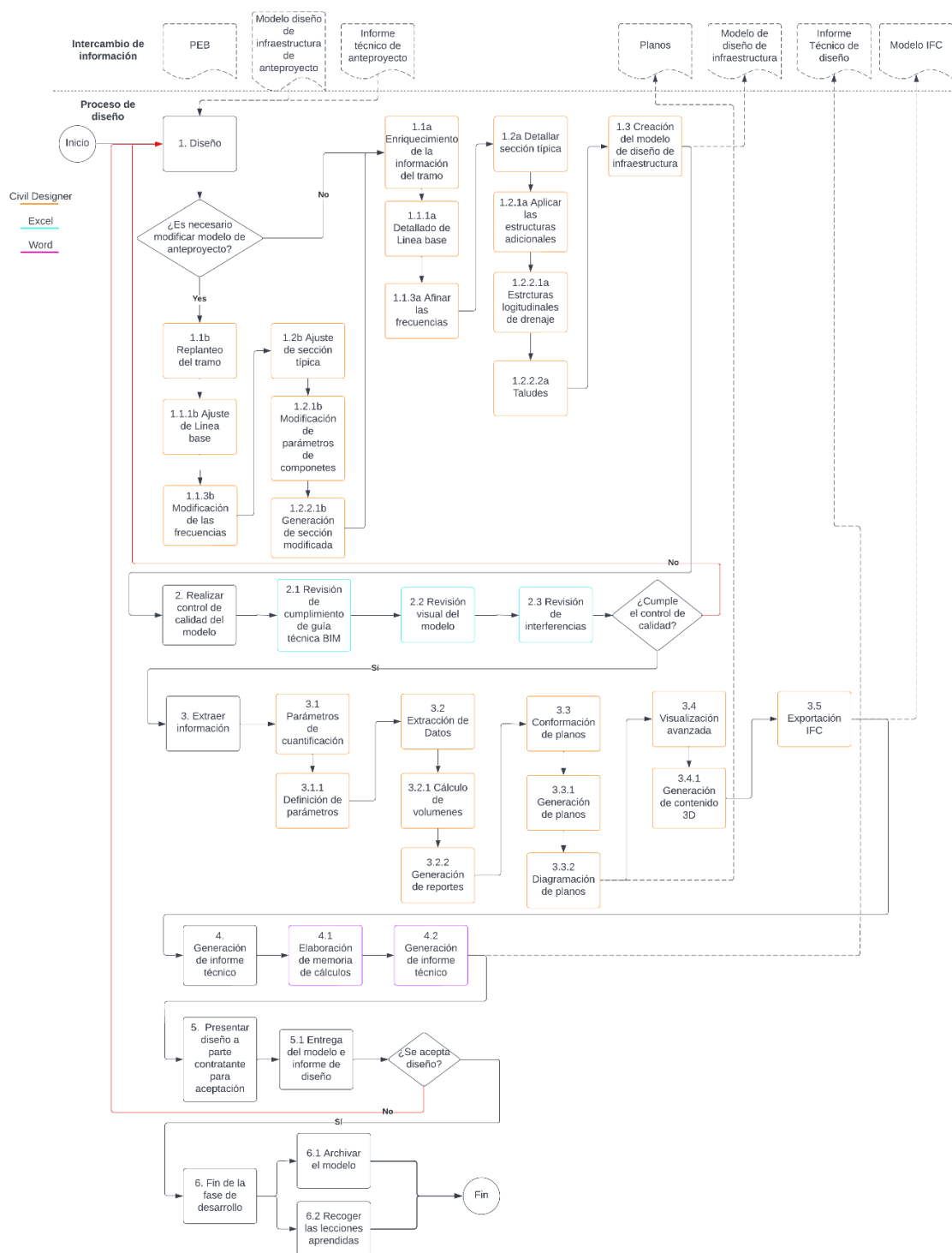


Figura 21. Proceso de diseño de carreteras.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Redes de agua

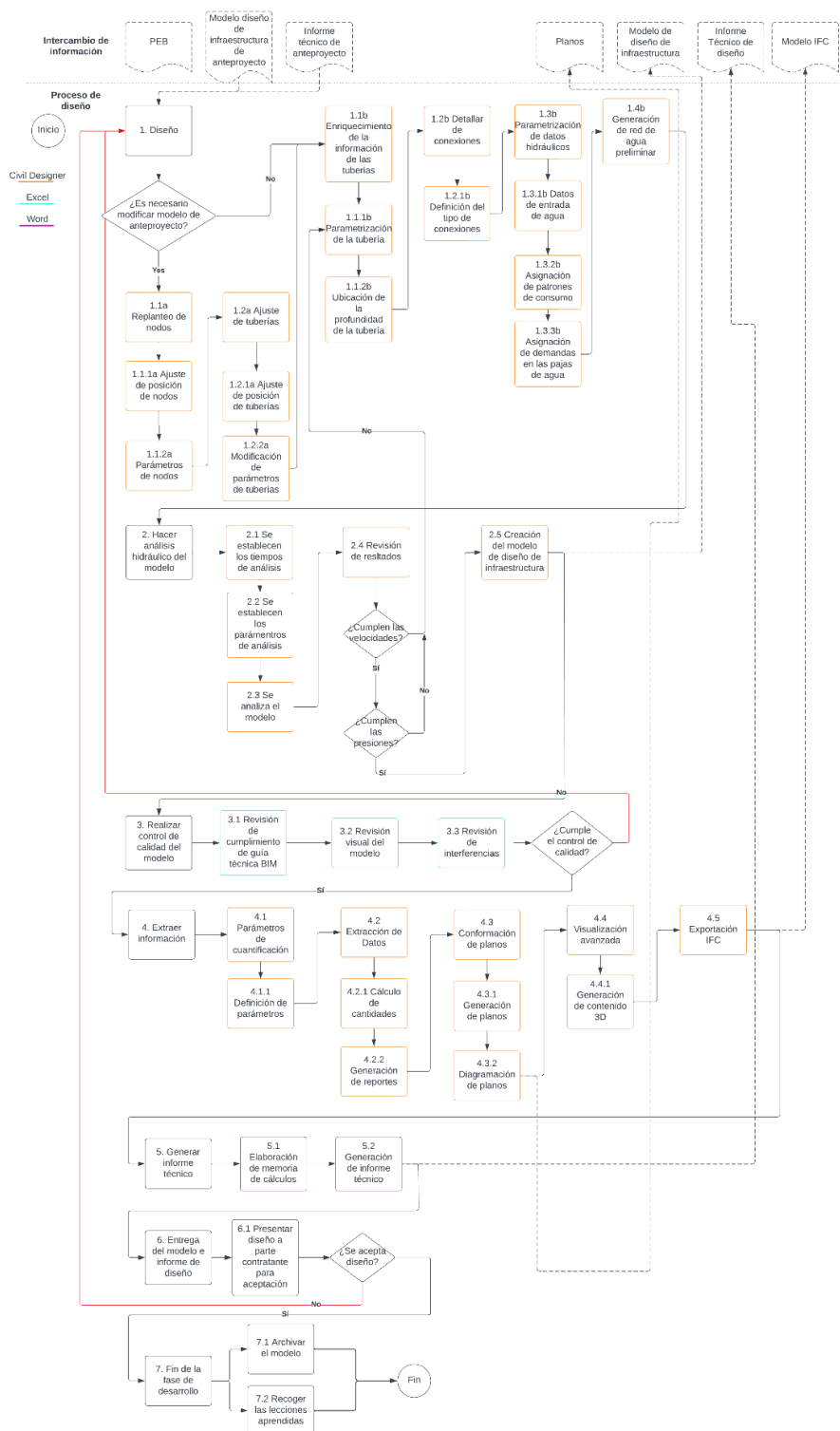


Figura 22. Proceso diseño de redes de agua.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Drenajes de agua pluviales

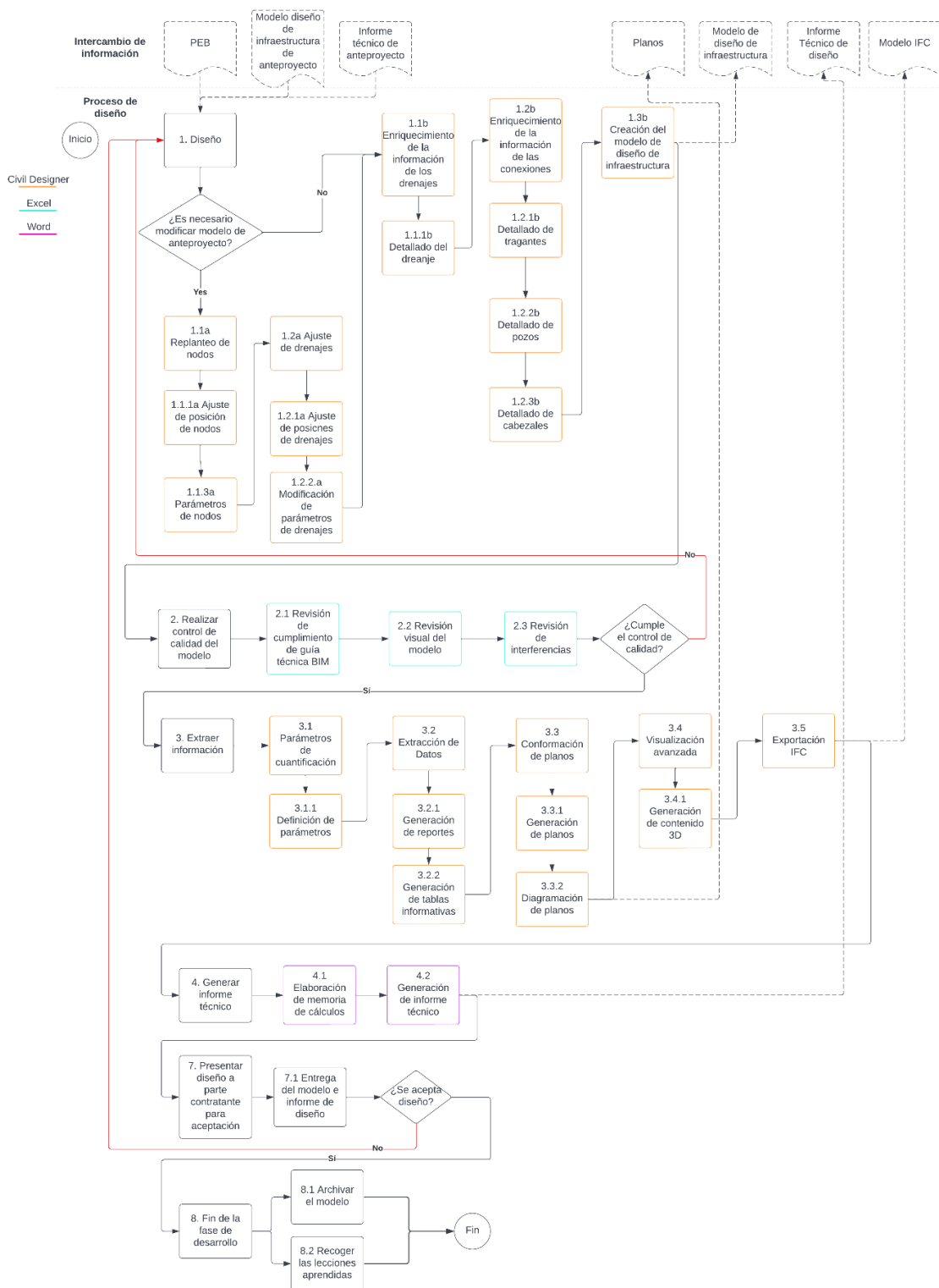


Figura 23. Proceso diseño de drenajes de aguas pluviales.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Aceras

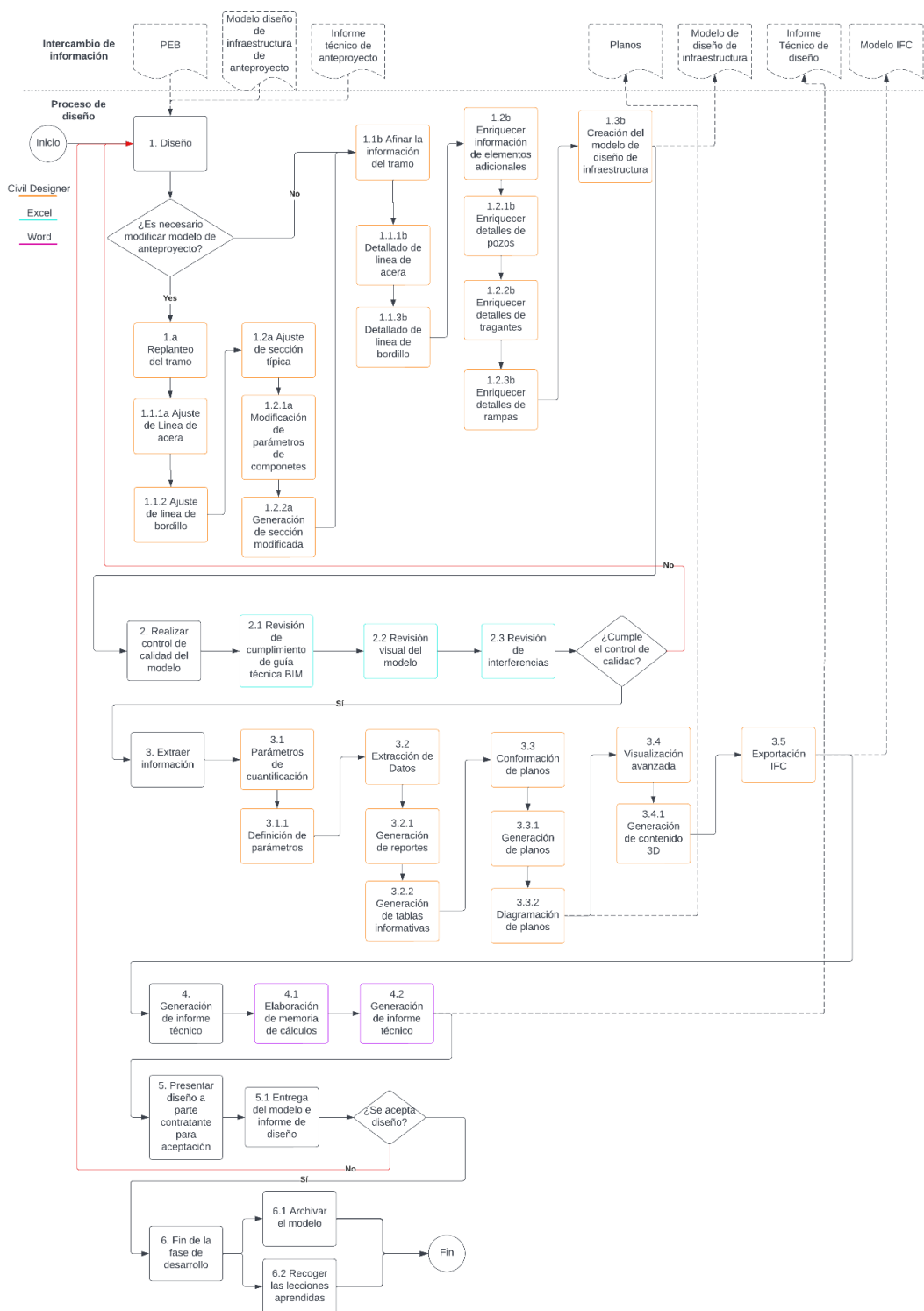


Figura 24. Proceso diseño de aceras.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Construcción

3.4.1 Carretera

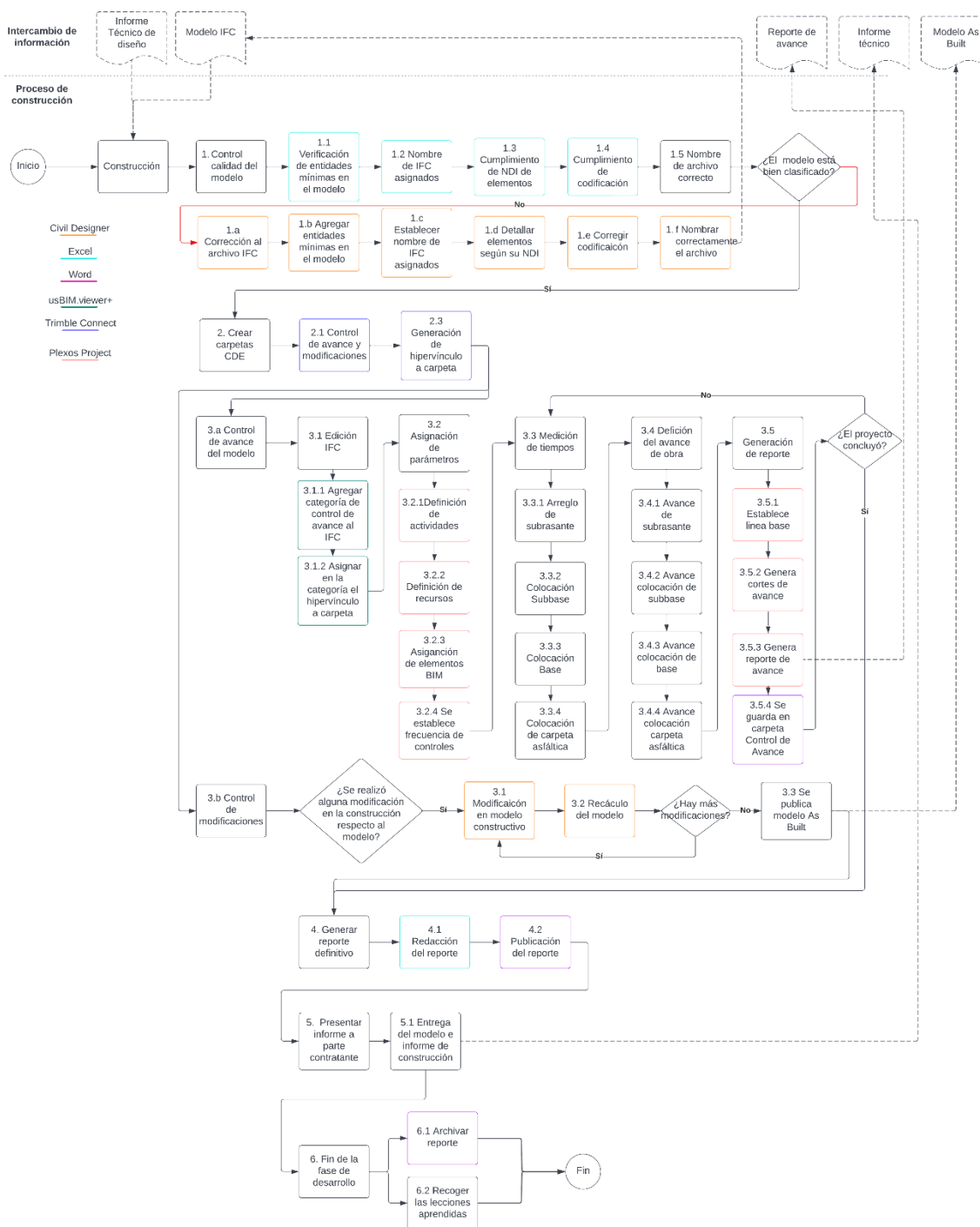


Figura 25. Proceso construcción de carreteras.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Redes de agua

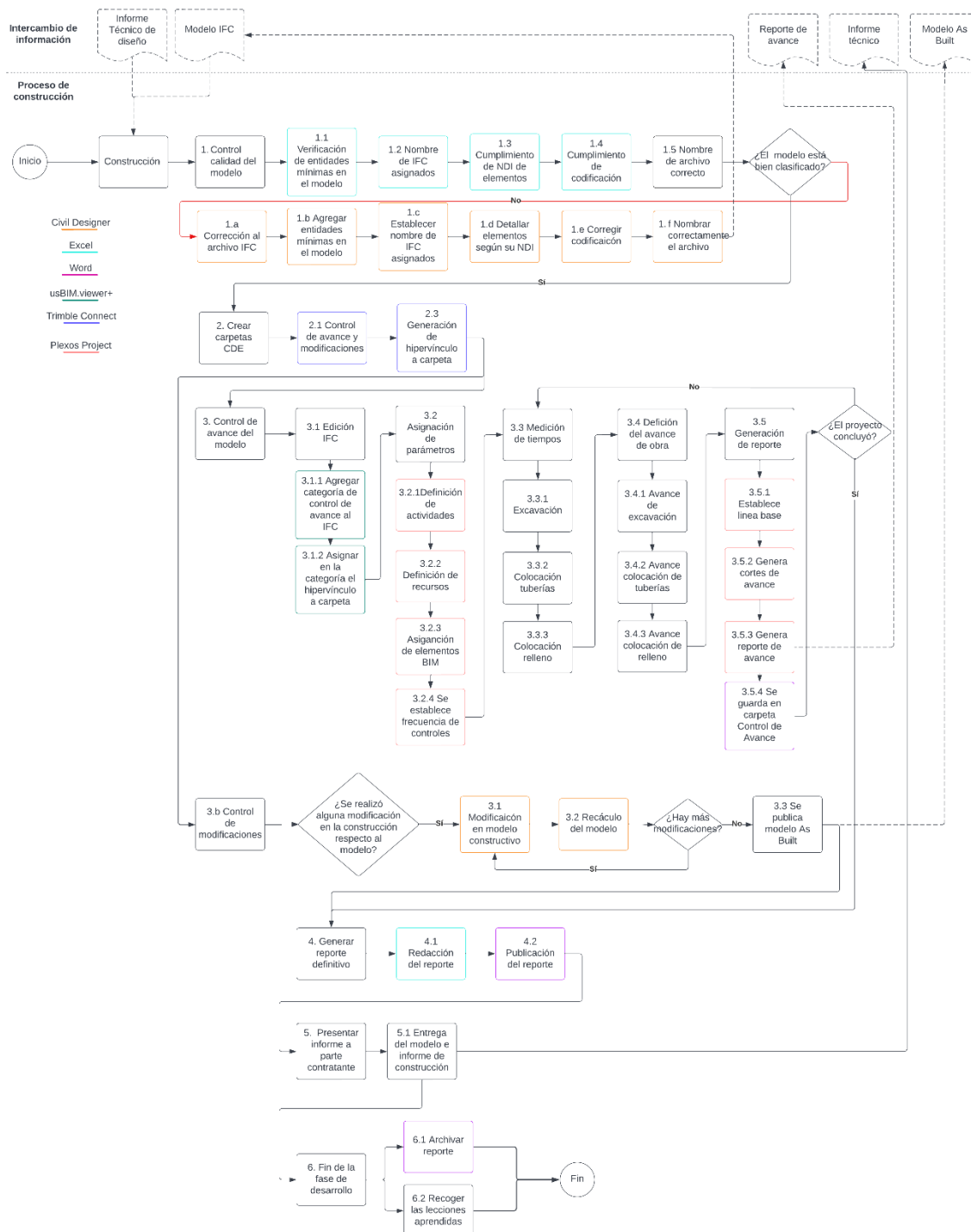


Figura 26. Proceso construcción de redes de agua.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Drenajes de agua pluviales

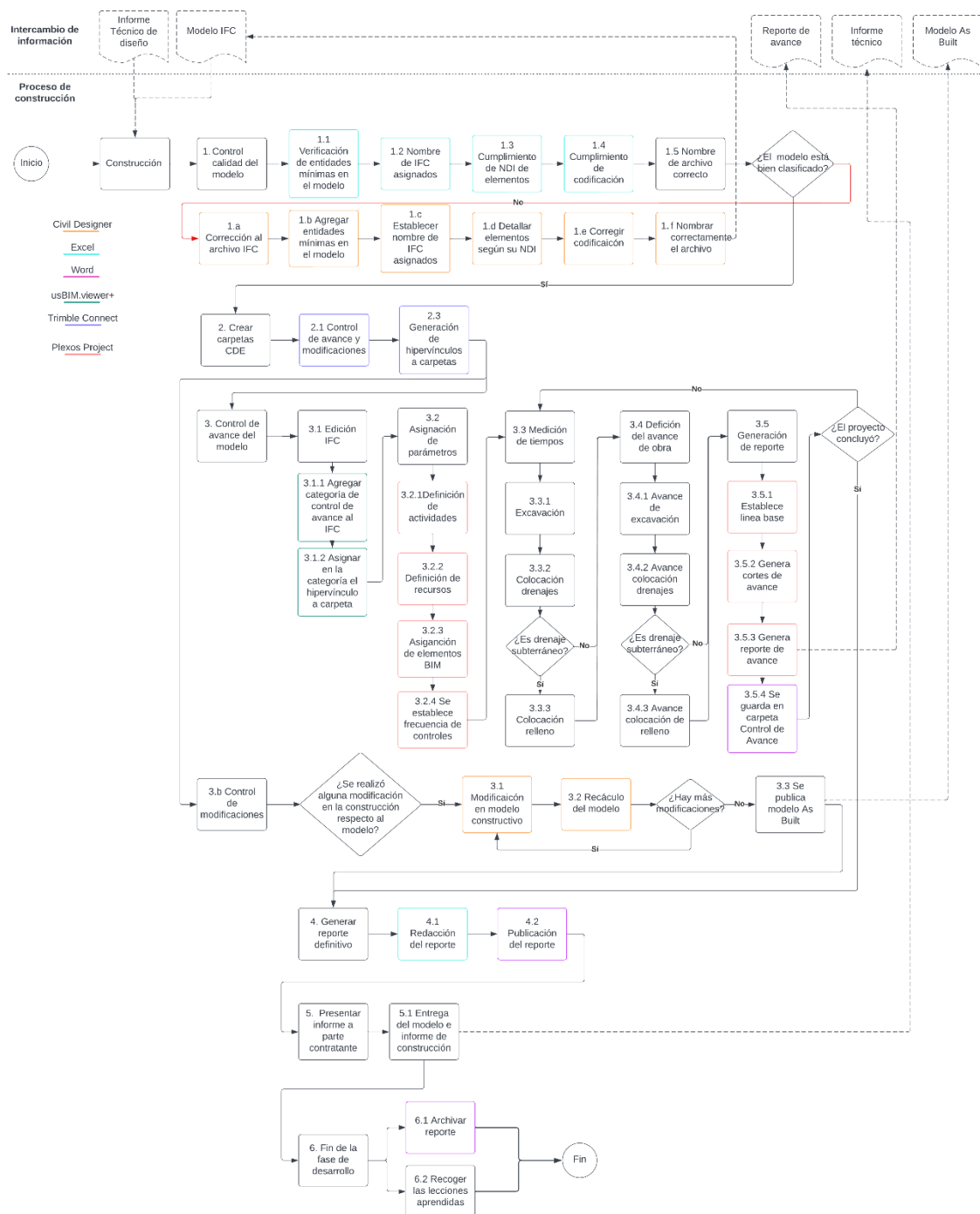


Figura 27. Proceso construcción de aguas pluviales.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Aceras

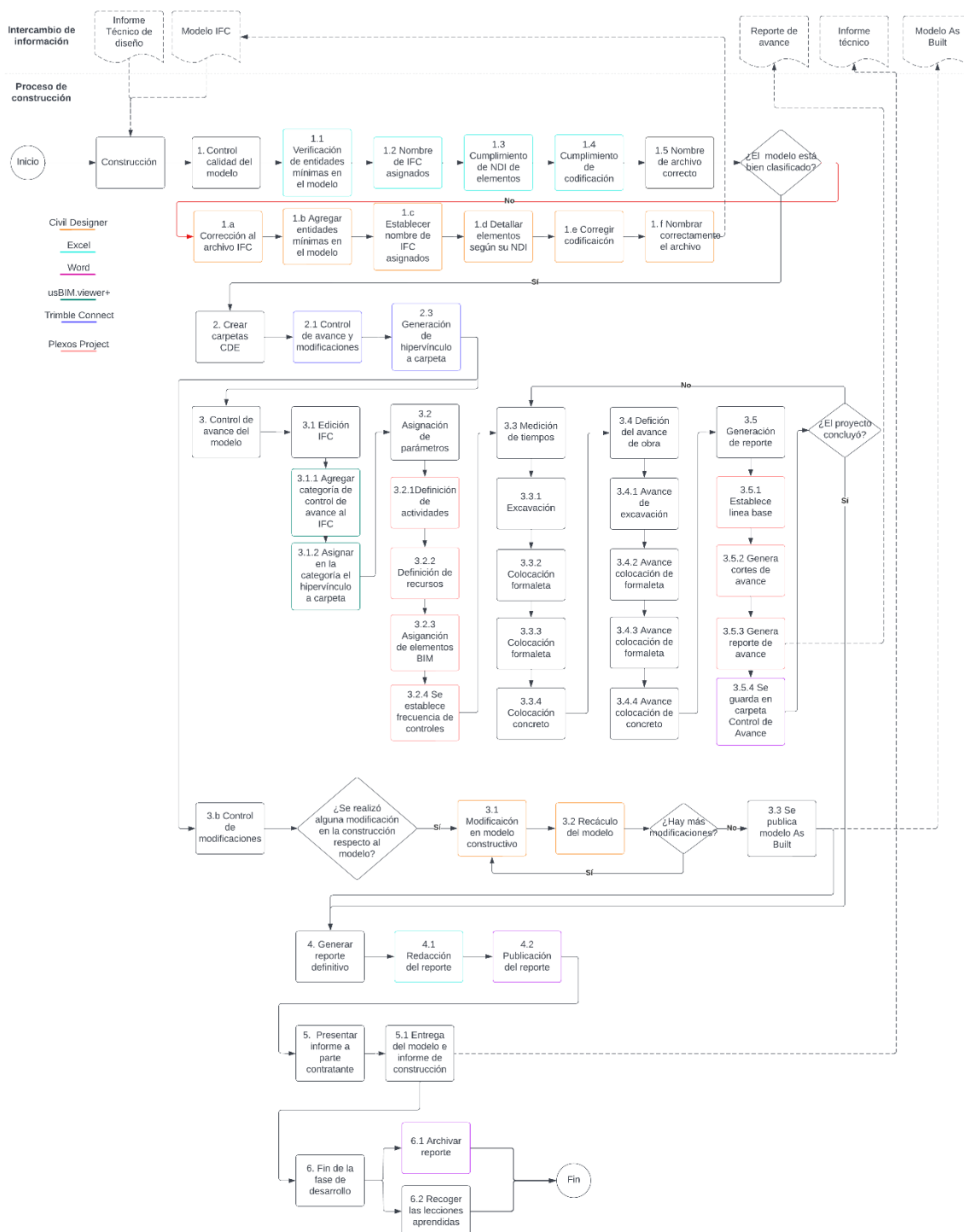


Figura 28. Proceso construcción de aceras.

Fuente: Elaboración propia.

4 Planes pilotos de implementación de la guía técnica

La evaluación de la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales elaborados por AECO se hará mediante su aplicación en dos proyectos pilotos. El primer proyecto piloto evaluará a la guía en las etapas de planificación, anteproyecto y diseño; mientras que el segundo lo hará para la etapa de construcción.

4.1 PO57 Condominio Playa Blanca

Como proyecto piloto para la evaluación de las etapas de planificación, anteproyecto y diseño, se selecciona el proyecto denominado Condominio Playa Blanca Estates, el cual está ubicado en Playa Blanca, Playa Negra, Santa Cruz. El proyecto a realizar es parte de la construcción de un condominio horizontal compuesto por 9 fincas filiales; este consta meramente del diseño de las calles que va a contener el condominio en su interior.



Figura 29. Ubicación del proyecto piloto PO57.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Planificación

4.1.1.1 Establecer estándar BIM

Se establece la Guía Técnica para la Implementación de la Metodología BIM para Proyectos de Infraestructura de Obras Lineales como el estándar del proyecto, incluyendo sus capítulos de Lineamientos Generales de la Implementación BIM, Libros de estilos de AECO y Procesos de Implementación de BIM en Obras Lineales.

4.1.1.2 Generar PEB

En primer lugar, se genera la plantilla del PEB en Plannerly al abrir un nuevo espacio de trabajo.

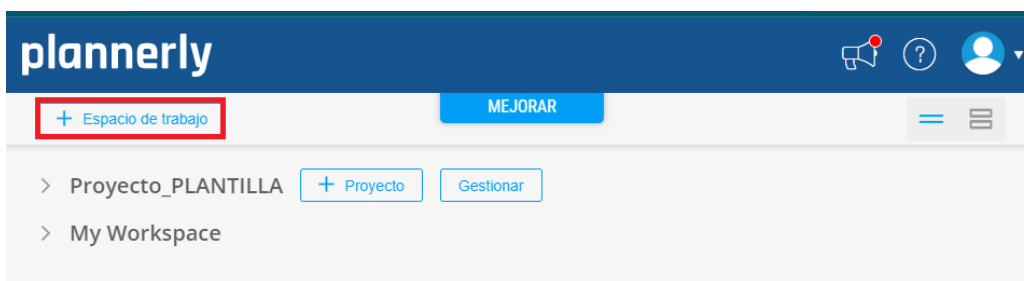


Figura 30. Generación del espacio de trabajo.

Se establece la información general del proyecto para así crear el espacio de trabajo. Para este proyecto, se establece que es de tipo Carretera y se selecciona la plantilla del NDI Planbim Chile.

Ajustes del proyecto

Título del Proyecto
PO57 - Condominio Playa Blanca Estates

Tipo de proyecto
Carretera

Dirección
Playa Negra, Provincia de Guanacaste, Los Pargos, Costa Rica

Condominio horizontal de 9 fincas filiales

Norma del proyecto
NDI Planbim Chile (NDI-1, NDI-2, NDI-3, NDI-4, ...)

Idioma del Proyecto
Español

Planificar la dirección del texto
De izquierda a derecha (LTR)

Tamaño de papel exportado
Letter (8 1/2 x 11 in)

Zona horaria del proyecto
UTC

Mostrar / Ocultar módulos:

Plan Alcance Seguimiento Verificar

Tiempo de trabajo:

Dom Lun Mar Mie Jue Vie Sab

Hora de inicio: 07:00

Hora final: 17:00

Cancelar Guardar

Figura 31. Ajustes del proyecto.

La designación de las responsabilidades se hace de acuerdo con la Tabla 1. Funciones y competencias para los Roles BIM de AECO y la Tabla 2. Roles mínimos necesarios según el tamaño del proyecto. Se determina que, para este proyecto, los roles mínimos necesarios son el de Director BIM y Modelador BIM.

Equipos de trabajo

Agregar equipo de trabajo

AECO

3

Manager

ABC

Nombre	Correo electronico	Teléfono	Rol	Permisos
Everardo E. Rodríguez R.	info@aeco.cr	88434169	Coordinador BIM	👑
Leonardo Lara	llara@aeco.cr	--	Modelador	👑
Mauricio Rojas Quesada	mrojas@aeco.cr	--	Modelador	👤

Añadir miembro

Figura 32. Miembros y equipos de trabajo.

Una vez creado el espacio de trabajo en la pestaña de Plan, se entra a la plantilla editable del estándar. En esta se establece la información del proyecto, se define la empresa participante, se redactan los objetivos y los usos BIM, se establece la estrategia de colaboración y la organización de los modelos.

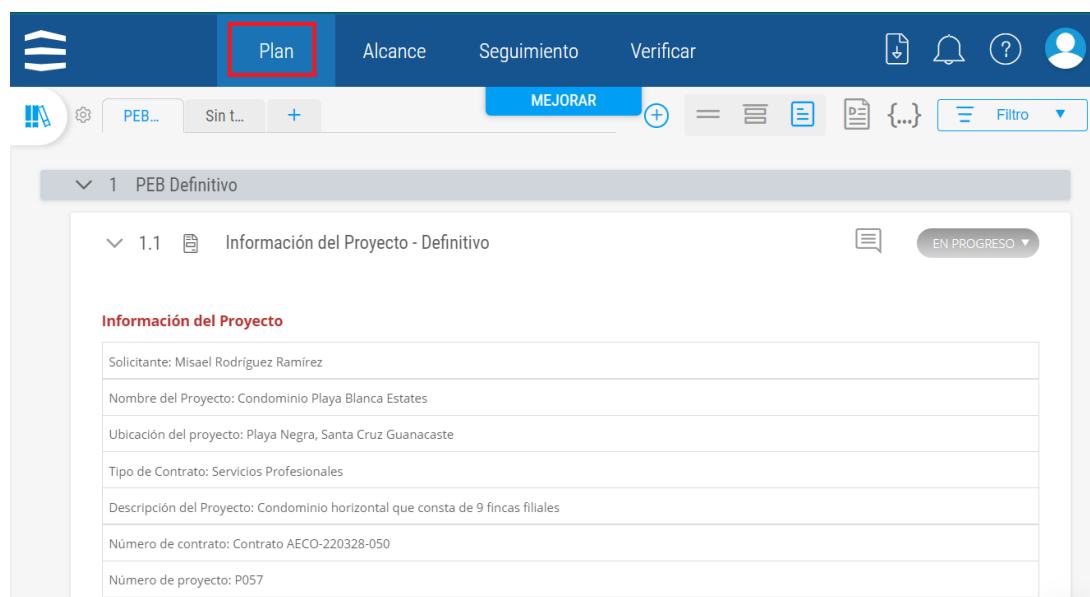


Figura 33. Plantilla PEB.

De esta forma se genera el PEB para el proyecto PO57 – Playa Blanca, el PEB completo se adjunta en el apéndice de este documento.

4.1.1.3 Establecer el CDE

De acuerdo con lo estipulado en Gestión de información para los proyectos de AECO, se genera la carpeta 2022_PO57 para este proyecto piloto. Se establecen los miembros que van a formar parte del CDE y se generan las carpetas necesarias para el proyecto. La estructura del CDE es la siguiente:

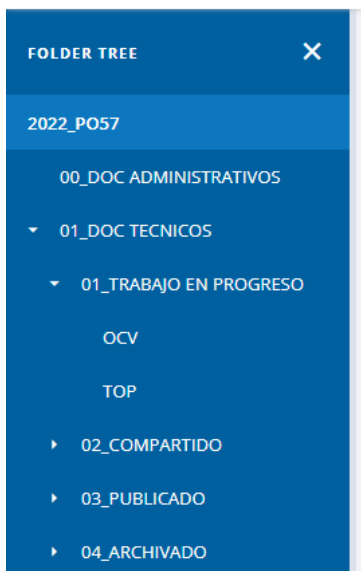


Figura 34. Organización del CDE PO57.

4.1.1.4 Establecer medio de gestión de comunicación

De acuerdo con lo estipulado en el apartado de Gestión de comunicaciones de AECO, se crea un servidor en Discord para el proyecto PO57- PLAYA BLANCA. La estructura del servidor es la siguiente:

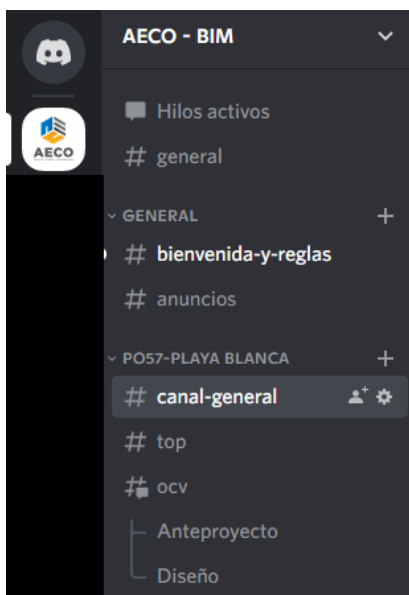


Figura 35. Organización del servidor discord.

4.1.2 Anteproyecto

Para la elaboración del anteproyecto, se genera un proyecto nuevo en Civil Designer, el cual se guarda en la carpeta de 2022:PO57/01_DOCTECNICOS/01_TRABAJO EN PROGRESO/OCV, en el archivo PO57-AECO-ANTEPROYECTO-Playa Blanca-WIP-01.dr4.

4.1.2.1 Recolectar de información referencia

La información topográfica fue brindada por la parte contratante del proyecto. El modelo de sitio es ingresado a Civil Designer en *File>Project Settings*, en donde se selecciona el archivo del terreno, como se muestra en la siguiente imagen:

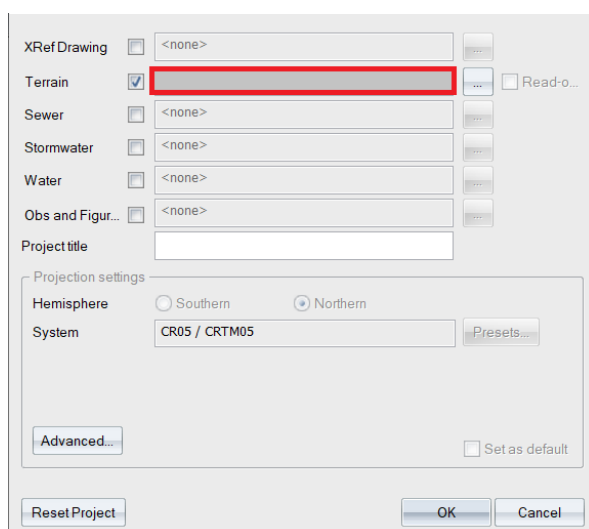


Figura 36. Ventana emergente Project Settings.

Una vez seleccionado el archivo, se puede apreciar la superficie del terreno donde se realizará el proyecto. En este se observan las líneas de modelo, las líneas de contorno de la superficie y los distintos puntos de alturas.

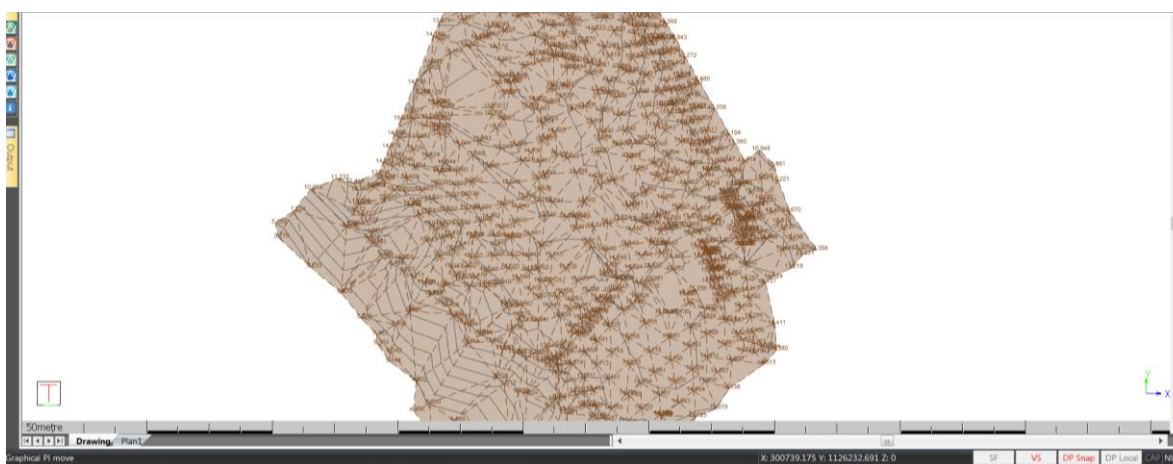


Figura 37. Superficie topográfica del sitio

Se incorporan los distintos elementos al modelo de sitio, como el trazado de la calle cantonal y de las estructuras existentes, y los elementos geográficos, por ejemplo, los árboles existentes. Este modelo tiene las entidades mínimas establecidas en la Figura 13. A continuación, se observa el modelo de sitio completo:



Figura 38. Modelo de sitio, condiciones actuales

4.1.2.2 Aplicar los criterios de diseño

Los criterios de diseño se basaron en las necesidades de la parte contratante para la generación de una futura urbanización. No se aplicó ningún manual de diseño de carreteras, sino el criterio profesional de los ingenieros del proyecto.

4.1.2.3 Planear la intervención

La intervención del proyecto se va a dar por 3 tramos: el primero es para la calle de acceso (1), la cual conecta al proyecto con la calle cantonal; la siguiente es la calle transversal, la cual se extiende de forma transversal dentro del lote (2), y la última es para un sendero (3) que rodea el lote y que conecta un extremo de la calle transversal con otro.

Las primeras dos se establecen como calles terciarias con un ancho de carril de 2,1 m con dos sentidos y un bombeo de 2 %; mientras que el tercero se establece como una calle de ancho de 1 m con dos sentidos y un bombeo de 0 %.

En la siguiente imagen, se observa la distribución propuesta con un NDI 100.

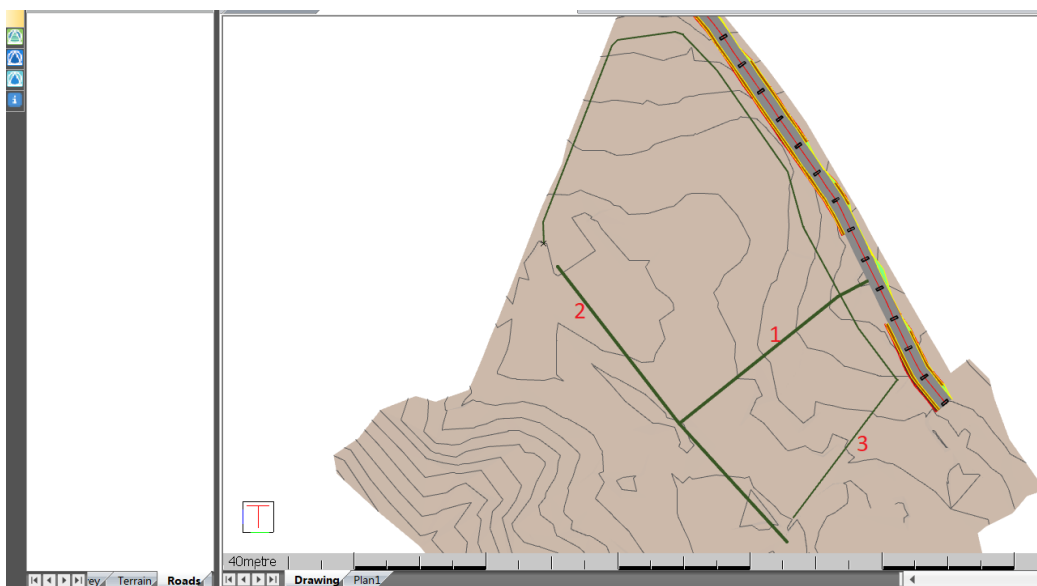


Figura 39. Ubicación de calles.

4.1.2.4 Generar modelo preliminar

Ahora, para la modelación de la obra lineal de la calle de este proyecto, es necesario establecer el alineamiento horizontal. Es importante tomar en cuenta que se debe de estar en el módulo de *Roads* para todo lo relacionado con este tipo de obras. Se establece el trazado de la línea base para el primer tramo que corresponde a la calle transversal. Para esto, se debe de establecer un punto en el alineamiento denominado *Graphical Insert*, como se observa a continuación:

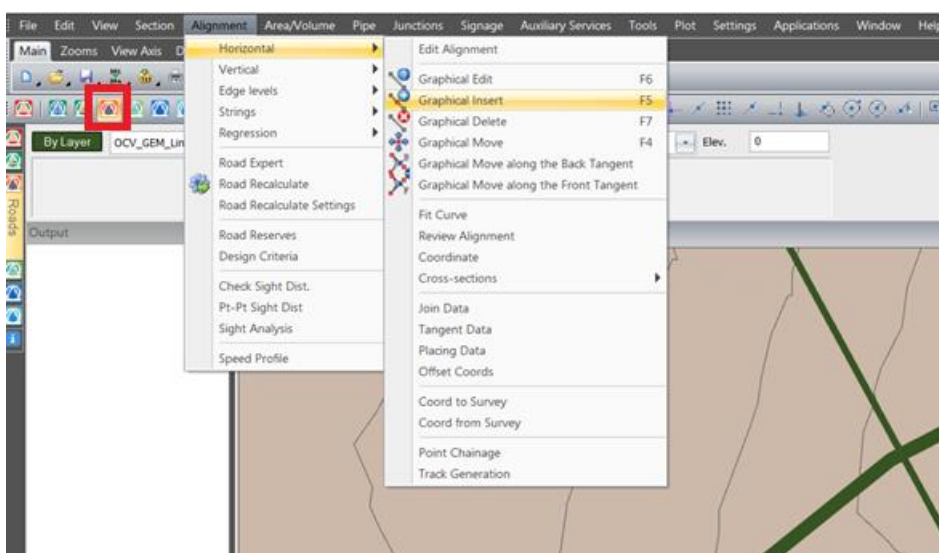


Figura 40. Generación del alineamiento horizontal.

Se coloca el punto inicial a partir de donde se quiere que salga el alineamiento. Es aquí donde automáticamente Civil Designer pregunta por el nombre del punto y qué tipo de punto es. Se establece de la siguiente forma:

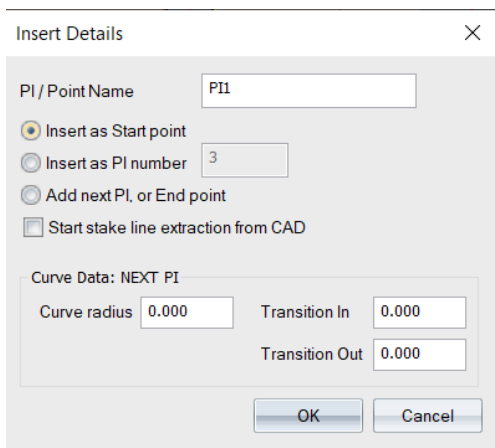


Figura 41. Ventana emergente Insert Details para punto de inicio.

Una vez completada la información, se le indica *OK* al programa y así permite la colocación de los siguientes puntos. De forma similar, se llena la información del siguiente punto solo que se le coloca *Add next PI, or End point*, indicando que este es parte del mismo alineamiento. Además, se agrega el radio de la curva en caso de ser necesario.

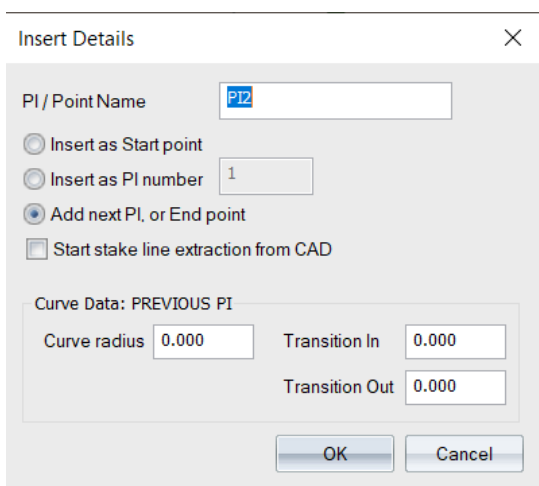


Figura 42. Ventana emergente Insert Details para punto del alineamiento.

Este proceso se sigue las veces que sea necesario hasta completar el tramo. Una vez terminado se da clic derecho y *Finish*.

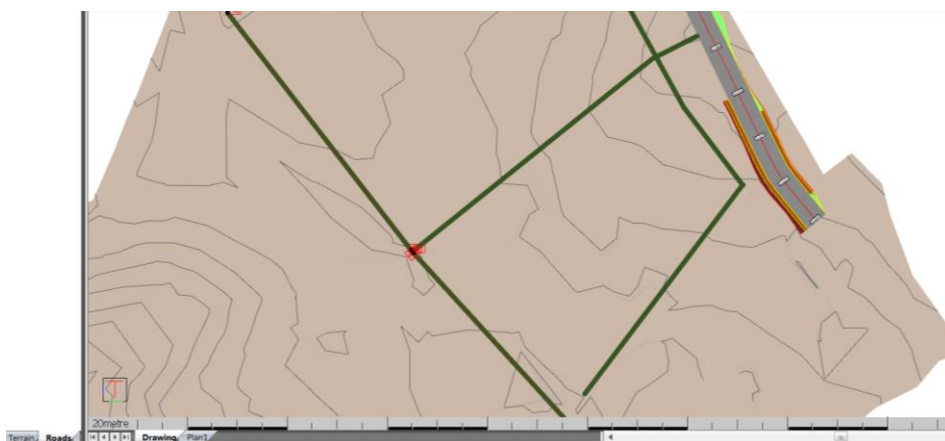


Figura 43. Alineamiento horizontal, calle transversal.

Ahora, se crea la sección típica preliminar para este tramo. Para ello, hay que asegurar que se esté en el módulo de *Road*, una vez se cumpla esto, entonces se debe ir a *File>Select road file...* y aquí aparece una ventana en donde se debe seleccionar el botón para crear una nueva calle, como se observa en la siguiente imagen:

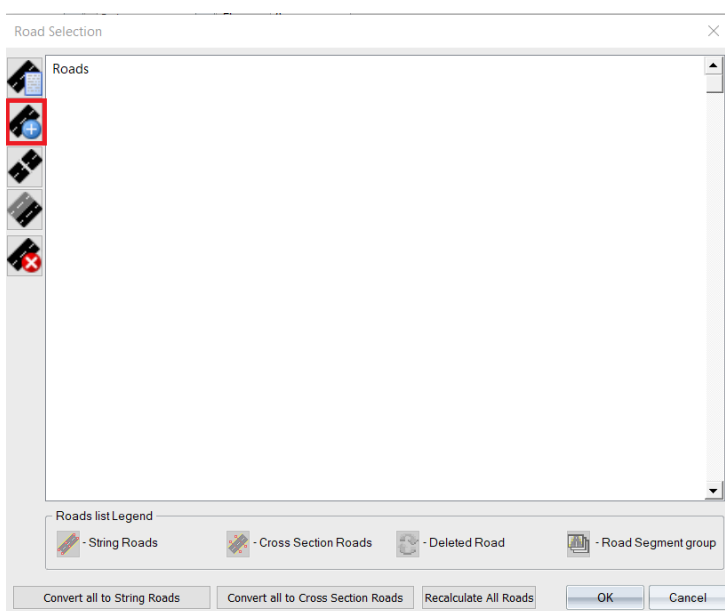


Figura 44. Ventana emergente Road Selection.

Al seleccionar crear la nueva calle, surge el panel de control para establecer la configuración de la sección típica preliminar. Aquí se coloca el nombre la calle, los anchos y el bombeo de los carriles.

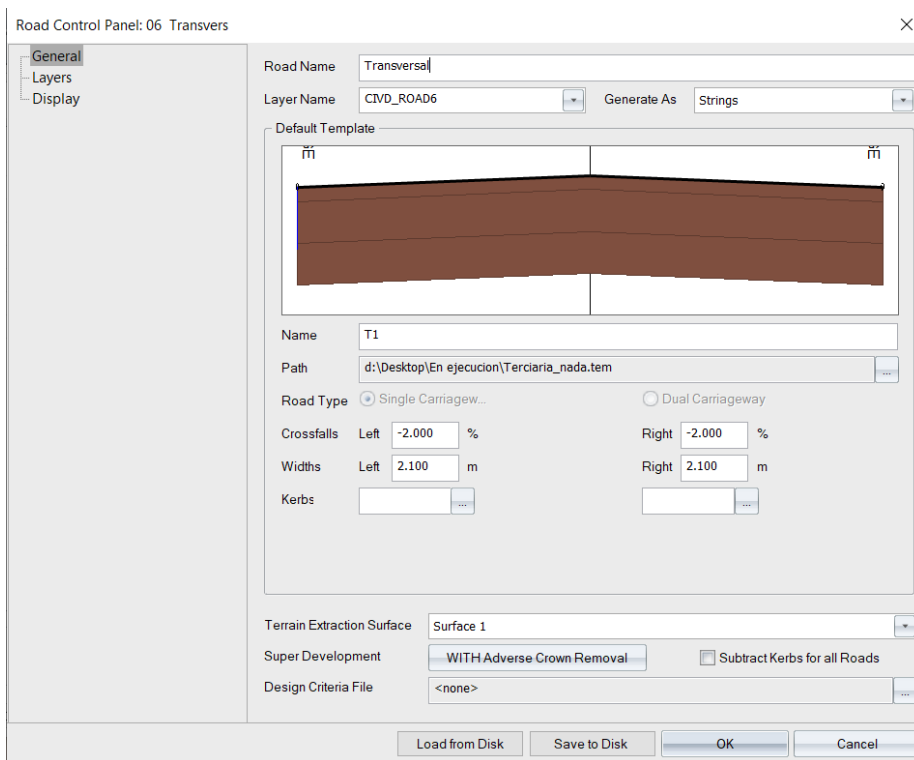


Figura 45. Ventana emergente Road Control Panel: Default Settings

Una vez realizado esto, entonces la sección típica se aplica sobre el alineamiento horizontal con NDI 200, tal como se muestra a continuación:

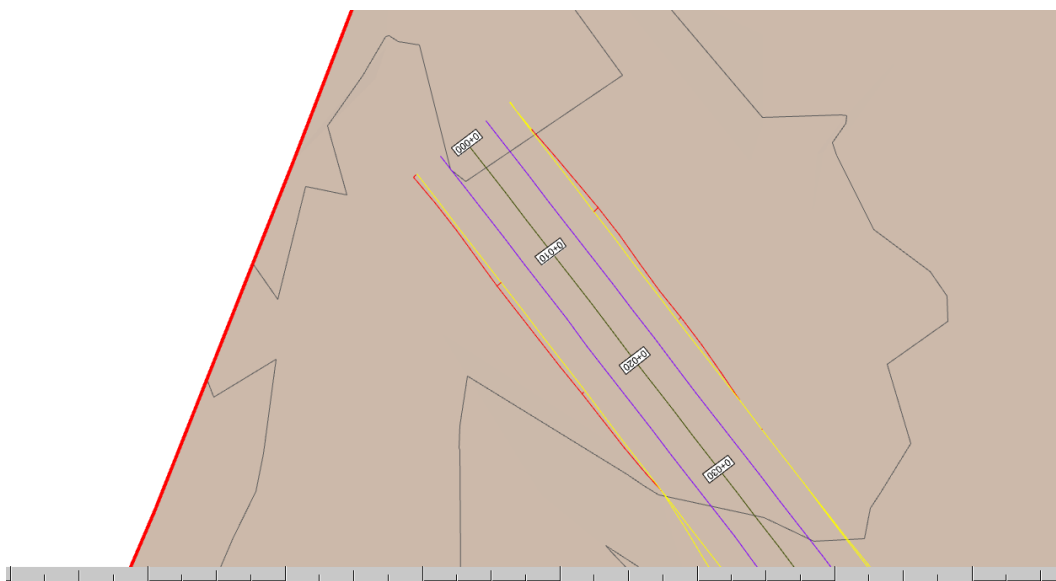


Figura 46. Diseño geométrico preliminar de calle transversal.

Con el fin de visualizar mejor las calles, se activa la opción de sombreado, la cual permite tener una mejor idea de cómo se va a ver en la realidad. Esta opción se activa en *Display Settings>Shading Settings>Road Shadings>Draw shading*.



Figura 47. Diseño geométrico preliminar de calle transversal con sombreado.

El mismo proceso se aplica para la calle de acceso y el sendero; siempre y cuando se tomen en cuenta las dimensiones y consideraciones para cada uno. En la siguiente figura, se observa el diseño geométrico preliminar de todas las calles; este establece el modelo de diseño de infraestructura de anteproyecto para esta obra.



Figura 48. Modelo de diseño de infraestructura de anteproyecto.

4.1.2.5 Generar informe de anteproyecto

Usando Word, se genera el informe de anteproyecto por parte de AECO, dirigido a la parte contratante, donde presenta la información relevante del proyecto, así como planos preliminares del diseño de anteproyecto.

4.1.2.6 Entregar a parte contratante

El modelo es aprobado para ser compartido. Luego, se debe entregar el proyecto a la parte contratante para su respectiva aprobación; esto incluye el informe de anteproyecto y el modelo de diseño de infraestructura de anteproyecto en forma de planos preliminares. La parte contratante debe de rechazar o aceptar esta entrega. Este sería el fin de la etapa de anteproyecto.

4.1.3 Diseño

A partir del modelo de diseño de infraestructura de anteproyecto realizado anteriormente, se determina que no es necesario realizar modificaciones a este modelo, sino que se debe de enriquecer en información para un adecuado diseño. Los elementos deben de alcanzar un NDI 300.

4.1.3.1 Enriquecimiento de la información del tramo

Para detallar la línea base, se edita el alineamiento vertical al seleccionar el tramo y luego *Click derecho>Road operations>Vertical Alignment*, ya que el modelo anterior no toma este en consideración, sino que solo se hizo el alineamiento horizontal. En la Figura 49, se observa el alineamiento vertical previo al ajuste de la calle transversal. Es aquí donde se selecciona insertar un nuevo punto de intersección vertical en *Insert a VPI*, en las posiciones necesarias para ajustar la calle a la superficie.

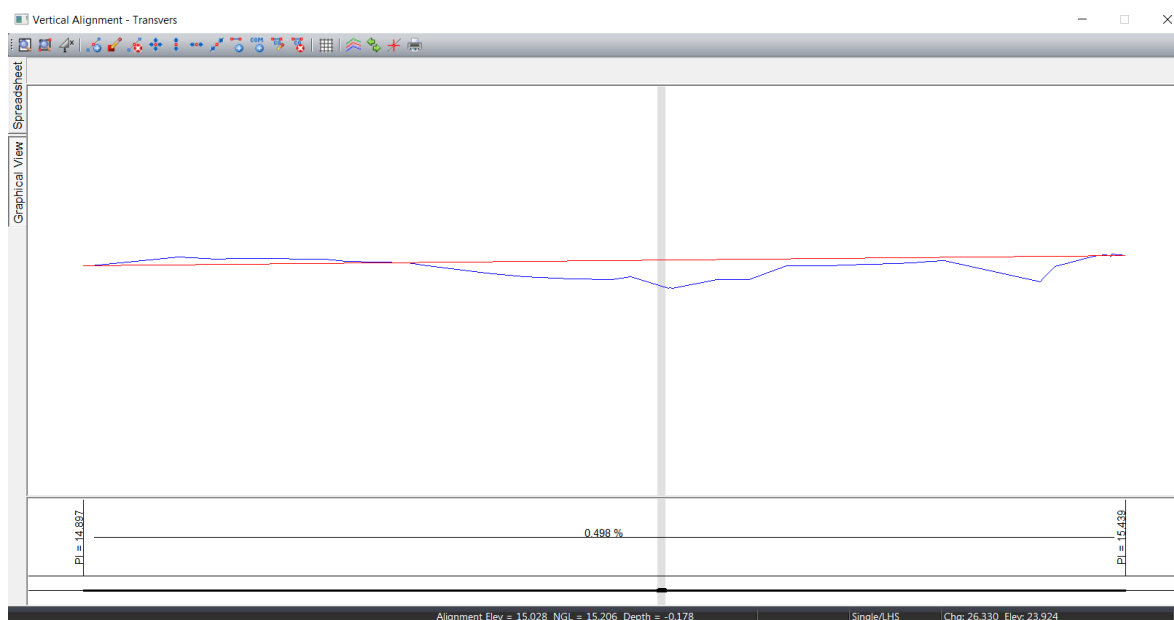


Figura 49. Ventana emergente, alineamiento vertical previo calle transversal.

Las características de este VPI se editan como se observa en la siguiente imagen:

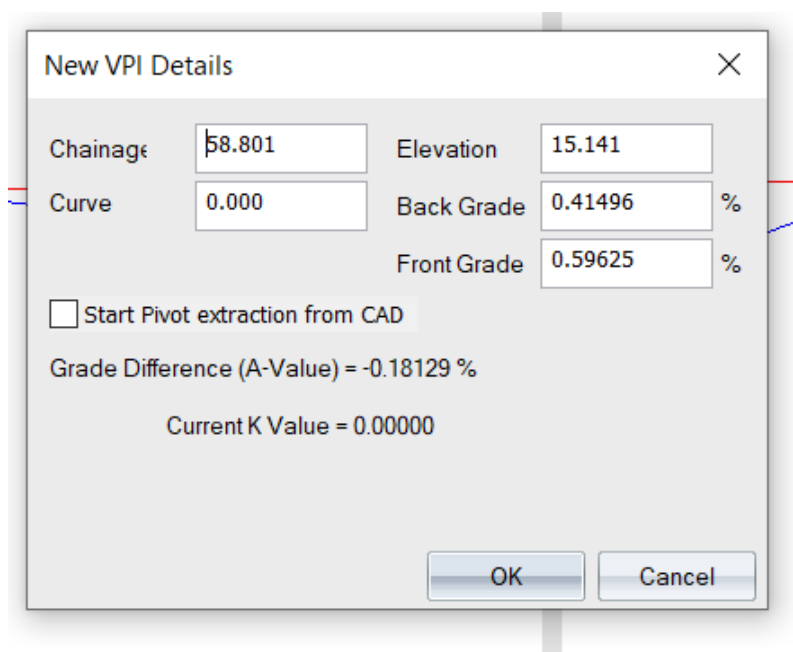


Figura 50. Ventana emergente New VPI Details.

Una vez se tengan los VPI necesarios, entonces, quedarían listos los alineamientos verticales. En las siguientes figuras se observa el alineamiento vertical para la calle transversal, el acceso y el sendero respectivamente.

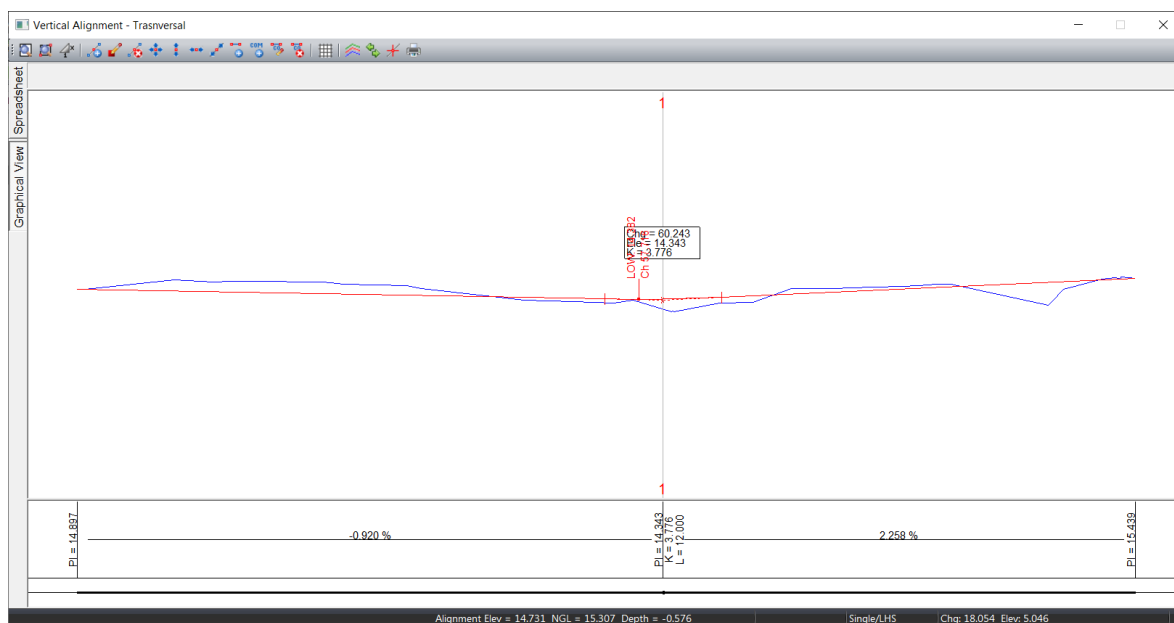


Figura 51. Ventana emergente Vertical Alignment de calle transversal.

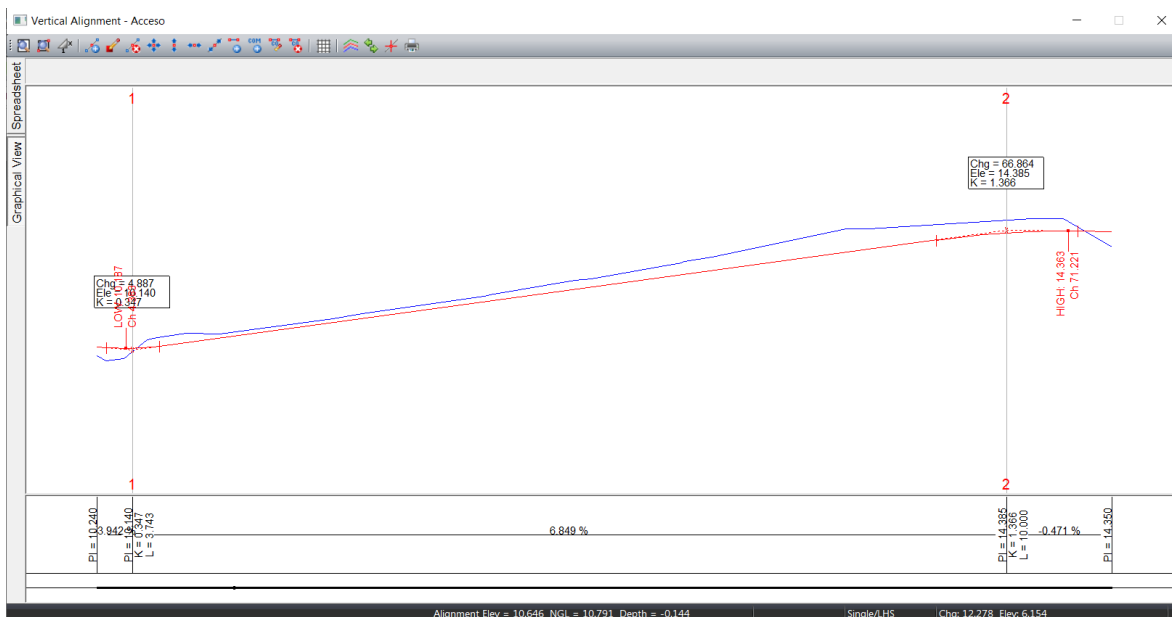


Figura 52. Ventana emergente Vertical Alignment de calle de acceso.

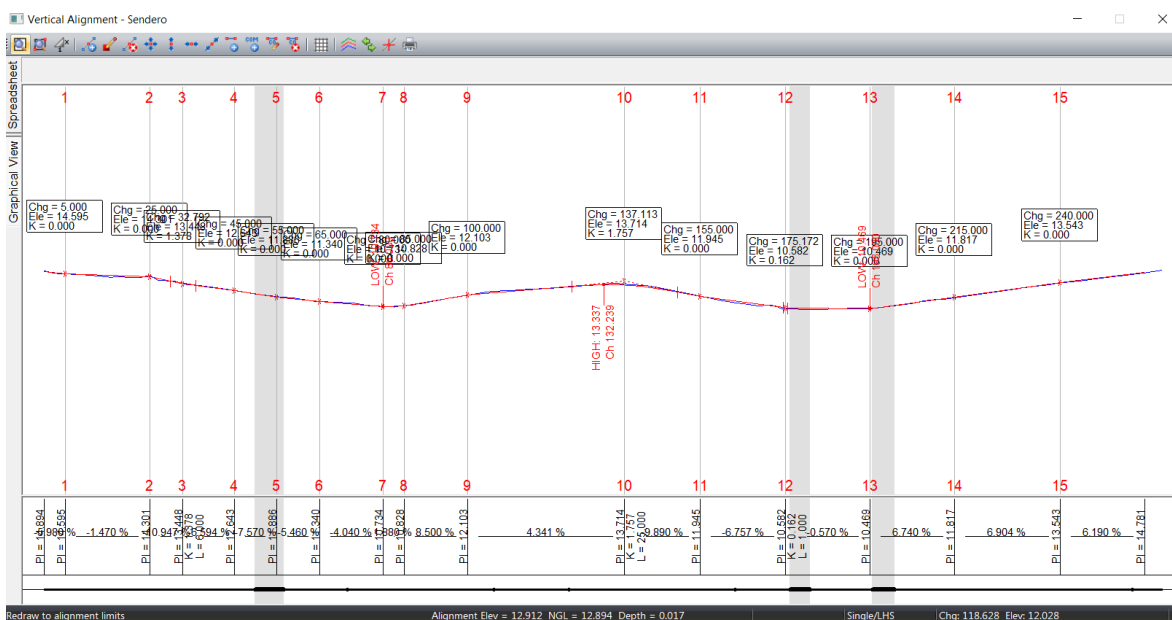


Figura 53. Ventana emergente Vertical Alignment de sendero.

Tras realizar el detallado de la línea base, se sigue con el detallado de la sección típica. Para esto, se agregan las estructuras adicionales necesarias; en este caso, es necesario agregar una zona verde de 30 cm y un cordón y caño de 65 cm.

Para editar la sección típica, se debe estar en el módulo Roads y después ir a *Tools>Template Editor*. Aquí se le agregan las estructuras a la sección al hacer *Click derecho>Add to template*.

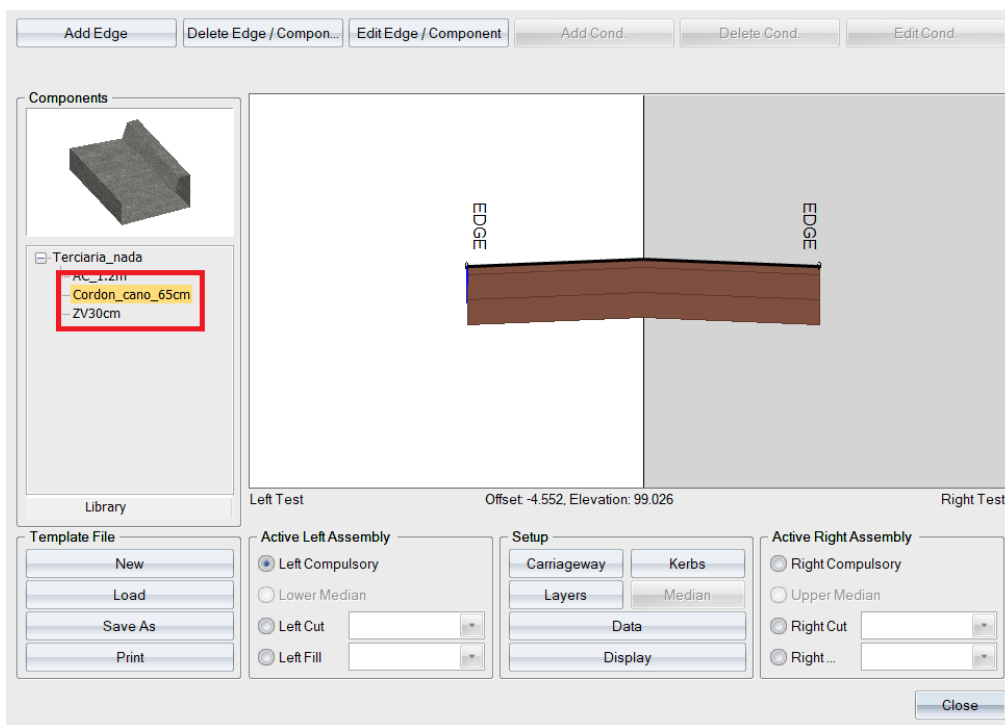


Figura 54. Ventana emergente Template Editor, sección típica.

Una vez se agregan las estructuras adicionales y se verifican los detalles de las secciones típicas, estas se ven de la siguiente forma para las calles de acceso y transversal, y sendero respectivamente:

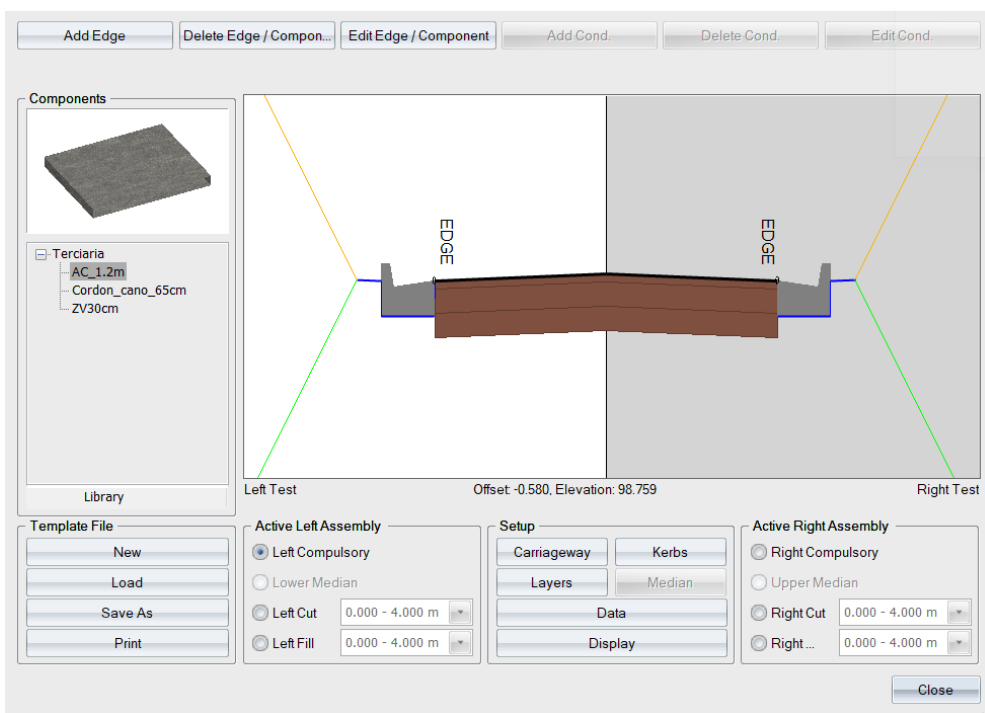


Figura 55. Ventana emergente Template Editor, sección detallada calle transversal y acceso.

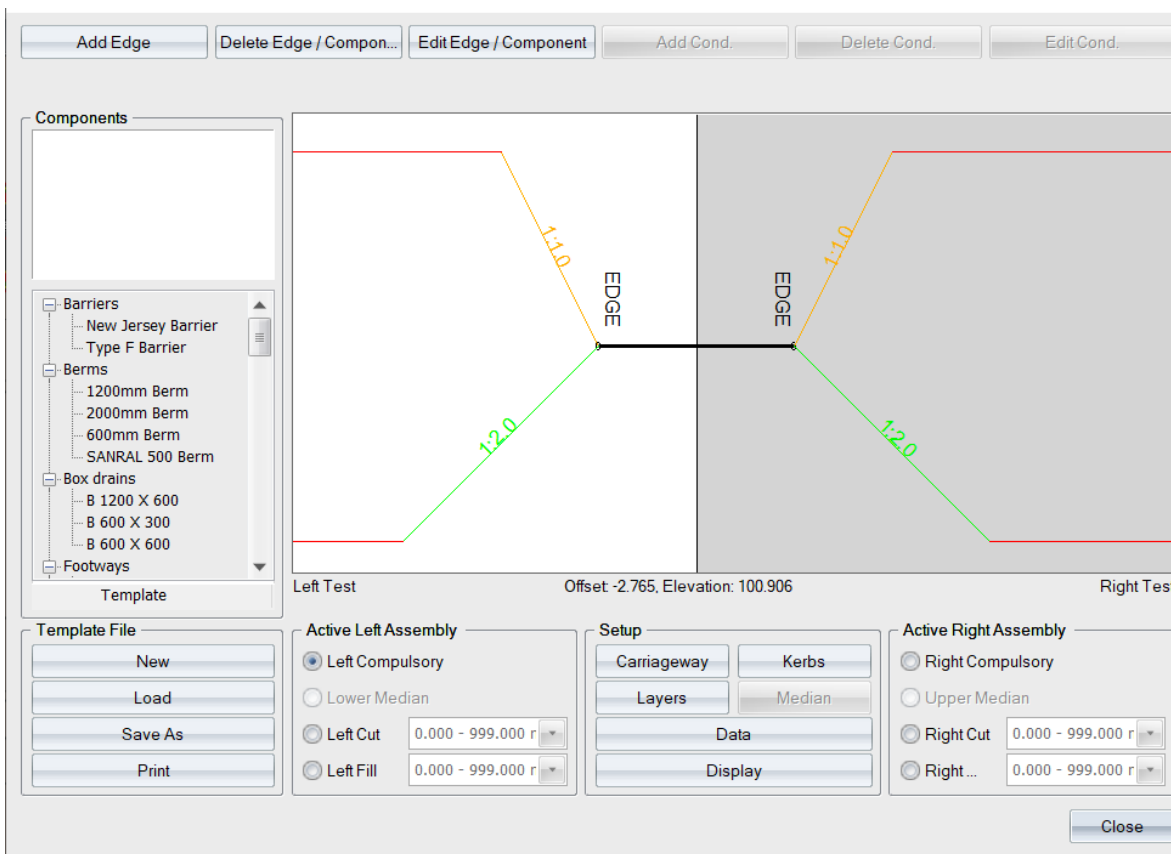


Figura 56. Ventana emergente Template Editor, sección detallada sendero.

Al detallar estas secciones, se visualizan de la siguiente forma:



Figura 57. Diseño geométrico detallado preliminar.

Adicionalmente, se agregan otras estructuras como dos Cul-De-Sac a finales de la calle transversal y una rotonda para intersecar la calle transversal con la calle de acceso. A continuación, se observa la forma de colocar un Cul-De-Sac.

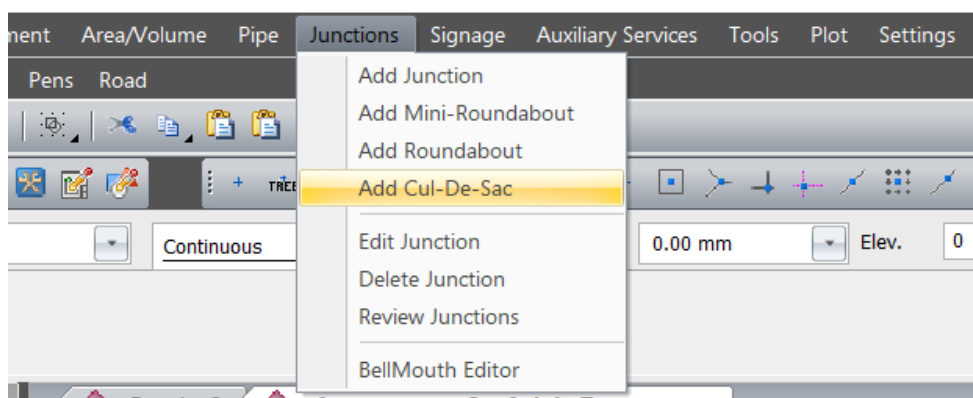


Figura 58. Generación de Cul-De-Sac.

Después de seleccionar esta opción, se hace *Click* en los puntos donde se van a agregar estas estructuras; en este caso es en los extremos de la calle transversal. Se editan las dimensiones de la siguiente forma:

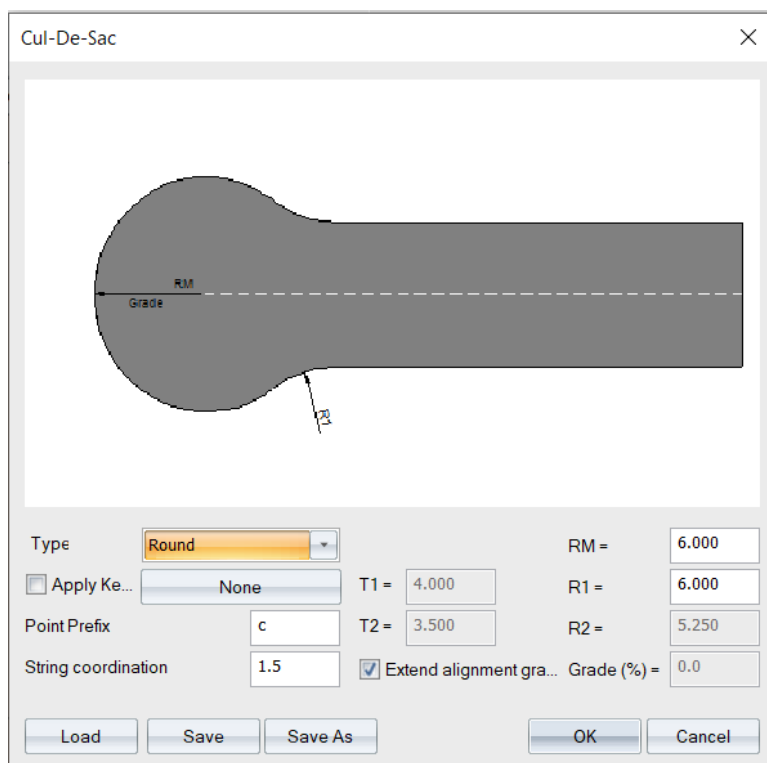


Figura 59. Ventana emergente Cul-De-Sac.

Posterior a la edición de las dimensiones, se selecciona *OK* y el Cul-De-Sac se muestra en el modelo.

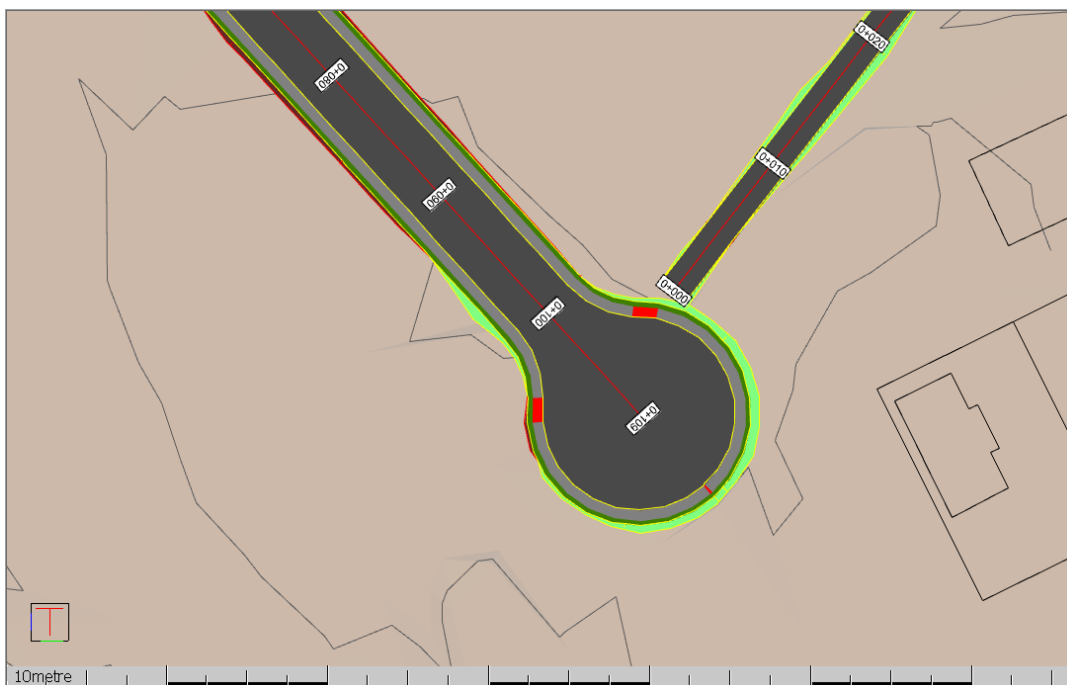


Figura 60. Cul-De-Sac en calle transversal.

De forma similar, se añade una mini-rotonda en la intersección de las calles transversal y de acceso. Este proceso se hace de la siguiente forma:

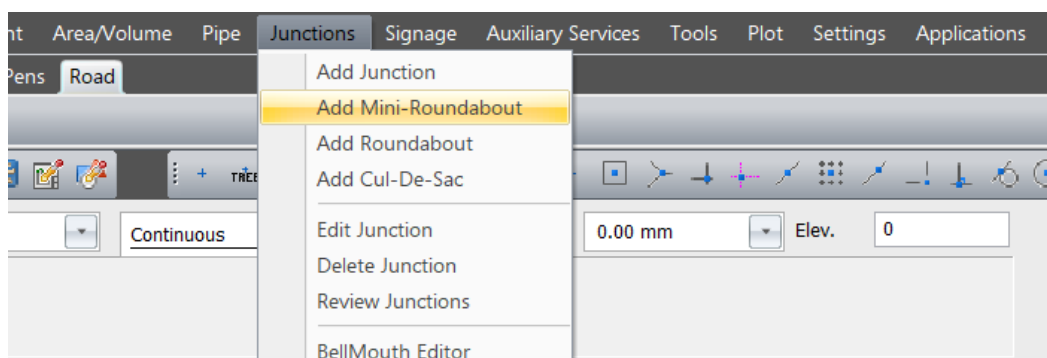


Figura 61. Generación de mini-rotonda.

Al seleccionar esta opción, se hace *Click* en los puntos donde se van a agregar estas estructuras; en este caso, es en la intersección de las dos calles. Se editan las dimensiones de la siguiente forma:

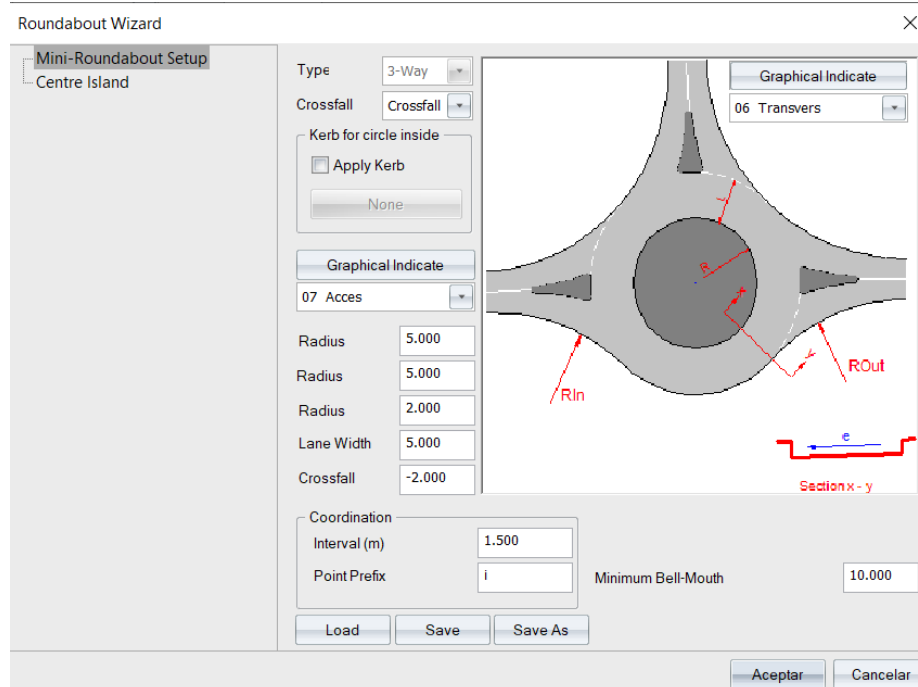


Figura 62. Ventana emergente Roundabout Wizard.

Una vez terminado de editar las dimensiones, se selecciona *OK* y la mini-rotonda se muestra en el modelo.

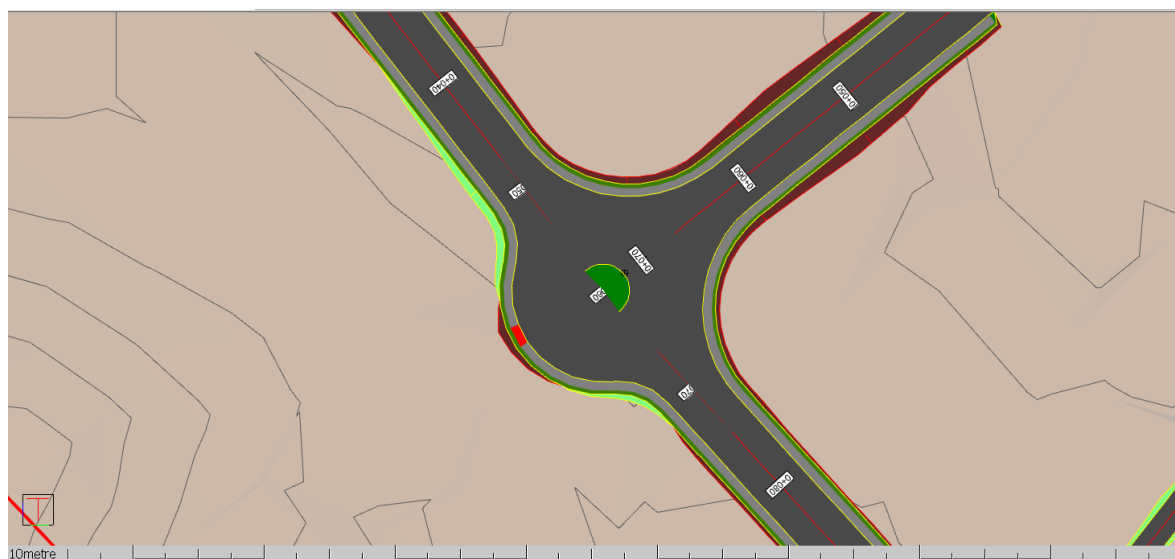


Figura 63. Mini-rotonda en calle transversal y calle de acceso.

Con lo anterior, se completa el modelo de diseño de infraestructura, el cual se observa en la Figura 64. Modelo de diseño de infraestructura.

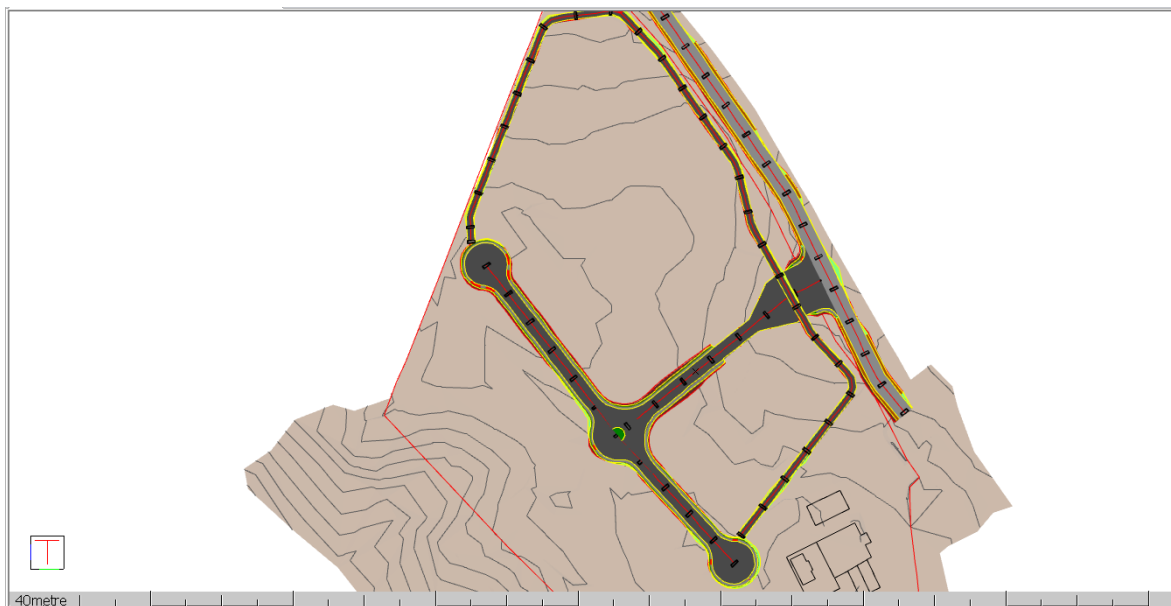


Figura 64. Modelo de diseño de infraestructura.

4.1.3.2 Control de calidad del modelo

Para el control de calidad del modelo BIM, se usa la lista de control de calidad de los modelos BIM establecida en la Guía Técnica. Se marca Sí en caso de que se cumpla la condición y, en caso de que no se cumpla, se marca No y se anotan los detalles por los cuales no cumple.

En este caso, se realizaron todas las validaciones. Sin embargo, para el caso de las interferencias, en Auxiliary Services>Clashes, se realizó el estudio de interferencias entre elementos de la misma especialidad de OCV_GEM y se encontraron tres interferencias, como se muestra a continuación:

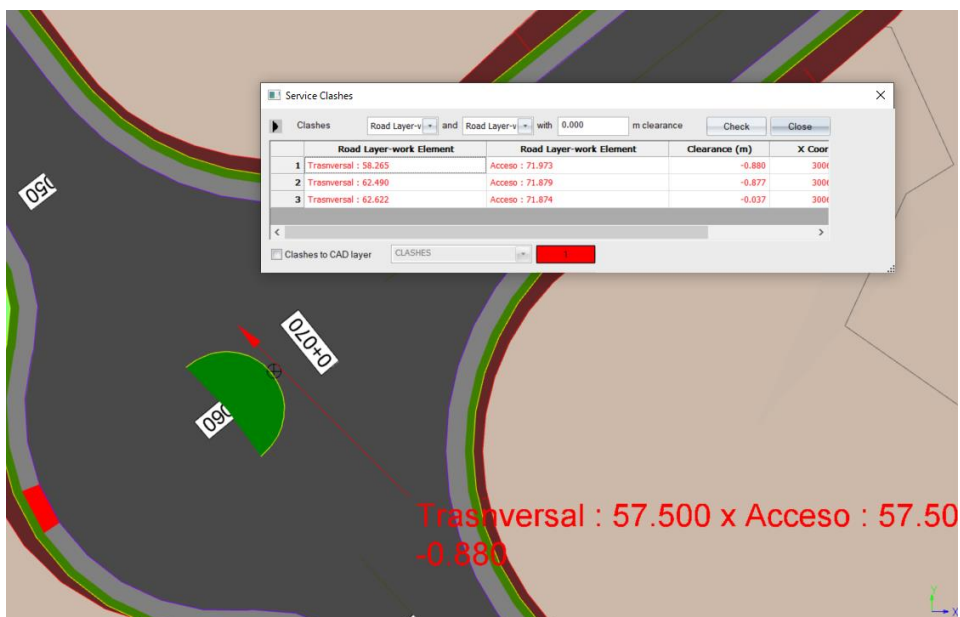


Figura 65. Ventana emergente Service Clashes.

Por esta razón, no se cumple el control de calidad del modelo. De acuerdo con la Figura 21, se debe de regresar a realizar los cambios necesarios. En este caso, el apartado 3.2 no cumplió, por lo que se mueve el elemento de donde se da la interferencia para hacerlo cumplir.

Lista de control calidad de modelos BIM			
Información del proyecto			
Encargado de revisión	Leonardo Lara Muñoz		
Código de Proyecto	PO57		
Nombre del Proyecto	Playa Blanca		
Nombre de Modelo	PO57-AECO-DISEÑO-PlayaBlanca-WIP-01.dr4		
Versión de revisión	1		
Fecha	19/6/2022		
No	Verificaciones	¿Cumple?	Detalles
1.0	Cumplimiento de guía técnica		
1.1	Se utilizó los software establecido en la guía técnica	Sí	
1.2	Modelo presenta las entidades mínimas establecidas	Sí	
1.3	Nombre de entidades correctos (clasificación IFC)	Sí	
1.4	Parámetros de codificación correctos	Sí	
1.5	Parámetros de niveles de desarrollo correctos	Sí	
1.6	Revisión de objetos duplicados	Sí	
1.7	Revisión de conflictos de objetos	Sí	
1.8	Los archivos se cargaron en el CDE adecuado	Sí	
2.0	Revisión visual		
2.1	Los elementos se encuentran sobre la superficie adecuada	Sí	
2.2	No hay irregularidades visibles en el modelo	Sí	
2.3	Se observan todos los elementos necesarios	Sí	
3.0	Verificación de interferencias		
3.1	No existen interferencias con otras especialidades	Sí	
3.2	No existen interferencias con la misma especialidad	No	Existen 3 interferencias entre las calle de acceso y la calle transversal
3.3	Se genera reporte de interferencia en el CDE	Sí	

Figura 66. Lista de control de calidad de modelos de PO57, versión 1.

Luego de hacer las tres modificaciones, se hace la revisión de las interferencias por segunda vez y en esta ocasión no surge ninguna.

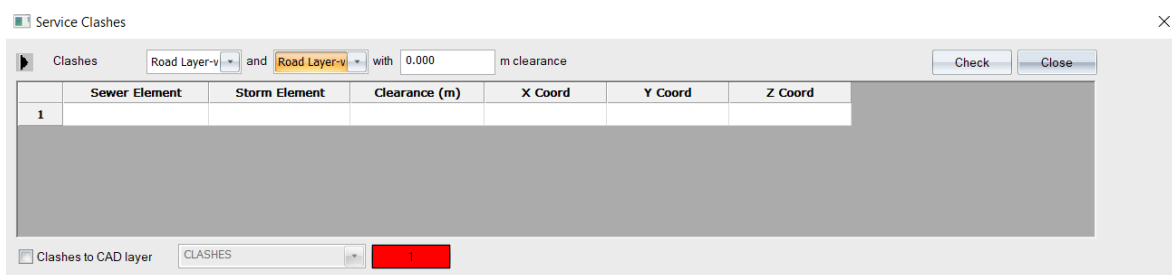


Figura 67. Ventana emergente Service Clashes.

Para la segunda versión de la lista de control de calidad del modelo, todas las categorías cumplen adecuadamente, por lo que el modelo cumple.

Lista de control calidad de modelos BIM			
Información del proyecto			
Encargado de revisión	Leonardo Lara Muñoz		
Código de Proyecto	PO57		
Nombre del Proyecto	Playa Blanca		
Nombre de Modelo	PO57-AECO-DISEÑO-PlayaBlanca-WIP-02.dr4		
Versión de revisión	2		
Fecha	10/6/2022		
No	Verificaciones	¿Cumple?	Detalles
1.0	Cumplimiento de guía técnica		
1.1	Se utilizó los software establecido en la guía técnica	Sí	
1.2	Modelo presenta las entidades mínimas establecidas	Sí	
1.3	Nombre de entidades correctos (clasificación IFC)	Sí	
1.4	Parámetros de codificación correctos	Sí	
1.5	Parámetros de niveles de desarrollo correctos	Sí	
1.6	Revisión de objetos duplicados	Sí	
1.7	Revisión de conflictos de objetos	Sí	
1.8	Los archivos se cargaron en el CDE adecuado	Sí	
2.0	Revisión visual		
2.1	Los elementos se encuentran sobre la superficie adecuada	Sí	
2.2	No hay irregularidades visibles en el modelo	Sí	
2.3	Se observan todos los elementos necesarios	Sí	
3.0	Verificación de interferencias		
3.1	No existen interferencias con otras especialidades	Sí	
3.2	No existen interferencias con la misma especialidad	Sí	
3.3	Se genera reporte de interferencia en el CDE	Sí	

Figura 68. Lista de control de calidad de modelos de PO57, versión 2.

4.1.3.3 Extracción de información

Una vez el modelo pasó por el control de calidad, para la extracción de información del modelo se obtienen las secciones de los alineamientos y las cantidades de volumen de tierra para estos mismo.

Para la extracción de secciones transversales se debe de seguir el siguiente procedimiento:

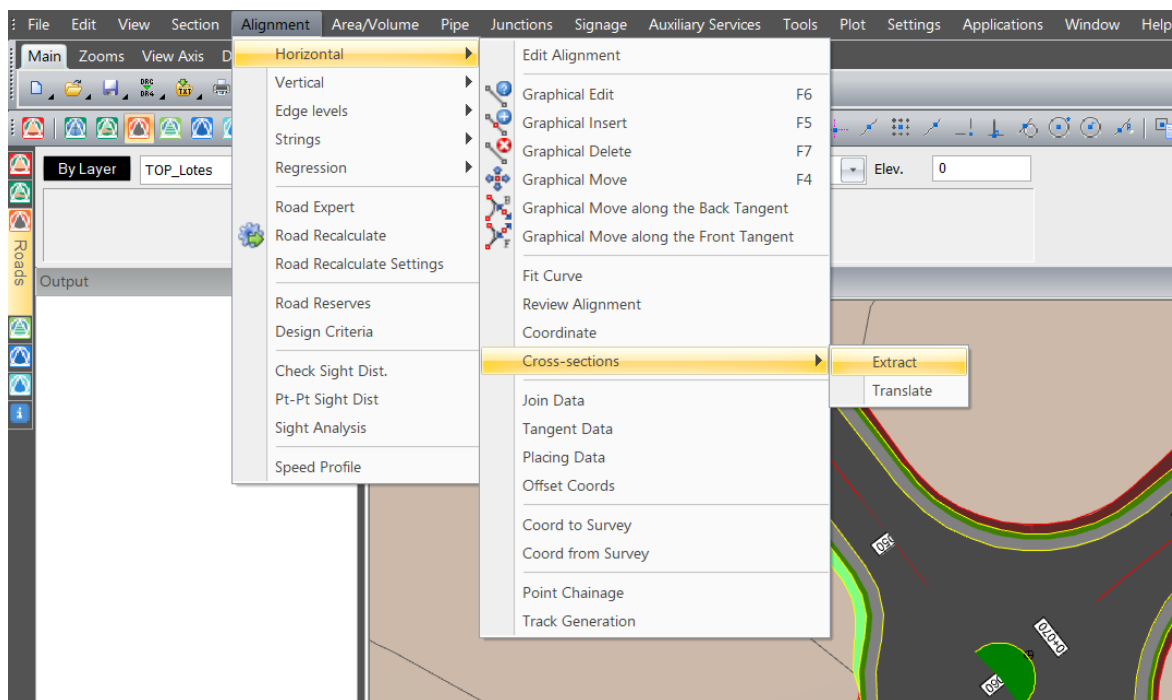


Figura 69. Generación de las secciones transversales.

Al seleccionar esto entonces se debe de definir de que punto a qué punto se desea calcular estas secciones, en este caso va a ser desde el punto inicial hasta el final de cada tramo.

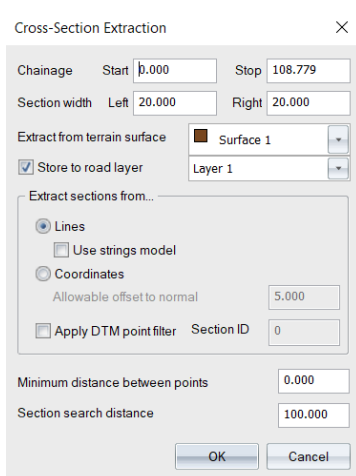


Figura 70. Ventana emergente Cross-Section Extraction.

Una vez Civil Designer calculó estas secciones transversales, se deben de generar gráficamente en *Plot>Generate*. Simplemente se debe seleccionar la plantilla *Cross Section Allpoints* para obtener las secciones gráficas.

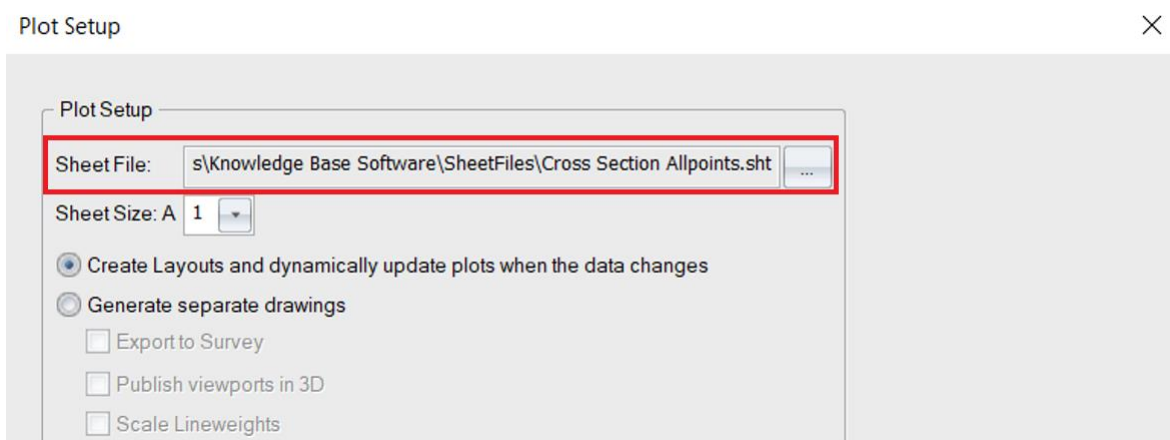


Figura 71. Ventana emergente para secciones transversales.

Luego de esto, se definen las capas que se quiere mostrar y se da Finalizar y automáticamente se generan las secciones en una plantilla, como se muestra en la Figura 72 y la Figura 73.

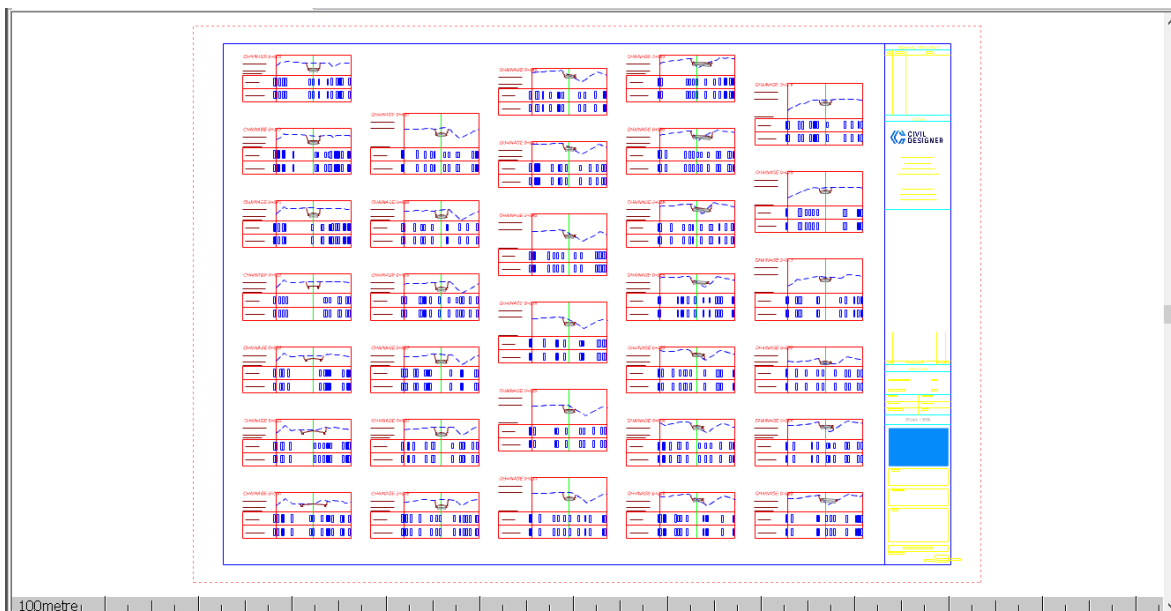


Figura 72. Secciones transversales.

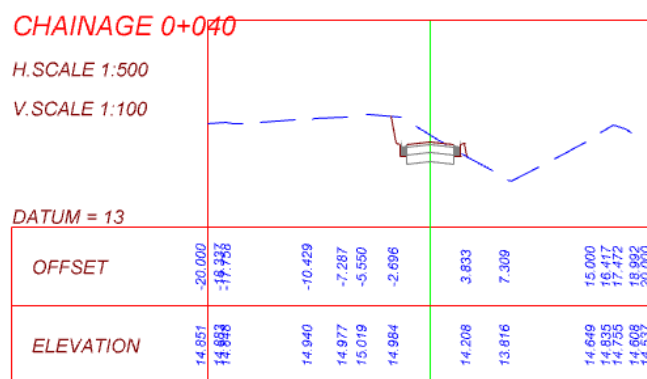


Figura 73. Ejemplo de sección transversal.

Luego de la obtención de las secciones transversales, se puede realizar el cálculo de las cantidades de volumen. Esta se realiza en *Area/Volume>Masshaul Volumen*. Aquí se tienen las distintas opciones para el cálculo; el procedimiento consiste en hacer clic en *Calculate* y de esta forma el programa realiza los cálculos automáticamente. Los resultados se muestran al darle clic en *Results to Output*. Cabe mencionar que Civil Designer permite exportar el archivo de volúmenes en un archivo .txt.

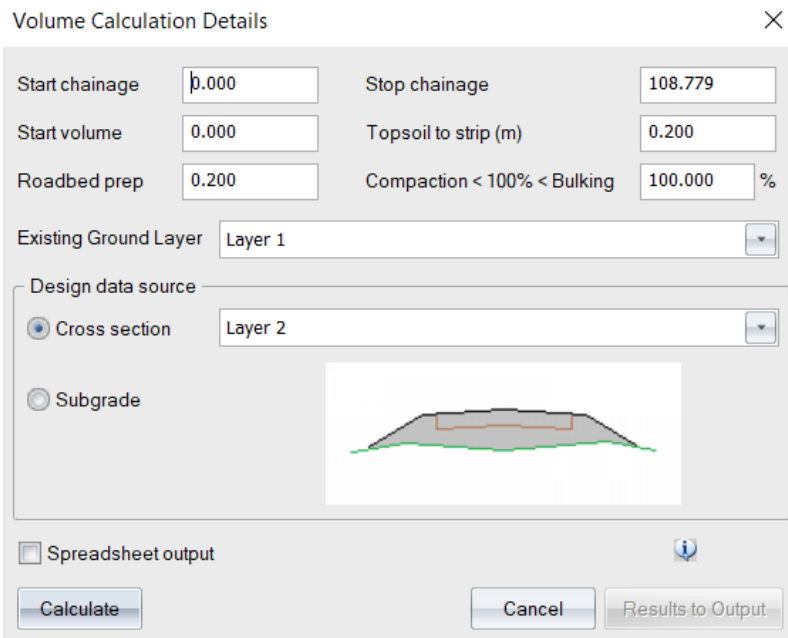


Figura 74. Ventana emergente Volume Calculation Details.

Los resultados se muestran inmediatamente en el *OutPut* y se guardan en la carpeta del proyecto.

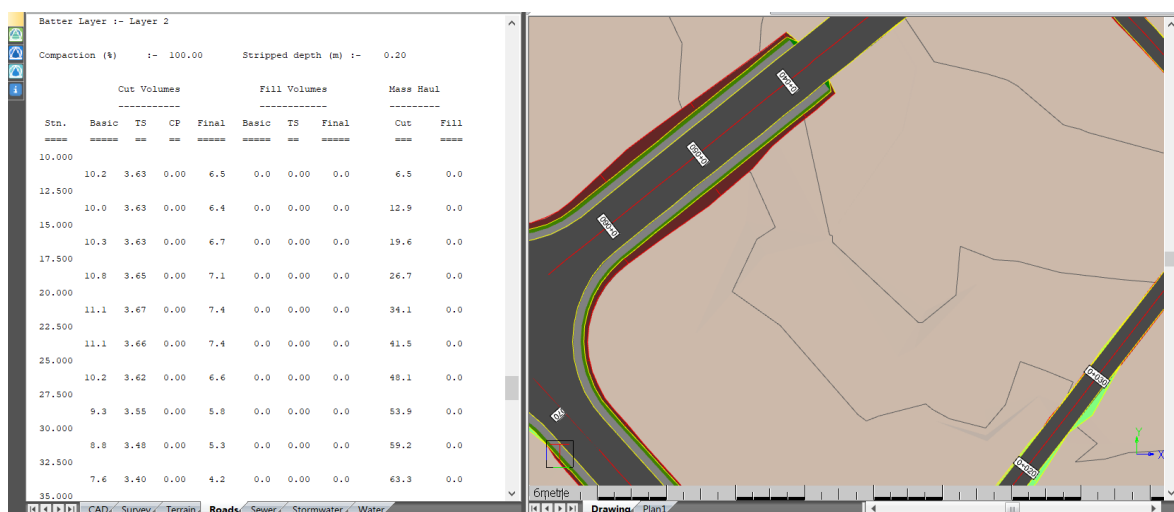


Figura 75. Resultado de cantidades de volúmenes.

Ahora, para la conformación de planos, se genera el plano longitudinal del alineamiento vertical con su respectiva información y también la vista en planta del proyecto.

Para la generación de planos, se debe ir a *Plot>Generate*. En el caso del plano longitudinal del alineamiento vertical, se selecciona el Sheet File: Single Carriageway Longsection.

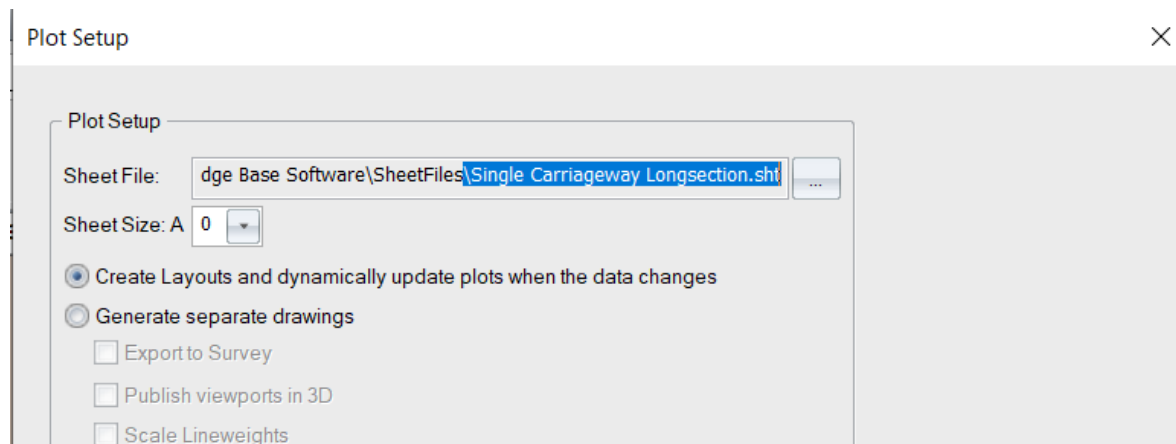


Figura 76. Ventana emergente Plot Setup para plano longitudinal del alineamiento vertical.

En la siguiente ventana, se definen las que se desea incluir en el plano y se genera como se muestra en la siguiente figura:

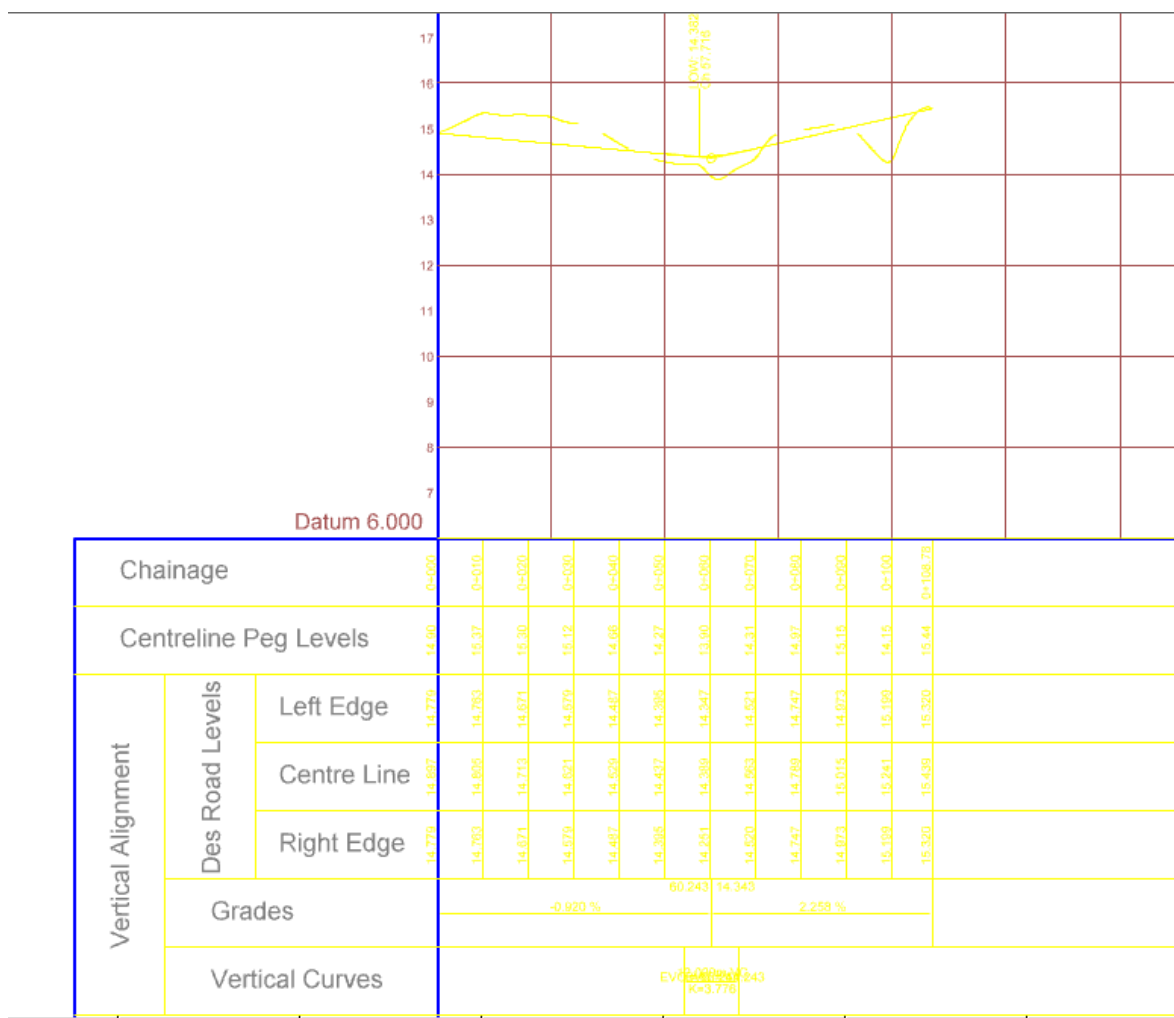


Figura 77. Plano longitudinal del alineamiento vertical.

Para el plano de sitio, se sigue un proceso similar, solo que en el Sheet File se selecciona *Plan*.

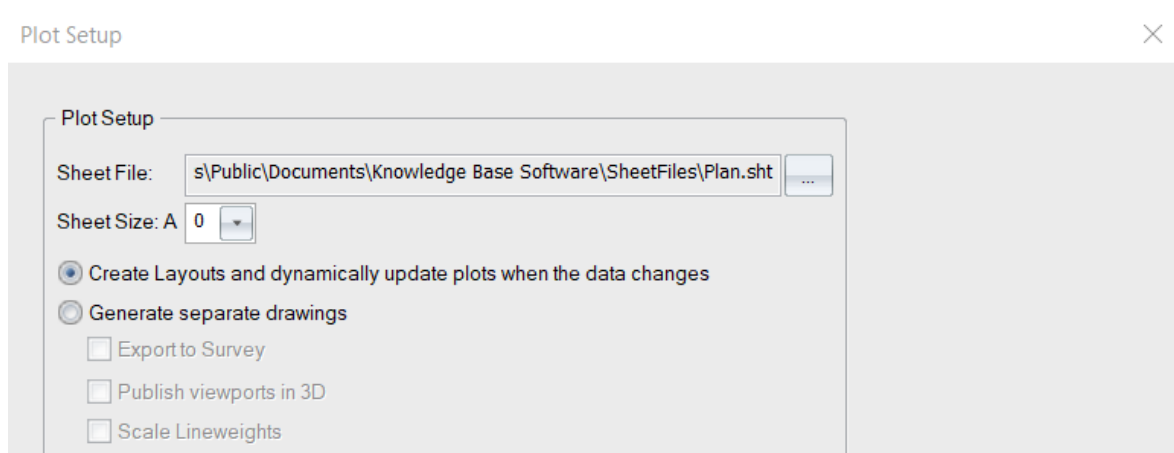


Figura 78. Ventana emergente Plot Setup para plano de sitio.



Figura 79. Plano de sitio.

Para la visualización 3D, Civil Designer permite hacer un renderizado el cual se obtiene haciendo *Click derecho* > *Render View*.

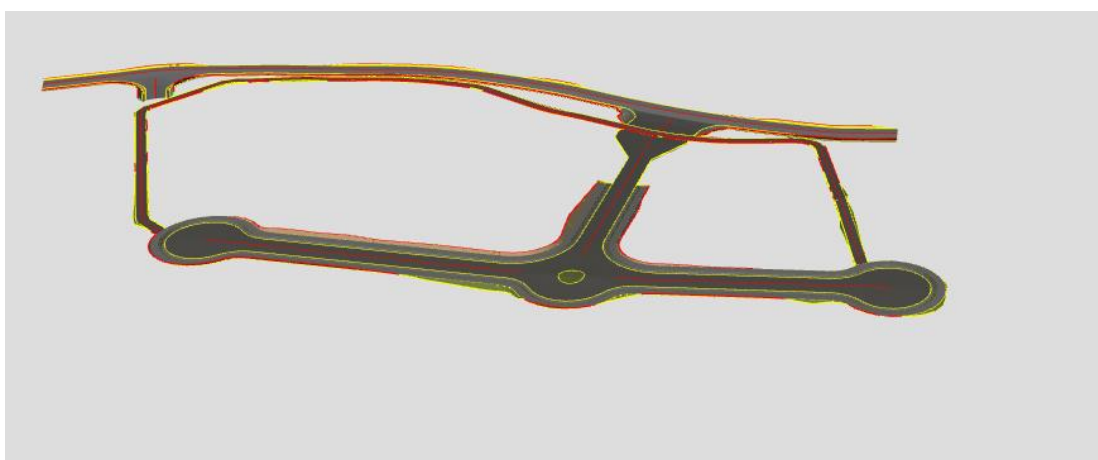


Figura 80. Render view.

Por último, se hace la exportación del modelo a formato IFC; esto se lleva a cabo de la siguiente forma:

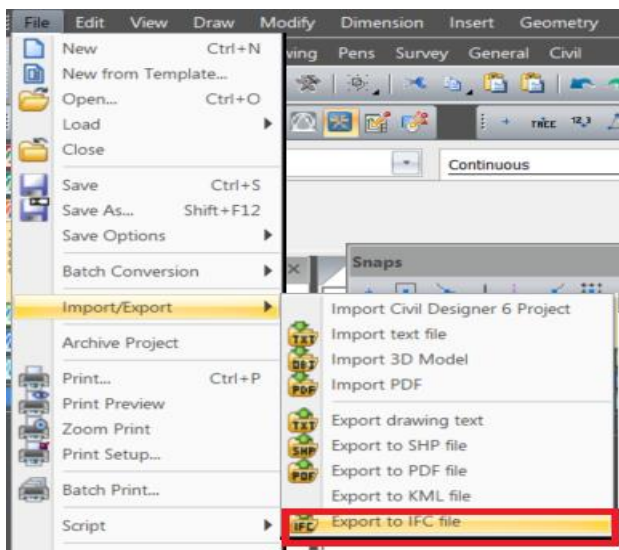


Figura 81. Ventana emergente IFC Export Options.

Aquí es donde se selecciona los ítems de carretera y de terreno que se van a exportar al formato IFC, como se muestra en la Figura 82.

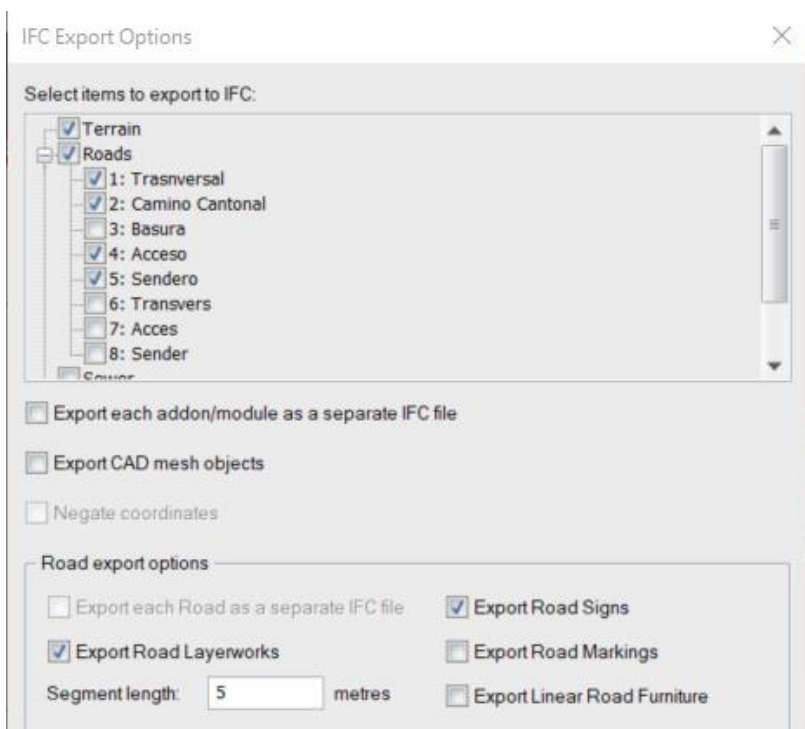


Figura 82. IFC Export Options.

4.1.3.4 Generación del informe técnico

Haciendo uso de Word, se genera el informe de diseño por parte de AECO dirigido a la parte contratante donde presenta los reportes de cantidades de volúmenes y los planos para la visualización del proyecto.

4.1.3.5 Entrega a parte contratante

El modelo se autoriza para publicación. Se debe de hacer entrega del proyecto a la parte contratante para su respectiva aprobación, esto incluye el informe de diseño y el modelo de diseño de infraestructura en forma de planos definitivos. La parte contratante debe de rechazar o aceptar esta entrega.

4.1.3.6 Fin de fase de diseño

La fase de diseño concluiría cuando el proyecto sea aceptado por la parte contratante. Entonces, se archiva el modelo en el CDE y se recogen las lecciones aprendidas del proceso.

4.2 PO60 Calle Valverde

El proyecto de diseño se va a realizar en el camino conocido como Calle Valverde ubicada en Cirrú de Naranjo. Es un proyecto incluido dentro del programa BID cantonal, específicamente en contrato Paquete 7.

Originalmente, el camino se encontraba en condición de lastre, por lo que el proyecto consiste en la colocación de capas de subbase, base y carpeta de concreto asfáltico (MAC). La longitud es de 2,65 km, el ancho de calzada es de 5,5 m, el grosor del MAC es de 6 cm, 25 cm de base granular y 30 cm de subbase. Para el desarrollo de este proyecto piloto, se va a considerar el Tramo 1, ubicado entre las estaciones 0+000 y 0+500.



Figura 83. Ubicación del proyecto PO60.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Construcción

4.2.1.1 Control de calidad del modelo

Para iniciar el proceso, se revisa la calidad del modelo BIM mediante la lista de control de calidad de los modelos BIM.

Lista de control calidad de modelos BIM			
Información del proyecto			
Encargado de revisión	Leonardo Lara Muñoz		
Código de Proyecto	PO60		
Nombre del Proyecto	Calle Valverde		
Nombre de Modelo	PO60-AECO-CONSTRUCCION-CalleValverde-WIP-01.ifc		
Versión de revisión	1		
Fecha	10/6/2022		
No	Verificaciones	¿Cumple?	Detalles
1.0	Cumplimiento de guía técnica		
1.1	Se utilizó los software establecido en la guía técnica	Sí	
1.2	Modelo presenta las entidades mínimas establecidas	Sí	
1.3	Nombre de entidades correctos (clasificación IFC)	Sí	
1.4	Parámetros de codificación correctos	Sí	
1.5	Parámetros de niveles de desarrollo correctos	Sí	
1.6	Revisión de objetos duplicados	Sí	
1.7	Revisión de conflictos de objetos	Sí	
1.8	Los archivos se cargaron en el CDE adecuado	Sí	
2.0	Revisión visual		
2.1	Los elementos se encuentran sobre la superficie adecuada	Sí	
2.2	No hay irregularidades visibles en el modelo	Sí	
2.3	Se observan todos los elementos necesarios	Sí	
3.0	Verificación de interferencias		
3.1	No existen interferencias con otras especialidades	Sí	
3.2	No existen interferencias con la misma especialidad	Sí	
3.3	Se genera reporte de interferencia en el CDE	Sí	

Figura 84. Lista de control de calidad de modelos de PO60, versión 1.

4.2.1.2 Crear carpetas CDE

Se crean las carpetas de Control de modificaciones en Trabajo en Progreso y los de control de avance en la de Publicado, todas estas en el CDE del proyecto. Aquí se colocarán los reportes generados en esta etapa.

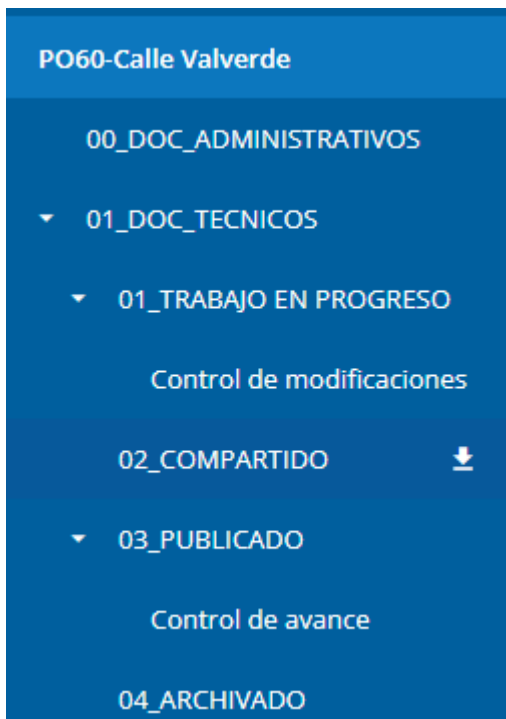


Figura 85. Organización del CDE, PO60.

4.2.1.3 Edición IFC

En usBIM.viewer+ se abre el archivo PO60-AECO-CONSTRUCCION-CalleValverde-WIP-01.ifc. Se edita el modelo IFC en la pestaña marcada en la siguiente figura:



Figura 86. Edit IFC.

Se seleccionó cada una de las capas: Base, Subbase y MAC, donde a cada una de estas se le va a editar las propiedades. Se agregan las categorías de control de calidad y control de avance. A cada una de estas, se le coloca el hipervínculo que dirige a sus respectivas carpetas en el CDE. Estas serán utilizadas para almacenar los reportes que se harán durante el proyecto.

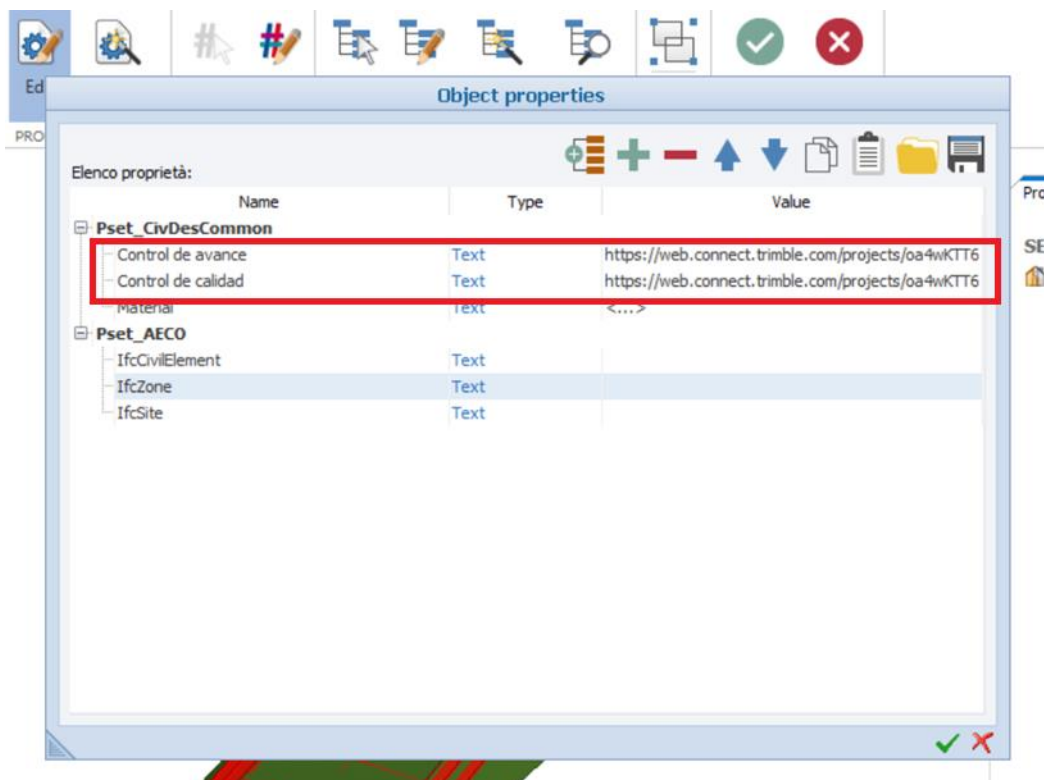


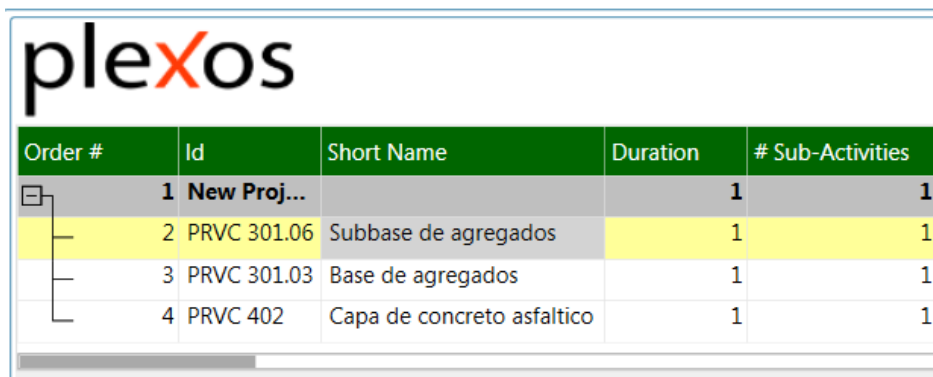
Figura 87. Ventana emergente Object properties.

4.2.1.4 Control de avance

El control de avance va a permite darle seguimiento al proyecto que tiene la obra. Para ello, primero se importa al archivo PO60-AECO-CONSTRUCCION-CalleValverde-TIP-01.ifc a Plexos Project. Este control se le va a dar a las 3 capas de la estructura de pavimentos presentes en el proyecto. Se establece el domingo 1 de mayo de 2022 como fecha de inicio.

4.2.1.4.1 Asignación de parámetros

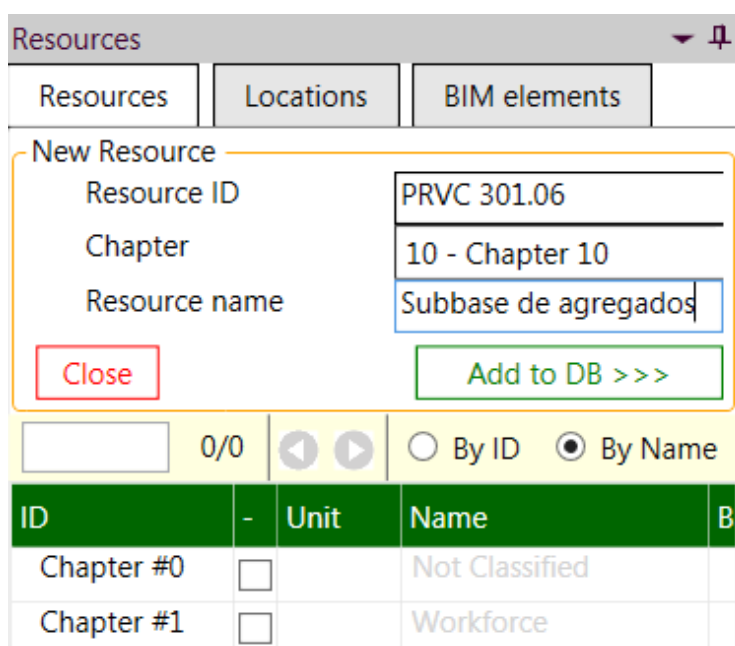
Es necesario, primero, crear las actividades a las que se les va a dar seguimiento. En este caso, se crea una actividad para cada una de las capas de la estructura de pavimento, como se muestra a continuación:



Order #	Id	Short Name	Duration	# Sub-Activities
1	New Proj...		1	1
2	PRVC 301.06	Subbase de agregados	1	1
3	PRVC 301.03	Base de agregados	1	1
4	PRVC 402	Capa de concreto asfaltico	1	1

Figura 88. Nombre de actividades.

Ahora, para las mismas actividades se deben de agregar los recursos a la base de datos *Click derecho>New Resource*.



Resources

Resources | Locations | BIM elements

New Resource

Resource ID: PRVC 301.06

Chapter: 10 - Chapter 10

Resource name: Subbase de agregados

Close | Add to DB >>>

0/0 | By ID | By Name

ID	-	Unit	Name	B
Chapter #0	<input type="checkbox"/>		Not Classified	
Chapter #1	<input type="checkbox"/>		Workforce	

Figura 89. Creación de recursos.

Se asocia los recursos generados para el proyecto a sus respectivas actividades.

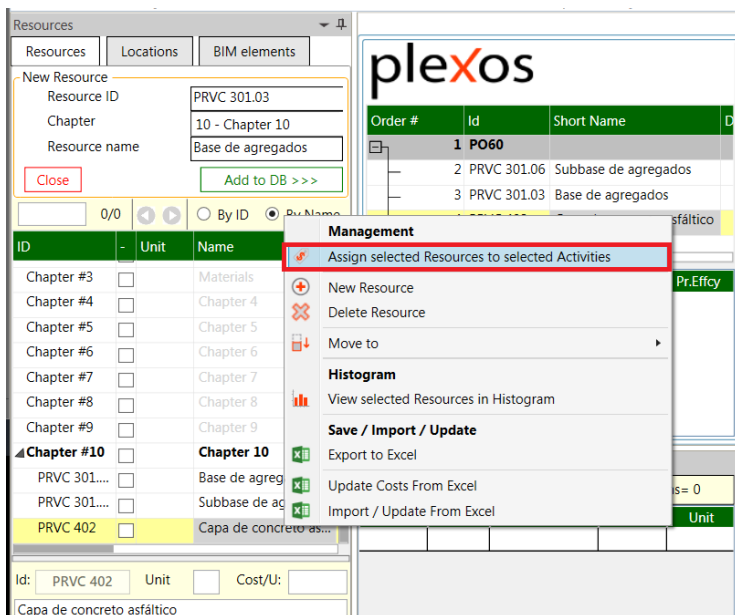


Figura 90. Asignación de recursos a actividades.

De forma similar se le asignan los elementos BIM a cada una de las actividades esto con el fin de que se asocien las cantidades con las actividades. Aquí es donde Plexos Project relaciona las cantidades que vienen en el modelo ifc con las actividades.

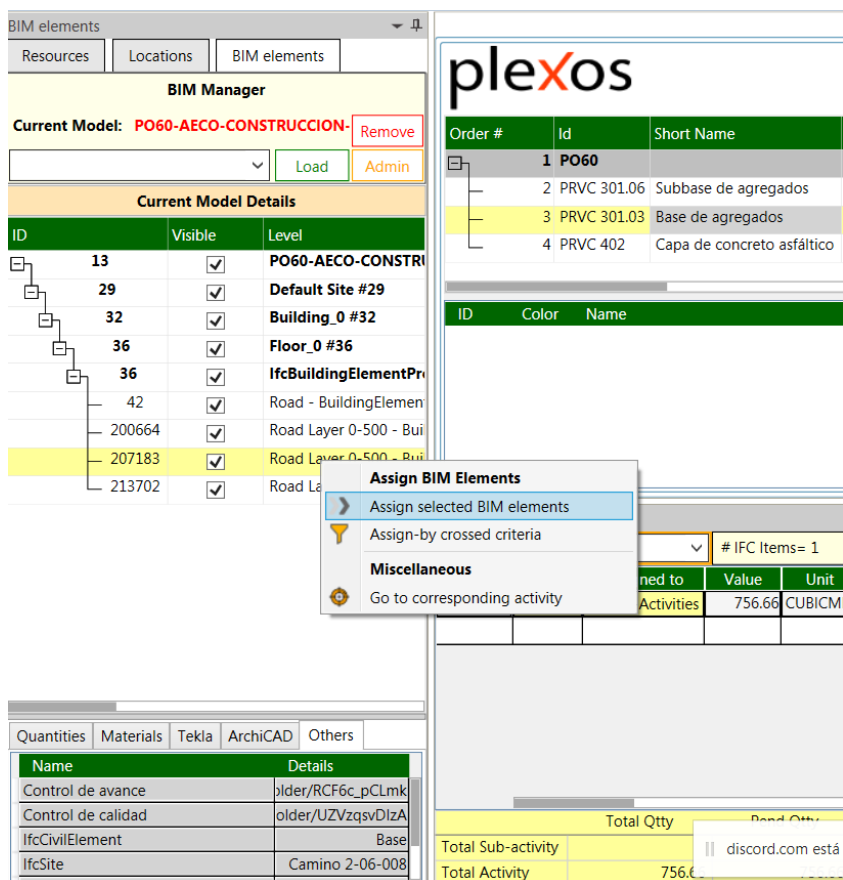


Figura 91. Asignación de elementos BIM a actividades.

Ahora, para definir las duraciones, se selecciona cada una de las actividades y se le da *CRTL+R*, esto abre la venta para asignar el rendimiento de un día. Se establecen los rendimientos de la Tabla 7. Una vez asignados los rendimientos para una actividad, el software recomienda la cantidad de días a establecer para esta cantidad; de ese modo, para el caso de la subbase se establecen 4 días

Tabla 7. Rendimientos de colocación de la estructura de pavimentos.

Estructura	Rendimiento colocación (m ³ /día)
Subbase	300
Base	300
MAC	100

Fuente: AECO.

Adjust Activity Resources

Resource parameters for: **PRVC 301.06**

Subbase de agregados

No description.

ID	Unit	Resource name	Efficiency	Consumption	Availability	Required	Hr/Day
PRVC 301.06	m3	Subbase de agregados	1.000	1.000	300.00	1,035.79	NA

Colors Legend

- Overconsumption at the activity level
- Overconsumption at the project level

Quantity: **1,035.79**

Current duration:

Proposed duration:

Activity id : PRVC 301.06

Figura 92. Ventana emergente Adjust Activity resource.

Se definen las duraciones en días previstas para cada una de las actividades, como se muestra a continuación:

Order #	Id	Short Name	Duration
1	PO60		4
2	PRVC 301.06	Subbase de agregados	4
3	PRVC 301.03	Base de agregados	3
4	PRVC 402	Capa de concreto asfáltico	2

Figura 93. Duraciones previstas para cada actividad.

Para establecer el orden en el que se va a llevar a cabo la colocación de las capas, se establece el orden de las conexiones en el diagrama de Gantt. Estas conexiones se establecieron de fin a principio.

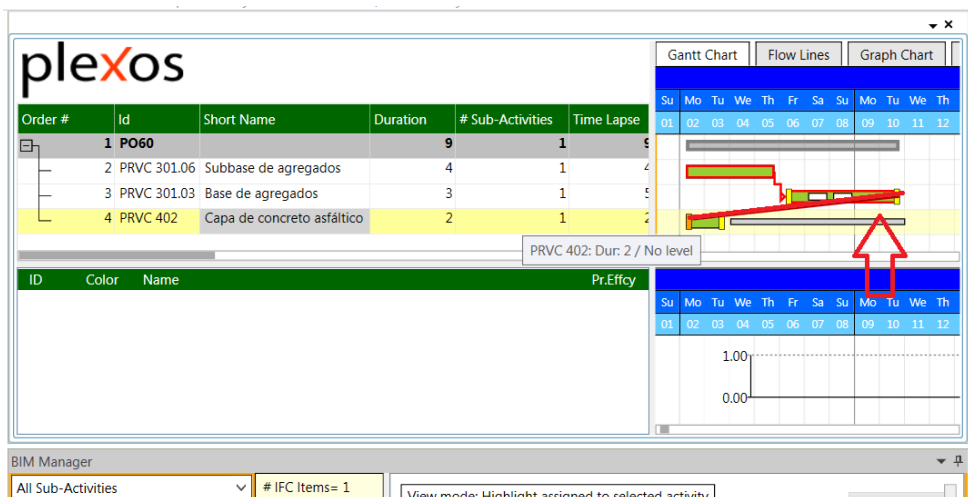


Figura 94. Definición conexiones del diagrama de Gantt.

Se establece la línea base del programa en *Control>Add Baseline*. Esta permite tener un punto de referencia con el cual comparar las actividades que realmente se llevaron a cabo.

4.2.1.4.2 Control de avance

Ahora sí, ya teniendo definida la línea base en Plexos Project, se puede ir a hacer el control del avance de la obra con respecto a los datos tomados en campo. Los cortes para el control se realizaron de forma semanal cada domingo hasta que se concluyera el tramo de este proyecto.

- Semana 1

Para la semana uno, se tiene el siguiente avance:

Short Name	Duration	% Executed
	15	
Subbase de agregados	6	80.00%
Base de agregados	3	0.00%
Capa de concreto asfáltico	2	0.00%

Figura 95. Avance del proyecto para semana 1.

Se establece el control de avance para la semana 1 en *Control>Add Control*. Esto se observa en la siguiente figura:

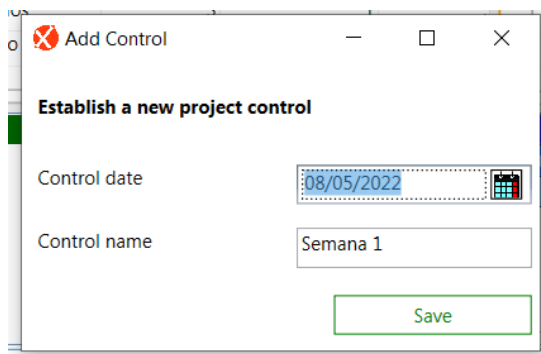


Figura 96. Ventana emergente Add Control.

El control de avance para la semana 1 se observa a continuación, en donde se observa de forma gráfica el avance que se tiene en la Figura 95.

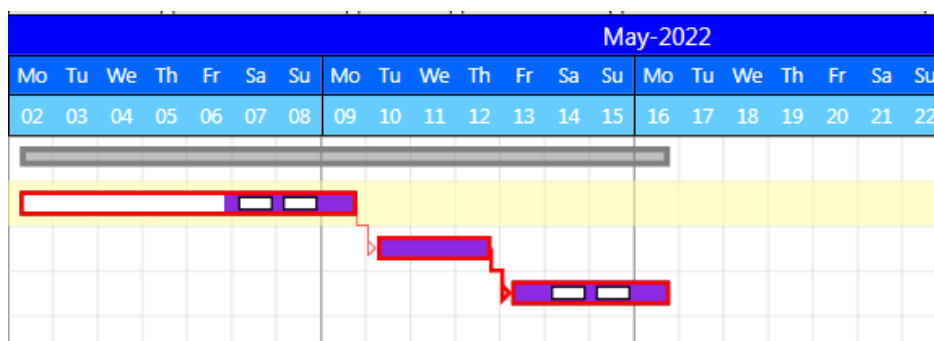


Figura 97. Diagrama de Gantt para corte semana 1.

El control de avance se exporta a un archivo de Excel, con el nombre PO60-AECO-CONSTRUCCION-CalleValverde ControlAvance-P-01.xlsx. Este se coloca en la carpeta de control de avance establecido en el PEB, como se aprecia en la Figura 99. El hipervínculo creado anteriormente, que está almacenado dentro del archivo ifc, permite un acceso rápido a la carpeta. El archivo se exporta de la siguiente forma:

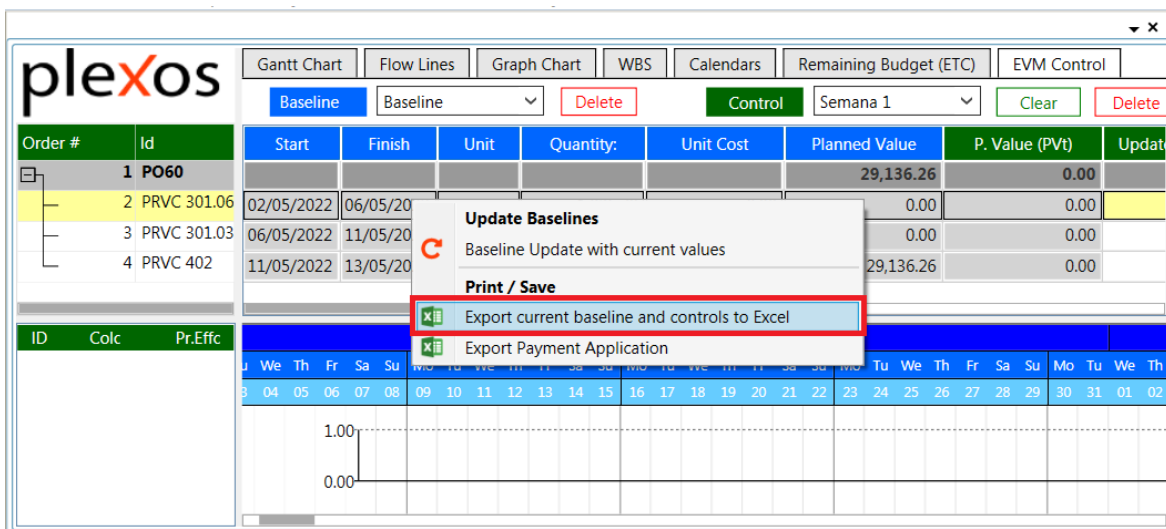


Figura 98. Exportación del control de avance semana 1 a excel.

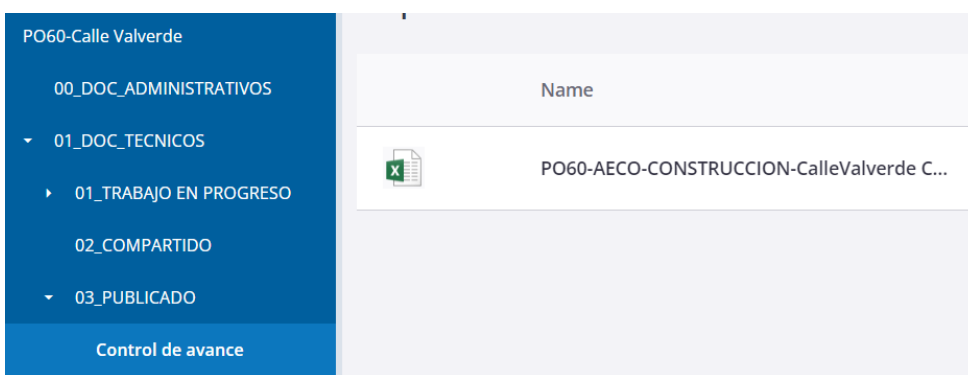


Figura 99. Control de avance semana 1 en el CDE.

- Semana 2

Para las demás semanas se sigue el mismo proceso de la semana 1, pero agregando los datos actualizados.

Short Name	Duration	% Executed
	16	
Subbase de agregados	7	100.00%
Base de agregados	3	100.00%
Capa de concreto asfáltico	2	0.00%

Figura 100. Avance del proyecto para semana 2.

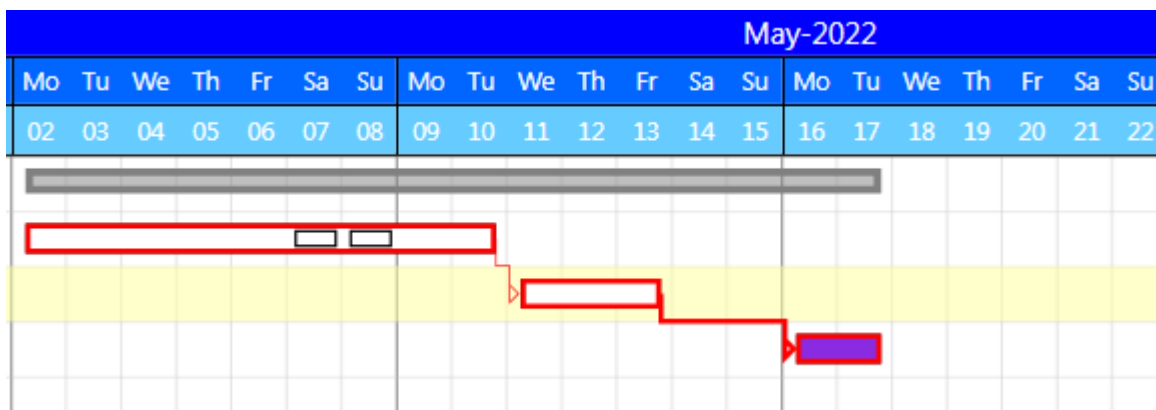


Figura 101. Diagrama de Gantt para corte semana 1.

- Semana 3

Short Name	Duration	% Executed
	16	
Subbase de agregados	7	100.00%
Base de agregados	3	100.00%
Capa de concreto asfáltico	2	100.00%

Figura 102. Avance del proyecto para semana 3.

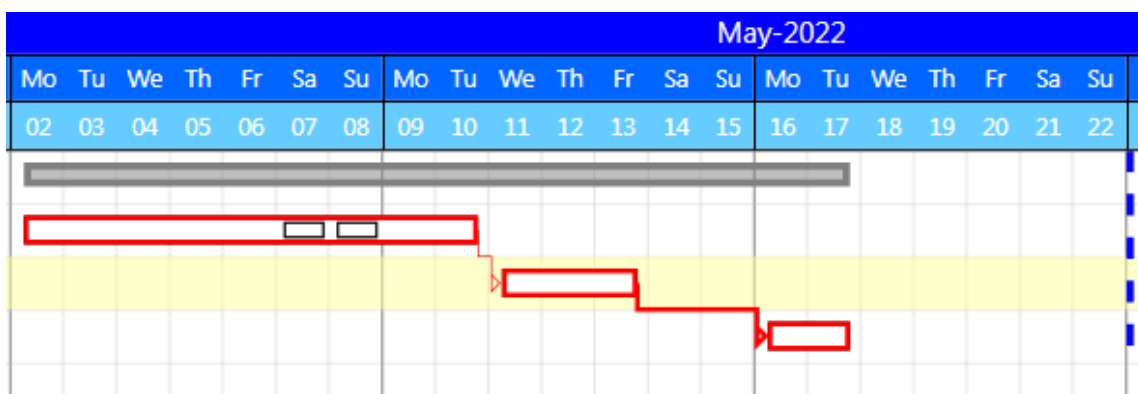


Figura 103. Diagrama de Gantt para corte semana 3.

Para cada semana que se haga control, este se exporta con el mismo nombre que para la semana 1 para que así automáticamente se actualicen los datos en el CDE. Plexos Project genera cada uno de los controles ya elaborados en cada excel, por lo que se mantiene la trazabilidad del avance del proyecto. Este archivo se debe de subir al CDE como se muestra a continuación:

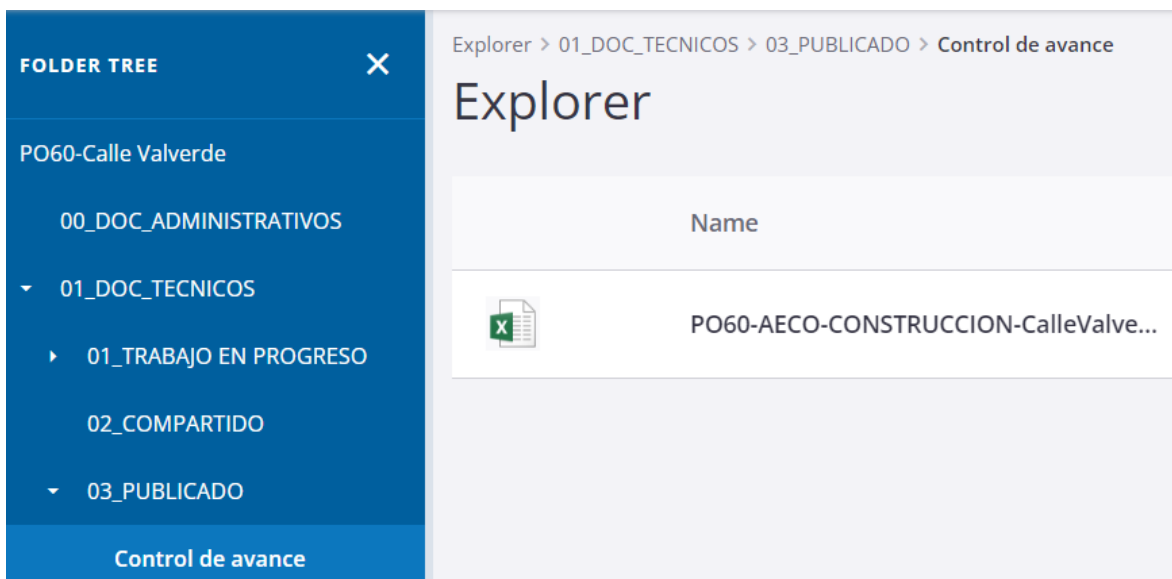


Figura 104. Ubicación de los controles de avance en el CDE.

4.2.1.5 Control de modificaciones

El control de modificaciones va a permitir aplicar los cambios hechos en la realidad a los modelos BIM y de esta forma poder obtener un modelo As Built; o sea, un modelo que refleje lo que realmente se llevó a cabo en la construcción.

Para este tramo 1, se identificó el cambio de un radio de giro en el PI-4 ubicado en el estacionamiento 0+300 del proyecto, en donde el radio de giro propuesto originalmente es de 50 m; sin embargo, al hacer la medición en sitio una vez construido este, se determina que quedó de 57 m.

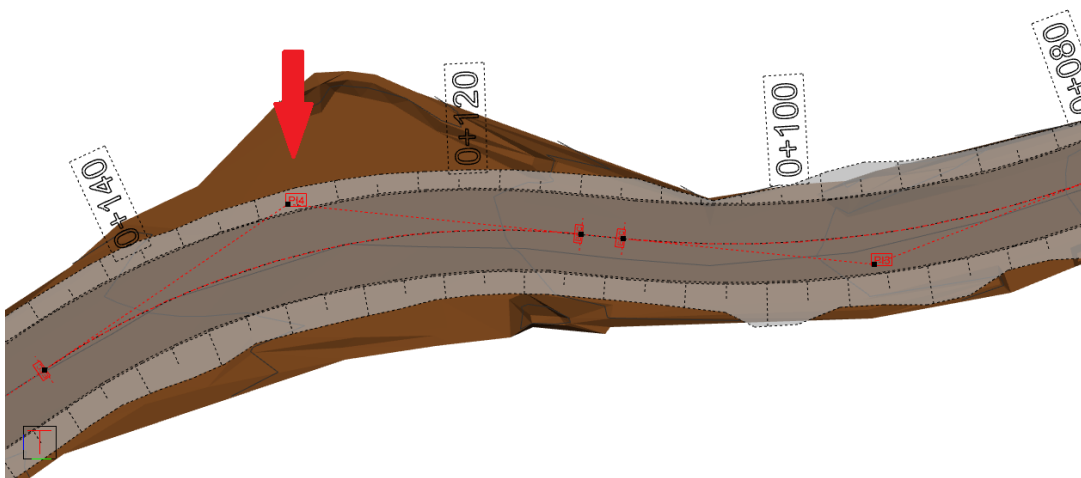


Figura 105. Curva en estacionamiento 0+300.

Para ello, se debe de cargar el modelo del proyecto a Civil Designer para hacer la modificación correspondiente. En el módulo de *Roads*, se selecciona la pestaña de *Graphical PI Edits* y se selecciona el PI a editar, con lo cual surge la ventana para editar la información del punto de intersección. Se coloca el radio de giro real y se le da a *OK*.

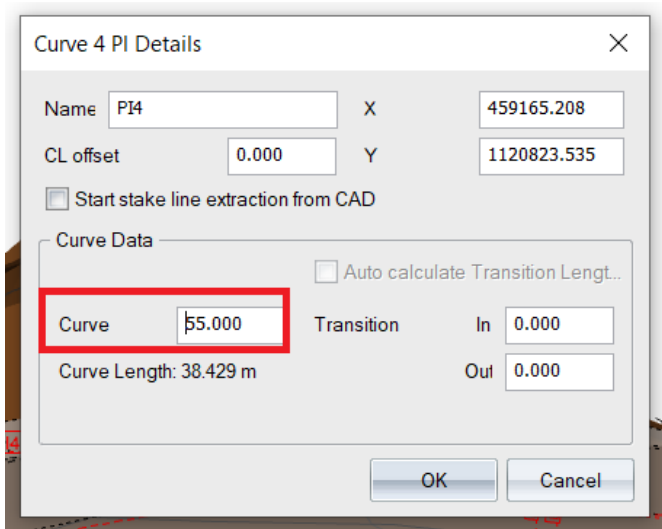


Figura 106. Ventana emergente Curve 4 PI Details.

Ahora, es necesario recalcular la vía para reflejar los cambios en el modelo. Para ello, se debe de ir a la pestaña de *Recalculate the active road*. Automáticamente Civil Designer genera el nuevo modelo actualizado, el cual ya sería un modelo *As Built*. Este se muestra a continuación:

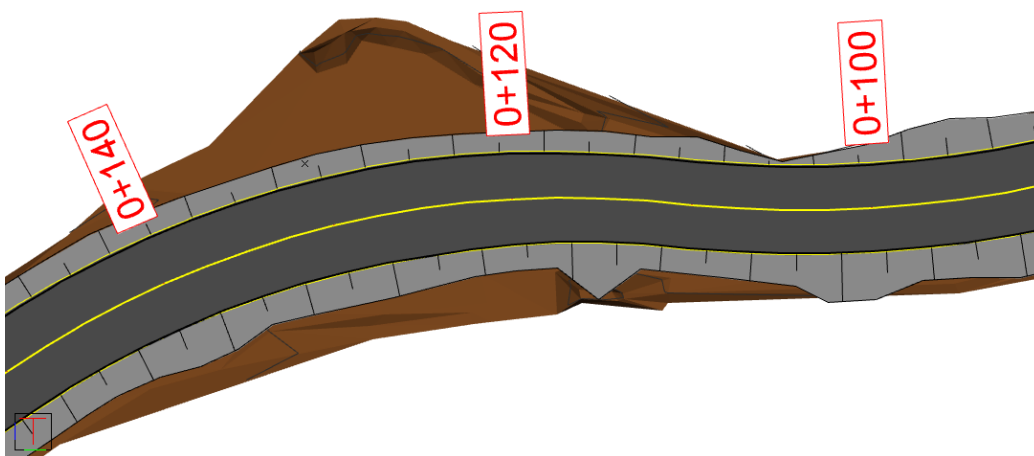


Figura 107. Modelo As Built – Curva PI4.

Una vez terminada la edición, se exporta el modelo al CDE en la carpeta de Control de modificaciones.

4.2.1.6 Generación de reporte definitivo

Haciendo uso de Word, se genera el informe de diseño por parte de AECO dirigido a la parte contratante, donde presenta los reportes de control de seguimiento y control de modificaciones hechas en el proyecto.

4.2.1.7 Entrega a parte contratante

El modelo se autoriza para publicación. Se debe de hacer entrega del proyecto a la parte contratante; esto incluye el informe de construcción y los reportes de modificaciones y de seguimiento.

4.2.1.8 Fin de fase de diseño

Una vez entregado el proyecto a la parte contratante, entonces ese sería el final de la fase de construcción. Se archiva el modelo en el CDE y se recogen las lecciones aprendidas del proceso.

Apéndices

1 Diagnóstico de AECO

1.1 Descripción de la empresa

La empresa costarricense AECO, 3-102-806697 SRL, nace al identificar la necesidad y la falencia de servicios complementarios a los profesionales, las empresas y los desarrolladores del sector de construcción. Esta empresa se apoya en tecnología de vanguardia para brindar soluciones a las necesidades de la industria AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operation).

AECO no ha logrado implementar la metodología BIM en el desarrollo de sus proyectos de obras lineales, a causa de la faltante de una guía técnica de implementación de esta metodología en dicho tipo de proyectos. En la actualidad, la empresa debe de hacer un modelo con distinto formato para cada proyecto que realice, lo cual genera que se den atrasos dado que la información no se encuentra parametrizada. Al existir estos atrasos en tiempo y al tener que invertir recursos en darles solución, la productividad de la empresa no es la óptima y esto va generando que sus ingresos sean menores y además genera que la empresa sea menos competitiva frente a otras que sí implementa BIM en sus proyectos.

Tabla 8. Presentación y antecedentes de AECO

Servicios que ofrece	Servicios de diseño, inspección de obras, gerencia de proyectos, y estudios especializados, apoyados en metodologías de trabajo bajo protocolos BIM, generación de nubes de puntos mediante sistemas líder; análisis de factibilidad técnico-construccionista y de constructibilidad, así como cuantificaciones y estimaciones de tiempos de proyectos
Proyectos realizados	Servicios de apoyo a proyectos de diseños carreteras en temas geométricos e hidráulicos, en proyectos como accesos a puentes en la Quebrada Cañas y Quebrada Mandarina. Informes evaluativos de situaciones hidráulicas para el proyecto de ampliación de la Ruta Nacional 1, Limonal - Canas. Diseños de infraestructura de sistema de agua potable en la ampliación del ramal en la Calle Bosque del Niño. Diseños arquitectónicos y estructurales de casas y edificios. Diseños geométricos, análisis hidrológicos y diseños estructurales de alcantarillas de cuadro en la Ruta Nacional 901.
Historial de aplicación BIM	La empresa ha intentado implementarlo, pero solo se ha podido aplicar en algunos proyectos donde los participantes son los socios que tienen mayor conocimiento en BIM.

Retos de implementación BIM	La aplicación estricta de la metodología (se emplea lineamientos para el desarrollo de proyectos, pero no se llevan a cabo por todos los colaboradores o se implementan irregularmente). Tampoco se ha establecido el flujo de trabajo con los diferentes softwares a utilizar para la implementación de la metodología (se tiene una idea de los softwares a implementar, pero no se ha “aterizado”). La falta de la definición del libro de estilo también ha sido un reto para trabajar de la misma manera en cualquier proyecto.
-----------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

1.2 Equipo de trabajo

Los recursos humanos son una parte fundamental de AECO. La conformación del equipo humano permite saber el estado de conocimiento que se tiene en cuanto a la implementación de BIM dentro de la organización. Además, permite identificar las faltantes que se posee como equipo. Por lo tanto, es de suma importancia que este equipo trabaje de forma ordenada y coordinada.

Tabla 9. Composición del Equipo Humano.

Personal disponible	Actualmente AECO posee tres colaboradores a tiempo completo; también tiene otros cinco socios, de los cuales dos trabajan a tiempo completo, dos a tiempo compartido y uno está disponible cuando se requiere.
Conocimiento del personal	Los colaboradores no poseen mayor conocimiento en BIM. Solo un socio sí tiene un alto conocimiento de la metodología, al contar con dos maestrías en esta materia; y otro socio tiene conocimiento práctico por autoaprendizaje.
Asignación de roles BIM	Se tiene roles no formales, que a veces no están claros, y las responsabilidades no quedan claras. Se requiere definir los roles claramente.

Fuente: Elaboración propia.

1.3 Software

Existe en el mercado diversas opciones de software específicamente para modelar, documentar, analizar y coordinar haciendo uso de la metodología BIM. Un aspecto de suma importancia acerca de los softwares BIM es la interoperabilidad que tienen, dado que estos programas son capaces de interactuar con otros softwares (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).

En la ejecución de los procesos actuales, AECO hace uso de los siguientes softwares:

Tabla 10. Uso de softwares utilizados actualmente por AECO.

Software	Uso dado
Civil Designer	Diseño y conceptualización de especialidades
Civil 3D	Diseño y conceptualización de especialidades
SketchUp	Modelado de elementos estructurales, pozos tragantes, bastiones, válvulas, etc. Conceptualización de proyectos
Plexos	Programación y presupuesto
Excel	Elaboración de hojas de cálculo para hacer memorias Apoyo de diseño Cuantificaciones Base de datos
Word	Generación de reportes e informes

Fuente: Elaboración propia.

1.4 Hardware

El hardware con el que cuenta AECO va a ser uno de los factores que limite la velocidad en la que se pueden realizar ciertos procesos. El poseer hardware de calidad y que sea acorde a las necesidades que tiene la empresa permitiría un aumento de productividad.

En la actualidad, AECO tiene a su disposición los siguientes equipos para la ejecución de sus proyectos. Los socios poseen equipos de cómputo capaces de correr adecuadamente los distintos softwares BIM que la empresa utiliza. Además, para los trabajos de topografía, posee estaciones totales y un dron Phantom 4 para levantamientos fotométricos.

1.5 Gestión de comunicaciones

AECO no cuenta con ningún sistema de gestión de comunicaciones formal. Toda comunicación se da por cuatro medios: WhatsApp, llamadas telefónicas, videollamadas y correo electrónico. La comunicación se realiza de forma directa entre las personas que necesitan coordinar algún aspecto de algún proyecto. Esto dificulta darles trazabilidad a las comunicaciones, provocando que se puedan perder archivos, se omitan ciertos detalles y una comunicación ineficiente en general.

Tabla 11. Métodos de comunicación actual de AECO

Medio de comunicación	Uso actual
WhatsApp	La aplicación de mensajería WhatsApp se utiliza tanto para la comunicación formal como informal entre los miembros de la empresa y con terceros. Además de enviar mensajes de texto, también se aprovecha para enviar fotografías, audios e incluso archivos relacionados con proyectos de forma rápida.
Llamadas telefónicas	Las llamadas telefónicas normalmente se usan para establecer una comunicación inmediata. Normalmente se utiliza para aclarar dudas o comunicar asuntos importantes entre los miembros de la empresa y con terceros.
Videollamada	Las videollamadas se llevan a cabo por medio de distintas aplicaciones como Zoom, Google Meets y Microsoft Teams. Este medio se utiliza para realizar reuniones remotas entre miembros de la empresa y con terceros.
Correo electrónico	El correo electrónico se utiliza como un medio de comunicación de aspecto más formal. A través de este, se envían documentos y archivos de los cuales es necesario tener trazabilidad. Cabe mencionar que los miembros de la empresa poseen correos electrónicos empresariales.

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Gestión de información

Respecto al uso de gestión integral de documentos (CDE), actualmente no se tiene un sistema totalmente definido. Se trabaja con algunas herramientas y directrices, pero no de manera formal y aplicable en todos los proyectos y documentos. Para almacenar y compartir los documentos de forma interna, se usan nubes de almacenamiento, como es el caso de Pcloud; no obstante, para la comunicación externa se usa principalmente correo electrónico para el envío de documentos y archivos.

2 Conceptos

2.1 Nivel de madurez

Los niveles de adopción BIM son usados para conocer en qué punto se encuentran las empresas y hacia qué nivel de adopción de BIM desean dirigirse (Rodríguez, 2019). Estos le permiten a la empresa medir sus capacidades en cuanto a su conocimiento e implementación de la metodología BIM. En la Figura 108 se observan los niveles de adopción de BIM que existen en la actualidad.

En el nivel 0 de adopción de BIM, no existe trabajo colaborativo y la información es generada y distribuida por lo general en 2D CAD. Luego, en el nivel 1, se incorpora el uso de 3D CAD sin la colaboración interdisciplinaria pero sí con los permisos que tramitan con 2D CAD por medio del uso de archivos digitales. Posteriormente, se tiene el nivel 2, para el cual se usan tipos de archivos que permiten la coordinación de distintas partes del diseño. Por último, el nivel 3 desarrolla un solo modelo colaborativo que integra todas las disciplinas en el ciclo de vida del proyecto y que es almacenado en un servidor en línea (Carmona-Zúñiga, 2019)

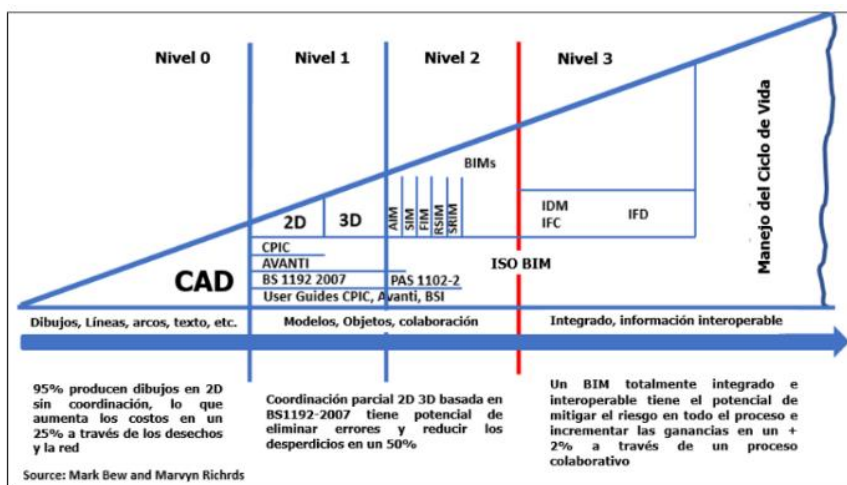


Figura 108. Niveles de adopción de BIM.

Fuente: (Carmona-Zúñiga, 2019) adaptado de BIMThinkSpace (2015)

2.2 Roles BIM

Para poder llevar a cabo una correcta gestión de un proyecto BIM se recomienda definir los roles y las responsabilidades del equipo de trabajo que va a desarrollar el modelo BIM. Un individuo puede asumir uno o más roles, los cuales pueden ir cambiando. Cabe agregar que estos roles son funciones y responsabilidades de cada uno dentro de un proyecto, y no cargos específicos en la empresa (Vargas, 2020).

La Cámara Costarricense de la Construcción (2018) menciona los siguientes roles más importantes dentro de una organización que implementa BIM:

- **Modelador BIM:** Su principal función es la creación de modelos según los diseños, las funciones y las especificaciones de los distintos elementos constructivos. Debe asegurarse de que se le dé el uso adecuado de las herramientas de los programas de modelado y que la información sea documentada y coordinada para su correcta interpretación.
- **Documentadores BIM:** Estos son quienes se encargan de: realizar la producción gráfica de los modelos, crear los planos de construcción, generar la documentación de cuantificación y generar presupuestos.
- **Coordinador BIM:** Es quien se encarga de coordinar el trabajo dentro de la misma disciplina para que se cumplan los requerimientos que se establecen en los estándares del proyecto. Realiza revisión de calidad del modelo BIM y su compatibilidad con las demás disciplinas del proyecto.
- **Gerente BIM:** También conocido como BIM Manager, es quien administra la implementación de BIM en los proyectos. Establece los lineamientos del PEB de los proyectos, establece los alcances, los objetivos, los roles, los LODs y el software que se utilizará. Da el seguimiento correspondiente a todos los procesos BIM en los proyectos.
- **Director BIM:** Este es quien se encarga de liderar la implementación de BIM y de controlar las condiciones para el desarrollo de la labor BIM en la empresa. Además, es responsable de la estructura organizacional del equipo BIM, las herramientas de software y hardware a utilizar, los flujos de trabajo y comunicación. Da seguimiento al trabajo realizado por los BIM managers y revisa el estado general de los proyectos que se están ejecutando.

2.3 Softwares

Existen en el mercado diversas opciones de software específicamente para modelar, documentar, analizar y coordinar haciendo uso de la metodología BIM. Un aspecto de suma importancia acerca de los softwares BIM es la interoperabilidad que tienen, dado que estos programas son capaces de interactuar con otros softwares (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018). La mayoría de estos softwares tienen la capacidad de exportar los archivos que generan en formato IFC (Industry Foundation Classes), esto es parte de lo que permite la interoperabilidad.

De acuerdo con la Junta de Extremadura (2021), un software BIM es todo aquel que permita:

- Generar modelos 3D de información de las soluciones proyectadas.
- Exportar información geo-referenciada o en el sistema de coordenadas convenido.
- Exportar documentos asociados a los elementos modelados, como mediciones y planos.
- Exportar información en formato .ifc

A continuación, se describen los softwares por implementar:

2.3.1 Plannerly

Si bien es posible hacer el PEB de forma tradicional por medio de plantillas, actualmente existen aplicaciones que permiten redactar el PEB de forma sencilla y permitiendo el trabajo colaborativo; una de estas aplicaciones se llama Plannerly. Esta aplicación permite usar plantillas de PEB basadas en diferentes estándares, como lo son: Level 2, PAS1192, BS1192, ISO 19650, AIA y BIM Forum; además, se puede importar los estándares de la compañía de proyectos anteriores (Plannerly, 2022). Estas son algunas de las ventajas que ofrece:

- Colaboración en tiempo real
- Edición avanzada en línea
- Copiado y pegado directo desde otras aplicaciones
- Aprobación del flujo de trabajo de forma sencilla
- Exportación del PEB con su debido formato

Cabe mencionar que Plannerly posee una versión gratuita y también de pago por suscripción, donde varía la cantidad de usuarios por proyecto, la cantidad de documentos que se pueden generar, aspectos visuales, entre otros.

2.3.2 Civil Designer






Civil Designer es un conjunto integrado de softwares, el cual cubre el diseño de terrenos, carreteras y redes de tuberías. De acuerdo con su desarrollador Civil Designer (s.f.), las ventajas que este software tiene son las siguientes:





- Se puede configurar para solo comprar los módulos que se necesiten

- Autonomía de licencias al permitir compartir las licencias con su equipo de trabajo
- Interfaz común entre módulos
- El diseño de procesos intuitivos
- Módulos de diseño integrados
- Interoperabilidad

Este software se divide en una serie de módulos, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Módulos de Civil Designer.

Módulo	Símbolo	Descripción
Design Center		Combina un CAD personalizado, manejo de imágenes aéreas y un potente modelado digital del terreno para albergar los módulos de diseño y proporcionar toda la funcionalidad necesaria para producir sus dibujos finales.
Survey & Terrain		Permite cálculos topográficos avanzados y rutinas de dibujo para movimientos de tierra, diseño de terrazas o presas, incluida la volumetría de materiales y la optimización del transporte.
Roads & Highways		Permite el diseño de carreteras; proporciona diseño interactivo del terreno, intersecciones y cálculos de área para calles urbanas, carreteras de una o dos calzadas, ferrocarriles, aeropuertos, puertos y áreas de estacionamiento.
Surface Drainage		Combina el análisis y el diseño de infraestructura de drenaje y cálculo de escorrentía. Calcula la escorrentía de captación, los flujos de alcantarillas, los desbordamientos y el almacenamiento de detención a través de estanques definidos por el usuario.
Foul Water		Permite el análisis y el diseño de redes de aguas sucias con modelado de conexiones, que calcula caudales de entrada, atenuación, infiltración de aguas pluviales, tamaños de tuberías, niveles, pendientes y cantidades de excavación de zanjas.

Clean Water		El módulo incluye elementos como depósitos, cámaras de liberación de presión, estaciones de bombeo con múltiples bombas, válvulas y todo tipo de tuberías que son totalmente editables y pueden vincularse a tablas de datos de consumo externas.
Vehicule Path		Simulación de maniobras de giro a baja velocidad a lo largo de una ruta de seguimiento específica para automóviles, camiones, vehículos articulados, remolques, aeronaves comerciales y montacargas, tanto hacia adelante como hacia atrás.
Signage		Proporciona todas las posiciones, geometría y reporte de cantidades de señalamiento, marcas de carretera y mobiliario lineal de carreteras.
CAD & Rendering		Funcionalidad extendida de dibujo en 2D/3D para la producción final de dibujos de construcción.

Fuente: Elaboración propia, basado en Civil Designer (s.f.),

2.3.3 usBIM.viewer+

Esta aplicación es un editor de IFC que permite ver, convertir y editar archivos IFC en un solo lugar de proyecto de construcción (ACCA Software, s.f.) Este posee una versión gratuita en una aplicación de escritorio de la computadora.

Este software permite agregar una entidad nueva a un modelo, cambiar la geometría de una entidad ya existente, mover o rotar entidades, eliminar entidades y modificar o actualizar las propiedades

2.3.4 Plexos Project

Esta aplicación está creada bajo los principios de Lean Construction para un flujo de trabajo BIM para el trabajo colaborativo y multidisciplinario. Plexos Project permite crear de forma sencilla cronogramas complejos integrando modelos BIM, bases de datos de costos y presupuestos en la nube (Plexos Project, s.f.).

Este tiene compatibilidad con los flujos de trabajo de OpenBIM; además, se puede tener varios archivos IFC para un mismo proyecto, detección automática de cambios en los archivos, extracción de cantidades de los archivos IFC, entre otras funcionalidades.

Además, existen distintos desarrolladores de softwares para la industria de la arquitectura y construcción. Muchos de estos desarrolladores producen sus softwares con distintos enfoques y dirigidos a los distintos campos de la construcción, como lo son: infraestructura de transporte, energía, utilidades, recreacional y de manejo del agua (Cheng, Lu, & Deng, 2016). La Figura 109 permite visualizar algunos de los softwares más utilizados para el desarrollo de infraestructura civil y que además señala para que áreas son utilizados.

Major software vendors and tools for CIM.

Vendor	Software tool	Civil Infrastructure					Are API ¹ or SDK ² available
		Transportation infrastructure	Energy infrastructure	Utility infrastructure	Recreational Facility infrastructure	Water management infrastructure	
Autodesk	Revit	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoCAD	✓	✓	✓	✓	✓	
	AutoCAD Map 3D	✓	✓	✓	✓	✓	
	AutoCAD Civil 3D	✓		✓			✓
	Autodesk InfraWorks (formerly Infrastructure Modeler)	✓		✓			
	Structural Bridge Design	✓					
	AutoCAD Utility Design			✓			
	Autodesk 3ds Max Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bentley	Navisworks	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RM Bridge, LEAP Bridge, LARS Bridge	✓					
	Power Rail Track, Power Rail Overhead Line, MXRAIL	✓					
	Power InRoads, Power GEOPAK, MXROAD, and PowerCivil	✓					
	PlantWise, OpenPlant, AutoPLANT, and PlantSpace		✓				
	HAMMER, WaterCAD, WaterGEMS, SewerCAD, SewerGEMS, CivilStorm, StormCAD					✓	
	MicroStation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AECOSim Building Designer (Bentley Architecture, Structural Modeler)	✓	✓	✓	✓	✓	
	Prosteel	✓	✓	✓	✓	✓	
	Bentley Substation	✓	✓	✓	✓	✓	
	Bentley Navigator	✓	✓	✓	✓	✓	
	ProjectWise	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	AutoPIPE and STAAD.Pro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CSI	SAP2000		✓		✓	✓	
	CSIBridge	✓					✓
Tekla	Tekla Structures	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tekla Bimsight	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Graphisoft	ArchiCAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vico	Vico Office Suite	✓	✓	✓	✓	✓	
FORUM8	UC-win/Road	✓					✓

1. API: Application program interface.

2. SDK: Software development kit.

Figura 109. Mayores softwares para infraestructura civil.

Fuente: (Cheng, Lu, & Deng, 2016)

2.4 Hardware

Los requerimientos de los sistemas de cómputo van a depender en gran medida de los requerimientos de los softwares más demandantes a utilizar. Por esta razón, es de suma importancia conocer cuáles son los requerimientos mínimos y a partir de estos identificar si existe la necesidad de invertir en mejoras en el sistema de cómputo. En la Tabla 13, se denotan esos requerimientos mínimos que debe poseer una computadora para correr algunos de los softwares más demandantes.

Tabla 13. Requerimientos mínimos de softwares de modelado BIM.

Software	Civil Designer	SketchUp	Vray
Sistema operativo	Windows 10	Windows 10	Windows 8.1
Procesador (GHz)	-	1 GHz	Intel Core 1G
Memoria (GB)	8	4	8
Resolución de pantalla (píxeles)	1024 x 600	-	-
Tarjeta gráfica	-	512MB	DirectX 11
Espacio en disco (GB)	-	1	2

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Gestión integral de información

Durante la ejecución de un proyecto es indispensable gestionar e intercambiar la información de una forma adecuada. Con fin de que todos los participantes de la obra tengan la información actualizada y que esta sea trazable, es necesario contar con una estrategia de colaboración para que los integrantes de los equipos de trabajo tengan un lugar donde compartir la información de un proyecto.

Esto se puede lograr por medio de un Entorno de Datos Compartidos (CDE), el cual es un área para la colaboración digital, normalmente una nube, que almacena la información de un proyecto de forma segura y que les brinda acceso a los miembros según el rol que estos desempeñan. Es necesario que el CDE sea la única fuente de información de un

proyecto y que esté en el formato correspondiente. Además, el acceso a dicha información se debe de restringir por medio de permisos y de control de usuarios según lo establecido en el PEB (Esarte, 2020).

Para agregar, la norma ISO 19650-1:2018 permite localizar la información de un respectivo proyecto en varias ubicaciones y el CDE es el que permite que el flujo de trabajo esté distribuido en distintas plataformas tecnológicas (Planbim, 2021). Como se muestra en la Figura 110, la información publicada puede estar en distintos estatus de desarrollo. Es por ello que INTECO (2020), en las partes INTE/ISO 19650:2020, define estas etapas como: Trabajo en progreso, Compartido, Publicado y Archivado, según corresponda.

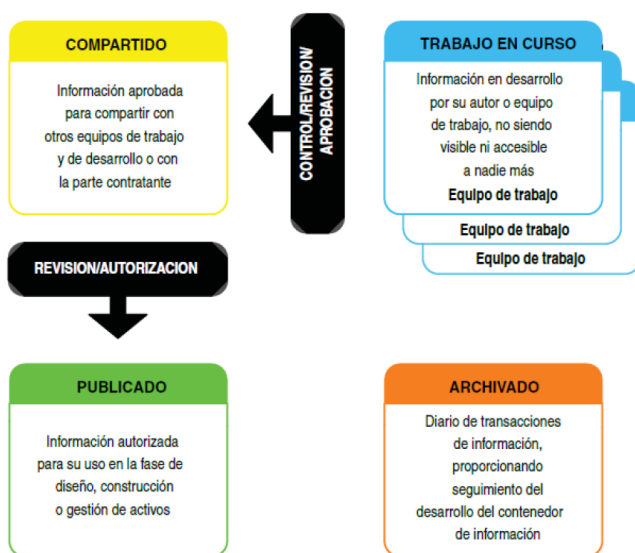


Figura 110. Estados de desarrollo de contenedores de información

Fuente: (INTECO, 2020).

2.5.1 Trimble Connect

Trimble Connect es una solución de CDE basado en la nube y una plataforma que permite trabajo colaborativo diseñado específicamente para la industria de la construcción (Trimble, s.f.). Esta aplicación permite compartir, ver y anotar en modelos y documentos en tiempo real desde cualquier lugar con acceso a internet. Además, mejora los flujos de trabajo y garantiza la entrega a tiempo de los proyectos, al reducir la repetición del trabajo y los retrasos constructivos.

Entre las ventajas de las funciones que tiene Trimble Connect, se encuentran las siguientes:

- Plataforma colaborativa segura
- Compatibilidad web comprensible
- Sistemas de flujos de trabajo intuitivos
- Administración de tareas, con sistema integrado de tareas pendientes

- Integración con realidad aumentada para la visualización de modelos 3D

2.6 Gestión de comunicaciones

Para toda organización, el debido manejo de las comunicaciones es fundamental. En especial, para un proyecto constructivo que se desarrolle con la metodología BIM, es necesario que esta comunicación sea efectiva y trazable; principalmente, dado a que BIM se basa en trabajo colaborativo. De acuerdo con INTECO (2020): “el trabajo colaborativo requiere comprensión, confianza mutua y un nivel mayor de estandarización de los procesos, si la información se va a producir y poner a disposición de manera consistente y oportuna” (p. 5).

Con el fin de gestionar adecuadamente las comunicaciones de AECO en cuanto a los proyectos de obra lineal basados en la metodología BIM, se propone el uso de la aplicación llamada Discord. Esta aplicación permite la comunicación entre los miembros de un servidor, dentro del cual se establecen canales de texto y canales de voz (Delfino & Dean, 2021). En esta es posible el intercambio de mensajes de texto, imágenes, archivos y más; además, se puede establecer distintas salas de reunión por medio de videollamadas.

Discord además ofrece diferentes funciones que facilitan distintas acciones como: poder crear eventos, asignar roles en el servidor, crear hilos de distintos temas dentro de los canales de texto, dar trazabilidad a los mensajes, entre otros. También es importante mencionar que esta aplicación está disponible para computadoras y para el celular, lo cual permite tenerla a disposición cuando se necesite. Asimismo, una enorme ventaja que posee Discord es que, pese a que existe una versión empresarial, todas las herramientas de colaboración poseen versiones gratis, a diferencia de otras aplicaciones de este tipo como lo es Slack.

2.7 Plan de Ejecución BIM

El PEB es una respuesta a los requerimientos de intercambio de información y se entrega como entrada en línea o como un documento compilado al adjudicatario (BIM Dictionary, 2022). El PEB debe ser entregado al inicio del contrato debido a que este es como el libro de instrucciones del contrato en cuanto a la aplicación de la metodología BIM.

Este documento debe contar con los siguientes aspectos como mínimo, de acuerdo con lo que recomienda BIM Forum Costa Rica (2020):

- Objetivos del proyecto y usos de BIM asociados
- Descripción general de procesos BIM y procedimiento de la planificación
- Diseño del proceso e intercambio de información BIM
- Diseño del flujo de trabajo en el proceso y procedimientos de colaboración
- Definir la estructura de soporte para la implementación del BIM
- Ejecución del procedimiento de Implementación BIM
- Procedimientos de control de calidad y de definición de entregables
- Anexos, como lo son protocolos, guías, estándares internacionales, entre otros.

Referencias

- ACCA Software. (s.f.). *usBIM.viewer+*. ACCA SOFTWARE. Recuperado de <https://www.accasoftware.com/en/ifc-viewer>
- BIM Dictionary. (1 de Febrero de 2022). *BIM Dictionary*. Recuperado de <https://bimdictionary.com/terms/search>
- BIM FORUM Colombia. (s.f.). *BIM Kit 2 - Documentos Técnicos: 1. Infraestructura Vial*. Colombia: CAMACOL.
- BIM Forum Costa Rica. (2020). *Guía para la Elaboración de una Solicitud de Información BIM (SDI BIM)*. Tibás, San José: Cámara Costarricense de la Construcción.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018). *Guía de Implementación BIM para las Empresas*. Costa Rica: BIM Forum Costa Rica.
- Carmona-Zúñiga, M. (2019). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica* [Tesis final de graduación]. Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Cheng, J. C., Lu, Q., & Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*, 31-47.
- Civil Designer. (s.f.). *Why Choose Civil Designer*. Civil Designer. Recuperado de <https://www.civildesigner.com/why/>
- Delfino, D., & Dean, G. (24 de Marzo de 2021). *What is Discord? A guide to the popular group-chatting app*. Insider. Recuperado de <https://www.businessinsider.com/what-is-discord>
- esti. (05 de Junio de 2022). *¿Qué es ArcGIS?* ArcGIS Resources. Recuperado de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- INTECO. (2020). *INTE/ISO 19650 1:2020: Organización y digitalización de la información sobre edificaciones e infraestructura, incluyendo modelado de la información de la construcción (BIM). Parte 1: Conceptos y principios*. INTECO.
- Junta de Extremadura. (1 de Enero de 2021). *Guía BIM: De la dirección general de movilidad e infraestructuras viarias*. Recuperado de <https://beta.juntaex.es/w/guia-bim>
- Ortega, B. (7 de Junio de 2018). *LIBRO, GUÍA U HOJA DE ESTILO BIM CON AUTODESK REVIT*. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/libro-estilo>

PennState. (2011). *Project Execution Planning Guide versión 2.1, mayo 2011, Penn State University, y en Plan BIM Chile*. The Computer Integrated Construction Research Program.

Planbim. (2021). *Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de Información entre Solicitante y Proveedores*. Santiago, Chile: CORFO.

Plannerly. (11 de Mayo de 2022). *BIM Execution Plan (BEP) Software*. Recuperado de <https://www.plannerly.com/plan/>

Plexos Project. (s.f.). *Plexos*. Recuperado de <https://plexosproject.com/index.php>

Rodríguez, A. (20 de Setiembre de 2021). *BIMCOLLAB. DE KUBUS; QUÉ ES BIMCOLLAB ZOOM Y CLOUD?* EspacioBIM. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/bimcollab#:~:text=BIMcollab%20es%20un%20software%20BIM,los%20flujos%20de%20trabajo%20BIM>.

Rodríguez, C. G. (2019). *Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A. (Informe proyecto final de graduación)*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Trimble. (s.f.). *Trimble Connect*. Recuperado de <https://connect.trimble.com/>

A photograph of a modern glass skyscraper at dusk. The building's facade is composed of a grid of glass panels, reflecting the sky. The sky is a pale, clear blue. A large, semi-transparent blue watermark with the word 'DOCUMENT' is oriented diagonally across the center of the image. The building's structure is geometric, with a prominent corner. The lower part of the image shows a dark, recessed area of the building, possibly an entrance or a covered walkway, with some interior lights visible.

PEB

PO57 - Condominio Playa Blanca
Estates

2022-06-16

Detalles del documento:

ID de documento: ZOUeIALRYVZC-QMRYD03SG

Fecha de Creación :16 Jun 2022 10:20 PM

Secciones del plan :En progreso, Compartido, Publicado

Autor: Leonardo Lara

Correo electrónico :llara@aeco.cr

Índice de documentos:

1. Información del proyecto
2. PEB Definitivo

TEST DOCUMENT

P057 - Condominio Playa Blanca Estates

2022-06-16

01

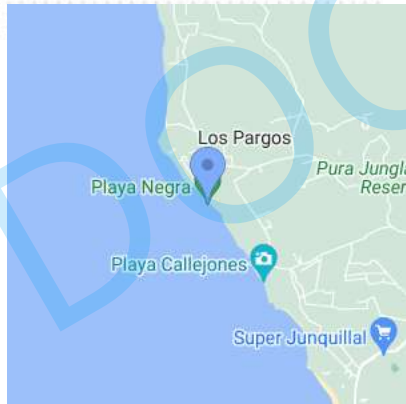


TIPO DE PROYECTO

Infraestructura

UBICACIÓN

Playa Negra, Provincia de Guanacaste, Los Pargos, Costa Rica

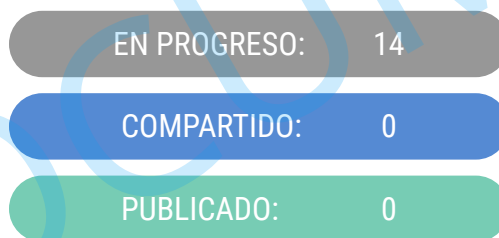


INFORMACIÓN DEL PROYECTO

PEB Definitivo

En el Plan de Ejecución BIM Definitivo (PEB Definitivo) el Proveedor Adjudicado debe demostrar su estrategia de utilización de BIM para el proyecto, así como las capacidades y competencias tanto de su empresa como su cadena de suministro para cumplir con los requisitos de información del Solicitante indicados en la Solicitud de Información BIM (SDI BIM).

Estado:



DOCUMENT

- 1 PEB DEFINITIVO
 - 1.1 Información del Proyecto - Definitivo
- 2 EMPRESAS PARTICIPANTES - PEB DEFINITIVO
 - 2.1 Formulario 01 PEB Definitivo
- 3 OBJETIVO Y USOS BIM - PEB DEFINITIVO
 - 3.1 Formulario 02 PEB Definitivo
 - 3.2 Formulario 03 PEB Definitivo
 - 3.3 Formulario 04 PEB Definitivo
- 4 ENTREGABLES BIM Y SUS FORMATOS - PEB DEFINITIVO
 - 4.1 Formulario 05 PEB Definitivo
 - 4.2 Formulario 06 PEB Definitivo
 - 4.3 Formulario 07 PEB Definitivo
- 5 ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN - PEB DEFINITIVO
 - 5.1 Formulario 08 PEB Definitivo
 - 5.2 Formulario 09 PEB Definitivo
 - 5.3 Formulario 10 PEB Definitivo
- 6 ORGANIZACIÓN DE LOS MODELOS BIM
 - 6.1 Formulario 11 PEB Definitivo
 - 6.2 Formulario 12 PEB Definitivo
 - 6.3 Formulario 13 PEB Definitivo

DOCUMENT

1 PEB Definitivo

02

 1.1 Información del Proyecto - Definitivo
Información del Proyecto

Solicitante: Misael Rodríguez Ramírez
Nombre del Proyecto: Condominio Playa Blanca Estates
Ubicación del proyecto: Playa Negra, Santa Cruz Guanacaste
Tipo de Contrato: Servicios Profesionales
Descripción del Proyecto: Condominio horizontal que consta de 9 fincas filiales
Número de contrato: Contrato AECO-220328-050
Número de proyecto: P057

Nº de documento: 001

Fecha: 19 abril de 2022

Revisión: 001

Estado: S3

Hoja de control del Documento

Revisión	Estatus	Página	Enmienda	Fecha	Por

2 Empresas participantes - PEB Definitivo

 2.1 Formulario 01 PEB Definitivo
Empresas participantes.

PEB DEFINITIVO

Empresa	Especialidad	Código	Nombre del responsable
AECO	Diseño de Obras Civiles	OCV	Ing. Everardo Rodríguez Rodríguez
INTI	Propietario	PRO	Misael Rodriguez Ramírez

Declaración del proveedor adjudicado:

La información entregada en el presente Plan de Ejecución BIM por parte del proveedor adjudicado ha sido acordada por los representantes del equipo de proyecto mencionas anteriormente, quienes cuentan con la autorización de sus empresas para validar este documento o su uso dentro del proyecto.

3 Objetivo y Usos BIM - PEB Definitivo

© 3.1 Formulario 02 PEB Definitivo

Objetivos de la Utilización de BIM en el proyecto

Indique el objetivo general y los objetivos específicos que se señalan en la Solicitud de información BIM e incorpore los Usos BIM que se relacionan a cada objetivo.

TESTAMENT
DOCUMENT

Objetivo General de la utilización de BIM en el proyecto:

TEST
DOCUMENT

TEST
DOCUMENT

© 3.2 Formulario 03 PEB Definitivo

Objetivo específico de la utilización de BIM en el proyecto

Objetivos específicos	Usos BIM relacionados
Planificar con las distintas disciplinas previo al diseño.	Coordinación 3D
Crear los modelos BIM del proyecto.	Diseño de especialidades

© 3.3 Formulario 04 PEB Definitivo

obra Indique los principales contactos de cada organización que participa en el proyecto en relación con cada uso BIM. Agregue el correo electrónico de cada contacto, así como el rol que desempeña dentro de su empresa. Se puede incluir personas adicionales más adelante en el documento.

Usos BIM

Uso BIM	Empresa	Rol BIM	Persona Responsable	Disciplina	Profesión	Correo electrónico
Coordinación 3D	AECO	Director BIM	Ing. Everardo Rodríguez	OCV	Ingeniero	erodriguez@aeco.cr
Diseño de especialidades	AECO	Modelador BIM	Ing. Mauricio Rojas	OCV-GEM	Ingeniero	mrojas@aeco.cr

--	--	--	--	--	--	--

TEST
DOCUMENT

Coordinación 3D**Recursos del Proveedor.**

Indique en la tabla el recurso disponible para el proyecto para producir los datos entregables en cada etapa del plan de trabajo. Indicar recurso por profesión y años de experiencia.

Recursos	Cuenta con el Recurso	Disciplina	Especificación de Software o Hardware	Versión
Software de modelado BIM	Sí	OCV	Civil Designer	8.5
Hardware apto para procesar modelos BIM	Sí	-	Computadora	-

Diseño de especialidades**Recursos del Proveedor.**

Indique en la tabla el recurso disponible para el proyecto para producir los datos entregables en cada etapa del plan de trabajo. Indicar recurso por profesión y años de experiencia.

Recursos	Cuenta con el Recurso	Disciplina	Especificación de Software o Hardware	Versión
Software de modelado BIM	Sí	OCV	Civil Designer	8.5
Hardware apto para procesar modelos BIM	Sí	-	Computadora	-

4 Entregables BIM y sus formatos - PEB Definitivo**4.1 Formulario 05 PEB Definitivo****Modelos BIM solicitados y sus formatos**

Indique para cada modelo BIM, la especialidad a la que corresponde, los formatos que se usarán para su desarrollo e intercambio entre proveedores, quién lo desarrollará e intercambio entre proveedores, quién de desarrollará y quién estará a cargo de su control de calidad.

Modelo BIM	Especialidad	Autor de modelo	Responsable	Formato nativo	Formato de intercambio entre proveedores	Resp. control de calidad.
Sitio	Sitio	TOP	Mauricio Rojas	.dr4	IFC	Director
Volumétrico	Sitio	TOP	Mauricio Rojas	.dr4	IFC	Director
Diseño de Infraestructura	Carretera	OCV	Mauricio Rojas	.dr4	IFC	Director

4.2 Formulario 06 PEB Definitivo

Estado de Avance de información de Modelos BIM para cada Entrega

Indique para cada modelo el EAIM que corresponda para entrega según lo indicado en la SDI BIM.

	Entrega 01	Entrega 02	Entrega 03	Entrega 04	Entrega 05	Entrega 06	Entrega N°
Modelo BIM	EAIM	EAIM	EAIM	EAIM	EAIM	EAIM	EAIM
Sitio	DA Diseño Anteproyecto						
Volumétrico	DA Diseño Anteproyecto						
Diseño de infraestructura	DA Diseño Anteproyecto	DB Diseño básico					

4.3 Formulario 07 PEB Definitivo

Documentos solicitados y sus formatos

Indique para cada entrega los Estados de Avance de la información de los Modelos correspondiente para cada uno de los entregables solicitados con su formato, versión y si se extenderá directamente de un modelo o no.

Entrega	Estado de Avance de la Información de los Modelos (EAIM)	Entregables	Formatos			
			Nativo	Versión	Entrega	Desde modelo
Etapa 01	Anteproyecto	Modelo diseño de infraestructura anteproyecto	DR4	01	PDF	Si
Etapa 01	Anteproyecto	Informe técnico anteproyecto	DOC	01	PDF	No
Etapa 02	Diseño	Modelo diseño de infraestructura	DR4	02	PDF	Si
Etapa 02	Diseño	Informe técnico de diseño	DOC	01	PDF	No

5 Estrategia de Colaboración - PEB Definitivo

5.1 Formulario 08 PEB Definitivo

Entorno de Datos Compartidos

Indique si el CDE está compuesto por una o múltiples plataformas tecnológicas, cuáles son y qué formatos se utilizarán para los requerimientos de información y colaboración.

El CDE Utilizado está conformado por una sola plataforma

TEST DOCUMENT

SI	NO
X	

TEST DOCUMENT

TEST
DOCUMENT

Entorno de Datos Compartido (CDE)	Trimble Connect
Plataforma de Colaboración	Trimble Connect
Plataforma de gestión documental	Trimble Connect

5.2 Formulario 09 PEB Definitivo

Consolidación de modelos BIM

Indique la estrategia de consolidación de modelos que utilizará.

Generación de modelos BIM

Estrategia	Si	No
Modelo BIM federado		X
Modelo BIM integrado		X

5.3 Formulario 10 PEB Definitivo

Procedimiento de Reuniones

Indique las principales reuniones de trabajo y coordinación que se realizarán a lo largo del proyecto y sus participantes.

Tipo de Reunión	Etapa del Proyecto	Especialidades que participan	Frecuencia de reuniones*	Cantidad de reuniones	Ubicación	Modalidad	Tipo de respaldo
Revisión PEB	Anteproyecto	OCV	14 días	Indefinido	Discord	Virtual	No aplica
Coordinación del diseño	Diseño	OCV	7 días	Indefinido	Discord	Virtual	No aplica

(*) La cantidad y frecuencia de las reuniones puede cambiar en virtud de la dinámica del proyecto

6 Organización de los Modelos BIM

6.1 Formulario 11 PEB Definitivo

TEST
DOCUMENT

Unidades que utilizará para el desarrollo de los modelos BIM	Coordenadas que se utilizarán para todos los modelos BIM
Las unidades utilizadas serán en metros y haciendo uso de una precisión de tres unidades decimales al digitar en el software.	.Las coordenadas a utilizar se hacen en base al CR05/ CRTM05

TEST
DOCUMENT

TEST
DOCUMENT

Modelo BIM	Por Zonas	Por Calles	Por Disciplinas	
Sitio	x			
Volumétrico	x			
Diseño de infraestructura		x	x	

6.2 Formulario 12 PEB Definitivo

Nombre de archivos de los modelos BIM

Indique la estructura a utilizar para los nombres de archivos de modelo.

ej: Código proyecto-Empresa-Etapa-Nombre-Estatus-Revisión.xyz

PO##-AECO-ANTEPROYECTO-Nombre-WIP-##.dr4

Nota: xyz se refiere a la extensión de formato del archivo

Modelo BIM	Nombre
Modelo de infraestructura de anteproyecto	PO57-AECO-ANTEPROYECTO-PlayaBlanca-WIP-01.dr4
Modelo de infraestructura de diseño	PO57-AECO-DISEÑO-PlayaBlanca-WIP-01.dr4

6.3 Formulario 13 PEB Definitivo

Códigos y colores por disciplinas y/o sistemas

Indique los colores a utilizar para las distintas disciplinas y/o entidades de modelo.

Disciplina	Sigla	Color	R	G	B
Topografía	TOP		120	70	30
Obras civiles - Diseño geométrico	OCV-GEM		55	85	35
Obras civiles - Pavimentos	OCV-PAV		80	45	240
Paisajismo	LDK		255	140	45

--	--	--	--	--	--

TEST
DOCUMENT

Referencias

- ACCA Software. (s.f.). usBIM.viewer+. ACCA SOFTWARE. Recuperado de <https://www.accasoftware.com/en/ifc-viewer>
- Acueductos y Alcantarillados. (2016). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Sistema Pluvial*. Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Admisión UTEM. (17 de Junio de 2020). *¿Qué es una obra civil?* Recuperado de <https://admisión.udem.cl/2020/06/17/que-es-una-obra-civil/#:~:text=En%20l%C3%ADneas%20generales%20una%20obra,una%20ciudad%20regi%C3%B3n%20o%20pa%C3%ADs.>
- BIM Dictionary. (1 de Febrero de 2022). *BIM Dictionary*. Recuperado de <https://bimdictionary.com/terms/search>
- BIM FORUM Colombia. (s.f.). *BIM Kit 2 - Documentos Técnicos: 1. Infraestructura Vial*. Colombia: CAMACOL.
- BIM Forum Costa Rica. (2020). *Guía para la Elaboración de una Solicitud de Información BIM (SDI BIM)*. Tibás, San José: Cámara Costarricense de la Construcción.
- Brenes, N. (2020). *Implementación de la Metodología BIM en el Diseño de Proyectos de Infraestructura Vial de la Organización INTRA Consultores* [Proyecto Final de Graduación]. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018). *Guía de Implementación BIM para las Empresas*. Costa Rica: BIM Forum Costa Rica.
- Cárdenas, J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Carmona-Zúñiga, M. (2019). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica* [Tesis final de graduación]. Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Cheng, J. C., Lu, Q., & Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*, 67, 31-47. Recuperado de <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-7981c076-0ce7-34ae-9f66-803183380240>
- Civil Designer. (s.f.). Why Choose Civil Designer. *Civil Designer*. Recuperado de <https://www.civildesigner.com/why/>
- Equipo BIMnD. (19 de Marzo de 2019). Las 7 Dimensiones BIM. *BIMnD*. Recuperado de <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>
- Esarte, A. (29 de Abril de 2020). CDE, ¿Qué es un CDE o Common Data Environment? *Espacio BIM*. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/cde>
- Fernández, I. A. (2011). *Definición geométrica de obras lineales con técnicas gnss en modo cinemático en tiempo real (rtk) y solución de red (índice de riesgo por curvatura)* [Trabajo de Graduación]. España: Universidad de Valladolid.
- Ferrante, C., Ciampoli, L. B., De Falco, M. C., D'Ascanio, L., Presta, D., & Schiattarella, E. (2020). Can a fully integrated approach enclose the drainage system design and the flood risk analysis? *Transportation research procedia*, 41, 811-818. Recuperado de <https://iris.uniroma3.it/handle/11590/367165>
- Gavilanez, J., & Solorzano, J. (2020). *Planificación y Programación de la Construcción de Aceras y Bordillos del Barrio Las Palmeras Bajas, en las Calles Felipe Vera y Mativí del Cantón las Naves, Provincia Bolívar* [Trabajo de Graduación]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Ilozor, B. D., & Kelly, D. (2012). Building Information Modeling and Integrated

- Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 23-36. Recuperado de http://www.ppml.url.tw/EPPM_Journal/volumns/02_01_January_2012/ID_013_2_1_23_36.htm
- INTECO. (2020). *INTE/ISO 19650 1:2020: Organización y digitalización de la información sobre edificaciones e infraestructura, incluyendo modelado de la información de la construcción (BIM). Parte 1: Conceptos y principios*. INTECO.
- Kreiger, R., & John, M. (2013). *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses*. PA, USA: The Pennsylvania State University.
- LanammeUCR. (2017). *Guía de Inventario y Evaluación de aceras*. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.
- MIDEPLAN. (2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*. San José, C.R.: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Pcloud. (s.f.). Pcloud. *Pcloud*. Recuperado de <https://www.pcloud.com/>
- Pérez, A. (2019). *Aplicación de la Metodología CIM a una Infraestructura Viaria. Caso de estudio: Ramal de acceso directo TF-24 a TF-5* [Trabajo de Graduación]. Universidad de La Laguna.
- Planbim. (2021). *Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de Información entre Solicitante y Proveedores*. Santiago, Chile: CORFO.
- Plannerly. (11 de Mayo de 2022). BIM Execution Plan (BEP) Software. *Plannerly*. Recuperado de <https://www.plannerly.com/plan/>
- Plexos Project. (s.f.). Plexos. *Plexos Project*. Recuperado de <https://plexoproject.com/index.php>
- Rodríguez, C. G. (2019). *Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A. (Informe proyecto final de graduación)*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rodríguez, P. (2001). *Abastecimiento de agua*. Oaxaca: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Sánchez, A. (9 de Diciembre de 2016). Dimensiones BIM, las 7 y Blanca-BIM. *ESPACIO BIM*. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/dimensiones-bim>
- SENARA. (21 de Marzo de 2022). Drenaje. *SENARA*. Recuperado de: <http://www.senara.or.cr/proyectos/drenaje.aspx#:~:text=Hay%20cuatro%20tipos%20de%20drenaje%20subterr%C3%A1neo%3A&text=Zanjas%20o%20canales%20profundos%20cubiertos,cil%C3%ADndricos%20revestidos%20o%20drenaje%20entubado>.
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2016). *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. San José: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Trimble. (s.f.). Trimble Connect. *Trimble Connect*. Recuperado de <https://connect.trimble.com/>
- Vargas, J. D. (s.f.). Pasos claves para empezar un proyecto piloto en BIM. *Revista Construcción*, 38-39. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/9422>
- Vargas, J. D. (29 de 07 de 2020). Roles y Responsabilidades BIM. *Cámara Costarricense de la Construcción*. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/38294/roles-y-responsabilidades-bim>
- Vélez-Martínez, P. E. (2020). *Implementación de la Metodología BIM en los procesos de Trabajo de una Empresa de Arquitectura y Construcción Ubicada en Cuenca, Ecuador*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Villón-Bejár, M. (2007). *Drenaje*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). An Integrated BIM-GIS Methods for Planning of Water Distribution System. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(8), 331. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/8/331>