

Guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

Llevado a cabo por el estudiante:

Sanabria Mora Yeikel Antonio

Carné: 2019053813

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el jueves 06 de marzo de 2025 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:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente
por JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.03.11
13:50:13 -06'00'

Dr. José Andrés Araya Obando
Director de Escuela

**LEONARDO
JOSUE TORRES
HERNANDEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por LEONARDO JOSUE
TORRES HERNANDEZ
(FIRMA)
Fecha: 2025.03.09
09:35:26 -06'00'

Ing. Leonardo Torres Hernández
Profesor Guía

MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por MILTON
ANTONIO SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)
Fecha: 2025.03.07 15:52:41 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Lector

**MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)
Fecha: 2025.03.10 07:52:51 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MGP, MBA
Profesor Observador

Resumen

Con la elaboración de este proyecto, se propuso una guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A. con la dimensión 4D de la metodología Building Information Modeling (BIM).

A través de recopilación de información con entrevistas se determinó que el estado de los departamentos de modelado y proyectos de la empresa tenían aspectos que mejorar en cuanto a la planificación, el monitoreo y el control de la construcción durante la etapa de inversión del ciclo de vida de los proyectos. Por otro lado, se llevó a cabo una investigación bibliográfica para detectar los beneficios de la implementación de la cuarta dimensión BIM, lo que permitió su aplicación en los procesos que se realizaban.

El uso de la metodología BIM permitió ejecutar una gestión eficiente de los proyectos mediante la interconexión de software de modelado, programación, planificación, monitoreo y control, sin embargo, para obtener un mayor beneficio de esta, era necesario considerar la capacidad de los recursos humanos y tecnológicos de la empresa.

Los resultados principales del proyecto incluyeron la determinación del estado de la empresa en la implementación BIM, los aspectos necesarios a cubrir para la implementación BIM 4D, la creación de un procedimiento de planificación, monitoreo y control, la capacitación de personal en el uso de los nuevos recursos generados y una guía de implementación.

Palabras claves: 4D, BIM, Planificación, Monitoreo, Control.

Abstract

With the development of this project, a guide for the integration and implementation of tools for the planning, monitoring and control procedure of construction projects in the company Construcciones Peñaranda S.A. were proposed with the 4D dimension of the Building Information Modeling (BIM) methodology.

Through the collection of information with interviews, it was determined that the state of the modeling and project departments of the company had aspects to improve in terms of planning, monitoring and control of construction during the investment stage of the project life cycle. On the other hand, a bibliographic research was carried out to detect the benefits of the implementation of the fourth BIM's dimension, which allowed its application in the processes that were carried out.

The use of the BIM methodology allowed for efficient project management through the interconnection of modeling, programming, planning, monitoring and control software, however, to obtain a greater benefit from it, it was necessary to consider the capacity of the company's human and technological resources.

The main results of the project included the determination of the company's status in BIM implementation, the necessary aspects to cover for BIM 4D implementation, the creation of a planning, monitoring and control procedure, the training of personnel in the use of the new resources generated and an implementation guide.

Keywords: 4D, BIM, Planning, Monitoring, Control.

Guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

YEIKEL ANTONIO SANABRIA MORA

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

Noviembre de 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo	3
Introducción	5
Capítulo 1: Marco teórico	7
1.1 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)	7
1.2 CONCEPTOS CLAVE BIM	8
1.2.1 Grado de madurez BIM	8
1.2.2 Dimensiones BIM	9
1.2.3 NDI o LOD (Nivel de desarrollo)	10
1.2.4 Roles BIM	14
1.2.5 Software BIM	15
1.2.6 Detección de interferencias y vinculación de archivos	22
1.2.7 Planificación, monitoreo y control de obra	23
1.2.8 Nomenclatura de archivos con estándares BIM	24
1.3 FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION Y LOOK AHEAD.	26
Capítulo 2: Metodología	28
Capítulo 3: Resultados y análisis de resultados.....	31
3.1 ESTADO ACTUAL DE LOS PROCEDIMIENTOS Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIMENSIÓN 4D DE BIM EN LA EMPRESA.....	31
3.2 DISEÑO DE PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN, MONITOREO Y CONTROL DE PROYECTOS EN ETAPA CONSTRUCTIVA.....	44
3.3 INCORPORACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS EN LAS ACTIVIDADES DE LA EMPRESA Y EL PERSONAL	54
Conclusiones y recomendaciones.....	59
Referencias.....	61
Anexos.....	64
Apéndices	65

Resumen ejecutivo

La aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en la empresa de Construcciones Peñaranda S.A. inició en el año 2023 como parte de un proyecto de graduación llamado “Implementación de una metodología para la Integración y Gestión de Información entre el departamento de Modelado y el departamento de Proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.” A partir de esto surgió una nueva necesidad con respecto a la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos, ya que el problema radicaba en que los procedimientos enfocados en estas actividades estaban desligados e independientes, los departamentos de modelado y proyectos no aprovechaban los modelos generados, específicamente en la etapa de construcción.

Este tema es de relevancia para la Escuela de Ingeniería de Construcción ya que demuestra cómo los estudiantes están en búsqueda de las últimas tendencias de manejo de información y la capacitación continua, ya que, los estudiantes promueven la implementación de conceptos innovadores en procesos adoptados por empresas que pueden estar desactualizados o no aprovechar al máximo los recursos disponibles en el mercado, reduciendo la productividad e incrementando los costos.

Igualmente, fue un proyecto de relevancia para la empresa Construcciones Peñaranda S.A. en función de implementar la metodología BIM en sus labores cotidianas para la gestión de proyectos, con el fin de mantenerse a la vanguardia en el mercado laboral y ofrecer servicios competentes a los potenciales clientes.

Adicionalmente, con este trabajo final de graduación se intentó contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible: 9-Industria, Innovación e Infraestructuras, fomentando la innovación y aplicación de procedimientos actuales en la planificación y control de obras en etapas de inversión para evitar procesos innecesarios o reconocer interferencias que pueden involucrar desperdicio de materiales o toma de decisiones apresuradas. 12-Producción y consumo responsable, el cual, ligado a lo anterior, se pretende generar recursos técnicos que se utilizarán posteriormente en la etapa de inversión, con la finalidad de reducir desperdicios o el uso racional de los recursos disponibles y estrictamente necesarios para la construcción. (Organización de las Naciones Unidas, s.f).

Inicialmente fue necesario definir los objetivos del presente trabajo final de graduación, para establecer las metas a cumplir y obtener resultados específicos. El objetivo general correspondió a: Desarrollar una guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

En cuanto a los objetivos específicos se definieron los siguientes: 1- Determinar cuáles son los procesos utilizados desde hace un año hasta la actualidad en la implementación BIM de la empresa Construcciones Peñaranda S.A en el departamento de Proyectos y el departamento de Modelado, por medio de la recolección documental de información, con el fin de establecer los procesos a intervenir en el uso de la metodología BIM durante la etapa de ejecución de los proyectos constructivos. 2- Diseñar un procedimiento de planificación, monitoreo y control de obra utilizando la metodología BIM por medio de la implementación de los softwares Revit, Ms Project y Navisworks para la elaboración de herramientas de gestión colaborativa de proyectos en su etapa de inversión. 3- Implementar las herramientas colaborativas de planificación de la ejecución, control y monitoreo desarrolladas con base a la metodología BIM en la empresa Construcciones Peñaranda S.A. con el fin de transmitir los recursos generados a los trabajadores de los departamentos.

Para completar el primer objetivo se requirió de la aplicación de entrevistas a los 13 integrantes totales de los dos departamentos en cuestión, con tal de saber cuál era el estado actual de la empresa y el conocimiento de los trabajadores acerca de la dimensión 4D de BIM, los principales resultados indicaron que el nivel de madurez era 1, lo que implicaba que, se generaban modelos 3D y archivos 2D para la elaboración de planos, pero, el alcance en cuanto a la metodología BIM era limitado y la implementación de modelos tridimensionales con programación no estaba dentro de los recursos usados por la empresa.

Para completar el segundo objetivo, se hizo un proceso de investigación y elaboración de una plantilla para que se compartiera la información producida en los softwares Revit, Ms Project y Navisworks (el último seleccionado por medio de un análisis multicriterio). La plantilla de Ms Project incluía columnas personalizadas para el control de avance de obra como el porcentaje completado, porcentaje de atraso, la presentación de un recurso visual para realizar *look ahead* de *Lean Construction* en las actividades que deberían ser completadas en las siguientes tres semanas de construcción y columnas personalizadas para poder exportar la programación a Navisworks. Adicionalmente, se integraron los softwares Revit y Navisworks para usar los modelos para la programación de obra y detección de interferencias.

Para el cumplimiento del tercer objetivo específico, se hizo uso de charlas demostrativas y una guía de implementación, con tal de poder transmitir el conocimiento y la aplicación de las herramientas en casos supuestos con base a proyectos completados en años anteriores, por lo que, se logró que la información quedara disponible para posterior consulta de los empleados en caso de poseer alguna duda o haber olvidado algún paso.

Con respecto a las principales recomendaciones que se generaron a partir de la elaboración del presente trabajo final de graduación se puede mencionar el considerar la ampliación del recurso computacional de la empresa a partir de la instalación de los softwares utilizados en distintos ordenadores para una interacción a mayor escala de los trabajadores. Mantener las guías actualizadas a partir de las nuevas necesidades que puedan surgir en la empresa según los proyectos que desarrollen. También, aplicar las herramientas en proyectos que se vayan a desarrollar en la empresa para obtener más resultados y robustecer las herramientas o plantillas.

Introducción

En la actualidad, el mercado laboral de la construcción enfrenta una creciente necesidad de mejorar la eficiencia en los procesos constructivos, lo que es crucial para reducir riesgos asociados a una planificación, monitoreo y control inadecuados de proyectos. Esto se traduce en costos adicionales debido a retrasos y errores de coordinación. La metodología *Building Information Modeling* (BIM) se presenta como una solución efectiva para evitar inconsistencias constructivas y de información, mejorando así la gestión de proyectos a lo largo de su ciclo de vida, desde la planificación hasta la ejecución y el mantenimiento (Azhar, 2011).

La industria de la construcción que abarca diversas etapas en el proceso constructivo requiere una estructura formal para una gestión eficaz. BIM ha ganado interés global por sus beneficios, aunque su implementación no garantiza una gestión eficaz inmediata. Esto depende de la adopción de procesos adecuados, estándares de intercambio de información y protocolos de control en el sitio (Kumar y Hayne, 2016).

La empresa Construcciones Peñaranda S.A. cuenta con varios departamentos, incluyendo primeramente el de modelado 3D mediante Revit y segundo el departamento de Proyectos. Sin embargo, se identifican debilidades en la organización e intercambio de información entre los departamentos, así como una falta de capacidad para aprovechar los modelos 3D en la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos. La metodología BIM facilita la gestión de los proyectos, evitando la pérdida de información a lo largo de su ciclo de vida, lo que requiere un esfuerzo adicional en la producción y disposición de datos durante el desarrollo de proyectos.

La metodología BIM permite interactuar en la gestión del proyecto para evitar la pérdida de la información a lo largo del ciclo de vida de este, lo que obliga a las empresas a hacer un mayor esfuerzo de producción y disposición de los datos durante el desarrollo de los proyectos (González, *et al*, 2014). Por lo tanto, la investigación parte de la ejecución de un diagnóstico de la madurez de BIM en la empresa; de las limitantes actuales en los departamentos de modelado y proyectos, así como la gestión actual de sus recursos de información que se genera para la planificación, monitoreo y control de las construcciones.

Por lo tanto, el objetivo general de la investigación es desarrollar una guía para la integración e implementación de herramientas BIM para la planificación, monitoreo y control en la etapa de inversión de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A. Los objetivos específicos para alcanzar esto son:

- Determinar cuáles son los procesos utilizados desde hace un año hasta la actualidad en la implementación BIM de la empresa Construcciones Peñaranda S.A en el departamento de Proyectos

y el departamento de Modelado, por medio de la recolección documental de información, con el fin de establecer los procesos a intervenir en el uso de la metodología BIM durante la etapa de ejecución de los proyectos constructivos.

- Diseñar un proceso de planificación, monitoreo y control de obra utilizando la metodología BIM por medio de la implementación de los softwares Revit, Ms Project y Navisworks para la incorporación de herramientas de gestión colaborativa de proyectos en su etapa de inversión.
- Implementar las herramientas colaborativas de planificación de la ejecución, control y monitoreo desarrolladas con base a la metodología BIM en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, con el fin de transmitir los recursos generados a los trabajadores de los departamentos.

El alcance del proyecto incluye la determinación de los procesos usados en la empresa con respecto a la implementación de la metodología BIM, el nivel de conocimiento de los empleados acerca de esta metodología, los procesos a intervenir para incrementar el alcance de la implementación por medio de la creación de un procedimiento de planificación, monitoreo y control de construcciones con la ayuda de software interconectados. También, la implementación de herramientas a través de charlas demostrativas y la elaboración de una guía de uso. Sin embargo, se enfrentan limitaciones como la escasez de personal en el departamento de Modelado, el costo de instalación de software, la cantidad de ordenadores con los programas instalados y la falta de proyectos en proceso de ejecución para evaluar el impacto de la implementación.

Capítulo 1: Marco teórico

El modelado de información para la construcción (BIM por sus siglas en inglés) es una metodología que aumenta el alcance en cómo se planifican, diseñan, construyen y gestionan los proyectos constructivos. Esto se debe a que permite la integración de la información en modelos tridimensionales y documentos técnicos con tal de facilitar el acceso a los datos y la comunicación entre los involucrados. A continuación, se define a mayor profundidad el significado del concepto BIM.

1.1 BIM (Building Information Modeling)

El *Building Information Modeling* (BIM) es una metodología que integra múltiples disciplinas dentro del ciclo de vida de un proyecto constructivo, desde su planificación hasta su ejecución y mantenimiento (Ver Figura 1). El modelado de información de la construcción abarca la representación tridimensional del proyecto e incluye la gestión de información según lo que se conoce como dimensiones, que son: representación geométrica en tres dimensiones (3D), tiempo (4D), costos (5D) y sostenibilidad (6D) (Azhar, 2011).

Figura 1. Representación del ciclo de vida de un proyecto constructivo.



Recuperado de Lobo, 2022.

Adicionalmente, se define el concepto de BIM como una tecnología de información que integra representaciones digitales de las construcciones o proyectos para las diferentes etapas de su ciclo de vida, actuando como un repositorio de información (Gu y London, 2010).

Asimismo, es una metodología de trabajo colaborativa que utiliza un modelo digital para gestionar proyectos constructivos a lo largo de su ciclo de vida. BIM integra la información de diseño, construcción y operación en un único modelo digital, lo que permite una gestión más eficiente y precisa de los proyectos (Eastman et al., 2011). Esta metodología no solo abarca las fases de diseño, sino que se extiende a la ejecución, operación y mantenimiento del proyecto, reduciendo costos y tiempos de operación (Azhar, 2011)

La incorporación de BIM 4D, que incluye la dimensión del tiempo, permite una mejor planificación y control de las actividades constructivas, reduciendo así riesgos asociados a la deficiente planificación, monitoreo y control de proyectos, lo que implica costos asociados a retrasos y errores de coordinación. (Ghaffarianhoseini et al., 2017).

Una vez comprendido el concepto de BIM y sus alcances generales, se puede considerar el estado de la implementación de esta metodología en el país, así como el alcance logrado por múltiples empresas constructoras en proyectos de distintos tipos, como casas habitacionales, edificios comerciales o infraestructura vial.

1.2 Conceptos clave BIM

Existen diversas categorías que permiten catalogar el nivel de implementación que una entidad ha conseguido con respecto a la metodología BIM, ya que, es un proceso que requiere de múltiples recursos como personal, equipos, tiempo, dinero. Por esto ha surgido el concepto de grado de madurez BIM, el cual se describe a continuación.

1.2.1 Grado de madurez BIM

Cuando se intenta entender o catalogar a una empresa, país o entidad con relación al alcance que tiene en la implementación de la metodología BIM, se hace uso del concepto de madurez BIM, el cual cuenta con una serie de rangos que indican si la aplicación de las propiedades de BIM no está del todo en uso o, si por el contrario, el nivel que se posee es alto. Esto implica la estructura virtual y física necesaria para la implementación de BIM, así como el personal capacitado y con el conocimiento necesario para poder alinearse con los requisitos que establece la metodología.

Según la Ley Marco de Tecnologías de Gestión y Desarrollo de Información para la Construcción y Operación de Edificaciones e Infraestructuras Públicas (Asamblea Legislativa, 2024), se establecen los siguientes grados o niveles de madurez:

Nivel 0: No hay colaboración interdisciplinaria, solo se emplean dibujos 2D y se distribuye la información por medio de impresiones en papel o electrónicas.

Nivel 1: Se combina el CAD 2D y el 3D, para poder redactar la información legal para tramitología, se hace uso del entorno común de datos para la transferencia de datos.

Nivel 2: Existe trabajo colaborativo, el software CAD usado permite la transferencia de archivos con formatos comunes como IFC o COBie.

Nivel 3: En este nivel, todos los involucrados trabajan con base a un modelo central en un entorno común de datos, el proceso se da de manera simultánea y en tiempo real.

Cuando se considera el concepto de BIM, se debe tomar en cuenta que el alcance de la metodología puede estar definido por dimensiones, dentro de las cuales se catalogan alcances como: modelos tridimensionales, incorporación de cronogramas, costos o mantenimiento. Estas dimensiones se detallan a continuación.

1.2.2 Dimensiones BIM

Se debe comprender el alcance de BIM como metodología, para lo cual se dispone de las dimensiones que corresponden a la división de la capacidad que se logra con su implementación, por medio de la transferencia de información y comunicación entre los involucrados para el desarrollo del proyecto.

La metodología BIM incluye una serie de dimensiones que permiten englobar distintos alcances en los proyectos, desde la representación más básica posible como la concepción de la idea base, hasta la inclusión de planes de mantenimiento o información requerida posterior a la entrega definitiva de una obra. De esta forma, la metodología BIM incluye un total de 7 dimensiones: 1D- planificación, 2D-Dibujo en dos dimensiones, 3D-Modelado tridimensional, 4D-Inclusión del tiempo, 5D-Inclusión de los costos, 6D-Sostenibilidad y energía y 7D-Gestión y mantenimiento.

Específicamente, Lesmes y Gonzáles (2017), definen cada una de las dimensiones BIM de la siguiente forma:

1D: es la dimensión más básica, donde se obtiene la idea inicial, la forma que posiblemente se desarrolle, estudios de viabilidad, croquis y estimaciones. Es decir, se plantea la propuesta y se considera si es factible formalizar la propuesta para dar paso a la concepción en planos.

2D: esta dimensión se puede conocer como la etapa donde se plasma la propuesta en cálculos preliminares, diseños de planos iniciales y costos globales con los posibles materiales a usar.

3D: consiste en la visualización del proyecto, se plasma por medio de modelos la representación física de la estructura que fue propuesta en las dos dimensiones anteriores, cada profesional genera la información que su área de conocimiento requiere para que se construya el proyecto acorde a los requisitos del cliente.

4D: para este caso, se hace la inclusión de la programación del tiempo a las dimensiones anteriores, lo cual incluye un nivel más de información, dado que se integra en el modelo la propuesta del tiempo que puede tomar cada actividad del proyecto, por ejemplo, da como resultado un estimado de tiempo de construcción.

5D: en la quinta dimensión, se considera la inclusión del costo al modelo, por lo tanto, se anexa al modelo el estimado de costos de los materiales necesarios para que esta sea completada acorde a los requisitos del proyecto, por ejemplo, en este caso se puede aprovechar la versatilidad de los softwares para poder cuantificar materiales y determinar el costo que estos implican.

6D: abarca la simulación del comportamiento energético y sustentabilidad con el fin de poder conocer el desempeño en estos aspectos de los proyectos, esto permite optimizar su comportamiento a nivel energético y que las propuestas aporten a la conservación de los recursos.

7D: con respecto a esta dimensión, se incluye el control y mantenimiento de cada obra en su etapa de servicio, para que se pueda gestionar la conservación del producto y mantener centralizada la información requerida para ello.

De la misma forma, existen múltiples niveles de detalle en los modelos que se generan para representar los proyectos, lo cual se conoce como nivel de desarrollo (LOD por sus siglas en inglés); estas propiedades de los modelos se definen a continuación.

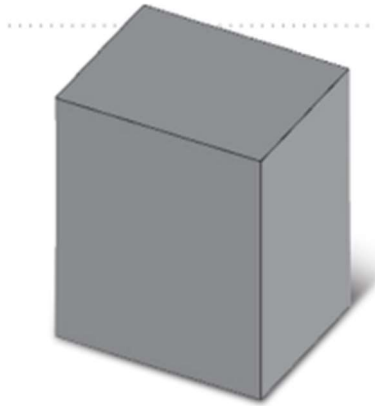
1.2.3 NDI o LOD (Nivel de desarrollo)

Actualmente, la herramienta y competencia entre los distintos proveedores de software para modelado, así como el desarrollo de flujos de trabajo, permiten que se generen modelos con distintos niveles de desarrollo. Por lo tanto, estos se clasifican con base a la cantidad de información visual y documental que incluye el modelo, así como el detalle con el que se representa cada uno.

A continuación, se definen cada uno de los niveles de detalle que se pueden encontrar en un modelo (BIM Forum Colombia, 2024):

LOD 100: se considera un diseño conceptual, ya que sirve para considerar la presencia del elemento dentro del modelo, pero no representa su forma, un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 2.

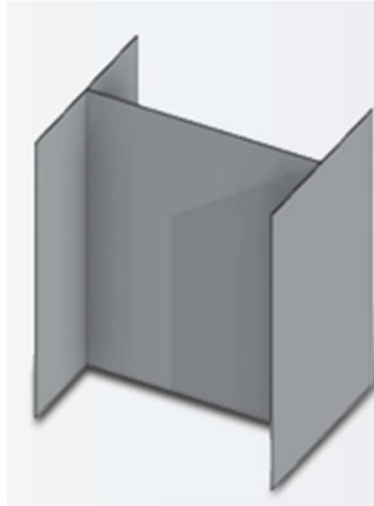
Figura 2. Representación de columna con LOD 100



Recuperado de BIM Forum Colombia (2024).

LOD 200: Esta representación abarca una geometría sencilla, por ejemplo, una silla se puede ver como un cubo alargado, por lo que, la representación aún puede carecer de fidelidad geométrica con respecto al elemento que se presenta, en la Figura 3, se muestra un ejemplo de una columna.

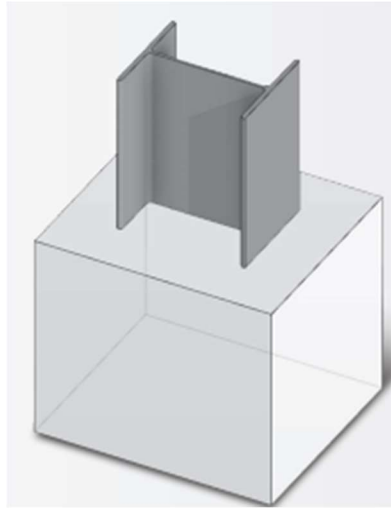
Figura 3. Representación de columna con LOD 200



Recuperado de BIM Forum Colombia (2024).

LOD 300: en este caso, se hace la representación como un sistema, es decir se considera un ensamble, con forma, tamaño, orientación. Para este punto, se puede usar el modelo como referencia para tomar algunas medidas globales de los elementos que se representan. (ver Figura 4 para conocer el nivel de detalle del LOD 300).

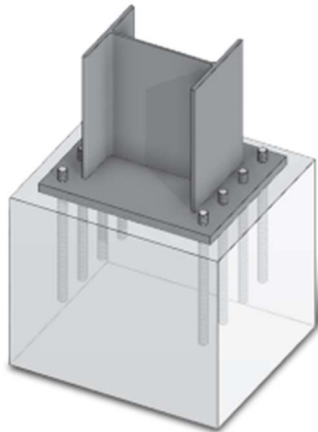
Figura 4. Representación de columna con LOD 300



Recuperado de BIM Forum Colombia (2024).

LOD 350: La representación de los elementos como un sistema es más específico, por ejemplo, las conexiones poseen mayor cantidad de detalles. Se toma en cuenta recursos necesarios para poder vincular mecánicamente distintos elementos, tal como se muestra en la Figura 5, donde se incluyen los anclajes entre la columna de concreto y de acero.

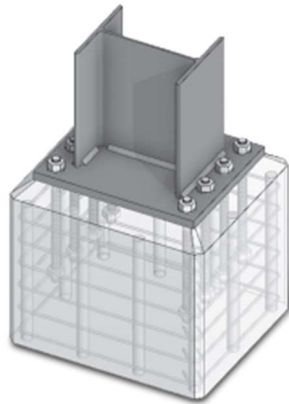
Figura 5. Representación de columna con LOD 350



Recuperado de BIM Forum Colombia (2024).

LOD 400: Para este nivel de detalle, los ensambles, elementos y componentes del modelo se representan con mayor detalle que en LOD 350. En este nivel se modela de manera detalla y exacta para fabricación o construcción, en la Figura 6, se puede ver un modelo de una columna de concreto y acero, generado a un LOD 400.

Figura 6. Representación de columna con LOD 400



Recuperado de BIM Forum Colombia (2024).

LOD 500: este es el mayor nivel de detalle que puede tener un modelo, para el cual las medidas han sido tomadas del objeto real, ya que la representación debe ser exacta. Esto sirve para generar planos As built. Además, se incluyen datos de distribuidores o modelos de referencia y especificaciones de mantenimiento.

En la Figura 7, se puede ver una transición de los diferentes niveles de detalle para la conexión de una viga y una columna, desde la representación global de los elementos, hasta la adición de la representación geométrica más detallada con volúmenes específicos y la inclusión de información adicional como datos de mantenimiento y modelos de referencia.

Figura 7. Representación de pared con distintos LOD



Recuperado de Eneca, s.f.

Para poder obtener el nivel de desarrollo requerido para cada proyecto, así como alcanzar cada una de las dimensiones BIM, se debe disponer de recursos computacionales y humano que permitan generar modelos lo suficientemente detallados tanto en geometría como información, para ello, se define a continuación, algunos de los roles de una organización alineada con la metodología BIM.

1.2.4 Roles BIM

La metodología BIM es un recurso que permite gestionar la información que forma parte de un proyecto en sus distintas etapas. Sin embargo, para poder desarrollar satisfactoriamente las actividades de manipulación y compartir la información entre los distintos involucrados, se deben asignar roles y responsabilidades. Con lo anterior, se pretende que exista una organización optimizada y se aprovechen los recursos disponibles generados en modelos tridimensionales o documentos con información del proyecto. Por lo tanto, a continuación, se definen los principales roles que han surgido como respuesta a las necesidades de la metodología BIM y la gestión de la información según Soto (2017).

Dirección BIM: se encarga de liderar la implementación BIM, toma las decisiones con respecto a los proyectos y la inversión según la etapa del ciclo de vida del proyecto.

Revisión BIM: Se encarga de visualizar y revisar la información de los modelos desarrollados bajo la metodología BIM.

Modelación BIM: Sus actividades se centran en desarrollar los modelos según los requisitos y características de los proyectos.

Coordinación BIM: Permite el flujo de información entre los distintos participantes, valida e integra los modelos de distintas especialidades para determinar conflictos; además, organiza reuniones de coordinación.

Gestión BIM: Planifica y administra los recursos humanos, tecnológicos, para la implementación y actualización de la metodología BIM.

De manera similar, Vazques (2020) define los siguientes roles BIM:

Director BIM: Lidera el proceso de implementación BIM de la empresa o las empresas participantes para que sea correctamente aplicado.

Revisor BIM: Controla los modelos según las normas y regulaciones o bases técnicas.

Coordinación BIM: Integra los modelos considerando las distintas especialidades, detecta interferencias y maneja el flujo de información.

Modelador BIM: Se encarga de modelar las distintas especialidades según sea asignado y bajo los requisitos establecidos para cada proyecto.

Gestor de operaciones BIM: Lidera el proceso de operación de proyecto con base al modelo BIM, además de la actualización del modelo con el transcurso del tiempo.

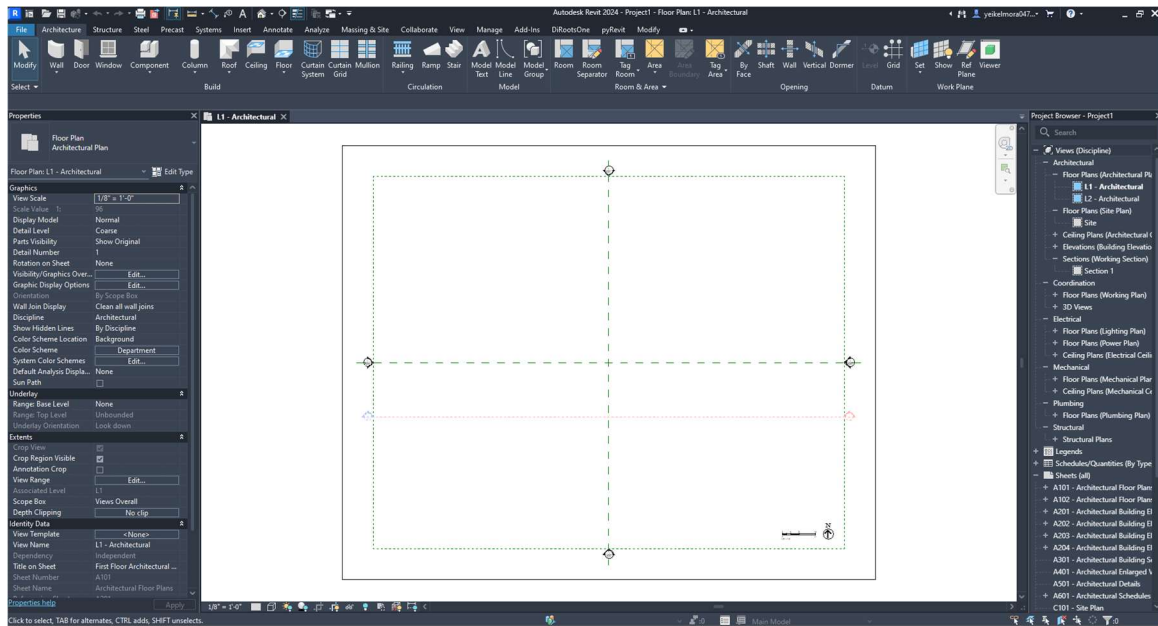
De esta forma se puede ver que, aunque los roles pueden recibir distintos nombres de un documento a otro, las actividades que se deben cumplir son similares, y se alinean con el manejo y gestión de la información que se genera a partir de modelos y documentación BIM.

1.2.5 Software BIM

A continuación, se detallan algunos de los softwares que se usan en el ámbito laboral para la elaboración de modelos digitales.

Revit: Este software es desarrollado y tiene soporte por parte de Autodesk, permite la creación de modelos tridimensionales que contienen información de cada elemento, como materiales, colores, dimensiones, peso, entre otros. Además, este software permite la colaboración en un entorno compartido del personal involucrado en un proyecto (Autodesk, s.f). En la Figura 8, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software.

Figura 8. Interfaz de Revit

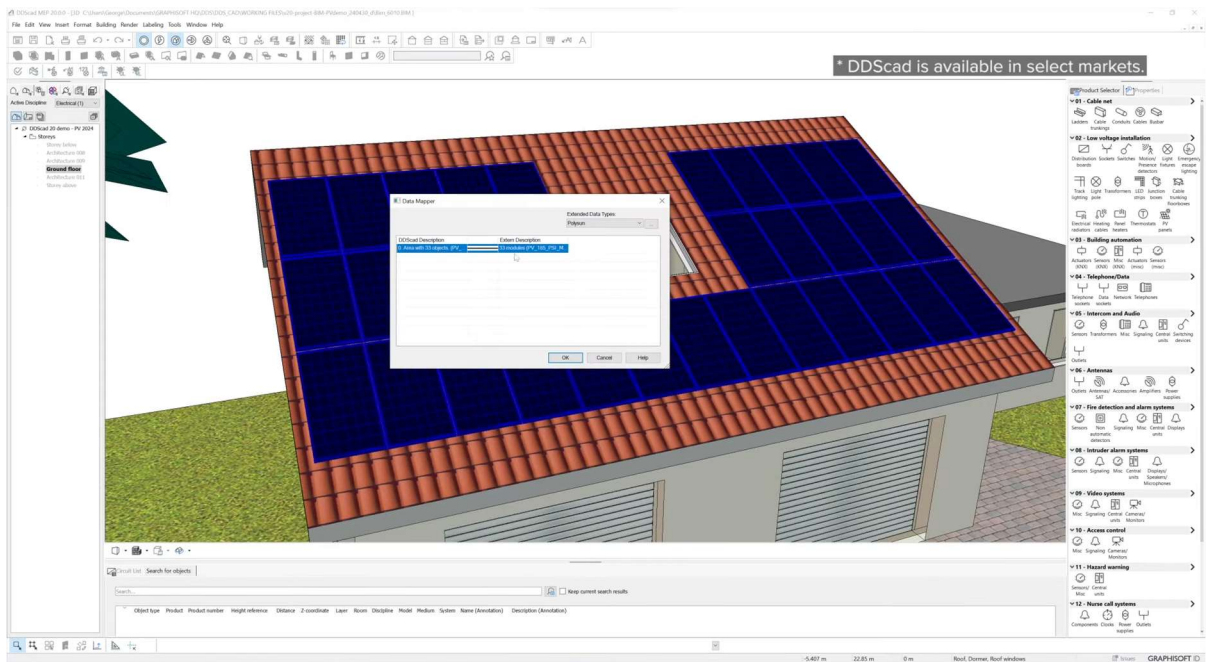


Recuperado de Autodesk (s.f).

Archicad: esta herramienta es desarrollada por Graphisoft, pensada principalmente para el diseño arquitectónico, no obstante, permite la inclusión de múltiples disciplinas y la colaboración en tiempo real. (Graphisoft, s.f). En la

Figura 9, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software.

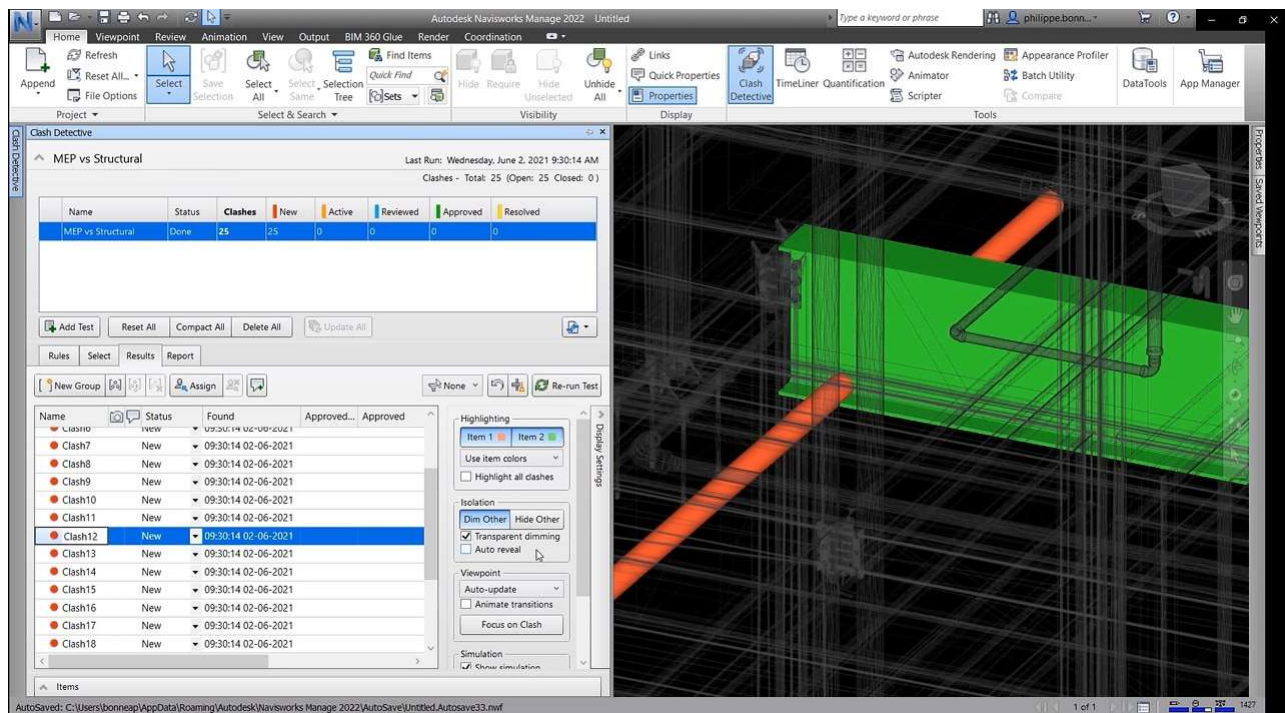
Figura 9. Interfaz de Archicad



Recuperado de Graphisoft (s.f).

Navisworks: es utilizado para poder revisar proyectos, permite la coordinación y detección de interferencias en los modelos, con tal de identificar los conflictos antes de empezar la construcción y resolver este tipo de problemas con anticipación. (Autodesk, s.f). En la Figura 10, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software.

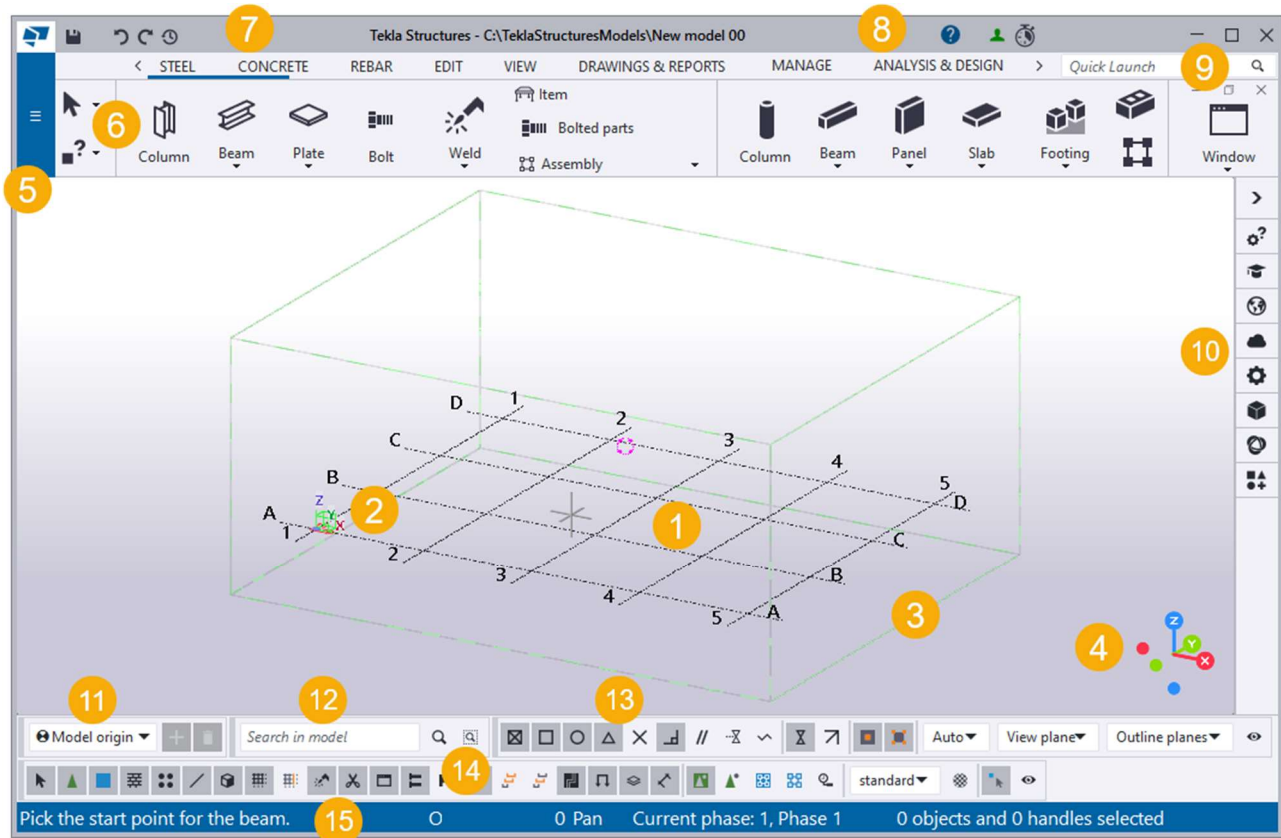
Figura 10. Interfaz de Naviswork



Recuperado de Autodesk (s.f).

Tekla Structures: es un producto especializado en la ingeniería estructural, ya que se generan modelos estructurales de manera detallada con materiales como acero y concreto. Permite la colaboración en tiempo real con trabajadores pertenecientes a otras disciplinas como arquitectura, mecánico/eléctrico. (Trimble, s.f). En la Figura 11, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software.

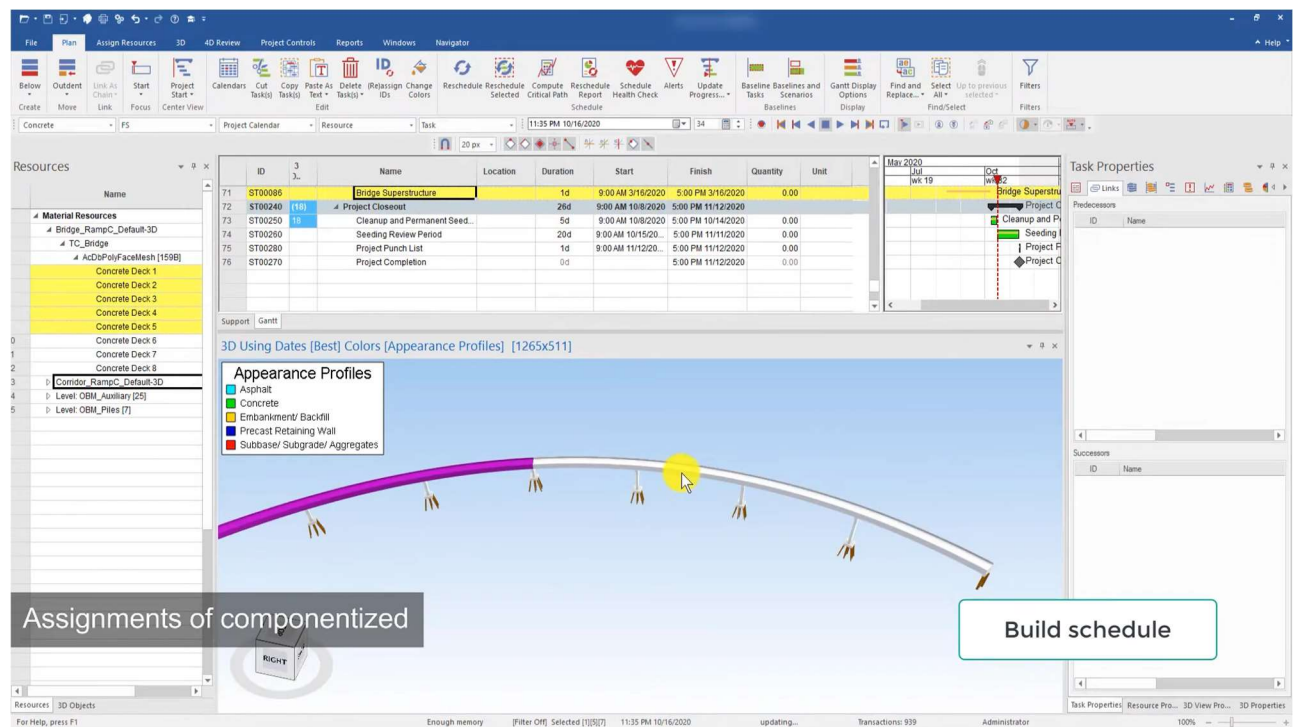
Figura 11. Interfaz de Tekla Structures



Recuperado de Trimble (s.f).

Synchro 4D: Al igual que Navisworks, este software de Bentley Systems, se especializa en la planificación y gestión 4D de proyectos constructivos, lo que permite la integración de la programación de obra, la simulación de procesos y la identificación de problemas en los modelos. (Bentley Systems, s.f). En la Figura 12, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software.

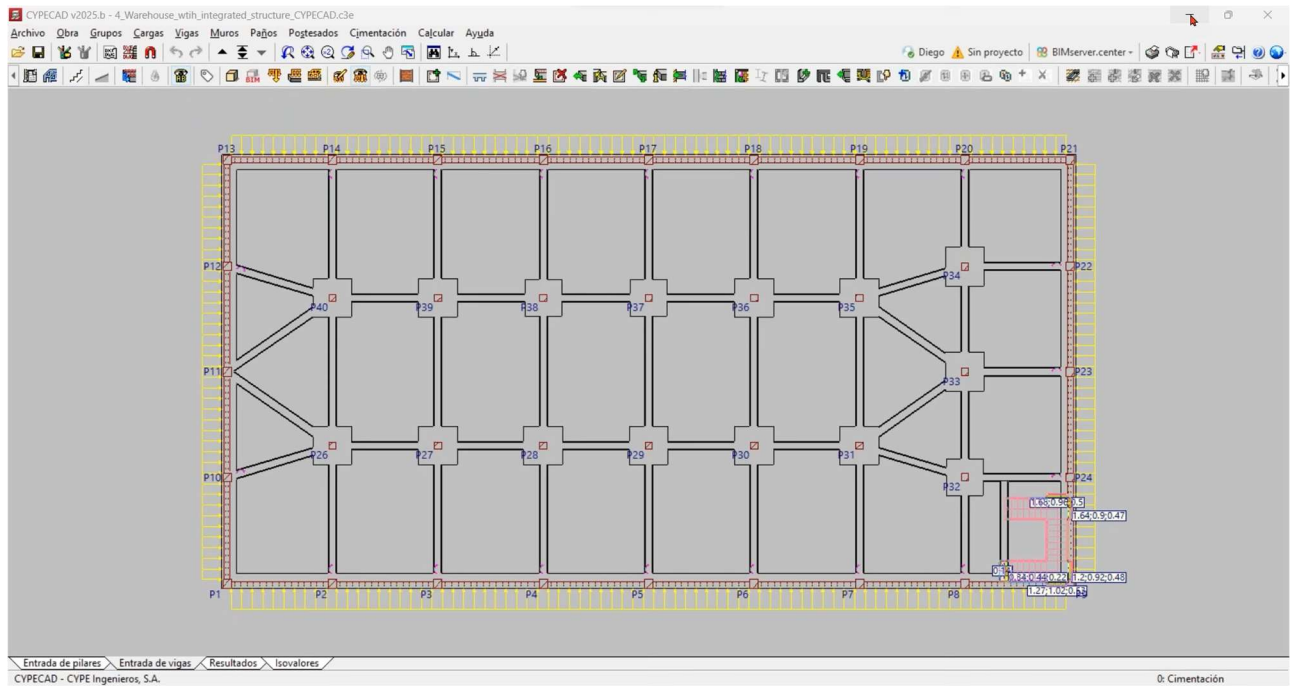
Figura 12. Interfaz de Synchro 4D



Recuperado de Bentley Systems (s.f).

Cypecad: es un software desarrollado por CYPE Ingenieros que se utiliza para el cálculo y diseño de estructuras de edificios. Su principal funcionalidad incluye la realización de análisis estructurales y el diseño de elementos estructurales en concreto y acero, no obstante, este también es considerado un software BIM, ya que permite la exportación a documentos con formato IFC, así como la cuantificación de materiales para la integración de dimensiones superiores a la 3D, como en este caso, la dimensión 5D (Costos). Cypecad permite realizar estudios de comportamiento estructural por medio de modelos 3D y la generación de informes. (Cype Ingenieros, s.f). En la Figura 13, se puede ver un ejemplo de la interfaz del software Cypecad.

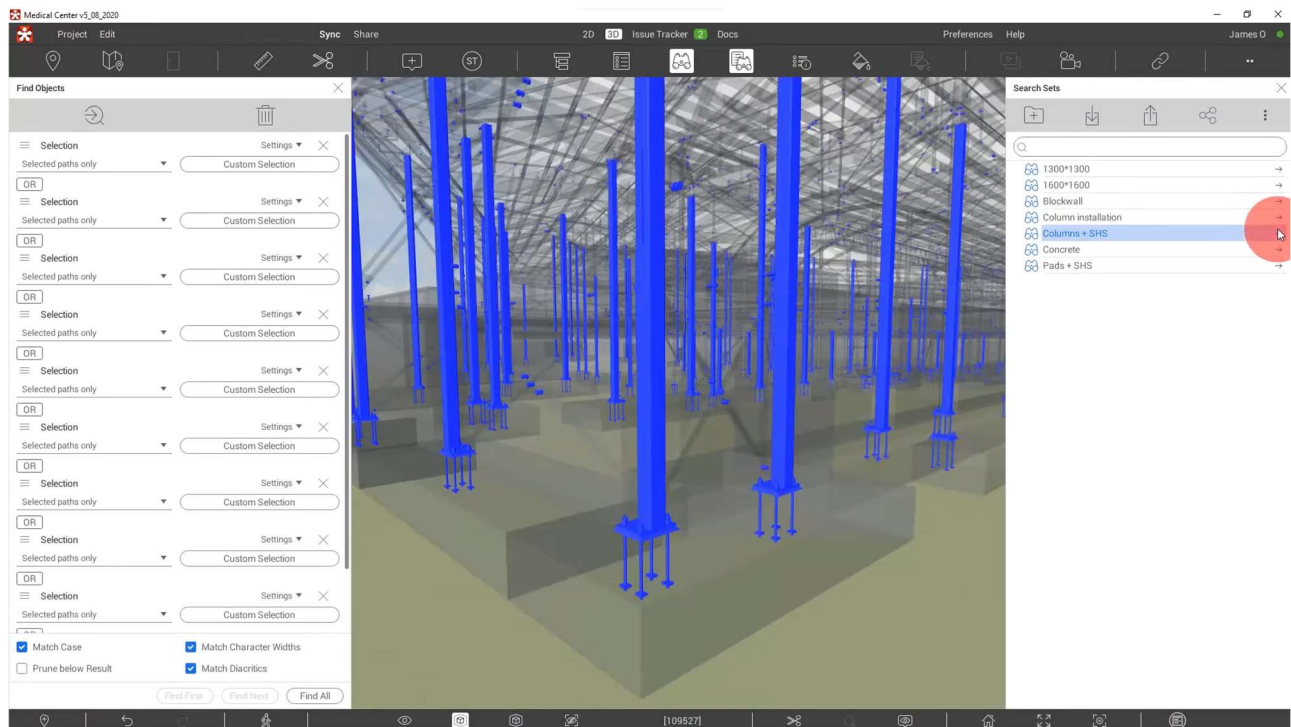
Figura 13. Interfaz de Cypecad



Recuperado de Cype Ingenieros (s.f).

Revizto: Este software permite la revisión y verificación de modelos, utilizando una plataforma de colaboración integrada, esta centraliza la información para poder ser compartida con integrantes del proyecto. Además, permite la actualización en tiempo real, también favorece el monitoreo e identificación de interferencias en los modelos. (Revizto, s.f). En la Figura 14 se puede observar un ejemplo de la interfaz de Revizto.

Figura 14. Interfaz de Revizto



Recuperado de Revizto (s.f).

En este apartado, es necesario incluir la definición de algunos criterios importantes que permiten realizar la selección de un software para el uso en una empresa, con el fin de poder ser utilizados posteriormente para el desarrollo del segundo objetivo específico para el diseño de un sistema de planificación, monitoreo y control de construcción de un proyecto.

1.2.5.1 Criterios para selección de software

Cuando se procede a elegir en una empresa los software que se van a utilizar para el desarrollo de las actividades cotidianas, se toma en cuenta una serie de características con las que estos deben cumplir a fin de que puedan ser accesibles y usados por el personal de manera cotidiana, y que, el resultado obtenido se alinee según los requisitos establecidos por la empresa. Debido a esto, se presentan algunas de las características que se pueden considerar en la selección de programas computacionales.

- 1- Costo de licencia
- 2- Interoperabilidad
- 3- Facilidad de uso
- 4- Visualización de la interfaz gráfica
- 5- Conocimiento de la empresa acerca del software

A continuación, se describen los criterios mencionados y que permiten la selección de un software entre distintas opciones disponibles AGESIC (2019):

Costo de licencia: El costo de la licencia es un factor crucial en la selección de software, ya que impacta directamente en el presupuesto de la empresa e incluso puede limitar la cantidad de dispositivos que pueden contar con acceso al programa de manera simultánea.

Interoperabilidad: esta característica permite asegurar que el software se pueda integrar y funcionar con otros.

Facilidad de uso: La facilidad de uso es esencial para garantizar que los empleados puedan utilizar el software, el programa debe ser intuitivo o requerir menor tiempo invertido para poder aprender a usarlo.

Visualización de la interfaz gráfica: en el caso de la interfaz gráfica, si esta se encuentra debidamente desarrollada y diseñada, se vuelve intuitiva y mejora la experiencia del usuario.

Conocimiento de la empresa acerca del software: Es apropiado que los involucrados tengan al menos una noción del software, ya que la experiencia previa permite reducir la curva de aprendizaje y facilitar el proceso de implementación.

1.2.6 Detección de interferencias y vinculación de archivos

Uno de los aspectos que se deben considerar al realizar la inclusión del control de proyectos durante la planificación, monitoreo y control en la fase constructiva es la coordinación de los modelos, ya que esto permite identificar si existe algún tipo de interferencia entre las distintas disciplinas que lo conforman, para evitar resolver los conflictos entre las disciplinas (MEP¹, estructural, arquitectónico) durante la etapa constructiva, según Ventura (2021):

Con el *Clash Detection* podremos ubicar y prever las colisiones, incompatibilidades o interferencias desde el diseño gracias al modelo BIM, normalmente sin este recurso, estos errores se habrían detectado al momento de ejecutar la obra lo que nos ocasionaría un mayor gasto de lo estable y retraso en el cronograma del proyecto.

Por lo tanto, el uso de los modelos tridimensionales y la detección de interferencias durante la planificación de las obras constructivas permite resolver imprevistos antes de empezar la construcción, reduciendo el impacto en el costo final. Incluso advertir a los profesionales involucrados del diseño sobre las inconsistencias que se presenten, alcanzando la corrección de los inconvenientes anticipadamente.

Adicionalmente, para la vinculación de modelos se puede hacer de distintas formas, esto forma parte del concepto de BIM, ya que, en ese caso, múltiples participantes del modelado de un proyecto pueden tener al alcance de sus manos las actualizaciones realizadas por otros participantes. Ante lo anterior, una utilidad de ello es el escenario donde varias disciplinas involucradas están desarrollando los modelos 3D, por ejemplo,

¹ El término MEP se refiere a las especialidades Mecánica, Eléctrica y Pomería en conjunto por sus siglas en Inglés.

que el modelo arquitectónico sea usado como base para que los modelos MEP y estructural. Tal como lo indica Autodesk (s.f), se puede usar este recurso para relacionar edificios independientes en un mismo emplazamiento para proyectos cuyos equipos de modelado son separados o se encargan de distintas disciplinas.

1.2.7 Planificación, monitoreo y control de obra.

La planificación de obras constructivas implica la preparación para el desarrollo de proyectos de construcción, ya que permite definir de manera estructurada las actividades, los recursos y los plazos necesarios para ejecutar una obra con eficiencia. Según Kerzner (2022), la planificación establece los objetivos y las estrategias de control para minimizar riesgos en el uso de los recursos. En el ámbito de la construcción, la planificación se realiza mediante herramientas como cronogramas de trabajo, diagramas de Gantt y metodologías basadas en Building Information Modeling (BIM), lo que permite una gestión integrada y precisa de los procesos constructivos (Eastman et al., 2011).

El monitoreo de obras constructivas, por otro lado, implica el seguimiento del progreso de la construcción con relación al plan establecido. Este proceso es esencial para garantizar que la obra se desarrolle conforme a los plazos, el presupuesto y la calidad esperada. Según Project Management Institute (2017), el monitoreo y control en proyectos de construcción permite detectar desviaciones tempranas, aplicar medidas correctivas y mejorar la toma de decisiones en tiempo real.

El control de cronograma se puede definir como las actividades que permiten mantener un registro estructurado de información para comparar con las suposiciones realizadas de la duración de un grupo de procesos para completar una tarea definida desde el inicio hasta el fin. Definirlo implica que se puedan tomar decisiones y realizar cambios en la programación de obra si se presentan atrasos o algún imprevisto que modifique lo estipulado en el progreso. Según la sexta edición de la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, el control del cronograma se define como:

[...] el proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios de la línea base del cronograma a fin de cumplir el plan. El beneficio clave de este proceso es que proporciona los medios para detectar desviaciones con respecto al plan y establecer acciones correctivas y preventivas para minimizar el riesgo. (Project Management Institute, 2017)

En cuanto a BIM 4D se refiere a la integración de la programación con los modelos 3D, lo cual permite visualizar el progreso de la construcción a lo largo del tiempo (Mahalingam *et al*, 2015). Esta capacidad de simulación temporal permite identificar conflictos antes de que ocurran en el sitio de construcción, mejorando la planificación y el monitoreo del proyecto (Staub y Khanzode, 2007).

Cuando se habla de BIM 4D, no se debe entender únicamente esta dimensión como la detección de interferencias entre modelos tridimensionales, este concepto es más amplio y abarca más posibilidades, por ejemplo, Aredah *et al* (2021) mencionan que la programación 4D permite a los involucrados identificar, evaluar

y coordinar cada componente de una obra constructiva, con el fin de poseer el control de los recursos disponibles e incluso gestionar para conseguir los que sean necesarios en eventos futuros.

Adicionalmente, la inclusión de la cuarta dimensión en modelos tridimensionales permite que se obtengan representaciones visuales dinámicas para las actividades constructivas. Es decir, un elemento significativo es la funcionalidad de la visualización para detectar conflictos en espacios de trabajo y analizar el progreso. Por lo tanto, BIM 4D permite apoyar la toma de decisiones informadas, ya sea para el emplazamiento de sistemas constructivos sin conflictos entre ellos, desarrollo de logística y el análisis de constructibilidad de un proyecto (Mayouf *et al*, 2024).

Por lo que, al combinar el uso de los softwares BIM con las herramientas para el control de cronograma se puede hacer que los involucrados en un proyecto puedan colaborar de manera eficiente, compartiendo información en tiempo real y asegurando que todos los participantes trabajen con la información actualizada (Liu, Issa y Olbina, 2010). Esto se logra utilizando recursos como almacenamiento en la nube, plataformas y software especializado para la transferencia de datos, ejemplos de esto son: Onedrive, Google Drive, BIM 360, entre otros.

1.2.8 Nomenclatura de archivos con estándares BIM

Para poder aplicar la metodología BIM adecuadamente, es necesario que la información esté disponible para los participantes del diseño, planificación, construcción y mantenimiento de los proyectos. Para ello, se debe hacer uso de entornos comunes de datos (ECD), los cuales corresponden a un recurso virtual asignado al almacenamiento de la información donde se puede consultar la documentación, modelos y datos que cada especialidad o participante pone a disposición de los demás integrantes del grupo, con el fin de conocer el estado de la información, el progreso y cualquier intervención que se deba realizar.

En la Ley Marco de Tecnologías de Gestión y Desarrollo de Información para la Construcción y Operación de Edificaciones e Infraestructuras Públicas (2024), se establecen que se requiere como mínimo cuatro estados de la información: en progreso, lo cual significa que aún se está desarrollando la información; compartida, que es información en revisión y validación; publicada, que implica que la información se puede usar por otras personas para diseño o construcción; y archivada, en la cual la información se almacena para trazabilidad.

También, es necesario incluir en este apartado los recursos para la gestión de la información compartida entre los participantes de los proyectos, ya que, como se mencionó, BIM implica la colaboración en tiempo real de múltiples partes, ya sea encargados de modelado, documentación, ingenieros diseñadores, supervisión, cliente. Por lo tanto, los archivos que se comparten en el entorno común de datos deben responder a un sistema de nomenclatura, de manera que se entienda por este detalle, aspectos como: la empresa encargada de la modificación del archivo, o el creador, la versión del documento, si está disponible para el uso, en proceso de revisión, la categoría de documento a la que hace alusión, y en casos como planos, la especialidad a la que pertenece (MEP, Estructural, Arquitectónico).

Con el uso de nomenclatura, se puede garantizar la consistencia y claridad en la información compartida, lo que permite reducir los errores o malentendidos en caso de que, por alguna razón no pueda haber una comunicación directa entre la entidad que publicó o generó el archivo y la entidad que requiere de la información contenida en dicho archivo.

Un ejemplo de estandarización de nomenclatura es la hecha por BuildingSmart Spain (2023) en su Manual de Nomenclatura de Documentos al Utilizar BIM, la cual se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Ejemplos de nomenclatura para documentación propuesto por BuldingSmart Spain

Edificación

Obra Civil

Los ejemplos corresponden a la designación de un archivo para una edificación y el otro para una obra civil, en cada caso se indica los elementos que son de carácter obligatorio en el nombre, junto con los que pueden ser opcionales. *Recuperado de BuildingSmart Spain 2023.*

El significado de cada uno de los espacios se describe a continuación (BuildingSmart Spain, 2023):

- 1- **Proyecto:** Se le puede conocer como nombre del expediente y hace alusión al proyecto en general, no debe ser confundido con alguna especialidad, su extensión es entre 2 y 12 caracteres, de uso obligatorio.
- 2- **Creador:** Se usa para identificar a la empresa que creó el documento, es decir indica la autoría, con una extensión de 3 a 6 caracteres y de uso obligatorio.
- 3- **Volumen o sistema:** indica las agrupaciones o subproyectos en los que se divide el proyecto, de 2 a 3 caracteres y de uso obligatorio.
- 4- **Nivel o localización:** es un recurso que implica un nivel de detalle mayor del volumen o sistema, donde, por ejemplo, se indica en cual nivel se está trabajando, como un segundo piso, de 3 caracteres y de uso obligatorio.

- 5- **Tipo de documento:** se usa para demarcar la tipología del documento, si corresponde a un modelo, plano u otros, es de 3 caracteres y de uso obligatorio.
- 6- **Disciplina:** caracteriza la disciplina a la que corresponde el archivo, como estructural, arquitectónico MEP, entre otros, es de 3 caracteres y de uso obligatorio.
- 7- **Número:** Se utiliza para denotar partes, se usa como diferenciador de archivos con nombres iguales, es de 3 caracteres numéricos y de uso obligatorio.
- 8- **Descripción:** Corresponde a un texto que describe el documento y permite comprender el contenido, no tiene límite de caracteres y su uso es opcional.
- 9- **Estado:** este campo se usa para dar a conocer si el archivo está en proceso de desarrollo, revisión o publicado para el uso, se usan dos caracteres y es de uso opcional.
- 10- **Revisión:** Identifica la versión del documento consultado, es creciente conforme se obtienen revisiones del archivo, es de cuatro caracteres y es un campo opcional.

1.3 Filosofía Lean construction y look ahead.

El concepto de *Lean Construction* se abarca como una filosofía de gestión que busca maximizar el valor de los proyectos al optimizar las actividades que se deben llevar a cabo para obtener un producto, así como, eliminar o reducir aquellas actividades que no agregan algún tipo de valor, por ejemplo, se consideran las demoras, defectos en los productos, excesos de producción, exceso de procesado, inventario excesivo, transporte innecesario, o movimiento no útil de personas (Porrás et al, 2014).

Igualmente, no se puede considerar *Lean Construction* como un instructivo o un paso a paso, ya que, como lo mencionan Porrás et al (2014):

Lean Construction es una nueva forma de ver la producción, no un modelo o unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “Lean” para la gestión de los proyectos constructivos

Por lo tanto, es un recurso para interpretar de otra forma los procesos que permiten obtener un producto de un conjunto de actividades constructivas, como lo son elementos estructurales, mecánicos, o arquitectónicos, pero de forma optimizada reduciendo los costos y tiempos de entrega.

Paralelamente, la filosofía *Lean Construction* cuenta con múltiples herramientas, un ejemplo es el *look ahead*, este concepto también se conoce como planificación intermedia, la cual permite controlar los flujos de trabajo y determinar lo que se debe hacer en las próximas semanas de planificación, en algunos casos esta proyección se puede realizar para las próximas 2 o 3 semanas, de tal forma que se tiene una noción clara por parte de los involucrados como maestros de obra, ingenieros residentes o subcontratistas

de las responsabilidades o metas que se aproximan, para que gestionen los recursos con tal de completar cada tarea asignada (Morote et al, 2009).

Con el fin de poder cumplir con la carga de trabajo proyectada para las próximas semanas, es necesario que se verifiquen algunos requisitos, por ejemplo, Morote et al (2009) indican que, se deben definir las actividades, se deben plantear las restricciones que se pueden presentar y que de alguna forma puedan impedir que se alcancen los objetivos propuestos, adicionalmente se debe hacer un inventario de trabajo ejecutable, con tal de conocer la capacidad de producción a partir de los recursos disponibles. Por último, equilibrar la carga de trabajo con la capacidad de los distintos recursos, para asignar objetivos alcanzables en el tiempo propuesto.

Capítulo 2: Metodología

El desarrollo del presente proyecto se hizo por medio de un enfoque cualitativo con un propósito aplicativo, en el que; primero, la información funcionó como base para poder definir los requisitos de la empresa para la implementación de BIM 4D, considerando las necesidades de los involucrados en el departamento de Proyectos y el departamento de Modelado, la definición de los requisitos de las herramientas de planificación, monitoreo y control, hasta la implementación de las mismas y la elaboración de una guía de uso.

En cuanto a las categorías, se definieron las siguientes: Madurez BIM, detección de interferencias, optimización de la planificación, monitoreo y control de proyectos, aplicación de las herramientas generadas, capacitación del personal de los departamentos, elaboración de la guía de implementación de las herramientas y transferencia de información.

Con relación a las variables, se tomó en cuenta lo siguiente: nivel de madurez BIM de la empresa, interferencias en modelos, herramientas de planificación, monitoreo y control de obra, recursos de intercambio de información.

Para el presente caso se tuvo que considerar la población meta o sujetos como fuente de información, compuesta por todos los colaboradores pertenecientes al departamento de Proyectos y al departamento de Modelado, un total 13 personas.

Por otro lado, las fuentes de información utilizadas para el presente documento fueron primarias, como encuestas realizadas al personal de la empresa Construcciones Peñaranda S.A., así como fuentes secundarias que incluían investigaciones de trabajos finales de graduación de otros estudiantes y documentación de gobiernos para propuestas de implementación BIM.

Con respecto a los instrumentos de recolección de información, se emplearon encuestas realizadas al personal clave. Para el análisis y presentación de los resultados se usaron gráficos, tablas o diagramas.

Con relación a los softwares: Revit, MS Project y Navisworks se emplearon en la planificación, monitoreo y control de los proyectos constructivos complementados con una plantilla para la interoperabilidad.

Por consiguiente, la metodología inició con la definición del estado actual de la empresa y el nivel de madurez por medio de encuestas y el uso de diagramas, gráficas de pastel o de barras que presentaban la estructura organizacional. Esto con tal de reconocer los aspectos a intervenir y la cantidad de empleados que formaban parte del proceso.

En los apéndices 1 y 2 se presentan los respectivos formularios aplicados a cada departamento. Esto se hizo por medio de los servicios que ofrece Google con "Formularios de Google", facilitando que las

personas los completaran desde cualquier dispositivo con posibilidad de conexión a internet y acceso a esta plataforma.

Seguidamente, se procedió a generar las herramientas que permitieron la interoperabilidad de los softwares de modelado, planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos. Para este apartado se realizó un análisis multicriterio con 3 opciones de software: Navisworks, Synrho 4D y Revizto, que complementarían los usados en la empresa, es decir Ms Project y Revit.

Para interconectar los modelos y poder realizar la interoperabilidad de los programas se hizo uso de un complemento de Revit llamado *NWC exporter*, el cual permitió generar los archivos que se incluyeron en el software Navisworks. En este último se trabajó la planificación de un proyecto por medio de diagramas de Gantt y la programación de actividades, aprovechando que este software permite generar animaciones o vinculación de elementos.

También, se incluyeron los *plugins* de *Clash Navigator* o *Clashes Manager*, para incluir los reportes de interferencias de Navisworks a Revit con el propósito de resolver los conflictos en los modelos.

Posteriormente, fue necesario elaborar una plantilla de MS Project para poder calcular valores de atraso, avance esperado, y avance actual de los proyectos. Además, se incluyeron apartados para hacer que Navisworks reconociera las tareas del archivo de programación y actualizara los datos existentes o vinculara los nuevos.

En cuanto al desarrollo del tercer objetivo, este se hizo por medio de la elaboración de una guía de implementación de las herramientas generadas, esta incluía cómo se debían crear los archivos necesarios en cada programa. Además, en la guía se incluyó cómo se enviaban los archivos entre cada uno de los programas con tal de poder utilizar la información para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos. Al mismo tiempo, se hicieron capacitaciones del personal por medio de charlas donde se les mostraba la guía con explicaciones de uso.

Finalmente, a modo de resumen, en la Tabla 1 se presentan los objetivos del trabajo final de graduación, junto con las actividades desarrolladas en cada uno, los instrumentos utilizados y los resultados esperados

Tabla 1

Objetivos específicos planteados, actividades realizadas, instrumentos usados y resultados obtenidos

Objetivos específicos	Actividades	Instrumentos Utilizados	Resultados esperados
OE1: Determinar cuáles son los procesos utilizados desde hace un año hasta la actualidad en la implementación BIM de la empresa Construcciones Peñaranda S.A en el departamento de Proyectos y el departamento de Modelado, por medio de la recolección documental de información, con el fin de establecer los procesos a intervenir en el uso de la metodología BIM durante la etapa de ejecución de los proyectos constructivos.	Se llevaron a cabo encuestas al personal del departamentos de Proyectos y el departamento de Modelado. Procesamiento de datos y presentación en figuras.	Cuestionarios a través de formularios de Google para el departamento de proyectos y de modelado.	Estado actual de la implementación de BIM con una discusión de los puntos a intervenir en la empresa en cuanto a los recursos usados para la planificación, el monitoreo y control de los proyectos en el ciclo de vida de ejecución.
OE2: Diseñar un proceso de planificación, monitoreo y control de obra utilizando la metodología BIM por medio de la implementación de los softwares Revit, Ms Project y Navisworks para la incorporación de herramientas de gestión colaborativa de proyectos en su etapa de inversión.	Diseño de una plantilla para la integración de MS Project y Navisworks, junto con la vinculación de Revit a Navisworks, así como, la resolución de interferencias en modelos	Revit, MS Project, Navisworks	Plantilla y estándares que faciliten la planificación, monitoreo y control de proyectos
OE3: Implementar las herramientas colaborativas de planificación de la ejecución, control y monitoreo desarrolladas con base a la metodología BIM en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, con el fin de transmitir los recursos generados a los trabajadores de los departamentos.	Capacitación del personal de la empresa el departamento de modelado y el de proyectos. Elaboración de la guía de aplicación de las herramientas generadas. Demostración de uso de las herramientas y guías en las charlas explicativas.	Revit, MS Project, Navisworks	Guía de aplicación de las herramientas. Personal capacitado para el uso de las herramientas.

Capítulo 3: Resultados y análisis de resultados

Con tal de poder desarrollar la propuesta de procedimientos basados en modelos tridimensionales para la planificación, monitoreo y control en la etapa de ejecución de los proyectos constructivos de la empresa Construcciones Peñaranda S.A, fue necesario conocer cuál era el nivel de madurez que tenía la empresa en este tema. Asimismo, conocer las herramientas que tenían disponibles, el nivel de conocimiento en el uso de las herramientas y de la dimensión 4D de BIM. Por otro lado, se tomaron en cuenta las necesidades externadas por los trabajadores de cada departamento involucrado. Por lo tanto, seguidamente se presentan los resultados del primer objetivo específico.

3.1 Estado actual de los procedimientos y la implementación de la dimensión 4D de BIM en la empresa.

Inicialmente, la empresa Construcciones Peñaranda S.A se encontraba en proceso de implementación y estandarización de la metodología BIM. Esta contaba con múltiples departamentos, como el de modelado 3D por medio de Revit, el departamento de Proyectos, Presupuestos, entre otros. Por lo que, como parte del proceso en la empresa, se generaban presupuestos para la participación en licitaciones. Posteriormente si se obtenía la adjudicación, en el departamento de Modelado se generaban las representaciones en tres dimensiones de los proyectos con el propósito de extraer cuantificaciones para elaborar el presupuesto final y tener presente los recursos que el departamento de Proyectos necesitada controlar para la ejecución de cada obra constructiva.

La situación de la empresa en cuanto a la implementación de la metodología BIM se centraba en que disponían de una herramienta generada previamente en una práctica dirigida llamada “Implementación de una metodología para la Integración y Gestión de Información entre los Departamentos de Modelado y Proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.”, en la cual se estandarizaron familias para poder asociar la información de cuantificación de materiales obtenida de los modelos con la base de datos de O4Bi

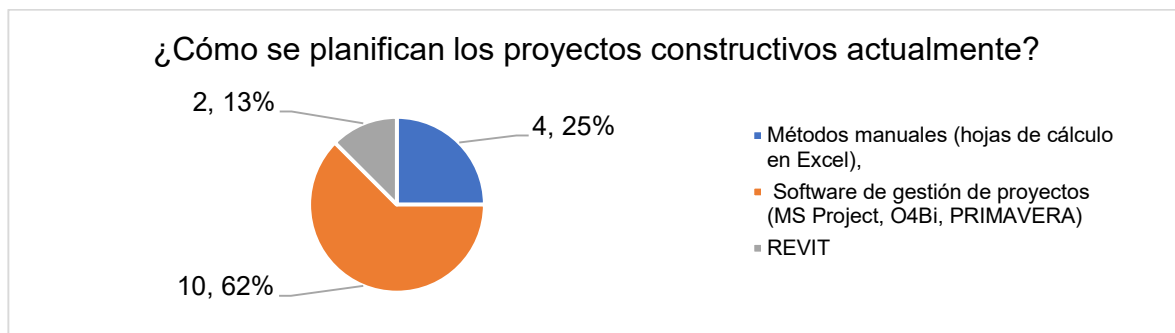
que disponía la constructora. Esta herramienta se basaba en plantillas que contenían los elementos de modelado usados típicamente, los cuales estaban asociados a keynotes para usarlos en tablas de planificación y agilizar el proceso de cuantificación y determinación de costos.

Aunque esta herramienta representa un avance en la integración inicial de datos entre los departamentos, su funcionalidad seguía limitada al modelado 3D y la cuantificación, dejando de lado la posibilidad de integrar variables temporales para la planificación. Esto reflejaba que la empresa, aunque orientada a BIM, no había logrado unificar sus flujos de trabajo ni explotar las capacidades de interoperabilidad que permitiría la metodología BIM con la cuarta dimensión.

De esta manera, con tal de definir el punto de partida para la implementación de la cuarta dimensión de BIM, fue necesario aplicar encuestas que permitieron definir el nivel de madurez de la empresa con respecto a la implementación de esta metodología y proponer las herramientas e insumos necesarios para completar los objetivos propuestos.

En primer lugar, se puede ver en la Figura 16 que la forma en la cual se planificaban los proyectos en el departamento de Proyectos era por medio de software o herramientas como las hojas de cálculo de Excel de Microsoft. También, se usaban programas como Ms Project, O4Bi y Revit para la planificación (los diez integrantes del departamento de proyectos utilizaban estas herramientas), donde se creaban las actividades con sus respectivas tareas y el tiempo estimado para cada una de ellas.

Figura 16. Forma de planificación de los proyectos constructivos

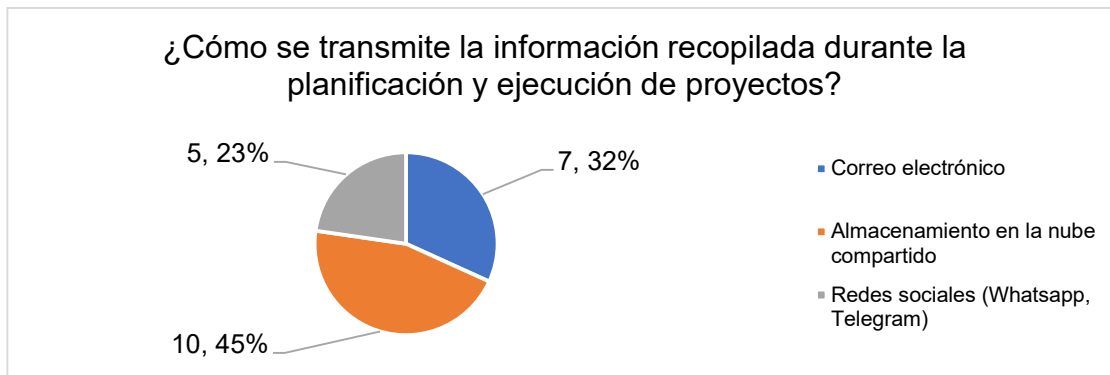


Sin embargo, la dependencia de Excel para tareas de control de cronograma, combinado con el uso disperso de herramientas como Ms Project, Revit y O4Bi, reflejaba una fragmentación en los flujos de trabajo. Esta desconexión dificultaba la trazabilidad de cambios y la automatización, lo que limitaba el potencial de estos recursos para proporcionar información en tiempo real y generar un control integrado.

Adicionalmente, en la Figura 17 se puede ver que siete de los empleados usaban correos electrónicos como recurso para la transmisión de la información. Por otro lado, los diez integrantes del departamento indicaron que usaban el almacenamiento en la nube compartido y cinco de ellos empleaban redes sociales como Telegram o WhatsApp.

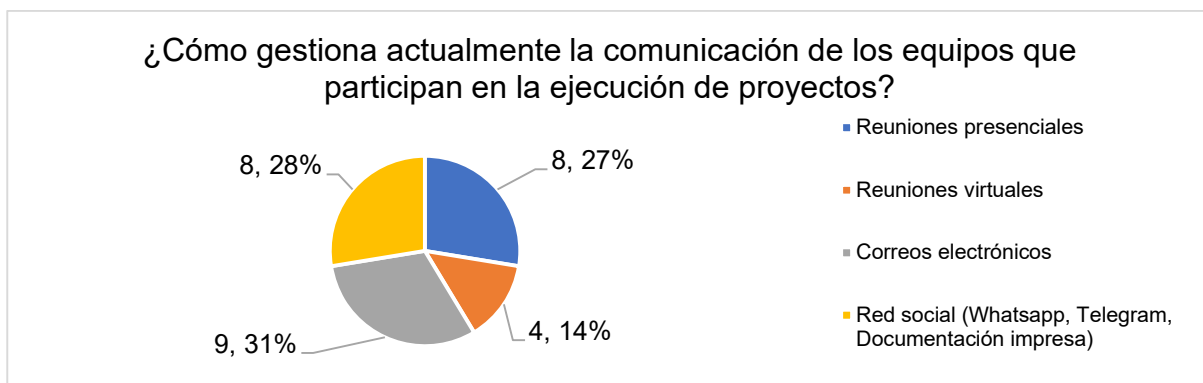
El uso predominante de correos electrónicos y redes sociales como medio de comunicación evidenciaba una falta de herramientas centralizadas para la gestión de información y comunicación. Esto no solo generaba ineficiencias, sino que también aumenta el riesgo de pérdida o malinterpretación de datos clave para el desarrollo de los proyectos.

Figura 17. Medios de transmisión de información recopilada en proyectos constructivos



También, se debía considerar que la comunicación y la gestión de la información eran parte de las actividades que se realizaban durante la planificación, monitoreo y control de la ejecución de un proyecto constructivo. Por consiguiente, en la Figura 18 se puede ver que el uso de los correos electrónicos representaba el principal recurso para facilitar la comunicación entre los integrantes de los proyectos constructivos con un total de nueve trabajadores, seguido por las reuniones presenciales y redes sociales con ocho personas, para finalizar con cuatro personas que utilizaban las reuniones virtuales.

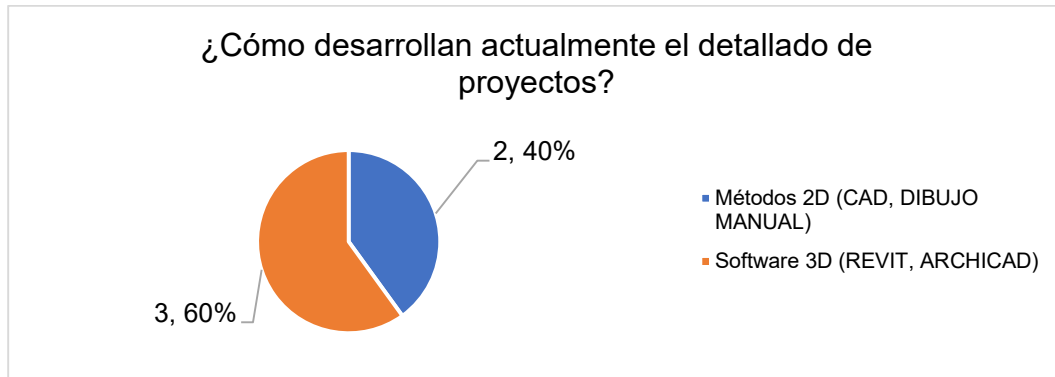
Figura 18. Medios de gestión de la comunicación de los equipos participantes en la ejecución de proyectos



De la misma forma, con respecto al departamento de modelado, se obtuvieron los siguientes resultados de la Figura 19 para la producción de modelos. Se puede observar que los recursos que se

utilizaban para el modelado eran tridimensionales por medio de Revit y con complemento de dibujo 2D con AutoCAD.

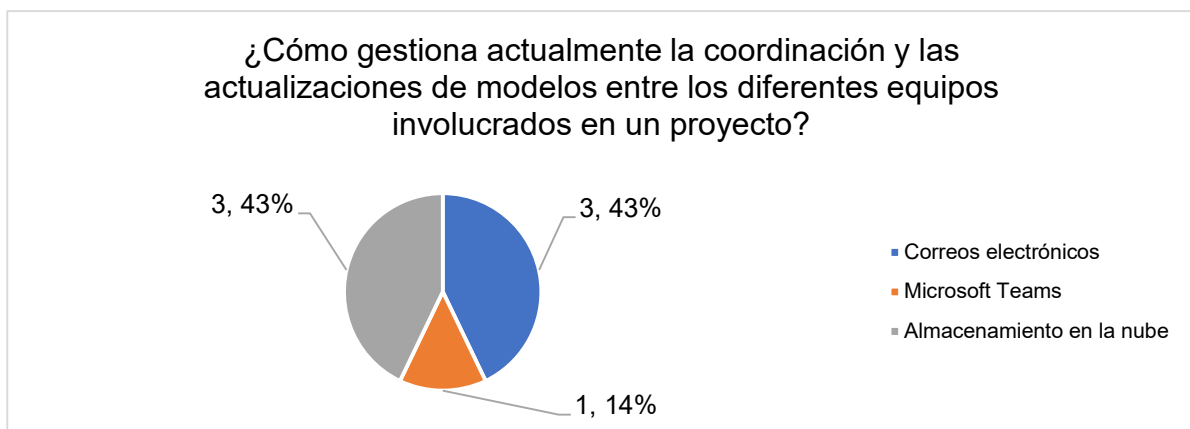
Figura 19. Elaboración de detallado de proyectos constructivos



Para la actualización de modelos, la coordinación del desarrollo y detallados en planos para proyectos se hacía por medio del almacenamiento compartido en una nube (usado por tres de los trabajadores). También, tres empleados utilizaban los correos electrónicos para actualizar la información de los modelos, y finalmente se llevaban a cabo reuniones virtuales (ver Figura 20).

El uso del almacenamiento compartido y la dependencia de correos electrónicos o redes para la actualización de modelos reflejaba una falta de procesos estructurados para la gestión colaborativa. Esto podría llevar a errores de coordinación, especialmente en proyectos complejos.

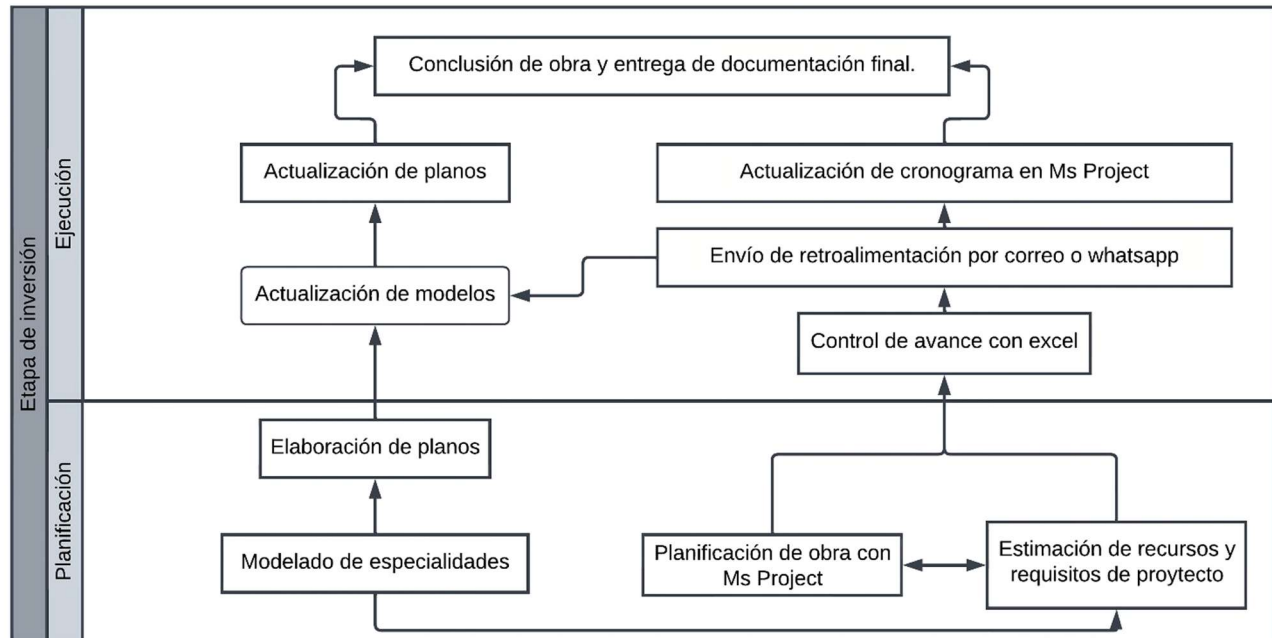
Figura 20. Coordinación y actualización de modelos entre el departamento de modelado y proyectos



Complementariamente, en la Figura 21 se representa el proceso que se llevaba a cabo durante la planificación y ejecución de los proyectos, en la cual, se demuestra la independencia de los procedimientos

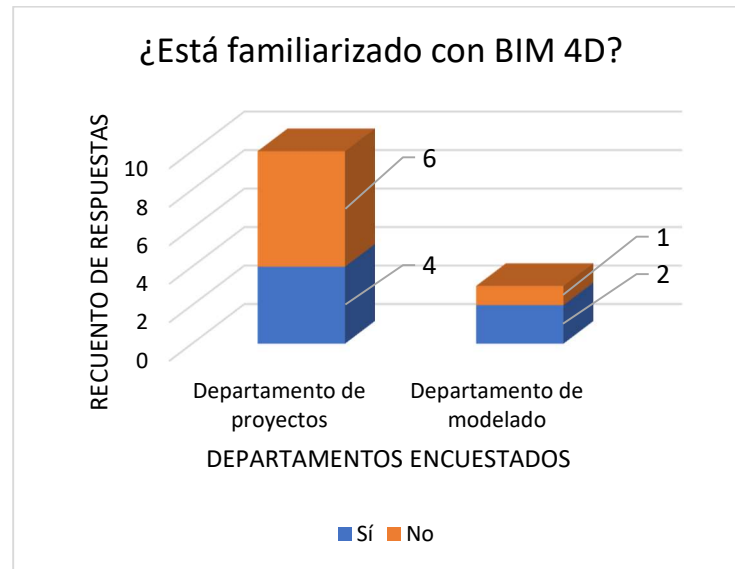
de la elaboración de los modelos con la planificación de los proyectos, lo que implica que no se aprovechaban para el monitoreo y control. Los modelos se usaban para la cuantificación mientras en el departamento de Proyectos se planificaba por separado el proceso constructivo y el control se hacía con Excel. En cuanto a la información, esta se enviaba por medio de correos o alguna red social, se procedía a actualizar el cronograma de obra y se repetía el proceso hasta finalizar con la entrega del proyecto.

Figura 21. Flujo de trabajo previo en el proceso de planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos



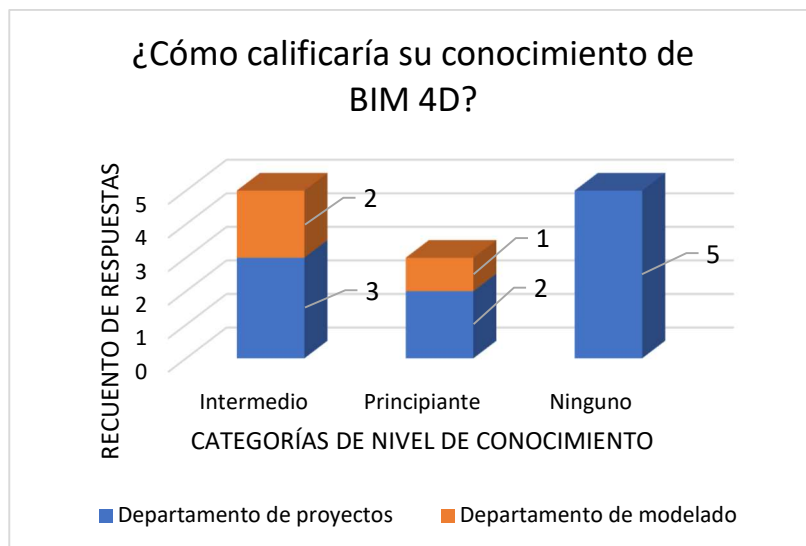
A partir de lo anterior, se requirió conocer el entendimiento de cada uno de los trabajadores en cuanto a la metodología BIM y el alcance de la cuarta dimensión, con tal de establecer el punto de partida para la implementación del procedimiento de planificación, monitoreo y control de los proyectos en la etapa constructiva. Para ello en la Figura 22 se observa que las respuestas indicaron que el 60% del personal del departamento de Proyectos desconocía el concepto de la cuarta dimensión de BIM, así como, en el departamento de Modelado uno de los integrantes indicó no conocer el concepto y los otros dos sí estar familiarizados con el mismo. Por ende, resultó ser un concepto nuevo para algunos que respondieron el formulario y era necesario incluir una inducción al tema y los conceptos que este implicaba con tal de nivelar el conocimiento de los integrantes de ambos departamentos.

Figura 22. Respuestas a la pregunta ¿Está familiarizado con BIM 4D (Modelado de información de construcción con integración de tiempo/programación)?



Para ahondar en lo expuesto en la Figura 22, al ver la Figura 23, se demuestra que, en el departamento de Proyectos, cinco personas no conocían el término, dos se consideraban principiantes y tres se catalogaban como intermedio en cuanto al tema. Por su parte, en el departamento de Modelado, dos personas indicaron tener conocimiento intermedio y uno desconocía el mismo.

Figura 23. Respuesta a la pregunta ¿Cómo calificaría su conocimiento de BIM 4D?



Simultáneamente, fue necesario establecer qué aspectos implicaban limitantes en los procesos de planificación, monitoreo y control de proyectos en la etapa de ejecución. Por consiguiente, en la Figura 24, se muestra la síntesis de las respuestas brindadas por el departamento de Proyectos.

En primer lugar, se destacaba la dificultad para registrar los cambios y dificultad de trazabilidad de procesos, razón seleccionada por cuatro participantes de la encuesta. En segundo lugar, estuvo la dificultad de comunicación y la falta de recursos humanos, que fue seleccionada por dos personas. Finalmente, la falta de información en tiempo real seleccionada junto con la falta de comunicación.

En la Figura 25 se presentan los resultados de la entrevista a los integrantes del departamento de Modelado, quienes indicaron que principalmente había falta de información en tiempo real, dificultad para registrar cambios en tiempo real y comunicación interrumpida.

Figura 24. Desafíos actuales presentes en la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos

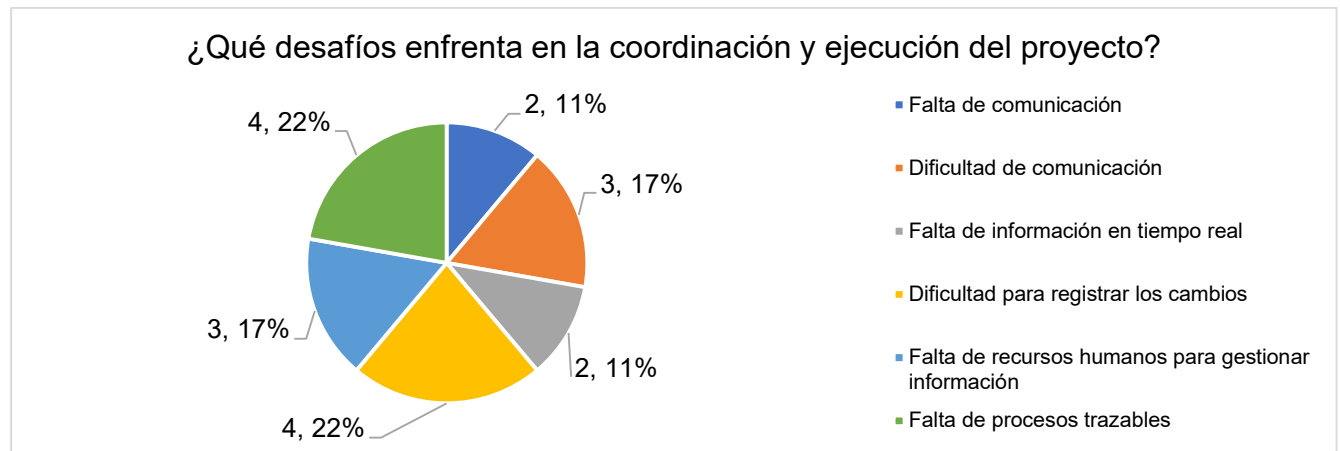
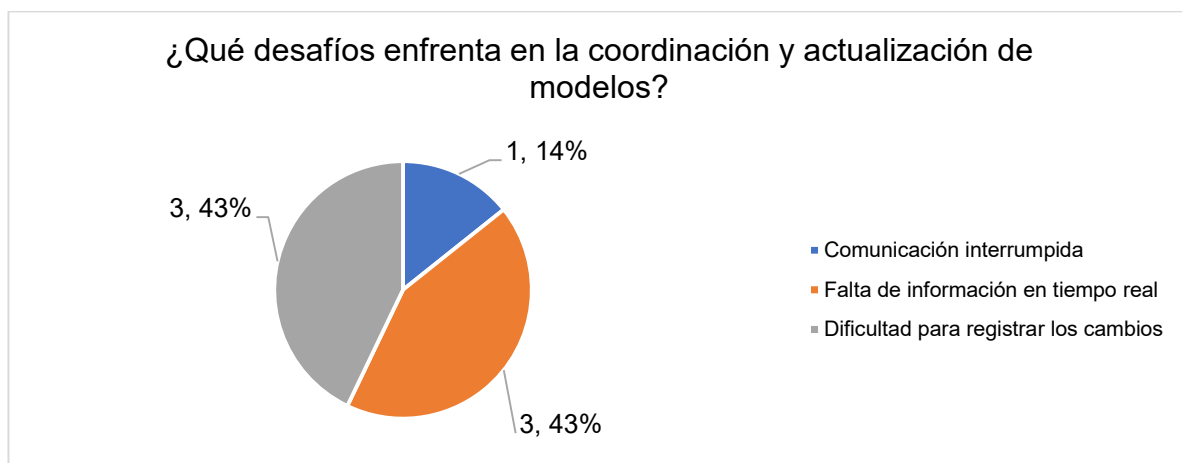


Figura 25. Desafíos actuales presentes en la coordinación y actualización de modelos de proyectos constructivos



Estas limitantes, junto con la falta de información en tiempo real y los problemas de comunicación señalados, son indicativos de la necesidad de implementar herramientas de planificación y monitoreo

integradas. La adopción de BIM 4D podía abordar estas deficiencias al centralizar datos y permitir su actualización colaborativa.

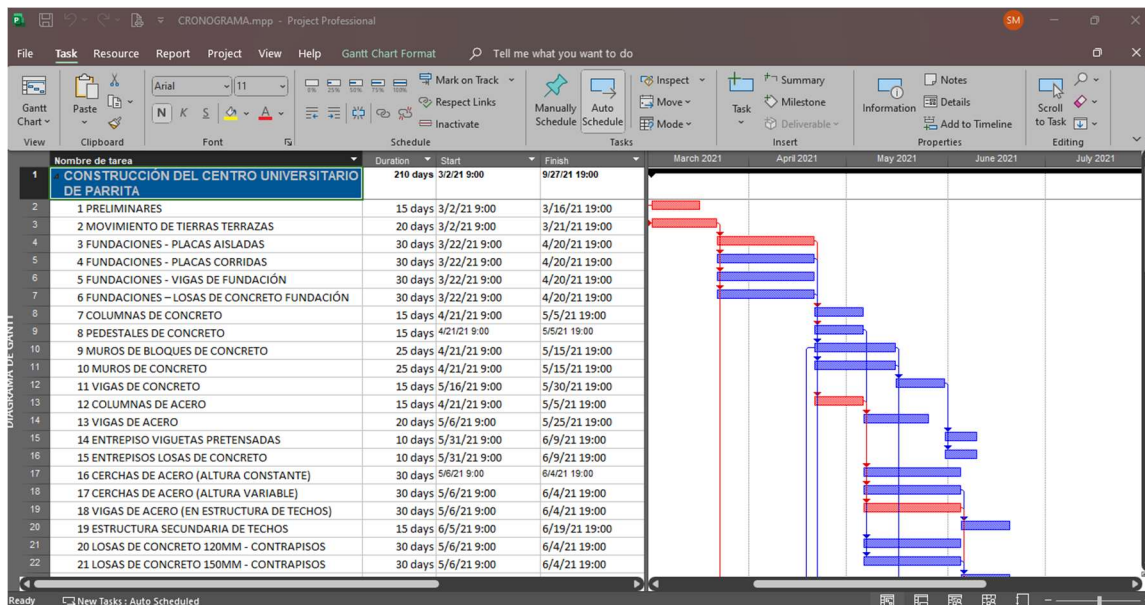
Con respecto a la planificación, monitoreo y control, Carrillo, B (comunicación personal, 6 de setiembre de 2024), indicó que se hacía uso del software Ms Project para establecer 2 programaciones. En la primera se indicaba el conjunto de actividades y tareas que se llevarían a cabo justo antes de iniciar la construcción de los proyectos y se incluían actividades necesarias para tramitar permisos o gestionar solicitudes a entidades. Algunos ejemplos de las actividades eran:

- 1- Elaboración de presupuesto de ejecución.
- 2- Visita inicial.
- 3- Plan de compras
- 4- Cronograma
- 5- Plan de facilidades
- 6- Paquete de compras
- 7- Inscripción de dirección técnica.

Las actividades que formaban parte del archivo de Ms Project permitían determinar los requisitos que se debían cumplir antes de iniciar la obra como: la gestión de las importaciones, la visita inicial para determinar requisitos especiales del proyecto y la planificación de la ejecución.

De manera complementaria, se generaba otro cronograma especificando detalladamente las actividades del proceso constructivo de los proyectos. Por ejemplo, en la Figura 26, se presenta la planificación correspondiente al proyecto “Construcción del Centro Universitario Parrita”

Figura 26. Cronograma de obra para la construcción de un centro universitario en Parrita



Cronograma facilitado por la empresa Construcciones Peñaranda S.A. (2024).

Figura 27. Excel para control de cronograma de la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

Documento de ejemplificación facilitado por la empresa Construcciones Peñaranda S.A (2024).

El uso de Excel como herramienta principal para el control del cronograma, aunque funcional, carecía de capacidades avanzadas para la unificación de los datos y la presentación de estos acompañados de diagramas de Gantt. Este enfoque no solo incrementaba el riesgo de errores humanos, sino que también limitaba la capacidad para identificar rápidamente las desviaciones en tiempo real y tomar decisiones informadas.

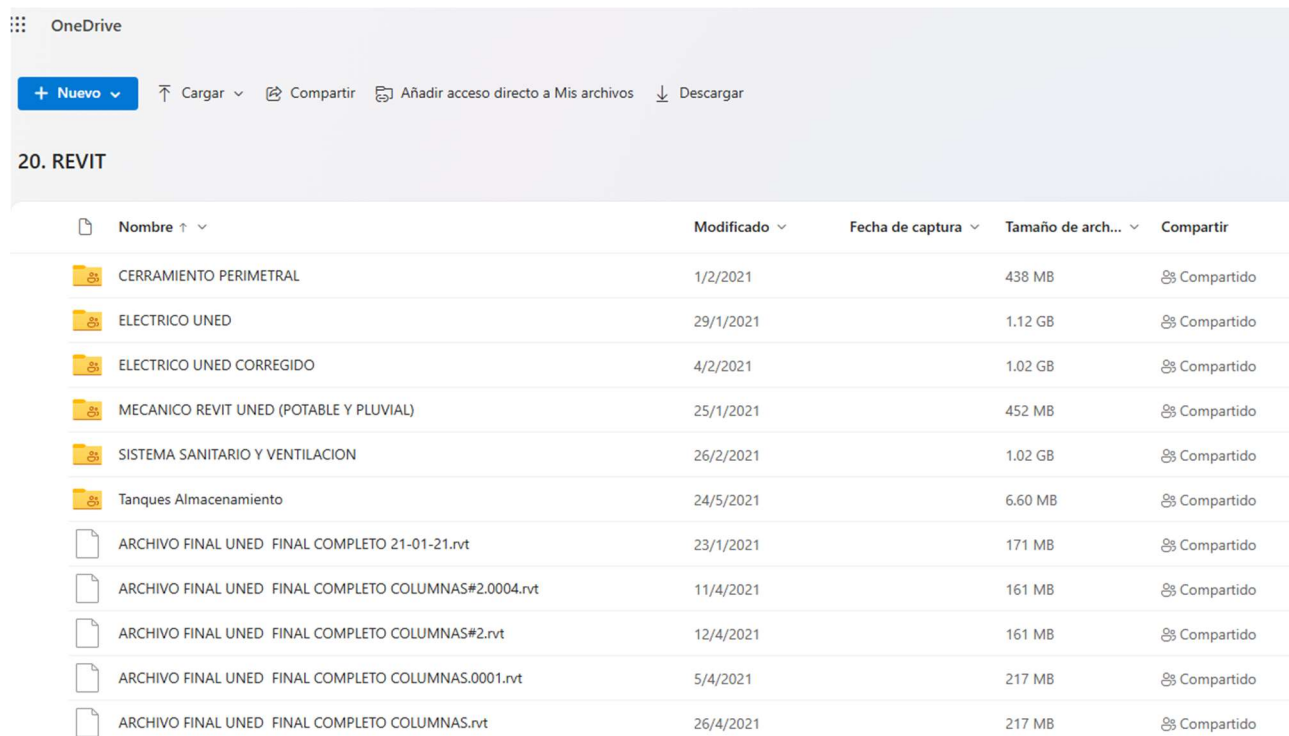
En cuanto al departamento de Modelado, cuando los proyectos eran adjudicados, se encargaban de modelar en tres dimensiones, esto incluía las especialidades arquitectónicas, estructurales y MEP. Estas labores se asignaban a los empleados por roles, donde cada uno se encargaba de una especialidad. Cuando se completaba se cargaba al entorno común de datos donde la encargada del departamento de Modelado los revisaba y notificaba al departamento de Proyectos que podían acceder para usarlos para la cuantificación y revisión de materiales. Por lo tanto, no existía control de los modelos, no se hacían verificaciones de interferencias y conflictos, incurriendo en que fueran detectados hasta el momento en que se realizaba la construcción.

La falta de control y revisión de modelos en etapas tempranas del proceso era un problema. La detección tardía de interferencias y conflictos en obra no solo podría generar retrasos significativos, sino que incrementaría costos para solucionarlos.

Adicionalmente, se debió tomar en cuenta la falta de control en la nomenclatura de los archivos compartidos entre los dos departamentos, ya que, estos no contaban con una estandarización para discernir si eran archivos que podían ser consultados, o usados en la planificación, monitoreo o control de obra. Tampoco se podía verificar directamente a cuál proyecto pertenecían, la especialidad a la que correspondían hasta que se accedía a ellos y se verificaban los modelos.

Tal como se muestra en la Figura 29, se puede ver que en los modelos para un proyecto de construcción público estos estaban divididos por especialidad e incluso subcomponentes de las especialidades (como tanques de almacenamiento o cerramientos perimetrales). Lo anterior dificultaba dar seguimiento a la información y las versiones de los archivos.

Figura 28. Estructura de organización de la información en el ECD



Nombre	Modificado	Fecha de captura	Tamaño de arch...	Compartir
CERRAMIENTO PERIMETRAL	1/2/2021		438 MB	Compartido
ELECTRICO UNED	29/1/2021		1.12 GB	Compartido
ELECTRICO UNED CORREGIDO	4/2/2021		1.02 GB	Compartido
MECANICO REVIT UNED (POTABLE Y PLUVIAL)	25/1/2021		452 MB	Compartido
SISTEMA SANITARIO Y VENTILACION	26/2/2021		1.02 GB	Compartido
Tanques Almacenamiento	24/5/2021		6.60 MB	Compartido
ARCHIVO FINAL UNED FINAL COMPLETO 21-01-21.rvt	23/1/2021		171 MB	Compartido
ARCHIVO FINAL UNED FINAL COMPLETO COLUMNAS#2.0004.rvt	11/4/2021		161 MB	Compartido
ARCHIVO FINAL UNED FINAL COMPLETO COLUMNAS#2.rvt	12/4/2021		161 MB	Compartido
ARCHIVO FINAL UNED FINAL COMPLETO COLUMNAS.0001.rvt	5/4/2021		217 MB	Compartido
ARCHIVO FINAL UNED FINAL COMPLETO COLUMNAS.rvt	26/4/2021		217 MB	Compartido

Carpeta de ejemplo compartida por el departamento de modelado (2024).

La falta de un sistema claro de nomenclatura y control de versiones en el entorno común de datos ponía en riesgo la trazabilidad de la información, lo que podía generar duplicidades, uso de archivos obsoletos y errores en la ejecución de los proyectos. La propuesta de implementar una nomenclatura estandarizada era un paso crucial para mitigar estos riesgos y garantizar un intercambio de información más efectivo.

En el caso de un proyecto más reciente, se pudo observar que la empresa intentó mejorar por su cuenta la gestión de la documentación, las carpetas tenían un orden específico y con mayor control. En la Figura 29 se puede ver que las carpetas poseían una numeración y un nombre alusivo a la información que incluían, la carpeta general contenía un consecutivo de proyecto con el respectivo nombre, que, para este caso correspondió a una institución construida.

Figura 29. Estructura de carpetas en ECD para proyecto constructivo más reciente

CP-067. UNA Finca Santa Lucía > B. Planificación 					
	Nombre ↑ ↓	Modificado ↓	Fecha de captura ↓	Tamaño de arch... ↓	Compartir
	0. Instructivo de la Carpeta	1/3/2022		92.2 KB	 Compartido
	1. Presupuesto	1/11/2019		457 MB	 Compartido
	2. Programacion	1/11/2019		24.3 MB	 Compartido
☐ 	3. Permisos y Pólizas	... 12/8/2021		49.8 MB	 Compartido
	4. Compras	1/11/2019		834 KB	 Compartido
	5. Adelanto	12/8/2021			 Compartido
	6. Riesgos	1/11/2019			 Compartido
	7. Planos de Taller	12/8/2021		215 KB	 Compartido
	8. Ingenierías de Valor	12/8/2021			 Compartido
	9. PEB (en construcción)	10/5/2022		392 KB	 Compartido
	10. Presentación Kick off	11/4/2023		2.79 MB	 Compartido
	11. Tabla O4b	10/5/2023		16.7 KB	 Compartido
	12. Tramite Servicios Públicos	25/5/2023		33.0 MB	 Compartido

Carpeta de ejemplo compartida por el departamento de proyectos (2024).

No obstante, en el caso del proyecto CP-067. UNA Finca Santa Lucía (Figura 29), si se consultaba la carpeta que incluía los modelos, se notó que la situación con relación a la estructura de organización de la información y la nomenclatura seguía presentando la misma problemática que la del proyecto que se mostró en la Figura 28, (ver Figura 30).

Figura 30. Organización de documentación en carpeta de modelos de Revit para proyecto CP-068. UNA Finca Santa Lucía

CP-067. UNA Finca Santa Lucía > C. Ejecución > 9. Revit 

 Nombre ↑ ↓	Modificado ↓	Fecha de captura ↓	Tamaño de arch... ↓	Compartir
 ACOMETIDAS	9/6/2023		69.7 MB	 Compartido
 Estructural	17/6/2023		208 MB	 Compartido
 ILUMINACION	13/6/2023		108 MB	 Compartido
 INCENDIOS	9/6/2023		88.4 MB	 Compartido
 INTRUSION Y VIGILANCIA	13/6/2023		155 MB	 Compartido
 Movimiento de tierra final	8/6/2023		104 MB	 Compartido
 PLUVIAL	4/7/2023		249 MB	 Compartido
 POTABLE	9/6/2023		125 MB	 Compartido
 Redes	14/6/2023		105 MB	 Compartido
 Sanitario	9/6/2023		181 MB	 Compartido
 Tomacorrientes	15/6/2023		109 MB	 Compartido
 OAP-CP-03-09 MANUAL DE MODULACION...	2/3/2022		2.45 MB	 Compartido

Carpeta de ejemplo compartida por el departamento de proyectos (2024).

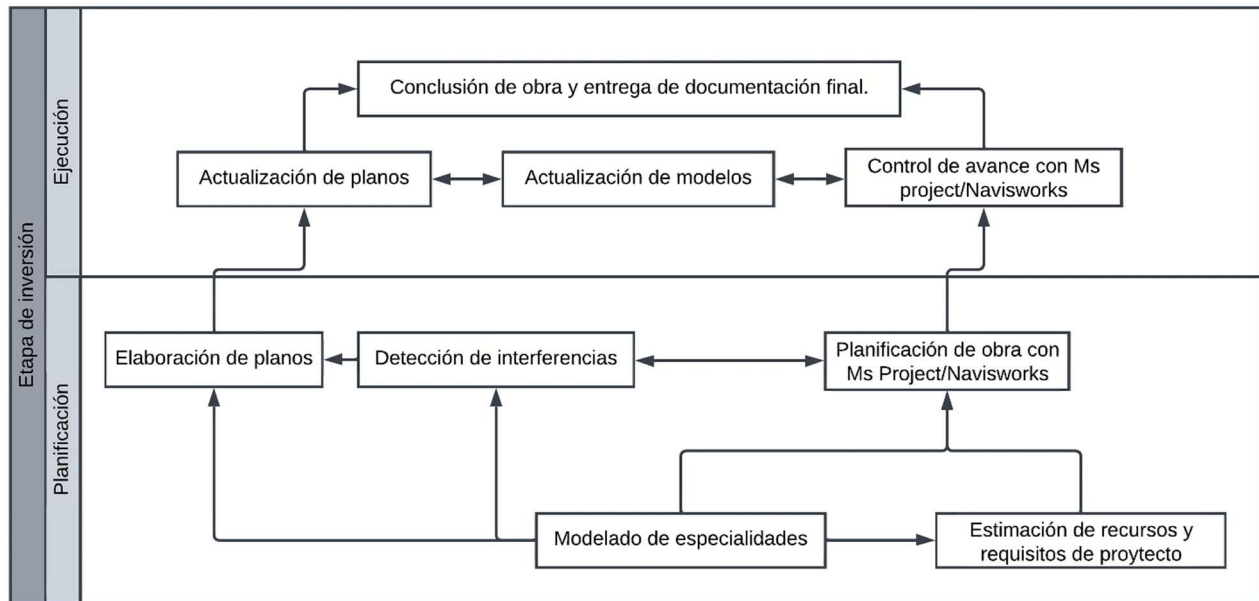
Debido a las razones descritas anteriormente, y para este capítulo, que se centró en determinar el grado de madurez de la empresa construcciones Peñaranda S.A, en cuanto a la implementación BIM, se puede indicar que el resultado obtenido fue de Nivel 1. En la empresa se hacía uso de archivos CAD 2D y modelos 3D, con tal de que se pudiera obtener documentos para tramitología, pero, la planificación, monitoreo y control de obras estaba totalmente desligado de los modelos 3D (Asamblea Legislativa, 2024). Esto provocaba que la empresa no alcanzara la cuarta dimensión de BIM y requiriera de intervención para lograrlo.

Posterior a conocer el estado actual de la empresa en lo que concierne a los recursos que usaban para planificar, monitorear y controlar los proyectos constructivos, fue posible proponer un procedimiento con base a una plantilla y los softwares disponibles, es decir, Revit y Ms Project. Además, se propuso incluir Navisworks para permitir la gestión y coordinación de proyectos, integrando las características de la cuarta dimensión de BIM.

3.2 Diseño de procedimiento de planificación, monitoreo y control de proyectos en etapa constructiva.

Para este apartado, se modificaron las dependencias de las actividades relacionadas con los procesos de planificación y ejecución, implicando cambios en el monitoreo y control de obra, ya que se estandarizó cómo se ejecuta la comunicación entre los departamentos de Modelado y de Proyectos. Además, a diferencia del proceso que se mostró en la Figura 21, en la Figura 31 se propuso generar los modelos de las especialidades de los cuales se obtienen los planos detallados. Adicionalmente, la detección de interferencias se implementó para resolverlas antes de que afecten en la etapa de construcción. Paralelamente, se agregó la opción de generar la planificación necesaria con las nuevas herramientas y con ello aumentar la vinculación de los dos departamentos al requerir la transmisión de datos para la elaboración de la documentación.

Figura 31. Flujo de trabajo actualizado en la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos de la empresa Construcciones Peñaranda S.A



Para ahondar en lo que se mostró en la Figura 31, un aspecto que se debió cambiar fue la estructura de la organización de la documentación, puesto que no estaba estandarizada. Por ejemplo, como se observó en la Figura 28, en las carpetas creadas para los modelos en un proyecto de construcción de tipo educativo se almacenaban los archivos de cada modelo en subcarpetas en un entorno común de datos como OneDrive,

dentro de una carpeta general llamada REVIT. En esta estructura, no era posible distinguir cuál era la última versión, quién editó el archivo, si era posible usarlo o si aún estaba en etapa de desarrollo.

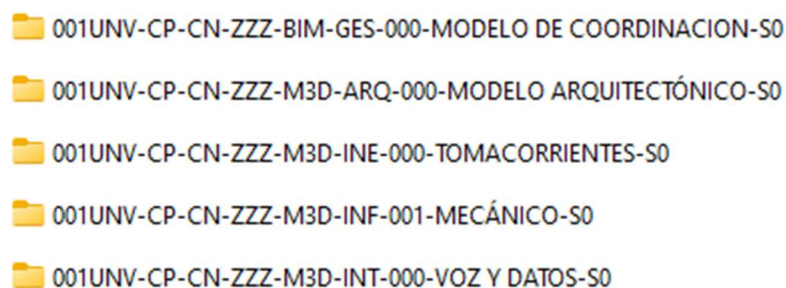
Debido a lo anterior, se realizó una propuesta de nomenclatura para que se use como estándar en futuros proyectos, se basa en el manual de nomenclatura de la buildingSmart Spain (2023), con tal de que la información responda a un formato y permita a los colaboradores entender las propiedades o estado del contenido de los archivos a partir de la cadena de texto en su nombre.

Entonces, al aplicar el nuevo estándar a la información de la Figura 30, del proyecto CP-068. UNA Finca Santa Lucía, se puede obtener un resultado como la cadena de texto: FSL-CP-ZZZ-XXX-FOM-GEA-000-CARPETA DE PRUEBA-S0, que significa:

- 1- FSL: Finca Santa Lucía
- 2- CP: Construcciones Peñaranda
- 3- ZZZ: Todos los volúmenes o sistemas
- 4- XXX: No hay definidos niveles
- 5- FOM: Formato
- 6- GEA: Gestión administrativa
- 7- 000: Diferenciador de archivo (único existente)
- 8- Carpeta de prueba: descripción breve de la carpeta
- 9- S0: Archivo en desarrollo.

Dentro de la carpeta general se generaron subcarpetas con las mismas propiedades de nomenclatura. En la Figura 32 se puede ver con más detalle la nueva propuesta aplicada para los archivos de los modelos tridimensionales:

Figura 32. Nueva propuesta de carpetas y su nomenclatura para modelos de Revit



En el Anexo 1 se facilita un enlace para acceder al manual de nomenclatura de la buildingSmart Spain (2023), con tal de poder consultar las propuestas de caracteres para tipos de documentos, disciplinas y otras categorías que requiere la nomenclatura.

La adopción de un sistema de nomenclatura estándar no solo mejoró la organización interna, sino que facilitó la colaboración entre departamentos y la integración con herramientas digitales más avanzadas. Esta

estandarización es fundamental para lograr una transición exitosa hacia los procesos de BIM 4D, que dependen de una gestión de datos eficiente y precisa. Se modificó el flujo de intercambio de información entre los dos departamentos y ahora las carpetas cuentan con un orden representativo, específico y detallado de la información que incluye cada una.

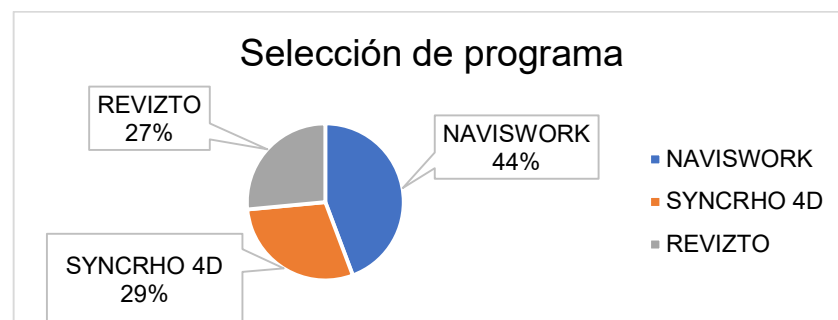
La estandarización de la comunicación entre departamentos representa un avance significativo en la estructura organizativa del flujo de trabajo. Pero, la integración temprana de la detección de interferencias para la reducción tiempos y costos derivados de modificaciones imprevistas en obra debía ser abordado. Así como, la disposición de herramientas para integrar la programación de obra y el oportuno monitoreo y control del avance en las actividades.

Por lo que, una vez se estableció un estándar en la estructura que permitiera el intercambio de información entre los departamentos de Modelado y de Proyectos, y que estuviera almacenada en un entorno común de datos, para ello se procedió a la selección del programa complementario a Ms Project y Revit para la implementación de las herramientas de detección de interferencias, programación de la planificación de obra, y el monitoreo y control de los procesos constructivos. Se sometieron a prueba 3 programas y se calculó un porcentaje de cumplimiento de criterios de los software evaluados con tal de tener un resultado fundamentado. En la Figura 33 se muestra que el programa Naviswork representó un 44% del cumplimiento de los criterios, seguido por el software Synrho 4D con un 29%, y, por último, Revizto con un 27%.

En el análisis multicriterio se hizo una matriz de comparación, en la cual se designó un peso de importancia a cada una de las propiedades con relación a las demás, con lo cual se obtuvo una ponderación que le dio un valor de importancia a cada criterio. El resultado fue:

- a. Costo de licencia 7%
- b. Interoperabilidad 15%
- c. Facilidad de uso 19%
- d. Visualización de interfaz gráfica 26%
- e. Conocimiento de la empresa acerca del software 32%

Figura 33. Resultados del análisis multicriterio para la selección del software de planificación, monitoreo y control

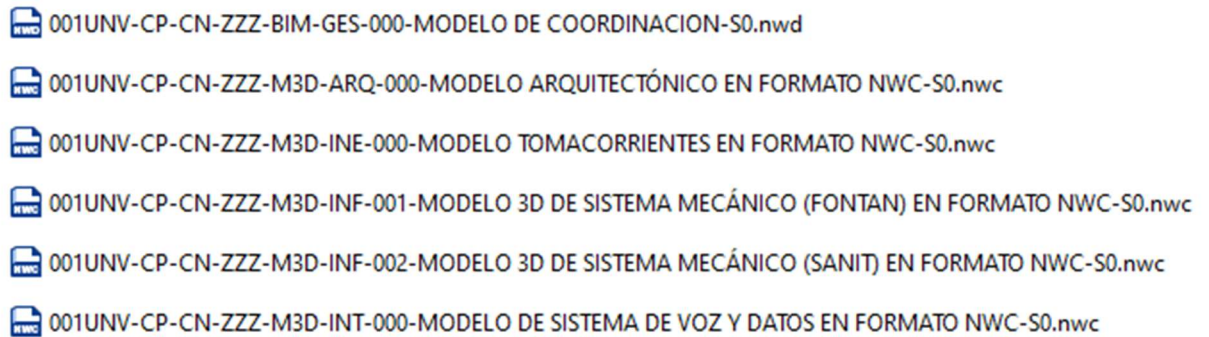


Nota. En el Apéndice 3 se puede ver la memoria de cálculo para la obtención de los resultados que se presentaron en la Figura 33.

Una vez seleccionados los programas para la implementación de la herramienta de planificación, monitoreo y control, se debió considerar la integración de los modelos de Revit con el software Navisworks. Para ello se hace uso del plugin de Autodesk llamado NWC exporter, el cual genera un archivo con extensión .nwc. En la

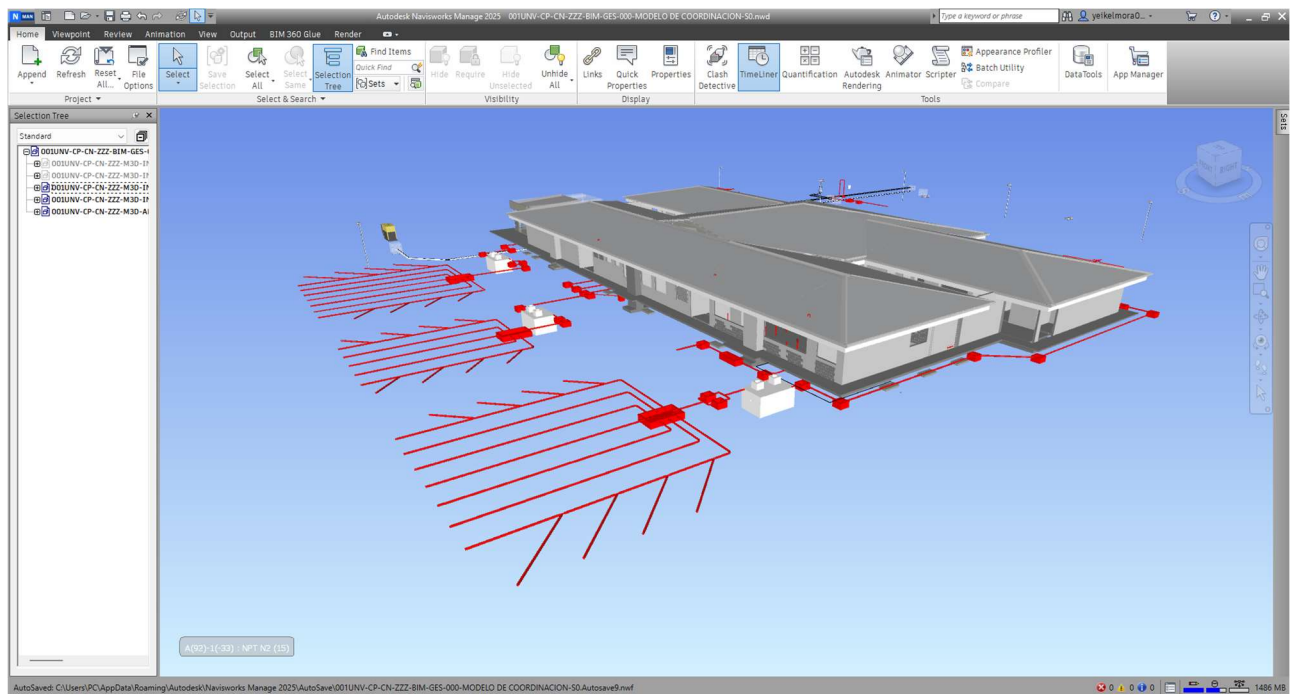
Figura 34 se puede ver un grupo archivos que pertenecen a modelos de especialidades de arquitectura, mecánicos y eléctricos.

Figura 34. Archivos generados a partir de los modelos 3D de Revit.



Una vez obtenidos estos archivos, se puede generar un nuevo archivo en Navisworks para su integración, lo cual resulta en lo que se puede ver en la Figura 35.

Figura 35. Modelos importados en Navisworks



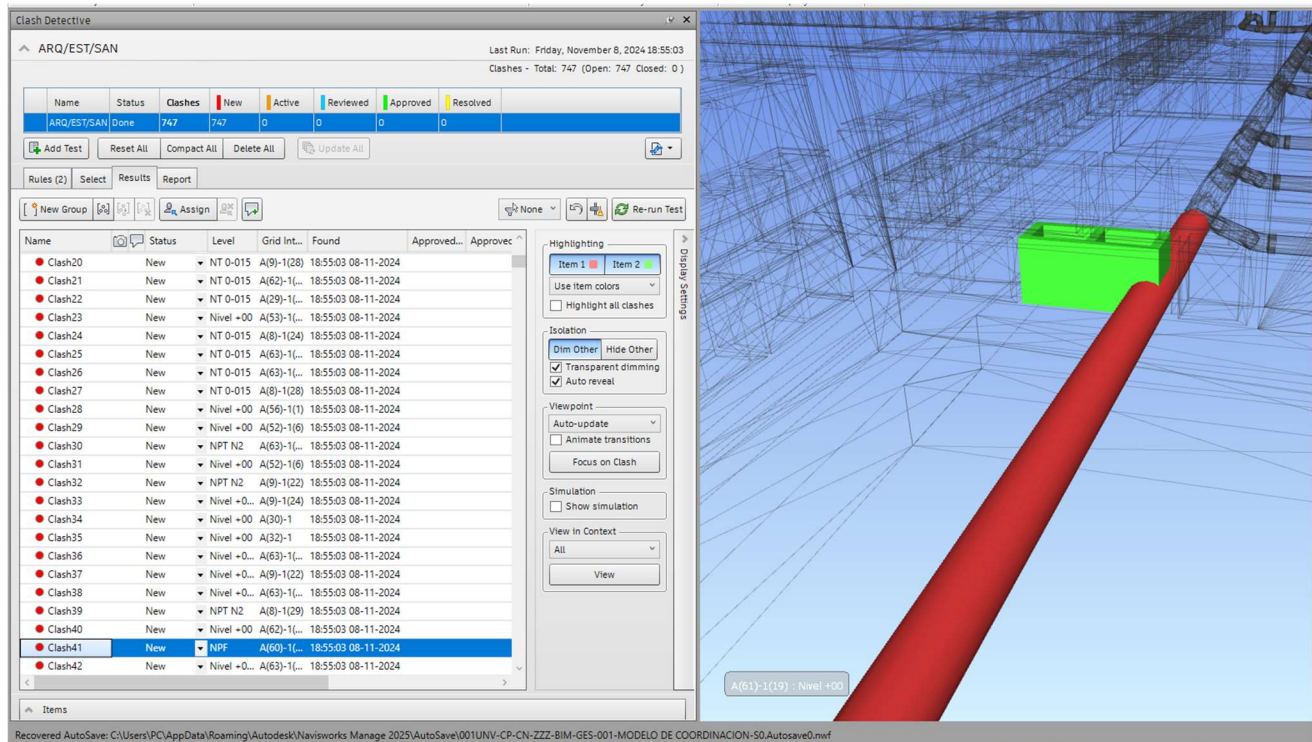
El modelo incluye activados en la vista las disciplinas de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias.

A partir de lo anterior, se pudo realizar la aplicación de la primera herramienta de planificación, monitoreo y control de proyectos, la cual corresponde a la detección de interferencias entre modelos con para identificar conflictos en el proceso de coordinación. Es necesario destacar que Navisworks permite seleccionar qué disciplinas participan en la detección de interferencias, así como el tipo de conflictos que se consideran en las pruebas.

La capacidad de detectar interferencias entre disciplinas dentro de Navisworks representa un avance crucial en la prevención de problemas durante la construcción. Esta funcionalidad no solo optimiza los tiempos, sino que reduce los costos asociados a errores de diseño no detectados en etapas previas.

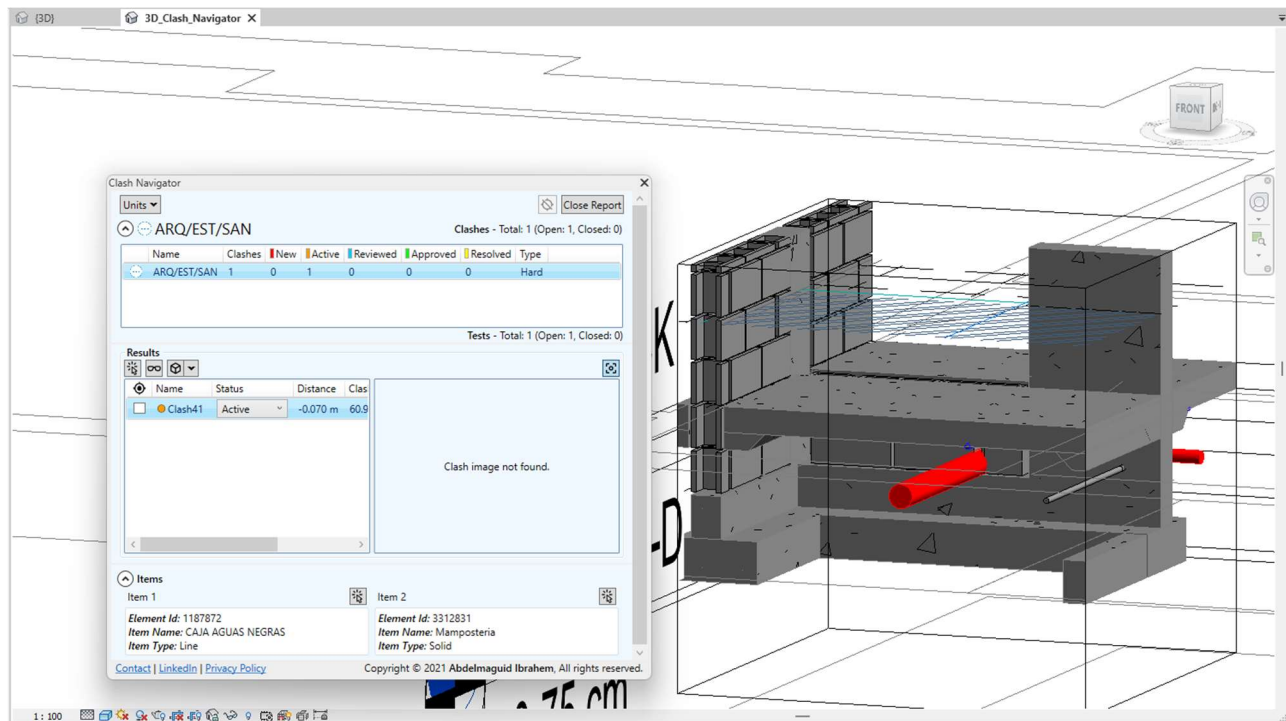
En la Figura 36, se presenta un ejemplo de prueba realizado con los modelos de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias.

Figura 36. Ejemplo de interferencia detectada en los modelos de arquitectura, estructuras y mecánico



Después, parte del proceso incluyó el uso de la información para enviarla a los modelos en Revit y ahí resolver los conflictos entre elementos. Es posible asignar a un encargado en específico para la resolución de conflictos como puede ser el creador del modelo de cada especialidad. Complementariamente, se usa el plugin *Clash Navigator*, en el cual, se importa el archivo en formato .xml, y se puede hacer la revisión de los modelos, en la Figura 37 se observa un resultado en el programa Revit.

Figura 37. Visualización de las interferencias a Revit



Posteriormente, se incluyó el principal alcance de BIM 4D en los modelos: la programación/planificación de ejecución de obra. Este proceso requiere de la vinculación entre Navisworks y Ms Project, ya que este último se usaba en la programación de los proyectos constructivos de la empresa.

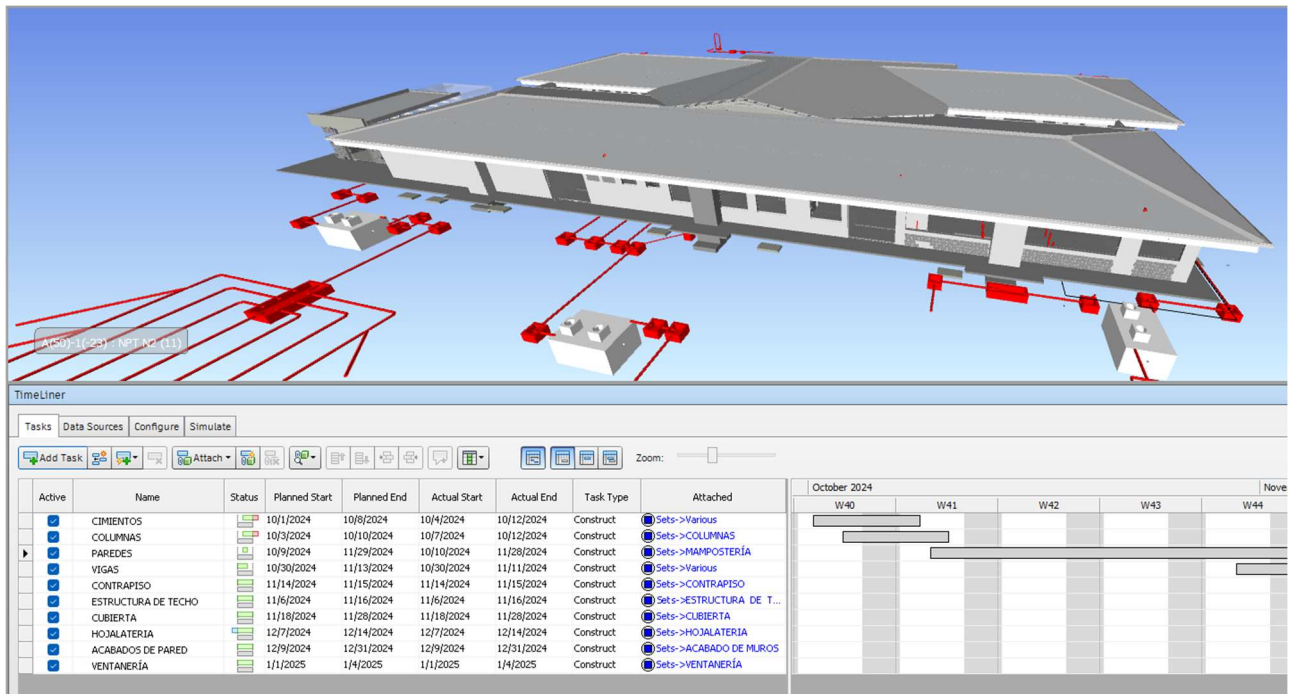
Para realizar la planificación existen dos opciones:

1. Utilizar los modelos en Navisworks para generar sets o grupos de elementos. Luego, crear actividades, asignar el recurso temporal a cada una, vincular los grupos a las actividades correspondientes y obtener la programación enlazada a los modelos 3D. Esto permite generar animaciones de construcción y recursos visuales para poder ver y controlar la programación del proyecto.
2. Generar la programación de forma independiente en Ms Project y con la plantilla elaborada importar los datos en formato .csv a Navisworks, en este se asigna la correspondencia entre las columnas de origen y destino.

La integración de programación directamente en Navisworks fortalece la capacidad de visualizar y ajustar la planificación en tiempo real, mientras que la opción de importar desde Ms Project ofrece la flexibilidad para adaptarse a las prácticas existentes en la empresa.

Con respecto al primer recurso para generar la programación en los modelos 3D, se puede ver un ejemplo del resultado en la Figura 38.

Figura 38. Programación de obra directamente realizada en Navisworks

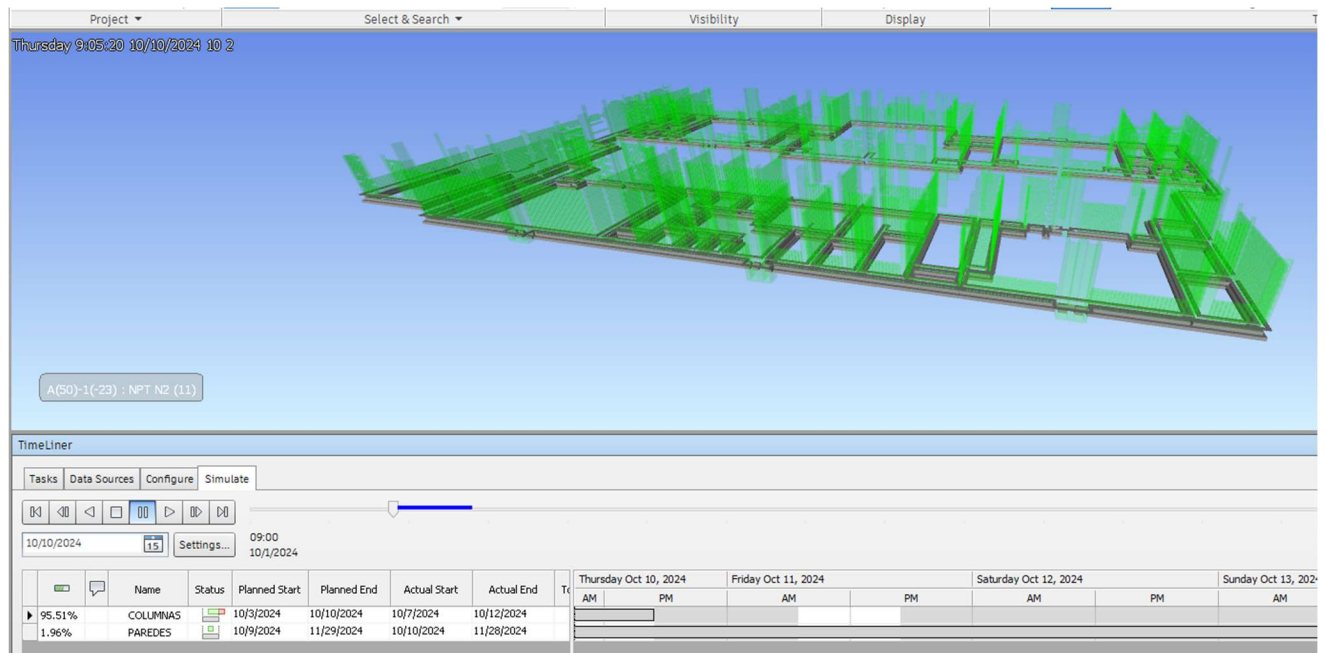


En este caso, se asignaron los elementos agrupados a cada tarea, los cuales aparecen en la columna "Attached"

Ambos métodos permiten generar diagramas de Gantt, sets de elementos según procesos constructivos y calendarios de periodos tentativos o definitivos de ejecución que deben ser revisados y aprobados. Además, se pueden desarrollar animaciones del proceso constructivo para las disciplinas de arquitectura y estructuras, proporcionando un recurso visual adicional para la planificación, monitoreo y control.

En estas animaciones, los elementos ya construidos se muestran en gris, mientras que los programados para ejecución aparecen en verde. Esto permite implementar el *[look-ahead]* de la filosofía *Lean Construction*, herramienta que ya se utilizaba en la empresa mediante hojas de Excel con fórmulas personalizadas. En la Figura 39 se muestra la representación visual de los elementos que se programó para ser construidos en las siguientes semanas.

Figura 39. Resultado de animación en Navisworks



En gris están los elementos contruidos y en verde los elementos que están en procesos de construcción o que se debe construir.

La incorporación de animaciones tridimensionales para representar el *look-ahead* introdujo una dimensión visual que facilita la toma de decisiones al poder ver la secuencia de actividades en un elemento ubicado en el espacio.

Además, en la personalización de los datos mostrados en la animación, se puede incluir en la esquina superior izquierda información como el día de la semana, la hora correspondiente al estado de avance o propuesta de avance, junto con la fecha de la programación, el número de días y semanas desde que se inició la construcción; pero, es posible añadir o remover datos según requisitos de los proyectos.

Por otra parte, en la comunicación entre Navisworks y Ms Project, el primero brinda la posibilidad de generar programaciones de los distintos procesos constructivos. Este recurso facilita las opciones de planificación, monitoreo y control de proyectos constructivo, ya que, permite planear las actividades y presentar dentro del modelo el recurso tiempo.

Sin embargo, fue necesario considerar las herramientas que ya tenían en uso en el departamento de Proyectos, particularmente al Excel con fórmulas personalizadas para realizar el *look ahead* de la filosofía *Lean Construction*. Por esta razón, se elaboró una plantilla de Ms Project con columnas personalizadas, descritas a continuación:

1. **Task Type**, esta se utiliza para determinar si el estado de la actividad de la programación es construcción, demolición o elemento temporal.
2. **Attached sets**: usada para poder definir u obtener los grupos de elementos pertenecientes a las selecciones de Ms Project, con tal de usarlos para la simulación de construcción.

3. *Current date + 21*: esta columna define según la fecha que se establezca en Ms Project las actividades que se están realizando para ese momento y las que se deban realizar las siguientes 3 semanas.
4. *%PLANNED*: este apartado calcula el porcentaje de avance de obra que se planea según la fecha establecida.
5. *%DELAYED*: con esta columna se calcula el porcentaje de atraso de las actividades según la fecha que se establezca como base, lo cual funciona para saber si se deben tomar medidas correctivas o hacer cambios con tal de cumplir con el cronograma.

Estas opciones personalizadas no solo mejoran la integración con Navisworks, sino que también ofrecen un enfoque más detallado para el control y seguimiento del progreso del proyecto al contar con datos numéricos para evaluar el estado de las tareas en desarrollo.

Adicionalmente, en el diagrama de Gantt, se configuró la presentación visual de las barras, con tal de que fueran de color verde aquellas que están en desarrollo o que se proyectan para empezarse las próximas 3 semanas.

Las demás columnas que se dispusieron en la plantilla son columnas que posee por defecto el software, como: Nombre, Duración, Inicio, Final, Inicio Real, Fin Real, Predecesoras e ID único.

A partir de la plantilla hecha, se puede vincular la información de Navisworks a Ms Project, lo que funciona como un recurso para el control y la planificación de los proyectos en etapa constructiva. Con las columnas personalizadas de *%Complete* (porcentaje completado), *%Planned* (porcentaje planeado) y *%Delayed* (Porcentaje de retraso) se puede realizar estimaciones del atraso de obra y determinar si es necesario que se tomen acciones correctivas para resolver problemas.

Por otro lado, se incluyó la columna personalizada de *Current Date + 21* (fecha actual más 21 días), que sirve como medio de poder ver y delimitar las actividades que se están ejecutando, asimismo, las que dentro de las próximas 3 semanas se ejecutarán.

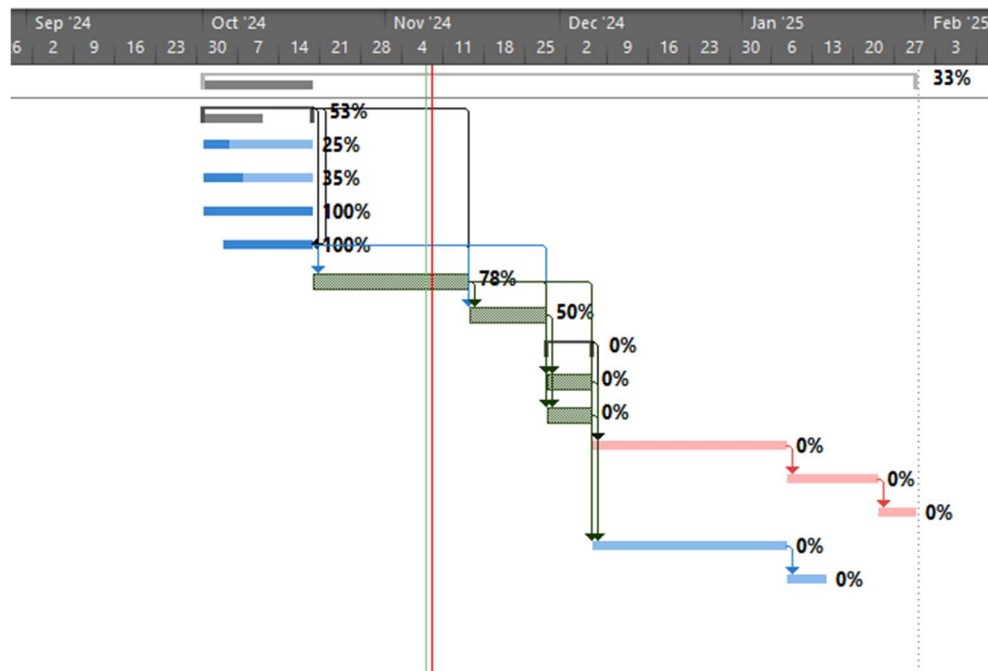
En la Figura 40 y la Figura 41 se presentan ejemplos de las columnas personalizadas utilizadas en la programación en Navisworks. Además, se incluye una representación gráfica de avance de un proyecto junto con la proyección a 3 semanas de las actividades pendientes.

Figura 40. Ejemplo de monitoreo de obra con el porcentaje de atraso y la proyección a 3 semanas con look ahead

	Task Mode	Active	Task Name	% Complete	%PLANNED	%DELAYED	Add New
		Yes	001UNV-CP-CN-ZZZ-M3D-INT-000-PROGRAMACION-S0	33%	32%	0%	
		Yes	1 CIMIENTOS	53%	100%	-47%	
		Yes	1.1 CIMIENTO CORRIDO	25%	100%	-75%	
		Yes	1.2 BORDE	35%	100%	-65%	
		Yes	1.3 CUÑA	100%	100%	0%	
		Yes	2 COLUMNAS	100%	100%	0%	
		Yes	3 PAREDES	78%	72%	0%	
		Yes	4 CONTRAPISO	50%	0%	0%	
		Yes	5 VIGAS	0%	0%	0%	
		Yes	5.1 TAPICHELES	0%	0%	0%	
		Yes	5.2 VIGAS	0%	0%	0%	
		Yes	6 ESTRUCTURA DE TECHO	0%	0%	0%	
		Yes	7 CUBIERTA	0%	0%	0%	
		Yes	8 HOJALATERIA	0%	0%	0%	
		Yes	9 ACABADOS DE PARED	0%	0%	0%	
		Yes	10 VENTANERÍA	0%	0%	0%	

Algunas de las columnas personalizadas de la plantilla se ocultaron con tal de poder hacer presentable la figura, se puede consultar el Apéndice 4 para ver la plantilla general con la totalidad de las columnas.

Figura 41. Diagrama de Gantt resultado de la programación del proyecto



En la Figura 41, la línea vertical roja corresponde a la fecha en la que se establece la consulta para las actividades, las barras color verde denotan las actividades que tienen que estar en desarrollo para ese momento o que se deberían desarrollar en las próximas 3 semanas correspondientes al *look ahead*.

El uso combinado de Navisworks y Ms Project con plantillas personalizadas ilustra cómo las herramientas BIM 4D pueden integrarse eficazmente en flujos de trabajo existentes, aumentando la eficiencia y la precisión en la gestión de proyectos constructivos.

3.3 Incorporación de las herramientas en las actividades de la empresa y el personal

Como último paso, se debió promover el uso del software en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, ya que, para el segundo semestre del 2024 no se poseían proyectos activos para construir. Por ello no fue posible obtener resultados en un caso de estudio en tiempo real con retroalimentación de campo y de los ingenieros envueltos en los procesos constructivos.

Debido a lo anterior, los primeros pasos que se realizaron para poder abarcar este objetivo consistieron en la elaboración de la explicación y presentación de las herramientas al personal, con el propósito de familiarizarlos con estas. Según el estudio del estado actual de la empresa sobre la implementación de BIM, siete de los integrantes de la población desconocían el concepto BIM 4D.

La falta de proyectos activos destacó la importancia de capacitar al personal en el uso de herramientas BIM 4D como una inversión en el futuro desarrollo de la empresa, fortaleciendo la capacidad para abordar proyectos con mayor eficiencia una vez reactivados.

Las actividades iniciales incluyeron la presentación de conceptos básicos, como la interfaz de los programas y específicamente la de Navisworks. Posteriormente, se explicó cómo exportar los modelos tridimensionales de Revit a Navisworks, el proceso para añadirlos a un nuevo archivo, y cómo realizar la detección de interferencias en los modelos cargados. Se abordaron temas como las configuraciones del programa y las reglas para delimitar qué se consideraba una interferencia.

De la misma forma, se presentó el uso de la herramienta *timeliner* del programa y la plantilla de Ms Project. Con estas el trabajo colaborativo entre el departamento de Proyectos y el de Modelado se incrementaría, ya que sería necesario que se comunicaran con tal de aprovechar los modelos 3D para elaborar la programación de obra.

También, al contar en la plantilla de Ms Project de columnas personalizadas diseñadas para exportar o importar información desde Navisworks, se presentó cómo se incluyó la opción de programación a tres semanas (*look-ahead*) y columnas para estimar el porcentaje de avance planeado y el porcentaje de atraso según la fecha de revisión establecida.

La capacitación se enfocó en proporcionar una base sólida para el uso de herramientas BIM, facilitando la transición hacia un proceso moderno en la gestión de proyectos constructivos.

En la Figura 42, se puede ver un ejemplo de la participación de los empleados en la explicación de las herramientas, donde realizaron preguntas sobre las opciones disponibles. Esta charla tuvo lugar el 7 de noviembre de 2024.

Figura 42. *Presentación de las herramientas en la empresa Construcciones Peñaranda S.A*



Las charlas demostrativas no solo introdujeron conceptos, sino que incentivaron la participación del personal, promoviendo una mejor comprensión e integración de las herramientas en su flujo de trabajo.

Adicionalmente, se contó con un registro de participación, debido a que, se realizaron 3 charlas demostrativas del uso de las herramientas, porque, los integrantes de los departamentos de Modelado y Proyectos no podían estar todos en una única reunión. Así que, se buscó facilitar o reforzar los conceptos dados para aquellos que podían atender a más de una charla demostrativa. En la Figura 43 se puede ver un ejemplo de la lista de asistencia a la segunda charla impartida el 29 de octubre del 2024. El Apéndice 5 incluye la evidencia de las 3 charlas realizadas.

La estrategia de múltiples sesiones permitió una mayor flexibilidad y cobertura en la capacitación, asegurando que todos los interesados tuvieran oportunidad de participar y reforzar sus conocimientos. Con ello, se pudo capacitar a once de los trece colaboradores que conformaban los departamentos de Modelado y de Proyectos, lo que significó un 85% del personal con al menos los conocimientos básicos en el uso de las herramientas y el aprendizaje de su uso.

Figura 43. Lista de asistencia a charla demostrativa del uso de las herramientas.

Semestre 2 2024		Control de asistencia	TFG Tecnológico de Costa Rica
Instructor: Yeikel Sanabria Mora		Fecha:	21/10/2024
Nombre de la actividad:			
Presentación #2 Herramientas y guía de la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos (CBIM 4D)			
Asistente		Firma	
01. Marlon Esquivel Gorría		01. Marlon Esquivel G.	
02. José Herra M.		02. José Herra	
03. Fabiola Zamora Percin		03. [Firma]	
04. Sabrina Valverde Solórzano		04. [Firma]	
05. Henry Daniel Araya Araya		05. [Firma]	
06. Ignacio García		06. [Firma]	
07. Wilson Soto Araya		07. [Firma]	
08. Eirella Lederma Casanova		08. [Firma]	
09. Francisco Mayro		09. [Firma]	
10. Dani Morales González		10. [Firma]	
11. Bryan Carrillo J.		11. [Firma]	
12.		12.	
13.		13.	
14.		14.	
15.		15.	
16.		16.	
17.		17.	

Otro recurso clave fue la elaboración de un elemento adicional y permanente para que los trabajadores pudieran consultar el uso de las herramientas, debido a lo cual se generó la “Guía de implementación de herramientas para planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A”, en la que se describe cada paso a seguir para poder realizar la incorporación de los modelos de Revit y Navisworks, la detección de interferencias y posteriormente la inclusión de estas en los modelos con tal de ser resueltas. También, se aborda la opción de realizar programaciones de obra con el software Navisworks y obtener animaciones o secuencias de actividades exportables a la plantilla de Ms Project donde se cuenta con las opciones de planificación, monitoreo y control de proyectos en las columnas personalizadas de porcentaje de avance, porcentaje de atraso y la programación a 3 semanas (Ver Apéndice 4).

La guía, como recurso permanente, no solo sirve como apoyo durante la capacitación, sino que funciona como complemento para la estandarización de procesos dentro de la empresa y representa una forma de asegurar que los procedimientos estén disponibles para consultar en el futuro.

La guía se diseñó como un recurso visual, con una secuencia de pasos acompañada de capturas de pantalla o imágenes de las opciones relevantes para el usuario. En la Figura 44 se muestra la portada del documento y los contenidos que incluye. La versión completa está disponible en el Apéndice 6.

Figura 44. Guía de implementación de las herramientas para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A

Guía de implementación de las herramientas para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A Elaborado por: Yeikel Sanabria Mora Instituto Tecnológico de Costa Rica Enero del 2024 Versión 2.1		Contenido Introducción..... 2 Objetivo..... 2 Descripción de software requerido..... 2 Propósito de la guía..... 3 Vinculación de Revit con Navisworks..... 4 Detección de interferencias..... 7 Programación de proyectos con Navisworks y Ms Project..... 11 Referencias..... 16
--	--	--

La guía incluye:

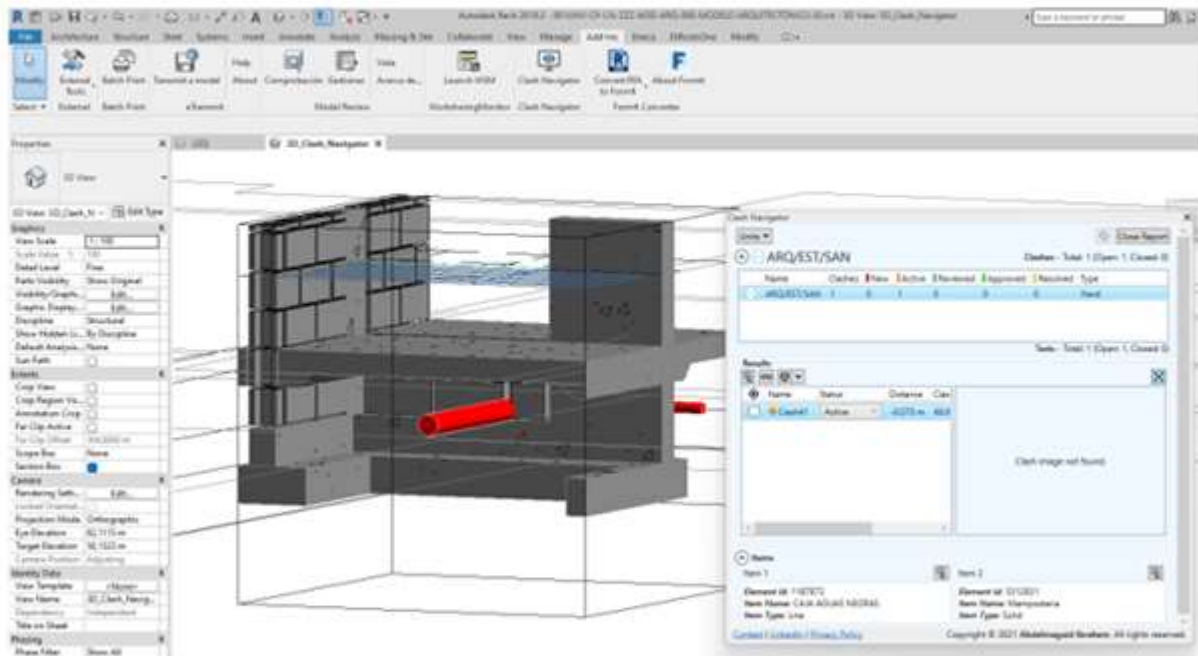
1. Introducción: se contextualiza el propósito, el objetivo, el público meta y el uso previsto del documento.
2. Objetivo: define el la meta del uso del instructivo.
3. Descripción de los softwares utilizados.
4. Vinculación de Revit con Navisworks: describe cómo vincular Revit y Navisworks.
5. Detección de interferencias: explica cómo se detectan interferencias en los modelos.
6. Programación de proyectos con Navisworks y Ms Project: establece el procedimiento para realizar la programación de obras por medio de la plantilla creada y los programas.
7. Referencias.

Esta guía se elaboró con fines demostrativos, presentando procedimientos sintetizados. En algunos casos, se sustituyó texto explicativo por imágenes ilustrativas. Como se muestra en la Figura 45, donde se indica específicamente con imágenes los pasos que el usuario debe seguir. La inclusión de imágenes en la guía reduce la dificultad de aprendizaje para nuevos usuarios y asegurar una mejor comprensión de los procesos descritos.

Figura 45. Ejemplo de secuencia de pasos de la guía.

Además, se da click en  y después en , para aislar los elementos, a modo de mejorar la visualización, dando como resultado un vista similar a la Figura-8

Figura-8. Visualización de interferencia en modelo Revit con caja de sección



Una vez resueltas las interferencias, se puede continuar con la programación de las actividades con el timeliner del Navisworks o con los archivos de Ms Project, se puede importar de Ms project a Navisworks para incluir información nueva o actualizar lo existente, o, se puede enviar la programación de Navisworks a Ms project para realizar la planificación, monitoreo y control con la plantilla generada.

Conclusiones y recomendaciones

Seguidamente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del presente trabajo final de graduación.

Conclusiones

El análisis de los procesos utilizados en la empresa Construcciones Peñaranda S.A. evidenció que la implementación de BIM en los departamentos de Proyectos y Modelado se encontraba en un nivel de madurez 1, con un uso limitado a modelado 3D y representaciones 2D. Se identificaron deficiencias en la gestión de información y falta de integración entre modelado y planificación, lo que generaba procesos descentralizados y poco eficientes en la etapa de ejecución de proyectos.

El diseño e implementación de un proceso estructurado de planificación, monitoreo y control basado en BIM 4D permitió mejorar la coordinación entre departamentos mediante la integración de Revit, Navisworks y Ms Project. La vinculación de modelos 3D con la programación de actividades optimizó la detección de interferencias, facilitó la gestión colaborativa.

La implementación de herramientas colaborativas y la elaboración de una guía metodológica aseguraron la estandarización de procesos en la etapa de inversión de proyectos. La capacitación del personal permitió la apropiación de los nuevos recursos, garantizando su continuidad y facilitando la incorporación de futuros trabajadores en la empresa.

Recomendaciones

Ya que el departamento de modelado estaba compuesto por tres personas, se recomienda que cuando se amplíe la capacidad de este, se asignen roles BIM, para que haya encargados de actividades específicas y un mayor control de los productos obtenidos en dicho departamento, puesto que actualmente recae la mayoría de las responsabilidades en la encargada del departamento. Esta recomendación surge en función

de que el personal aumenta o disminuye constantemente, porque cuentan con pasantes de colegios que se incorporan por tiempos cortos.

A la Gerencia de la empresa Construcciones Peñaranda S.A, se le recomienda considerar la instalación del software Navisworks en múltiples ordenadores, para permitir que el personal pueda acceder a este programa y hacer uso de las herramientas evitando la barrera de capacidad de equipos disponibles.

Se recomienda a las personas encargadas de los departamentos de Modelado y de Proyectos que promuevan el uso de los softwares junto con la plantilla y el estándar de nomenclatura con tal de que se adapten en mayor proporción las herramientas generadas.

Se recomienda a los empleados utilizar las guías y las herramientas con tal de que puedan interactuar y abarcar más dudas que surjan en el proceso y que no se pudieron abarcar durante las charlas demostrativas por falta de interacción con recursos generados, así como, impartir más charlas en caso de que se incorpore nuevo personal.

En caso de que las necesidades de la empresa en cuanto al alcance de lo propuesto en la guía y las herramientas elaboradas se modifique, se recomienda ampliar las posibilidades que estas disponen, ya que, lo propuesto abarcó lo establecido como necesario a partir del análisis del estado actual de la empresa, pero no concluye en un resultado definitivo y puede variar con el tiempo. Lo apropiado es que se haga cargo de modificar el alcance el encargado del departamento de Proyectos o la encargada del departamento de Modelado.

Por último, se insta a la Gerencia y los encargados de los departamentos de Proyectos y de Modelado que se debe considerar la aplicación de las herramientas en proyectos por desarrollar en el futuro para obtener retroalimentación en tiempo real y que permita generar un procedimiento más robusto al detectar si es necesaria la incorporación de algún otro dato en la plantilla, los reportes de interferencias o cómo se manejan estas interferencias.

Referencias

- Aredah, A., Baraka, M. y Khafif, M. (2021). The Fourth Dimension Of Building Information Modelling (4D BIM): An Investigation and Simulation Approach. 13(2). 195-213.
- Asamblea Legislativa. (2024). Ley Marco de Tecnologías de Gestión y Desarrollo de Información para la Construcción y Operación de Edificaciones e Infraestructuras Públicas Proyecto de Ley. Expediente 24587. Costa Rica.
- Autodesk. (s.f). Acerca de cuándo vincular modelos. Recuperado de: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ESP/?guid=GUID-656915ED-63D7-4DD8-A198-15E83E8CFBD1>
- Autodesk. (s.f). Naviswork. Autodesk. Recuperado de: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Autodesk. (s.f). Revit. Autodesk. Recuperado de: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241-252.
- Bentley Systems. (s.f). Synchro 4D. Recuperado de: <https://www.bentley.com/software/synchro/>
- BIM FORUM COLOMBIA (2024). BIM KIT GUÍAS PARA LA ADOPCIÓN BIM EN LAS ORGANIZACIONES. Recuperado de: <https://camacol.co/sites/default/files/descargables/2-%20Guia%20de%20Modelado%20BIM-co.pdf>
- buildingSmart Spain. (2023). Manual De Nomenclatura De Documentos Al Utilizar BIM. Revisión 1.1.2023. Recuperado de: <https://www.buildingsmart.es/recursos/nomenclatura-documentos-bim/>
- CYPE Ingenieros. (s.f). CYPECAD. Recuperado de: <https://info.cype.com/es/producto/cypecad/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. y Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons.
- Eneca. (s.f). What is LOD?. Recuperado de: <https://eneca.nl/blog/lod-bim>
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O. y Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 1046-1053.

- González, M., Gámez, R. y Soler, M. (2014). INTRODUCCION A LA METODOLOGÍA BIM. The Spanish Journal of BIM. 14. 48-54. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM
- Graphisoft. (s.f). DESIGN AND DELIVER GREAT BUILDINGS. Recuperado de: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/building-design-software/aecosim-building-designer>
- Gu, N. y London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in Construction, 19(8), 988-999. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Kerzner, H. (2022). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (13^{ava} ed.). Wiley.
- Kumar, B. y Hayne, G. (2016). A Framework for Developing a BIM Strategy. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317663680_A_Framework_for_Developing_a_BIM_Strategy
- Lésmes, F. y Gonzalez. R. (2017, enero 2). Siete dimensiones de un proyecto de construcción con la metodología Building Information Modeling. Revista. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/339300817_Siete_dimensiones_de_un_proyecto_de_construccion_con_la_metodologia_Building_Information_Modeling_Revista_LEsprit_Ingenieux_8_1_2017
- Liu, R., Issa, R. y Olbina, S. (2010). Factors influencing the adoption of building information modeling in the AEC Industry. Proceedings of the 2010 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.
- Lobo, R. (2022). Modelado de la información para puentes a través de la metodología BIM. MIDAS. Recuperado de: <https://www.midasoft.com/latinoamerica/learning/hub/metodologia-brim>
- Madrid, J. (2015). BIM (Building Information Modelling): New LOD definitions. Level of Development for LOD000 to LOD600 and LOD X00. 15(01). Madrid, España. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283570424_BIM_Building_Information_Modelling_New_LOD_definitions_Level_of_Development_for_LOD000_to_LOD600_and_LOD_X00
- Mahalingam, A., Yadav, K. y Varaprasad, J. (2015). Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases. Journal of Construction Engineering and Management, 141(7), 04015017.
- Mayouf, M., Jones, J., Elghaish, F., Emam, H., Ekanayake, E. y Ashayeri, I. (2024). Revolutionising the 4D BIM Process to Support Scheduling Requirements in Modular Construction. Sustainability,16(476) <https://doi.org/10.3390/su16020476>
- Mori, G. y Zamora, K. (2023). Implementación de las herramientas virtuales BIM 4D para mejorar la planificación del proyecto el parque, distrito de surco, lima, 2023. [Tesis para optar por grado de

- licenciatura]. Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34052>
- Morote, N., Vila, R. y Morote, N. Estrategias para la implementación del sistema de gestión Last Planner. Recuperado de: https://www.aeipro.com/files/congresos/2009badajoz/ciip09_0197_0206.2473.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado el: 1/5/2024. Recuperado de. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Patricio, R. (2011). Estudio de impacto por la implementación de un modelo 4D y Last Planner System en obra. [Tesis para optar por grado de licenciatura]. Universidad de Chile.
- Porraz, H., Giovanni, O. y Alberto, J. (3/6/2014). Filosofía Lena Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. Avances Investigación en Ingeniería. 11(1). 32-53.
- Project Management Institute. (2017). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (6ta ed.). Project Management Institute.
- Project Managment Institute. (2004). Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos. (4^{ta} ed.) Pensylvania- Project Managment Institute. Recuperado de: https://www.sadamweb.com.ar/news/2016_08Agosto/Guia_Fundamentos_para_la_Direccion_de_Proyectos-4ta_Edicion.pdf?PMBOX=http://www.sadamweb.com.ar/news/2016_08Agosto/Guia_Fundam
- Revizto. (s.f). Conectando a todos los miembros del proyecto en una sola plataforma. Recuperado de: <https://revizto.com/es/>
- Soto, C. (2017). "Plan BIM. Desarrollo del Programa". Recuperado de: https://bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/11/Plan_BIM_Development_of_the_Program_Carolina_Soto_CORFO.pdf
- Staub-French, S. y Khanzode, A. (2007). 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned. ITcon, 12(10), 381-407.
- Trimble. (s.f). Tekla Structures. Recuperado de: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>
- Vazques, A. (2020). Propuesta de un plan para la implementación BIM en la empresa constructora Estructuras S.A. [Tesis para optar por el grado de licenciatura]. Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/2238/11541>
- Valle, R. (2014). Factores clave y metodología para planificar la implementación de BIM al interior de una empresa constructora-inmobiliaria. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. Pontifica Universidad Católica de Chile. Recuperado de: <https://bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/Factores-Claves-y-Metodolog%C3%ADa-para-Planificar-la-Implementaci%C3%B3n-de-BIM-al-Interior-de-una-Empresa-Constructora.pdf>
- Ventura, R. (2021). Detección de interferencias al compatibilizar el diseño estructural de un Centro Médico aplicando la metodología BIM. [Tesis de licenciatura]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/77264>

Anexos

Anexo 1 Vínculo de acceso a la documentación de la buildingSmart Spain, para consultar la nomenclatura.

Enlace: <https://www.buildingsmart.es/recursos/nomenclatura-documentos-bim/>

Apéndices

Apéndice 1. Plantilla de encuesta aplicada a los integrantes del departamento de proyectos

Estado actual de la implementación BIM 4D en la empresa Construcciones Peñaranda S.A

El presente formulario tiene la finalidad de recopilar información para determinar el estado actual de la implementación de BIM 4D en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, con el fin de usar los datos para el desarrollo del Trabajo Final de Graduación del estudiante Yeikel Sanabria Mora de la Carrera de Ingeniería en Construcción para el semestre 2 del 2024.

* Indica que la pregunta es obligatoria

Sección 1

Información general

1. Nombre:
2. Rol en la empresa: *
3. Años de experiencia en la empresa:
4. Experiencia en la industria de la construcción:

Sección 2

Actuales prácticas y desafíos

5. ¿Cómo se planifican los proyectos constructivos actualmente? *
 - () Métodos manuales (hojas de cálculo en Excel)
 - () Software de gestión de proyectos (MS Project, O4Bi, PRIMAVERA)
 - () Otros:
6. Especifique el software que usa actualmente para la planificación de proyectos, ¿Cómo lo usa y su rol durante el proceso? *
7. ¿Cómo se transmite la información recopilada durante la planificación y ejecución de proyectos? *
 - () Correo electrónico
 - () Almacenamiento en la nube compartido
 - () Redes sociales (Whatsapp, Telegram)
 - () Otros:
8. ¿Cómo gestiona actualmente la comunicación de los equipos que participan en la ejecución de proyectos? *
 - () Reuniones presenciales
 - () Reuniones virtuales
 - () Correos electrónicos
 - () Red social (Whatsapp, Telegram, Documentación impresa)
 - () Otros:
9. ¿Qué desafíos enfrenta en la coordinación y actualización de modelos? *
 - () Planificación deficiente
 - () Poca colaboración en tiempo real
 - () Dificultad en identificación y resolución de conflictos
 - () Atrasos en la ejecución
 - () Reprocesos

- ☐ Otros:
10. ¿Qué desafíos enfrenta en la coordinación y ejecución del proyecto? *
- ☐ Falta de comunicación
 - ☐ Dificultad de comunicación
 - ☐ Falta de información en tiempo real
 - ☐ Dificultad para registrar los cambios
 - ☐ Falta de recursos humanos para gestionar información
 - ☐ Falta de procesos trazables
11. ¿Cuál considera que es su capacidad en el uso de Revit? *
- ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ No lo sé usar
12. ¿Cuál considera que es su nivel de capacidad en el uso de Naviswork? *
- ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ No lo sé usar
13. ¿Cuál considera que es su capacidad en el uso de Ms Project? *
- ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ No lo sé usar

Sección 3

Conciencia y comprensión

14. ¿Está familiarizado con la metodología BIM (Building Information Modeling)? *
- ☐ Sí
 - ☐ No
15. ¿Está familiarizado con BIM 4D (Modelado de información de construcción con integración de tiempo/programación)? *
- ☐ Sí
 - ☐ No
16. ¿Cómo calificaría su conocimiento de BIM 4D? *
- ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ Ninguno

Sección 4

Interés y Percepción

17. ¿Estás interesado en aprender más sobre BIM 4D? *
- ☐ Sí
 - ☐ Tal vez
 - ☐ No

18. ¿Cree que BIM 4D podría abordar los desafíos que enfrenta en el modelado y las actualizaciones de proyectos? *
- ☐ Completamente de acuerdo
 - ☐ De acuerdo
 - ☐ Tal vez
 - ☐ Desacuerdo
 - ☐ Totalmente desacuerdo
19. ¿Qué aspectos de BIM 4D cree que serían más beneficiosos para su trabajo? *
- ☐ Mejora en la planificación
 - ☐ Mejora en la colaboración
 - ☐ Reducción de retrasos
 - ☐ Reducción de sobrecostos
 - ☐ Mejora en la resolución de conflictos o imprevistos
 - ☐ Otros:

Sección 5

Capacitación y soporte

20. ¿Qué tipo de capacitación prefiriere para aprender BIM 4D? *
- ☐ Talleres de trabajo
 - ☐ Cursos online
 - ☐ Seminarios web
 - ☐ Infografías
 - ☐ Documentación
 - ☐ Otros:
21. ¿Cuánto tiempo semanal podría dedicar a la formación BIM 4D? *
- ☐ Menos de 1 hora
 - ☐ 1-2 horas
 - ☐ 2-4 horas
 - ☐ Opción 4
 - ☐ Más de 4 horas
22. ¿Qué soporte cree que sería necesario para una implementación exitosa de BIM 4D? *
- ☐ Acceso software
 - ☐ Sesiones regulares de entrenamiento
 - ☐ Guía de Expertos
 - ☐ Otros:

Sección 6

Sugerencias y comentarios

23. ¿Qué pasos iniciales cree que debería dar la empresa para implementar BIM 4D en el departamento de proyectos? *
24. ¿Tiene algún comentario o sugerencia adicional que considere relevante sobre la implementación de BIM 4D?

Apéndice 2. Plantilla de encuesta aplicada a los integrantes del departamento de modelado.

Estado actual de la implementación BIM 4D en la empresa Construcciones Peñaranda S.A

El presente formulario tiene la finalidad de recopilar información para determinar el estado actual de la implementación de BIM 4D en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, con el fin de usar los datos para el desarrollo del Trabajo Final de Graduación del estudiante Yeikel Sanabria Mora de la Carrera de Ingeniería en Construcción para el semestre 2 del 2024.

* Indica que la pregunta es obligatoria

Sección 1

Información general

1. Nombre:
2. Rol en la empresa: *
3. Años de experiencia en la empresa:
4. Experiencia en la industria de la construcción:

Sección 2

Actuales prácticas y desafíos

5. ¿Cómo desarrollan actualmente el detallado de proyectos? *
 - ☐ Métodos 2D (CAD, DIBUJO MANUAL)
 - ☐ Software 3D (REVIT, ARCHICAD)
 - ☐ Otros:
6. Especifique el software que usa actualmente para el modelado/dibujo de proyectos, ¿Cómo lo usa y su rol durante el proceso? *
7. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta en el modelado de proyectos? *
(Selecciones los casos que apliquen)
 - ☐ Datos inexactos
 - ☐ Falta de información
 - ☐ Identificación de interferencias
 - ☐ Nivel de detalle deficiente
 - ☐ Limitaciones del software Limitaciones de hardware
 - Otros:
8. ¿Cómo gestiona actualmente la coordinación y las actualizaciones de modelos entre los diferentes equipos involucrados en un proyecto? *
 - ☐ Reuniones
 - ☐ Correos electrónicos
 - ☐ Microsoft Teams
 - ☐ Almacenamiento en la nube
 - ☐ Otros:
9. ¿Qué desafíos enfrenta en la coordinación y actualización de modelos? *
 - ☐ Comunicación interrumpida
 - ☐ Falta de información en tiempo real
 - ☐ Dificultad para registrar los cambios
 - ☐ Otros:
10. ¿Cuál considera que es su nivel de capacidad en el uso de Revit? *
 - ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ No lo sé usar
11. ¿Cuál considera que es su nivel de capacidad en el uso de Naviswork? *
 - ☐ Avanzado
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ No lo sé usar
12. ¿Cuál considera que es su capacidad en el uso de Ms Project? *
 - ☐ Avanzado

- ☐ Alto
- ☐ Intermedio
- ☐ Principiante
- ☐ No lo sé usar

Sección 3

Conciencia y comprensión

13. ¿Está familiarizado con la metodología BIM (Building Information Modeling)? *
 - ☐ Sí
 - ☐ No
14. ¿Está familiarizado con BIM 4D (Modelado de información de construcción con integración de tiempo/programación)? *
 - ☐ Sí
 - ☐ No
15. ¿Cómo calificaría su conocimiento de BIM 4D? *
 - ☐ Alto
 - ☐ Intermedio
 - ☐ Principiante
 - ☐ Ninguno

Sección 4

Interés y Percepción

16. ¿Estás interesado en aprender más sobre BIM 4D? *
 - ☐ Sí
 - ☐ Tal vez
 - ☐ No
17. ¿Cree que BIM 4D podría abordar los desafíos que enfrenta en el modelado y las actualizaciones de proyectos? *
 - ☐ Completamente de acuerdo
 - ☐ De acuerdo
 - ☐ Tal vez
 - ☐ Desacuerdo
 - ☐ Totalmente desacuerdo
18. ¿Qué aspectos de BIM 4D cree que serían más beneficiosos para su trabajo? *

Mejora en la precisión de la información

 - ☐ Evitar interferencias en sistemas (pluvial, mecánico, eléctrico, estructural)
 - ☐ Mejora en la representación de los modelos
 - ☐ Reducción de reprocesos
 - ☐ Otros:

Sección 5

Capacitación y soporte

19. ¿Qué tipo de capacitación prefiriere para aprender BIM 4D? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

 - ☐ Talleres de trabajo
 - ☐ Cursos online
 - ☐ Seminarios web
 - ☐ Infografías
 - ☐ Documentación
 - ☐ Otros:
20. ¿Cuánto tiempo semanal podría dedicar a la formación BIM 4D? *

- ☐ Menos de 1 hora
 - ☐ 1-2 horas
 - ☐ 2-4 horas
 - ☐ Opción 4
 - ☐ Más de 4 horas
21. ¿Qué soporte cree que sería necesario para una implementación exitosa de BIM 4D? *
- ☐ Acceso software
 - ☐ Sesiones regulares de entrenamiento
 - ☐ Guía de Expertos
 - ☐ Otros:

Sección 6

Sugerencias y comentarios

22. ¿Qué pasos iniciales cree que debería dar la empresa para implementar BIM 4D en el departamento de modelado? *
23. ¿Tiene algún comentario o sugerencia adicional que considere relevante sobre la implementación de BIM 4D?

Apéndice 3. Memoria de cálculo del análisis multicriterio para la selección del software para la planificación, monitoreo y control de proyectos en etapa constructiva.

Para poder acceder a la memoria de cálculo, dirigirse al siguiente enlace con el documento en línea, ya que, por formato y dimensiones, no se pudo incluir en este apartado.

Enlace: [Análisis multicriterio.xlsx](#)

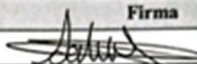
Apéndice 4. Visualización de la plantilla completa de Ms Project con información importada de Navisworks para el monitoreo y control de obra.

001UNV-CP-CN-ZZZ-M3D-INT-000-PROGRAMACION-S0.mpp - Project Professional														
File Task Resource Report Project View Help Gantt Chart Format Tell me what you want to do														
Gantt Chart View Paste Copy Format Painter Clipboard Font Calibri 11 Schedule Mark on Track Respect Links Inactivate Tasks Manually Schedule Auto Schedule Inspect Move Mode Task Summary Milestone Deliverable Insert Information Notes Details Add to Timeline Properties Find Scroll to Task Clear Fill Editing														
Active	Task Name	Duration	Start	Finish	Actual Start	Actual Finish	TASK TYPE	ATTACHED SETS	Predecessors	Unique ID	CURRENT DATE + 21	% Complete	%PLANNED	%DELAYED
0	Yes # 001UNV-CP-CN-ZZZ-M: 93 days	10/1/24 8:00	1/30/25 14:00	10/1/24 8:00	NA	NA Construct				0	No	33%	32%	0%
1	Yes # 1 CIMIENTOS	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00	NA Construct	Sets->CIMIENTOS CORRIDOS			12	No	53%	100%	-47%
2	Yes 1.1 CIMIENTO CORRIDO	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00	NA Construct	Sets->BORDES			13	No	25%	100%	-75%
3	Yes 1.2 BORDE	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00	NA Construct	Sets->CUÑA			14	No	35%	100%	-65%
4	Yes 1.3 CUÑA	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00 Construct	Sets->COLUMNAS	1FF		15	No	100%	100%	0%
5	Yes 2 COLUMNAS	12 days	10/4/24 11:00	10/19/24 16:00	10/4/24 11:00	10/19/24 16:00 Construct	Sets->MAMPOSTERÍA	1,5		16	No	100%	100%	0%
6	Yes 3 PAREDES	20 days	10/19/24 16:00	11/15/24 11:00	10/19/24 16:00	NA Construct	Sets->CONTRAPISO	1,5,6		17	Yes	78%	72%	0%
7	Yes 4 CONTRAPISO	10 days	11/15/24 11:00	11/28/24 14:00	11/15/24 11:00	NA Construct	Sets->TAPICHELES	5,6,7		18	Yes	50%	0%	0%
8	Yes # 5 VIGAS	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00	NA	NA Construct	Sets->TAPICHELES Y VIGAS	5,6,7		19	No	0%	0%	0%
9	Yes 5.1 TAPICHELES	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00	NA	NA Construct	Sets->ESTRUCTURA DE TECHO	8		20	Yes	0%	0%	0%
10	Yes 5.2 VIGAS	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00	NA	NA Construct	Sets->CUBIERTA	11		21	Yes	0%	0%	0%
11	Yes 6 ESTRUCTURA DE TECHO	25 days	12/6/24 11:00	1/8/25 12:00	NA	NA Construct	Sets->HOJALATERIA	12		22	No	0%	0%	0%
12	Yes 7 CUBIERTA	12 days	1/8/25 13:00	1/23/25 17:00	NA	NA Construct	Sets->ACABADO DE MUROS	6,9,10		23	No	0%	0%	0%
13	Yes 8 HOJALATERIA	5 days	1/24/25 8:00	1/30/25 14:00	NA	NA Construct	Sets->VENTANERÍA	14		24	No	0%	0%	0%
14	Yes 9 ACABADOS DE PAREI	25 days	12/6/24 11:00	1/8/25 12:00	NA	NA Construct				25	No	0%	0%	0%
15	Yes 10 VENTANERÍA	5 days	1/8/25 13:00	1/15/25 9:00	NA	NA Construct				26	No	0%	0%	0%

Apéndice 5. Evidencias de participación en charla demostrativas del uso de las herramientas para la planificación, monitoreo y control de proyectos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A.

Semestre 2 2024		Control de asistencia	TFG Tecnológico de Costa Rica
Instructor: Yeikel Sanabria Mora		Fecha: 21/10/2024	
Nombre de la actividad:			
Presentación #2 Herramientas y guía de la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos (CBM ID)			
Asistente	Firma		
01. Morlon Esquivel Gorría	01. Morlon Esquivel G.		
02. José Herrera M.	02. José Herrera		
03. Fabiola Zamora Pereira	03. Fabiola		
04. Sabrina Valverde Solórzano	04. Sabrina		
05. Henry Daniel Araya Araya	05. Henry		
06. Ignacio García	06. Ignacio		
07. Wilson Suárez Araya	07. Wilson		
08. Fiorella Ledezma Casanova	08. Fiorella		
09. Francisco Mayra	09. Francisco		
10. Dani Morales González	10. Dani		
11. Bryan Carillo J.	11. Bryan		
12.	12.		
13.	13.		
14.	14.		

Semestre 2 2024		Control de asistencia	TFG Tecnológico de Costa Rica
Instructor: Yeikel Sanabria Mora		Fecha: 31/10/2024	
Nombre de la actividad:			
Presentación #2 Herramientas y guía para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos. (CBM ID)			
Asistente	Firma		
01. Fiorella Ledezma Casanova	01. Fiorella		
02. Francisco Mayra A.	02. Francisco		
03. Sabrina Valverde Solórzano	03. Sabrina		
04. Henry Daniel Araya Araya	04. Henry		
05. Fabiola Zamora Pereira	05. Fabiola		
06. José Herrera M.	06. José Herrera		
07. Wilson Suárez Araya	07. Wilson		
08. Morlon Esquivel Gorría	08. Morlon Esquivel G.		
09. Bryan Carillo J.	09. Bryan		
10. Ignacio García	10. Ignacio		
11. Dani Morales González	11. Dani		
12.	12.		
13.	13.		
14.	14.		

Semestre 2 2024	Control de asistencia	TFG Tecnológico de Costa Rica
Instructor: Yeikel Sanabria Mora	Fecha: 7/11/2024	
Nombre de la actividad:		
Revisión # 3: Herramientas y guía para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos.		
Asistente	Firma	
01. Sabrina Valverde Solórzano	01.	
02. Marlon Esquivel García	02.	Marlon Esquivel G.
03. Fiorella Ledezma Casonova	03.	
04. Dayan Gállo J.	04.	
05.	05.	
06.	06.	
07.	07.	
08.	08.	
09.	09.	
10.	10.	
11.	11.	

Apéndice 6. Guía de implementación de herramientas para planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A

Guía de implementación de las herramientas para la planificación, monitoreo y control de proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A

Elaborado por: Yeikel Sanabria Mora

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Enero del 2024

Versión 2.1

Contenido

Introducción.....	2
Objetivo	2
Descripción de software requerido	2
Propósito de la guía.	3
Vinculación de Revit con Navisworks.....	4
Detección de interferencias.....	8
Programación de proyectos con Navisworks y Ms Project.....	12
Referencias	17

Introducción

La presente guía surge como requisito de la implementación de herramientas para la planificación, monitoreo y control de procesos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda como producto del desarrollo del Trabajo Final de Graduación en esta misma durante el segundo semestre del 2024.

Objetivo

Instruir al personal encargado de los proyectos constructivos en la empresa Construcciones Peñaranda S.A, para la planificación, monitoreo y control de proyectos con ayuda de los software Ms project, Revit y Navisworks.

Descripción de software requerido

Revit: Este software es desarrollado y con soporte por parte de Autodesk, permite la creación de modelos tridimensionales que contienen información de cada elemento, como materiales, colores, dimensiones, peso, entre otros, Este software permite la colaboración en un entorno compartido del personal involucrado en un proyecto. (Autodesk, s.f).

Navisworks: es usado para poder revisar proyectos, permite la coordinación y detección de interferencias en los modelos, con tal de identificar los conflictos antes de empezar la construcción y resolver este tipo de problemas con anticipación. (Autodesk, s.f).

Microsoft Project: es una herramienta de software de gestión de proyectos desarrollada por Microsoft, que permite planificar, organizar y realizar el seguimiento de proyectos en diversos sectores. Este software facilita la asignación de tareas, la administración de recursos y el análisis de tiempos y costos, lo que permite optimizar la gestión y ejecución de proyectos. (Microsoft, s.f)

Propósito de la guía.

Esta guía se crea como medio de obtener un primer acercamiento en la aplicación y uso de las herramientas generadas para la planificación, monitoreo y control de obra en la empresa Construcciones Peñaranda S.A., con tal de poder lograr un control con mayor alcance en función de la metodología Building Information Modeling (BIM) en los proyectos constructivos, y de esta forma aprovechar la interoperabilidad de los software Navisworks y Revit, así como, el uso de plantillas para la vinculación de Ms Project y Navisworks.

Esta guía busca dar a entender, a quien la consulte, cuál es el proceso para poder hacer uso de las opciones que ofrecen los software Revit, Navisworks y Ms project, los cuales son usados actualmente para producir la documentación durante la etapa de ejecución de los proyectos constructivos.

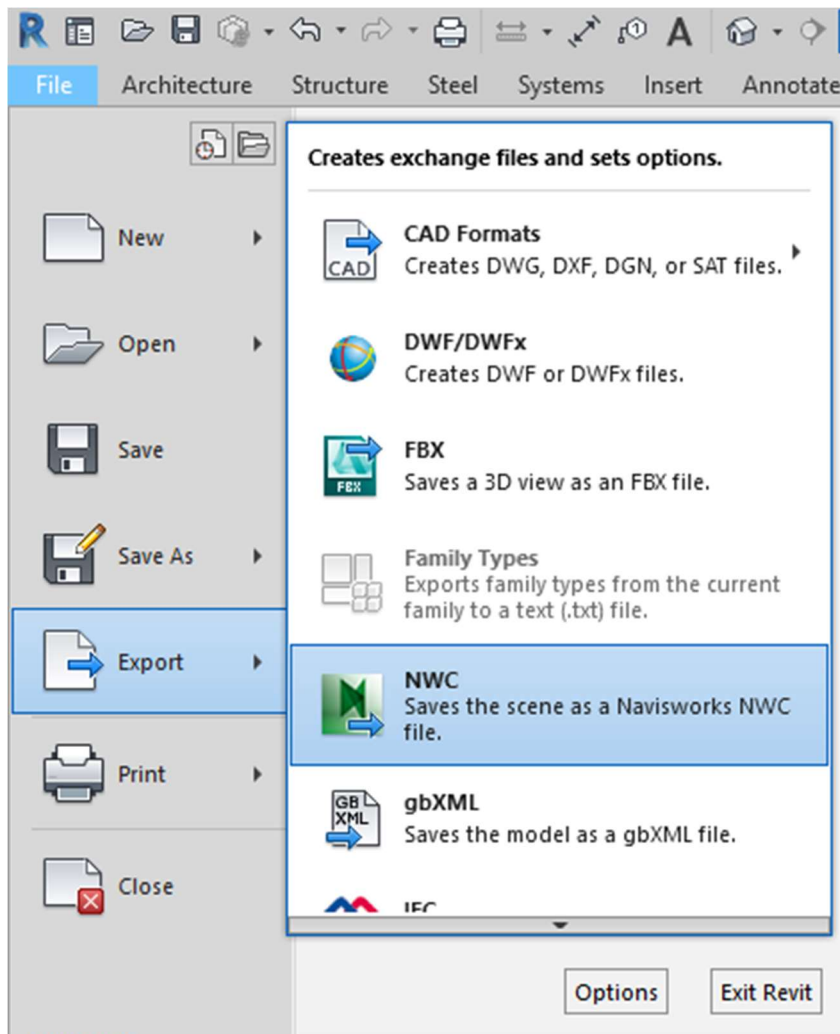
Vinculación de Revit con Navisworks

Para poder lograr la vinculación de Revit con Navisworks, se deben abrir los modelos en Revit, es importante recalcar que inicialmente, Navisworks usa como referenica de visualización la primera vista en 3D configurada en el modelo, así que, a partir de esta se determina qué quiere que se observe en Navisworks al cargar el archivo.

Para cargar el archivo se realizan los siguientes pasos **File > Export > NWC**, tal como se ve en la

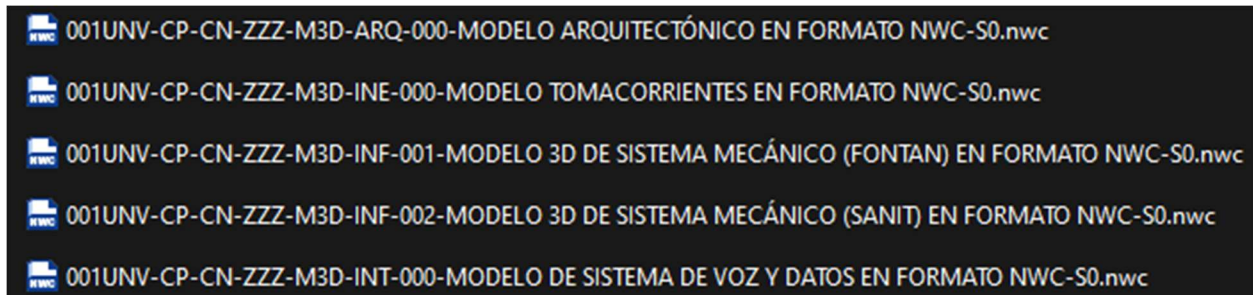
Figura 1

Figura 1 Exportación de archivo de Revit a Navisworks



Este paso genera un archivo como los que se muestran en la Figura 2.

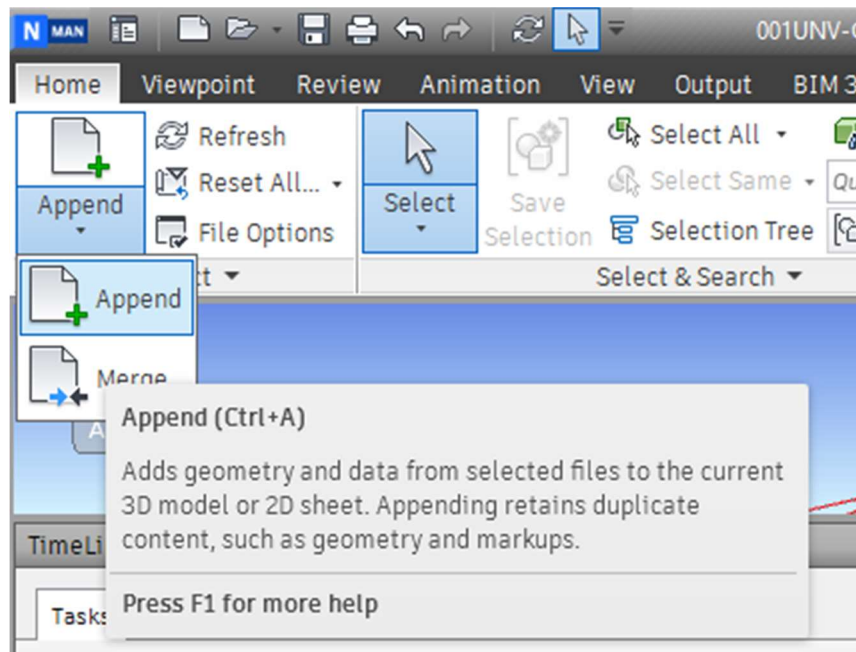
Figura 2 Archivos generados de los modelos de Revit en formato NWC



Posteriormente, se debe iniciar Navisworks, crear un documento nuevo y cargar los archivos previamente guardados, para ello se seleccionan las opciones **Home > Append > Append** y cada archivo que se desea incluir desde el administrador de archivos (Ver

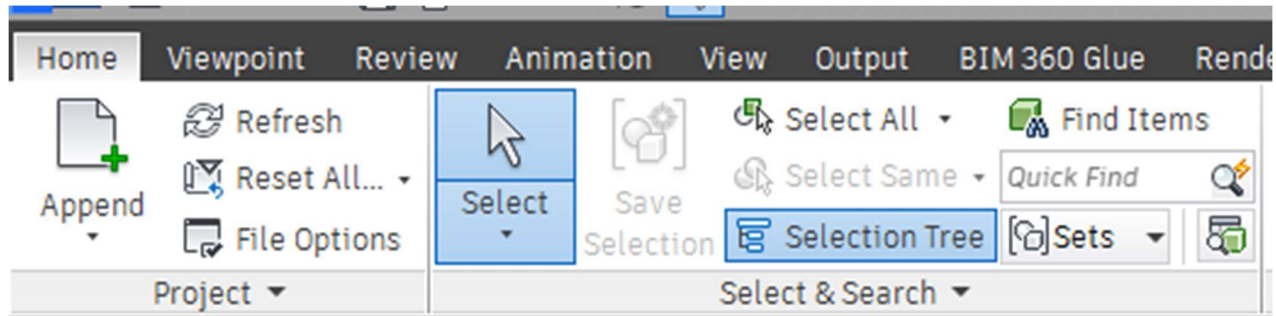
Figura 3).

Figura 3 Inserción de modelos de Revit en formato NWC



Si el árbol de selección está desactivado, se puede habilitar haciendo click en **Home > Selection Tree**, en la Figura 4 se puede ver la ubicación de la opción.

Figura 4 Ubicación de la opción Selection tree (árbol de selección)

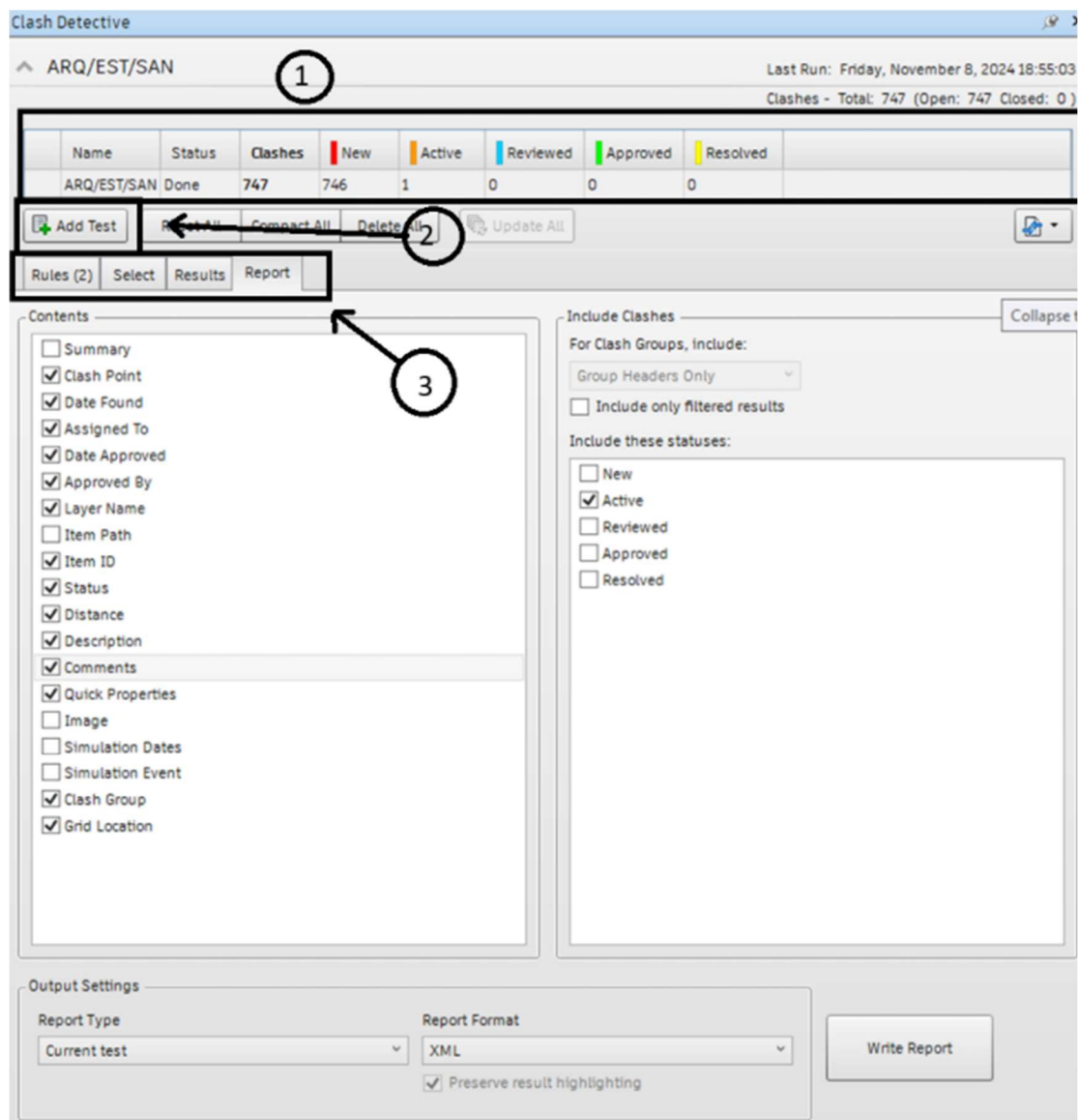


En la nueva cinta de opciones que se muestra en la pantalla, se puede elegir cuales modelos se muestran para revisión, al dar click derecho en cada una, es posible elegir la opción de ocultar o mostrar; es necesario que para la detección de interferencias esté visible cada disciplina a trabajar, para poder ver los resultados.

Detección de interferencias

En la opción **Home > Clash** detective se puede configurar cada prueba a realizar, en la Figura 5 se observan las opciones que posee la ventana de detección de interferencias.

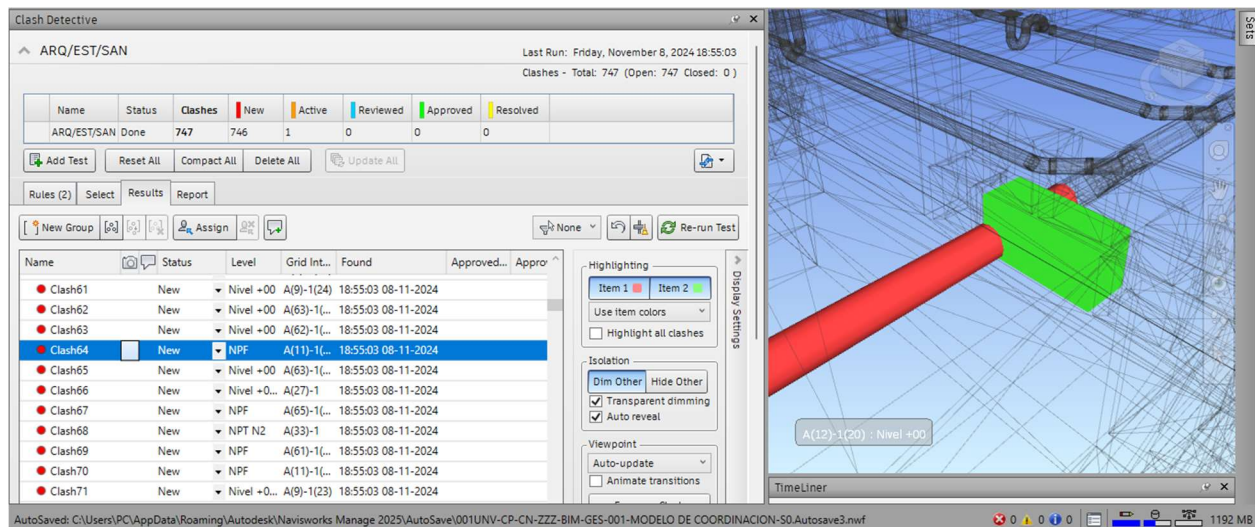
Figura 5 Ventana de opciones para la prueba de interferencias entre modelos



Nota. La opción 1 permite ver las pruebas existentes, en la 2 se puede generar nuevas pruebas, o modificar las existentes, en la 3 se puede ver el apartado de reglas, selección de modelos, ver los resultados de las pruebas y realizar el reporte de estas.

En la pestaña de resultados, se pueden elegir las interferencias que se desean intervenir y corregir, estas se pueden documentar como: **New, Active, Reviewed, Approved, Resolved**, además, en la segunda columna se puede guardar una imagen de la interferencia y realizar un comentario, por ejemplo, asignar un encargado de modelado para la solución del conflicto según la disciplina a la que corresponda, en pantalla se muestran los elementos resaltados de tal forma que se puede ver cuales son los que están colisionando, en la Figura 6 se puede ver un ejemplo de los resultados.

Figura 6 Ejemplo de interferencia en elementos de distintas disciplinas



Una vez revisadas las interferencias, se puede generar el reporte en formato xml que se utilizará en Revit para resolver las interferencias, por medio de **Report > Write report**. En este caso se deben elegir las opciones que incluyen la información de los elementos en colisión y el estatus, esto va a variar según el proyecto, por lo que, para el ejemplo se consideró: **Clash Point, Date Found, Assigned To, Date Approved, Layer Name, Item ID, Status, Distance, Description, Comments, Quick Properties, Clash Group y Grid Location**, junto con el estatus de Activo (Ver Figura 7)

Figura 7 Configuración de campos para exportar reporte

The screenshot shows the 'Clash Detective' application window. At the top, it displays 'ARQ/EST/SAN' and 'Last Run: Friday, November 8, 2024 18:55:0'. Below this, a summary bar shows 'Clashes - Total: 747 (Open: 747 Closed: 0)'. A table lists the clash data:

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
ARQ/EST/SAN	Done	747	746	1	0	0	0

Below the table are buttons: '+ Add Test', 'Reset All', 'Compact All', 'Delete All', and 'Update All'. A tabbed interface shows 'Rules (2)', 'Select', 'Results', and 'Report' (which is active). The 'Report' tab contains two main sections:

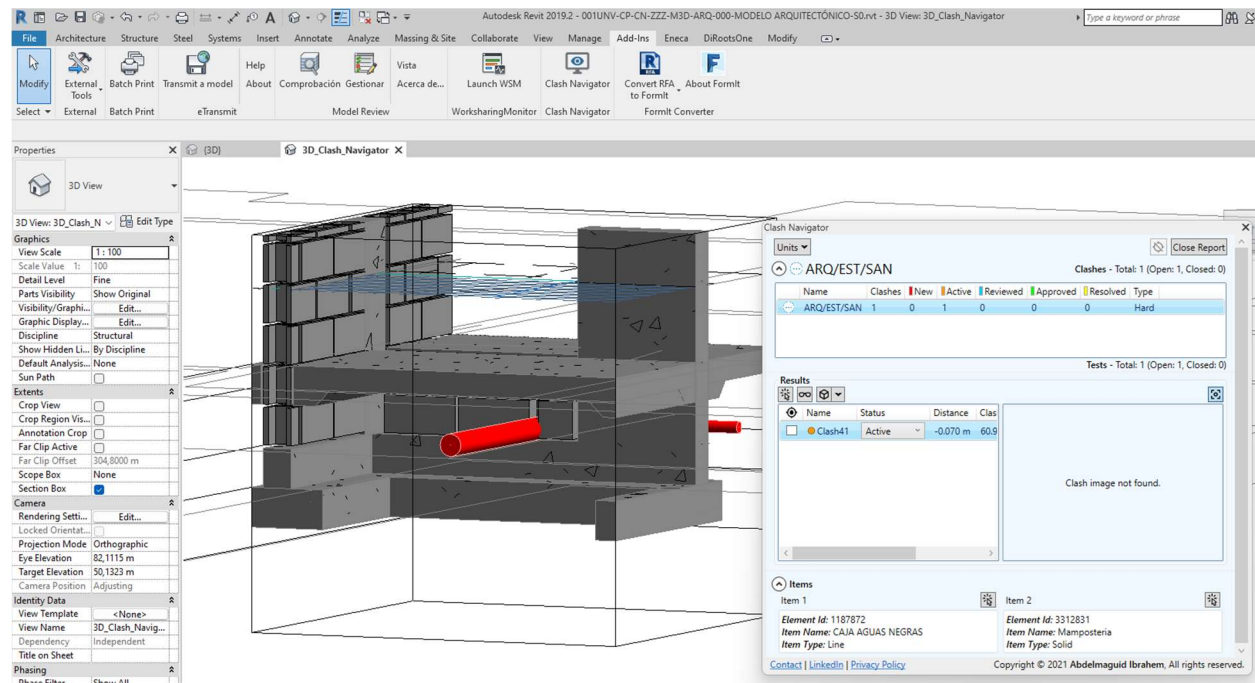
- Contents:** A list of fields to include in the report, each with a checkbox. Most are checked: Summary, Clash Point, Date Found, Assigned To, Date Approved, Approved By, Layer Name, Item Path, Item ID, Status, Distance, Description, Comments, Quick Properties, Image, Simulation Dates, Simulation Event, Clash Group, and Grid Location.
- Include Clashes:** A section for filtering results. It includes a dropdown for 'For Clash Groups, include:' set to 'Group Headers Only', a checkbox for 'Include only filtered results', and a list of statuses to include: New, Active (checked), Reviewed, Approved, and Resolved.

At the bottom, the 'Output Settings' section has a 'Report Type' dropdown set to 'Current test', a 'Report Format' dropdown set to 'XML', and a checked checkbox for 'Preserve result highlighting'. A 'Write Report' button is located to the right of these settings.

Una vez generado el reporte, se abre nuevamente el modelo de Revit en el cual se realizará la corrección de las interferencias, para ello se da click en **Add-Ins > Clash Navigator**, en la ventana emergente se da en **Load Report** y se selecciona con el administrador de archivos el documento previamente guardado en formato xml.

Además, se da click en  y después en , para aislar los elementos, para mejorar la visualización, dando como resultado un vista similar a la Figura 8

Figura 8 Visualización de interferencia en modelo Revit con caja de sección



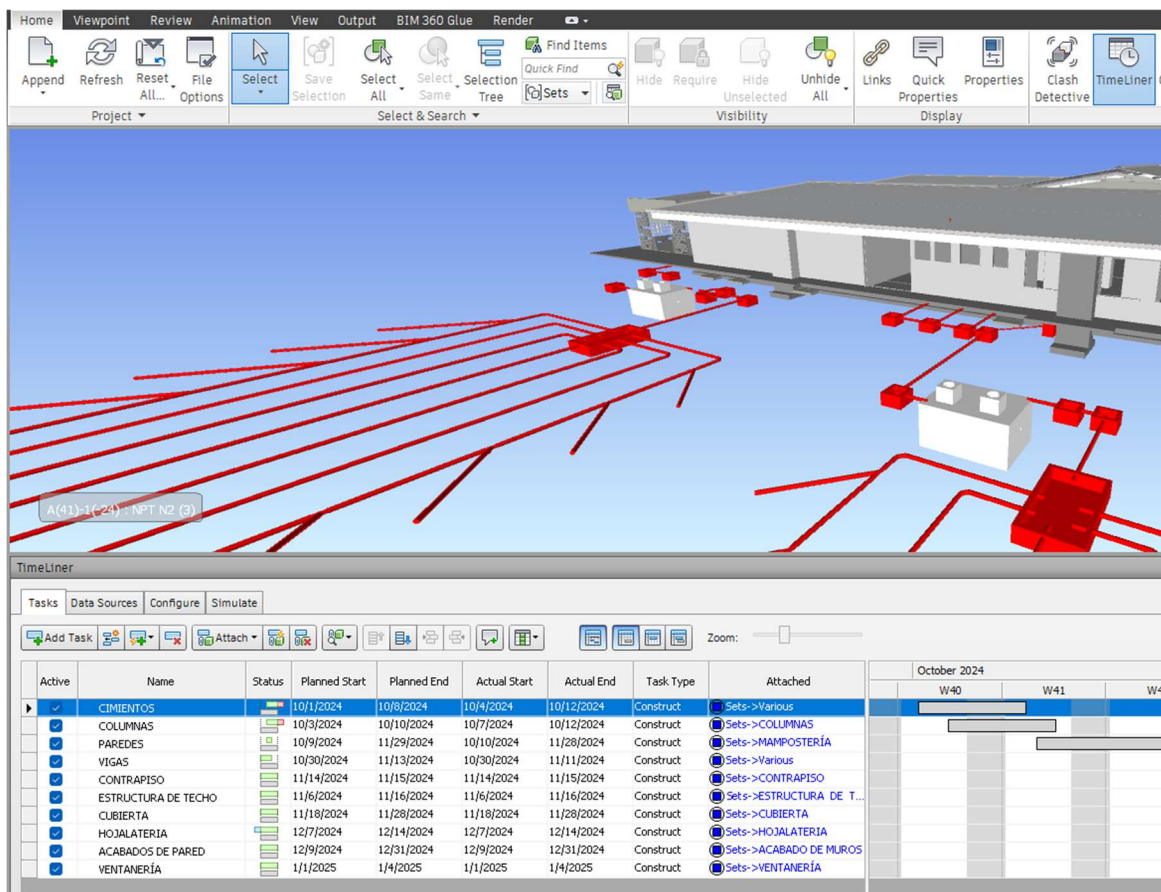
Una vez resueltas las interferencias, se puede continuar con la programación de las actividades con el timeliner del Navisworks o con los archivos de Ms Project, se puede importar de Ms project a Navisworks para incluir información nueva o actualizar lo existente, o, se puede enviar la programación de Navisworks a Ms project para realizar la planificación, monitoreo y control con la plantilla generada.

Programación de proyectos con Navisworks y Ms Project

Para poder vincular periodos de programación de actividades a los modelos en Navisworks, la primera opción consiste en generar tareas directamente en el timeliner, posteriormente es posible añadir grupos de elementos para simular la construcción.

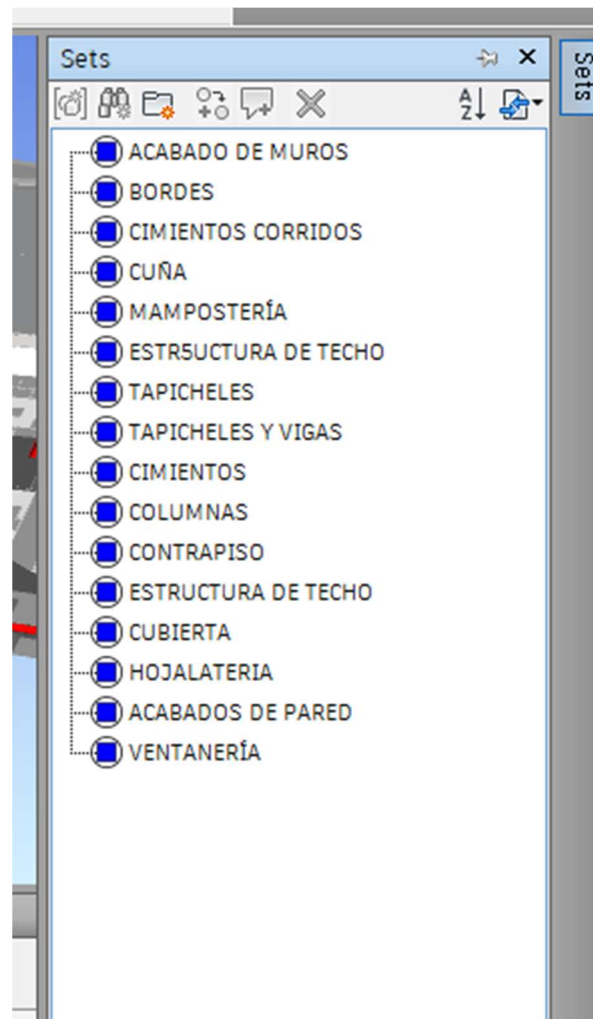
Primero, se activa el timeliner y se añaden tareas con la opción **Add Task**, en la Figura 9 se observa la ubicación de estas opciones, además, para cada tarea, se modifica el nombre con dar click sobre la respectiva celda y digitar el nuevo.

Figura 9 Creación de tareas con el timeliner



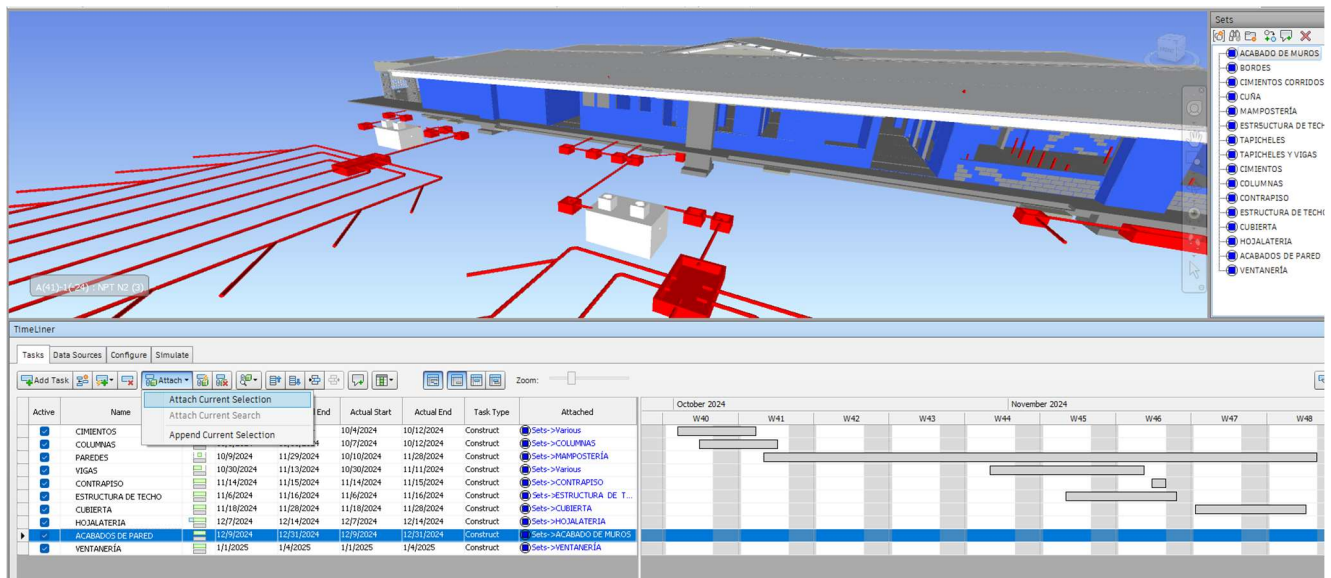
En cuanto a la simulación, se pueden crear grupos de elementos y asignarlos a las tareas, con tal de que se muestren en la simulación si se desea realizar una. Para ello se debe dar a las opciones de **Select > Save Selection** y se cambia el nombre a uno alusivo a la agrupación, resultando en los grupos o sets como los que se ven en la Figura 10.

Figura 10 Sets generados por agrupación



Para añadir los sets a las tareas se da click sobre cualquier set como los que se muestran en la Figura 10 y en la ventana de timeliner se selecciona la tarea a la que se va a asignar y luego se asigna en **Attach > Attach current selection** (ver Figura 11).

Figura 11 Asignación de sets a tareas

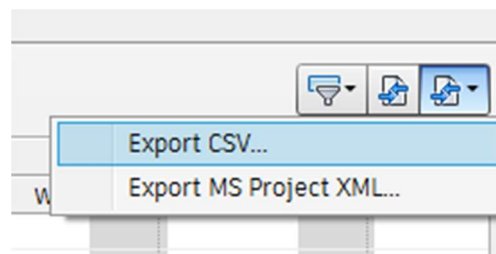


Con este procedimiento, se puede proceder a exportar la información a Ms Project para revisar la programación o añadir las respectivas dependencias.

Por ende, para poder “animar” la construcción, se selecciona en el **Timeliner Simulate** y  para reproducir la animación, que también puede ser guardada como un video.

Por otro lado, para exportar la programación a Ms project, se debe dar click en el timeliner en Task y en la opción de exportar en formato CSV, tal como se ve en la Figura 12, lo cual genera un archivo en formato CSV en la ubicación seleccionada con el nombre especificado.

Figura 12 Exportar de Ms Project a Ms Project



Para importar la información a Ms Project, se abre la plantilla creada, nuevamente se le da clic a abrir archivo, pero, en esta ocasión se busca el que tiene formato CSV, en la ventana

emergente del *IMPORT WIZARD* se da click en **Next > New Map > Next > Append the data to the active project > Next > Next** y se mostrará un cuadro como el de la Figura 13, donde se deben seleccionar en la segunda columna en los espacios indicados como (*not mapped*), por medio de los desplegables, la opción que tenga el mismo nombre que la celda adyacente en la columna 1.

Figura 13 Incorporación de datos del archivo CSV a Ms Project

Import Wizard - Task Mapping

Map Tasks Data

Source table name:
Task_Table1

Verify or edit how you want to map the data.

From: Text File Field	To: Microsoft Project Field	Data Type
Active	Active	Text
Name	Name	Text
Planned_Start	(not mapped)	Text
Planned_End	(not mapped)	Text
Actual_Start	Actual Start	Text

Add All Clear All Insert Row Delete Row

Preview

Text File:	Active	Name	Actual_Start	Task_Type
Project:	Active	Name	Actual Start	TASK TYPE
Preview:	Yes		10/1/24 8:00	
	Yes	CIMENTOS	10/1/24 8:00	Construct

Help < Back Next > Finish Cancel

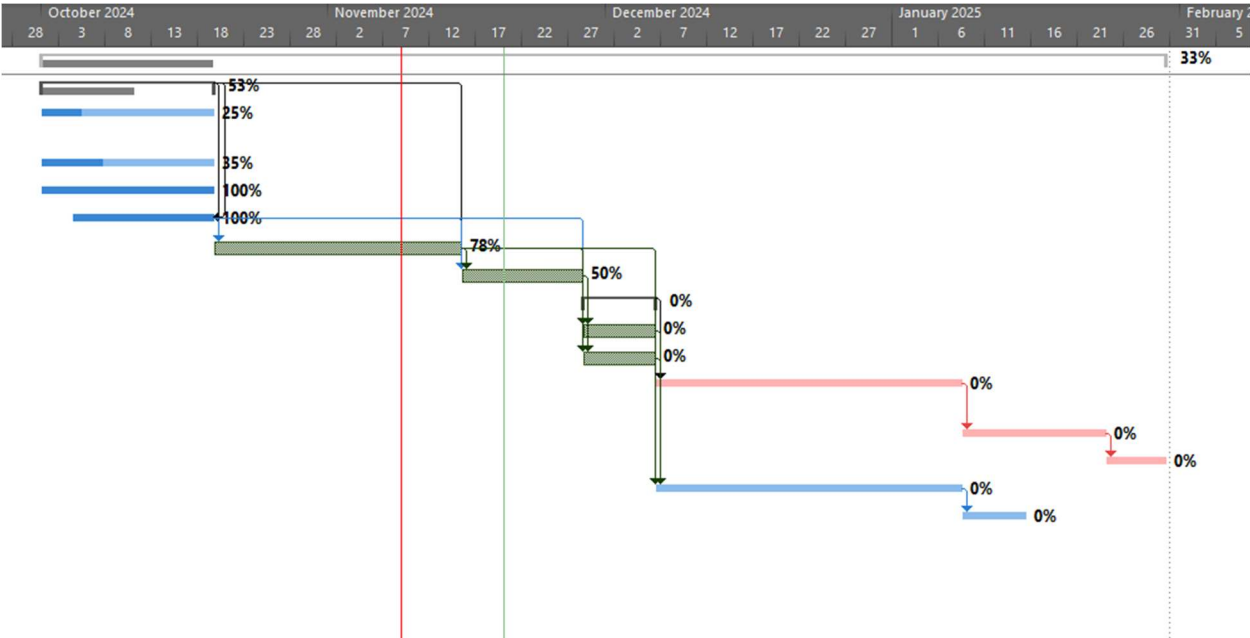
A partir de lo anterior, solo faltaría realizar la secuenciación de actividades por medio de dependencias para poder obtener la versión actualizada del documento, tal como se ve en la Figura 14.

Figura 14 Resultado de la importación de los datos y la generación de las dependencias

Task Mode	Active	Task Name	Duration	Start	Finish	Actual Start	Actual Finish	TASK TYPE	ATTACHED SETS	Predecessors	Unique ID	CURRENT DATE + 21	% Complete	% PLANNED	% DELAYED
	Yes	001UNV-CP-CN-ZZZ-ME	93 days	10/1/24 8:00	1/30/25 14:00	10/1/24 8:00		NA			0	No	33%	32%	0%
	Yes	1 CIMENTOS	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00		NA Construct			12	No	53%	100%	-47%
	Yes	1.1 CIMENTO CORRIDO	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00		NA Construct	Sets->CIMENTOS CORRIDOS		13	No	25%	100%	-75%
	Yes	1.2 BORDE	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00		NA Construct	Sets->BORDES		14	No	35%	100%	-65%
	Yes	1.3 CUÑA	15 days	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	10/1/24 8:00	10/19/24 16:00	Construct	Sets->CUÑA		15	No	100%	100%	0%
	Yes	2 COLUMNAS	12 days	10/4/24 11:00	10/19/24 16:00	10/4/24 11:00	10/19/24 16:00	Construct	Sets->COLUMNAS	1FF	16	No	100%	100%	0%
	Yes	3 PAREDES	20 days	10/19/24 16:00	11/15/24 11:00	10/19/24 16:00		NA Construct	Sets->MAMPOSTERÍA	1,5	17	Yes	78%	72%	0%
	Yes	4 CONTRAPISO	10 days	11/15/24 11:00	11/28/24 14:00	11/15/24 11:00		NA Construct	Sets->CONTRAPISO	1,5,6	18	Yes	50%	0%	0%
	Yes	5 VIGAS	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00			NA Construct			19	No	0%	0%	0%
	Yes	5.1 TAPICHELES	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00			NA Construct	Sets->TAPICHELES	5,6,7	20	Yes	0%	0%	0%
	Yes	5.2 VIGAS	6 days	11/28/24 14:00	12/6/24 11:00			NA Construct	Sets->TAPICHELES Y VIGAS	5,6,7	21	Yes	0%	0%	0%
	Yes	6 ESTRUCTURA DE TECHO	25 days	12/6/24 11:00	1/8/25 12:00			NA Construct	Sets->ESTRUCTURA DE TECHO	8	22	No	0%	0%	0%
	Yes	7 CUBIERTA	12 days	1/8/25 13:00	1/23/25 17:00			NA Construct	Sets->CUBIERTA	11	23	No	0%	0%	0%
	Yes	8 HOJALATERIA	5 days	1/24/25 8:00	1/30/25 14:00			NA Construct	Sets->HOJALATERIA	12	24	No	0%	0%	0%
	Yes	9 ACABADOS DE PAREDES	25 days	12/6/24 11:00	1/8/25 12:00			NA Construct	Sets->ACABADO DE MUROS	6,9,10	25	No	0%	0%	0%
	Yes	10 VENTANERÍA	5 days	1/8/25 13:00	1/15/25 9:00			NA Construct	Sets->VENTANERÍA	14	26	No	0%	0%	0%

Por último, con las opciones de las columnas personalizadas de la hoja, se puede hacer uso de la programación a tres semanas, ya que, al establecer la fecha actual del proyecto (ver Figura 15), en el diagrama de Gantt se van a mostrar en color verde las barras que corresponde a las actividades que se están desarrollando, junto con las que se espera que se desarrollen dentro de las próximas tres semanas, asimismo, con las columnas de porcentaje completado, porcentaje planeado, y porcentaje de retraso, se puede hacer un control del avance de obra con el fin de tomar decisiones para resolver algún atraso que se presente.

Figura 15 Representación del avance de obra, look ahead y actividades sin comenzar.



Referencias

Autodesk. (s.f). Navisworks. Autodesk. Recuperado de:
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Autodesk. (s.f). Revit. Autodesk. Recuperado de:
<https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Microsoft. (2022). *Microsoft Project*. Recuperado el 8 de noviembre de 2024, de
<https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/project/project-management-software>