

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. José Andrés Araya Obando, Ing. Ricardo Zúñiga Porras, Ing. Manuel Alán Zúñiga, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS
MOYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
GUSTAVO
ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)
Fecha: 2021.06.30
09:30:06 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director

JOSE ANDRES
ARAYA
OBANDO
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por JOSE ANDRES
ARAYA OBANDO
(FIRMA)
Fecha: 2021.07.01
17:44:37 -06'00'

Ing. José Andrés Araya Obando.
Profesor Guía

RICARDO DAVID
ZUNIGA PORRAS

Firmado digitalmente por
RICARDO DAVID ZUNIGA
PORRAS
Fecha: 2021.06.30 09:02:25
-06'00'

Ing. Ricardo Zúñiga Porras.
Profesor Lector

MANUEL
ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)

Digitally signed by
MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)
Date: 2021.06.30
09:14:58 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga.
Profesor Observador

Diseño del plan de ejecución BIM para la construcción del Sitio de Presa y Casa de Máquinas en el Embalse Río Piedras - Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).

Diseño del plan de ejecución BIM para la construcción del Sitio de Presa y Casa de Máquinas en el Embalse Río Piedras - Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).

ARVIN ARTOLA REYES
EDUARDO ROLDÁN CHACÓN

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

Junio 2021

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Resumen

El Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME), tiene por objeto proveer agua para distintos usos. Esto implica la construcción de obras de infraestructura de gran complejidad, por lo que la dirección técnica de PAACUME requiere asesoría con respecto a la fase constructiva de esas obras. En el marco planteado, el presente proyecto pretende brindar las herramientas necesarias de planificación, programación, organización y control de obra de la casa de máquinas y el sitio de la presa. Para ello se establecieron 4 ejes de trabajo: análisis de la información, creación de modelos, diseño de la estructura de trabajo y creación de la propuesta de control de obra. Se desarrollaron 2 herramientas, una en Revit y otra en Navisworks. Producto de la aplicación de estas herramientas y de la estructura del trabajo, se estimaron los materiales y la mano de obra necesaria; se crearon simulaciones y se determinó una duración de la labor para casa de máquinas de 83 días y para el sitio de presa de 2 años (735 días). Por último, se desarrollaron estrategias de control vinculadas con los modelos ejecutados. Dentro de las conclusiones del trabajo, sobresale la factibilidad de la metodología BIM para la planificación de obras de infraestructura hidráulica, debido a la complejidad derivada de su implementación, dada la inversión de recursos en aspectos como la introducción de herramientas, las capacitaciones y los procesos de adaptación, entre otros.

Abstract

The Project of Water Supply for the Middle Basin of Tempisque River and Coastal Communities (PAA-CUME) as known in Spanish, aims to provide water for various uses. This requires the construction of highly complex structures, which is why the (PAACUME) technical direction requires consultancy regarding the construction phase of these structures. Within the framework proposed, this project intends to provide the necessary tools for planning, programming, organization, and work control for particularly the powerhouse and the dam site. For these 4 work axes were defined: Information analysis, model creation, work structure design, and the creation of the work control proposal. Two tools were developed, one in Revit and another one in Navisworks. As a product of the implementation of these tools and the work structure, materials were estimated, manpower was estimated, simulations were created, and the duration of the powerhouse was determined to be 83 days and for the dam site 2 years (735 days). Finally, control strategies linked with the executed models were developed. Within the conclusions of this work, the most outstanding are the feasibility of BIM for the management and design of hydraulic infrastructure works, and in the same fashion, the complexity derived from its implementation. This given the investment in resources of areas such as the introduction of the tools, training, adaptation processes, among others.

Índice

1. Prefacio	5
2. Resumen Ejecutivo	6
3. Introducción	8
3.1. Objetivo General	12
3.2. Objetivos Específicos	12
4. Marco Teórico	13
4.1. Conceptos Clave	13
4.2. Metodología BIM	14
4.2.1. 1D -Idea	14
4.2.2. 2D -Elementos Bidimensionales	14
4.2.3. 3D -Modelo Tridimensional	14
4.2.4. 4D -Programación	14
4.2.5. 5D -Costes	14
4.2.6. 6D -Sostenibilidad y Energía	14
4.2.7. 1D -Operación y Mantenimiento	14
4.3. Nivel de Desarrollo (LOD)	15
4.4. Usos BIM	16
4.5. Programación y Planificación de Obra:	17
4.5.1. Definición de Actividades	17
4.5.2. Relación de Actividades	17
4.5.3. Duración de actividades	17
4.6. CDE (Common Data Enviroment) Ambiente común de datos:	17
4.6.1. Definición del CDE	18
4.6.2. Etapas de elaboración del contenido para el CDE	18
5. Metodología	19
5.1. Fase 1: Recopilación, análisis y validación de la información	19
5.2. Fase 2: Construcción del modelo tridimensional.	20
5.2.1. Representación geométrica de las estructuras	20
5.2.2. Datos de entrada de los modelos	21
5.2.3. Lista de actividades y relaciones de cada fase constructiva	21
5.2.4. Relaciones de cada fase constructiva	23
5.2.5. Frentes de trabajo y orden	25
5.2.6. Requerimientos de personal por actividad	26
5.2.7. Rendimientos de obra	26
5.3. Fase 3:Generación y análisis de resultados de los modelos.	27
5.3.1. Determinación de las cantidades de obra	27
5.3.2. Programación de obras y determinación de la ruta crítica	30
5.3.3. Simulaciones constructivas	31
5.4. Fase 4:Propuesta del sistema de control de obra.	32

6. Resultados y Discusión	33
6.1. Descripción de modelos	33
6.2. Detalle de la estructura de trabajo propuesta para la ejecución de las obras	43
6.3. Detalles de planificación de obra	48
6.4. Descripción de la propuesta para sistema de control	57
6.4.1. Estrategia de interacción y comunicación	57
6.4.2. Pestaña Principal	58
6.4.3. Colaboración de Diseño y Modelos	58
6.4.4. Cuantificación	59
6.4.5. Construcción y Control de Obra	59
6.4.6. Presupuesto y Contabilidad	60
6.4.7. Estadísticas y Resúmenes	60
6.4.8. Estrategia de de resolución de conflictos	60
6.4.9. Estrategia para el control del flujo de trabajo	62
6.4.10. Propuesta de estructura organizativa (Ambiente Común de Trabajo)	65
6.4.11. BIM 360 Proyecto	66
6.4.12. BIM 360 Docs	66
6.4.13. BIM 360 Coordinación de Modelos	69
6.4.14. BIM 360 Construcción	70
6.4.15. BIM 360 Cantidades de Obra	74
7. Conclusiones	77
8. Recomendaciones	79
9. Referencias	81
10. Apéndices	83
10.1. Apéndice 1. Programaciones	83
10.1.1. Apéndice 1.1. Programación Sitio de Presa	83
10.1.2. Apéndice 1.2. Programación Casa de Máquinas	83
10.2. Apéndice 2. Cuantificaciones	83
10.2.1. Apéndice 2.1. Cuantificación Sitio de Presa	83
10.2.2. Apéndice 2.2. Cuantificación Casa de Máquinas	83
10.3. Apéndice 3. Simulaciones	83
10.4. Apéndice 4. Ambiente Común de Datos y Comunicación	83

1 Prefacio

El proyecto contempla las obras de sitio de presa y casa de máquinas del Proyecto de abastecimiento de agua para la cuenca media del río Tempisque y comunidades costeras (PAACUME). Inicialmente se tiene una presa de tipo enrocado con cara de concreto. Este componente consta de diversos elementos, entre los cuales destacan las estructuras de concreto reforzado, correspondientes a los elementos de la alcantarilla de desvío, el conjunto de losas y las secciones del plinto. Otro de los elementos presente en mayor medida es el material de cada una de las zonas de relleno. En cuanto a la casa de máquinas, se localizará en la margen derecha, ubicando la toma en el macizo de apoyo de la presa. Entre sus componentes destacan la losa de cimentación, los muros y marcos de izaje, los cuales conforman las obras civiles; asimismo, se tienen aquellos elementos que conforman la parte electromecánica de la obra.

En relación con el párrafo anterior, tomando en consideración la particularidad de la naturaleza de las obras descritas, es necesario referirse a los procesos constructivos que este tipo de obras demanda. Esto dado que, en relación con obras convencionales, la cantidad de técnicas, procedimientos e instrumentación necesarios es distinta. Por tal razón, se vuelve una necesidad la aplicación de metodologías de trabajo que hagan de estos procesos constructivos sistemas de trabajos óptimos y colaborativos, que conduzcan a la toma de decisiones para una ejecución eficaz. De esta forma, se expone la necesidad de implementar en los proyectos constructivos, aquellos avances tecnológicos disponibles actualmente en el campo de la planificación de proyectos, considerando los desafíos que se deben enfrentar para lograr los mejores resultados .

De igual forma aprovechando las ventajas que ofrece la metodología BIM en aspectos como la productividad, la eficiencia de las operaciones, la calidad y la disminución del impacto ambiental entre otros, este trabajo busca desarrollar un plan de ejecución, que brinde las herramientas necesarias de planificación, programación, organización y control de obra para la óptima ejecución de la construcción del sitio de presa y casa de máquinas en el embalse Río Piedras (Proyecto PAACUME).

Para concluir, se agradece a la Coordinación Técnica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), en especial a los ingenieros Osvaldo Quirós Arias y Aarón Solís , por la oportunidad y apoyo brindado durante la ejecución de este proyecto. Asimismo, se agradece al profesor Diego Chávez (Experto en la metodología BIM) y a los profesores de la carrera de Ingeniera en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, profesores Andrés Araya Obando, y Ana Grettell Leandro, por la asistencia técnica brindada.

2 Resumen Ejecutivo

En aras de brindar una oportunidad de crecimiento y desarrollo a la provincia de Guanacaste, mediante el aprovechamiento de aguas del sistema hidroeléctrico Arenal, Sandillal, se crea el Proyecto de abastecimiento de agua para la cuenca media del río Tempisque y comunidades costeras (PAACUME), para proporcionar agua para el desarrollo de diversas actividades productivas. Aunque en el marco de acción se contemplan múltiples obras de gran complejidad, en este trabajo de graduación se refiere únicamente a las obras del sitio de presa y casa de máquinas. Ante los requerimientos técnicos que implican la singularidad de este tipo de proyectos en el campo de la planificación de los procesos constructivos, el trabajo tiene como meta brindar las herramientas necesarias de planificación, programación, organización y control de obra de esas estructuras mediante el diseño de un plan de ejecución basado en la metodología BIM.

Para el logro de la meta mencionada, se establecieron cuatro fases de acción metodológica. En primer lugar la fase correspondiente al procesamiento de la información; en esta se plantean las principales actividades llevadas a cabo para la obtención de la información útil, vinculada a las obras en análisis. Como una segunda fase, se tiene a la construcción del modelo, la cual se divide en dos áreas de trabajo: las actividades que constituyen el proceso de la representación geométrica de las estructuras y, por otra parte, las llevadas a cabo para la obtención e integración al modelo de los datos de entrada, en los que destacan los rendimientos de obra, la lista de actividades y la cantidad de mano de obra, entre otros. En la tercera fase, se tiene lo relativo a la generación y análisis de resultados. En esta fase se abordan los pasos ejecutados para la determinación de cantidades de obra, programación de obras y la elaboración de las simulaciones constructivas. Por último, la cuarta fase está dedicada a la descripción del proceso llevado a cabo para el desarrollo de la propuesta del sistema de control de obra. En esta se abordan las estrategias consideradas para este sistema de control.

A continuación se exponen los principales resultados derivados de esta etapa de ejecución. Inicialmente se tiene la elaboración de dos herramientas de trabajo. La primera fue generada en el programa de Revit. Esta consiste en el modelo tridimensional de sitio de presa. Dentro de sus funcionalidades destacan la ejecución de previsualizaciones, la elaboración de fases constructivas y la determinación de cantidades de obra, entre otros. La segunda herramienta desarrollada consiste en la integración de los modelos de casa de máquinas y sitio de presa en el programa de Navisworks, lo que permite abordar en ambas obras, parte de la dimensión 4D de BIM. Dentro de los resultados derivados de este modelo, se destacan la generación de simulaciones, la determinación de logísticas constructivas y análisis de interferencias.

Haciendo uso de las herramientas antes mencionadas, se determinó la información referente a las duraciones, recursos, mano de obra y materiales, entre otros aspectos. Para el sitio de presa se estableció una duración estimada de 2 años (735 días). Dentro de los recursos requeridos para esta obra sobresalen cuadrillas conformadas por 4 artesanos, 6 ayudantes y 7 peones. En cuanto a la maquinaria necesaria para su ejecución se estableció, entre otros recursos, el uso de tractores, compactadores y vagones. En relación con los materiales, se estimó que la mayoría de las principales obras contemplan requerimientos por encima de los 2000 m³ de concreto. Por otro lado, se determinó una duración de 83 días para la casa de máquinas. Se consideró que los recursos necesarios para esta obra deben incluir cuadrillas conformadas por 4 peones, 3 ayudantes y 2 artesanos. También se considera que sea requerido un volumen de concreto por encima de los 1000 m³ y la utilización de más de 194 elementos de acero, distribuidos en diversos perfiles.

En cuanto a los resultados obtenidos del sistema de control, se realizaron varias propuestas para afrontar

los requerimientos que demanda el área de control de las obras analizadas. Primeramente, se estableció una estrategia enfocada a la comunicación, en la cual se aborda el manejo de diferentes técnicas de control y su vinculación con la propuesta de ambiente común. La siguiente estrategia propuesta contribuirá en el proceso de resolución de conflictos, mediante el aporte de un conjunto de prácticas BIM, apoyadas en los modelos ya mencionados. La tercera estrategia se fundamenta en el impacto derivado de un departamento BIM sobre el flujo de información que posee todo el proyecto y la relación que tiene este con las herramientas desarrolladas. Por último se realiza la propuesta del ambiente común de trabajo BIM 360, como una plataforma mediante la cual se pueden manipular los modelos ejecutados.

Se determinó que la metodología BIM es factible para la creación de herramientas de planificación y control de obra de infraestructura hidráulica; sin embargo, está impone retos para la creación de modelos de infraestructura, dado que los programas están concebidos para obras de edificación. Aunado a lo anterior, la información técnica requerida para la programación de este tipo de obra, como es el caso de los rendimientos, es escasa, por lo que se deben orientar esfuerzos a aumentar esta información. Por otro lado, para garantizar la efectividad del uso de estas herramientas, es necesario un esquema de trabajo basado en un ambiente común (CDE), y bajo un esquema colaborativo. Esto impone retos de formación, como capacitaciones, charlas y manejo de programas.

3 Introducción

Este proyecto contempla la construcción del sitio de presa así como de la casa de máquinas. Estas son estructuras masivas y de gran complejidad, especialmente la presa para el embalse. La dirección técnica de PAACUME solicitó asesoría para el desarrollo de los procesos constructivos de estas obras. Además, se expresó el deseo de implementar la metodología BIM. Esto es consecuente con el cambio que se está implementando en Costa Rica en el sector de la construcción. Como indicó la primera dama de la república, Claudia Dobles Camargo (2020), en la presentación de la Estrategia Nacional BIM, “La metodología BIM es una herramienta que se utiliza en el sector construcción, ya en Costa Rica es utilizada por el sector privado, lo que queremos es incorporar esta metodología de trabajo al sector público, que nos va a permitir que las partes trabajen coordinadamente y así evitar costos, atrasos y errores en los procesos constructivos, esto también nos puede mejorar los esquemas de mantenimiento de los edificios o de las estructuras en operación. Ciertamente, es tecnología que ya existe en Costa Rica y queremos llevarla al sector público”.

Según Rivera V., (2015), uno de los métodos más útiles de planificación es el conocido como método de la ruta crítica. Este ha sido empleado en una enorme gama de proyectos de construcción y se ha comprobado que su empleo adecuado reduce la duración y el costo de los proyectos. Dentro de este método se definen actividades para cada obra a construir, se les da un orden lógico con relaciones de dependencia entre ellas y se ingresan parámetros de duración, costos, mano de obra y demás pertinentes para planificar las obras. Lo anterior fue lo que se entendió en el desarrollo de este proyecto como planificación de obra. El definir una estructura de trabajo implica además de haber definido las actividades necesarias para la ejecución de una obra, definir y subdividir las responsabilidades para cada miembro responsable en cada tarea, desde la etapa de permisos y estudios, pasando por diseño, planificación y construcción, hasta el cierre de la obra. El autor Yepes V., (2013), indica en su artículo “Estructura del Desglose del Trabajo (WBS)” que el desglosar la estructura de trabajo consiste en la identificación y la subdivisión jerárquica de tareas. Siguiendo con el tema del control de obra el autor Rivera V., (2015) indica que es una de las etapas más complicadas de la administración de proyectos. Esa consiste en elaborar un sistema que le permita a la administración reportar, medir y prevenir variaciones inminentes en las duraciones o costos de la obra. Para este proyecto se consideró como control de obra cualquier documento o herramienta utilizada para estos fines. Adicional a esto el autor indica que la planeación es un proceso continuo, porque mientras se ejecuta el control de las obras se pueden requerir modificaciones en la planeación previa.

Según el Equipo de BIMnD España,(2021), organización con amplia experiencia en el tema de BIM, el plan de ejecución BIM (PEB) son “Las reglas del juego” en la implementación de BIM. Son las condiciones que tendrá la implementación de la metodología en la organización y sus proyectos. El PEB consiste entonces en un documento que tiene como fin proponer una estructura de trabajo y a su vez integrar estrategias que permitirán gestionar el proyecto de la forma más eficiente. Lo anterior es justo lo que se busca aportar como solución al deseo de implementar la metodología BIM en los procesos constructivos de las obras de proyecto PAACUME a que se refiere este trabajo. De acuerdo con DGOP (2017), para el plan de ejecución BIM existen los objetivos de un procedimiento estructurado, un estímulo de la planificación y la comunicación, e idealmente integrarse desde las primeras fases del proyecto. También menciona en este documento que no existe un solo método para implementar la metodología BIM. Para esto se debe de tomar en cuenta una estrategia adaptada a la realidad, que comprendan las metas, características del proyecto y capacidades de los miembros. En el PEB se deben de definir los usos de BIM, o sea, las etapas del ciclo de vida del proyecto en las que se va a implementar; ya sea en planificación, diseño, construcción u operación, en qué aspectos y de qué forma. Lo ideal es que se aplique en todas sus etapas. Luego se definen los procesos de ejecución y las estrategias de intercambio de información, hasta llegar a la definición de toda la infraestructura para la implementación de BIM.

En el sector de la construcción han existido técnicas, métodos de planificación y control de obra que han evolucionado a lo largo de los años de acuerdo con las exigencias de los tiempos. No hace muchos años los planos constructivos eran diseñados y dibujados a mano en amplios salones dedicados exclusivamente a esto. Hoy el uso de tecnologías de CAD o dibujo asistido por computadores es común para casi todas las personas trabajando en el sector. Como parte de los avances de los últimos tiempos se tiene una metodología (BIM) que busca brindar mayores ventajas. El Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización BIM Forum Chile, (2017), define BIM como un acrónimo (Building Information Modelling) que representa dos conceptos dentro de su definición. Uno es la representación digital **paramétrica** de la obra de construcción (losas, muros, columnas, equipo, puertas, ventanas y demás), que incluye información de geometría y propiedades. Ambos conceptos coexisten y no deben desarrollarse de manera independiente. La generación del modelo implica que se desarrolle el mismo bajo una metodología y procesos ya definidos formalmente. El Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización BIM Forum Chile (2017), también define ciertos beneficios de la metodología BIM en la construcción. Estos dependen del nivel de experiencia que se alcance en la metodología, el nivel de compromiso de todos los miembros y del proyecto a ejecutar. En primer lugar adoptar BIM brinda una serie de ventajas competitivas para la empresa al definir objetivos claros y cuantificables a favor de buenos resultados en la economía y la productividad. Permite estandarizar el desarrollo de proyectos, el orden, la mejora de la productividad, y una vez superada la curva de aprendizaje permite mayores rendimientos, menores plazos y un mayor control durante el desarrollo de tareas habituales. En un desarrollo amplio de BIM se tienen cubicaciones y planimetrías rápidamente, se dan menores modificaciones y menos cambios de versiones, además de menos consultas por inconsistencias o por falta de definiciones. Por medio del diseño de acuerdo con la metodología BIM se tiene la posibilidad de realizar, ensayos, simulaciones virtuales y distintos análisis que aportan en la toma de mejores y más informadas decisiones. Permite observar menos inconsistencias e interferencias en la construcción. Esto dándose sin mayores aumentos de plazos y con costos adecuadamente controlados, lo que evita ineficiencia por falta de definiciones en la obra. Además bajo la metodología BIM se pueden tener diversas opciones de diseño sin tener que actualizar la totalidad de planos, o documentación ya que al tratarse de modelos vinculados esta actualización es automática.

Finalmente, cuando se hace uso de la metodología BIM los beneficios plasmados en la planificación de vías de acceso para el mantenimiento, el rastreo y control de componentes, remodelaciones y eventuales demoliciones se pueden reflejar en un ahorro significativo para la totalidad del ciclo de vida del proyecto desde el punto de vista de gestión de activos. Los mayores beneficios y ahorros de la metodología se darían entonces en la fase de operación y mantenimiento. A continuación se muestra un gráfico presentado por el autor MacLeamy P. (2005) donde se demuestra que la temprana toma de decisiones en el comienzo del proyecto en la etapa de diseño significan un mayor esfuerzo, sin embargo otorgan una importante beneficio en el ciclo de vida del proyecto (Figura 1).

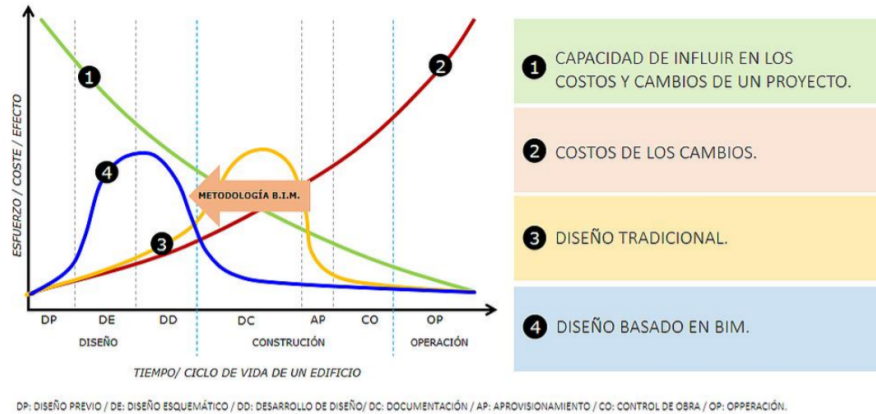


Figura 1. Curva de Esfuerzo para el Proceso Constructivo.
Fuente: MacLeamy P., 2004.

Adicional a lo anterior se debe mencionar que BIM ha tenido un desarrollo constante desde hace bastantes años. En el gráfico que se presenta a continuación, de la organización Seys, (2018), que puede observar la evolución de BIM desde su concepción hasta la obligatoriedad de su aplicación en España (Figura 2).

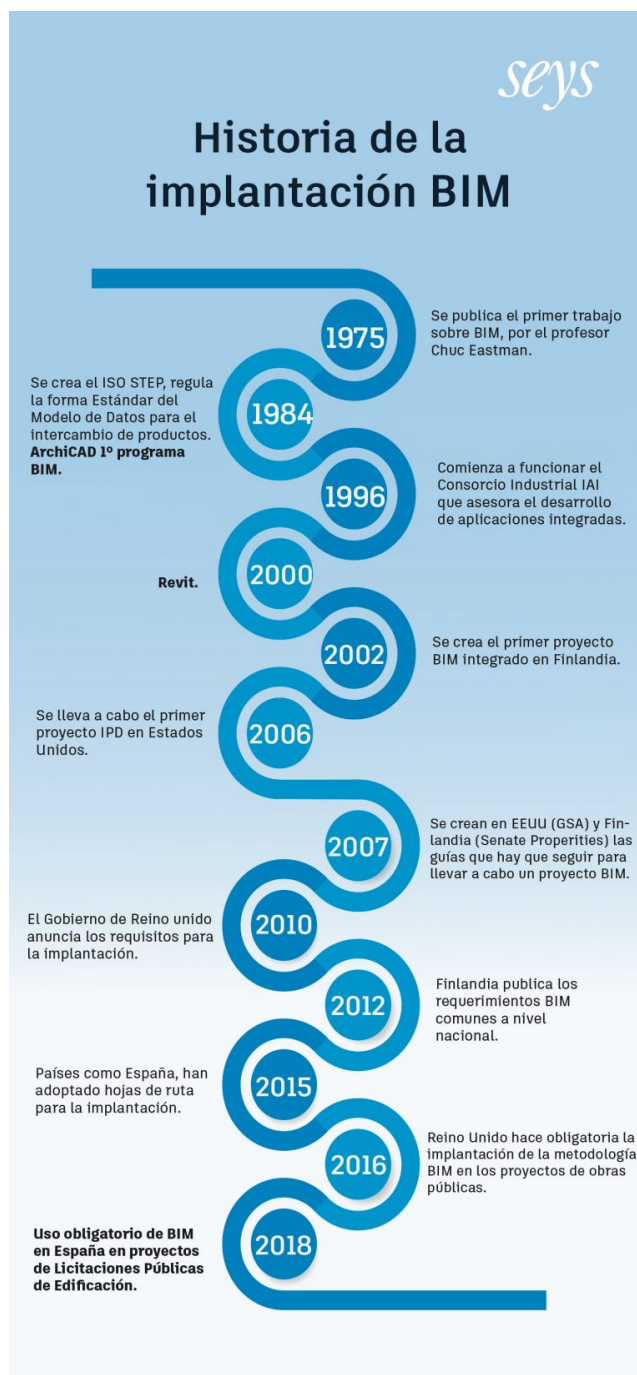


Figura 2. Historia de la Implantación de BIM.

Fuente: Seys, 2018.

Para finalizar, se plantea que el uso de la metodología y herramientas BIM tiene un impacto positivo en la ejecución de los proyectos de infraestructura hidráulica. Es por esto que la metodología ya se está implementando de manera oficial en Costa Rica, con la Estrategia Nacional BIM Costa Rica, elaborada “Con el objetivo de alentar el desarrollo del sector construcción, mejorar la ejecución de la obra pública, dar mayor

transparencia en los procesos licitatorios y contribuir en la optimización del mantenimiento y operación de las edificaciones e infraestructura, este 14 de febrero se presentó la Estrategia Nacional BIM Costa Rica.”, (MIDEPLAN, 2020). Con el fin de señalar la importancia del desarrollo de este trabajo, se debe destacar que si bien la metodología se ha desarrollado a lo largo de algunos años en el país, lo ha hecho principalmente en edificaciones de altura, residencial o comercial. Proyectos de infraestructura desarrollados de esta forma han sido pocos, uno de estos el paso a desnivel de la rotonda de las Garantías Sociales. Además, las herramientas más típicas que se utilizan en BIM, como la utilizadas en este proyecto de Autodesk Revit y Navisworks, no fueron desarrolladas especialmente para proyectos de la complejidad y magnitud del que aquí se trata. El equipo de colaboradores de Ecured (2013), indica en un artículo respecto a Revit que “Son sistemas verticales completos para el diseño y la documentación de edificios, que abarcan todas las fases del diseño y documentación constructiva..^A partir de lo anterior y bajo la experiencia que se tiene del uso de la herramienta Revit específicamente, se pudo determinar que el diseño interno de esta herramienta está enfocado a la construcción de obras de altura o edificaciones típicas y no a proyectos de infraestructura hidráulica como las obras aquí tratadas. De ahí la importancia de analizar y desarrollar las necesidades e implicaciones que tiene un plan de ejecución BIM y específicamente las herramientas utilizadas en un proyectos de infraestructura como lo serán las obras del embalse Río Piedras. Esto apegado a que el uso de las herramientas ya descritas poseen una ya marcada popularidad en el marco costarricense de desarrollo de la metodología BIM.

3.1 Objetivo General

Brindar las herramientas necesarias de planificación, programación, organización y control de obra para la óptima ejecución de la construcción del sitio de presa y casa de máquinas en el embalse Río Piedras (Proyecto PAACUME) mediante un plan de ejecución basado en la metodología BIM.

3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar la planificación para la construcción del sitio de presa y la casa de máquinas en el embalse Río Piedras.
- Determinar estructura de trabajo y escenario óptimo de ejecución para las obras a desarrollar.
- Elaborar un sistema de control que le permita al administrador medir, reportar, y prevenir posibles variaciones en tiempo, costo o calidad de la obra.

4 Marco Teórico

4.1 Conceptos Clave

- **Plan de Ejecución BIM:** De acuerdo a Jimenez (2018), el plan de ejecución BIM se puede definir como documento en el que se establecen las estrategias, procesos, recursos, técnicas, herramientas, que serán aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por el cliente para un proyecto determinado.
- **Modelo 3D o Tridimensional:** Un modelo tridimensional es la representación de un objeto, cuerpo o sistema que se desea visualizar o estudiar a través de una simulación de su geometría. Por lo tanto, los modelos tridimensionales se pueden definir como la representación esquemática y visible de un conjunto de cuerpos que, una vez procesados, genera una imagen.
- **Ambiente Común de Trabajo:** En el libro “Modelado de información en la construcción” se define el ambiente común de trabajo “ Como un espacio de proyecto digital común que proporciona distintas áreas de acceso para las diferentes partes interesadas del proyecto, combinadas con definiciones de estado claras y una descripción sólida del flujo de trabajo”(Preidel, Cornelius Borrmann, Andre Mattern, Hannah König, Markus Schapke, Sven-Eric, 2018).
- **Modelo de Información:** Estructura de información gráfica. En ella se incluyen las relaciones, restricciones, parámetros, operaciones y propiedades del activo (Modelo de Revit y Navisworks).
- **Trabajo Colaborativo:** Se define como la gestión de la información generada en el desarrollo de un proyecto a través de un entorno común, esta ofrece la posibilidad de que todos los agentes implicados en un proyecto puedan trabajar a la vez, independientemente de su ubicación.
- **Parámetros:** Variables utilizadas para asignar valores como coordenadas, dimensiones, materiales, distancia, ángulos, colores, unidades, precio.
- **Secuencia Constructiva:** Se refiere al proceso de añadir la línea temporal, la misma puede ser incorporada tanto en el modelo de diseño y el de construcción.
- **Elemento del modelo:** Son las entidades constructivas individuales con datos propios, que conforman el modelo de información.
- **Interoperabilidad:** Capacidad de diferentes sistemas, procesos, formatos, de archivos de trabajar en conjunto, evitando la, pérdida de datos.
- **Isométrico:** Sistema de representación empleado en dibujo, generalmente empleado en la representación de piezas. Este sistema se caracteriza por definir tres isoplanos de trabajo: el superior, derecho y el izquierdo.
- **Herramienta “TimeLiner”:** La herramienta TimeLiner tiene como finalidad incorporar la simulación de programación a Autodesk Navisworks, según Autodesk Inc. (2020) TimeLiner importa programaciones de una gran variedad de fuentes, esto permite ver los efectos de la programación en el modelo y comparar las fechas planeadas con las fechas reales.
- **Microsoft Project:** Se define como un programa propio del área de la administración de proyectos cuya finalidad radica en la planificación y control de la ejecución de un proyecto.

4.2 Metodología BIM

La metodología BIM, (Building Information Modeling), Modelado de la Información para la Construcción, es según Autodesk Inc. (2020), un proceso inteligente basado en modelos 3D que brinda a los profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) la información y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura de una manera más eficiente. Esta engloba distintas etapas de diseño y gestión de una edificación o infraestructura, comúnmente conocidas como dimensiones BIM, entre ellas se encuentran:

4.2.1 1D -Idea

En esta dimensión se plantea el punto de partida de todo proyecto y es el establecimiento de una idea inicial que busca satisfacer las necesidades expuestas por el promotor.

4.2.2 2D -Elementos Bidimensionales

Se concibe como la base para la implementación del resto de las dimensiones especialmente la 3D. Está orientada a la generación de información 2D, generalmente se trabaja con documentación DWG Y PDF.

4.2.3 3D -Modelo Tridimensional

Según Obando, D (2014), esta dimensión representará la información de los sistemas involucrados, lo que permitirá obtener una representación geométrica detallada de cada parte de una edificación.

4.2.4 4D -Programación

Esta dimensión ayuda a controlar la dinámica del proyecto, generando simulaciones de las diferentes fases de construcción y con todos los sistemas modelados, permitiendo elaborar el plan de ejecución de la obra.

4.2.5 5D -Costes

Esta dimensión engloba todo lo relativo al control de costes y estimaciones gastos del proyecto. De acuerdo a Gonzales, C(2015), cada elemento representado en el modelo tiene un coste asociado. Ello permite realizar análisis presupuestarios detallados sin un trabajo añadido, obtenidos directamente del modelo. Además permite la realización de predicciones más precisas sobre las desviaciones de proyecto y cuanto es necesario para llegar a los objetivos.

4.2.6 6D -Sostenibilidad y Energía

Esta etapa permite conocer como sera el comportamiento energético del proyecto con el fin de realizar un análisis de sostenibilidad antes que se tomen decisiones importantes y comience la construcción.

4.2.7 1D -Operación y Mantenimiento

Por último, el uso de la metodología permite aplicar en el modelo BIM las condiciones físicas de los elementos estructurales, arquitectónicos y MEP, por lo que se puede desarrollar una eficiente gestión de activos en el área de operaciones y mantenimiento.

4.3 Nivel de Desarrollo (LOD)

De acuerdo a Obando, D (2014), los niveles de desarrollo son propuestos por la metodología BIM con el fin de apreciar el nivel de detalle de la información con la que se construye los modelos tridimensionales de cada uno de los sistemas que componen el proyecto. Entre los distintos niveles que contempla la metodología se encuentran:

- **LOD 100:** El objeto en el modelo puede estar representado gráficamente con un símbolo o representación genérica.
- **LOD 200:** El objeto en el modelo se representa gráficamente como un sistema, objeto o conjunto genérico con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximada.
- **LOD 300:** El objeto en el modelo se representa gráficamente como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación.
- **LOD 400:** El objeto en el modelo se representa gráficamente como un sistema, objeto o conjunto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción.
- **LOD 500:** El objeto en el modelo es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación.

En la siguiente figura (Figura 3) se pueden observar algunos de los distintos niveles detalle que presenta el objeto en el modelo dependiendo del LOD aplicado.

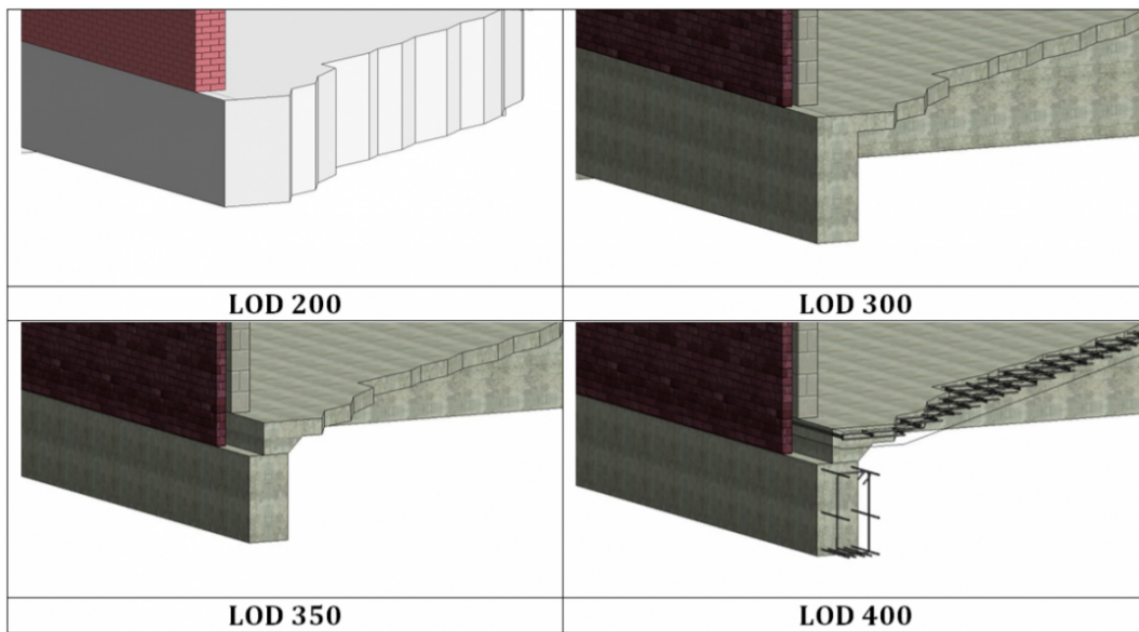


Figura 3. Ejemplo de niveles de desarrollo.

Fuente: (Autodesk, s.f.)

4.4 Usos BIM

Los usos derivados de la metodología BIM se pueden describir a grandes rasgos con cada una de las palabras que describen el nombre de la metodología, Building Information Modeling (BIM), Blanco (2018). Primeramente se tiene “Building” la cual tiene como enfoque la construcción de forma globalizada, albergando edificaciones y obras de infraestructura en general, seguidamente “Information” esta orientado a la gestión de la toda la información del proyecto, desde que empieza su planificación hasta su demolición. Por ultimo la palabra “Modeling” hace referencia al proceso de crear un modelo en tres dimensiones, para crear un objeto virtual que represente la obra constructiva en la vida real. Por otra parte, son muchos los usos de la metodología BIM, estos se fundamentan en el cambio de un flujo de trabajo lineal por un flujo de trabajo BIM (Figura 4). Lo cual trae consigo el componente de la colaboración entre todos los agentes participantes de un proyecto, esto durante todo el ciclo de vida del mismo.



Figura 4. Flujo de Trabajo BIM Y Linear Tradicional.

Fuente: Payneni, K. (2016)

4.5 Programación y Planificación de Obra:

Según Rivera V., (2015), la planeación consiste en una estrategia para llevar a cabo el proyecto. Esta se basa en actividades generales necesarias a partir de las cuales se estiman tiempos de ejecución para cada una, además de las limitaciones e imprevistos que puedan presentarse. Vendrá a ser una guía a lo largo del ciclo de vida del proyecto. A su vez el autor indica que la programación de la obra consiste en un plan aún más detallado. Este integra actividades específicas del proyecto bajo un orden cronológico. Se ordenan todas las actividades sistemáticamente asignándoles tiempo de ejecución, relaciones y restricciones de unas con otras. Seguido de esto se programan a partir de una fecha de inicio de todo el proyecto fechas iniciales y finales de cada actividad.

4.5.1 Definición de Actividades

Son las acciones que se llevan a cabo para el cumplimiento de las metas de un programa o subprograma de operaciones. Según el autor Rivera V., (2015), el definir las actividades consiste en la ejecución de ciertos procesos o tareas. El recurso humano, materiales disponibles, equipo técnico y financiero son los factores utilizados para esto. Como cabeza queda la administración con un nivel de intermedio a bajo en la jerarquía general del proyecto. El autor define la actividad como “la acción presupuestaria de mínimo nivel e indivisible a los propósitos de la asignación formal de recursos”.

4.5.2 Relación de Actividades

Además de tener definidas las actividades se debe de darles secuencia. Rivera V., (2015), afirma que esto nos deja organizarlas de forma progresiva, aumentando la complejidad de sus relaciones a medida que avanza el proyecto. Para asignar estas relaciones es necesario considerar el proceso constructivo que se va a seguir, y en qué consiste cada una de las actividades. Lo anterior con el deseo de tomar en cuenta una alta cantidad de especificaciones que integren las actividades y logren plantear una programación lógica, factible y que permita ejecutar el proyecto en los plazos establecidos.

4.5.3 Duración de actividades

El autor Rivera V. también describe la definición de la duración de las actividades como el aproximar la cantidad de periodos de trabajo que son necesarios para ejecutar cada actividad exitosamente con los recursos establecidos. Para ello se se uso de información acerca del alcance, tipos de recursos necesarios, cantidades de obra, y calendarios.

Para este proceso es necesario tener la información de la cantidad de esfuerzo, trabajo y recursos que son necesarios para ejecutar cada actividad.

Finalmente para la estimación de estos tiempos se puede hacer uso de información tomada directo del personal de campo, así como de registros históricos de proyectos anteriores. Es importante mencionar que la experiencia que el encargado de la programación tenga al asignar duraciones influye considerablemente.

4.6 CDE (Common Data Enviroment) Ambiente común de datos:

A lo largo del proceso de BIM se hace necesaria una herramienta que sirva a la gestión de la información del proyecto, que este disponible para todos los miembros participantes. ACCA software S.p.A., (2021), define de esta forma la necesidad de un CDE (Common Data Enviroment) o también un ambiente común de trabajo. Existen países que se encuentran trabajando en normativa para la construcción con BIM como el Reino Unido que establece el uso obligatorio de un CDE en la implementación de BIM.

4.6.1 Definición del CDE

El autor ACCA software S.p.A., (2015), define el CDE como una herramienta que es utilizada para recopilar, gestionar e intercambiar modelos, información no gráfica, documentación, y demás dentro de la organización. Lo anterior brindando facilidades varias en la colaboración mitigando la ocurrencia de duplicados y errores. Se indica que la individuación del autor de cada información dentro del CDE fundamental”(ACCA software S.p.A., 2015). Esto significa que todos los agentes saben quien produce qué información y qué rol juega cada uno dentro de los procesos. Los modelos construidos por cada miembro tienen autoría propia, dentro de cada especialización se aporta al modelo general.

4.6.2 Etapas de elaboración del contenido para el CDE

El autor ACCA software S.p.A., (2015) indica que existen fases que determinan el desarrollo de un CDE. Estas se listan a continuación.

- **Nivel 0:** Trabajo en proceso. La información es poca y se está todavía en fase de “elaboración” por parte de los equipos de desarrollo, por esto la información todavía no está disponible para todos.
- **Nivel 1:** Estado compartido. La información se encuentra más completa, aunque no para todos los equipos por esto se está sujeto a modificaciones y cambios.
- **Nivel 2:** Estado de publicación. Información definitiva y aunque sujeta a revisión ningún miembro debería de tener la necesidad de realizar nuevos cambios.
- **Nivel 3:** Estado archivado. Se distingue aún más la información. El flujo de la misma es descrito gráficamente estableciendo la evolución de la elaboración y aprobación. A su vez se indican momentos relativos a las comprobaciones y a la coordinación.

5 Metodología

Tomando como referencia el proceso de ejecución y el análisis de cada uno de los objetivos propuestos, el proyecto se dividió en las siguientes fases de trabajo: revisión y análisis de la información disponible, construcción del modelo sitio de presa, generación y análisis de resultados y, finalmente, la ejecución de la propuesta del sistema de control. Por otra parte, dada la metodología de trabajo aplicada fue necesario hacer uso de diversos programas para su correcta aplicación, entre los cuales destaca Revit para el abordaje de la dimensión 3D de BIM. Esto dada la alta gama de herramientas de modelado 3D y la flexibilidad de maniobrabilidad y sincronidad que ofrece la herramienta. También se hizo uso del "software"Navisworks, con el fin de afrontar parte de la dimensión 4D de la metodología, aprovechando sus ventajas para el análisis de la construcción progresiva mediante simulaciones y la sincronía que ofrece con otros programas de planificación, como es el caso de Microsoft Project. Este fue el utilizado para el desarrollo de toda la programación de las obras analizadas. Por último, otra de las herramientas utilizadas para el análisis estadístico de los resultados fue Microsoft Excel dada la facilidad para la manipulación, interpretación y presentación de información cuantitativa que ofrece el software.

5.1 Fase 1: Recopilación, análisis y validación de la información

Inicialmente fue necesario obtener toda la información técnica de cada uno de los componentes en estudio del proyecto. Para esto se definió una estrategia de comunicación, llevada a cabo mediante de 5 reuniones, en la cuales se abordaron diversos temas del proyecto y se realizó el traspaso de aproximadamente 100 Gb información técnica, distribuida en carpetas. Después fue necesario realizar una selección de la información útil para el proyecto. En la siguiente imagen se muestran algunos de los archivos seleccionados más significativos, extraídos de la documentación brindada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis y Validación de la Información
Fuente:Elaboración Propia.

Resultado del análisis y validación de la información				
Obras Analizadas	Planos	Isométricos	Información Escrita	Procesos de Análisis
Sitio de Presa	Plano detalle de tratamientos de taludes de presa. (6.1.100).	Excavaciones de Presa (6.1.080).	Informe de Ingeniería para las obras.	Obtención manual de parámetros técnicos de dimensionamiento.
	Plano de secciones horizontales (6.1.150).	Secciones Transversales (6.1.160).	Informe de Identificación de amenazas embalse y obras.	Transferencia de coordenadas de los isométricos al archivo en Revit.
	Plano de Secciones transversales de presa. (6.1.170)		Estudio de Factibilidad.	Interpretación de la configuración espacial en planta y elevación de los isométricos.
Casa de Maquinas	Corte Transversal (Casa de Maquinas 6.5.490).	Continuación de Canales.	Informe de Ingeniería para las obras.	Interpretación de la configuración espacial en planta y elevación.
	Acero de Refuerzo (Casa de Maquinas 6.5.420)	Canal de Restitución.	Estudio de Factibilidad.	Transferencia de la información cuantitativa Revit-Navisworks.

Por otro lado, con respecto a la validación de la documentación brindada, se realizó un análisis de los parámetros técnicos de las obras presentes en el informe de ingeniería y este se contrastó con los parámetros presentes en planos e isométricos. Por otra parte, se verificó la sincronización de los sistemas de referencia, unidades y escala entre los isométricos brindados y el archivo desarrollado en Revit. En cuanto a los archivos técnicos faltantes como lo fue en un inicio del proyecto, las curvas de nivel para el modelado del sitio de presa, fue necesario investigar y aplicar una solución práctica desarrollada en Revit. Aunado a esto, aunque eventualmente se tuvo acceso a dichas curvas de nivel, se determinó que el proceso de modelado y determinación de fases, así como el de ejecución BIM merecen su propia investigación. Esto por la complejidad que representa su desarrollo.

5.2 Fase 2: Construcción del modelo tridimensional.

Para esta fase, el marco de trabajo consistió en la ejecución de dos áreas de trabajo. La primera de ellas enfocada en la representación geométrica de las estructuras. En esta se exponen, en términos generales, la forma en que se ejecutó el modelado de los principales componentes del sitio de presa, el software utilizado para la ejecución de este trabajo y el nivel de desarrollo contemplado. La segunda área de trabajo ejecutada está relacionada con los datos de entrada del modelo. En este apartado se detalla el proceso de integración de información al modelo, referente a los datos relacionados con lista de actividades, relaciones de cada fase constructiva, frentes de trabajo y mano de obra, entre otros aspectos.

5.2.1 Representación geométrica de las estructuras

Tomando como referencia los lineamientos propios de la metodología BIM, uno de los primeros propósitos que aborda el trabajo de graduación, es el desarrollo de un modelo tridimensional que responde a la faltante del modelo del sitio de presa. Para esto, el esquema de trabajo utilizado consistió en el seguimiento de los pasos que describen el modelado de los principales componentes que posee el sitio de presa. En la siguiente imagen se muestra un diagrama de flujo del proceso de modelado utilizado (Figura 5).

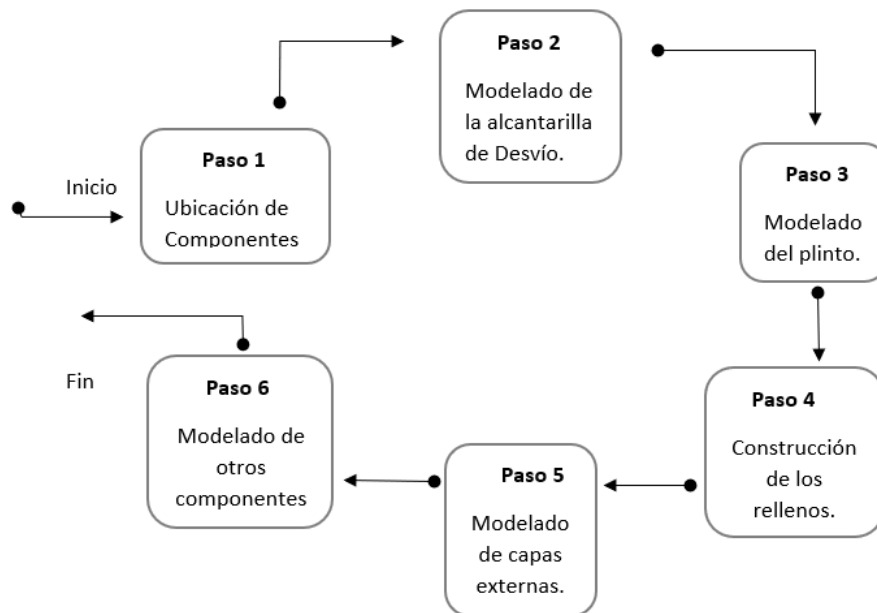


Figura 5. Diagrama de secuencia de modelado
Fuente: Elaboración Propia.

Para el modelado de cada uno de los elementos que comprende la obra, fue necesario implementar un proceso interno de flujo de trabajo. Este consiste inicialmente en definir una ubicación basada en la latitud, longitud y elevación de un determinado grupo de puntos que describen la posición del elemento. Seguido de la elección de la herramienta de modelado más adecuada. Una vez definida esta herramienta, se continúa con la etapa de ejecución. Aquí se aplican las técnicas de modelado propias del software. Se finaliza con una etapa de verificación, realizando una comparación de las propiedades del modelo desarrollado y las propiedades presentes en los planos. Con el propósito de realizar una adecuada cuantificación y establecer un nivel de caracterización estándar de los elementos, el LOD implementado fue de 300. Es necesario mencionar en este punto el hecho de que inicialmente se propuso un LOD de 250, pero después, con la ayuda del “LOD Spec for Building Information Projects” del BIM Forum, se determinó que el LOD utilizado corresponde a uno de nivel 300, dado que las obras están definidas geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. Asimismo, muchos de los elementos incluyen información no gráfica. Aunado a lo anterior, es pertinente mencionar que para establecimiento del nivel de desarrollo (LOD) en el que se basó el modelo tridimensional, no se consideró el diálogo con los principales actores del proyecto, en lo que respecta a los intereses relacionados a este parámetro; únicamente se tomó como criterio de escogencia la utilidad que se le iba dar al modelo en etapas posteriores.

Es conveniente realizar la aclaración respecto a la ausencia de la fase de excavación dentro del proyecto; esta no se contempló dado los requerimientos técnicos en cuanto a manejo del software (Revit) en la creación de las etapas de esta actividad, por lo que, tanto la planificación como el modelaje de estas obras, requieren su propio trabajo de investigación.

5.2.2 Datos de entrada de los modelos

La fase de construcción del modelo tridimensional según la metodología BIM no solo incluyó la representación geométrica de las estructuras. Se debió de cargar una serie de datos de entrada en el modelo que lo complementan. Como datos de entrada se definieron y cargaron: la lista de actividades, relaciones de cada fase constructiva, frentes de trabajo y organización, requerimientos de cuadrillas para cada actividad y rendimientos de obra. A continuación se detalla cada proceso.

5.2.3 Lista de actividades y relaciones de cada fase constructiva

La estructura que tendría el listado de actividades se definió desde el nacimiento de cada modelo. Al construir cualquier modelo en Revit se definen niveles a ciertas alturas. La geometría de muros, losas, cubiertas y demás que en ellos se cree queda enlazada con el nivel. A pesar de esto algunos elementos pueden quedar sin nivel asignado. Una vez que se cargó el modelo elaborado en Revit a Navisworks en una herramienta llamada el “árbol de selección”, se muestra cada nivel y dentro de cada uno los grupos de elementos creados (losas, muros, cubiertas, entre otros). A continuación se muestra una imagen de la casa de máquinas, primero los niveles en el software Revit (cuadro izquierdo) y luego la estructura del árbol de selección creada en el software Navisworks (cuadro derecho, véase la figura 6). Es a partir de la estructura observada en el “árbol de selección” que se obtuvieron todas las actividades. Se puede decir que la estructura del listado de actividades es un reflejo casi exacto del árbol de selección.

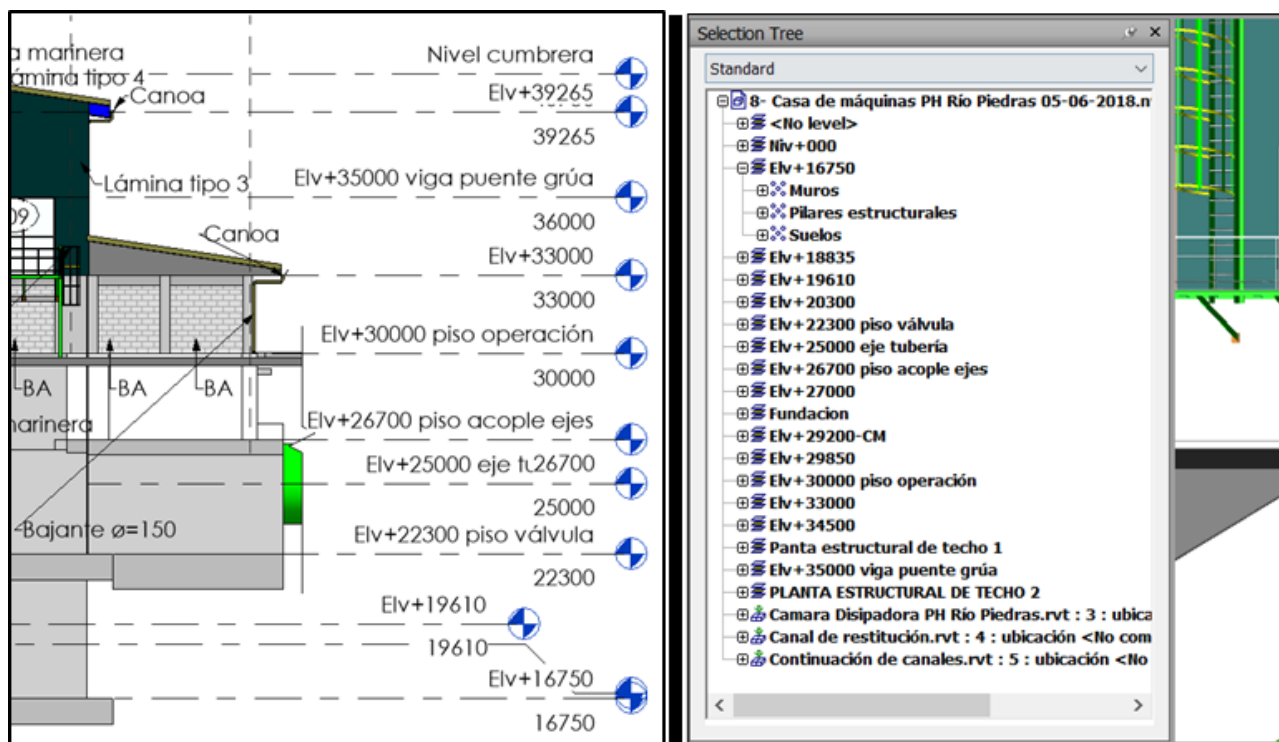


Figura 6. Estructura de Actividades definida desde Revit en Navisworks.

Fuente: Elaboración Propia.

Ya se explicó la forma en que se obtuvo la lista de actividades. Seguido de esto se buscó incluir esta lista de actividades dentro de los modelos, ya con características de programación de obra. Para escribir y ordenar la lista de actividades se utilizó el software MsProject de programación de proyectos. Se desarrolló la programación dentro de este software para que una vez finalizada, fuera utilizada como fuente de datos del modelo. Dentro del programa MsProject se creó un proyecto nuevo para cada estructura. En cada proyecto nuevo se escribieron las actividades con el nombre que mostró el árbol de selección para cada modelo en Navisworks.

Posteriormente, la información se cargó en el modelo de Navisworks. Esto se logró asignando el respectivo archivo de programación como fuente de datos del modelo. De esta forma se le indicó al programa que a partir de la programación cargada se creara una nueva jerarquía de actividades para el proyecto. Se seleccionó la ubicación del archivo para que el programa lo pudiera cargar y se hizo un mapeo de propiedades que facilitase la importación. El mapeo de propiedades es el proceso en el que se definen los homólogos de cada propiedad de un programa a otro. De esta forma, si en MsProject se define el identificador de la actividad como ID y en Navisworks como "Synchronization ID", se entienda que se habla de lo mismo. Al hacer esto dentro del "timeliner" (homólogo de la plataforma de MsProject en Navisworks) se observa la lista de actividades con fechas de inicio y fin genéricas. A continuación se muestran un conjunto de imágenes del proceso en que se cargó el archivo, se mapearon las propiedades y finalmente se construyó la jerarquía de actividades (Figura 7).

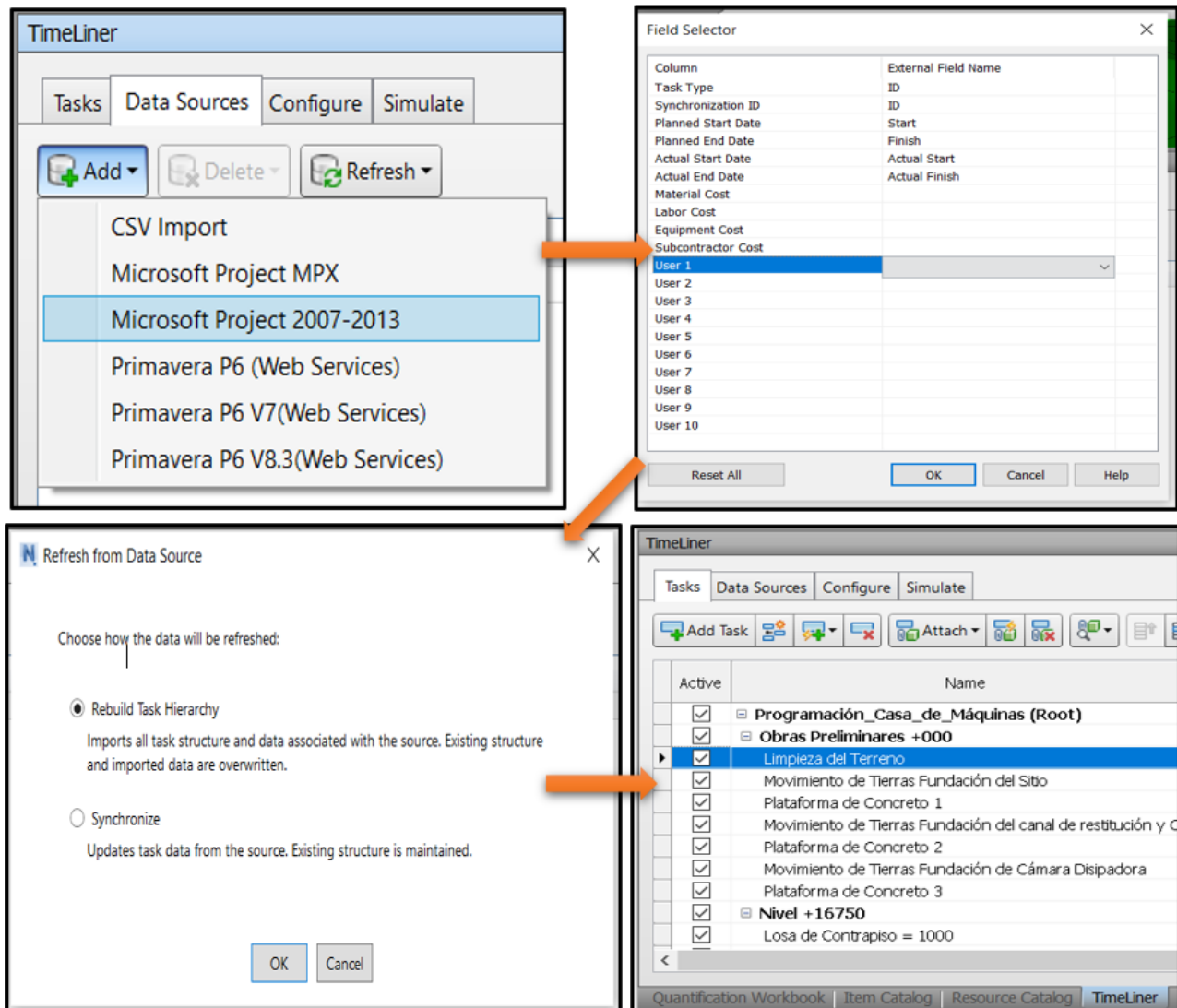


Figura 7. Cargado de la Lista de Actividades en Navisworks.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.4 Relaciones de cada fase constructiva

Una vez definida la lista de actividades se procedió a darles relación. Para esto fue importante entender en su totalidad la lógica constructiva para cada nivel. En este proceso se trabajó paralelamente con el modelo de Navisworks. Una vez que se cargó la información de las actividades en el modelo se enlazó cada una con su respectiva geometría. A partir de este momento en el modelo de Navisworks se pudieron correr simulaciones constructivas; para este punto no existe un orden lógico para cada actividad ni está definida su duración.

El software Navisworks permite ocultar y mostrar elementos del modelo a voluntad. Utilizando esto se pueden aislar uno o más niveles así como sus componentes para explorar fácilmente su composición. Para determinar la relación entre las actividades se recurrió a esta herramienta. Aislando los diferentes elementos para cada nivel, visualmente se determinó la lógica constructiva y se detalló esta dentro de la programación elaborada en MsProject. A lo largo del proceso se permitió correr la simulación para ir validando las relaciones entre actividades asignadas y además notar errores a lo largo del camino. De esta forma se notó de

forma visual si existen elementos con relaciones erróneas o inexistentes. Se analizó cada elemento dentro del modelo tridimensional y mediante la observación se identificaron las actividades debían precederlo. Una vez establecido esto se ingresó en MsProject como precedencia. Cuando el resultado de las relaciones fue satisfactorio se actualizó la información dentro del modelo en Navisworks. Esta vez se sincronizó el modelo con su fuente de información para la programación y no se reconstruyó la jerarquía de actividades como en el paso anterior. De esta forma la información actualizada de la programación se cargó en el modelo teniendo ya relación entre las actividades pero no su duración definida. A continuación se muestra una imagen de la forma en que se sincronizó la información (Figura 8) y un diagrama de flujo que simula el proceso de determinación de las relaciones (Figura 9).

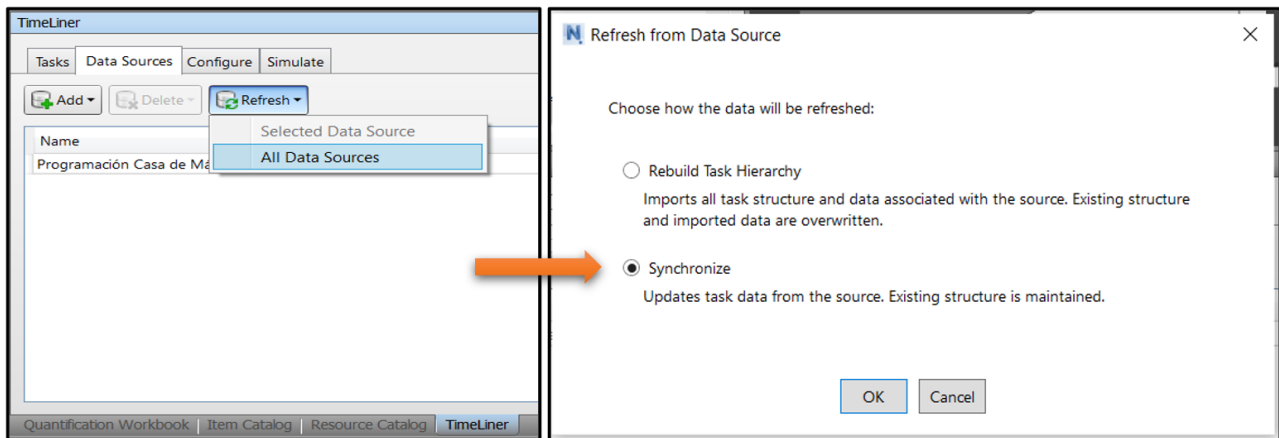


Figura 8. Sincronización de las Relaciones de Actividades entre MsProject y Navisworks.
Fuente: Elaboración Propia.

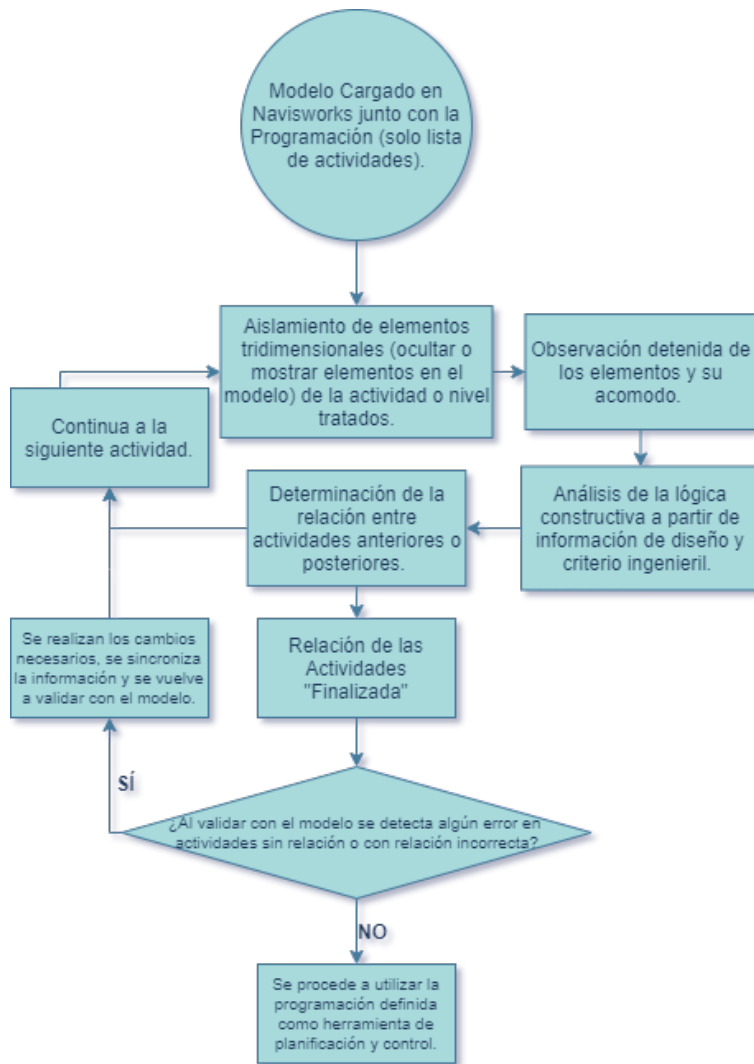


Figura 9. Diagrama de flujo para Proceso de Determinación de Relaciones.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.5 Frentes de trabajo y orden

Es importante considerar que los procesos constructivos y parte de la maquinaria estaban ya definidos. Está establecido que el material para la presa será extraído cerca del sitio por medio de excavadoras hidráulicas, transportado por vagones, extendido por tractores y compactado por rodillo. Las máquinas mencionadas anteriormente fueron las únicas descritas para estas obras en el documento de informe de ingeniería. Un detalle a profundidad de la maquinaria necesaria a parte de la que ya está descrita no fue parte del alcance de este trabajo, sin embargo será parte de las mejoras a todos los productos que se puedan dar en el futuro. Esta y demás aclaraciones del Informe de Diseño, Planos y Especificaciones (Jiménez M., Gazel I., Barrantes G., Vindas A., Cortés J., Fallas F., Salazar H., Hernández Diego, Benavidez L., Gonzales A., Segura J., Torres J., Sandino C., Rodríguez A., Quiel M., Arce S., Alfaro M., Zumbado F., y Roper N., 2018.) fueron la base para determinar la forma en la que se trabajó en el sitio y necesidades específicas de las obras como la maquinaria ya mencionada. Además de esto, se utilizaron planos y especificaciones ya generados en el diseño elaborado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Además de estos lineamientos se

tomaron como referencia conformaciones de cuadrillas especificadas en documentos que se utilizaron también como fuente de rendimientos. La selección de dichos documentos de referencia fue debido a que las obras que analizan son de características y contextos altamente similares a las de las obras tratadas en este proyecto. Dichos documentos de referencia son los siguientes: Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís (Navarro Brenes K., 2010), Análisis de opciones para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís (Bonilla R., Castillo E., Corrales K., 2002), y Comparación de rendimientos de construcción de naves industriales de acero con conexiones pernadas y con conexiones soldadas (Suárez D., 2016). En estos documentos se indica tanto el personal y maquinaria necesarios para obras homólogas a las tratadas en este proyecto, como los rendimientos para dichos recursos, siempre ubicándose en el sitio del proyecto.

5.2.6 Requerimientos de personal por actividad

En el párrafo anterior se mencionó que se utilizaron valores de rendimiento y conformación de cuadrillas de investigaciones realizadas en proyectos similares a las obras que en este proyecto se tratan. Si bien la maquinaria y el personal requeridos se tomaron prácticamente directamente de estos documentos, para cantidad de maquinaria y personal se utilizaron otros criterios adicionales. Las cantidades de personal y maquinaria detalladas en los documentos se ajustaron a la realidad de las obras tratadas en este proyecto. Esto con criterio ingenieril y después de haber estudiado a profundidad las obras. De esta forma se determinaron las cantidades de cada recurso ya establecido que en su momento se consideraron óptimas. Este proceso no es final. En caso de que en el futuro y después de haber analizado las opciones de recursos a mayor profundidad así como las cantidades óptimas, se deseen realizar ajustes, las herramientas que se aplicaron en este proyecto permiten realizar ajustes de este tipo y obtener inmediatamente el impacto que estos cambios impliquen. Dicho de otra forma, eventualmente si se desea cambiar la conformación o número de cuadrillas se verá el impacto en costo y duración cambiar de forma proporcional.

5.2.7 Rendimientos de obra

Finalmente se buscó estimar la duración de las actividades y determinar de forma más precisa la cantidad de recursos y, consecuentemente, la duración total de las obras. Para esto, se añadió a la información mencionada los rendimientos de obra. Como en los dos puntos anteriores, estos se obtuvieron directamente de los documentos descritos en la sección de "Frentes de trabajo y orden". Al igual que en los puntos anteriores se hizo de esta forma por la similitud de tienen las obras y por el hecho de que documentación estándar de rendimientos en Costa Rica suele estar basada en edificaciones de altura y no en proyectos de infraestructura tan específicos como el del embalse Río Piedras. Toda esta información generada fue ingresada en el software Microsoft Excel. En primer lugar se copió directamente de la programación el listado de actividades. Seguido de esto se creó una columna para ingresar las cantidades de cada actividad que después serían calculadas. Luego se hizo una serie de columnas para calcular duraciones a partir de la cantidad de cada recurso disponible, su rendimiento y la cantidad medida de material o trabajo por actividad. A continuación se muestra una imagen para la casa de máquinas de la parte superior de dicha tabla de datos, para aclarar el orden de registro de estos datos (Figura 10).

Actividad		Cantidades Totales
		Unidades
		Peon/Operario de Soldadura
		Ayudante/Tunelero
		Artesano/Encargado de Cuadrilla/ Operario
		Coordinador de Obra Civil
		Operador de Equipo Tunnel
		Operario de Automezcladora
		Operario Tractor de Oruga (D6)
		Operario Vagoneta Vagoneta 6x12 M3
		Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)/
		Operario Back-Hoe
		Operario Sapo Brincón/Planta Eléctrica
		Operario Excavadora Hidráulica PC 220 (cargado)/Compresor
		Operario Excavadora Hidráulica PC 300 (corte)/ Planta para Concreto
		Equipo de Voladuras/ Máquinaria para Lanzar Concreto/Equipo de Colocación de Acero

Horas Totales	
Total Horas: Peon/Operario de Soldadura	
Total Horas: Ayudante/Tunelero	
Total Horas: Artesano/Encargado de Cuadrilla	
Total Horas: Coordinador de Obra Civil	
Total Horas: Operador de Equipo Tunnel	
Total Horas: Operario de Automezcladora	
Total Horas: Operario Tractor de Oruga (D6)	
Total Horas: Operario Vagoneta Vagoneta 6x12 M3	
Total Horas: Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)/	
Total Horas: Operario Back-Hoe	
Total Horas: Operario Sapo Brincón/Planta Eléctrica	
Total Horas: Operario Excavadora Hidráulica PC 220 (cargado)/Compresor	
Total Horas: Operario Excavadora Hidráulica PC 300 (corte)/ Planta para Concreto	
Total Horas: Equipo de Voladuras/Máquinaria para Lanzar Concreto/Equipo de Colocación de Acero	
Duración Total de la Obra (h)	
Duración Total de la Obra (Días)	

Cantidad de Recursos	
Cantidad: Peon/Operario de Soldadura	
Cantidad: Ayudante/Tunelero	
Cantidad: Artesano/Encargado de Cuadrilla/ Operario Grúa (Acero)	
Cantidad: Coordinador de Obra Civil	
Cantidad: Operador de Equipo Tunnel	
Cantidad: Operario de Automezcladora	
Cantidad: Operario Tractor de Oruga (D6)	
Cantidad: Operario Vagoneta Vagoneta 6x12 M3	
Cantidad: Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)/	
Cantidad: Operario Back-Hoe	
Cantidad: Operario Sapo Brincón/Planta Eléctrica	
Cantidad: Operario Excavadora Hidráulica PC 220 (cargado)/Compresor	
Cantidad: Operario Excavadora Hidráulica PC 300 (corte)/ Planta para Concreto	
Cantidad: Equipo de Voladuras/Máquinaria para Lanzar Concreto/Equipo de Colocación de Acero	

Figura 10. Tabla de Cuantificación, Rendimientos, Recursos, y Duración Casa de Máquinas.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3 Fase 3: Generación y análisis de resultados de los modelos.

A partir de los modelos construidos y la información que en ellos se cargó se obtuvieron 3 resultados principales. Estos resultados fueron la determinación de cantidades de obra, la programación de las obras y determinación de actividades críticas y las simulaciones constructivas. A continuación se detallan las actividades desarrolladas para generar estos resultados a partir de los modelos.

5.3.1 Determinación de las cantidades de obra

Una vez definida la mano de obra y los recursos, los rendimientos, actividades y relaciones entre actividades quedó por definir las cantidades con sus unidades de medida correspondientes para cada actividad. Para ambos casos se utilizó el software Navisworks, específicamente la herramienta de cuantificación. Dicha

herramienta se debe de configurar de forma similar a cuando se definió la programación en MsProject como fuente de datos. Se debe de recordar que en estos momentos se estaba trabajando en Navisworks y el modelo había sido hecho en Revit. Por esto es necesario entender que se tiene un modelo de otro programa activamente cargado en Navisworks, de modo que cambios en el modelo de Revit se verían reflejados en Navisworks. Los anterior sugiere que las propiedades de Revit pueden tener nombres diferentes en Revit que en Navisworks, por ejemplo en Navisworks el parámetro "ModelVolume" sería en Revit "Volumen". Esta pequeña diferencia puede causar que no se mapeen ciertas propiedades de volumen, longitud y demás y por lo tanto no se cuantifiquen. A continuación se muestra una imagen del proceso de mapeo de propiedades (Figura 11).

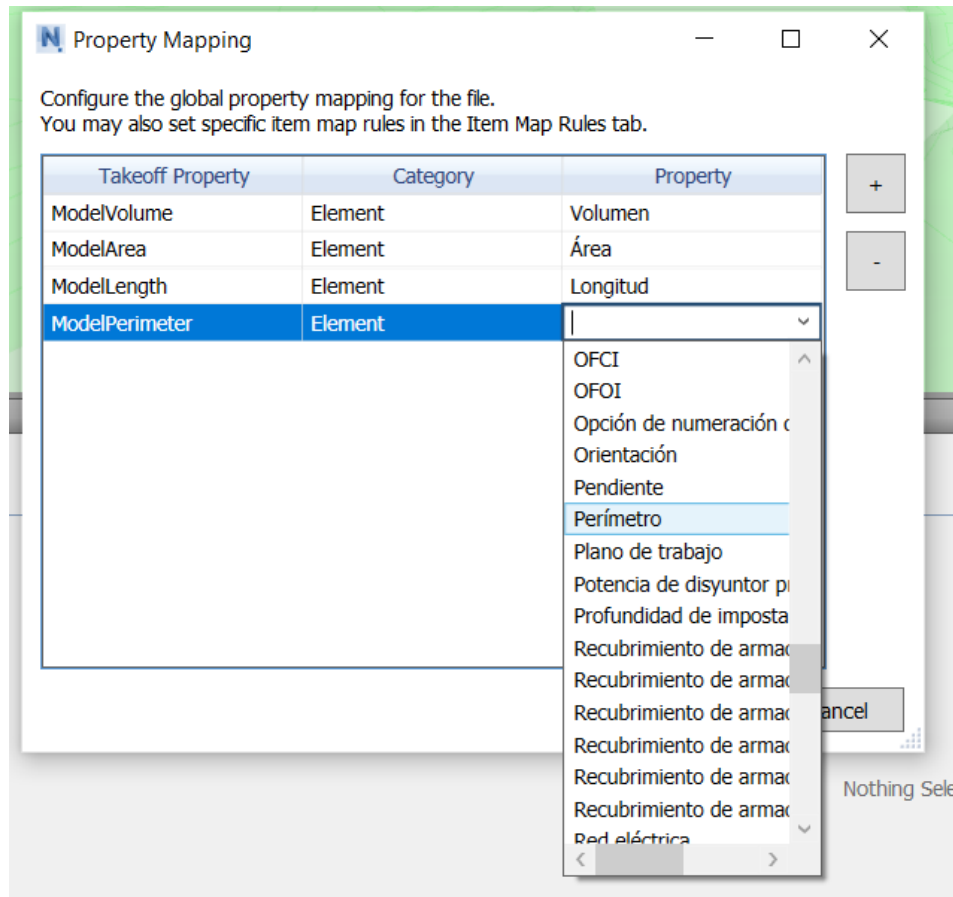


Figura 11. Mapeo de Propiedades para Cuantificación
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez mapeadas las propiedades se realizó una cuantificación automática de todos los elementos de cada modelo. En este proceso se le solicitó al programa generar una cuantificación para un catálogo de los ítem basado en la estructura del árbol de selección y, en consecuencia, basado en la estructura total del modelo. El proceso es automático y la cuantificación resultante tiene la característica que al igual que la programación tiene la misma estructura que el árbol de selección. Esto significa que es compatible con los resultados ya generados. El espacio para las cantidades que se había reservado en el libro de Microsoft Excel que contiene la información de mano de obra y actividades ahora se ingresan los nuevos datos de cuantificación obtenidos. De esta forma dentro de la hoja de cálculo de Microsoft Excel faltaría solamente el cálculo de la duración para cada actividad a partir de los datos ya obtenidos. A continuación se muestran imágenes del proceso de cuantificación (Figura 12) y de la plataforma de cuantificación en Navisworks (Figura

13).

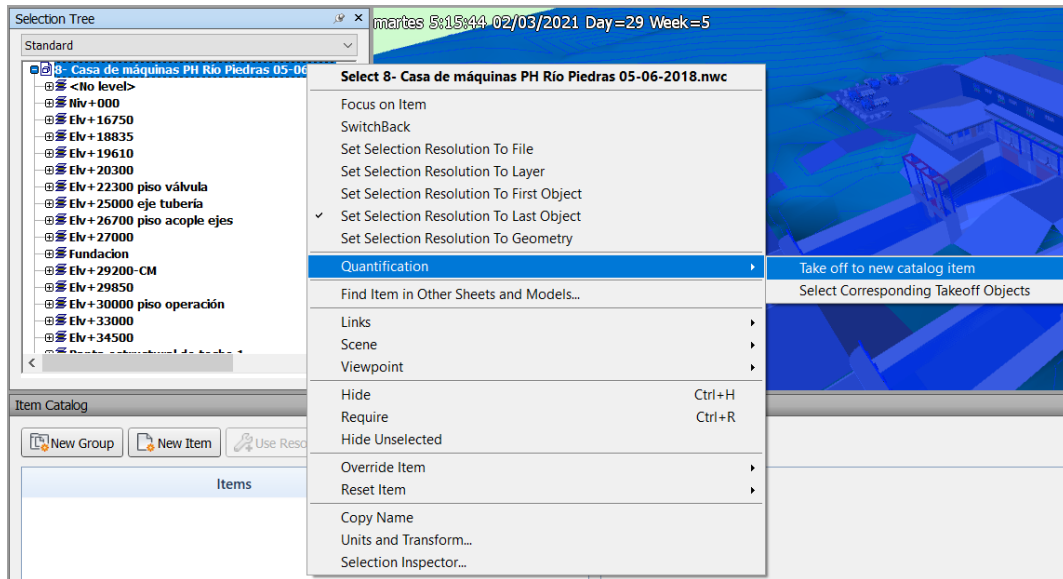


Figura 12. Proceso de Cuantificación a partir del Árbol de Selección
Fuente: Elaboración Propia.

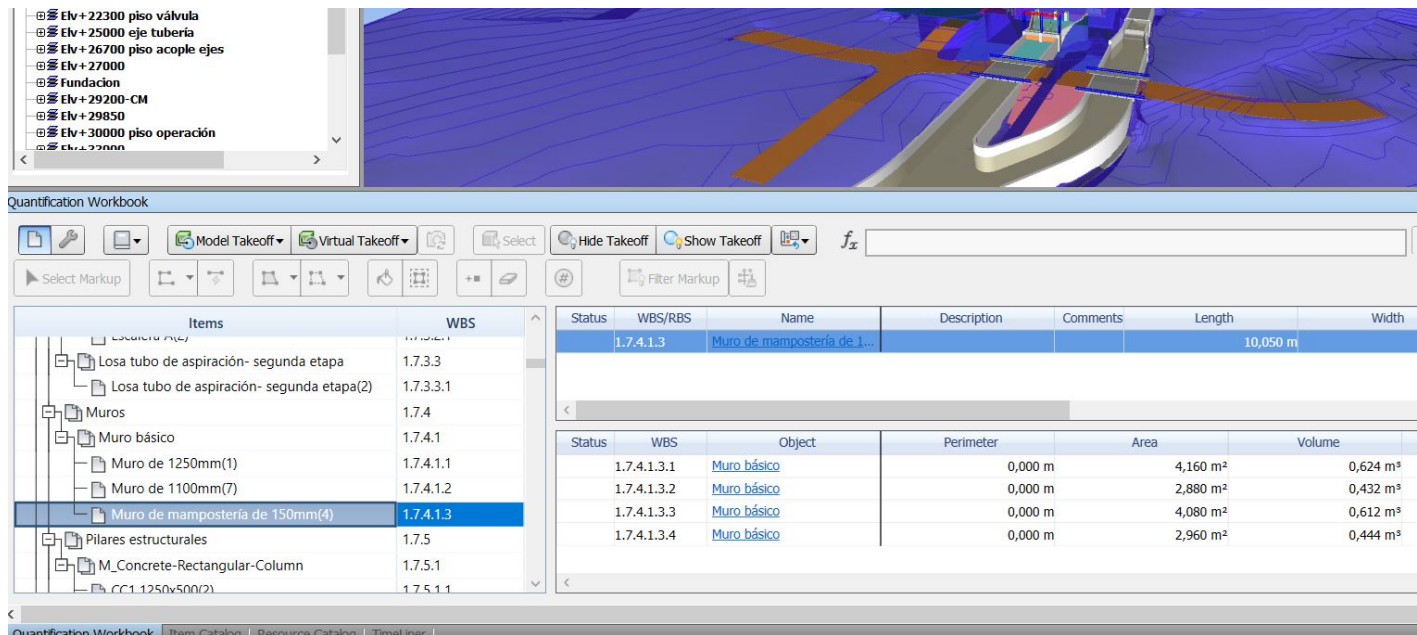


Figura 13. Catálogo de Cuantificación para Casa de Máquinas
Fuente: Elaboración Propia.

Adicional a la cuantificación realizada en Navisworks, el programa Revit también permite obtener cantidades de una forma diferente. Dentro de este programa se pueden crear tablas de planificación para elementos específicos como ventana, puertas, columnas, losas y demás que contengan características predefinidas de

los elementos e incluso realicen columnas con cálculo. Esta herramienta no se exploró a profundidad en este proyecto, pero valores de algunas tablas de planificación se utilizaron como referencia para validar la cuantificación. A continuación se muestra una imagen de la configuración de una de estas tablas (Figura 14). Es necesario mencionar que la elaboración de estas tablas no fue parte de la metodología de este proyecto.

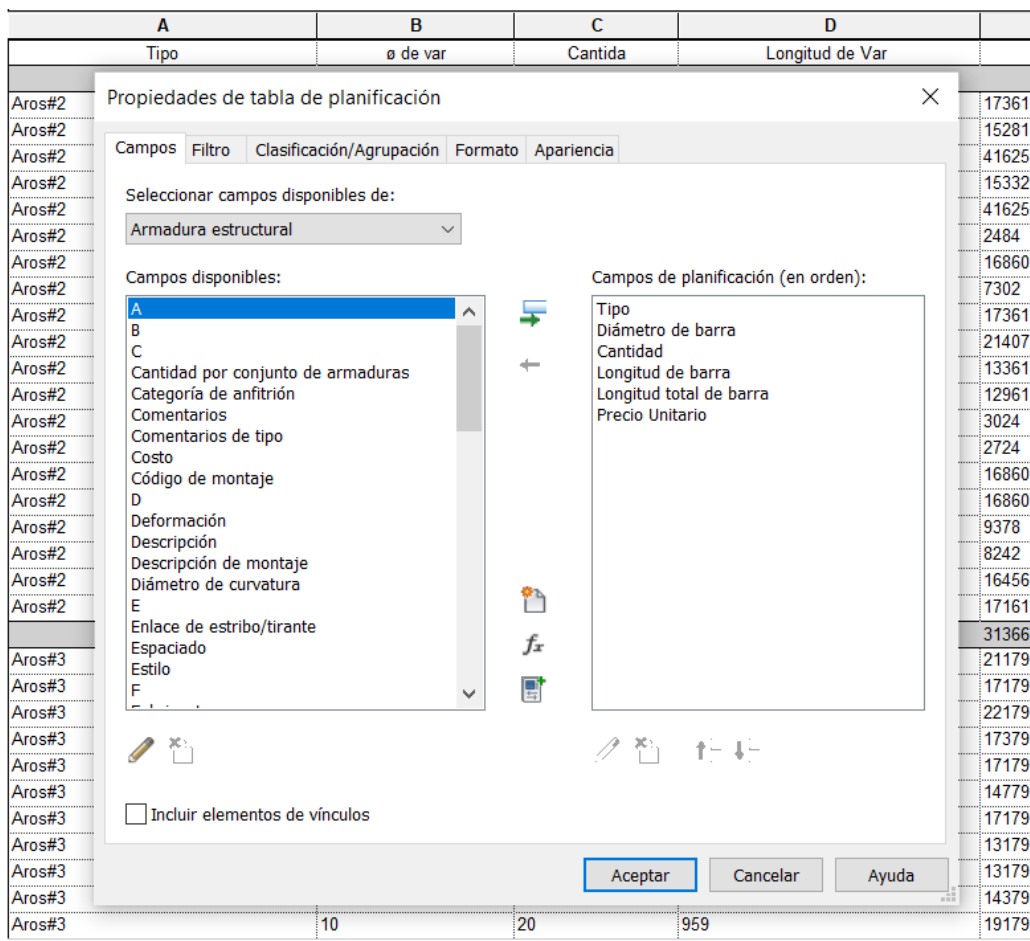


Figura 14. Configuración de la Tabla de Planificación para Acero de Refuerzo en Casa de Máquinas
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.2 Programación de obras y determinación de la ruta crítica

Si bien la programación se comenzó a trabajar desde la definición de las actividades, no se consideró completa hasta que al menos actividades, relaciones y la duración de cada una estén definidos. Para la duración de cada actividad, a partir de la cantidad definida para cada una de ellas, se calculó el rendimiento en horas por metro cúbico, área, unidad o longitud, y junto con la cantidad disponible para cada recurso se determinó cuanto tardaría la cuadrilla definida en completar la actividad. El resultado final se calculó en el libro de Excel mencionado, tanto en horas como en días. Una vez definido este cálculo se copiaron las duraciones desde la hoja de Excel a la columna de duraciones en la programación de cada obra en MsProject. Como las actividades ya tenían sus relaciones, al agregar estas duraciones se pudo determinar la duración real tanto de los diferentes niveles como de la obra en general. Lo anterior siempre teniendo en cuenta que si existieran cambios en el cálculo de las duraciones, relación entre las actividades o cambios mayores en la jerarquía, estos se pueden actualizar y así observar inmediatamente el impacto de dichos cambios en la programación

y los modelos. Adicional a la información ya mencionada que contiene la programación en MsProject, se permitió la fácil visualización de las actividades críticas de la obra.

5.3.3 Simulaciones constructivas

La simulación constructiva fue llevada a cabo en el software Navisworks. A lo largo de algunas actividades de la metodología la programación ya puede correr, pero hasta que toda la información está completa se considera que la simulación también lo está. Además de la información ya cargada en el modelo existen dos pasos necesarios para la simulación de las obras en Navisworks que no se han mencionado. El primero es el enlace entre las actividades de la programación y los elementos tridimensionales. Navisworks permite enlazar uno o varios elementos seleccionados a actividades específicas de la programación mediante la herramienta “attach”. Se deben seleccionar el o los elementos e indicar lo que se desea enlazar o agregar la selección. La opción de agregar implica que se adiciona la selección a alguna previamente realizada. Después de esto se debe definir el tipo de actividad, ya sea construcción demolición o temporal. Este proceso implica señalar, actividad por actividad si corresponden a: construcciones nuevas, construcciones que se encuentran construidas, o se demolerán con construcciones como formaletas que son temporales. En la siguiente imagen se pueden apreciar estos procesos, a la izquierda el enlace de actividades con elementos 3D y a la derecha le indicación del tipo (Figura 15).

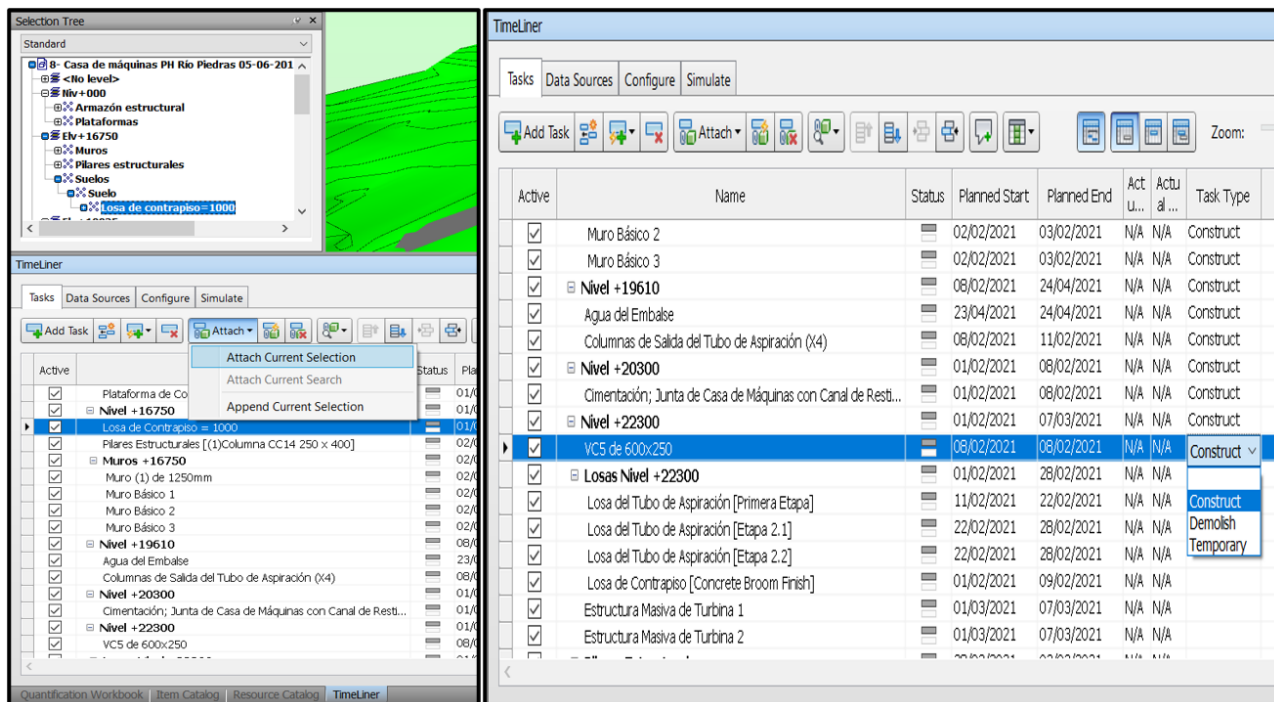


Figura 15. Enlace de las Actividades con la Geometría e Indicación del Tipo de Actividad.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4 Fase 4:Propuesta del sistema de control de obra.

Tomando como referencia la cuarta dimensión de la metodología BIM, correspondiente a la fase de planificación de obra, el propósito de esta, está centrado en el desarrollo de una propuesta de un sistema de control. Para esto se establecieron los siguientes cuatro ejes de acción (Figura 16): una estrategia de interacción y comunicación, otra de resolución de conflictos, seguido por una estrategia de control del flujo de trabajo y para finalizar, una propuesta de estructura organizativa basado en un ambiente común de trabajo. El desarrollo de este sistema de control tuvo como fin primordial darle un uso más allá de la planificación a las herramientas elaboradas en Revit y Navisworks. Se busca con la ejecución de este sistema, mediante la elaboración de estos modelos, establecer un vínculo de trabajo colaborativo y sincronizado entre las herramientas desarrolladas y las estrategias de comunicación, manejos de flujo de trabajo y resolución de problemas. Todos estos abordados desde una plataforma digital de trabajo colaborativo y interdisciplinario. Para la ejecución de estos cuatro ejes se tomó como referencia diversos sustentos técnicos en el área de la metodología, de entre los cuales destacan “Estructura de un proyecto BIM de la Escuela de Diseño de Madrid”, (2018), “La Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos.(PMBOK Quinta edición)” Project Management Institute (2008), y el “Análisis comparativo de las prácticas de dirección de proyectos del PMI en empresas públicas y privadas en Chile”, Trejos N., (2018). Además de esto se consideró como referencia la estructura de la plataforma BIM 360.

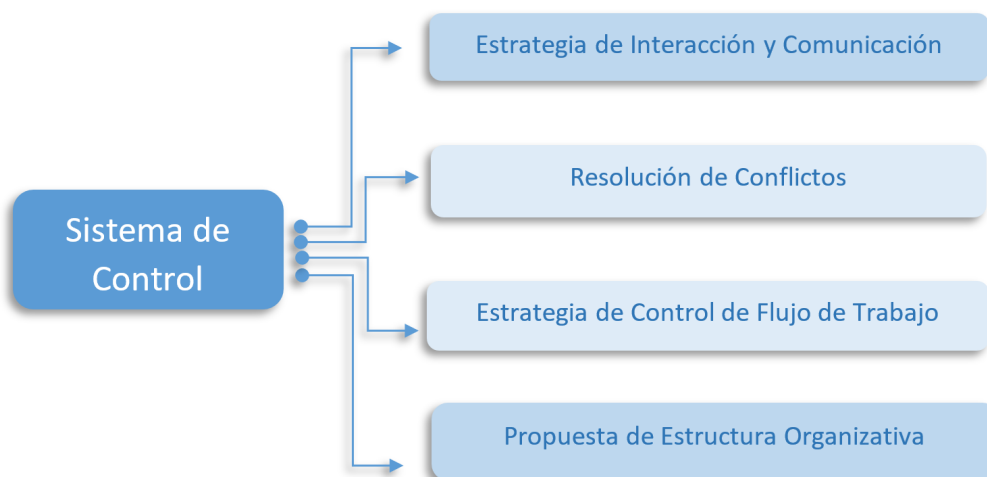


Figura 16. Ejes de acción (Sistema de Control).

Fuente: Elaboración Propia.

Este trabajo no aborda los temas relacionados con la gestión documental y el manejo de imprevistos. Esto dado que el interés principal de esta fase radica en la vinculación entre los modelos desarrollados y el impacto que estas herramientas puedan alcanzar con una línea base de control llevada a cabo durante la ejecución de la obra, pero no en el desarrollo completo de un sistema de control de obra.

6 Resultados y Discusión

En el siguiente apartado se exponen los productos obtenidos a partir de la ejecución de los objetivos del proyecto. Primero, se describen las herramientas desarrolladas en las plataformas de Revit y Navisworks, así como las utilidades derivadas de cada una de ellas. Seguidamente se tienen los detalles de planificación de obra, en los que se incluyen la duración de cada una de las obras analizadas, los requerimientos en cuanto a mano de obra, materiales, maquinaria, entre otros. Por otro lado, se tienen los resultados correspondientes a la estructura de trabajo, en los que se describe gradualmente la propuesta de ejecución para cada una de las obras en estudio. Finalmente, con el objetivo de abordar toda la extensión de la dimensión 4D de BIM, se exponen los resultados obtenidos del sistemas de control propuesto. En este apartado se muestran las características de las estrategias ejecutadas de control y su vinculación con las herramientas desarrolladas en los objetivos anteriores. Cabe mencionar para cada uno de los puntos que a continuación se van a exponer, se va a ir analizando cada resultado. De esta forma, la discusión o el análisis de los resultados se dará dentro de esta sección mientras se avanza en la exposición de los resultados.

6.1 Descripción de modelos

Los modelos y el ambiente común de trabajo buscan coordinar el diseño de los elementos que lo requieran y los cambios y mejoras de los existentes, de modo que lo que se plasme en el sitio esté basado en productos finales de planificación bajo la cantidad de procesos de revisión y validación precisa que sean necesarios. Los modelos utilizados para el desarrollo de este proyecto también poseían un cierto LOD o nivel de desarrollo. Este nivel de desarrollo define que elementos existen dentro del modelo y la información que en el está contenida. Dicho esto, es claro que un mayor detalle de las obras necesarias, como incluir la excavación, la totalidad del acero de refuerzo, diques de ataguía o cualquier otra estructura considerada necesaria, causará que se determinen cuantificaciones, cuadrillas, duraciones más precisas y relaciones entre actividades más precisas y ajustadas a la realidad. En general, obteniendo modelos BIM y simulaciones constructivas que cumplen mejor su tarea de optimizar los procesos llevados a cabo en la planificación, ejecución y operación de proyectos.

Por otro lado, la primer herramienta desarrollada consistió en el modelo del sitio de presa. Este fue desarrollado en el software de Revit. Entre los principales elementos que contempla este modelo en estudio, se encuentra, la alcantarilla de desvío, la estructura del plinto, los distintos rellenos que posee la presa, las capas externas a las misma, el acero de refuerzo y otros componentes que optimizan el nivel de detalle de la obra, como lo son los parapetos de cada una de las caras de la presa, la estructura de pavimento de la cresta, el camino ubicado aguas abajo entre otros. (Figura 17)

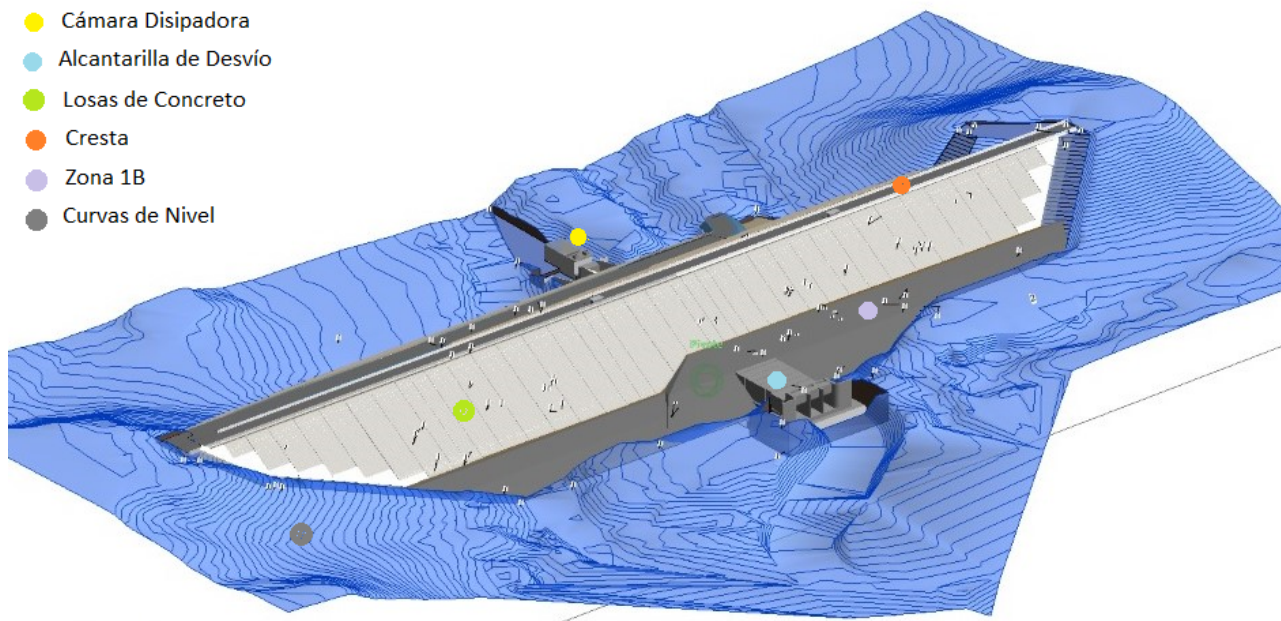


Figura 17. Modelo Tridimensional Sitio de Presa.
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a los beneficios que proporciona la metodología BIM al proceso de modelado, es necesario mencionar que es de vital importancia contar con la información exacta y precisa durante la elaboración del modelo tridimensional para lograr la eficiencia en cuanto al nivel de utilidad que a esta herramienta se le va a demandar en un futuro. Esta necesidad quedó en evidencia al definir el nivel de esencialidad (LOD) que va a poseer un determinado elemento, ya que es necesario contar con todos los miembros del proyecto para conocer los requerimientos de información que estos van a demandar de ciertos componentes del modelo a desarrollar, aspecto que no se efectuó en el presente proyecto. Por tal razón, tomando como una oportunidad de aprendizaje la naturaleza del proyecto en estudio, se establece la importancia de abordar un proyecto desde su concepción bajo la metodología en análisis. Dado que se vuelve de suma importancia contar con un plan inicial que le dé línea y correlacione cada una de las etapas del proyecto. Esto en la búsqueda de hacer más prácticos y más eficientes los trabajos desarrollados en cada una de las fases iniciales del proyecto PAACUME o similares.

Para el alcance de los objetivos propuestos que tienen una relación directa con el modelo de sitio de presa, el modelo desarrollado contempla un nivel de detalle que viene a solventar los requerimientos establecidos. Entre estos requerimientos se estipulan: la facilidad que este brinda para la ejecución de previsualizaciones de distintos componentes del proyecto (Figura 18), la disponibilidad del modelo para realizar correcciones en cambios de diseño, el desarrollo de la planificación en la construcción mediante la elaboración de fases constructivas y la estimación de costos a partir de la determinación de cantidades de obra, entre otros aspectos.

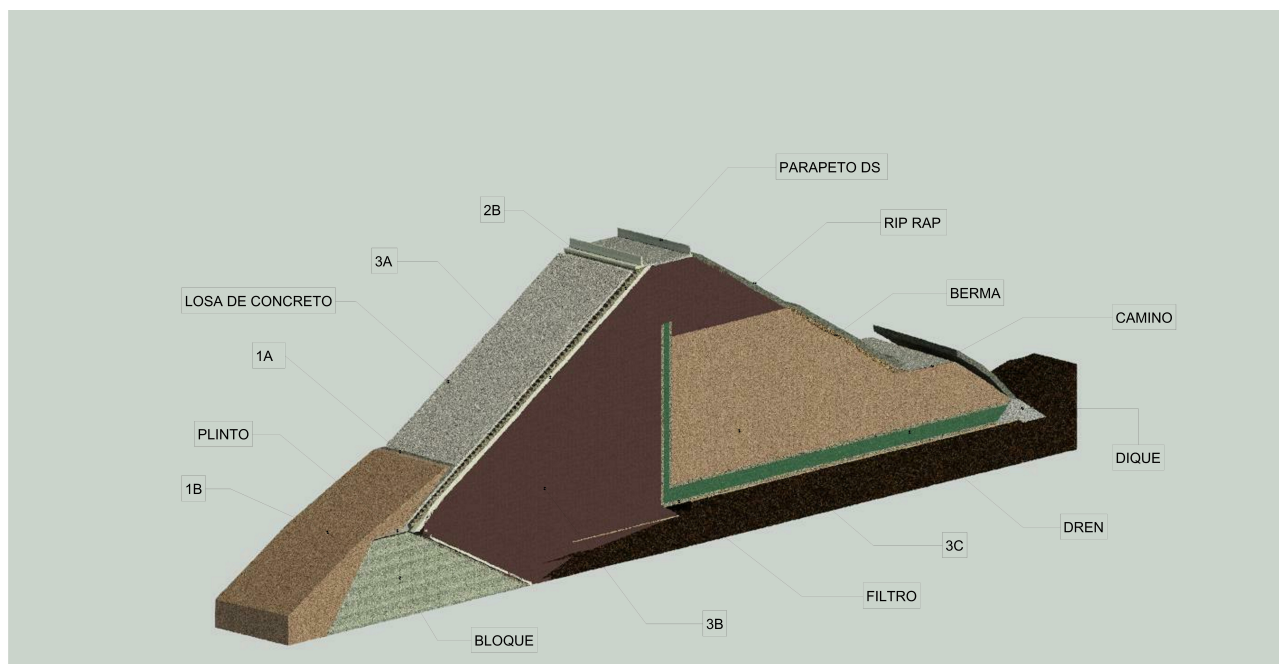


Figura 18. Visualización de Corte Transversal
Fuente: Elaboración Propia.

En relación con lo indicado en el párrafo inmediato anterior, en los elementos modelados se pone en evidencia las técnicas de modelación que ofrece el software, por lo que es necesario aclarar que, en la mayoría de estos elementos, la técnica apropiada se derivó del apartado de masas y las variantes que esta ofrece. Ejemplo de esto fueron las variadas secciones confeccionadas para la alcantarilla de desvío (Figura 19). Por otro lado, en aras de interpretar la magnitud del trabajo implicado en esta fase de trabajo, se hace mención al amplio conjunto de componentes que posee el modelo y los requerimientos que estos debían ostentar en cuanto a las especificaciones de modelado que implica un nivel de desarrollo (LOD) 300. A continuación se muestran imágenes de la alcantarilla de desvío (Figura 19) para mayor comprensión de los elementos modelados.

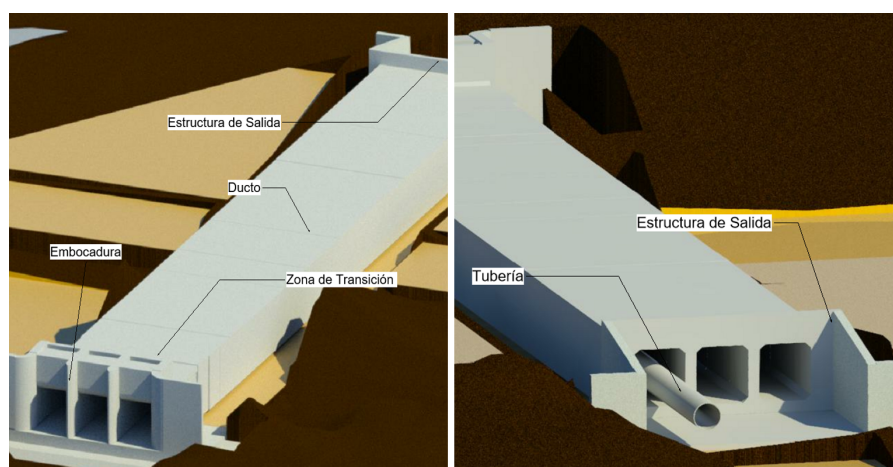


Figura 19. Alcantarilla de Desvío
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al modelo arquitectónico que presenta la herramienta, los productos generados vienen a contribuir a la facilidad de maniobra que el interesado pueda hacer dentro del modelo. Por esto, para este apartado se desarrolló un conjunto de niveles representativos, los cuales se distribuyen desde el nivel 10 m.s.n.m hasta la elevación 52 m.s.n.m. En cada una de estas plantas se exponen diversos parámetros técnicos en cuanto a dimensiones, materiales y distribución en planta de los componentes, entre otros. Dejando de lado la información aportada a partir de las visualizaciones en planta de cada nivel, también se tiene el conjunto de vistas y secciones desarrolladas para la obtención de información en cuanto a vistas en elevación, con el fin principal de proporcionar al interesado información en cuanto a la relación que presentan las capas con sus componentes cercanos. En la siguiente figura se muestra parte de la distribución en altura de las diversas capas de relleno con las que cuenta el modelo (Figura 20).

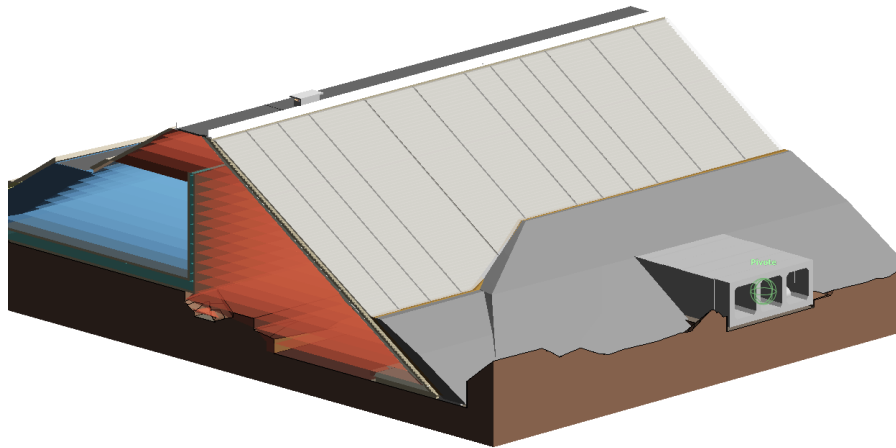


Figura 20. Vista de distribución de capas de relleno
Fuente: Elaboración Propia.

En lo que respecta al modelo estructural que posee la obra, este queda demostrado en gran parte, en la mayoría de los componentes de concreto reforzado que presenta la obra, dentro de los cuales se puede mencionar, la estructura del plinto, las diversas secciones que componen la estructura de la alcantarilla de desvío, las losas de concreto ubicadas aguas arriba y los parapetos de la presa (Figura 21). Es necesario mencionar que, ligado al nivel de desarrollo implementado, se hizo énfasis en el modelado de las distintas configuraciones de acero de cada elemento. Lo anterior con el objetivo de evaluar la facilidad del programa para la confección y cuantificación de este material de refuerzo.

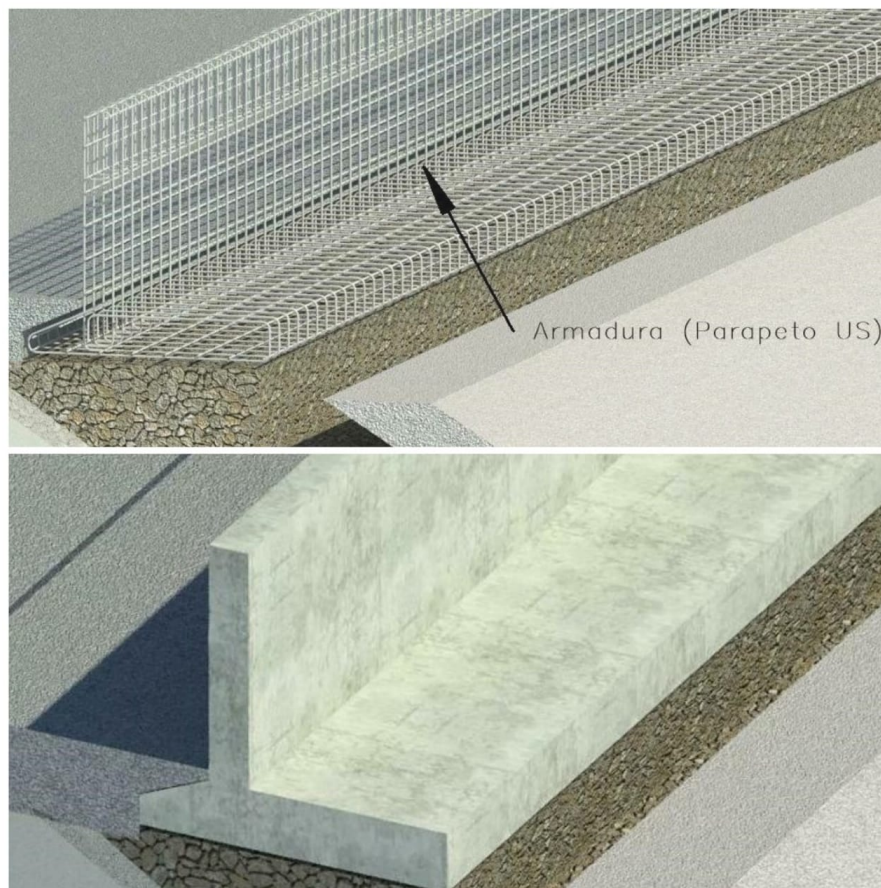


Figura 21. Concreto reforzado, parapetos
Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, el comportamiento del software con respecto a la cuantificación del acero fue satisfactorio, dada la gran cantidad de información que se puede extraer solo de un determinado componente de concreto reforzado, ejemplo de esto, fueron los parámetros en cuanto a configuración de acero, longitudes de gancho, cantidad de aros, calibres utilizados y longitud de separaciones, derivados únicamente de una de las secciones del plinto (Figura 22). A continuación se muestra una imagen que detalla la configuración del acero para el plinto (Figura 22).

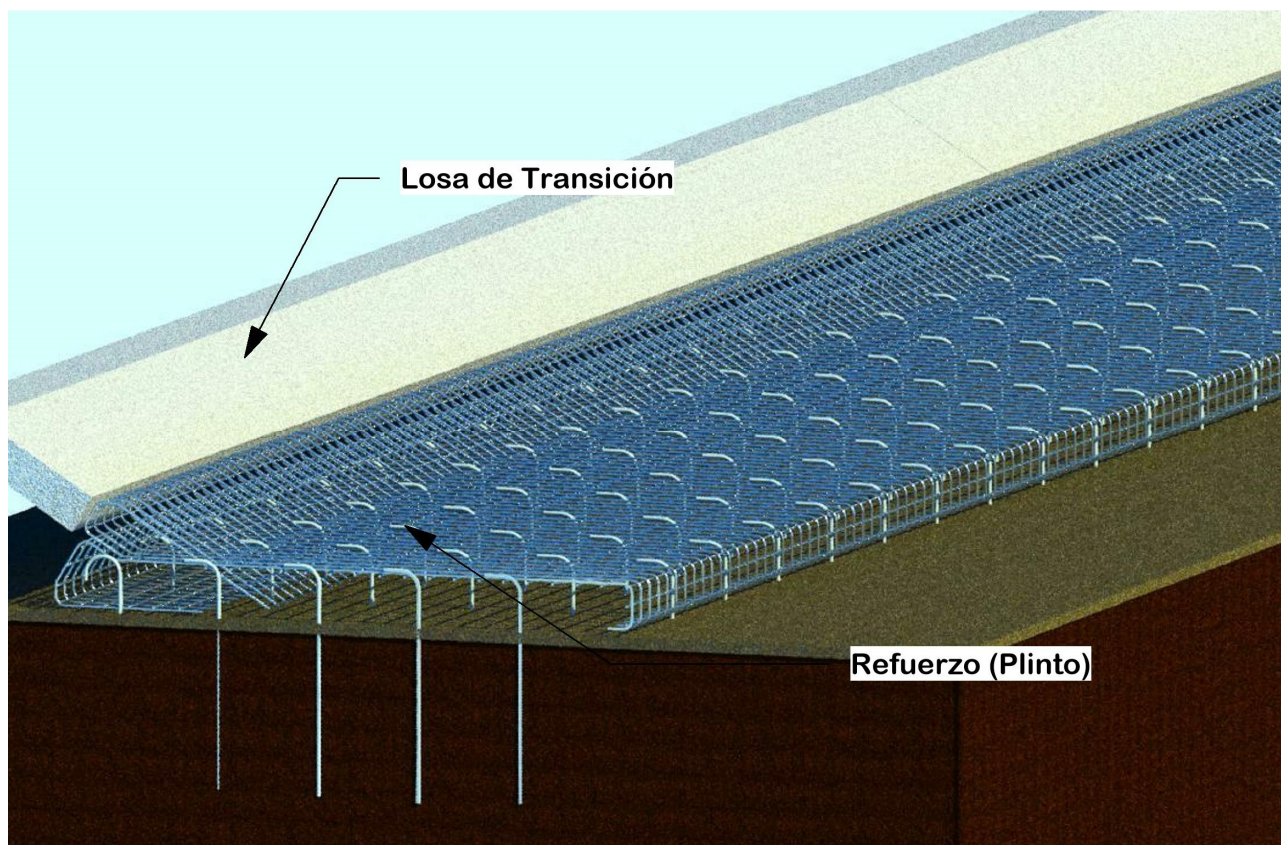


Figura 22. Configuración de acero (Plinto)

Fuente: Elaboración Propia.

Son muchas las conclusiones derivadas del proceso de elaboración de un modelo tridimensional a partir de planos y otros archivos. Ante una gran cantidad de información bidimensionales y algunos modelos tridimensionales, la aplicación de una metodología inicial de trabajo, es fundamental. Contar con una gran cantidad de información desorganizada, obras pertenecientes al proyecto general y documentos de factibilidad puede extender las etapas posteriores del proyecto, por lo que realizar previamente una etapa de validación de la información trae múltiples ventajas en cuanto a tiempo, eficiencia en el proceso de modelado y facilidad de análisis y interpretación. Así mismo, contar con grandes volúmenes de información desordenada puede extender los tiempos de modelado, por lo que se recomienda a la Dirección Técnica de PAACUME, contar con un sistema de sistematizado de organización de la información, para hacer más prácticos los procesos de selección de planos, isométricos, informes y a la vez, iniciar la futura implementación de la metodología BIM en las estructuras organizativas de la entidad.

Además del modelo en Revit también se construyó un modelo de información en Navisworks. Dentro de este se encuentra el modelo cargado desde Revit e información valiosa cargada dentro de él (Programación de MsProject), que permite el control de Obra. Incluye el modelo tridimensional con la característica de que la manipulación es mucho más sencilla. Se pueden encender capas y apagar a voluntad de forma sencilla y proporciona herramientas de navegación que hacen más amigable la exploración del modelo. Además, la plataforma posee la herramienta "timeliner" que no es más que un homólogo de MsProject dentro de Navisworks que permite manejar la programación dentro de sí mismo. La otra herramienta utilizada fue la de cuantificación. Dicha herramienta no carga información externa en el caso de este trabajo, sino que permite generar cuantificaciones de uno o más elementos del modelo cargado y definir qué parámetros se mapean de un

modelo a otro. A continuación se muestran diversas imágenes, primero de la visualización 3D del modelo y de la herramienta "timeliner" (Figura 23) y luego de la herramienta de cuantificación (Figura 24).

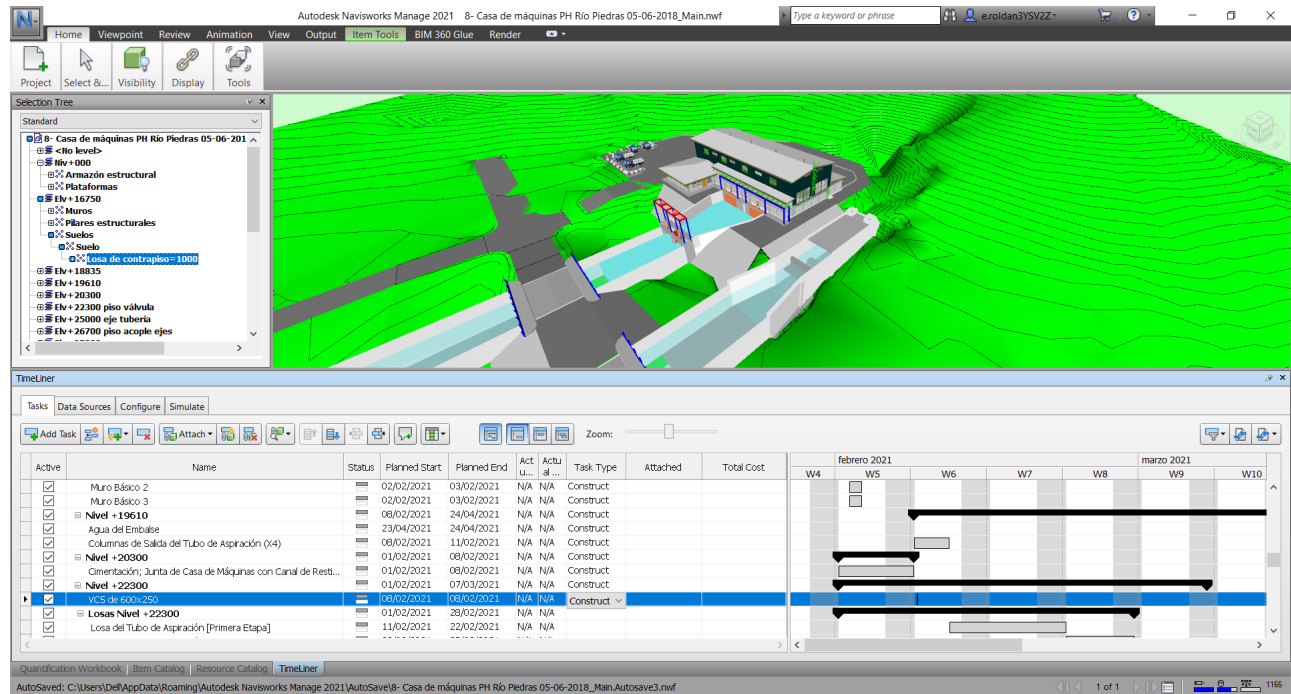


Figura 23. Modelo de Navisworks con Herramienta Timeliner.

Fuente: Elaboración Propia.

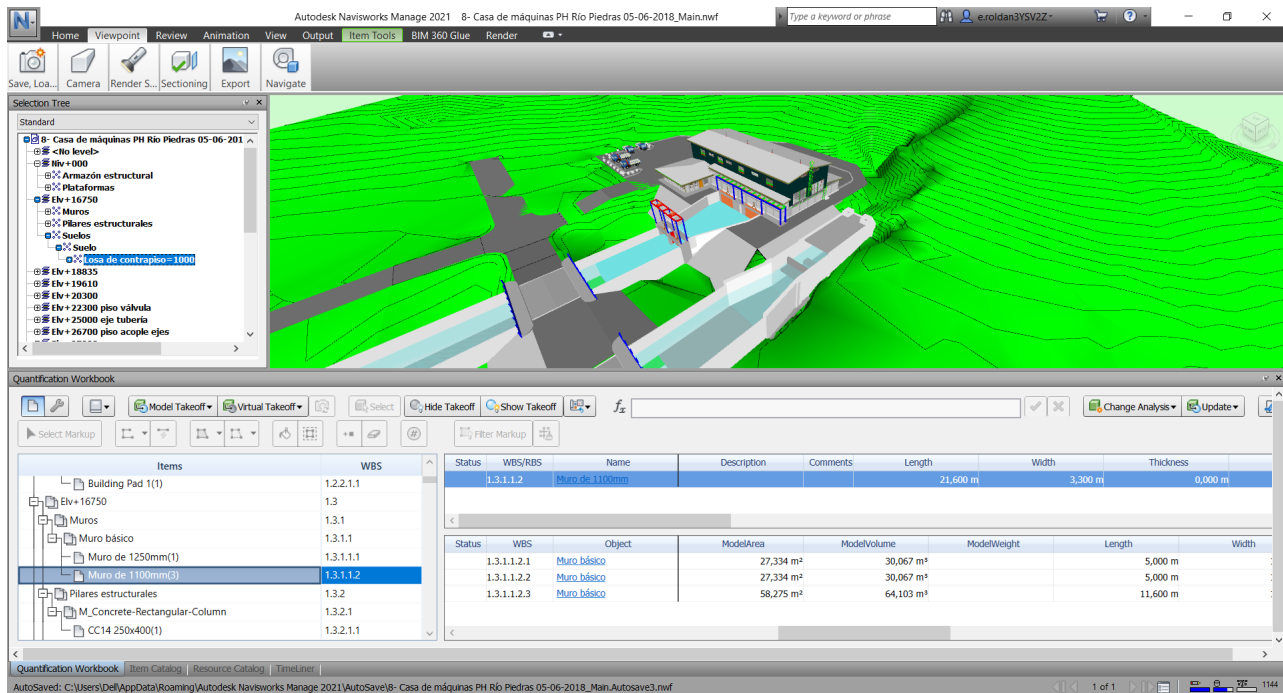


Figura 24. Modelo de Navisworks con Herramienta de Cuantificación.

Fuente: Elaboración Propia.

Además de la construcción del modelo de sitio de presa, también se consideró la casa de máquinas como parte del alcances este proyecto. Este modelo ya estaba construido por parte del ICE y no se tuvo que modelar desde el principio. A continuación se detallan algunas vistas del modelo con el fin de que el lector comprenda las obras que obras forman parte de los diferentes niveles de la casa de máquinas. A su vez, con el fin de ubicar las obras generales en el sitio general, en la siguiente imagen se puede apreciar una vista general de las obras (Figura 25), y en la que sigue una representación en 3D de la casa de máquinas (Figura 26).

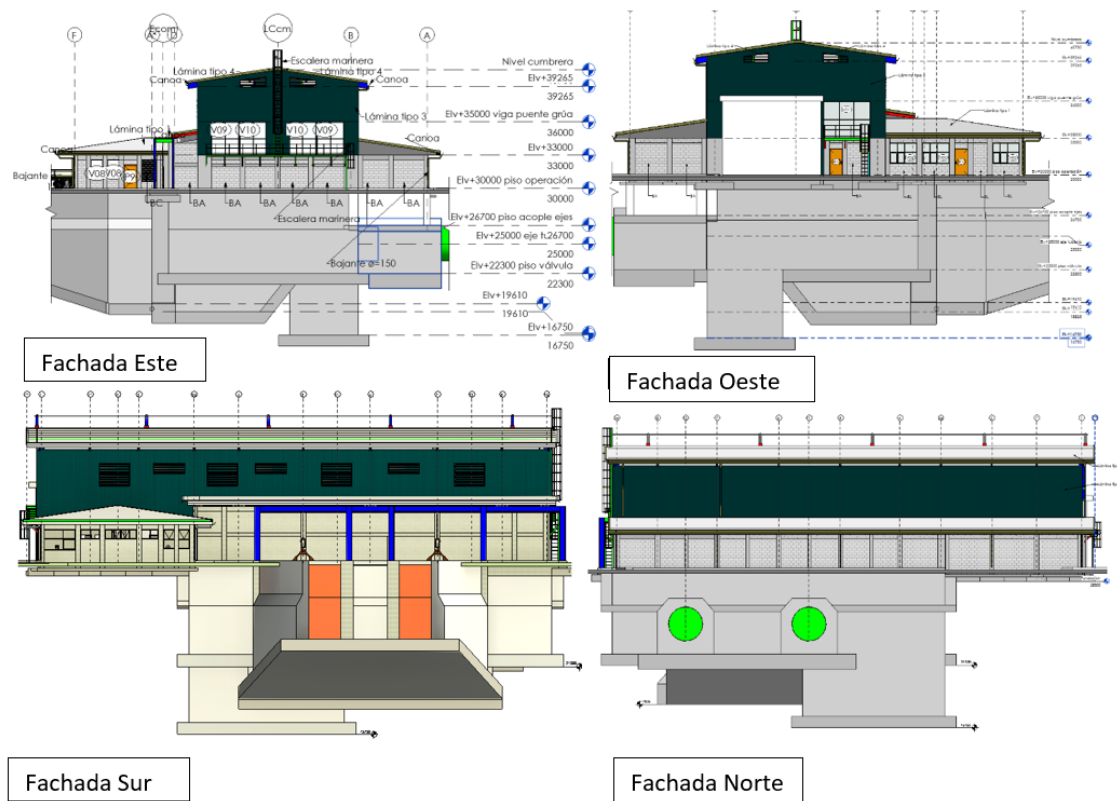


Figura 25. Vistas Norte, Sur, Este y Oeste Casa de Máquinas.)
Fuente: Elaboración Propia.

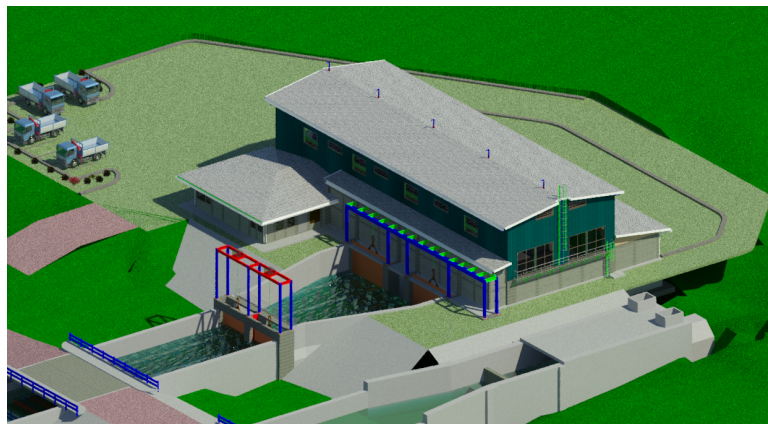


Figura 26. Vistas Tridimensional Casa de Máquinas.)
Fuente: Elaboración Propia.

En general las obras tratadas se llevan a cabo al sur de Bagaces, precisamente en el sitio en que el Río Piedras se cruza con el Canal Oeste. La casa de máquinas se ubicará a un costado de la presa, justo en la colina del estribo derecho (visto de norte a sur). Contiguo a la casa de máquinas seguirá el vertedor de

excedencias más hacia el oeste. Además, se tienen los tajos de lavas y de ignimbritas, de donde se extraerá el material para la presa, a poca distancia del sitio principal. En la siguiente imagen se pueden apreciar los caminos de acceso y ubicación de los componentes mencionados (Figura 27). Ya que se mencionan los sitios de extracción y los caminos de acceso, se debe de hacer una aclaración previo a continuar con los resultados. La forma de extracción, acopio de materiales extraídos y producidos en sitio, así como la producción y gestión de dichos materiales estuvo previamente definida por el informe de ingeniería del diseño. Caminos de acceso, sitios de extracción, sitios de almacenaje y de depósito, maquinaria necesitada, lógica de transporte y extracción, lógica de utilización de los materiales y demás aspectos similares ya habían sido considerados y su desarrollo no fue parte de el presente trabajo.

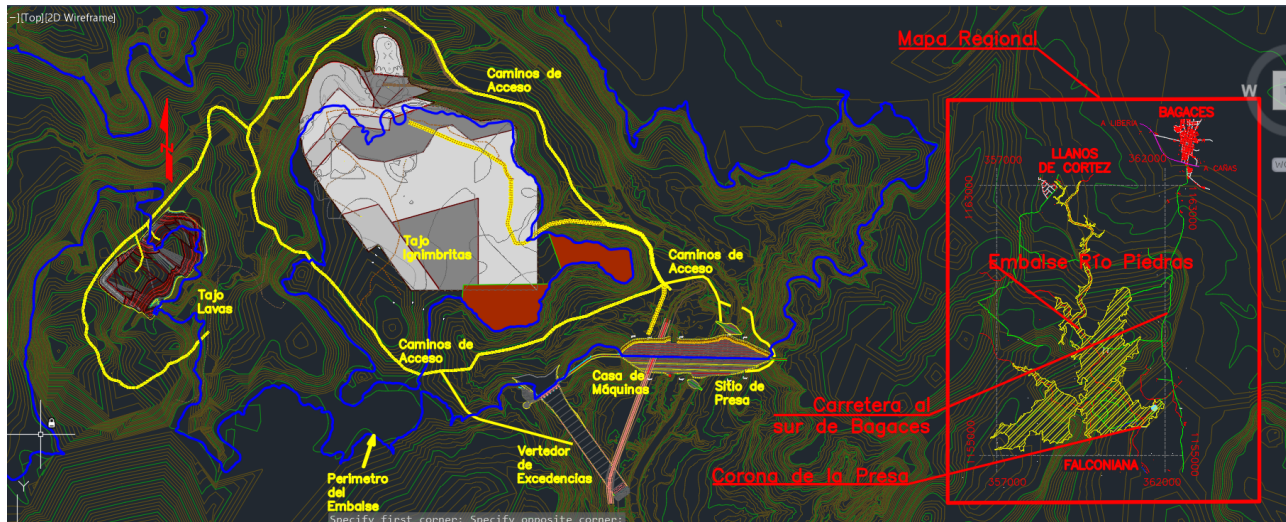


Figura 27. Vista General de Sitios de Extracción y Obras para el Embalse Río Piedras.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez descritos cada uno de los modelos es necesario hacer énfasis a las oportunidades de aprendizaje que se derivan de esta etapa. Tomando como referencia la tipología de las obras en estudio, las herramientas de software utilizadas, y la formación académica que brinda la escuela de ingeniería en construcción, se hace clara la necesidad de orientar esfuerzos hacia el reforzamiento de estos aspectos. La complejidad y la naturaleza de las obras comúnmente abordadas, corresponde generalmente a proyectos de edificaciones en altura y en su gran mayoría, obras de una magnitud relativamente pequeña. Esto ocasiona que durante el transcurso de la ejecución de la práctica, estas metodologías de enseñanza causen grandes repercusiones y retos de aprendizaje, en aspectos como la confección de cuadrillas de trabajo, estrategias de acopio de materiales y programación de grandes cantidades de actividades, considerando también la elaboración de modelos en las herramientas utilizadas o similares y, en general, el manejo de las herramientas de software. Lo anterior debido a la magnitud y complejidad de obras de infraestructura hidráulica como las que se tratan en este trabajo. Por esto es conveniente promover en el contexto de la carrera de Ingeniería en Construcción, una mayor interacción de los estudiantes con este tipo de proyectos y herramientas. A su vez se plantea la necesidad de abordar en los planes de estudio de los diversos cursos de la carrera, técnicas, lineamientos, y manejo de herramientas, propias de la metodología BIM. Esto permitirá preparar al futuro profesional para enfrentar el contexto político, técnico, económico que está teniendo actualmente la metodología en el país.

En relación con lo anterior, es de importante la formación académica requerida para el manejo de estas herramientas para darle un máximo aprovechamiento a los modelos desarrollados. Por tal razón se plantea la necesidad a la Dirección Técnica de PAACUME de maximizar esfuerzos dirigidos a aplicación de procesos de capacitación en el uso de estas herramientas y del conocimiento de prácticas de la metodología BIM.

6.2 Detalle de la estructura de trabajo propuesta para la ejecución de las obras

Se mencionó que las cuadrillas y su conformación se definieron con base en investigaciones ya realizadas en el área de rendimiento y mano de obra de proyectos de construcción similares. A partir de esta información y ajustado a la realidad de las obras tratadas en este proyecto, se estableció la necesidad de cuadrillas para cada actividad que representan una base para la asignación de estos recursos. Se dice que es una base pues es la estructura que se dejó como definitiva. A pesar de esto, tanto la conformación de las cuadrillas como su cantidad está sujeta a cambios que la administración considere apropiados en el futuro, teniendo en cuenta que cualquier cambio en la conformación de las cuadrillas impactaría la duración de las actividades y dicha información se actualizaría de forma automática al ingresar los nuevos valores en la hoja de cálculo de Excel utilizada para obtener estos datos. A continuación se muestran cuadros resumen con la conformación de cuadrillas y cantidad de personal definidas por actividad tanto de casa de máquinas como del sitio de presa (Cuadros: 2,3,4,5, y 6).

A pesar de que lo que se haya determinado a partir de dichos resultados, es importante que la administración determine de forma más precisa y cercana a la realidad las cuadrillas que realmente son necesarias y los rendimientos (idealmente mucho más cercanos a la realidad del proyecto) que se utilizarán como base. Esto es cierto para la programación también. Si se cambian las cuadrillas y duraciones cambiarán las fechas que en la programación se definen para inicio y fin de cada actividad.

Cuadro 2. Mano de Obra para Estructuras de Concreto de Casa de Máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

Casa de Máquinas Concreto		
Estructura	Personal	Cantidad base por Actividad
Losas de Contrapiso	Peón	4
	Ayudante	3
	Artesano	2
Pilares de Concreto	Peón	1
	Ayudante	1
	Artesano	1
Muros de Concreto	Peón	7
	Ayudante	6
	Artesano	4
Vigas de Concreto/Placas Corridas	Peón	1
	Ayudante	1
	Artesano	1
Obras Masivas de Concreto	Peón	8
	Ayudante	7
	Artesano	5
Muros de Mampostería o Pequeños	Peón	1
	Ayudante	1
	Artesano	1
Losas de Escaleras	Peón	1
	Ayudante	1
	Artesano	1
Cimentaciones	Peón	8
	Ayudante	7
	Artesano	5
Paneles de 50mm	Peón	3
	Ayudante	2
	Artesano	1
Muros para Tapichel	Peón	1
	Ayudante	1
	Artesano	1

Cuadro 3. Mano de Obra para Estructuras de Acero de Casa de Máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

Casa de Máquinas Acero		
Estructura	Personal	Cantidad base por Actividad
Placas de Soporte/Unión	Operario de Soldadura	2
Amazón Estructural de Escalera	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
Barandales de Escaleras	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
Vigas Principales de Acero para Entrepisos (WF)	Operario de Soldadura	4
	Ayudante	4
	Operario Grúa	1
Ménsulas para Entrepiso	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
Cerchas de Acero	Operario de Soldadura	4
	Ayudante	2
	Operario Grúa	1
Barandales	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
Láminas de Acero	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	2
Clavadores	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
	Operario Grúa	1
Elementos "A" de Zona de Control	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
Pilares de Acero	Operario de Soldadura	4
	Ayudante	4
	Operario Grúa	1
Vigas de Amarre	Operario de Soldadura	2
	Ayudante	1
	Operario Grúa	1
Marcos Principales	Operario de Soldadura	5
	Ayudante	4
	Operario Grúa	1

Cuadro 4. Mano de Obra para Estructuras de Paisajismo e Instalaciones de Casa de Máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

Paisajismo e Instalaciones Casa de Máquinas		
Estructura	Personal	Cantidad base por Actividad
Vegetación	Peón	1
Sanitarios	Peón	1
Equipos Eléctricos y de Almacenaje	Técnico	1
	Ayudante	1
Muebles de Oficina	Peón	1
Estructura de Compuertas	Peón	2
	Ayudante	2
Compuertas	Peón	3
	Ayudante	2
Puertas	Peón	1
	Ayudante	1
Ventanas	Peón	1
	Ayudante	1
Cubiertas	Peón	5
	Ayudante	3
Canoas/imposta	Peón	2
	Ayudante	1
Bajantes	Peón	1
	Ayudante	2

Cuadro 5. Mano de Obra para Obras de Concreto Reforzado de Sitio de Presa.

Fuente: Elaboración Propia.

Obras de concreto reforzado (Sitio de presa)				
Sección	Descripción del proceso	Mano de Obra		
		Peón	Ayudante	Artesano
Alcantarilla de desvío				
Obras de Concreto Masivo	Colocación Acero	28	22	18
	Colocación Concreto	25	20	15
Obras de Concreto	Colocación Acero	5	4	4
	Colocación Concreto	6	4	4
	Plinto			
Tramos	Colocación Acero	75	60	35
	Colocación Concreto/tramo	5	4	4
Losas	Colocación Acero	30	15	10
	Colocación Concreto	6	4	3
Losas de Transición	Colocación Acero	4	4	3
	Colocación Concreto	10	8	5

Cuadro 6. Mano de Obra para Zonas de Relleno Reforzado de Sitio de Presa.
Fuente: Elaboración Propia.

Zonas de Relleno (Sitio de Presa)		
Zona	Personal	Cantidad base por Actividad
Zona 2B	Operario Tractor de Oruga (D6)	1
	Operario Vagoneta Articulada	2
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	1
Zona 3B	Operario Tractor de Oruga (D6)	1
	Operario Vagoneta Articulada	2
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	1
Zona 1A	Operario Tractor de Oruga (D6)	2
	Operario Vagoneta Articulada	3
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	2
Zona 3A	Operario Tractor de Oruga (D6)	2
	Operario Vagoneta Articulada	1
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	2
Zona 3C	Operario Tractor de Oruga (D6)	2
	Operario Vagoneta Articulada	1
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	2
Filtros	Operario Tractor de Oruga (D6)	1
	Operario Vagoneta Articulada	1
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	1
	Operario Sapo Brincón	4
Rip-Rap	Vagoneta Articulada	3
	Excavadora Hidráulica PC 300	2
Zona 1B	Operario Tractor de Oruga (D6)	2
	Operario Vagoneta Articulada	3
	Operario Compactador de Rodillo (CAT CS-563, 10 TON)	2

6.3 Detalles de planificación de obra

En la metodología se comentó el proceso para obtener las actividades, sus relaciones, determinación de mano de obra, rendimientos, cuantificación y duración de las actividades. Ya mostrados los detalles de la mano de obra, a continuación se detallan las siguientes tablas resumen con datos, primero de cuantificación y luego de duración para la casa de máquinas y para el sitio de presa (Cuadros 7,8,9,10,11,12,13 y Figura 28). Con respecto a la programación final y las simulaciones constructivas, cerca del final de esta sección se incluyen referencias a los apéndices para una visualización y comprensión más completa de tanto la programación como de los vídeos de las simulaciones constructivas para la casa de máquinas y el sitio de presa.

Cuadro 7. Resumen de Cantidades para Elementos de Sitio de Presa.

Fuente: Elaboración Propia.

Cantidades de Obra (Sitio de Presa)		
Componentes	Unidad	Valor
Volumén de Concreto Plinto	m³	2.229,09
Volumén de Concreto Alcantarilla de Desvío (Embocadura y transición)	m³	11.477,85
Volumén de Concreto Alcantarilla de Desvío (Ducto)	m³	15.555,07
Volumén de Concreto Alcantarilla de Desvío (Cámara Disipadora)	m³	801,94
Volumén de Concreto Losas	m³	2.622,15
Volumén de Concreto Parapetos	m³	592,03
Cantidad de Acero Plinto	kg	244.448,95
Cantidad de Acero Losas	kg	23.184,18
Cantidad de Acero sección de alcantarilla	kg	22.821,82
Cantidad de Acero Cámara Disipadora	kg	25.357,98
Cantidad de Acero Parapetos	kg	58.055,76
Rellenos		
Zona 1A	m³	3.343,12
Zona 1B	m³	32.717,80
Zona 2B	m³	20.654,17
Zona 3A	m³	27.463,70
Zona 3B	m³	425.963,33
Zona 3C	m³	257.128,64
Zona 4	m³	39.305,86
Berma 32		
Total	m³	2.115,95
Berma 42		
Total	m³	3.970,64
Rip Rap		
Total	m³	15.819,13
Dique		
Total	m³	2.979,30

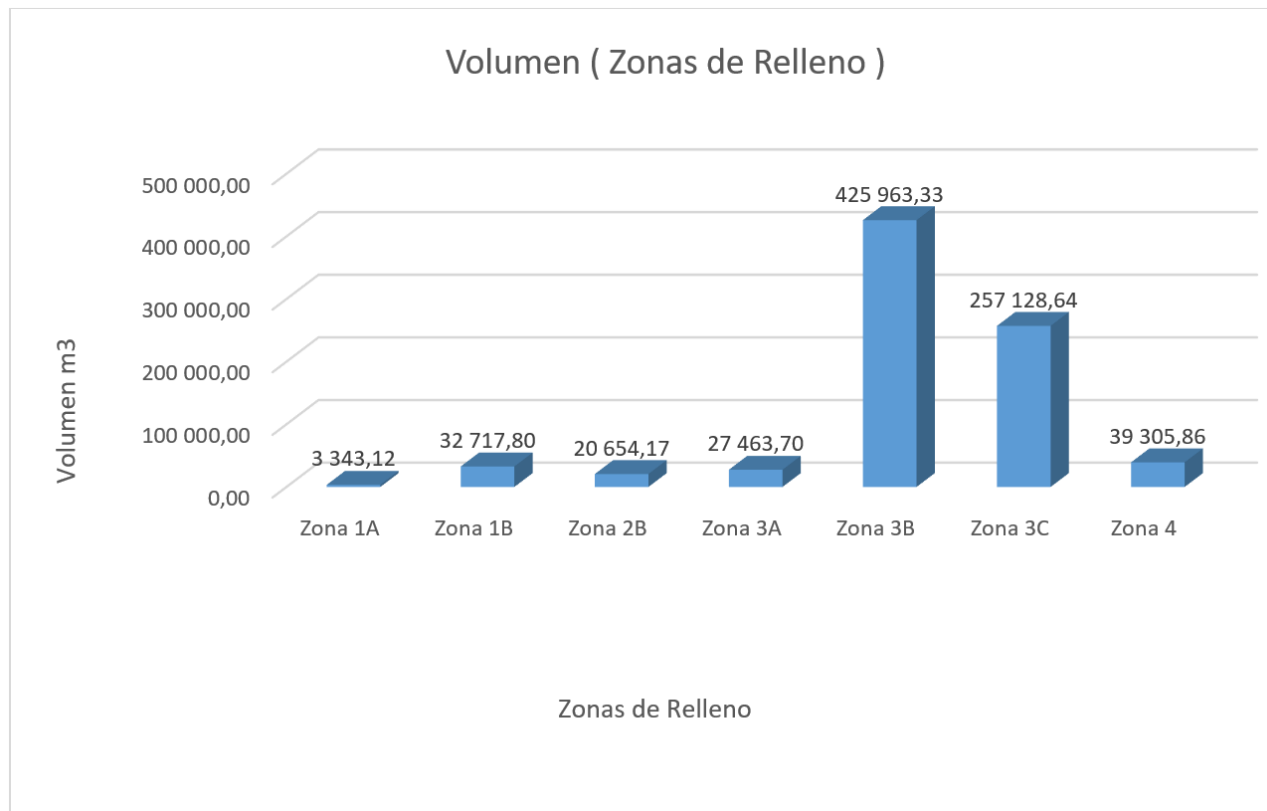


Figura 28. Volumen de Zonas de Relleno.
Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 8. Resumen de Cantidades para Elementos de Casa de Máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen Cuantificación de Casa de Máquinas			
Tipos	Elementos	Totales	Unidad
Columnas de Acero	CA1 WF de 18x40	8,00	un
Columnas de Concreto	Todas las Columnas	121,00	un
		188.19	m³
Fundación	Junta de Casa de Máquinas	155.20	m³
	Losa Tubo de Aspiración Primera Etapa	319.88	m³
	P1 Placa de 2600x1800x400	5.62	m³
	P2 Placa de 3150x2150x600	15.22	m³
	P3 Placa de 1650x1150x200	0.97	m³
	P4 Placa de 3150x1840x600	3.48	m³
	PC1 Placa corrida de 550x200	-	m³
	Pedestal de 1500x	1.05	m³
	Placa corrida de fundación-mampostería	34.99	m³
Muros de Concreto	Muro 400mm	2.55	m³
		1,00	un
	Muro 550mm	9.67	m³
		2,00	un
	Muro 600 mm	56.26	m³
		1,00	un
	Muro 800mm	165.09	m³
		11,00	un
	Muro 1100mm	373.68	m³
		10,00	un
	Muro 1250mm	235.83	m³
		3,00	un
	Muro 150mm	80.52	m³
		115,00	un
	Muro 200mm	4.88	m³
		4,00	un
	Muro editado	30,13	m³
		2,00	un
	Paneles de 50mm	25,29	m³
		5,00	un
	Muro para Tapichel	0.42	m³
		3,00	un
	Pared en Liviano	0.88	m³
		3,00	un

Cuadro 9. Resumen de Cantidades para Elementos de Casa de Máquinas 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Resumen Cuantificación de Casa de			
Tipos	Elementos	Totales	Unidad
Puertas	P1	3	un
	P2	1	un
	P3	1	un
	P4	1	un
	P6	2	un
	P7	1	un
	P8	2	un
	P9	1	un
Ventanas	V1	1	un
	V2	1	un
	V3	3	un
	V4	1	un
	V5	1	un
	V6	1	un
	V7	1	un
	V8	2	un
	V9	2	un
	V10	2	un
	V11	1	un

Cuadro 10. Resumen de Cantidades para Elementos de Casa de Máquinas 3.

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen Cuantificación de Casa de Máquinas			
Tipos	Elementos	Totales	Unidad
Vigas de Acero	Marco principal A	7,00	un
	VA1 WF de 18x40	46.973,00	m
		3,00	un
	VA2WF de 8x13	694.280,00	m
		145,00	un
	VA3WF de 27x84	125.194,00	m
		23,00	un
	VA4WF de 17x28	20.395,00	m
		16,00	un
Vigas de Concreto	VC1 de 1000x300	24.05	m ³
		3,00	un
	VC2 de 400x150	11.30	m ³
		30,00	un
	VC3 de 400x200	1.24	m ³
		3,00	un
	VC4 de 300x150	1.23	m ³
		2,00	un
	VC5 de 600x250	5.33	m ³
		10,00	un
	VC6 de 400x150	0.71	m ³
		3,00	un
	VC6 de 200x150	0.32	m ³
		1,00	un
	VF1 Viga de Fundacion	12.31	m ³
		5,00	un
	VF2 Viga de Fundación	15.37	m ³
		3,00	un

Cuadro 11. Resumen de Cantidades para Elementos de Casa de Máquinas 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Resumen Cuantificación de Casa de Máquinas			
Tipos	Elementos	Totales	Unidad
Varillas Acero de Refuerzo	Varilla para aros #2	313.667,00	un
	Varilla para aros #3	1.302.041,00	un
	Varilla para aros #4	86.687,00	un
	Varilla para aros #5	3.056.655,00	un
	Varilla para aros #6	2.235.705,00	un
	Varilla para Ganchos #6	416.909,00	un
	Varilla para Ganchos #3	60.561,00	un
	Varilla #3	935.941,00	un
	Varilla #4	732.511,00	un
	Varilla #5	22.254,00	un
	Varilla #6	10.679.138,00	un
	Varilla #8	14.626.214,00	un
	Varilla #8 2	28.226,00	un
	Varilla #9	224.671,00	un
	Varilla #10	8.672.876,00	un

Cuadro 12. Resumen de Duraciones para Niveles de Casa de Máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

Nombre de Actividad	Duración
Casa de Máquinas	81,95 días
Obras Preliminares +000	8 días**
Nivel +16750	7,57 días
Nivel +19610	74,94 días
Nivel +20300	6,99 días
Nivel +22300	34,01 días
Nivel +18835	2,65 días
Nivel +25000	21,57 días
Nivel +26700 Piso Acople de Ejes	35,78 días
Nivel +27000	30,18 días
Nivel Fundación Sección Oeste del Piso de Operación	2,49 días
Nivel +29200-CM	33,59 días
Nivel +29850	39 días
Nivel+30000 piso operación	79,93 días
Nivel+33000	9,58 días
Nivel+34500	1,96 días
Nivel Planta Estructural de Techo 1	4,72 días
Nivel+35000 viga puente grúa	8,87 días
Planta Estructural de Techo 2	7,63 días

Cuadro 13. Resumen de Duraciones para Elementos de Sitio de Presa.

Fuente: Elaboración Propia.

Duración de actividades (Sitio de Presa)	
Actividad	Duración (Días)
Acero de la Cara de Concreto	22
Acero del Plinto	71
Acero de los Parapetos	72
Acero de la Alcantarilla de Desvío	128
Colocación de Concreto (Plinto)	31
Colocación de Concreto (Alcantarilla de Desvío)	121
Capas de Relleno	651
Rip Rap	5
Losas de Concreto	88
Dique	2
Otras Actividades	116,17
Total	1307,17

Como se mencionó con respecto a los documentos de programación y de simulaciones, se da acceso a tales resultados por medio de los enlaces mostrados en la sección de apéndices. Para observar las programaciones véase el apéndice de la sección 10.1. Para dirigirse a las tablas de cuantificación de cada obra véase el apéndice de la sección 10.2. Finalmente, para visualizar las simulaciones constructivas véase el apéndice de la sección 10.3.

Al finalizar el desarrollo de la programación de las obras y para comprender de forma detallada tanto la cronología de actividades creadas como las relaciones entre actividades de casa de máquinas y sitio de presa, a continuación se muestra un diagrama que muestra de forma general el orden de construcción de las diferentes obras del proyecto PAACUME y específicamente las que tratan del embalse Río Piedras (Sin incluir el Canal Oeste o la Red de Distribución). Se incluyen obras adicionales al alcance de este proyecto por ser consideradas importantes dentro de la cronología general del embalse Río Piedras. Finalmente, la duración obtenida para la casa de máquinas fue de aproximadamente 81 días y para el sitio de presa de 739 días. A continuación se muestra un diagrama general de la lógica constructiva de las obras del embalse Río Piedras (Figura 29).

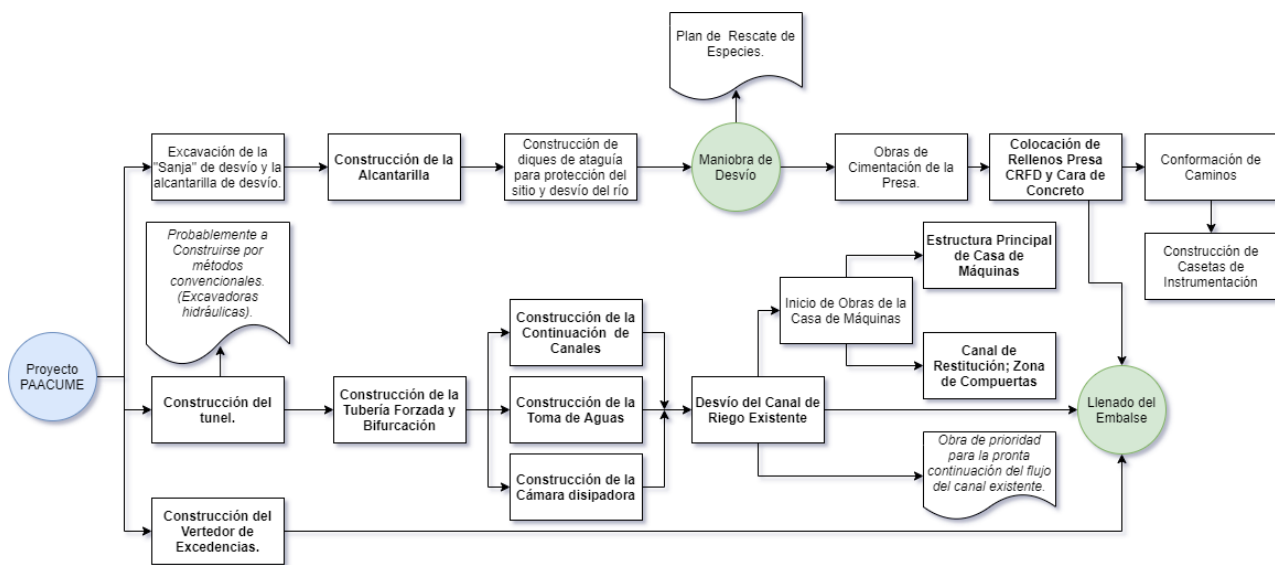


Figura 29. Lógica Constructiva de las Obras del Embalse Río Piedras.

Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto a la utilización de la metodología BIM para definir la planificación de la construcción de las obras tratadas, la definición de la estructura de trabajo y la definición de los escenarios óptimos, existen una serie de puntos que prueban que sí fue factible. Esto desde el punto de vista de la experiencia que se tuvo al implementar la metodología con la metodología. Un verdadero contraste para verificar la efectividad implicaría ejecutar un proyecto con BIM y luego sin BIM, esto sería sumamente complejo y fuera de la realidad de este proyecto. Por esto no se abordó de esta manera. Tareas como definición de actividades y cuantificación (Cuadros 7 a 11) se obtuvieron directamente de los modelos sin tener que recurrir a largos procesos de cálculo y cuantificación o de determinación de las actividades. De la misma forma, la relación entre las actividades estuvo totalmente asistida por la simulación desde un principio. Si bien esta no estaba completa mientras se avanzaba en la relación de las actividades se podía ir validando que estas relaciones fueran adecuadas. No solamente se obtuvo una comprensión visual de alto detalle de las obras, sino que se logró incluir información vital de duración, mano de obra y orden cronológico de las actividades de la obra que le vino a dar vida al modelo. Es importante notar que las facilidades que brindó el uso de la metodología BIM en este proyecto no se limita al alcance de este proyecto. En el resto del proceso de planificación, el de ejecución y el de operación las herramientas siguen teniendo validez. La programación, duración y cuantificación están todas sujetas a cambios y mejoras, así como adiciones de información como avance actual de la obra, costo actual y demás detalles de control a lo largo de la ejecución e incluso modificaciones a los modelos en sí. Se puede determinar que los procesos de la metodología BIM llevados a cabo vencen prácticas tradicionales de trabajo como conteo a mano, uso exclusivo de láminas de planos y especificaciones o trabajo no colaborativo ni interdisciplinario.

Al analizar los resultados obtenidos con respecto a la cuantificación (Cuadros 7 a 11) se puede determinar que los resultados son adecuados. Se pueden justificar las cantidades ya que son indicadores de obras de gran tamaño y complejidad. Igualmente se determinaron cuadrillas base y rendimientos considerados adecuados en el momento y a partir de esto se determinaron lapsos considerados aceptables con casi un año para la casa de máquinas y dos años para el sitio de presa. A pesar de todo, las actividades, relaciones, rendimientos, mano de obra, duración e incluso construcción de modelos tiene un amplio espacio para mejora.

En relación con la simulación de las obras, fue claro desde el comienzo que en el proceso de relación de las actividades representa una herramienta valiosa y eficaz durante el ciclo de vida del proyecto. Permite validar el proceso de programación, además de brindar una comprensión visual y nada compleja de cada estructura. Ligado a la simulación se encuentra la programación y permite mostrar diferentes escenarios

para diferentes programaciones. Por ejemplo, se puede comparar el avance planeado con el actual y notar diferencias con el planeado en el proceso o incluso plantear diferentes escenarios para determinar el ideal.

Continuando bajo la línea de los datos de entrada cargados en los modelos, es pertinente hacer mención a la complejidad de los procesos de obtención de información relacionada con la maquinaria, mano de obra, rendimientos y toda información vinculada a proyectos de este tipo. Ejemplo de esto fue la dificultad presentada para la obtención de rendimientos propios de las actividades de colocado de material RCC y compactación de rellenos de presa. Esto dado que en el país no se encuentran manuales de rendimientos enfocados a obras de este tipo. Únicamente para obras de infraestructura, por lo que dada la escasez de información, la implementación de la metodología de BIM en este tipo de obras se vuelve mas compleja, partiendo del hecho de que actualmente la aplicación de esta metodología en el país ha estado enfocada principalmente a edificaciones y de igual forma la información disponible. Esta realidad trae repercusiones sobre el modelo que se desea desarrollar, dado que el nivel de desarrollo (LOD) va estar influenciado por la clase de obra en análisis, al igual que los tiempos de modelado, dada la excesiva investigación implicada en el proceso de obtención de la información, lo que suponen desafíos que debe afrontar el país para la implementación BIM para cualquier tipo de obra constructiva.

6.4 Descripción de la propuesta para sistema de control

Si bien en el presente proyecto no se contempló un desarrollo completo de los sistemas de control por la complejidad que implica, se consideró necesaria la propuesta aquí expuesta. Esto con el fin de darle a la administración no solo las herramientas ya detalladas, sino un medio para aplicarlas adecuadamente. Todos los productos generados en este proyecto tienen su ubicación dentro de las diferentes estrategias. Además de integrar los productos mencionados, se buscó proponer una integración de diferentes documentos o métodos de comunicación y de control utilizados típicamente como RFI's, Submittals, Órdenes de Cambios y demás.

Se entendió como sistema de control cualquier documento, espacio de almacenamiento o jerarquía creados específicamente para el control y organización de la obra. Esto incluye documentación típica como los ya mencionados Submittals, RFI's (Solicitudes de Información) y cualquier otro formulario o sistema de control que se deseara incluir. La idea es integrar dichos sistemas de control conocidos dentro de un solo ambiente de datos que es actualizado para todos los que tienen acceso y cuyo acceso está limitado a la jerarquía a la que pertenezca el puesto o posición del usuario que acceda al ambiente. De esta forma los jefes o administradores de los diferentes departamentos tendrán acceso a información completa de carpetas, **modelos**, formularios, reportes y demás elementos. Personajes menores tendrán sus accesos limitados a sus respectivas disciplinas o posiciones dentro de la empresa para la que laboren y el puesto que se les asigne. A pesar de que la propuesta es general, el enfoque se dio principalmente en el manejo del tipo de información que se generó para este proyecto. El objetivo principal es proponer potenciales herramientas para el manejo y coordinación de modelos, datos de cuantificación, documentos de las obras, mano de obra y programación.

6.4.1 Estrategia de interacción y comunicación

Para esta sección se propone integrar estrategias de control como el uso de RFI's, registro de incidencias, submittals, protocolos, listas de chequeo y demás. Se irán definiendo las diferentes propuestas ubicadas en el ambiente de datos antes propuesto, cuyo enlace de acceso se encuentra en el apéndice 4 de este documento. Se debe de aclarar que lo expuesto representa una propuesta y no un diseño definitivo de una estructura de organización. Al momento de planificar la obra, la administración deberá definir los sistemas de control, formularios, listas de chequeo, documentación y protocolos varios aterrizados en la realidad tanto de la organización a cargo como del proyecto en general. En la siguiente imagen se puede apreciar la estructura básica de dicho ambiente (Figura 30).

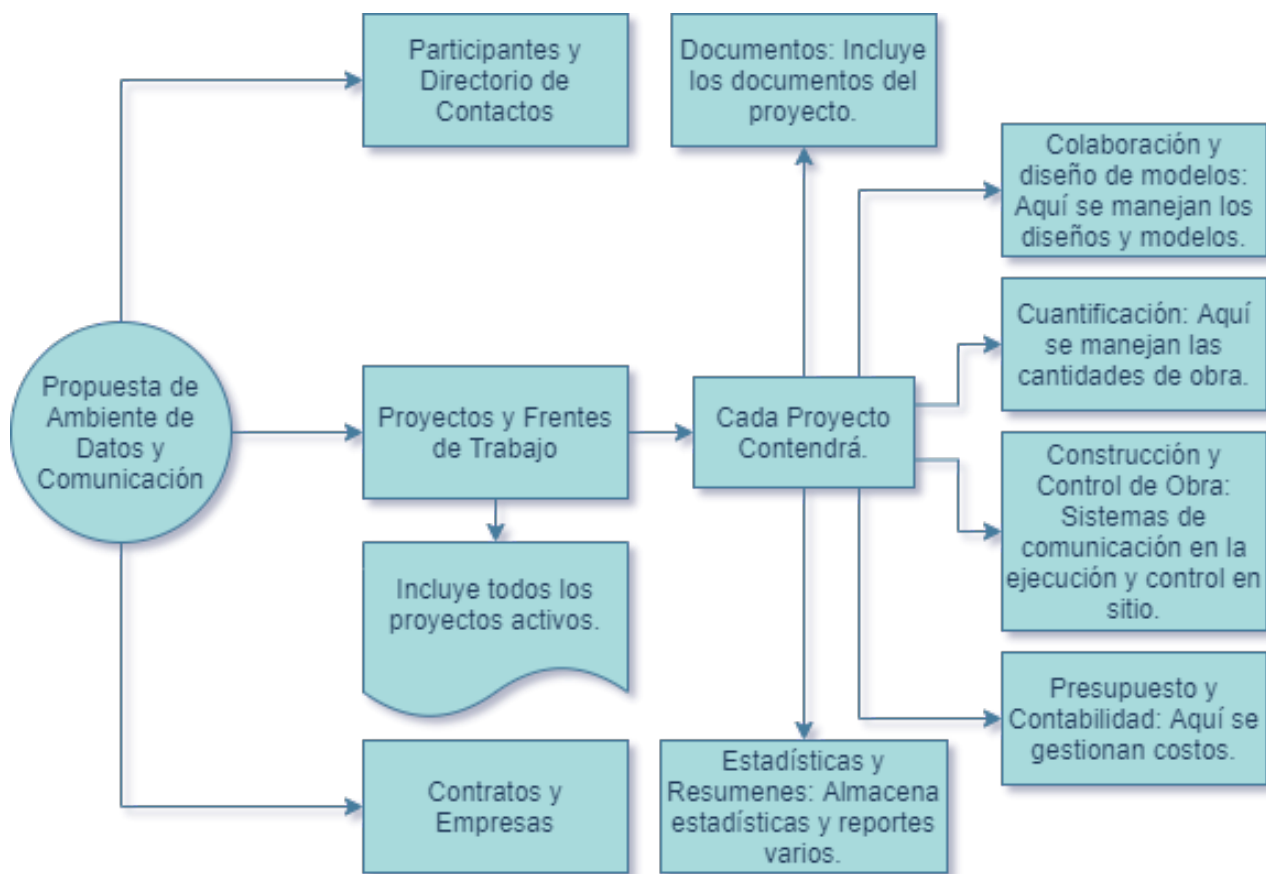


Figura 30. Estructura de Ambiente Común de Datos y Comunicación.

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.2 Pestaña Principal

En primer lugar dentro de este ambiente se encuentra la carpeta de proyectos. Está destinada al almacenaje de la información de cada frente de trabajo principal del proyecto PAACUME. Luego está la sección de participantes y el directorio de contactos, que posee una plantilla con una tabla para adjuntar la información de las partes. La tercera carpeta propuesta es para el manejo de contratos y empresas participantes. La idea es manejar dentro de este espacio información legal, de contratos y un directorio de las empresas participantes con información relevante.

En la plantilla de proyecto se incluyeron carpetas para la planificación y administración de cada proyecto. Inicialmente se tiene una sección de documentos con el fin principal de que toda la documentación del proyecto deberá de manejarse por medio de esta carpeta. Dentro de la dicha carpeta, la administración deberá crear las carpetas necesarias en la jerarquía que desee y añadir los archivos que sean pertinentes.

6.4.3 Colaboración de Diseño y Modelos

Después de la carpeta mencionada en el párrafo anterior, se tiene el espacio de colaboración de "Diseño y Modelos". Dentro de la estructura se encuentra primero la carpeta de coordinación y registro de reuniones donde se mantendrán minutas de reunión así como calendarios con la agenda de reuniones e información de participantes. Adicional a esto es importante el uso de las herramientas de comunicación propias de la

plataforma como Microsoft Teams o Google Meet y Calendar, por ejemplo. La idea es que los encargados del diseño y coordinación de modelos puedan coordinar y registrar de forma ordenada reuniones para cambios en los modelos, solución de problemas y otros motivos que requieran una reunión entre las partes.

Luego de la carpeta de reuniones está la de fuentes de información. Ésta permitirá guardar datos como programación, familias de Revit, plantillas de proyecto y modelos de referencia que se necesiten tener en una ruta definida. Seguidamente se tiene la sección de **modelos**. Esta es quizá la más importante de la sección de colaboración. Dentro de este espacio se guardarán todos los modelos, separados o no por disciplinas. La idea es que los diseñadores y en general cualquier parte a la que se le permita acceso gestione aquí todo lo que implique cambios en los modelos o generación de nuevos. Esto con el objetivo de que el trabajo pueda ser colaborativo y la información esté actualizada para cada miembro. Las versiones de los archivos manejadas en las carpetas serán las mismas que cada parte tenga en su ordenados, sin manejar nada fuera de este espacio para evitar confusión.

Luego de los espacios mencionados vienen secciones de reporte de cambios. De dichos reportes se encuentran tres tipos que son los de cambios, incidencia y reportes de interferencia. Dentro de los reportes de cambios se documentará cada cambio, su solicitud, su solución y las partes involucradas. Los reportes de incidencias documentarán todas las incidencias en el campo o durante la planificación que conciernen a los modelos BIM y su información integrada. Los reportes de interferencia se almacenan en la carpeta del mismo nombre y serán los generados por los mismos programas de Revit o Navisworks. Finalmente la carpeta de vistas incluirá vistas importantes generadas a partir de los modelos así como planos, y renders.

6.4.4 Cuantificación

Dentro de esta sección se encuentra primero la carpeta de archivos de cuantificación donde se almacenará toda la información pertinente para la cuantificación, tablas generales de conteo, reportes y demás. Seguido de esto se encuentra una sección para adjuntar láminas de planos necesarias. Finalmente, está la carpeta de paquetes o tablas por elemento. Estas últimas suponen contener las tablas de cuantificación específicas de cada elemento o tipo según se quieran clasificar los diferentes conteos.

6.4.5 Construcción y Control de Obra

Dentro de esta se incluyen una gran cantidad de carpetas para distintos usos. Estas se mencionan y detallan a continuación.

- **Activos y Recursos:** En esta sección se pretende llevar un registro de los activos, recurso humano y materiales con los que cuenta la organización para cada proyecto. Toda la gestión de activos y reportes que correspondan tendrían que trabajarse en este espacio.
- **Archivos de Construcción:** Es la carpeta para almacenamiento de archivos general. Todos los archivos que no caigan dentro de una categoría específica como RFI o submittal se almacenará en este espacio. Dichos documentos pueden ser procedimientos de inspección, códigos, manuales, documentos de ingeniería y cualquiera que se considere adecuado para conservar en este espacio.
- **Coordinación y Registro de Reuniones:** Tiene el mismo objetivo que el espacio del mismo nombre para coordinación de modelos. Pretende mantener registro de las reuniones y además supone su uso en conjunto con herramientas de comunicación como Microsoft Teams o Google Meet.
- **Formularios Varios:** Además de los formularios de RFI, submittal, órdenes de cambio y demás, es necesario generar formularios para objetivos más específicos del proyecto y la empresa. La administración decidirá la información y el destino que le asignará a dichos formularios. En esta sección se incluyeron como base diversos formularios para diferentes objetivos. Estos son plantillas de: **minuta de proyecto, entrada a bodega, salida de bodega (requisición), control de inventario en bodega, para aplicación de ingeniería de valor, orden de cambios y orden de pedido**. Estas plantillas se incluyen en este espacio como formularios nuevos, pero se les deberá dar la ubicación ideal para su uso.

- **Fotos:** En este espacio se adjuntarán todas las fotos tomadas diariamente en el sitio. Idealmente personajes como el inspector de obra tendrán sus propias carpetas definidas en este espacio en donde las imágenes se incluirán diariamente. Es recomendable que las imágenes sean cargadas en este espacio ya con información de fecha, hora, y ubicación, idealmente incluida en la misma imagen.
- **Incidencias:** Deberá de generarse un formulario de reportes de incidencias. La información incluida se definirá por la administración. Es importante que tenga información básica temporal, del tipo de incidencia, descripción de lo ocurrido, implicaciones, involucrados y responsables.
- **Planos Constructivos:** En esta carpeta se incluirán todas las láminas de planos necesarias para asistir en la construcción. Detalles, notas, indicaciones y similares deben ser incluidos en este espacio. La idea siempre es manejar la comprensión de los procesos constructivos con los modelos para evitar errores de interpretación, pero siempre se considera valioso tener a mano detalles de planos en el sitio.
- **Reportes de Incidencias:** Dentro de este espacio estarán igualmente las incidencias, pero en forma de reporte. Se generarán reportes por semana, mes o de los días que se requiera. Básicamente incluirá información resumen de incidencias ocurridas en el proyecto.
- **Reportes Diarios:** Inspectores e ingenieros en campo tendrán que reportar el trabajo de cada día por medio de informes diarios. El objetivo de esta carpeta es darle espacio y orden a dichos informes. Preferiblemente se crearán carpetas por usuario y por mes para actualizar la información día a día.
- **RFIs (Solicitudes de Información):** Dentro de esta carpeta se almacenan las solicitudes de información. Contiene una plantilla para generar RFIs que representa una propuesta a la cual se le harán los cambios ajustados a la realidad del proyecto. Los documentos se deberán de guardar según el usuario, indicando título y fecha en el nombre del archivo.
- **Submittals:** En esta última carpeta se almacenarán los submittals. De la misma forma que para las RFIs, incluye una plantilla de creación de submittals que representa una propuesta la cual podrá ser modificada según la realidad del proyecto. La idea es mantener un registro ordenado y cronológico de estos documentos para un adecuado control.

6.4.6 Presupuesto y Contabilidad

A pesar de que el alcance de este proyecto no llega al tema de costos de las obras, se decidió incluir el espacio para un eventual desarrollo a profundidad. Aquí se incluirán los ingresos y costos del proyecto así como su gestión. Incluye una carpeta de archivos como en las secciones anteriores. También contiene por separado los gastos y los ingresos, debido a la complejidad individual de cada uno. Dentro de estos espacios se incluirán presupuestos y fuentes de ingreso o gasto por materiales, mano de obra, maquinaria o demás implicaciones. Incluye también una sección para órdenes de cambio, ya que estas impactan directamente el presupuesto. Como en otras secciones incluye una sección de reportes en caso de que se quiera documentar el seguimiento de la información.

6.4.7 Estadísticas y Resúmenes

De la misma forma que los archivos, aquí se podrán almacenar gráficos generados o tablas de estadística de productividad, empresas participando, miembros activos, incidencias recurrentes y demás estadísticas o resúmenes que se deseen mantener ordenados y adecuadamente almacenados.

6.4.8 Estrategia de de resolución de conflictos

Son muchas las falencias que se pueden presentar durante la construcción de una determinada obra. Por lo que, en aras de lograr un manejo óptimo de estas debilidades mediante las herramientas desarrolladas,

se presentan parte de los desafíos y buenas prácticas BIM. Los cuales fueron encontrados en las guías de la Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK® 5ta edición). Se tiene la tabla de los desafíos más comunes que se deben de afrontar en el área constructiva, los cuales se distribuyen en áreas como, el costo, tiempo, calidad y alcance (Cuadro 14). Con la misma distribución, se presenta la tabla de propuesta de soluciones BIM, vinculadas con la utilidad de las estrategias y los modelos desarrollados (Cuadro 15).

Cuadro 14. Desafíos encontrados.

Fuente: Elaboración Propia.

Área	Desafíos Encontrados
Alcance	• Ausencia de Matriz de Responsabilidades • Carencia de mano de obra capacitada. • Falta de planes de ejecución respectivos para cada fase constructiva • Desinterés por la mejora continua.
Costo	• Ausencia de una estimación realista, dado a la carencia de bases de datos adecuadas de cálculo. • Gestión de Riesgos deficiente, o muchas veces ausente en las etapas del proyecto. • Falta de lineamientos específicos para la estandarización de la gestión de compras.
Tiempo	• Falta de consideración de las posibles contingencias, implicadas en las etapas del proyecto. • Falta de sincronía entre las actividades. • Ausencia de rigurosidad en los plazos de entrega. • Coordinación deficiente entre las áreas de ingeniería, compras y construcción. • Mala gestión en la obtención de permisos.
Calidad	• Percepción de la calidad como un costo y no como utilidad para el contratista. • Implementación más desde un punto vista de control y cumplimiento, que de anticipación a eventos. • Malas prácticas arraigadas en el sector. • Aplicación de la calidad únicamente al control de obra. • Ausencia de concientización.

Cuadro 15. Soluciones.
Fuente: Elaboración Propia.

Área	Solución (Prácticas BIM)
Alcance	• Implementación de un plan de mejora. • Capacitación de mano de obra, en herramientas BIM de trabajo colaborativo e interdisciplinario. (Software BIM, Revit, Navisworks, etc.) • Seguimiento minucioso de los lineamientos presentes en planes de ejecución, derivados de la planificación de obra presente en Navisworks. • Desarrollo e implementación de herramientas de análisis (Aprendizaje continuo del uso de los modelos).
Costo	• Monitoreo de avance de obra, simulación constructiva. (Modelo Navisworks). • Determinación de cantidades de obra (Modelo de Revit y Navisworks). • Determinación de pronóstico de costos desarrollado en Navisworks. • Modelo compartido • Realización periódica de actualización modelos. • Detección de interferencias. • Actualización de presupuesto en función de cambios en los modelos.
Tiempo	• Plan de Gestión de Cronograma (Navisworks) • Diagramas de red entre las actividades basados en los modelos. • Monitoreo de avance de obra, simulación constructiva. (Modelo Navisworks). • Modelos tridimensionales compartidos. • Ejecución de actualizaciones periódicas.
Calidad	• Listas de verificación (Estrategias de Comunicación) • Validación de cambios y entregables. (Estrategias de Comunicación) • Monitoreo de desempeño. (Navisworks) • Actualización instantánea de la información. (Estrategias de Comunicación) • Entrega periódica de informes de calidad.

6.4.9 Estrategia para el control del flujo de trabajo

Como el control de obra es uno de los campos de acción más amplio de la cuarta dimensión BIM y, al mismo tiempo constituye un espacio de implementación de diferentes herramientas digitales para el manejo de información, en este apartado se establece la propuesta de flujo de trabajo sincronizado y colaborativo entre las herramientas computacionales. Para esto se tomó como referencia en gran parte el esquema de trabajo abordado en el desarrollo de la práctica. El flujo de trabajo propuesto fundamenta su marco de acción en dos mecanismos de gran importancia: el ambiente común de trabajo, el cual independientemente de su naturaleza (la plataforma de BIM360, One Drive, o cualquier otro espacio), deberá cumplir con los requisitos mínimos que demanda un ambiente común de trabajo, en cuanto a la gestión de modelos, documentación, trabajo colaborativo y sincronización. El otro mecanismo de acción que se propone es un departamento BIM, el cual fiscalice el cumplimiento de todos los estándares establecidos y a su vez cree y gestione los modelos, los protocolos y su aplicación.

Una vez definido los pilares fundamentales de la propuesta de flujo de trabajo, se procede a exponer la relación entre estos dos mecanismos. Según La Escuela de Diseño de Madrid (2018), es recomendable crear una estructura a partir de la documentación existente que gire alrededor de los modelos y la información que

se introduce en ellos. Por la necesidad antes planteada, se definió el departamento BIM como una estructura de trabajo que tiene como objeto, organizar las demás competencias dentro del proyecto para que estas se ajusten a las prácticas de la metodología BIM, como el trabajo colaborativo y la integración de modelos de información. En este punto donde el ambiente común de trabajo entra en juego, dado que es en este espacio, donde existe un mayor tránsito de información y, por lo tanto, debe operar bajo los lineamientos propios de la metodología. Según (Escuela de Diseño de Madrid, 2018), dicho departamento BIM deberá de incluir cuatro partes principales que se describen en los siguientes apartados.

Un Departamento técnico que asegure el funcionamiento de todas las herramientas digitales y en línea que se estén utilizando y sea capaz de resolver cualquier conflicto relacionado con las herramientas mencionadas. De la misma forma, un departamento de Coordinación BIM que velará por el cumplimiento de todos los protocolos de creación de modelos, vinculación entre los diferentes modelos, interferencias, coordinación entre disciplinas y se encargará de soluciones en general con respecto a la gestión y la coordinación de modelos.

Relacionado al coordinador BIM estará el magistrado o cuestor, quien se encargará, bajo las directrices del coordinador, asegurar el orden de la información y garantizar la veracidad y coherencia de la información. También deberá de existir un departamento de modelaje que se encargue de trabajar directamente con los diseñadores para asegurar el correcto desarrollo de los modelos de las obras con el nivel de desarrollo definido. A continuación se muestra un gráfico donde se aprecia la estructura del flujo de trabajo (Figura 31), sus funciones y competencias de los integrantes y un gráfico de la estructura del departamento BIM (Figura 32).

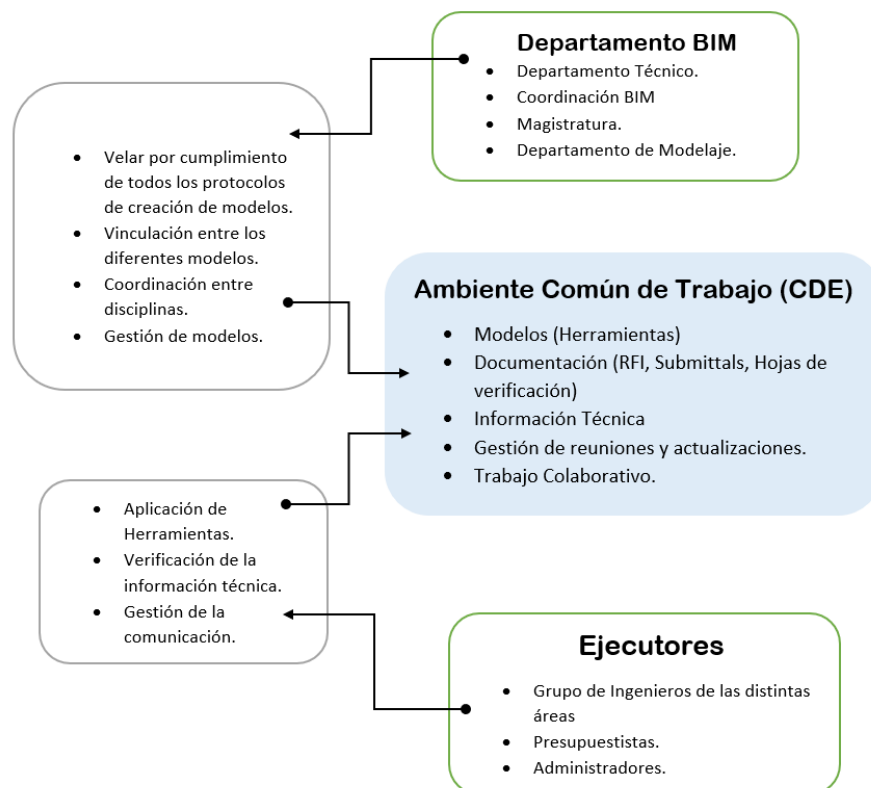


Figura 31. Diagrama del Flujo de Trabajo
Fuente: Elaboración Propia.

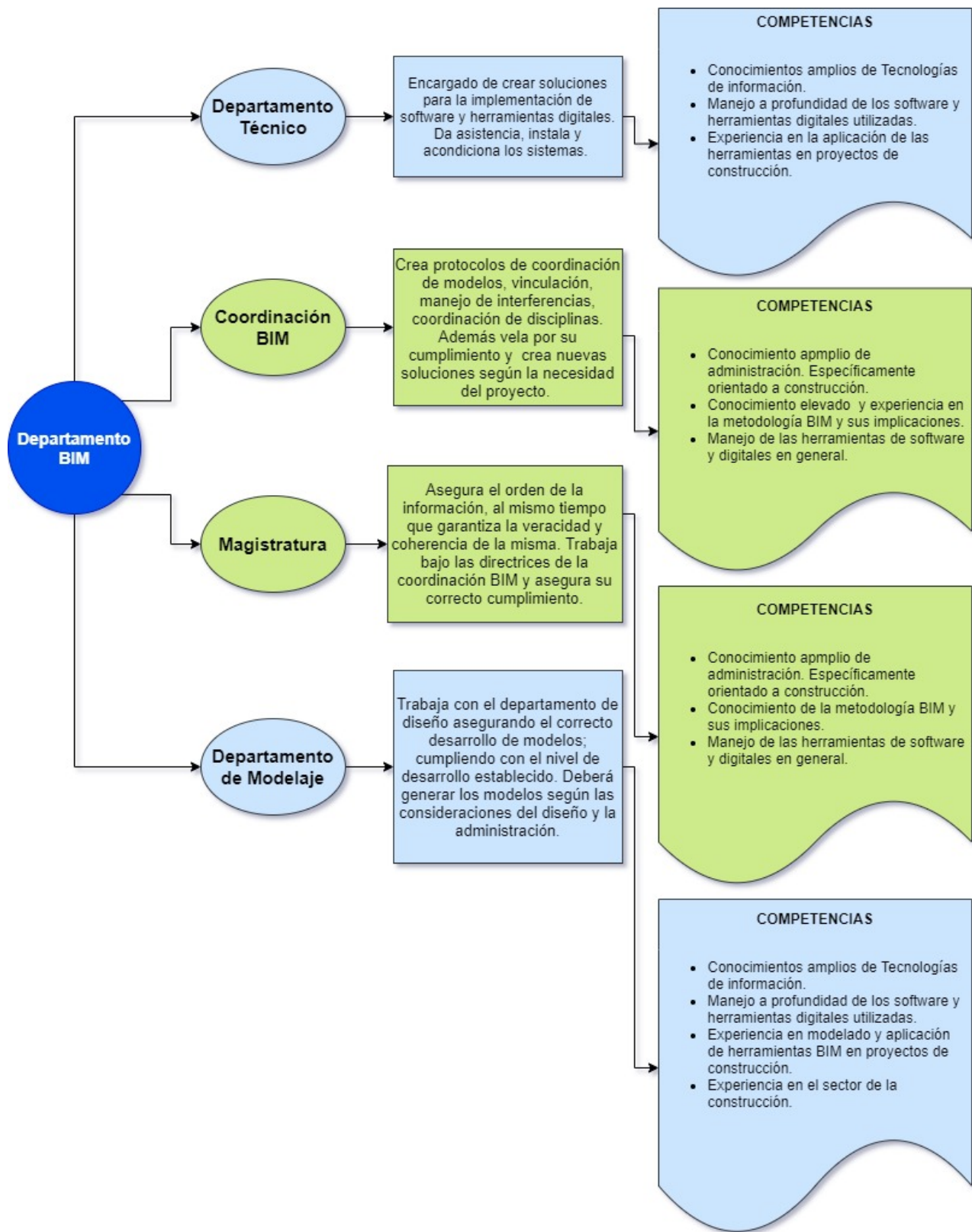


Figura 32. Estructura del departamento BIM.

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.10 Propuesta de estructura organizativa (Ambiente Común de Trabajo)

Si bien el ambiente propuesto cumple con los requisitos básicos de coordinación y trabajo colaborativo que propone la metodología BIM no es un ambiente realmente completo. Para esto diversas empresas han generado plataformas automatizadas de almacenamiento en la nube diseñadas específicamente para la implementación de BIM en los proyectos de construcción. Una de dichas herramientas y la que se propone a continuación es BIM 360. BIM 360 propone un espacio de almacenamiento en la nube orientado a la construcción que además de brindar herramientas administrativas para la empresa busca integrar las herramientas que en la metodología se utilizan y que fueron utilizadas en este proyecto. Se busca, coherente con la línea de este trabajo, utilizar una plataforma común de almacenamiento en la nube que posea los medios para la correcta aplicación y gestión de las herramientas. Se exponen las principales secciones de la plataforma BIM 360 que conciernen a los productos obtenidos durante este proyecto. Temas de costos, análisis de estadística y áreas fuera del alcance de este proyecto deberán ser exploradas en investigaciones de la metodología BIM que traten estas áreas. Además de esto se omiten temas de navegación a través de la plataforma, y configuración ya que el manejo de la misma tampoco forma parte del alcance. A pesar de esto algunas secciones de administración se detallan por ser consideradas valiosas. Este módulo principal de BIM 360 nos permite configurar y administrar información general. Dentro de las libertades que el módulo de BIM 360 incluye se tienen las siguientes:

- **Proyecto:** En esta primera pestaña se encuentra el directorio de proyectos. Se observan la lista de proyectos activos como podrían ser la casa de máquinas, el vertedor de excedencias, la presa o la descarga de fondo y algunas características como cantidad de miembros y de empresas involucradas. Permite crear proyectos nuevos, asignándoles un nombre, tipo de construcción (camino de acceso, por ejemplo), valor del proyecto, tipo de contrato, fechas de inicio y fin, número de proyecto, unidad de negocio, ubicación exacta, zona horaria e idiomas. Con fines ilustrativos el directorio de proyectos se puede observar a continuación (Figura 33).

Directorio de proyectos				
En el Directorio de proyectos, se muestran todos los proyectos de la cuenta.				
Añadir Buscar por nombre de proyecto				
4 Actual Proyectos Ver archivado				
Nombre	Miembros	Empresas	Estado proyecto	Último inic. ses.
My Project	1	1	Activo	
Proyecto PAACUME Casa de Maquinas	0	1	Inactivo	
Proyecto PAACUME Sitio de Presa	0	1	Inactivo	
Sample Project	1	1	Activo	

Figura 33. Directorio de Proyectos.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Miembros:** La pestaña de miembros contiene el directorio con todos los miembros relacionados con la cuenta, incluye también los de proyectos. Incluye incluso miembros sin permisos o proyectos asignados que en algún momento se hayan ingresado en la plataforma por alguna razón. Adicionalmente, cada sección específica en el proyecto tendrá su sección de miembros correspondiente a la sección, ya sea diseño o coordinación de modelos, control en sitio u otros.

- **Empresas:** En la pestaña de empresas se listan todas las empresas socias. Incluye tanto las activas como aquellas pertenecientes a proyectos viejos o que se desean mantener en el directorio. Cada una incluye información del nombre de la empresa, tipo, dirección, descripción, sitio web, identificación fiscal y demás.
- **Funciones:** En esta sección se pueden definir las funciones de la cuenta y de los diferentes miembros. Según el puesto o tipo de miembro se le dará función de administrador o miembro. Los cambios realizados en esta pestaña no cambian los permisos definidos para los usuarios dentro de cada proyecto. A continuación se muestran imágenes de la sección de asignación de funciones y el flujo de trabajo típico para BIM 360. Esta sección es muy importante ya que permite regular las secciones y documentos a los que tienen acceso las diferentes partes que trabajen en el proyecto. Con fines ilustrativos el flujo de trabajo para BIM 360 se puede observar a continuación (Figura 34).

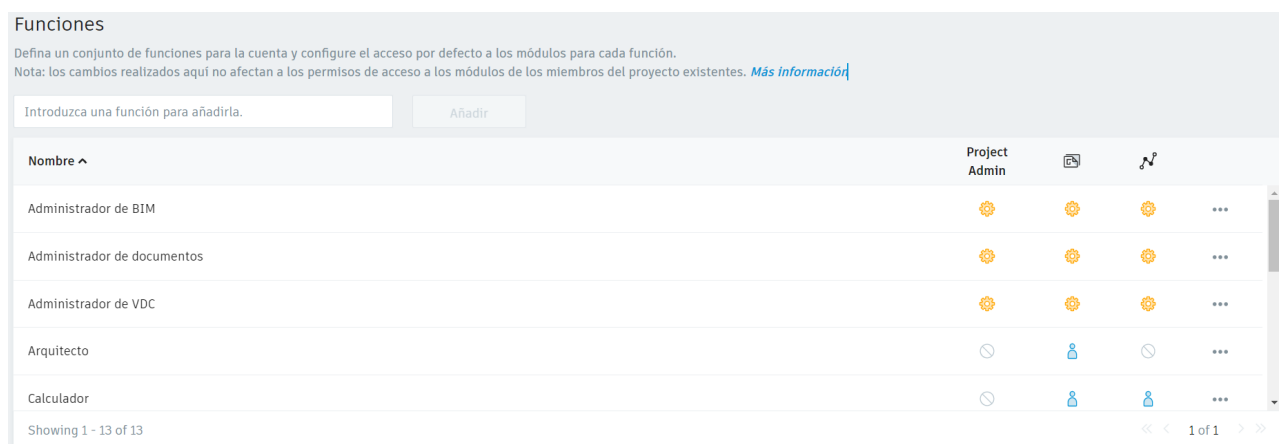


Figura 34. Flujo de Trabajo.

Fuente: BIM 360, 2021.

- **Aplicaciones:** Existen cientos de aplicaciones compatibles con BIM 360. Aunque no se detallarán por no exceder el alcance, estas son un complemento de la plataforma y aunque Autodesk no define sus funciones específicas pueden ser varias y de diversas utilidades.

6.4.11 BIM 360 Proyecto

Dentro de cada proyecto registrado, BIM 360 ofrece una serie de herramientas para la planificación, diseño, ejecución, control de obras, entre otros. Dichas herramientas se listan a continuación y se detallan sus diferentes secciones y funciones respectivas.

6.4.12 BIM 360 Docs

- **Files:** Dentro de este espacio se almacenan todos los archivos de diferentes tipos pertenecientes al proyecto. Esto incluye planos, **modelos**, documentación legal, **programaciones**, **cuantificación** y demás documentos de diferentes formatos que se requieran. Además, permite crear carpetas para grupos de archivos específicos.

- **Revisiones:** En este espacio se pueden crear y almacenar solicitudes de revisión hechas por miembros del proyecto a documentos que sean incluidos aquí. Dentro de estas se seleccionan los archivos de la sección de mismo nombre que deben revisarse y el detalle. Además se selecciona un flujo de trabajo, del cual hay una breve descripción. El flujo de trabajo representará el protocolo de revisión, posible corrección y aprobación de diferentes procesos. A continuación se muestra una imagen que ejemplifica el proceso de creación de revisiones (Figura 35).

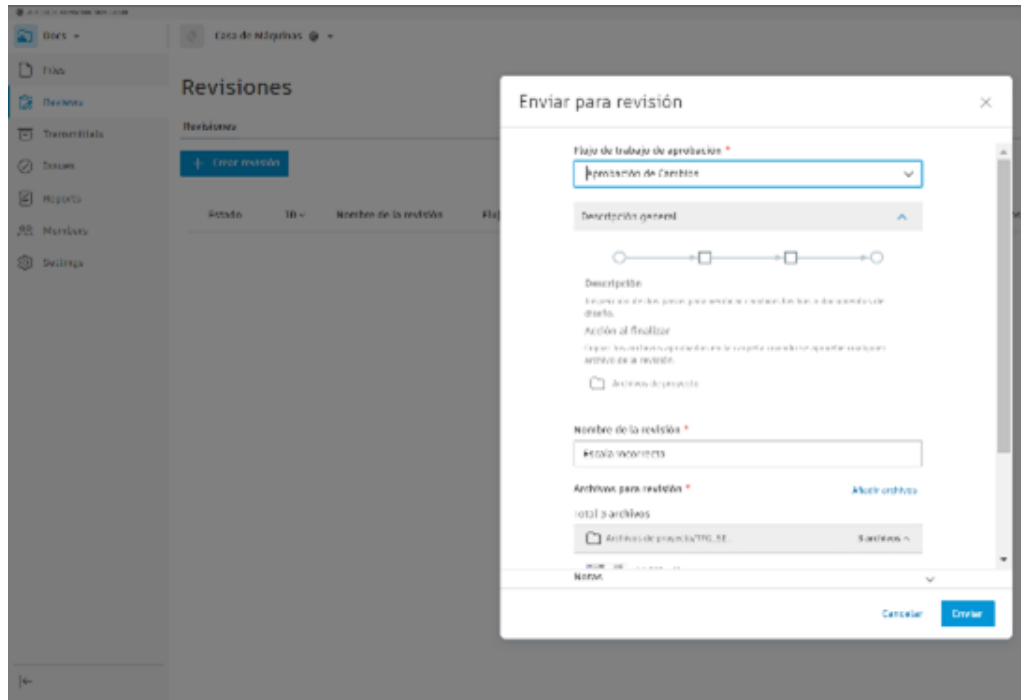


Figura 35. Creación de revisiones.

Fuente: BIM 360, 2021.

- **Informes de Transmisión:** Permite comunicar información relacionada con documentos de la sección de "Files". Se debe de indicar el destinatario, mensaje a enviar y documentos adjuntos. En la siguiente imagen se puede observar la creación de informes de transmisión (Figura 36).

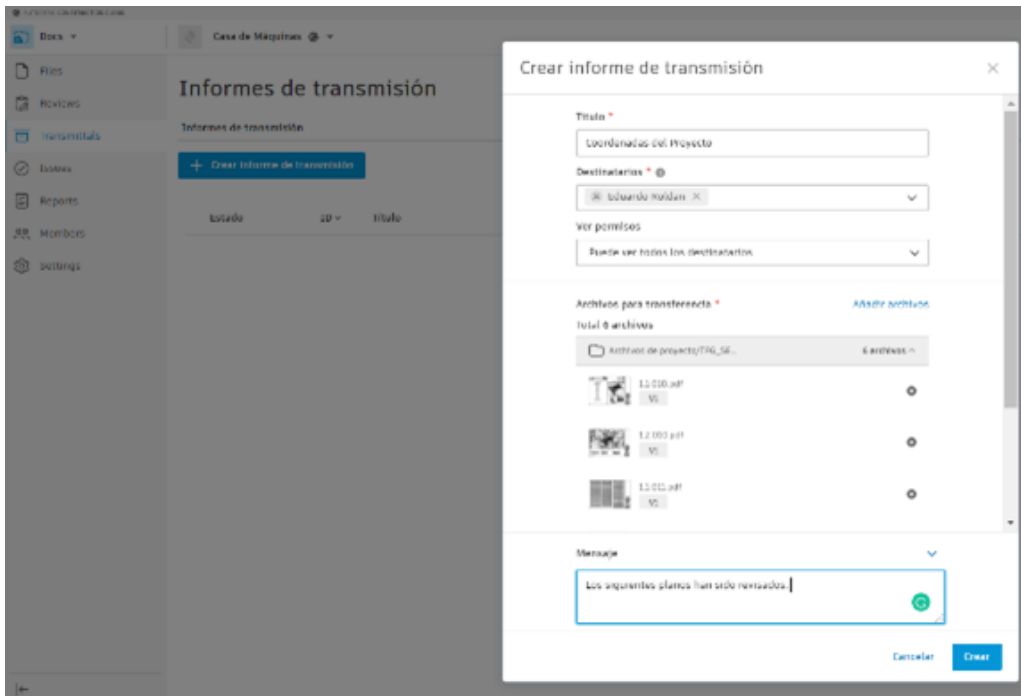


Figura 36. Creación de informes de transmisión.

Fuente: BIM 360, 2021.

- **Incidencias:** En caso de ocurrir cualquier tipo de incidencia, ya sea en obra o en la oficina de diseño, se puede reportar por este medio. Permite indicar las personas a cargo de resolver, incluir detalles de la incidencia y añadir documentos de respaldo como fotos y archivos ya cargados.
- **Reporte de Incidencias:** Dentro de esta pestaña se pueden generar reportes automáticos a partir de la información añadida en la sección de incidencias. Se puede solicitar un informe de detalle para una incidencia individual o se puede generar un reporte con ciertos parámetros de fecha y tipo para un conjunto de incidencias. Los reportes se almacenan en formato pdf. A continuación se muestra como se pueden crear reportes de incidencias (Figura 37).

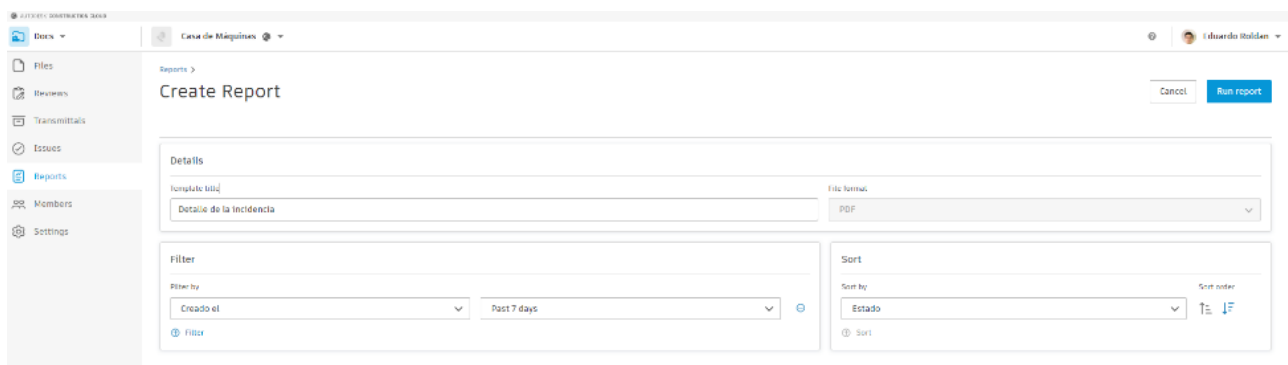


Figura 37. Creación de Reportes de Incidencia.

Fuente: BIM 360, 2021.

6.4.13 BIM 360 Coordinación de Modelos

Con la meta de reducir las rectificaciones, mejorar la productividad y agilizar el intercambio de datos de diseño, la plataforma BIM 360 ofrece, para cada uno de los proyectos abordados, una sección enfocada en el trabajo colaborativo de diseño. Esta trae múltiples ventajas reflejadas en campos como la productividad. Esto dado que los equipos de trabajo pueden trabajar en el mismo modelo. Esto permite eliminar los tiempos de carga, sincronización, transferencia y espera de archivos de gran tamaño. Otra de las ventajas se encuentra en la disminución de retrasos, ya que posibilita una rápida actualización de las nuevas especificaciones de diseño realizadas en el proyecto. También permite obtener una mayor eficacia en el cumplimiento de plazos, por medio de la coordinación rastreable registrada de la actividad de los equipos de trabajo.

- **Modelos:** En esta sección se muestran los modelos cargados dentro del proyecto con los que BIM 360 es compatible. Además, permite la visualización de ciertos formatos. Los modelos son cargados desde la sección de documentos. Aquí es donde se pueden acceder, gestionar y visualizar.
- **Interferencias:** Al trabajar con varios modelos y disciplinas se pueden generar choques entre los elementos tridimensionales que afecten especificaciones y cuantificación de materiales. Este es el caso en temas como sistemas electromecánicos que choquen con estructuras por las que no deberían. Programas como Revit o Navisworks pueden ejecutar análisis de interferencias y estos análisis se pueden acceder en esta ventana. A continuación se muestra la sección para control de interferencias (Figura 38).

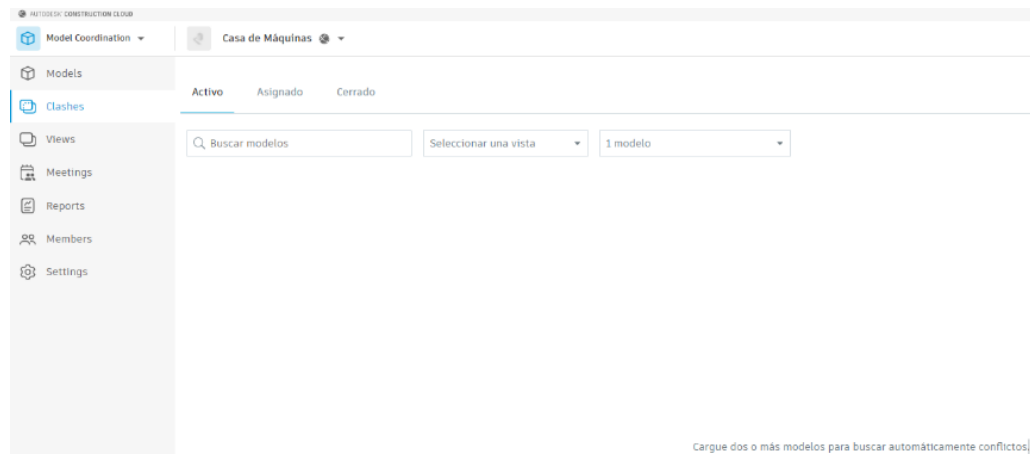


Figura 38. Control de Interferencias.

Fuente: BIM 360, 2021.

- **Vistas:** Permite visualizar las vistas creadas para los modelos cargados.
- **Reuniones:** Permite agendar reuniones entre las diferentes partes. Envía notificación a los participantes y permite crear enlaces para vídeo conferencias. Esto resulta particularmente importante cuando se requiera resolver conflictos e incluso desde la coordinación del diseño. En la siguiente imagen se muestra el espacio para creación de reuniones (Figura 39).

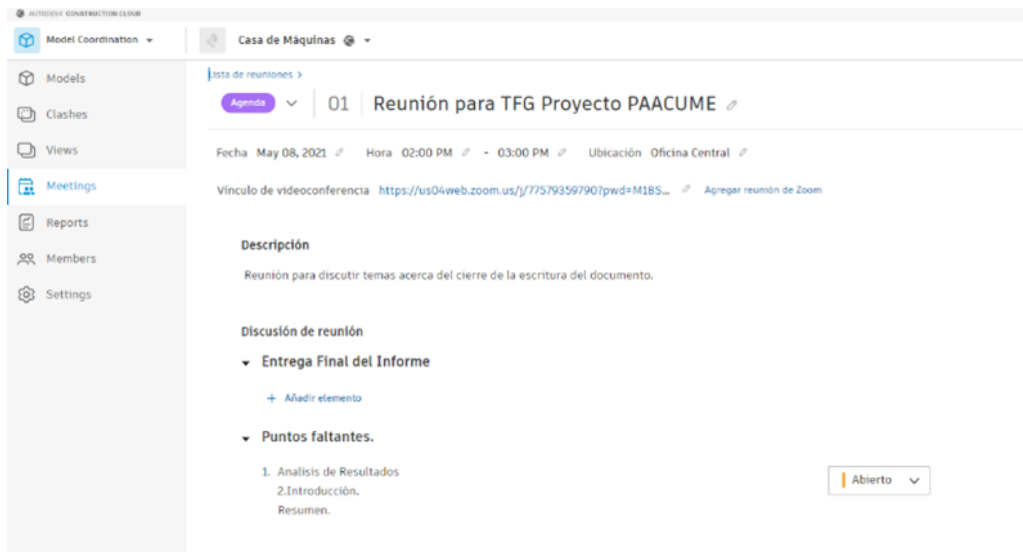


Figura 39. Creación de reuniones.
Fuente: BIM 360, 2021.

6.4.14 BIM 360 Construcción

- **“Home”:** Permite visualizar un resumen del progreso del proyecto y agregar hitos, acceso rápido a láminas y miembros y estado del tiempo en el sitio. También, la actividad reciente en el proyecto, el estatus del trabajo y de la participación de los miembros en la plataforma. En la siguiente imagen se muestra el panel principal de la sección de construcción (Figura 40).

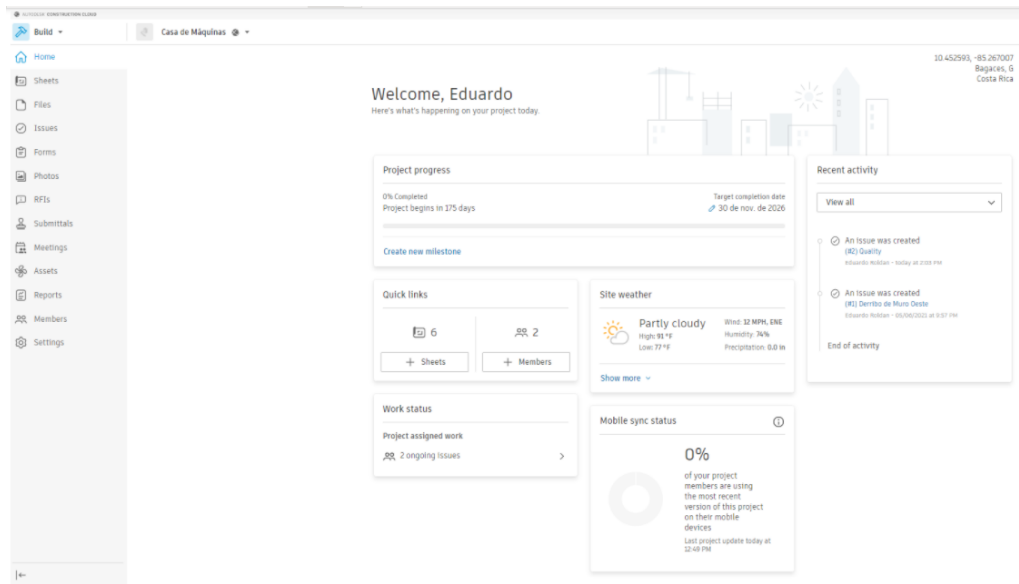


Figura 40. Control de avance.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Planos:** Dentro de este espacio se pueden agregar planos del proyecto y asignarles etiqueta de número y grupo según lo requerido. Las láminas se suben en formato pdf. A continuación se muestra una imagen del espacio para visualización de planos (Figura 41).

Planos

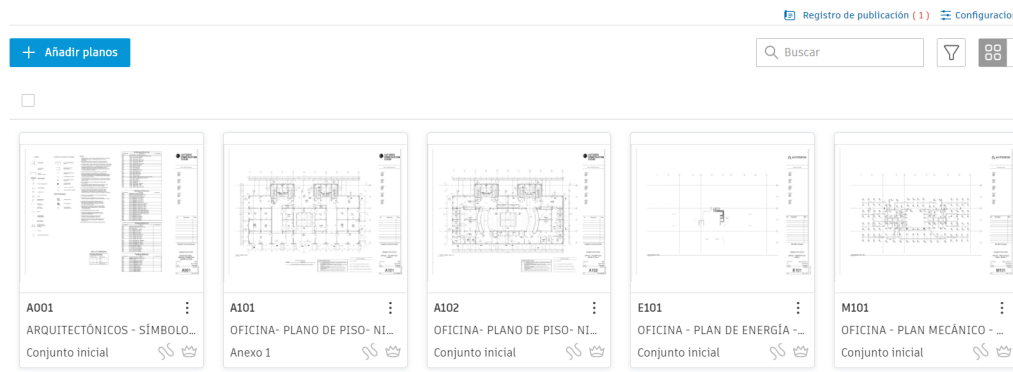


Figura 41. Visualización de planos.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Archivos:** Permite acceder los archivos cargados en la sección de "Docs". Se presentan los archivos clasificados como archivos para el campo. En la imagen a continuación se puede ver el espacio para visualización de archivos (Figura 42).

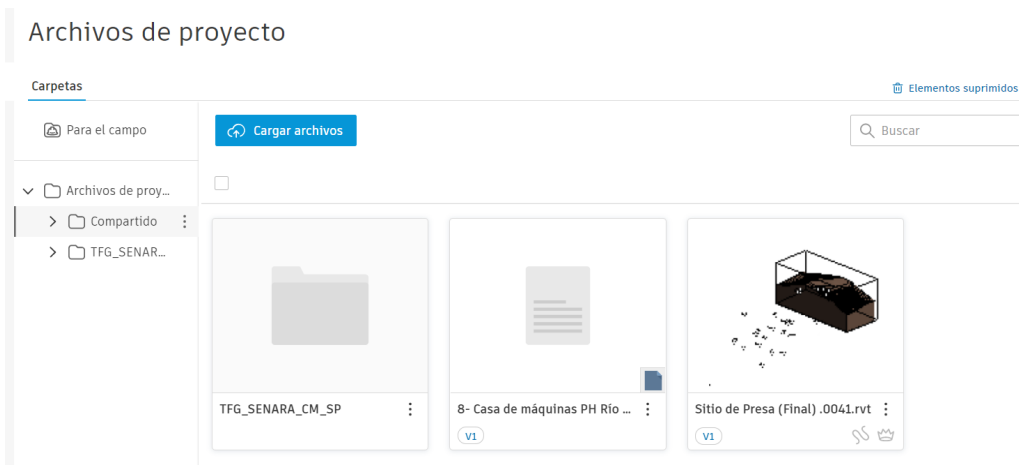


Figura 42. Visualización de archivos.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Interferencias:** En la sección de construcción se puede acceder de la misma forma a las incidencias y se pueden añadir otras.
- **Formularios:** Permite crear formularios de incidentes, reportes diarios, reportes de riesgos y demás formularios necesarios para el control de obra. Se crea una plantilla con el nombre del formulario y la información que deberá registrarse en este, como maquinaria, trabajos realizados, horas trabajadas y demás. Las aplicaciones son amplias y dependen de las necesidades específicas del proyecto. A continuación se muestra la sección para la creación de nuevos formularios (Figura 43).

Employee Observation / PPE		Substantive	Action Required	Not Applicable	Not Inspected
Hard Hats					
Eye / Face Protection					
Ear Protection					

First Aid / Sanitation		Substantive	Action Required	Not Applicable	Not Inspected
Kits / Supplies					
Sanitation / Hand Washing					
Clean Cool Water / Shade					

Figura 43. Creación de Formularios.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Fotos:** Igual que en la sección de documentos, se pueden adjuntar imágenes relacionadas al proyecto, con la ventaja del fácil acceso desde la herramienta de Construcción.
- **RFIs:** Permite crear solicitudes de información, incluyendo información básica del detalle de la solicitud, encargados y el flujo de trabajo encargado de su procesamiento. Además, aclarar el impacto en el

coste, impacto en la planificación, prioridad, disciplina, categoría, ID externo y lista de distribución. En la imagen a continuación se demuestra como se crea un RFI en la plataforma (Figura 44).

Figura 44. Creación de Formularios.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Submittals:** Permite crear submittals a partir de un formulario predeterminado. Incluye la sección de las especificaciones a la que pertenece, permitiendo crear secciones nuevas, la subsección, título, descripción, paquete y crear nuevos (tipo, contratista responsable, fecha de vencimiento, prioridad, archivos adjuntos, fecha necesaria, fecha de aprobación necesaria, fecha en el sitio de trabajo y tiempo de adelanto).
- **Reuniones:** Permite agendar reuniones entre las diferentes partes. Envía notificación a los participantes y permite crear enlaces para vídeo-conferencias.
- **Activos:** A partir de una plantilla de Excel que proporciona Autodesk se pueden listar los activos pertenecientes al proyecto y clasificarlos según su tipo y uso para manejarlos dentro de esta pestaña. A continuación se muestra la visualización de activos dentro de la plataforma (Figura 45).

Activos

todas las categorías

► Mecánico

► Zapatillas

+ Crear activo

Exportar todo

Buscar...

Ajustes

Nombre	Categoría	Estado	Descripción	Localización
AHU-998		Pruebas de rendimien	Performance Climate C...	
AHU-997		Aceptación	Climatizador de rendimi...	
VAV-996	... > Bomba de agua prim...	Instalado	Montado en la base	
VAV-995	... > Bomba de agua prim...	Pruebas de rendimien	Montado en la base	
AHU-999		Instalado	Climatizador de rendimi...	

Figura 45. Visualización de activos.
Fuente: BIM 360, 2021.

- **Reportes:** Igualmente permite crear reportes a partir de las incidencias ya adjuntas. Además, posee acceso a las pestañas de miembros y configuración.

6.4.15 BIM 360 Cantidades de Obra

Con la finalidad de desarrollar una cuantificación basada en los parámetros técnicos propios del proyecto, la presente sección ofrece una serie de apartados para gestionar tanto las características del modelo tridimensional como la obtención de detalles presentes en los planos de la obra. En el primer apartado denominado “casa” se ofrece la posibilidad de definir los sistemas de clasificación y medida del proyecto en configuración. De la misma forma, permite al usuario cargar archivos 2D Y 3D en planos y modelos para utilizarlos durante las mediciones. El apartado también ofrece la opción de crear paquetes de mediciones para organizar los ámbitos del trabajo.

En el apartado de paquetes son múltiples las opciones a desarrollar sobre cada uno de los paquetes creado. Entre estas destacan la posibilidad de realizar ediciones, suprimir el paquete creado, brindar información acerca de las actualizaciones, así como el responsable y la última actualización ejecutada. De la misma forma proporciona la facilidad de exportar todos los paquetes.

Seguidamente en el apartado de hojas y modelo (Figura 46), la plataforma BIM 360 le permite al administrador apreciar todos los modelos y planos asociados a la obra en análisis. También brinda información acerca de las etiquetas ligadas a cada uno de los archivos, fechas de emisión, conjunto de versiones, y la posibilidad de publicar el registro a todos los asociados.

Cargar modelos		Buscar	
Modelo		Última actualización	Última actualización realizada por
Sitio de Presa (Final) .rvt (3D)	V1	8 de mayo. de 2021 17:07:38	Eduardo Roldan

Figura 46. Archivos 2D Y 3D.
Fuente: BIM 360, 2021.

En el apartado de archivos, la plataforma brinda la alternativa de llevar un control eficiente sobre los archivos en dos y tres dimensiones. Todos estos ubicados dentro de la línea de jerarquía de organización que el administrador establece. Las acciones que se pueden desarrollar sobre cada uno de estos archivos son diversas. Entre las más relevantes se encuentran la posibilidad de compartir, descargar archivos de origen, exportar registro de archivos entre otras. En la siguiente imagen se muestra la interfaz y la totalidad de todas las opciones de operación de las acciones mencionadas anteriormente (Figura 47).

Archivos

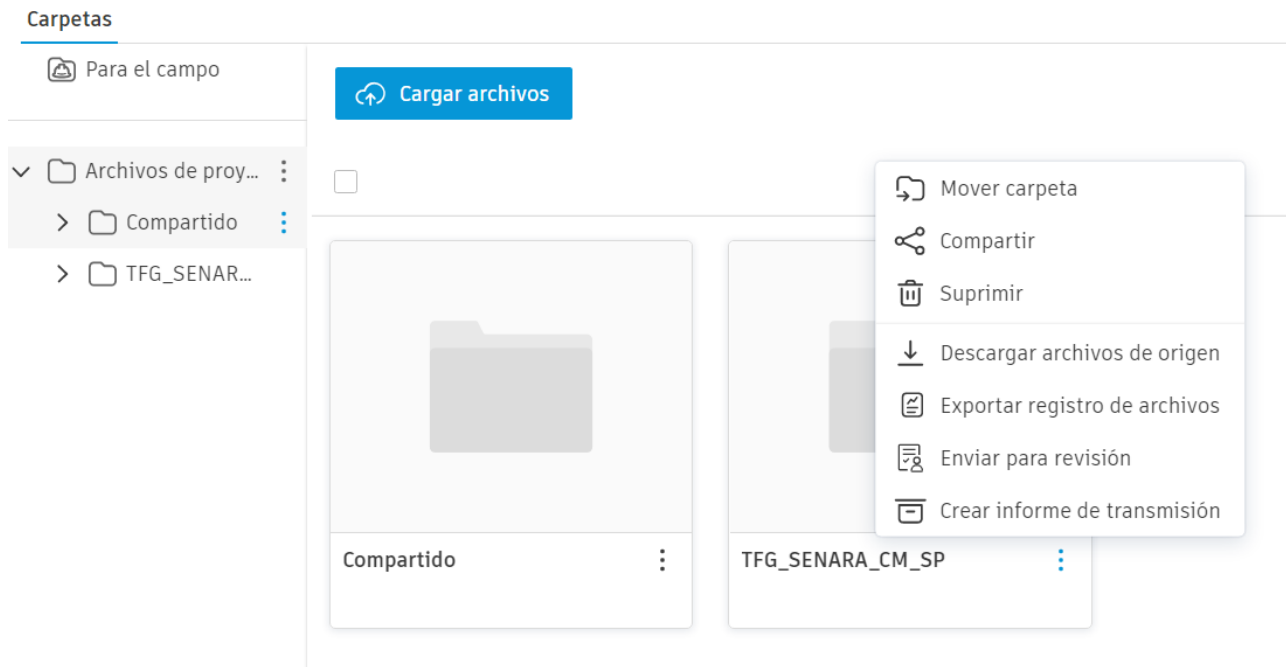


Figura 47. Interfaz de archivos.
Fuente: BIM 360, 2021.

Finalmente, al igual que las otras secciones, se establece la alternativa de realizar un manejo sobre los miembros y ajustes del proyecto en análisis. Las opciones de operación de cada uno de estos apartados ya fueron mencionadas en la sección anterior.

Como estos procesos pueden convertirse en retos significativos en las etapas iniciales, por lo que más allá de cambios a nivel de condiciones, conocimientos adquiridos, herramientas físicas o digitales, también suponen una transformación a nivel de pensamiento. Esto obedece a que en el sector de la construcción, aun es alta la cantidad de profesionales que tienen arraigadas prácticas tradicionales de control y manejos de la información en obra.

También es necesario tomar en cuenta que la aplicación de cambios en el sector de la construcción supone muchas veces una alta inversión en recursos, pero es necesario replantearse en un nivel global, las consecuencias que se pueden desprender de no aprovechar los beneficios de aplicarlos. Dicho esto se recomienda que todos los profesionales en contacto con las herramientas expuestas en este proyecto, sea Revit, Navisworks, MsProject o la plataforma BIM 360 estén debidamente capacitados en un nivel mínimo que les permita cumplir adecuadamente sus funciones. No solamente deberán de tener un conocimiento básico del manejo de las herramientas, sino que se considera importante capacitar al personal en su utilización según la metodología BIM. El apego a los lineamientos de la metodología y que eventualmente dictará el departamento BIM es esencial. Se debe notar que a lo largo de la ejecución del proyecto se utilizaron programas compatibles entre ellos y es recomendable continuar con esta línea hasta los ambientes de trabajo. Si bien se propuso tanto un ambiente común “sencillo” como uno más desarrollado y especializado para la construcción, la ventaja de este segundo es esta compatibilidad y especialización. Ambos cumplen el objetivo de facilitar la aplicación de las herramientas. La plataforma automatizada y especializada en la construcción presenta ventajas considerables. En primer lugar, al ser una plataforma de los mismos desarrolladores del software

existe total compatibilidad entre las herramientas. En segundo lugar, el hecho de que esté automatizada implica que los procesos de comunicación, registro y reporte ya están definidos y no requieren ser programados o definidos por el usuario.

Además, la especialización de la plataforma en la construcción supone herramientas exclusivas para esta aplicación; los ambientes más sencillos sí requieren que todo sea definido por el usuario pues están diseñados para usos más generales. A pesar de esto no se busca declarar que la mejor plataforma es BIM 360, sino más bien indicar que la mejor opción y la que mejor se adaptaría a la estructura de trabajo de la dirección técnica de PAACUME, es una herramienta ya desarrollada alrededor de la gestión de proyectos de construcción y con diversos parámetros y métodos de comunicación definidos. Aunque no forma parte del alcance de este proyecto, se hace la observación debido a que existe una amplia variedad de productos de este tipo en el mercado que también cumplen con estas características.

Se plantean una serie de puntos a tratar para sí darle uso a las herramientas descritas y como las lecciones aprendidas resultan útiles en otras herramientas que se pretendan generar a futuro para las demás obras del proyecto PAACUME. Primeramente es importante tener buenas prácticas al construir los modelos. Esto implica definir niveles correctamente, definir elementos nuevos con parámetros adecuados y demás procesos propios del software utilizado. Además de la construcción del modelo se deben de utilizar parámetros de rendimiento, mano de obra, para la programación lo más precisos posible. Se debe de capacitar adecuadamente en el manejo del software y la metodología BIM al equipo de profesionales que trabajará en el proyecto. Igual se deberá de cumplir al pie de la letra lo establecido por el departamento BIM una vez puesto en marcha el plan de ejecución. Finalmente se deben de utilizar herramientas compatibles entre sí que permita una adecuada integración de los modelos y una sencilla implementación de los mismos dentro del ambiente común de trabajo que se haya considerado apropiado utilizar. La efectividad de este ambiente común de trabajo dependerá del desarrollo del mismo, de sus protocolos de uso y de el compromiso del equipo a seguir los lineamientos del departamento BIM. De modo que se sigan las recomendaciones planteadas, cualquier trabajo enfocado a otras obras de PAACUME o a la modificación de los productos aquí generados producirá cada vez mejores y más acertados resultados, al mismo tiempo que se aprovechará el potencial completo de la metodología BIM. Además el profesional que desee aplicar lo descrito en este proyecto en herramientas generadas a futuro respecto a otras obras deberá buscar aprovechar aún más las herramientas aquí descritas. Lo anterior porque se considera que tanto el potencial de los software como el de la metodología BIM son considerablemente extensos. Además se considera que se puede mejorar la implementación de los mismos, en las herramientas que no se utilizaron o que se pueden usar mejor.

7 Conclusiones

1. En lo que respecta a la fase de modelado tridimensional, el hecho de contar con información organizada sistemáticamente es de gran relevancia para el proceso de modelado, debido a que se reduce significativamente el tiempo implicado en esta etapa, al volver más prácticos los procesos de selección de la información.
2. No solamente se logra crear modelos tridimensionales que permiten la sencilla comprensión visual, sino que se obtiene una herramienta con información integrada que responde ante adiciones o modificaciones en los productos de planificación y demás áreas del ciclo de vida del proyecto.
3. Se establece que modificaciones tanto en el modelo como en información que en el se carga, se ven reflejados en todas las herramientas expuestas. Así, si se modifica elementos del modelo, la cuantificación y duración será diferente, de la misma forma en que los cambios en la programación general afectan los procesos de simulación de las obras.
4. Uno de los factores que influye directamente en la implementación de un nivel de desarrollo determinado, es la disponibilidad de información que se tenga alrededor de la obra modelar, dado que este se ve afectado, si la información disponible no gráfica cargada en el modelo es muy escasa.
5. Tener buenas prácticas en la construcción de modelos contribuye de forma positiva a la utilización de las herramientas descritas. Se deben de continuar correctamente los procesos de modelado. A su vez es ideal que para obtener mejores resultados los valores de mano de obra y especialmente rendimientos, deben de provenir de fuentes confiables y certeras.
6. Las herramientas generadas durante este proyecto son sensibles a la modificación tanto de los elementos del modelo tridimensional, como alteraciones en las fuentes de información que se integran en él.
7. La capacitación en el manejo del software utilizado es esencial para la correcta implementación de la metodología BIM en la organización. Adicional a esto es ideal que los profesionales a cargo de diferentes tareas de planificación y de ejecución de las obras aquí tratadas se guíen por los lineamientos que dicta el departamento BIM en este aspecto.
8. Se logró determinar que los datos obtenidos para cantidad de mano de obra y cuantificación por medio de la metodología son adecuados y sujetas a la magnitud de las obras tratadas, aunque están sujetos a modificaciones igual que las demás partes. Se determinaron duraciones para las obras con valores considerados adecuados; al igual que en otros puntos se incentiva la utilización de diferentes valores de mano de obra y rendimientos para obtener resultados más precisos.
9. También se logró determinar que la utilización de procesos basados en la metodología BIM vencen la implementación de prácticas más tradicionales de trabajo, facilitando tareas de contabilización e incluso comprensión detallada de las obras a construir y su lógica constructiva.

10. El tiempo necesario en la obtención de los rendimientos, mano de obra, equipos, entre otros datos técnicos de las obras abordadas, fue mucho más amplio, comparado con el tiempo que se requiere comúnmente en la obtención de información referente a obras de edificaciones.
11. La utilización de la metodología BIM representa una propuesta valiosa para la eficiente definición de la planificación de la construcción de obras de infraestructura hidráulica, definición de la estructura de trabajo y la definición de los escenarios óptimos. Esto se logra determinar a partir de la experiencia que se tuvo al implementar la metodología y comparando sus ventajas con lo que implicaría la aplicación de métodos más tradicionales (como conteo a mano de materiales). Lo anterior ya que como se mencionó antes el comparar dos proyectos; uno con BIM y otro sin BIM(control) resulta irreal y fuera del alcance del presente trabajo. Permite obtener resultados directos y sin procesos largos, así como asistir en la mejora de otros procesos como la relación entre actividades. Adicional a esto la utilización de la metodología implica una mayor cantidad de esfuerzo temprano en el proyecto (Por temas de modelado, capacitación, adopción de protocolos y en general implementación de la metodología.) cuando los ajustes o problemas impactan menos el presupuesto y tiempo. En caso contrario (métodos tradicionales) la mayor cantidad de esfuerzo se daría durante la construcción o ejecución cuando el impacto de los cambios es más perjudicial para el tiempo de ejecución y el presupuesto.
12. Una correcta adaptación de la estructura de trabajo utilizando las herramientas aquí descritas será fácilmente adaptable a la estructura de trabajo actual en la medida en que se utilicen herramientas de modelado, planificación y control totalmente compatibles entre ellas, siguiendo buenas prácticas y haciendo uso de una plataforma de almacenaje en la nube idealmente especializada en el sector de la construcción. Dependerá de el nivel de detalle que poseen los modelos y la capacidad de los profesionales a cargo en aprovechar al máximo la información contenida en los modelos.
13. Integrar las herramientas en un ambiente común de trabajo permite coordinación de diseño, cambios y mejoras de modo que se den varios procesos de revisión.
14. Se plantea que siguiendo los lineamientos planteados, la revisión o modificación de los productos generados o la creación de nuevas herramientas se producirán modelos que incluyan todos los elementos que en ellos se desee incluir (LOD establecido). Lo anterior permitiendo que actividades como cuantificación, planificación, y determinación de recursos se den de forma menos tediosa para los usuarios, más ordenada y; según la exactitud de las herramientas generadas, más precisa. Lo anterior quiere decir que al tener modelos bien contruidos y a partir de ellos obtener cantidades, desarrollar la programación o demás trabajos, se puede reducir el error humano. Esto comparado con cuantificar, o programar a mano utilizando únicamente láminas de planos. De la misma forma se establece que todavía existe por descubrir, tanto en el software como en la metodología BIM el potencial completo de su utilización. Futuras aplicaciones o modificaciones a los productos generados en este proyecto vendrían a optimizar los resultados y así aprovechar mejor los beneficios potenciales de la metodología.
15. La introducción de la metodología BIM es una práctica disruptiva.Dado que es un cambio sustancial en la forma de trabajo, por lo que supone más un reto cultural que un asunto tecnológico.

8 Recomendaciones

1. Para la introducción de la metodología BIM dentro de la Dirección Técnica de PAACUME, se recomienda realizar un estudio minucioso de los recursos que ostenta la entidad, en cuanto a las condiciones de tecnología, de recurso humano, o las facilidades en cuanto a espacio y voluntad por parte de sus miembros con las que se cuenta. Esto con el fin de determinar el nivel de alcance de la metodología para que esta se pueda implementar de manera óptima.
2. Para que los procesos de obtención de información técnica referente a planos constructivos, isométricos y informes, sean más eficientes y propicios a una futura implementación BIM, se le brinda la recomendación a la Dirección Técnica de PAACUME de introducir un nivel alto de sistematización, control de eficiencia, y protocolos a la organización de la información que esta posee y que se generará durante las obras.
3. En caso de que la Dirección Técnica de PAACUME opte por implementar la metodología en estudio, se deberá contratar personas competentes en la materia, que ostenten conocimientos derivados de la experiencia en otros proyectos que hayan implementado exitosamente la metodología BIM y cuenten con alto conocimiento de las herramientas de tecnología y administración necesarias. La otra posibilidad es capacitar intensamente al personal involucrado en las áreas que conciernen a cada uno.
4. Dado el enfoque del sistema de control propuesto, el cual tuvo por objeto brindar herramientas para control durante la ejecución de la obra, se le hace la recomendación Dirección Técnica de PAACUME de orientar esfuerzo en el desarrollo de estrategias ligadas a la gestión documental y el manejo de imprevistos. Esto además de siempre velar por el trabajo colaborativo y el adecuado control de la obra y el registro de los documentos. Aplicando sanciones por no seguir el protocolo de trabajo de ser necesario.
5. Durante el proceso de elaboración de modelos se recomienda ser minucioso y ordenado al crear elementos dentro de los modelos. Se recomienda definir muy bien los niveles, de modo que se logre agrupar la obra de la mejor forma en altura (por nivel). Además de los niveles, es importante que todos los elementos nuevos que se creen estén bien definidos según su tipo, propiedades y asociación al respectivo nivel. Este último punto permitiendo que los muros, losas y demás se agrupen en su respectivo nivel al exportar el modelo a Navisworks. Estos tipos pueden ser de cimentación, relleno estructural, armazón estructural o cualquiera que se deba definir; lo importante es que los elementos no estén definidos como genéricos.
6. Al ingresar información externa, sea de rendimientos, maquinaria, recursos definidos, costos u otros, se debe de asegurar que estos datos sean lo más apegados a la realidad del proyecto que sea posible. En caso de tener disponible registros reales de aún más proyectos que tengan una alta similitud con las obras aquí tratadas. Es ideal que incluso se apliquen herramientas estadísticas para determinar rendimientos a partir de una amplia cantidad de registros. En el caso de la maquinaria y mano de obra la elaboración de una adecuada y detallada propuesta técnica es esencial para tener certeza del equipo y recurso humano que se están tomando en cuenta para los rendimientos y eventual construcción de la obra. Esto afinaría labores eventuales como el tema de costos de construcción.
7. Para lograr la adecuada integración de todas las herramientas propuestas, se recomienda la inversión en un ambiente común de trabajo automatizado y especializado en la metodología BIM en el sector de la construcción. Esto utilizando lo propuesto en este documento o cualquier producto que la administración considere adecuado. A pesar de que el investigar a fondo diferentes opciones de estos espacios no fue parte del alcance de este trabajo, se sabe que existen una gran cantidad de opciones en el mercado. Sin este medio de comunicación y organización, las herramientas expuestas no tienen forma de ser aplicadas y utilizadas por los profesionales responsables de las diferentes áreas del proyecto.

8. Se recomienda dar un desarrollo a los temas de movimiento de tierras e incluso de gestión de materiales y recursos en el sitio con la metodología BIM. Esto generando modelos federados e incorporando información como la expuesta en este proyecto. Esto debido a que tal aspecto está fuera del alcance del proyecto y para lograr una eventual integración exitosa de todas las partes que integran el proyecto PAACUME.
9. Con el fin de que la inversión que se realice en capacitación en el uso y adquisición de las herramientas y ambiente de trabajo es de suma importancia que se le preste especial atención al desarrollo a profundidad del departamento BIM y al acatamiento del protocolo por parte de los miembros participantes del proyecto. Si bien se propone una estructura organizativa básica de coordinación, magistratura y técnica, es necesario definir la estructura interna de cada uno en detalle y definir los profesionales a cargo de las tareas de este departamento. Como se mencionó, estos profesionales deben ser capacitados y experimentados en la metodología BIM y sus herramientas. Esto sin mencionar que cada uno debe estar absolutamente comprometido con la metodología para que se pueda llevar a cabo el proyecto eficientemente.

9 Referencias

- Bonilla R., Castillo E., Corrales K., (2002). *Análisis de opciones para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción
- EcuRed contributors, (2013). *Autodesk Revit(Editor Ecured)*. Enciclopedia Cubana.
- Equipo BIMnD España, (2021). *Plan de Ejecución BIM (BEP) y cómo funciona*. Nuestra Experiencia.
- DGOP (2017). *Metodologías y Tecnologías para una Construcción Colaborativa*. Dirección General de Obras Públicas del Gobierno de Chile,
- Escuela de Diseño de Madrid, (2018). *Estructura de un proyecto BIM*. Consejería De Economía Empleo Y Hacienda.<https://xn-master-diseo-khb.com/estructura-de-un-proyecto-bim/>
- Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización BIM Forum Chile, (2017). *Guía Inicial para Implementar BIM en las Organizaciones*. Corporación de Desarrollo Tecnológico. Cámara Chilena de la Construcción.
- Jiménez M., Gazel I., Barrantes G., Vindas A., Cortés J., Fallas F., Salazar H., Hernández Diego, Benavidez L., Gonzales A., Segura J., Torres J., Sandino C., Rodríguez A., Quiel M., Arce S., Alfaro M., Zumbado F., y Roper N., (2018). *Informe de Diseño Planos y Especificaciones*. Centro de servicio de diseño, estudios básicos y de exploración subterránea.
- MacLeamy P., (2004). *Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, construction and operation*, *Construction Users Roundtable*. MSA Integrated Project Delivery.
- MIDEPLAN, (2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Navarro Brenes K., (2010). *Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís*. (Licenciatura en Ingeniería en Construcción). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Project Management Institute, (2008). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Quinta Edición. Project Management Institute (PMI). ®)
- Rivera V., (2015). *Programación, Planificación y Control de Obras de Infraestructura Civil, en la República de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- Seys, (2018). *Infografía: ¿Qué es BIM y cuál es la historia del Building Information Modeling?*. Tecnologías de la Información y la Comunicación.
- Suárez D., (2016). *Comparación de rendimientos de construcción de naves industriales de acero con conexiones pernada y con conexiones soldadas*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Civil.
- Trejos N., (2018). *Estudio De Impacto Del Uso De La Metodología BIM En La Planificación y Control De Proyectos De Ingeniería y Construcción*. Facultad de Ciencias Físicas Y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Civil (Universidad De Chile).
- Yepes V., (2013). *Estructura del desglose del trabajo (WBS)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Autodesk Inc (2020). *Para crear informes de conflictos*. url: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Navisworks/files/GUID-3D392AAA-EB37-452A-B621-72D6E129C9D0-htm.html>.

- Obando, D(2014). *Introducción a la metodología BIM*. Programa de Educación Continua. Universidad Veritas.
- Gonzales, C. (2015). *Building Information Modeling(Metodología, Aplicaciones y Ventajas)*.Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación.Universidad Politécnica de Valencia.
- Jimenez, G. (2019). *Cámara de la Construcción y BIM Forum realizaron Congreso Nacional BIM 2019*. url: <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/28774/camara-de-la-construccion-y-bim-forum-realizaran-congreso-nacional-bim-2019>.
- Preidel, Cornelius Borrmann, Andre Mattern, Hannah König, Markus Schapke, Sven-Eric. (2018). *Common Data Environment*. Fundamentos tecnológicos y práctica de la industria (págs. 279-291).
- Blanco, M. (2018). *Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de 6 viviendas adosadas en Gilet*. url: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16606/1/2018.05.22>
- Payneni, K. (2016). *BIM specifics*.An illustrative guide to implement building information modelling.
- ACCA software S.p.A.(2015). BIM management: el CDE (Common Data Environment). BAGNOLI IRPINO (AV) – Italy.

10 Apéndices

A continuación se tienen los apéndices ya referenciados. Para acceder a cada uno simplemente se debe de hacer clic en el texto designado como enlace.

10.1 Apéndice 1. Programaciones

10.1.1 Apéndice 1.1. Programación Sitio de Presa

Para acceder a la Programación de Sitio de Presa se debe hacer clic aquí: **Enlace para Carpeta de Programación de Sitio de Presa** o bien dirigirse al siguiente enlace: <https://1drv.ms/u/s!AkRpzpJi8X2igYIaa0ddbVyNcBVYdA?e=1B5CMj>

10.1.2 Apéndice 1.2. Programación Casa de Máquinas

Para acceder a la Programación de la Casa de Máquinas se debe hacer clic aquí: **Enlace para Carpeta de Programación de Casa de Máquinas** o bien dirigirse al siguiente enlace: <https://1drv.ms/u/s!AkRpzpJi8X2igYIYFHaIFNyw5c7NQ?e=Y7RN2h>

10.2 Apéndice 2. Cuantificaciones

10.2.1 Apéndice 2.1. Cuantificación Sitio de Presa

Para acceder a la Cuantificación de Sitio de Presa se debe hacer clic aquí: **Enlace para Documento de Cuantificación de Sitio de Presa** o bien dirigirse al siguiente enlace: https://1drv.ms/x/s!AkRpzpJi8X2i9ExnXsak1cQYfTR_?e=ArQ357

10.2.2 Apéndice 2.2. Cuantificación Casa de Máquinas

Para acceder a la cuantificación de la Casa de Máquinas se debe hacer clic aquí: **Enlace para Documento de Cuantificación de Casa de Máquinas** o bien dirigirse al siguiente enlace: <https://1drv.ms/x/s!AkRpzpJi8X2i9Fd7J8VwzPlP2AW1?e=BbJBX1>

10.3 Apéndice 3. Simulaciones

Para acceder a los vídeos de simulaciones para ambas obras se debe hacer clic aquí: **Enlace para Carpeta de Vídeos de Simulación Constructiva** o bien dirigirse al siguiente enlace: <https://1drv.ms/u/s!AkRpzpJi8X2igP8ecYcmTlqG16960Q?e=5cFqG3>

10.4 Apéndice 4. Ambiente Común de Datos y Comunicación

Para acceder a la propuesta de ambiente común de datos y comunicación se debe hacer clic aquí: **Enlace para Propuesta de Ambiente Común de Datos y Comunicación** o bien dirigirse al siguiente enlace: https://1drv.ms/u/s!AkRpzpJi8X2igP8t2-m8Ny_-r8-0rw?e=z1bjAS