



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE
ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS POR MONTAJE DE ELEMENTOS
PREFABRICADOS DE HORMIGÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JOAQUÍN ANDRÉS TAGLE DEL AMO

PROFESOR GUÍA:
DAVID CAMPUSANO BROWN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
EDUARDO JEREZ MIRANDA
JORGE PULGAR ALLENDES

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: JOAQUÍN ANDRÉS TAGLE DEL AMO
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: DAVID CAMPUSANO BROWN

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS POR MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

El rubro de la construcción ha experimentado diversos cambios a lo largo de su historia, incorporando y/o modificando mecanismos de planificación, gestión y la confección como tal de una obra. De esta manera, surgen diferentes formas de trabajar y metodologías de operación para abordar la puesta en marcha de un proyecto.

Building Information Modeling (BIM) nace como una de estas nuevas propuestas, revolucionando la industria al proporcionar una mirada distinta, caracterizándose por implementar un enfoque integral sobre la planificación, el diseño, la construcción y la gestión de proyectos.

Por otra parte, la utilización de elementos prefabricados de hormigón ha generado un considerable interés debido a los beneficios potenciales que ofrece en términos de eficiencia, precisión y calidad del resultado final, convirtiéndose en una forma bastante versátil de construir. Sin embargo, estos no están exentos de desafíos, debido a que estos sistemas pueden enfrentar inconvenientes durante su fabricación, transporte e instalación, como discrepancias en las dimensiones, problemas de calce, ajustes inadecuados, entre otros.

Frente a esto, por medio de un enfoque metodológico riguroso que incluye revisión bibliográfica, estudios de casos y análisis de ejemplos reales, el presente estudio se enfocará en proporcionar una comprensión más profunda de los desafíos, oportunidades y mejores prácticas asociadas con la aplicación de BIM en proyectos de estructuras prefabricadas de hormigón. El objetivo principal es ofrecer una metodología para los problemas mencionados anteriormente, a modo de identificar los conflictos de manera temprana y así evitar atrasos en los plazos o pérdidas de dinero.

Énfasis
y nada más.
Saludos

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi mamá y hermano, por su constante apoyo y soporte a lo largo de estos seis años. Aguanten. Como no a mi abuelo, por llevarme al colegio durante los catorce años de dicha etapa. Y sin duda, a mi tía Marta, que sin ella esto no sería posible. Gracias.

A mis fieles amigos del colegio, que más allá de las responsabilidades, estuvieron ahí para distenderme de los malos momentos. Buenos muchachos.

Y por supuesto, a los que aparecieron en el camino, mis queridísimos amigos de la U (sin olvidar las maratónicas jornadas en el CEC), a Magdita (un angelito que cayó del cielo en el momento más necesario), y a todos los que alguna vez estuvieron transmitiendo su KI. Full.

Por último, a mis fieles animalitos Spock y Mocha, por acompañarme en esas largas noches de estudio.

Gracias y más gracias!!

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos Generales	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Metodología	2
1.4. Resultados Esperados	2
2. Marco Teórico	3
2.1. Metodología BIM	3
2.1.1. Introducción	3
2.1.2. Definición de BIM	3
2.1.3. Dimensiones BIM	4
2.1.4. Niveles de Información	5
2.1.5. Fases de Adopción de BIM	6
2.1.6. Softwares	7
2.1.6.1. Revit	7
2.1.6.2. Navisworks Manage	8
2.1.7. Ventajas de la aplicación BIM	8
2.1.8. Aplicación BIM en Chile	10
2.2. Sistemas Prefabricados	11
2.2.1. Introducción	11
2.2.2. Conexiones	12
2.2.3. Transporte y Montaje de Elementos Prefabricados	12
2.2.4. Uso de Elementos Prefabricados en Chile	13
3. BIM en Proyectos de Estructuras Prefabricadas de Hormigón Armado	15
3.1. Requerimiento de Construcción de Obras que Utilizan Elementos Prefabricados	20
3.2. Maqueta Virtual con la Metodología BIM	30
3.2.1. Ejemplo de Aplicación	31
3.2.2. Estadio Monumental Arístides Bahamondes	44
3.3. Administración de la Construcción	52
3.3.1. Identificación de Elementos Prefabricados	52
3.3.2. Programación de Fabricación, Montaje y Transporte	53
3.3.3. Gestión de Calidad	55
3.4. Análisis de la Aplicación Práctica a una Obra	55
4. Conclusiones	62
5. Comentarios y Recomendaciones	65

Bibliografía	66
Anexos	69
A. Designación “ID” para elementos prefabricados de ejemplo de aplicación . . .	69

Índice de Tablas

3.1.	Ejemplo itemizado obras civiles. Fuente: Elaboración propia.	22
3.2.	Identificación y cantidades elementos ejemplo de aplicación. Fuente: Elaboración propia.	31
3.3.	Identificación aceros de refuerzo según diámetro. Fuente: Elaboración propia. .	43
3.4.	Ejemplo tabla de organización oficina técnica. Fuente: Elaboración propia. . .	57

Índice de Ilustraciones

2.1.	Dimensiones BIM. Fuente: Da Vinci Ingeniería	5
2.2.	Alcances Planbim en Chile. Fuente: Construye 2025	10
2.3.	Clínica Cruz Blanca (SIRVE). Fuente: Revista EMB CONSTRUCCIÓN	11
2.4.	Edificio residencial en San Pedro de la Paz, Altos de Idahue (SIRVE). Fuente: Revista EMB CONSTRUCCIÓN	11
2.5.	Planificación para montaje de elementos prefabricados de hormigón. Fuente: Hormigón al Día	13
3.1.	Graderías prefabricadas en proceso de montaje. Fuente: Página web Preansa .	16
3.2.	Graderías prefabricadas. Fuente: Página web Preansa	16
3.3.	Galpón prefabricado. Fuente: Página web Preansa	17
3.4.	Instalación de losas alveolares prefabricadas. Fuente: Página web Preansa . . .	17
3.5.	Modelo de componentes e instalaciones. Fuente: Página web Libre Mercado . .	18
3.6.	Modelo de fachada y estructuras. Fuente: Página web Libre Mercado	19
3.7.	Simulación de temperatura. Fuente: Página web Libre Mercado	19
3.8.	Etapas del diseño estructural. Fuente: Elaboración propia.	20
3.9.	Variables del diseño estructural. Fuente: Elaboración propia.	21
3.10.	Variables a considerar en el despiece. Fuente: Elaboración propia.	21
3.11.	Ejemplo obra civil. Fuente: Elaboración propia.	22
3.12.	Etapas de la fabricación de elementos prefabricados de hormigón armado. Fuen- te: Elaboración propia.	24
3.13.	Encofrado para vigas y columnas. Fuente: Página web Elematic Precast Tech- nology.	24
3.14.	Distribuidor de concreto. Fuente: Página web Elematic Precast Technology. . .	25
3.15.	Cámara de curado automático y control de humedad. Fuente: Página web Ele- matic Precast Technology.	25
3.16.	Sistema para tensar los cables de refuerzo del elemento pretensado. Fuente: Página web Elematic Precast Technology.	26
3.17.	Transporte de viga prefabricada de hormigón. Fuente: Página web Indaico. . .	27
3.18.	Criterios mínimos para la elección de grúa de montaje. Fuente: Elaboración propia.	28
3.19.	Utilización de grúas telescópicas para el montaje de piezas prefabricadas. Fuente: Página web Tensacon.	28
3.20.	Ejemplo de uniones provisorias. Fuente: Imagen propia, visita a terreno galpón Fruna, empresa a cargo Preansa.	29
3.21.	Flujo de desarrollo de un proyecto basado en elementos prefabricados de hormi- gón. Fuente: Elaboración propia.	31
3.22.	Elemento familia “VIGA” para tipo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	32
3.23.	Propiedades de tipo para VT1. Fuente: Elaboración propia.	32
3.24.	Propiedades de tipo para VT1. Fuente: Elaboración propia.	33

3.25.	Elemento familia “PT1” para CT1. Fuente: Elaboración propia.	33
3.26.	Propiedades de tipo para CT1. Fuente: Elaboración propia.	34
3.27.	Elemento familia “PT2” para CT2. Fuente: Elaboración propia.	34
3.28.	Propiedades de tipo para CT2. Fuente: Elaboración propia.	35
3.29.	Fundación del sistema estructural. Fuente: Elaboración propia.	35
3.30.	Propiedades de tipo bloque de apoyo rectangular fundaciones. Fuente: Elaboración propia.	36
3.31.	Propiedades de tipo cuello fundaciones. Fuente: Elaboración propia.	36
3.32.	Proceso constructivo del ejemplo de aplicación. Fuente: Elaboración propia. . .	37
3.33.	Prueba de interferencias de la maqueta virtual. Fuente: Elaboración propia. . .	38
3.34.	Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual. Fuente: Elaboración propia.	38
3.35.	Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual alterada. Fuente: Elaboración propia.	39
3.36.	Sistema montado previo a conexión mediante hormigón en sitio. Fuente: Elaboración propia.	39
3.37.	Empalme pilar central. Fuente: Elaboración propia.	40
3.38.	Empalme pilar de esquina. Fuente: Elaboración propia.	40
3.39.	Aceros longitudinales de vigas. Fuente: Elaboración propia.	41
3.40.	Pilar de esquina con aceros en espera, incluyendo pivote de recepción. Fuente: Elaboración propia.	41
3.41.	Pilar central con aceros en espera, incluyendo pivote de recepción. Fuente: Elaboración propia.	42
3.42.	Ducto de empalme en viga, montaje referencial. Fuente: Elaboración propia. .	42
3.43.	Identificación barras de acero según diámetro, montaje referencial. Fuente: Elaboración propia.	43
3.44.	Barras de acero en espera para conexión húmeda, séptima imagen. Fuente: Elaboración propia.	44
3.45.	Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista sur. Fuente: Elaboración propia.	44
3.46.	Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista norte. Fuente: Elaboración propia.	45
3.47.	Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista general. Fuente: Elaboración propia.	45
3.48.	Elemento viga de soporte estructural (viga limón). Fuente: Elaboración propia.	46
3.49.	Propiedades de tipo viga. Fuente: Elaboración propia.	46
3.50.	Elemento de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.	47
3.51.	Propiedades tipo de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.	47
3.52.	Elemento grada tipo canoa. Fuente: Elaboración propia.	48
3.53.	Propiedad tipo de grada. Fuente: Elaboración propia.	48
3.54.	Fundación de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.	49
3.55.	Fundación viga. Fuente: Elaboración propia.	49
3.56.	Propiedad tipo de fundación soporte en “A”. Fuente: Elaboración propia. . . .	50
3.57.	Propiedad tipo de fundación viga. Fuente: Elaboración propia.	50
3.58.	Proceso constructivo del estadio. Fuente: Elaboración propia.	51
3.59.	Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual para Estadio Chillan. Fuente: Elaboración propia.	51

3.60.	Asignación parámetro tipo texto a distintos elementos de un modelo en Revit. Fuente: Elaboración propia.	52
3.61.	Cubicación de los distintos elementos prefabricados del ejemplo de aplicación según “ID”. Fuente: Elaboración propia.	53
3.62.	Proceso de simulación constructiva a partir del programa de una obra. Fuente: Elaboración propia.	54
3.63.	Modelo de Estadio abierto en Navisworks para simular la construcción de este. Fuente: Elaboración propia.	55
3.64.	Vista en planta del nuevo estadio. Fuente: Al Aire Libre, programa Radio Cooperativa.	56
3.65.	Grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	57
3.66.	Identificación grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	58
3.67.	Identificación refuerzo grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	58
3.68.	Desangulación de gradería prefabricada puesta en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	60
3.69.	Descalce geométrico de gradería prefabricada puesta en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	60
3.70.	Descalce entre placas de inserto de dos graderías montadas en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.	61
A.1.	Primera asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia. . .	69
A.2.	Segunda asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia. . .	70
A.3.	Tercera asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia. . . .	70
A.4.	Cuarta asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia. . . .	71
A.5.	Primera asignación de “ID” a columna tipo 2. Fuente: Elaboración propia. . .	71
A.6.	Segunda asignación de “ID” a columna tipo 2. Fuente: Elaboración propia. . .	72
A.7.	Primera asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.	72
A.8.	Segunda asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.	73
A.9.	Tercera asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.	73
A.10.	Primera asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.	74
A.11.	Segunda asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.	74
A.12.	Tercera asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.	75
A.13.	Cuarta asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.	75

Capítulo 1

Introducción

La idea de BIM parte de la posibilidad de asociar información adicional al dibujo, a un plano o maqueta 3D confeccionados en un computador.

Del dibujo hecho a mano en papel o maqueta, la tecnología permitió hacerlo en un ordenador, las ventajas eran evidentes: posibilidad de corregir, en un archivo que se puede guardar o enviar por la red.

Posteriormente, a fines de los 90, algunos ingenieros programadores, advirtieron de que ya que se trabajaba en un ordenador, podría asociarse la información no geométrica al dibujo o maqueta. Es decir, si se dibuja en el ordenador un tramo de camino o un muro, a esa unidad se podía pegar o asociar información relativa a esa parte: por ejemplo las características del relleno, de la carpeta de rodado, o los materiales del muro, precio, revestimientos, tiempos de deterioro y mantención en el tiempo, y todo lo que se nos ocurra para utilizar ese dato simplemente marcando el elemento, incluso, integrar información complementaria que se puede ubicar en la red.

Esta concentración de la información en un “modelo” es la base de BIM. Esto permite a través de software, hacer estas consultas al “modelo” o caja de información, a través de programas que se han ido desarrollando.

Desde lo más simple, como la cubicación, lista de materiales o presupuesto, a otras consultas más complejas, como duración del proceso de construcción, mostrar el avance de acuerdo a un programa de tiempos, comportamiento energético asociado con la orientación y al clima del lugar de emplazamiento, que se puede obtener conectando por la red a bases de datos que existen, y bastante elaborados como Google.

En proyectos de estructuras prefabricadas, la tecnología BIM será de gran utilidad para verificar la geometría y calce de las piezas y las instrucciones para el transporte y montaje.

Con base en lo expuesto, se desarrollará una metodología desde la aplicación a dos casos, el primer correspondiente a un caso para ejemplificar y posteriormente un proyector real, siendo este último un estadio modular construido mediante elementos prefabricados.

1.1. Objetivos Generales

Introducir la metodología BIM en proyectos de estructuras construidas por montaje de elementos prefabricados de hormigón.

1.2. Objetivos específicos

- Definir una metodología de aplicación, estudio, trabajo y flujo en proyectos que utilicen prefabricados de hormigón.
- Definir e identificar el procedimiento de la construcción de un modelo BIM.
- Aplicación del prefabricado y BIM en casos reales.
- Proposición de una metodología para la utilización en un proyecto.

1.3. Metodología

Metodología de trabajo, en orden cronológico:

- Estudio de la bibliografía pertinente a la tecnología BIM y el manejo del software Revit.
- Conocimiento del proyecto de la estructura prefabricada, y todos sus detalles mediante el estudio de planos y documentos asociados.
- Estudio de los elementos prefabricados definidos para la construcción de la estructura.
- Investigación y registro de las características asociadas a la construcción y montaje de la estructura.
- Construcción del modelo 3D y asociarle la información no geométrica necesaria para la gestión de administración de la construcción.
- Utilización del modelo 3D en la visualización del montaje y avance.
- Visita a caso real a modo de observar los resultados basados en metodologías diferentes.
- Comentarios y conclusiones.

1.4. Resultados Esperados

El resultado esperado, es definir una metodología necesaria para el diseño de estructuras construidas por montaje de elementos prefabricados de hormigón, de tal manera que este incorpore la información pertinente al montaje de los elementos prefabricados, sumando las actividades de planificación, como el programa de construcción.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Metodología BIM

2.1.1. Introducción

De manera tradicional, la industria de la construcción solía (y en algunos casos, suele) utilizar prácticas basadas en dibujos bidimensionales y documentación física, es decir, en papel. Es por esto que la metodología histórica desempeñada en el rubro constructivo implica el manejo de planos en dicho material, diversidad de herramientas manuales a la hora de dibujar, incapacidad de colaboración eficiente, entre otros.

Esta forma de trabajar puede repercutir en diversos problemas, tales como: cambiar un plano requiere de la confección de un dibujo nuevo, actualizar información necesita de la comunicación y coordinación multidisciplinaria, limitada visibilidad del diseño tridimensional y riesgo de errores humanos basándose en la fuerte dependencia del papel.

A base de las circunstancias mencionadas es como surge la necesidad de una herramienta estándar en la industria, con la capacidad de lograr una colaboración eficiente, detectar problemas rápidamente, reducir incertidumbres y un control de cambios más efectivos en comparación a la típica forma de abordar un proyecto constructivo. Así, en la segunda mitad del siglo XX, comienzan a surgir diversas tecnologías y metodologías que, conforme al avance, respondían a los nuevos requerimientos de un sin fin de proyectos, desde prototipos como Building Description System (BDS) hasta el desarrollo de software. [1]

Es así como se consolida BIM, a partir del trabajo colaborativo a través del tiempo a modo de responder a las necesidades previamente descritas. BIM se internaliza en varias empresas con el desarrollo de Revit a mano de ArchiCAD en el 2000. [1]

Este amplio recorrido ha permitido que varias empresas y entidades la utilicen en diversas partes del mundo, extendiéndose cada vez más, llegando incluso a incorporar y hacer que esta metodología sea parte integral de organizaciones o industrias.

2.1.2. Definición de BIM

BIM (Building Information Modelling) se puede entender como un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares, los cuales hacen posible diseñar, construir, operar y mantener

una determinada obra dentro de un espacio virtual.

A grandes rasgos, la metodología en cuestión tiene como base la representación 3D de la infraestructura, a partir de la cual se puede incorporar la información de interés por parte de los proyectistas, como por ejemplo, tipo de materiales a utilizar, especificaciones técnicas, costos y plazos asociados.

Este modelo o maqueta actuará como soporte principal de información, lo cual se traduce en un archivo digital conectado a una red de comunicación, permitiendo así ser visualizado y editado por diferentes miembros autorizados de forma simultánea y colaborativa.

2.1.3. Dimensiones BIM

El ciclo de vida de un proyecto quedará plasmado mediante el sistema BIM por las denominadas Dimensiones BIM, correspondientes a 7 fases que permitirán conectar los datos asociados desde la idea del proyecto hasta la operación y mantención de este. Cabe destacar que dicho número de fases son las reconocidas hasta hoy en día, sin embargo, el modelo no se cierra a incorporar una octava o incluso novena, las cuales permitirían incorporar variables como seguridad. A continuación se define cada una de estas: [2]

- **1D La idea:** Se incluye localización y las condiciones iniciales.
- **2D El boceto:** Se definen las características genéricas del proyecto como materiales y cargas a considerar.
- **3D Modelo de información del edificio:** Modelación geométrica de la estructura en formato tridimensional.
- **4D Tiempo:** Incluye la planificación temporal de cada fase del proyecto.
- **5D Costo:** Se incorpora el control de costos y la estimación de gastos del proyecto.
- **6D Simulación:** Simulación de posibles alternativas del proyecto con la finalidad de encontrar la opción óptima.
- **7D Manual de instrucciones:** Manual destinado para el correcto uso y mantenimiento de la infraestructura.



Figura 2.1: Dimensiones BIM. Fuente: Da Vinci Ingeniería

2.1.4. Niveles de Información

A la hora de desarrollar un proyecto BIM, es de suma importancia establecer el nivel de detalle que este considerará. Para esto, se dispone de dos interpretaciones: estándares de Estados Unidos (NBIMS-US) y estándares del Reino Unido (NBS-UK).

Según el estándar de Reino Unido, los niveles se verán enfocados en dos conceptos, partiendo por el Level of Detail (LOD), orientado a la descripción gráfica, para luego pasar al Level of Information (LOI), orientado a la descripción del contenido no gráfico del modelo. A continuación se detallan cada uno de estos. [2]

Level of Detail:

- **LOD 1:** Conceptualización y casi nula geometría.
- **LOD 2:** El elemento modelado proporciona una indicación visual de este en la etapa conceptual, mostrando requerimientos claves como el acceso o zonas libres para el posterior mantenimiento.
- **LOD 3:** El elemento modelado proporciona una representación visual en la etapa de definiciones técnicas para su coordinación espacial completa.
- **LOD 4:** El elemento modelado proporciona una representación visual para una etapa de diseño para su coordinación espacial completa.
- **LOD 5:** El elemento modelado proporciona una representación visual en el proyecto construido y provee una referencia, para su posterior uso y mantenimiento.

Level of Information:

- **LOI 2 y 3:** El elemento modelado proporciona una descripción inicial para una entrega hacia el diseño.

- **LOI 4:** El elemento modelado proporciona una información suficiente para permitir la selección del producto de fabricante que cumpla con sus requerimientos. Esta información también puede ser utilizada para reemplazar un elemento durante el ciclo de vida del proyecto, una vez construido.
- **LOI 5:** El elemento modelado proporciona la información específica del producto de fabricante seleccionado o lo construido y entregado. Cualquier información adicional pertinente durante el proceso de construcción o instalación es indicada dentro de este nivel.
- **LOI 6:** El elemento modelado proporciona la información acumulada de los niveles anteriores y además considera información detallada del mantenimiento efectuado.

Por otro lado, según el estándar de Estados Unidos, el Level of Development (LOD), permite identificar los requisitos mínimos y de usos específicos asociados a cada elemento de la infraestructura, se distinguen seis niveles: [2]

- **LOD 100:** El elemento puede ser representado gráficamente en el modelo con un símbolo o representación genérica. Estas representaciones muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. La información debe ser considerada aproximada.
- **LOD 200:** El elemento se representa gráficamente como un sistema genérico de objeto, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados. La información no gráfica también es aproximada. Estas representaciones son respecto del volumen o espacio reservado.
- **LOD 300:** El elemento representa gráficamente como un objeto o sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica se corresponde con la información gráfica. Las cantidades, dimensiones, formas, ubicación y orientación según lo diseñado se pueden obtener directamente a del elemento.
- **LOD 350:** Igual al LOD 300, pero las representaciones se vinculan con otros elementos del modelo cercano o adjunto y se incluyen las partes tales como soportes o conexiones.
- **LOD 400:** LOD 350 más la modelación. Estas representaciones se modelan con la precisión y detalle suficiente para su fabricación e instalación.
- **LOD 500:** El elemento modelado es una representación fiel del elemento de construcción ya ejecutado en obra, con su tamaño, forma, ubicación y orientación real en el proyecto. La información no gráfica está incluida en el objeto, así como sus vínculos con otros elementos. Estas representaciones se realizan una vez construido el proyecto y son las adecuadas para el mantenimiento y el funcionamiento del elemento en el inmueble.

Dichas definiciones son relevantes a la hora de establecer las condiciones iniciales de un proyecto, lo cual permitirá un claro entendimiento entre los involucrados de las diversas especialidades.

2.1.5. Fases de Adopción de BIM

De manera paralela a identificar el nivel de detalle de un proyecto, es importante definir que empresas (partes del ciclo de este) incorporaran esta tecnología en su desarrollo. Si bien,

el caso más conveniente es cuando todas las empresas implementan BIM, dado que de esta manera se aprovechan de manera óptima las diferentes herramientas que surgen de esta metodología. De esta manera se podrán observar los siguientes escenarios: [2]

- **BIM no integrado (unilateral)**: Solo una empresa del ciclo del proyecto aplicará la tecnología BIM. Dicha compañía se verá favorecida, pero no generará más beneficios para el resto de los participantes.
- **BIM no integrado (multilateral)**: Más de una empresa del ciclo de vida de un proyecto utiliza la tecnología BIM. En estos casos cada compañía desarrollará sus modelos con base en sus requerimientos.
- **BIM integrado**: El proyecto se realiza de forma colaborativa bajo un mismo estándar, todas las compañías trabajan bajo una normalización establecida.

2.1.6. Softwares

En primer lugar, es importante aclarar que en los proyectos puede usarse cualquier software BIM, dependiendo de los objetivos que se deseen alcanzar, no obstante, cabe destacar que existe la posibilidad de interponer diferentes modelos provenientes de software diferentes. De esta manera, gran parte de estos poseen la opción de la exportación a un formato universal IFC (Industry Foundation Clases) que permite el intercambio de información de un software a otro.

Ahora bien, hoy en día existen diversas empresas que venden aplicaciones para modelar basándose en el modelo BIM. Dentro de los software más populares se pueden destacar Autodesk Revit, Autodesk BIM 360, ArchiCAD, Vectorworks Architect, Allplan, Trimble SketchUp, Nemetschek Vectorworks, Tekla Structures, Rhino (con complementos BIM) y Solibri Model Checker.

El presente Trabajo de Título abordará el estudio con la utilización de Revit 2023 y Navisworks Manage 2023, es por esto que a continuación se detallaran las definiciones principales de ambos software.

2.1.6.1. Revit

Revit se basa en objetos paramétricos, es decir, los elementos del modelo contendrán información conforme a sus propiedades y relaciones con otros elementos. Esto permite realizar cambios globales, actualizaciones automáticas en todo el modelo y una colaboración permanente entre las diferentes disciplinas que solicite el desarrollo del proyecto.

Los modelos 3D estarán confeccionados en función de diferentes elementos físicos tales como fundaciones, pedestales, vigas, entre otros. También, a modo de sectorizar y referenciar estos componentes se encontrarán elementos abstractos como niveles, ejes y cotas.

Los elementos que forman parte de un modelo desarrollado en Revit pertenecen a un tipo de familia. Las familias corresponden a los elementos más básicos de un modelo y son proporcionados por el software en su mayoría.

Cada familia puede contar con distintos tipos, los cuales representan variaciones que pueden presentar los elementos dentro de la misma familia, generalmente cambios en sus geometrías o propiedades intrínsecas del material constructivo

Para asignar propiedades a los elementos se tendrán dos formas de hacerlo: [3]

- **Propiedades de tipo:** Los parámetros pertenecientes a este tipo de propiedad serán los mismos para todos los ejemplares de una familia y cualquier cambio en los valores se actualizará en todos los elementos correspondientes.
- **Propiedades de ejemplar:** Valores únicamente válidos para aquellos elementos que se hayan seleccionado del modelo o al elemento que se va a colocar.

Los elementos de un modelo deberán tener cierta información incorporada, la cual incluye información geométrica (dimensiones transversales y longitudinales) y no geométrica (familia, tipo, material y costo). Esto permitirá posteriormente extraer información del modelo, lo cual, por ejemplo, permitirá obtener los costos totales asociados a las diferentes entidades que conforman la representación virtual del proyecto.

Por otra parte, es importante mencionar que también será posible obtener la simulación y programación del proyecto, exportando el modelo desde Revit a Navisworks Manage.

2.1.6.2. Navisworks Manage

Navisworks Manage está diseñada principalmente para la coordinación, revisión, análisis y simulación de proyectos de construcción y el diseño previo de las diferentes estructuras. La utilización de este software permite la integración de modelos 3D provenientes de diferentes especialidades dentro de una obra, tales como arquitectura, estructuras, piping, instalaciones eléctricas y sanitarias, con el fin de otorgar las herramientas necesarias para facilitar la colaboración y detección temprana de incongruencias entre diseño y construcción.

Para efectos del presente trabajo, Navisworks Manage permitirá complementar los modelos desarrollados con Revit, a modo de incluir herramientas como:

- **Revisión visual del modelo:** Más allá del visor que imparte Revit, será necesario explorar en detalles los diferentes elementos que conformen el sistema. Corroborando medidas, ubicación y la información asociada a estos mismos.
- **Simulación de construcción:** Será de gran importancia representar la secuencia constructiva de los casos de estudio, lo cual entregará los primeros indicios del trabajo que se tendrá que efectuar en terreno.
- **Informes y documentación:** El programa registra las diferentes interferencias y cambios dentro del modelo, lo cual facilitará el calce de los componentes.

2.1.7. Ventajas de la aplicación BIM

Manejar los datos de una estructura de manera virtual y en tiempo real permite gestionar los diferentes procesos con mayor certeza, rapidez, productividad y claridad, sumado a que la participación de las diferentes disciplinas no es un impedimento a la hora del estudio y

desarrollo del proyecto, gracias a la conectividad y acceso en línea al modelo.

De acuerdo a esto es como la metodología BIM ofrece diversas ventajas a quienes operan el proyecto, tanto mandantes, consultores y constructores. También cabe destacar que estos beneficios se extienden a los usuarios, dado que las dimensiones del sistema contemplan todo el ciclo de vida.

La principal ventaja que ofrece BIM se centra en el proyecto como tal, siendo esta la rapidez a la hora de consultar cualquier tipo de información ligado a este. Además de acelerar el proceso, a su vez, el modelo entregará de manera detallada y ordenada dicha información, permitiendo así un claro entendimiento de la idea a los diferentes participantes, desde las oficinas de diseño hasta los constructores que estén levantando las estructura. De esta forma se podrán observar menores inconsistencias e interferencias en terreno, evitando aumentos de plazos y las ineficiencias por falta de definiciones en el proyecto. También se pueden destacar los siguientes beneficios:

- Visualización 3D permite un mejor entendimiento de la construcción.
- Facilita la integración, actualización y coordinación de toda la información.
- Prevé y soluciona los problemas de diseño de manera anticipada.
- Simula el comportamiento de un proyecto.
- Facilita el uso de componentes constructivos prefabricados

Luego, como se mencionaba, los efectos positivos también los podrán percibir los usuarios, dentro de estos cabe destacar la mejor calidad de los proyectos, menores plazos de entrega y costos, diseños amigables con el medio ambiente y una mejor calidad como producto final.

A modo general, los beneficios son tales que en Chile se cuenta con una iniciativa de Corfo, que tiene como una de sus metas la utilización de la metodología BIM para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública al año 2020 y al año 2025 en proyectos privados. La figura 2.2 hace referencia al avance que impulsa esta idea en los diferentes sectores. [4]

Los resultados de este proceso favorecerán a ciudadanos, empresas, Estados y demás actores del sector de la construcción. Esto buscar cerrar las brechas entre diseño, construcción y funcionamiento efectivo de las edificaciones y obras. Para el Estado y también los privados esto implica como resultado reducir sus costos de capital y operacionales.

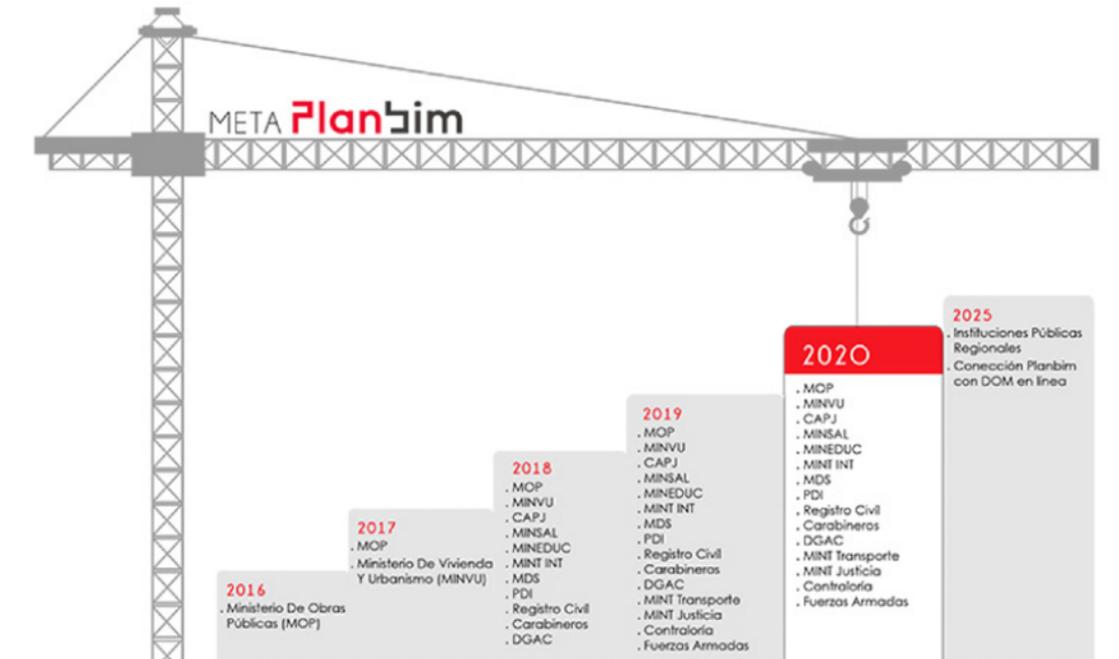


Figura 2.2: Alcances Planbim en Chile. Fuente: Construye 2025

2.1.8. Aplicación BIM en Chile

En Chile existen iniciativas como BIM Forum Chile, en donde la Secretaría Técnica es llevada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), que busca agrupar a las empresas privadas en torno a la temática BIM, y, por el lado del sector público, como se mencionó anteriormente, está la iniciativa de Corfo, PlanBIM, que tiene por objetivo implementar el uso de BIM como un mandato para los proyectos públicos. [1]

El trabajo de Planbim en conjunto con las instituciones públicas, se ha visto reflejado en un gran levantamiento, buscando los puntos en los cuales BIM optimiza sus procesos. En este trabajo se han ido sumando otras instituciones públicas y privadas bajo la misma mirada, logrando así un estándar que presenta un mismo lenguaje y una base para solicitar información orientada a los objetivos que se busquen conseguir en las futuras licitaciones.

Si bien, se sabe que BIM se puede aplicar para todo tipo de proyectos, sin embargo, en el caso de Chile, se ejecuta con mayor frecuencia en obras de alta complejidad, caracterizados por presentar muchas especialidades. A modo de ejemplificar, SIRVE S.A. es una de las empresas de ingeniería nacional que ha incorporado en sus proyectos la plataforma BIM. Dentro de sus entregas destaca el caso del edificio residencial en San Pedro de la Paz Altos de Idahue y las viviendas sociales Paniahuede media altura en Santa Cruz. También destacan el Inacapde Talca, Duoc Santiago Centro, Clínica Cruz Blanca, el reforzamiento de losas para el edificio del Comando de Salud del Ejército (COSALE) y el Hospital de Antofagasta. Algunos de estos se pueden observar en las figuras 2.3 y 2.4. [5]

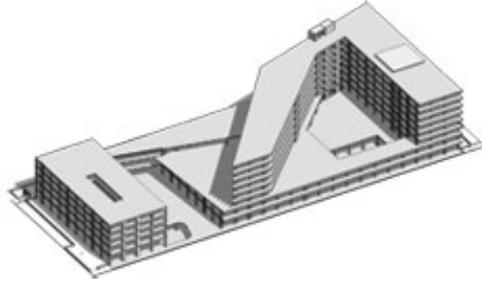


Figura 2.3: Clínica Cruz Blanca (SIRVE). Fuente: Revista EMB CONSTRUCCIÓN

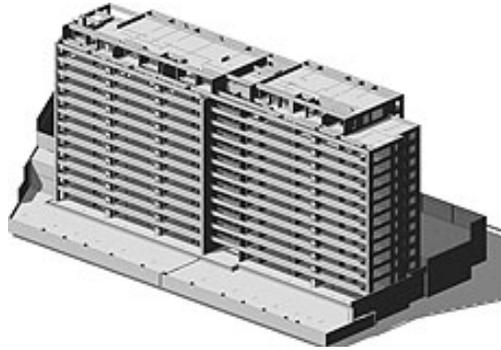


Figura 2.4: Edificio residencial en San Pedro de la Paz, Altos de Idahue (SIRVE). Fuente: Revista EMB CONSTRUCCIÓN

2.2. Sistemas Prefabricados

2.2.1. Introducción

En el rubro de la construcción, la innovación y la eficiencia son dos conceptos clave a la hora de hablar de progreso en este ámbito. Los elementos prefabricados de hormigón son una solución a que ha transformado la forma en que se ejecutan los proyectos de construcción. Estos elementos se han convertido en pilares fundamentales de los nuevos métodos constructivos.

Desde simples bloques hasta complejas estructuras arquitectónicas, los prefabricados de hormigón ofrecen una gama impresionante de posibilidades, mejorando la velocidad, la calidad y la sostenibilidad en la industria de la construcción. Esta forma de construir entrega soluciones frente a diversas problemáticas, tales como, construir pasarelas sobre vías con alto tráfico vehicular, dar forma a pilares en superficies acuáticas (como podrían ser los soportes de un puente que cruza un estrecho) y dar forma a túneles y/o puntos de extracción en zonas de alto riesgo, como son las mineras.

De manera general, estos elementos se confeccionan a partir de un proceso de mezcla, vaciado y curado, utilizando moldes reutilizables como lo son las placas de terciado fenólico. Esto se lleva a cabo usualmente en canchas preparadas en algún sector de la obra o plantas industriales dedicadas a la prefabricación, para posteriormente montarlos o transportarlos a la obra, según sea el caso. El montaje se puede realizar con maquinaria o manualmente,

dependiendo de la envergadura de cada elemento.

En cuanto a sus ventajas, respecto a la construcción tradicional (hormigonado in-situ), sería la calidad de los materiales y los acabados. Esto dado que los elementos prefabricados se producen en una planta con estrictos controles de calidad. En obra, únicamente se montan las piezas y los únicos problemas que podrían surgir, de acuerdo a los expertos, son desperfectos derivados del transporte de dichos elementos.

2.2.2. Conexiones

El comportamiento de los sistemas prefabricados sometidos a solicitaciones sísmicas, dependen en gran parte del comportamiento de como se unen entre sí los elementos. Diferentes tipos de conexiones pueden ser utilizadas en la construcción de estos, de acuerdo a los requerimientos de diseño. El tipo de conexión puede macar la diferencia en el comportamiento de la estructura ante solicitaciones eventuales.

De manera general, se pueden clasificar dos tipos de uniones: [18]

- **Conexión continua:** Estas conexiones responden a algunos de los siguientes tipos:
 1. Conexiones dúctiles que emulan el comportamiento del hormigón vaciado en sitio.
 2. Conexiones especiales validadas mediante ensayo.
 3. Conexiones fuertes. En estas conexiones los elementos prefabricados pueden ser conectados mediante pernos, soldadura u otros medios.
- **Conexión discontinua:** Las conexiones discontinuas que tienen por objetivo permitir el movimiento relativo entre los elementos conectados deben disponer de armadura o dispositivos que aseguren la integridad de la estructura. Estas pueden ser rotuladas o deslizantes.

Las conexiones, además de cumplir con su función estructural, deben ser simples, esto para evitar problemas a la hora del trabajo en terreno, lo cual podría incurrir en considerables retrasos si no se dedica el tiempo necesario a la planificación de las uniones entre cada uno de los elementos que conformaran las estructuras.

2.2.3. Transporte y Montaje de Elementos Prefabricados

El transporte de elementos prefabricados desde la fábrica hasta el sitio de construcción es un paso crítico que debe llevarse a cabo con cuidado y precisión. Este proceso requiere en primera instancia, el embalaje y la protección de estos, como sujetadores y envolturas. Por otra parte, la planificación logística es de suma importancia, ya que esto permitirá escoger las rutas más adecuadas (en cuanto a tiempo y espacio) y contar con permisos de transporte especiales si así requiere el caso. También, cabe destacar que, según sea la envergadura de las piezas, se requerirán de equipos especializados como grúas, vigas lanzadoras, entre otros. Es importante mencionar las limitantes en cuanto al despacho de los elementos, los cuales son dictaminados por el Ministerio de Obras Públicas en el Decreto Supremo N°158 de 1980, donde se indica que: [6]

- Elementos de masa mayor o igual a 30 toneladas requerirán de permiso especial y la escolta de carabineros.

- Se permiten hasta 18,6 y 20,5 metros para camiones con semirremolque y con remolque, respectivamente. Para largos mayores se requiere una autorización y por sobre 30 metros se requiere escolta policial.
- En cuanto al ancho, se permiten hasta 2,6 metros y por sobre 3,7 metros se requerirá de escolta policial.

Nuevamente, al igual que el transporte, el montaje de las piezas es un proceso de suma importancia, dado que un mínimo error puede llevar a la necesidad de modificar los elementos, y en el peor de los casos, rehacer estos mismos dado un descuadre en sus dimensiones. Una correcta planificación debería considerar, al menos, el siguiente listado:

- Establecer la secuencia de montaje, las herramientas y equipos necesarios y la mano de obra requerida.
- Realizar las inspecciones pertinentes a modo de asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad y especificaciones técnicas de cada proyecto.
- Contar con un sistema de izado lo suficientemente seguro.

La figura 2.5 da cuenta de un proceso más detallado a la hora de planificar el montaje de piezas prefabricadas, partiendo desde el despiece de los elementos hasta el transporte en base a las condiciones que involucre el proyecto.



Figura 2.5: Planificación para montaje de elementos prefabricados de hormigón. Fuente: Hormigón al Día

2.2.4. Uso de Elementos Prefabricados en Chile

La industria del prefabricado en Chile se ha basado principalmente en la utilización de madera como materia prima, sin embargo, se han utilizado otros materiales como el hormigón y el acero, pero siempre siendo la madera como el principal actor de la industria. El prefabricado se ve desarrollado en Chile gracias a las necesidades de vivienda existentes en el país, yendo de la mano con los planes habitacionales propuestos por los diferentes gobiernos de turno.

En 1972 (meses más tarde después del terremoto ocurrido en el año 1971) se instala la fábrica de paneles de hormigón pesado KPD (paneles rusos). Este sistema fue muy reconocido en ciertos países donde se logró producir hasta 2000 viviendas al año. En Chile la planta fue montada con una capacidad de producción de 1680 departamentos por año. [7]

Las obras prefabricadas, al día de hoy, se han multiplicado a lo largo del país. Su uso ha resultado ser una metodología constructiva vital en obras complejas, ya sea por clima, logística o rendimiento en terreno. Viviendas, infraestructura hospitalaria, portuaria y redes de Metro, junto con edificios (tanto públicos como privados), son parte de algunos de los sectores que se han beneficiado de la construcción prefabricada.

Algunos ejemplos de obras construidas con prefabricados son: Línea 3 y 6 del Metro de Santiago, Hospital Biprovincial Quillota Petorca, Puente Chacao en Chiloé, Complejo Fronterizo Los Libertadores, ampliación del Puerto de San Antonio, Astillero Asmar en Talcahuano y un sin fin de viviendas basadas en la construcción industrializada.

Capítulo 3

BIM en Proyectos de Estructuras Prefabricadas de Hormigón Armado

A la hora de desarrollar un proyecto, ya sea la construcción de pequeños sistemas, como la fundación de un pilar para la instalación de un cerco perimetral, o la confección de megaproyectos, tales como puentes de grandes luces y estadios de categoría mundial, siempre será necesario garantizar desde sus primeras etapas un desarrollo óptimo y acorde a los estándares exigidos por el mandante. Particularmente, en las obras de construcción por montaje de elementos prefabricados, hay dos temas fundamentales para lograr esto (y por ende, un buen resultado de los proyectos):

- Para desarrollar el trabajo de construcción de manera segura, rápida y eficiente, es necesario que las piezas que llegan a la obra calcen con el resto de componentes a modo de armar la estructura sin contratiempos y de acuerdo con la planificación correspondiente. Para esto, el detalle de fabricación es clave (ya sea en formato digital o virtual), ya que a partir de este el calce geométrico puede ser verificado, considerando también las holguras necesarias para el montaje y las posteriores conexiones.
- El orden de llegada (de los prefabricados) a la faena debe ser en el orden del montaje, establecido previamente a la hora de estudiar la planificación de este ítem. Esto resulta esencial para lograr un montaje continuo y eficiente, ya que genera orden entre la secuencia proyectada de montaje y el transporte, evitando por ejemplo la acumulación de elementos en terreno.

Las siguientes figuras dan cuenta de la fundamental importancia que implica el calce entre los diferentes componentes, dado que un mínimo desfase de alguno de estos podría repercutir profundamente en el resultado final del trabajo:



Figura 3.1: Graderías prefabricadas en proceso de montaje. Fuente: Página web Preansa

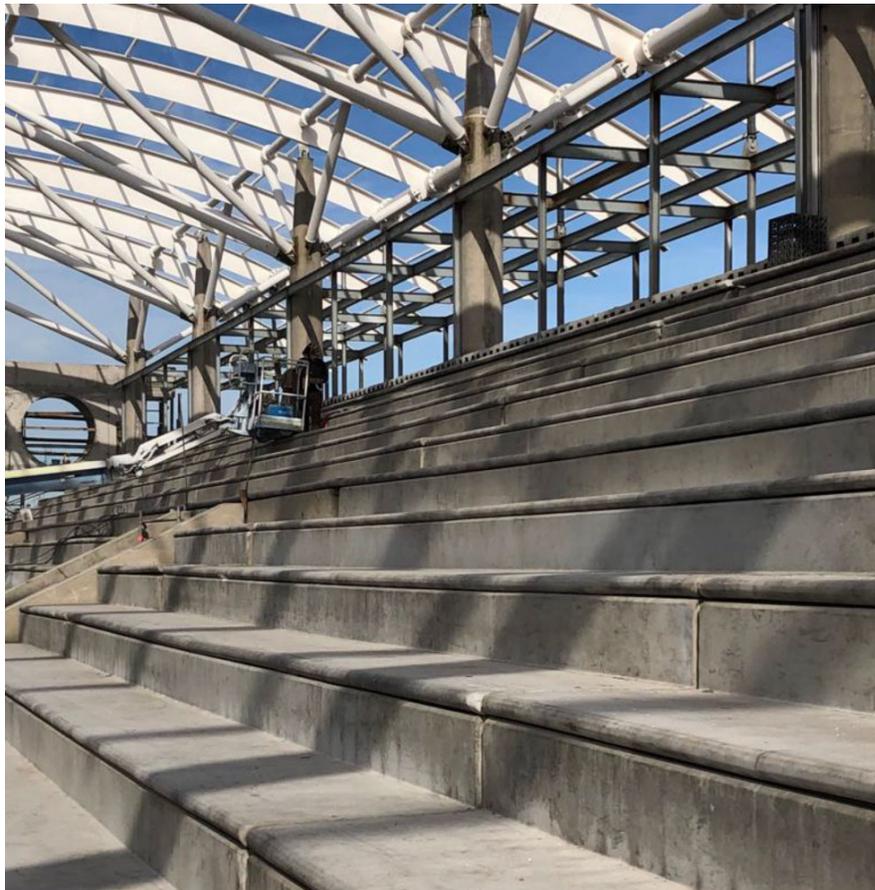


Figura 3.2: Graderías prefabricadas. Fuente: Página web Preansa



Figura 3.3: Galpón prefabricado. Fuente: Página web Preansa



Figura 3.4: Instalación de losas alveolares prefabricadas. Fuente: Página web Preansa

De esta manera, más allá de los requerimientos estructurales y normativos a los que están sometidos los elementos prefabricados de hormigón armado, estos deben ser materializados con la finalidad de calzar en la posición para la cual fueron pensados, esto será decisivo para garantizar una administración eficiente de la que hay por detrás del trabajo.

De acuerdo con esto, la metodología BIM aparece como una potente herramienta para hacer más eficiente y seguro el uso de la construcción por montaje de este tipo de elementos. Un buen ejemplo de aquello, es la remodelación del Estadio Santiago Bernabéu de Madrid, España.

El estadio que alberga al club de fútbol Real Madrid se encuentra en las últimas etapas del proceso previamente mencionado, en donde los principales focos de atención son el aumento de aforo del recinto, la implementación de una cubierta retráctil, la confección de un nuevo revestimiento de acero y nuevas zonas destinadas al comercio y público en general.

Lo interesante de este proceso ha sido como se abordó tanto el diseño, la construcción y la puesta en marcha de las nuevas obras: mediante la aplicación de la metodología BIM. El encarecimiento de las diversas materias primas y los problemas derivados de la guerra de Ucrania ya resultaba una verdadera amenaza para los costos asociados al desarrollo del proyecto, por ende, la empresa a cargo (FCC Construcción) optó por el desarrollo de una maqueta virtual que albergue digitalmente toda la información relacionada, de las distintas especialidades involucradas, a modo de evitar sobrecostos producidos por error en la gestión de las diferentes actividades. Óscar Liébana – empleado de FCC - remarcó que: “la utilización del sistema BIM supone cambiar absolutamente todos los procesos y la manera de trabajar. Esto ha permitido a la compañía trabajar en la ejecución de la obra desde que esta se licitó, usando “modelos digitales y un escaneo total del contenedor (infraestructura) existente hace más de 75 años”. [8]

Liébana agrega que el entorno BIM, además de emplearse para las cuestiones arquitectónicas y estructurales básicas del estadio, también toman en consideración otros elementos que tienen que adaptarse al proyecto, como la comunicación, el sonido para conciertos o el sistema de calefacción: “todo está integrado en los mismos modelos digitales”. A continuación se presentan diferentes imágenes de los modelos confeccionados:

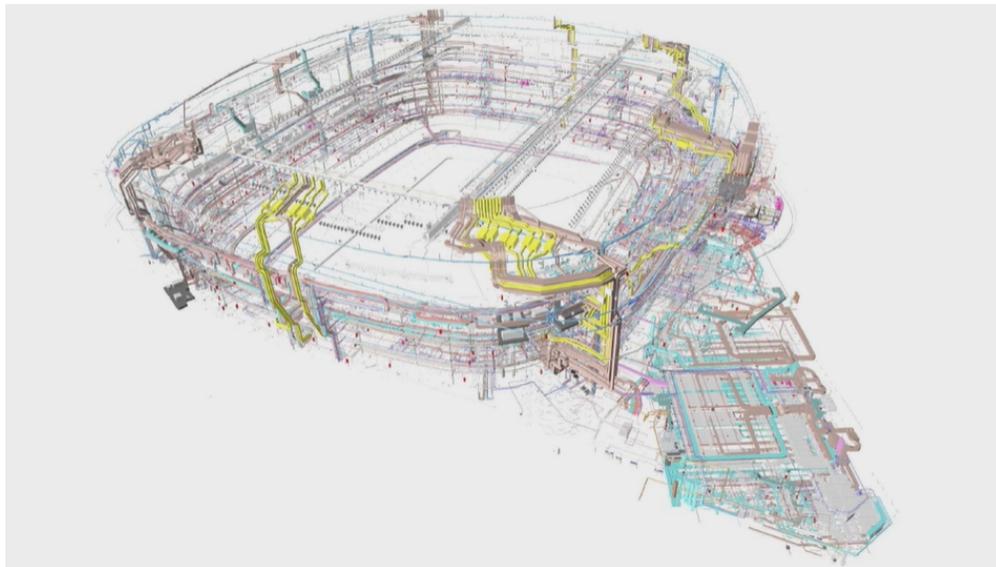


Figura 3.5: Modelo de componentes e instalaciones. Fuente: Página web Libre Mercado

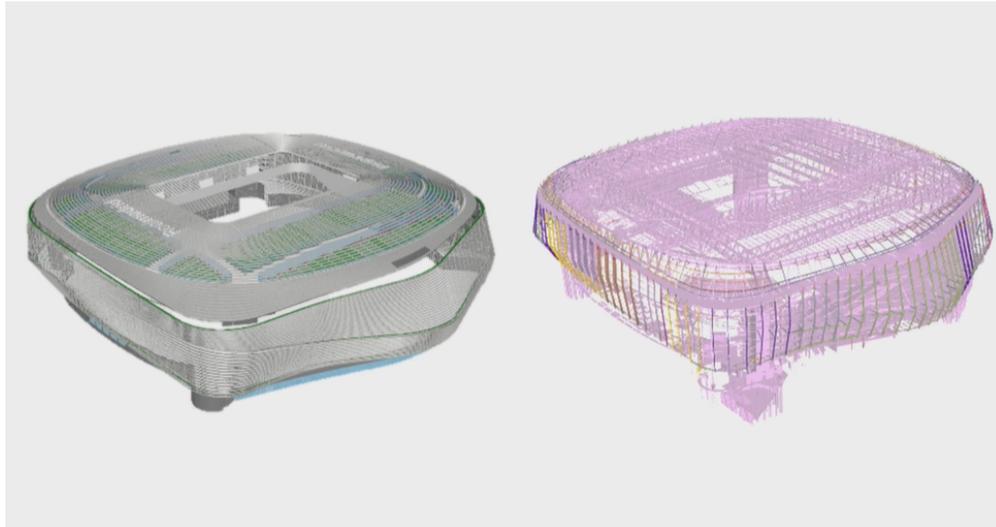


Figura 3.6: Modelo de fachada y estructuras. Fuente: Página web Libre Mercado

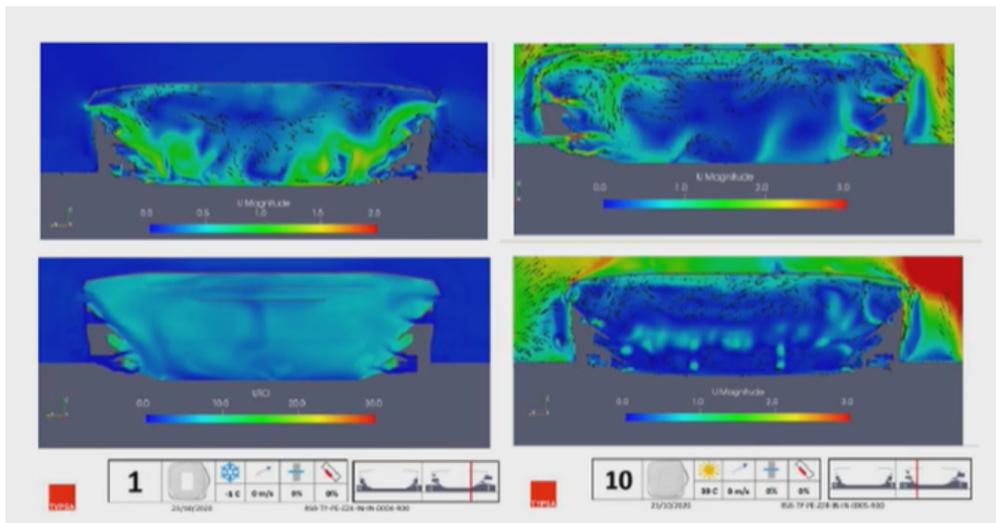


Figura 3.7: Simulación de temperatura. Fuente: Página web Libre Mercado

Así como este, y otros casos de aplicación alrededor del mundo, la siguiente memoria abarcará la metodología BIM a casos específicos de estudio, a modo de proponer una cadena continua de trabajo y producción, partiendo desde la fabricación de los elementos hasta el montaje de estos, con el fin de **asegurar el calce geométrico de las diferentes piezas que conformaran el sistema.**

De esta manera, siguiendo esta línea de operación basada en la metodología BIM, será posible comprobar la geometría y establecer todos los datos necesarios para la construcción a modo de **generar un flujo que facilite la administración del proceso,** evitando errores técnicos y logísticos a la hora de llevar a cabo un proyecto con prefabricados de hormigón.

3.1. Requerimiento de Construcción de Obras que Utilizan Elementos Prefabricados

Como se mencionaba anteriormente, el desarrollo de un proyecto exitoso mediante la utilización de elementos prefabricados se basa principalmente en la verificación del calce de todas las piezas y la correcta administración y planificación del proceso constructivo, desde el transporte hasta el montaje de estas. Sin embargo, para conseguir esto se debe pasar por diferentes etapas que permitan culminar con las condiciones necesarias para lograr los objetivos propuestos. El siguiente listado da cuenta de estos, en donde se explica de manera general las importancias de cada proceso:

- **Diseño Estructural:** Posterior al trabajo de arquitectura, es necesario comenzar a definir el sistema estructural del proyecto a desarrollar, por ejemplo, decidir que elementos actuarán como piezas resistentes, distribuir cargas mediante vigas de conexión, y por supuesto, incluir armaduras en los diferentes componentes del sistema sismo-resistente. De esta manera, el diseño estructural aparece como el proceso necesario para construir de manera segura y económica con el fin de resistir las diversas solicitaciones a las cuales las piezas estarán sometidas.

Con las herramientas que brinda el análisis estructural y otras disciplinas (Mecánica de Sólidos, Dinámica, Ingeniería de Materiales, etcétera), será posible desarrollar estimaciones iniciales del tamaño de los elementos (lo que se conoce como el diseño preliminar de una estructura), para posteriormente determinar esfuerzos, reacciones, desplazamientos y deformaciones, los cuales deben oscilar dentro de los determinados rangos establecidos en las normas de diseño. Cabe destacar que ante resultados inaceptables se debe llevar a cabo un rediseño. A continuación se detalla de manera general este proceso:

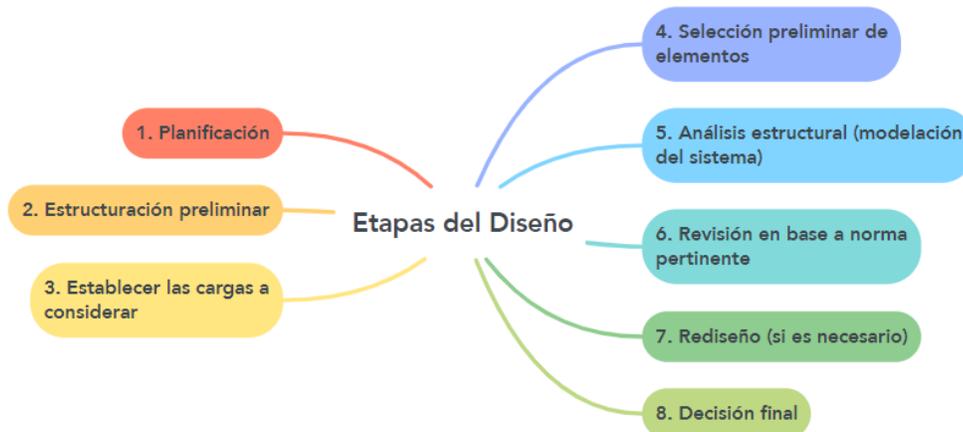


Figura 3.8: Etapas del diseño estructural. Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, se cuentan con diversos softwares que contribuyen al desarrollo y estimaciones previamente mencionadas (como ETABS, SAP200, entre otros), lo cual es acompañado del criterio del ingeniero a cargo del estudio. Dichos criterios están estrechamente relacionados con diversas variables, las cuales pueden estar ligadas con plazos,

costos, capacidades y el lugar de emplazamiento. La siguiente figura da cuenta de los principales factores a la hora de diseñar:



Figura 3.9: Variables del diseño estructural. Fuente: Elaboración propia.

Esta primera etapa debe ser realizada con la importancia correspondiente al proceso, dado que un buen diseño es la base de un proyecto seguro y eficiente.

- **Despiece en Elementos Prefabricados:** Cuando ya se conoce el sistema estructural de un proyecto, lo que sigue es dividir los componentes de este en secciones manejables y fabricables que se construirán en plantas de producción anexas a la obra, o en algunos casos, dentro de la misma faena. El despiece incluirá elementos, tales como vigas, columnas, losas y en algunos casos fundaciones, dependiendo de la envergadura (principalmente peso) de estas últimas.

El despiece dependerá de diversos factores, los cuales se detallan en la figura 3.10:



Figura 3.10: Variables a considerar en el despiece. Fuente: Elaboración propia.

De estas últimas consideraciones se entiende que dependiendo de cada proyecto la decisión a la cual se llegue será diferente. Por ejemplo, dependiendo de la maquinaria y experiencia con que se cuente en montaje, las consideraciones de tolerancias (lo cual se entiende como el error permitido a la hora de confeccionar elementos) influirán en que tan exhausto será el despiece, existiendo la posibilidad de necesitar seccionar aún más el sistema con el fin de asegurarse que las piezas se ensamblen correctamente en el sitio de construcción. En otras palabras, este proceso irá de la mano con la calidad ofrecida por las empresas que construyan los prefabricados y las condiciones que impliquen en transporte de estos.

El despiece permitirá obtener uno de los tantos itemizados asociados a la parte civil de un proyecto, en donde se establecerá claramente que partes de la obra se realizarán en sitio (construcción tradicional) y cuáles serán prefabricados. A continuación, se presentará un ejemplo, el cual será detallado más adelante, a modo de introducir lo que podría ser el itemizado de la parte civil de un proyecto:

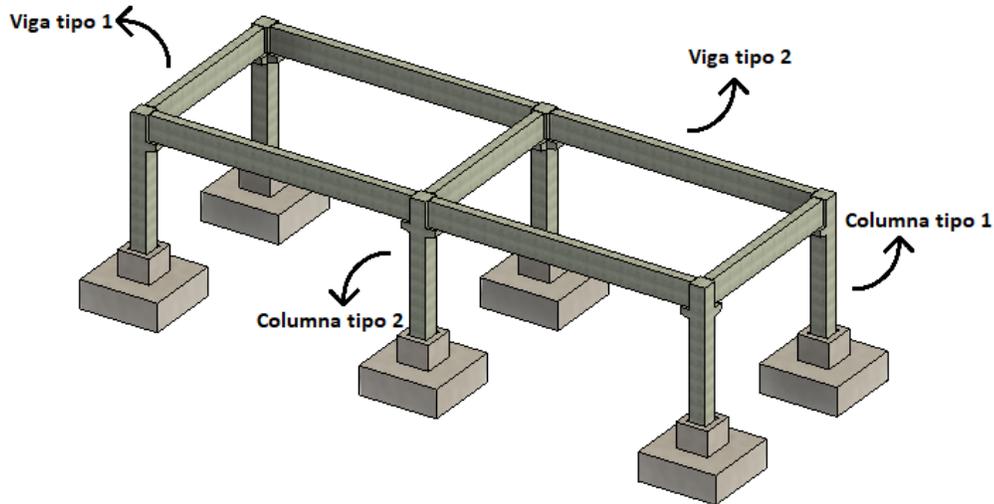


Figura 3.11: Ejemplo obra civil. Fuente: Elaboración propia.

En base a este esquema, se propone el siguiente ítem para el estudio del proyecto:

Tabla 3.1: Ejemplo itemizado obras civiles. Fuente: Elaboración propia.

A.1. OBRAS CIVILES					
A.1.1	Excavación Masiva	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
A.1.1.1	Escarpe	m3	-	-	-
A.1.1.2	Excavación masiva en suelo común	m3	-	-	-
A.1.2. Rellenos					
A.1.2.1	Relleno masivo	m3	-	-	-
A.1.2.2	Relleno estructural compactado	m3	-	-	-
A.1.3. Movimiento de tierras para instalación de cañerías					
A.1.3.1	Excavación en zanja	m3	-	-	-
A.1.4. Armaduras					
A.1.4.1	Enfierradura ASTM A630-420H	kg	-	-	-
A.1.4.2	Colocación de Enfierradura ASTM A630-420H	kg	-	-	-
A.1.5. Emplantillado					
A.1.5.1	Hormigón grado G5 - emplantillado	m3	-	-	-
A.1.6. Hormigón estructural en sitio					
A.1.6.1	Moldaje, fundaciones	m2	-	-	-
A.1.6.2	Hormigón grado G35 fundaciones	m3	-	-	-
A.1.7. Hormigón estructural prefabricado					
A.1.7.1	Pilar tipo 1 G35	m3	-	-	-
A.1.7.2	Pilar tipo 2 G35	m3	-	-	-
A.1.7.3	Viga tipo 1 G35	m3	-	-	-
A.1.7.4	Viga tipo 2 G35	m3	-	-	-

De esta última tabla, se puede notar que al material de hormigón se le asocian dos

partidas, esto dado que, dependiendo del proyecto, las fundaciones pueden ser materializar en terreno, mientras que el resto de elementos pueden ser prefabricados en plantas anexas al sitio de construcción. Estas consideraciones pueden tener distintas opciones dependiendo del estudio logístico y las condiciones económicas que este implique.

- **Diseño Elementos Prefabricados:** El diseño estructural como tal de los elementos prefabricados ya estará considerado desde la primera fase previamente mencionada, cuya culminación es fundamental para garantizar la estabilidad, seguridad y resistencia de la estructura en su conjunto.

Cuando un proyecto se quiere llevar a cabo con la utilización de prefabricados, más allá del diseño de las piezas como tal (definir secciones transversales, establecer la cantidad de acero de refuerzo de cada elemento e identificar los materiales a utilizar y sus especificaciones pertinentes), es necesario también incluir los detalles asociados a conexiones y el proceso de montaje, es decir, el diseño de estos últimos.

En primer lugar, las conexiones deben diseñarse para resistir las fuerzas de carga y proporcionar una transferencia segura y eficiente de estas entre los diferentes elementos. Esto puede implicar el uso de diferentes tipos de conexiones, ya sean de tipo húmedas, secas o híbridas (elementos postensados). También, cabe destacar que se deben considerar conexiones provisoras, en caso de que ocurra algún inconveniente a la hora de estar montando, como puede ser un sismo o fuertes vientos dependiendo de la zona donde se este emplazando la estructura.

En segundo lugar, el diseño del montaje y ensamblaje de los elementos prefabricados debe facilitar la instalación eficiente y segura en el sitio de construcción. Esto puede implicar el diseño de elementos de izajes, agujeros en las piezas para el paso de eslingas o cinchas, guías de montaje, alineación precisa y sistemas de elevación que permitan el montaje rápido y preciso de los elementos.

- **Fabricación de Elementos Prefabricados:** La descripción de las etapas anteriores culmina con la confección de las fichas técnicas en donde se detallaran al más mínimo detalle los aspectos de las diferentes piezas, ya sean dimensiones, consideración de refuerzos, tolerancias, holguras, entre otros. Con dichas fichas ya es posible confeccionar o fabricar estos elementos, ya sea en las propias plantas de las empresas que ofrezcan el servicio de prefabricado, o en las mismas obras, según lo amerite cada caso.

La fabricación de los elementos puede variar según las herramientas y experiencias de las prefabricadoras, sin embargo, el procedimiento general está descrito al menos por las siguientes etapas:



Figura 3.12: Etapas de la fabricación de elementos prefabricados de hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.

Tal como se mencionaba anteriormente, las etapas expuestas pueden variar según quien las elabore, en donde las principales componentes que influirán en los procesos serán: el espacio disponible, las máquinas y herramientas con que cuenten los fabricantes y la experiencia de quienes conformen la mano de obra. A continuación, se exponen algunas de las tecnologías con que actualmente cuenta el rubro que confecciona este tipo de elementos: [9]



Figura 3.13: Encofrado para vigas y columnas. Fuente: Página web Elematic Precast Technology.



Figura 3.14: Distribuidor de concreto. Fuente: Página web Elematic Precast Technology.



Figura 3.15: Cámara de curado automático y control de humedad. Fuente: Página web Elematic Precast Technology.



Figura 3.16: Sistema para tensar los cables de refuerzo del elemento pretenso. Fuente: Página web Elematic Precast Technology.

- **Almacenamiento y Transporte de Elementos Prefabricados:** El almacenamiento y transporte de elementos prefabricados de hormigón requiere una planificación bastante cautelosa para garantizar que lleguen al sitio de construcción en condiciones óptimas para su instalación. Ambos procedimientos repercutirán directamente en el desarrollo del proyecto, dado que de estos dependerá el orden de la construcción.

Después de la fabricación, los elementos se almacenan en la planta de producción o en la obra donde se emplazarán, dependiendo de las decisiones de los proyectistas. Este proceso, para asegurar un posterior despacho sin problemas de logística, debe considerar la organización de los componentes en áreas designadas según su tipo, tamaño y forma (asociando un código o nombre de clasificación), con el fin de facilitar la identificación y seguir de manera sencilla el orden de despacho. También es importante destacar que se deben tomar medidas para proteger los elementos de la intemperie, ya que la humedad u otros factores pueden incidir directamente en la calidad del producto.

En cuanto al transporte, en primer lugar, se debe tener en consideración la utilización de materiales de embalaje, como plásticos, envolturas o correas para asegurar los elementos. Ahora, en cuanto al despacho como tal, es común contar con camiones tipo cama baja, sin embargo, dependiendo de la envergadura de los prefabricados, se podrían utilizar diferentes medios de transporte. La figura 3.17 da cuenta de este proceso, en donde el chasis del cama baja es reemplazado por el elemento transportado.



Figura 3.17: Transporte de viga prefabricada de hormigón. Fuente: Página web Indaico.

A su vez, es de suma importancia la consideración de las diferentes regulaciones locales y nacionales de seguridad vial y carga. En el caso de Chile se debe ajustar a lo dictaminado por el Ministerio de Obras Públicas en el Decreto Supremo N°158. Para seguir las diferentes consideraciones instauradas en el documento descrito, se debe conocer en detalle el peso y las dimensiones de cada elemento prefabricado a transportar, es por esto que resulta importante la ubicación de cada uno de los elementos que serán instalados.

- **Montaje:** En cuanto se disponga de los elementos prefabricados en terreno, estos deben ser instalados según la planificación correspondiente, para así evitar aglomeración de piezas en los lugares de trabajo, lo cual también permitirá mitigar los errores asociados a la ubicación asignada para cada elemento que va llegando.

Para el montaje propiamente tal, se debe disponer de los planos de dicho procedimiento, donde se podrá encontrar la información sobre largos y pesos. Con estos documentos, será posible seleccionar de manera previa la maquinaria y personal a disponer.

En cuanto a las máquinas, en general se opta por grúas móviles capaces de llevar a cabo el trabajo de descarga y montaje de las diferentes partes de la estructura. Se debe tener en cuenta que estos equipos cuentan con facilidad de movimiento, capacidad de cambiar de posición rápidamente y que su poder de carga sea lo suficiente. En cuanto a detalles más técnicos, los criterios mínimos a considerar a la hora de elegir una grúa son los siguientes:

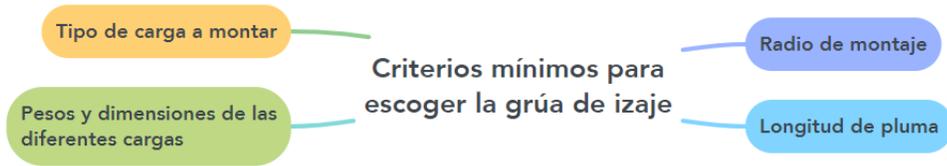


Figura 3.18: Criterios mínimos para la elección de grúa de montaje. Fuente: Elaboración propia.

Bajo estas consideraciones, normalmente se opta por la utilización de grúas telescópicas, dada su capacidad de carga como por su versatilidad de uso y la de sus aparejos. La figura 3.19 da cuenta de la utilización de este tipo de máquinas.



Figura 3.19: Utilización de grúas telescópicas para el montaje de piezas prefabricadas. Fuente: Página web Tensacon.

Respecto al personal, se deberá contar con cuadrillas capacitadas para este proceso, en donde la cantidad de trabajadores variara dependiendo de la complejidad del proyecto. Por lo general, cada frente cuenta con tres o más personas, dentro de los cuales se considera el operario de la grúa y quienes manipulan los elementos de manera física para asegurar el calce (montadores). Respecto a estos últimos, para trabajos en altura se requerirá de plataformas elevadoras móviles, más conocidas como alza hombres.

Normalmente, cuando se habla de montaje, se debe tener en cuenta que se estarán movilizandocomponentes de varias toneladas, es por esto que las maniobras serán de alto riesgo, lo cual implica diversas consideraciones, tales como: supervisión y trabajo en conjunto con prevencionistas, contar con plataformas niveladas y accesos adecuados para el paso y la instalación de maquinarias, evitar procesos que impliquen vibraciones en las zonas de emplazamiento (como compactar rellenos) y por último, contar con los

certificados y/o exámenes de los trabajadores para la manipulación de maquinaria y trabajo en altura.

- **Conexiones Provisorias Durante Montaje:** Al momento en que dos o más elementos prefabricados se conecten, será necesario contar con un sistema de anclaje provisorio, es decir, elementos que permitan mantener unidas las piezas desde que son montados hasta que se realice la conexión final, esto pensando en cualquier imprevisto, como puede ser un sismo.

De esta manera, se buscará asegurar temporalmente la estabilidad de las estructuras prefabricadas, para lo cual existen diversos mecanismos, en donde se espera que estos sean principalmente flexibles y fáciles de instalar (como uniones con ménsulas o uniones machihembrado). Por ejemplo, la unión temporal de vigas y columnas se podría materializar con barras longitudinales conocidos como pivotes (unión machihembrado). La figura 3.20 da cuenta de esto, en donde las ménsulas del pilar reciben a las vigas con varillas de acero para hacer el calce y asegurar la estabilidad.

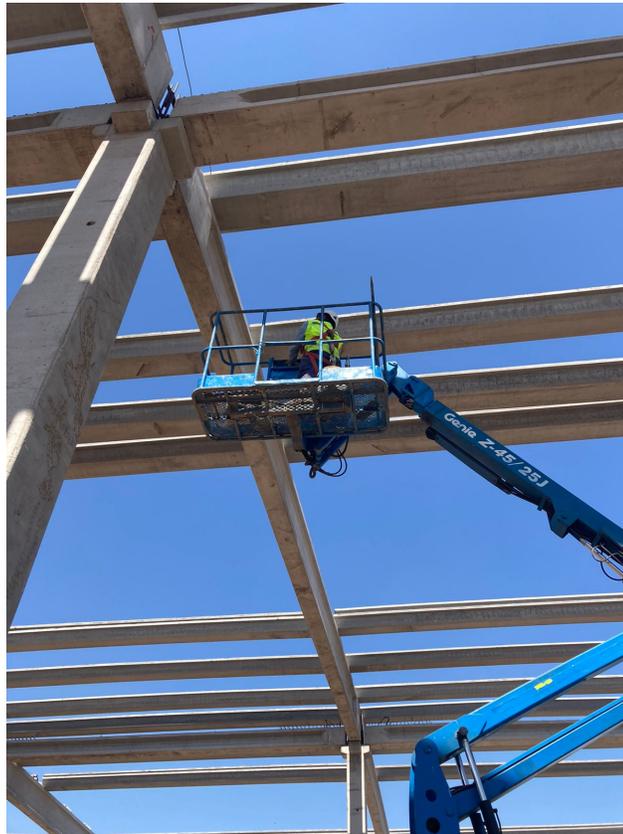


Figura 3.20: Ejemplo de uniones provisorias. Fuente: Imagen propia, visita a terreno galpón Fruna, empresa a cargo Preansa.

- **Conexiones Definitivas:** Las conexiones definitivas son aquellas que se instalan una vez finalizada la fase de montaje y con el objetivo de unir de manera permanente las diferentes piezas prefabricadas entre sí. Estas son diseñadas e instaladas para proporcionar una unión sólida y duradera entre los elementos prefabricados.

En un sistema prefabricado, las principales responsables de mantener la estructura estable serán las diferentes conexiones que este presente, dado que la materialización de las uniones permitirá transferir las cargas desde una pieza a la otra. Es por esto que la conexión entre dos elementos debe considerar factores asociados a la transmisión de los diferentes esfuerzos (corte, momento, tracción y compresión) a los que la infraestructura pueda estar sometida debido a la acción de todo tipo de cargas, ya sea durante y después del montaje.

Con base en esto, se debe entender que la unión de los elementos es uno de los aspectos críticos a considerar, tanto en el diseño, fabricación y construcción de la estructura. Se requiere un enfoque integral y una atención meticulosa a los detalles con el fin de asegurar la resistencia sísmica de la estructura, especialmente en un país como Chile. Esto con el fin de que las estructuras prefabricadas puedan proyectarse para tener resistencia, rigidez y ductilidad similar o mejor a la de un sistema hormigonado in situ.

3.2. Maqueta Virtual con la Metodología BIM

En este capítulo, se explorará el papel fundamental que desempeñan las maquetas virtuales de estructuras prefabricadas dentro del marco de la metodología BIM. Se analizará cómo esta tecnología entrega otro enfoque sobre la industria de la construcción, permitiendo un desarrollo óptimo con el mínimo de interrupciones debido a problemas con la administración del proyecto.

Antes de introducirse en los modelos como tal, es importante entender el concepto de implementar la metodología BIM en la construcción elementos prefabricados de hormigón. Para esto, en primer lugar, se debe manejar el concepto de flujo del proyecto. Dentro de este flujo, se abarcan principalmente tres fases de trabajo, las cuales a su vez, engloban todas las etapas descritas en el subcapítulo 3.1. Estas áreas quedan descritas en el siguiente esquema:

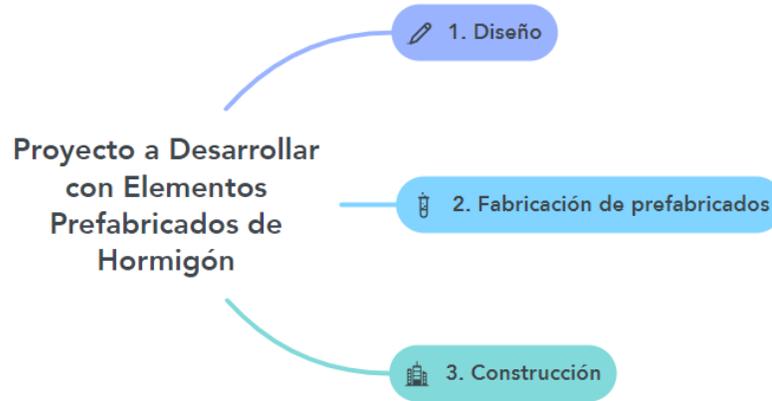


Figura 3.21: Flujo de desarrollo de un proyecto basado en elementos prefabricados de hormigón. Fuente: Elaboración propia.

De esta última figura, es importante destacar que a pesar de que la fabricación se entienda como una fase previa a la construcción, ambas se pueden ejecutar de manera simultánea, dado que mientras se realiza el montaje de las piezas que estén listas para su instalación, se puede seguir confeccionando en planta el resto de elementos que serán despachados acorde a la planificación.

Ahora, BIM se hará presente una vez se cuente con la información arquitectónica y estructural, es decir, cuando se haya finalizado el diseño, con el fin de generar la línea de producción continua desde que el fabricante de piezas tome el proyecto hasta que los encargados de montaje instalen los elementos.

Basándose en esto, los modelos que se presentaran a continuación, son confeccionados a partir de planos existentes, tanto de arquitectura como de ingeniería.

3.2.1. Ejemplo de Aplicación

Como se introducía en el subcapítulo anterior, el ejemplo de aplicación corresponde a un sistema básico de piso conformado por fundaciones, vigas y columnas (figura 3.11), siendo solo estos dos últimos elementos prefabricados, ya que la zapata se proyecta a construir directamente en terreno de manera tradicional.

A modo de presentar el modelo, los elementos estructurales son identificados por tipo, según sus características estructurales. La siguiente tabla resume tipología, identificación por tipo y cantidad:

Tabla 3.2: Identificación y cantidades elementos ejemplo de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Viga Tipo 1	Viga Tipo 2	Columna Tipo 1	Columna Tipo 2
ID Tipo	VT1	VT2	CT1	CT2
Cantidad	3	4	4	2

Conociendo esto, se presenta el despiece del sistema en cada uno de sus elementos:

- **Viga tipo 1 y 2:** Ambos elementos se presentan de manera conjunta, dado que provienen de la misma familia, ya que el único parámetro que difiere entre ambos tipos es la longitud de estos, siendo 5,45 m para la VT1 y 8,45 m para la VT2.

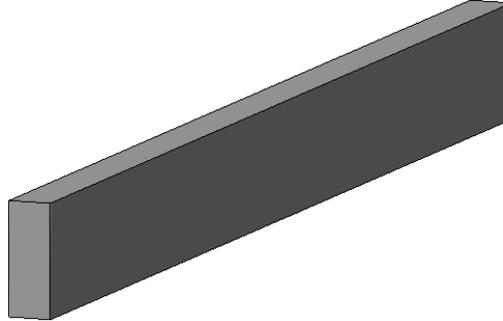


Figura 3.22: Elemento familia “VIGA” para tipo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

The screenshot shows a software dialog box titled "Propiedades de tipo" (Type Properties) for a beam element. The "Familia" (Family) is set to "VIGA" and the "Tipo" (Type) is "VT1". The "Parámetros de tipo" (Type Parameters) table is as follows:

Parámetro	Valor
Restricciones	
Elevación por defecto	0.00
Materiales y acabados	
MATERIAL VIGA	Hormigón, prefabricado
Cotas	
LARGO	5450.00
Datos de identidad	
Imagen de tipo	
Nota clave	
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	
URL	
Descripción	
Código de montaje	
Costo	
Descripción de montaje	
Marca de tipo	
Número OmniClass	

At the bottom of the dialog, there are buttons for "<< Vista previa", "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar". A link for "¿Qué hacen estas propiedades?" is also present.

Figura 3.23: Propiedades de tipo para VT1. Fuente: Elaboración propia.

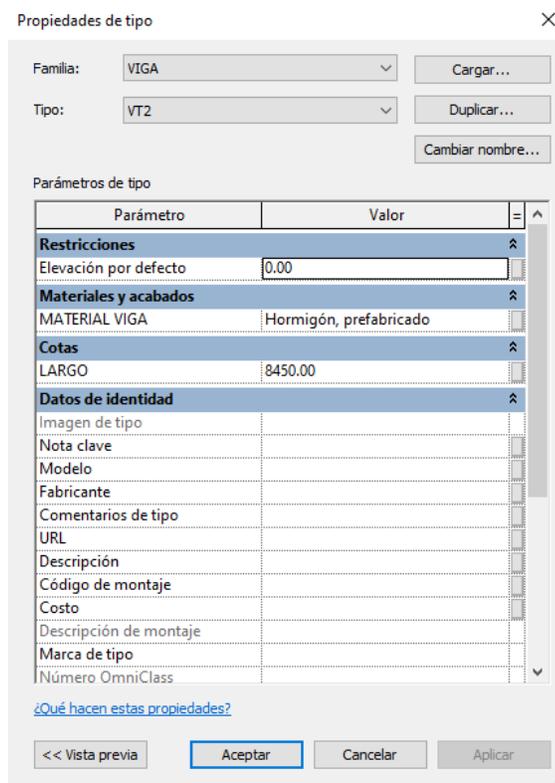


Figura 3.24: Propiedades de tipo para VT1. Fuente: Elaboración propia.

De las figuras 3.23 y 3.24 se observa que los parámetros “Materiales y acabados” y “Cotas” definen la longitud y el tipo de material a utilizar para cada pieza, respectivamente.

- **Columna tipo 1:** Esta columna (o pilar) se caracteriza por ser el soporte de esquina del sistema, por ende presenta dos ménsulas con sus respectivas líneas de centro ortogonales entre sí.

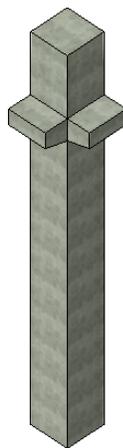


Figura 3.25: Elemento familia “PT1” para CT1. Fuente: Elaboración propia.

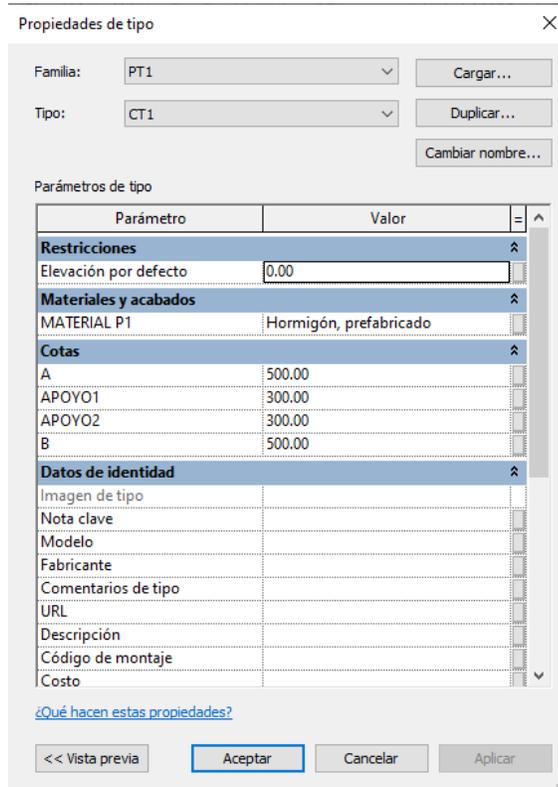


Figura 3.26: Propiedades de tipo para CT1. Fuente: Elaboración propia.

De la figura 3.26 se observa que en este caso la familia se parametriza en función de las dimensiones de su sección transversal (lados A y B) y los anchos de cada ménsula.

- **Columna tipo 2:** En este caso son tres las ménsulas que presenta el pilar, con la finalidad de poder recibir las vigas centrales y perimetrales del sistema.

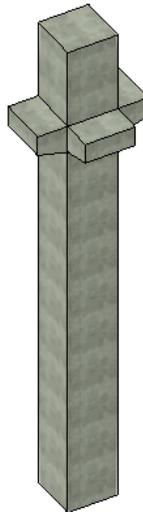


Figura 3.27: Elemento familia “PT2” para CT2. Fuente: Elaboración propia.

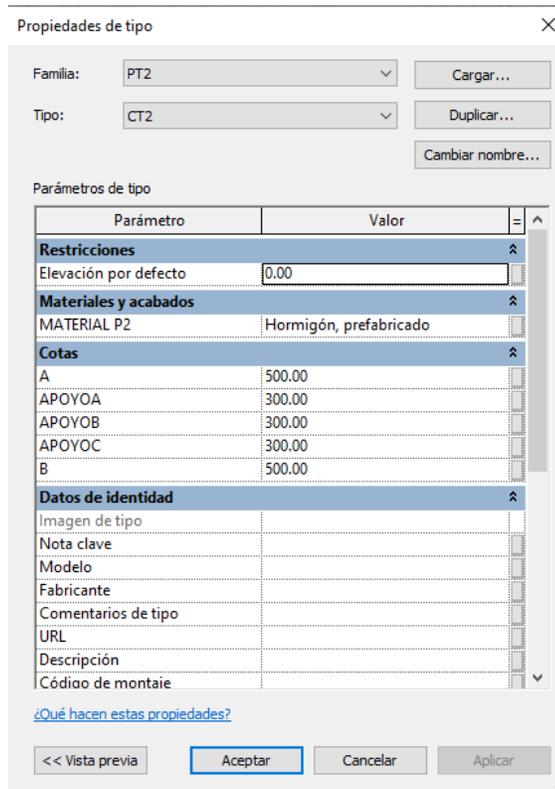


Figura 3.28: Propiedades de tipo para CT2. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, como se indicaba, el sistema de cimentaciones está pensando para ser construido de manera tradicional, sin embargo, incorporar estos elementos de traspaso de carga en la maqueta virtual es bastante importante a la hora de pensar en el calce de las piezas, ya que todos los componentes verticales de este sistema deben ser empotrados a estos, por ende, es recomendable que las fundaciones sean parte del modelo. Este caso en particular, las zapatas son estructuras rectangulares con un cuello de recepción ubicado en el centro de gravedad de la sección transversal del bloque de apoyo:

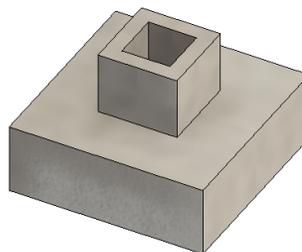


Figura 3.29: Fundación del sistema estructural. Fuente: Elaboración propia.

Como esta parte no implica el uso de prefabricados, el parámetro “Materiales y acabados” cambia tanto para el bloque de apoyo como para el cuello de recepción, como se distingue en las figuras 3.30 y 3.31:

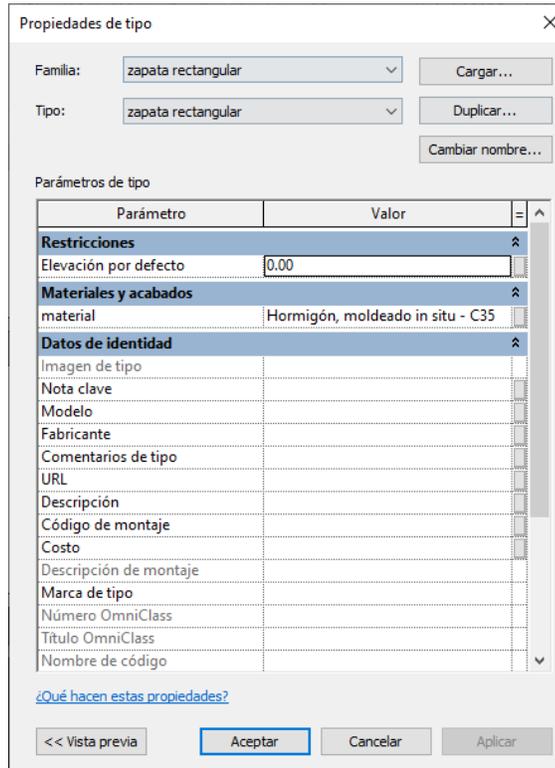


Figura 3.30: Propiedades de tipo bloque de apoyo rectangular fundaciones.
Fuente: Elaboración propia.

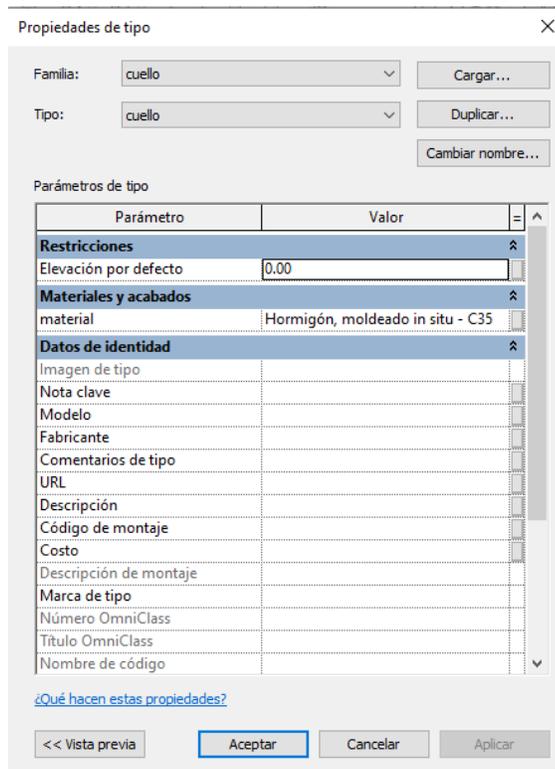


Figura 3.31: Propiedades de tipo cuello fundaciones. Fuente: Elaboración propia.

Lo que sigue al despiece del sistema, es armar y unir los diferentes elementos que conforman a este, a modo de instruir un orden cronológico de montaje y asegurar el calce de todas las piezas involucradas en cada paso. La figura 3.32 da cuenta de un procedimiento general para montar la estructura, en donde las diferentes etapas que surgen a partir de la maqueta virtual van asegurando paulatinamente el encaje de los componentes estructurales.

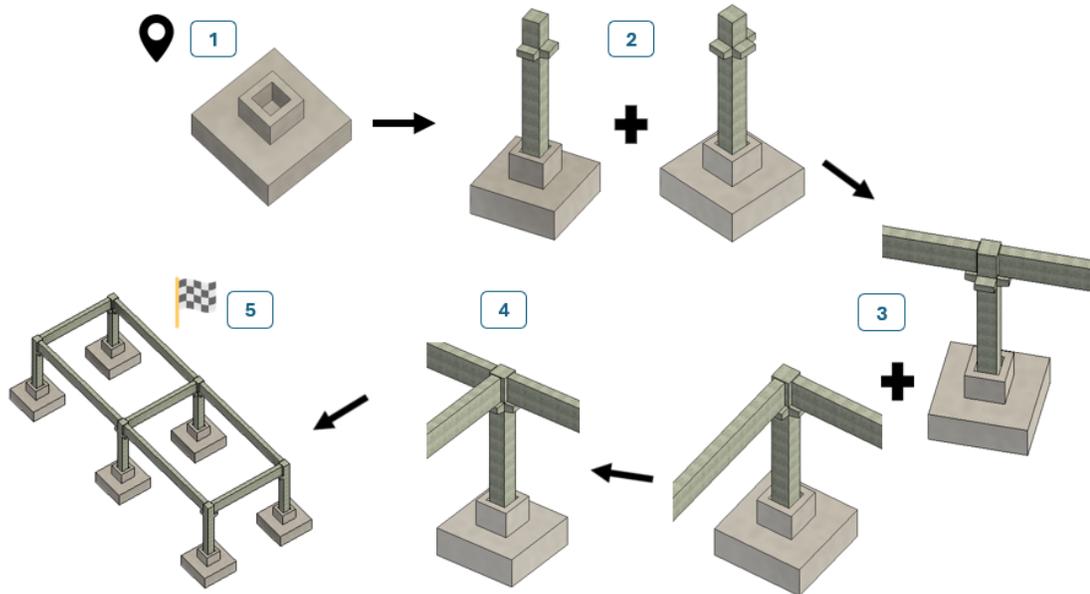


Figura 3.32: Proceso constructivo del ejemplo de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

Más allá de la contribución visual que nos entrega el modelo hecho en Revit, la cual permite generar una primera impresión de un correcto ajuste entre los diferentes elementos, es posible asegurar que no hay interferencias geométricas y espaciales entre componentes, mediante las herramientas que brinda dicho software, lo cual asegura de manera sistemática el calce. La figuras 3.33 y 3.34 dan cuenta de esta verificación del modelo:

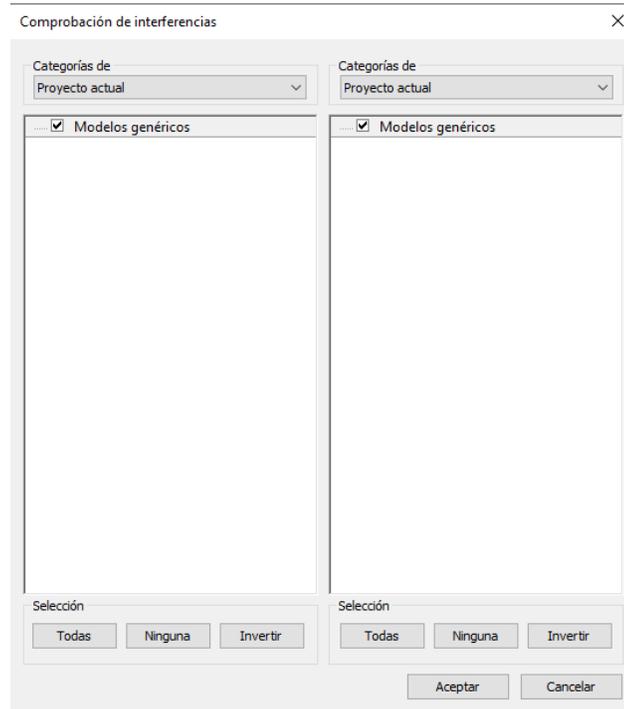


Figura 3.33: Prueba de interferencias de la maqueta virtual. Fuente: Elaboración propia.

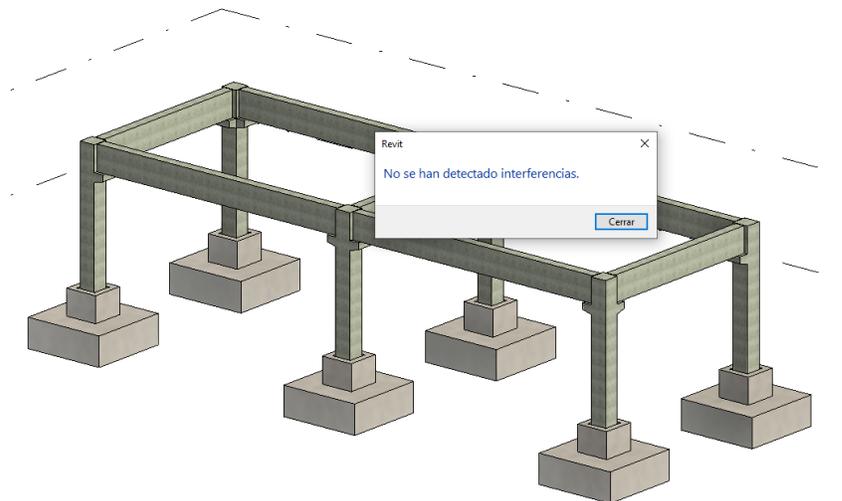


Figura 3.34: Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual. Fuente: Elaboración propia.

Ahora, a modo de ejemplo, el modelo 3D se altera con el fin de producir una interferencia y mostrar como el programa alerta de esto, lo cual podría resultar clave a la hora de estar estudiando un proyecto que englobe diversas especialidades (civil, piping, eléctrica, mecánica, etcétera). La siguiente figura muestra como Revit anticipa los errores en la maqueta:

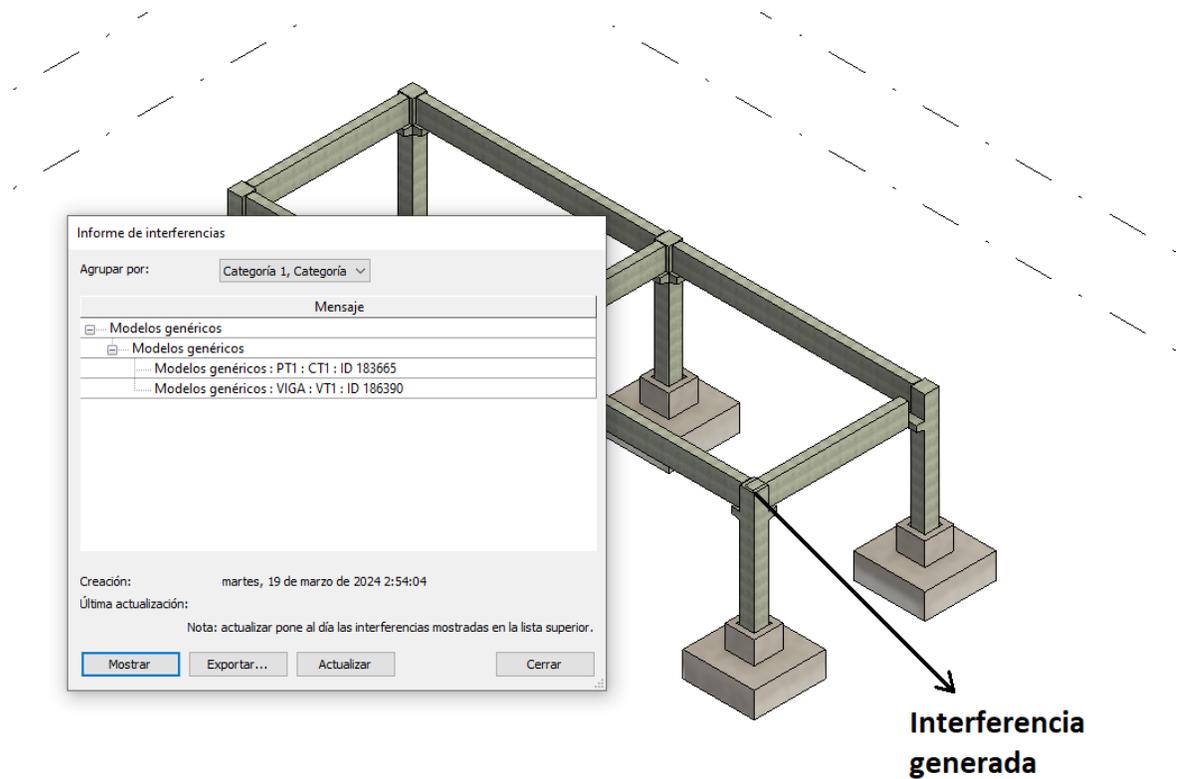


Figura 3.35: Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual alterada. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la revisión del calce de las piezas de hormigón, es de la misma importancia **corroborar el posicionamiento de las barras de refuerzo respecto a su geometría**, que además de su función estructural, permitirán el empalme de los elementos por medio de acero en espera (pivote). El sistema conformado para este caso se expone a continuación:

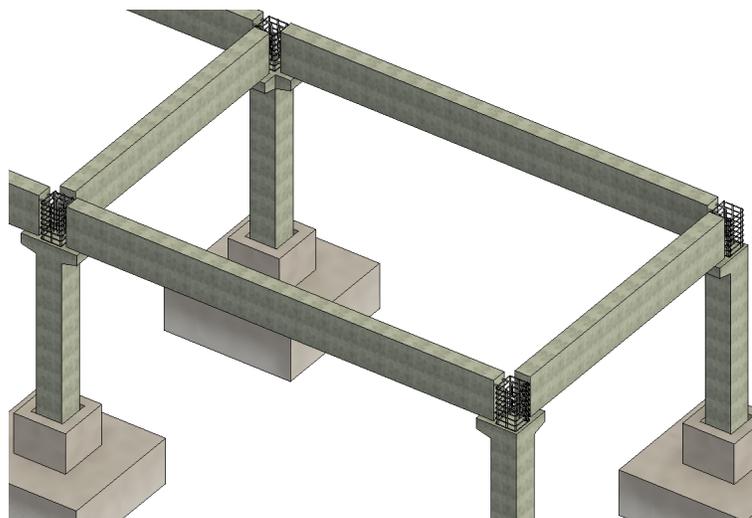


Figura 3.36: Sistema montado previo a conexión mediante hormigón en sitio. Fuente: Elaboración propia.

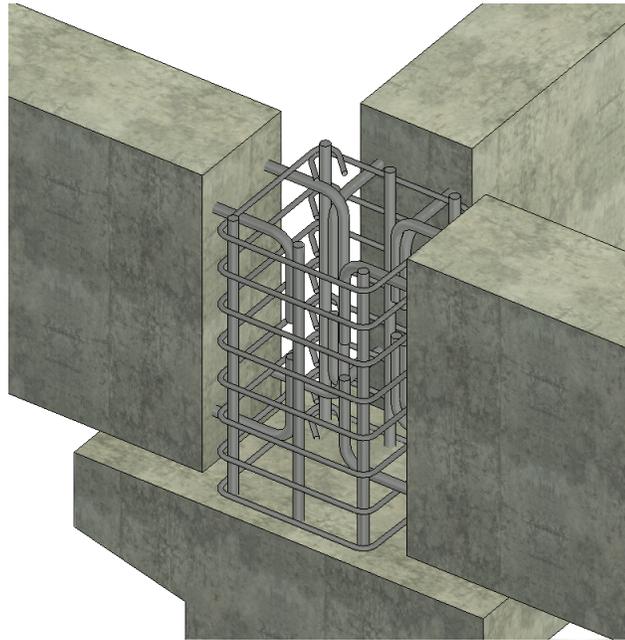


Figura 3.37: Empalme pilar central. Fuente: Elaboración propia.

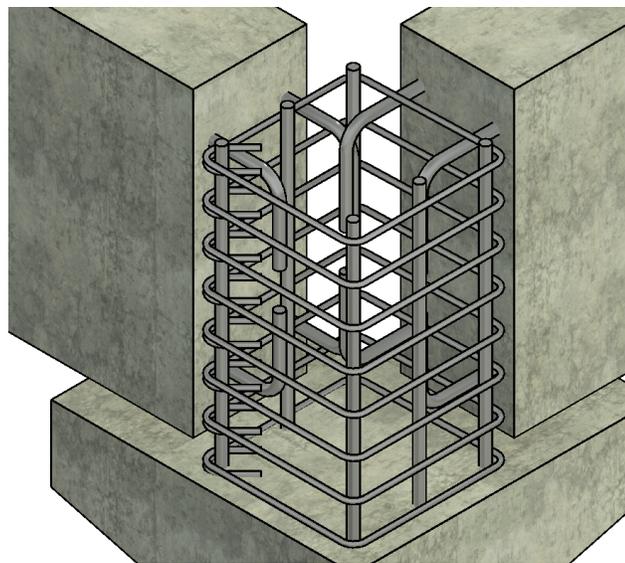


Figura 3.38: Empalme pilar de esquina. Fuente: Elaboración propia.

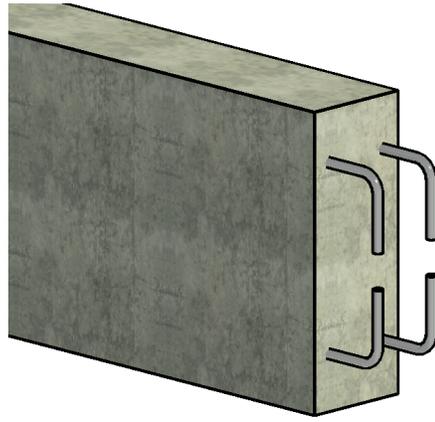


Figura 3.39: Aceros longitudinales de vigas. Fuente: Elaboración propia.

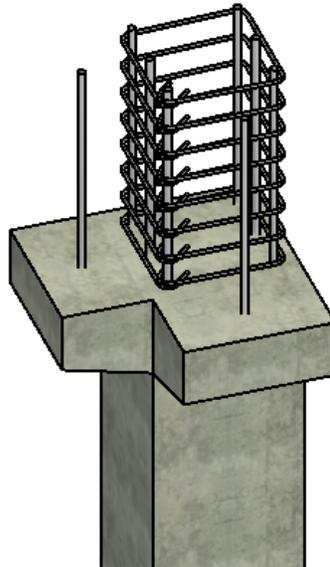


Figura 3.40: Pilar de esquina con aceros en espera, incluyendo pivote de recepción. Fuente: Elaboración propia.

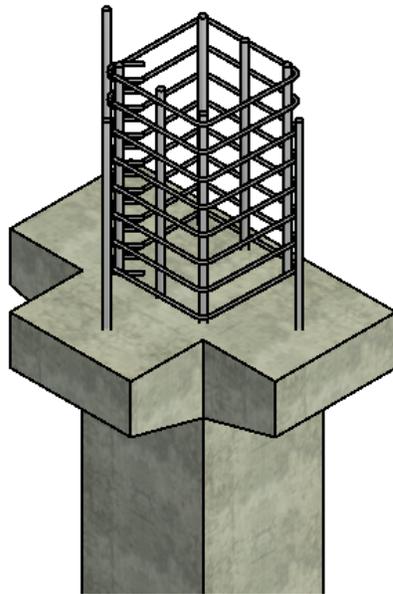


Figura 3.41: Pilar central con aceros en espera, incluyendo pivote de recepción. Fuente: Elaboración propia.

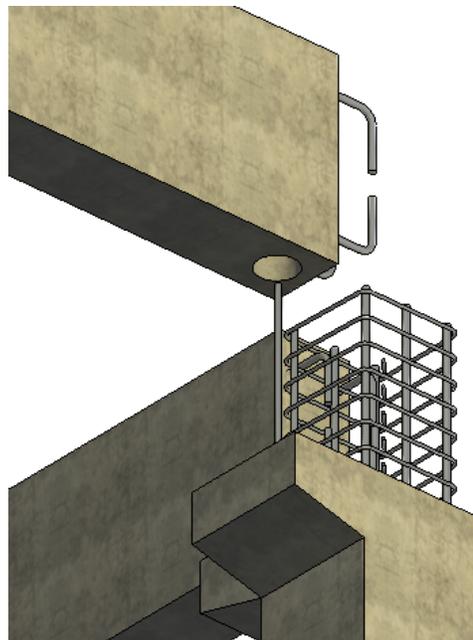


Figura 3.42: Ducto de empalme en viga, montaje referencial. Fuente: Elaboración propia.

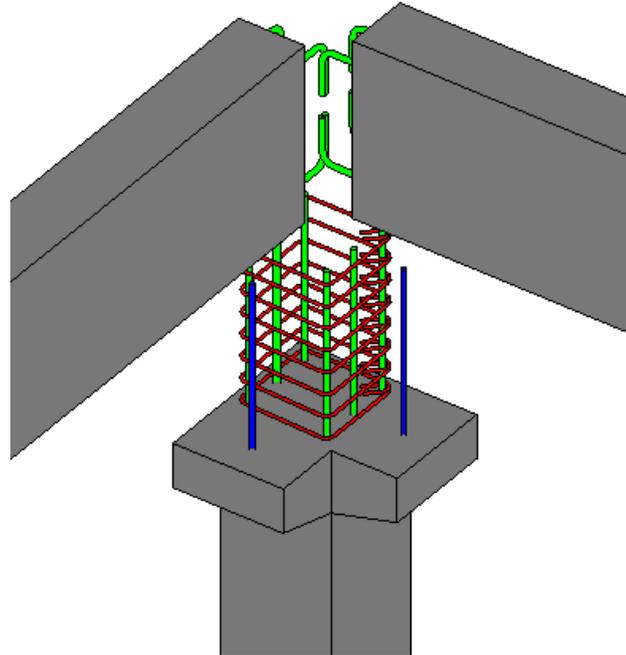


Figura 3.43: Identificación barras de acero según diámetro, montaje referencial. Fuente: Elaboración propia.

De esta última imagen (figura 3.43), sumado al análisis visual de calce y geometría, se observa que es posible identificar las barras según diámetro para facilitar el entendimiento de la disposición espacial y técnica. Respecto a esta misma, la categorización de este ejemplo queda dada por la siguiente información:

Tabla 3.3: Identificación aceros de refuerzo según diámetro. Fuente: Elaboración propia.

Diámetro	Color
12 mm	Rojo
22 mm	Azul
25 mm	Verde

Una vez confeccionado el sistema en Revit, se verifican las interferencias en caso de que los elementos asociados a las barras de refuerzo estén sobrepuestas unas con otras. Inmediatamente identificadas las interferencias, si fuera el caso, se pueden tomar medidas para corregirlas. Esto podría implicar ajustar la ubicación de las barras de refuerzo, cambiando su tamaño o forma, o modificando otros elementos del diseño para evitar conflictos. La figura 3.44 proporciona una representación visual del resultado de esta verificación, lo que permite a los diseñadores y constructores evaluar y abordar cualquier problema potencial antes de la construcción real.

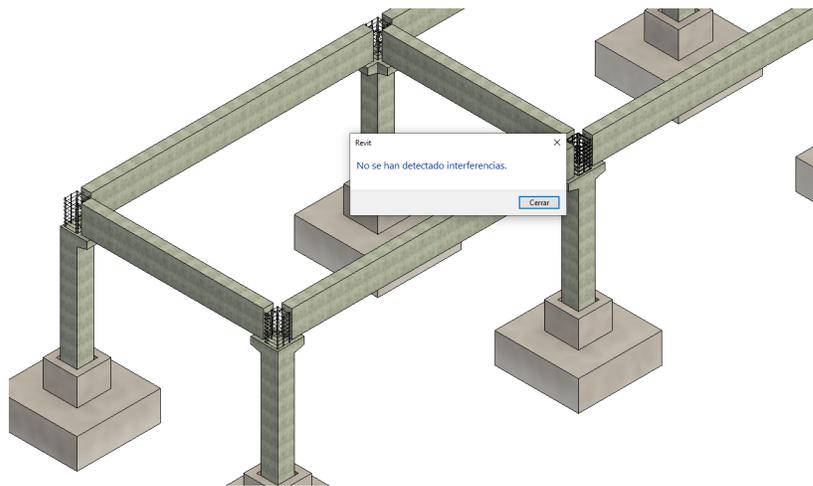


Figura 3.44: Barras de acero en espera para conexión húmeda, séptima imagen. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Estadio Monumental Arístides Bahamondes

El siguiente caso de estudio corresponde al Estadio Monumental Arístides Bahamondes, recinto deportivo ubicado en Chillan Viejo, Chile, construido en el año 1971 bajo las ordenanzas de Ministerio de Obras Públicas del país. Esta estructura, al igual que la anterior, cuenta con piezas prefabricadas en su totalidad, salvo las fundaciones, cuya materialización se llevó a cabo en terreno.

El sistema estructural consiste en una viga maestra con un soporte en “A” de apoyo y de arriostramiento posterior, en cuanto a las gradas, estas tienen sección de canoa y fueron pretensadas [11]. Las siguientes imágenes dan cuenta de como se conforma esta obra, incluyendo nuevamente las zapatas en el modelo BIM:

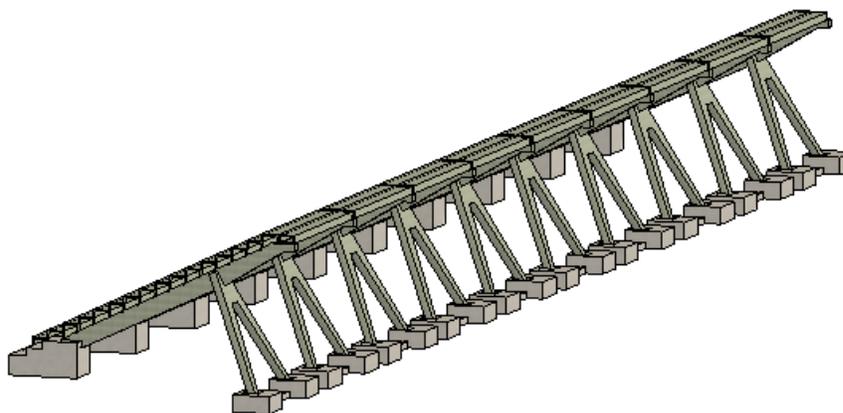


Figura 3.45: Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista sur. Fuente: Elaboración propia.

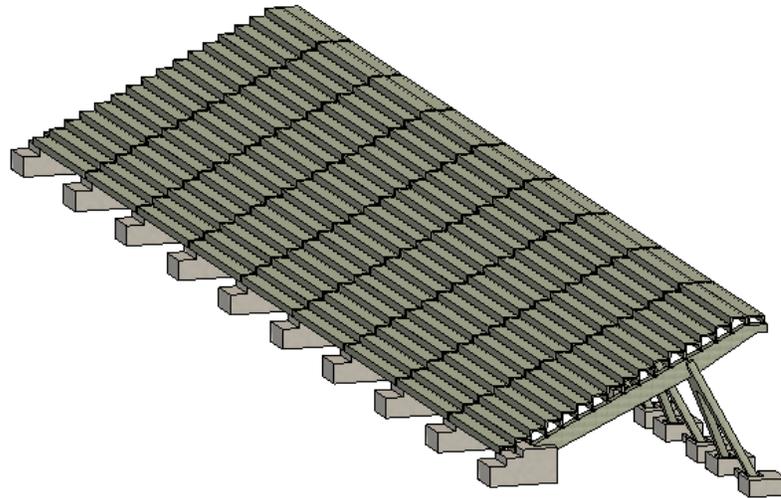


Figura 3.46: Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista norte. Fuente: Elaboración propia.

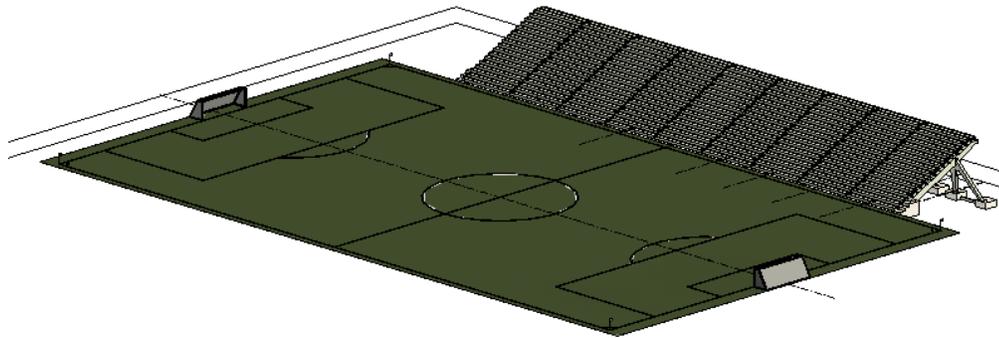


Figura 3.47: Maqueta virtual Estadio Monumental Arístides Bahamondes vista general. Fuente: Elaboración propia.

Para el despiece de la estructura, a diferencia del anterior, se debe tener en cuenta que en este caso solo hay un tipo de cada elemento, por lo tanto, no es necesario establecer una identificación por tipología para cada uno de ellos. Considerando esto, se presentan las piezas que conforman el sistema:

- **Viga:** Elementos de 9 Ton ubicados a una distancia de 8 m una de otra.

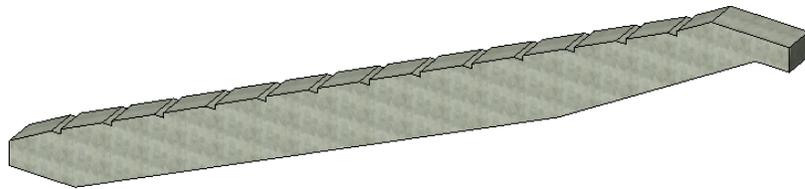


Figura 3.48: Elemento viga de soporte estructural (viga limón). Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de tipo

Familia: viga Cargar...

Tipo: viga Duplicar...

Cambiar nombre...

Parámetros de tipo

Parámetro	Valor
Restricciones	
Elevación por defecto	0.0
Materiales y acabados	
material viga	Hormigón, prefabricado
Cotas	
espesor	450.0
Datos de identidad	
Imagen de tipo	
Nota clave	
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	
URL	
Descripción	
Código de montaje	
Costo	
Descripción de montaje	
Marca de tipo	
Número OmniClass	

[¿Qué hacen estas propiedades?](#)

<< Vista previa Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3.49: Propiedades de tipo viga. Fuente: Elaboración propia.

De la figura 3.49 es posible distinguir el material (prefabricado) y parametrización, que en este caso quedó definido por el espesor de la viga.

- **Soporte en “A”:** Elementos de 5 Ton que sirven como apoyos de las vigas y además como arriostramiento posterior del sistema. Estas piezas se unen a las fundaciones mediante encaje con relleno de mortero.

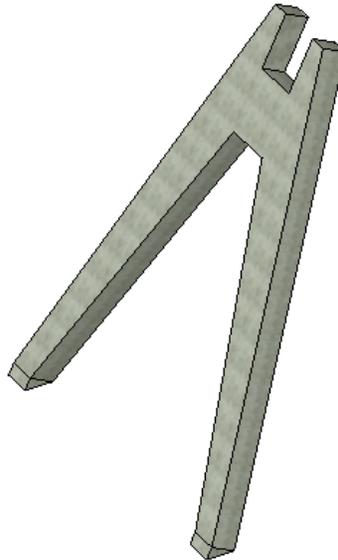


Figura 3.50: Elemento de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de tipo

Familia: apoyoA Cargar...

Tipo: apoyoA Duplicar... Cambiar nombre...

Parámetros de tipo

Parámetro	Valor
Restricciones	
Elevación por defecto	0.0
Materiales y acabados	
material apoyo	Hormigón, prefabricado
Cotas	
espesor	350.0
Datos de identidad	
Imagen de tipo	
Nota clave	
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	
URL	
Descripción	
Código de montaje	
Costo	
Descripción de montaje	
Marca de tipo	
Número OmniClass	

[¿Qué hacen estas propiedades?](#)

<< Vista previa Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3.51: Propiedades tipo de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede notar en la última figura, la materialidad para este elemento es la misma de la viga y nuevamente el parámetro utilizado es el espesor.

- **Gradas:** Piezas del tipo canoa, pretensadas con largos de 7,85 m cada una. El peso de estas es de 1,65 Ton.

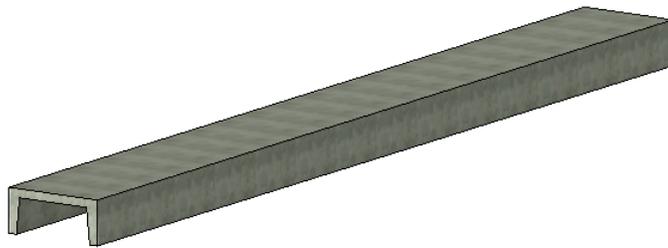


Figura 3.52: Elemento grada tipo canoa. Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de tipo

Familia: canoa Cargar...

Tipo: canoa Duplicar... Cambiar nombre...

Parámetros de tipo

Parámetro	Valor
Restricciones	
Elevación por defecto	0.0
Materiales y acabados	
material canoa	Hormigón, prefabricado
Cotas	
largo	7850.0
Datos de identidad	
Imagen de tipo	
Nota clave	
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	
URL	
Descripción	
Código de montaje	
Costo	
Descripción de montaje	
Marca de tipo	
Número OmniClass	

[¿Qué hacen estas propiedades?](#)

<< Vista previa Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3.53: Propiedad tipo de grada. Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, se mantiene el material utilizado, en cuanto a parámetros, en este caso se optó por definir el largo de la grada como dimensión principal en caso de querer modificar el tipo, tal como se observa en la figura 3.53.

Como ya se comentaba antes, incluir las cimentaciones en el modelo es un paso importante para el claro análisis de encaje. En esta situación se debe asegurar que el apoyo en “A” y la viga puedan descansar correctamente sobre las fundaciones, para luego depositar la cantidad pertinente de mortero en los espacios destinados. Según lo mencionado, se podrán distinguir dos tipos de zapatas según el elemento que estos reciban. Este par se puede observar en las figuras 3.54 y 3.55:

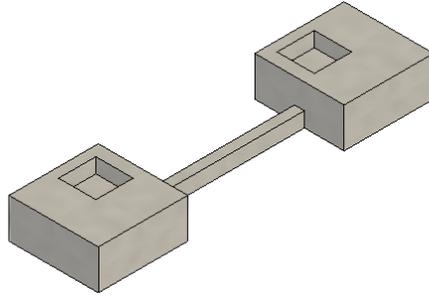


Figura 3.54: Fundación de apoyo en “A”. Fuente: Elaboración propia.

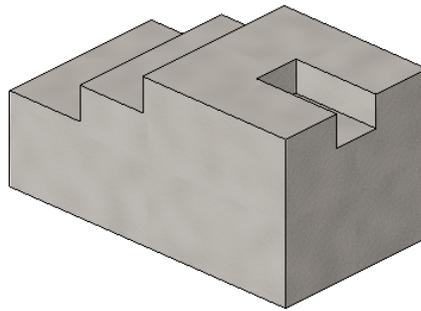


Figura 3.55: Fundación viga. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las propiedades de estas fundaciones, el material asociado a estos se debió crear en el modelo dado que las especificaciones indicaban resistencias de 22,5 MPa, como se distingue en las figuras 3.56 y 3.57:

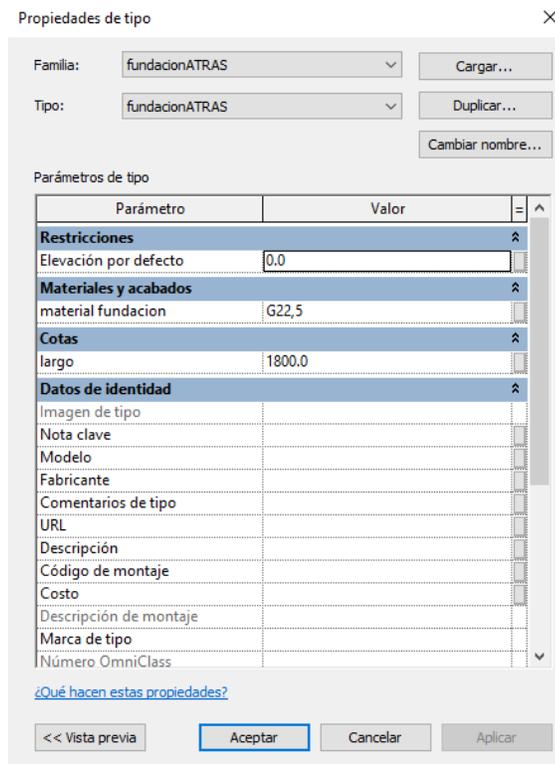


Figura 3.56: Propiedad tipo de fundación soporte en “A”. Fuente: Elaboración propia.

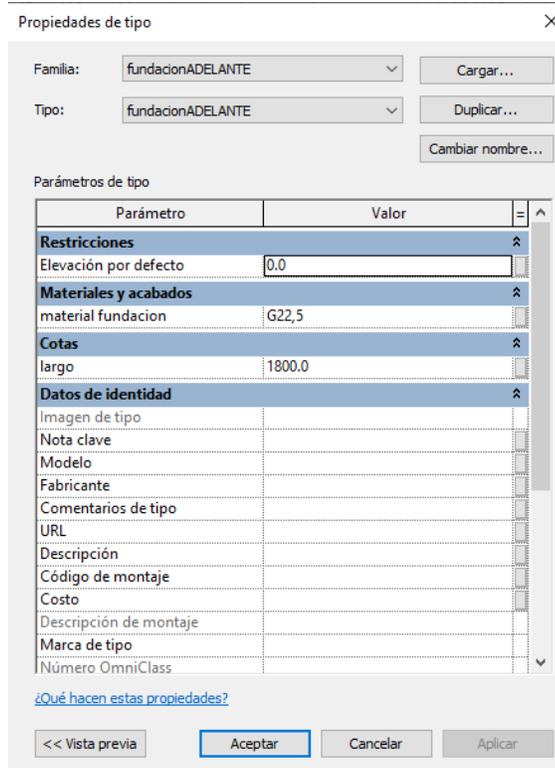


Figura 3.57: Propiedad tipo de fundación viga. Fuente: Elaboración propia.

Una vez presentado el despiece, es posible confeccionar la unión entre piezas en el orden respectivo a modo de obtener el resultado final del proyecto. La figura 3.58 da cuenta de esto:

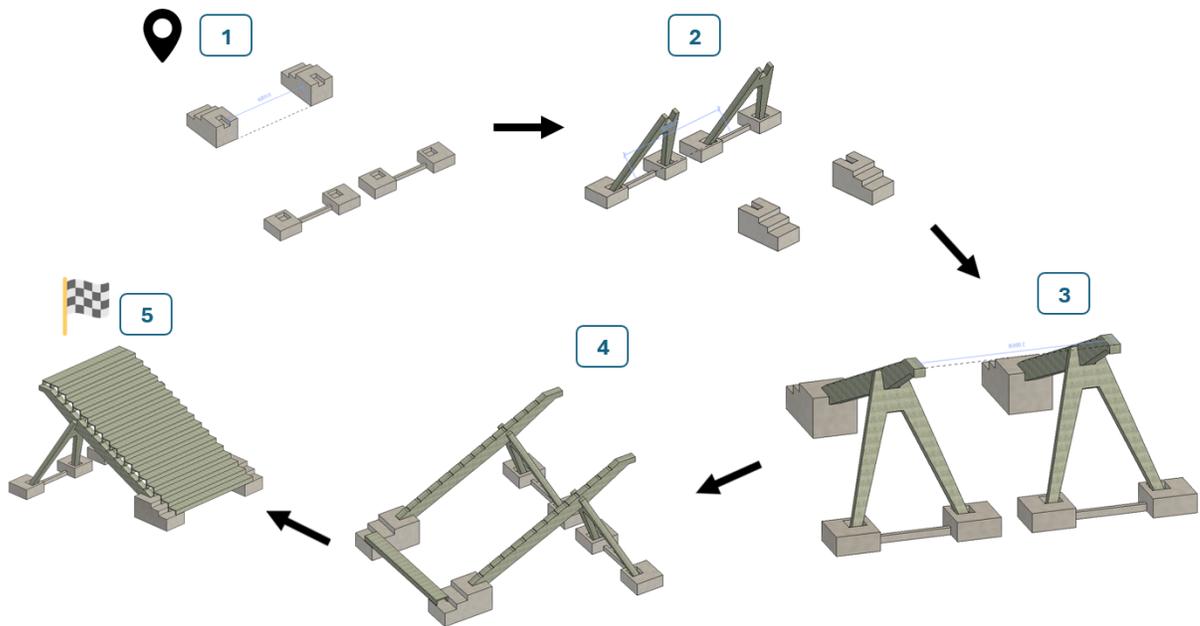


Figura 3.58: Proceso constructivo del estadio. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el ejemplo de aplicación, se corrobora que el modelo no presente interferencias, y por lo tanto, asegurar el calce con las diferentes dimensiones dispuestas en esta maqueta:



Figura 3.59: Resultado de la prueba de interferencias de la maqueta virtual para Estadio Chillan. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Administración de la Construcción

En el subcapítulo anterior, se estudió la geometría de las maquetas y cómo a través de estas se puede asegurar un correcto encaje del sistema prefabricado. Este procedimiento se podría entender como el primer paso para el desarrollo óptimo de un proyecto de prefabricados utilizando la metodología BIM, es decir, contar con el modelo 3D para visualizar la futura obra.

Ahora, más allá de disponer de una proyección virtual de la estructura, será necesario contar con información adicional a los parámetros geométricos, esta información deberá estar directamente relacionada con la **administración del proceso constructivo**.

De esta manera, dentro del mismo modelo 3D que facilita el análisis visual, se deberán incluir los detalles asociados a: identificación de elementos prefabricados, programación de fabricación, montaje y transporte y de manera simultánea a ambos procesos, la gestión de calidad (o control) de estos.

Es por aquello que el siguiente subcapítulo abordara las tres temáticas mencionadas, con el fin de cubrir cada uno de los procedimientos, ejemplificando en algunos casos con las maquetas virtuales presentadas anteriormente.

3.3.1. Identificación de Elementos Prefabricados

Dentro de una maqueta confeccionada con Revit, es posible asignar parámetros a los distintos elementos la componen (propiedad de ejemplar), estos pueden tener diferentes funciones, en este caso, a modo de asignar una identificación a cada elemento, se destina un parámetro del tipo texto, como se observa en la siguiente figura:

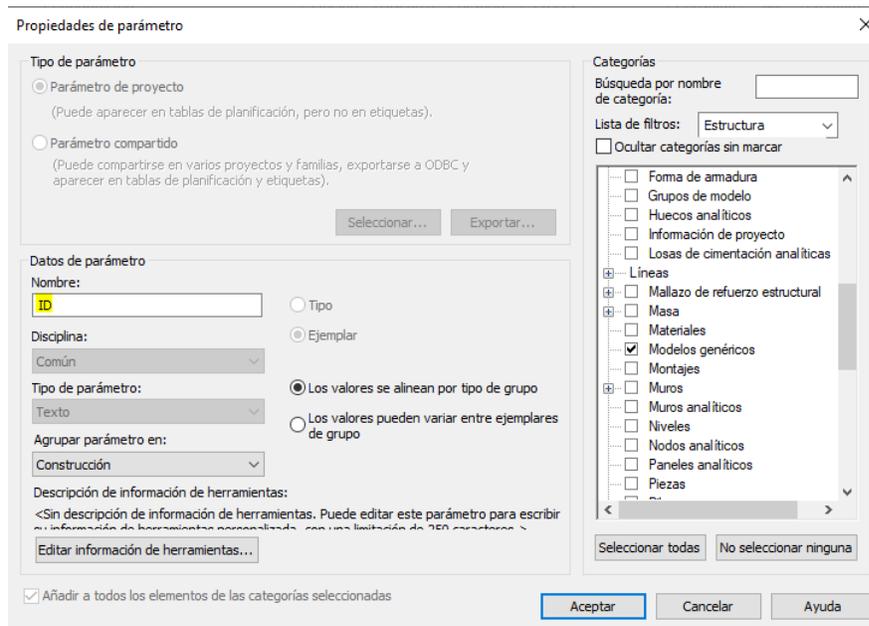


Figura 3.60: Asignación parámetro tipo texto a distintos elementos de un modelo en Revit. Fuente: Elaboración propia.

Ahora, a cada elemento, según el parámetro creado, se le podrá asignar la identificación (“ID” como muestra la figura 3.60) pertinente. A modo de visualizar esto, en el ejemplo de aplicación, cada viga y columna tendrá su propia “ID”, los códigos (o nombres designados) se pueden observar en el capítulo “Anexos” desde la figura A.1 hasta la A.13.

Esta asignación permitirá, desde la fabricación de los elementos hasta el montaje de las mismas, mayor claridad en la comunicación, localización un seguimiento más eficiente, evitar confusiones entre piezas y, sin duda, facilitará tanto la planificación como la coordinación de los procedimientos involucrados, sobre todo en grandes proyectos que involucren una diversidad de piezas, como podrían ser las graderías de un recinto deportivo, específicamente en los “codos” (parte curva del estadio) de estas instalaciones, cuyos elementos tendrán diferentes longitudes entre si dependiendo de la ubicación de cada una de estas.

Otra ventaja de identificar los elementos en el modelo BIM, es que se podrá extraer la cubicación directamente desde Revit, para cada una de las piezas que fueron designadas con un código o nombre. Siguiendo con el ejemplo de aplicación, se presenta la cubicación que realiza el software respecto a las “ID” asignadas:

<Cubicación elementos prefabricados>	
A	B
ID	Volumen
CT1_1	1.32 m²
CT1_2	1.32 m²
CT1_3	1.32 m²
CT1_4	1.32 m²
CT2_1	1.36 m²
CT2_2	1.36 m²
VT1_1	1.31 m²
VT1_2	1.31 m²
VT1_3	1.31 m²
VT2_1	2.03 m²
VT2_2	2.03 m²
VT2_3	2.03 m²
VT2_4	2.03 m²

Figura 3.61: Cubicación de los distintos elementos prefabricados del ejemplo de aplicación según “ID”. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Programación de Fabricación, Montaje y Transporte

A medida que se conozcan todas las piezas a prefabricar para un proyecto con sus respectivas fichas técnicas (que darán cuenta de la geometría, refuerzos e identificación de los elementos), será posible comenzar a planificar desde la fabricación hasta el montaje.

A priori, en un comienzo se pensará en la planificación del montaje, dado que esto permitirá adecuarse a los plazos fijados entre los participantes del proyecto. Luego, teniendo dichas estimaciones, se procederá a programar la fabricación y el transporte según las capacidades técnicas y espaciales de la empresa prefabricadora. Sin embargo, este proceso podría resultar ambiguo dependiendo de cada caso, dado que, en algunas circunstancias, la empresa prefa-

bricadora no necesariamente será la que monta las piezas, ya que estos últimos podrían ser otro contrato o subcontrato, por ende, en estos casos, la programación podría depender de uno o varios actores.

Como la etapa de programación (tanto de fabricación, montaje y transporte) podría ser una tarea compartida entre distintas empresas, más importante aún es incluir esta en la maqueta virtual, a modo de, nuevamente, generar transparencia y comunicación entre todos los que sean parte de dichos procesos, con la finalidad de evitar interrupciones en la obra.

Incluir programas en el modelo se puede hacer de diversas formas, una interesante que permite ir más allá del proceso cronológico, es la que facilita crear una simulación constructiva a partir de lo establecido. Esta forma consiste en un uso combinado de diferentes softwares: Revit, Navisworks y Project (o algún equivalente técnico a este, como Primavera, Project Libre, Excel, entre otros). El esquema de la figura 3.62 resume como funciona este proceso:

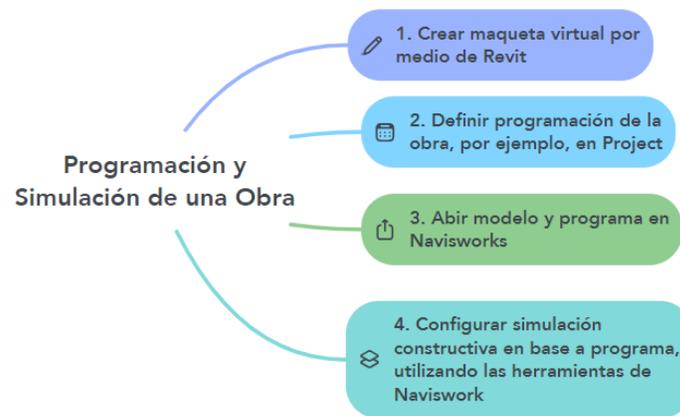


Figura 3.62: Proceso de simulación constructiva a partir del programa de una obra. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.63 se toma el modelo del Estadio de Chillan desde Revit para incorporarlo en Navisworks, junto a una programación básica. En este caso, la función "Timeliner", herramienta que permite generar simulaciones mediante diagramas Gantt, ofrece a los equipos la capacidad de visualizar cómo avanzará un proyecto a lo largo del tiempo y cómo se superpondrán diversas fases.

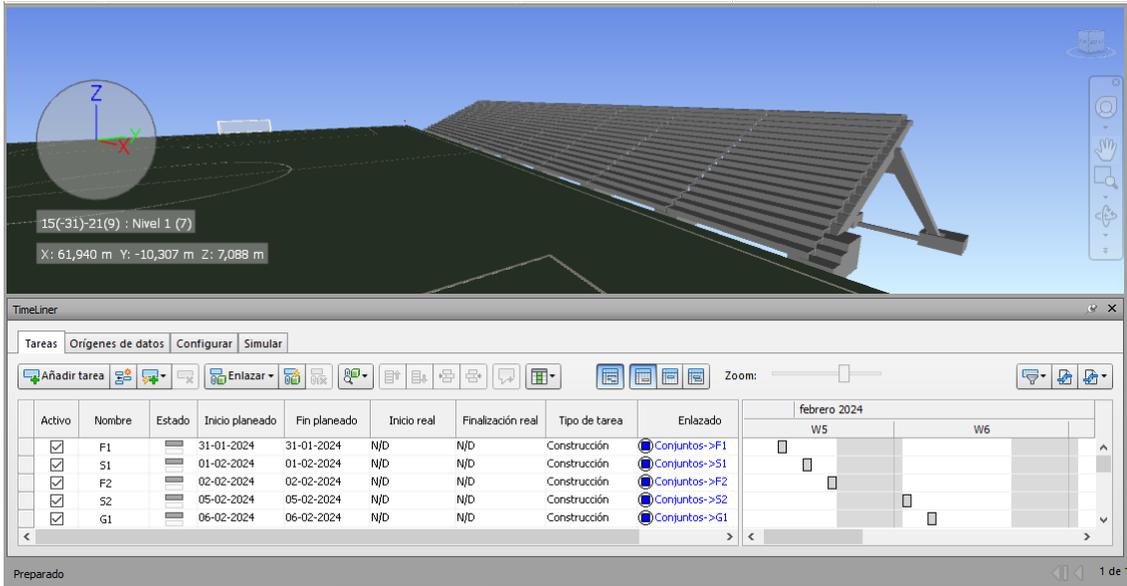


Figura 3.63: Modelo de Estadio abierto en Navisworks para simular la construcción de este. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Gestión de Calidad

La gestión de calidad en la construcción puede entenderse como la **verificación técnica** de la obra en construcción, cuyos procedimientos se rigen bajo estándares normativos establecidos. Todo esto es sumamente necesario para evitar fallas futuras causadas por falta de metodologías adecuadas y prácticas constructivas inadecuadas.

Previo a cualquier construcción, se definen los materiales e insumos necesarios para llevar a cabo los procesos constructivos que la componen. Estos se rigen bajo estrictas normas y especificaciones técnicas constructivas que permiten la consolidación de un proyecto seguro, con una apropiada ejecución para que el usuario final reciba un producto terminado de calidad.

Es por esto que la gestión de calidad aparece como otro aspecto relevante a la hora de desarrollar un proyecto, siendo necesario la consideración de esta en la implementación de la metodología BIM. Para esto, un mecanismo de operación es la asignación de nuevos parámetros a las piezas de la maqueta, similar al proceso descrito para identificar estas. Por ejemplo, asociar las variables del panel de propiedades a ensayos, normas y especificaciones técnicas a los que diferentes elementos deban estar sujetos para su seguimiento desde que se confecciona hasta que entra en operación.

3.4. Análisis de la Aplicación Práctica a una Obra

El desarrollo del presente trabajo se ha enfocado principalmente en el uso de la maqueta virtual dada las ventajas que esta ofrece en cuanto a la geometría resultante de los elementos prefabricados y la administración del proceso como tal. Sin embargo, dichos beneficios no serían posibles si el desarrollo por parte de los actores de un proyecto (mandante, constructora

y subcontratos) no se adecua de manera correcta a la implementación de BIM. Por esto, el siguiente apartado se enfocará en describir como funciona una obra real donde esta metodología es incorporada en la forma de trabajo, a modo de visibilizar la operación efectiva de esta.

La obra en cuestión trata de la remodelación de un estadio, la cual se encuentra en curso, donde se busca aumentar la capacidad de este y crear nuevos espacios comerciales que permitan abarcar más negocios y proyectos que generen ingresos adicionales a los dueños de este. Para lograr dicho objetivo, se decidió (en base estudios técnicos-económicos) prefabricar solo las graderías de la nueva bandeja superior del recinto, manteniendo las estructuras correspondientes a la bandeja inferior existente. La figura 3.64 da cuenta de la planta del futuro estadio, donde se pueden observar las gradas existentes y las futuras gradas prefabricadas a instalar:

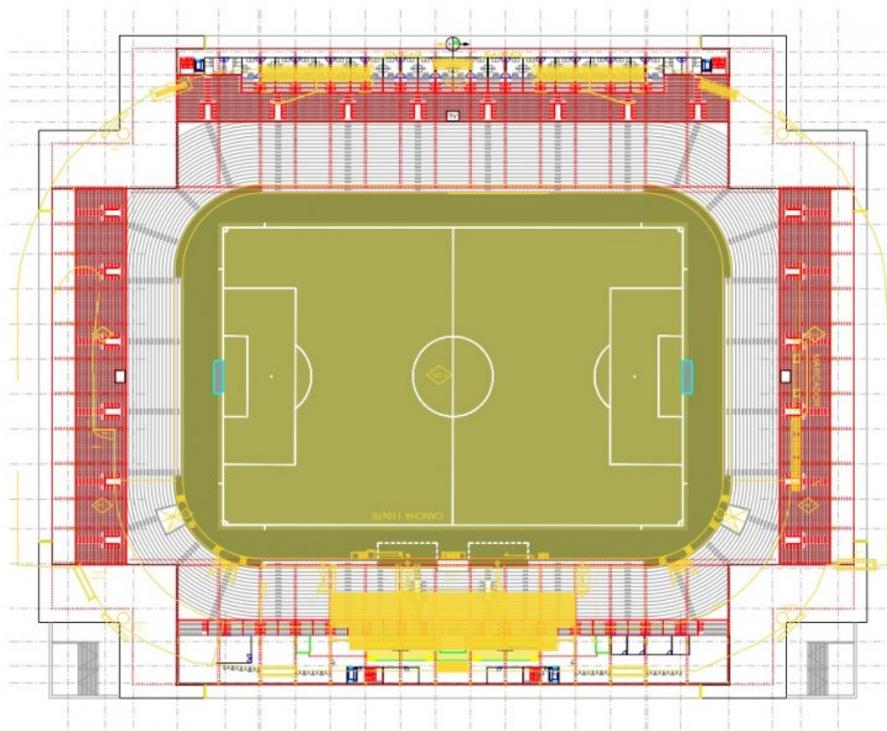


Figura 3.64: Vista en planta del nuevo estadio. Fuente: Al Aire Libre, programa Radio Cooperativa.

Ante la necesidad de prefabricar estos elementos, la empresa constructora a cargo decidió solicitar a una prefabricadora externa la confección de las piezas. Sobre la base de esto, mediante visitas en terreno, se logró recopilar información directa de la prefabricadora (tanto de oficina técnica como de planta) y de lo que ocurría directamente en la obra, es decir, en el estadio.

En primer lugar, lo que respecta a la empresa encargada de confeccionar las graderías (que se pueden observar en la figura 3.65), se indicaba que para realizar la cotización inicial solo contaban con un anteproyecto de arquitectura (lo cual se recibió el año 2022), por ende, no se disponía de las medidas cerradas para empezar a fabricar los elementos ni del despiece como

tal de la estructura. Por esta razón, se decidió trabajar junto a una empresa de ingeniería para desarrollar el proyecto de cálculo, a pesar de esto, por asuntos ligados a los plazos de entrega, la prefabricadora se vio en la necesidad de comenzar a trabajar en las piezas de manera previa a la obtención de los planos estructurales definitivos. Esto último llevo a reajustes en la cotización inicial, sumado a las modificaciones del proyecto que aparecieron en el desarrollo de este.



Figura 3.65: Grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.

En la prefabricación como tal, oficina técnica es el área encargada de identificar, gestionar y enviar los datos necesarios a planta. Todo este proceso se realiza mediante archivos y planos, los cuales contienen la información relacionada a fechas, ubicaciones y por su puesto a la geometría y refuerzos estructurales de las gradas, que cuentan con barras de acero, mallas electrosoldadas y cables pretensados. La siguiente tabla muestra un ejemplo de como se organiza dicha información:

Tabla 3.4: Ejemplo tabla de organización oficina técnica. Fuente: Elaboración propia.

Código	Ubicación	Despacho	Longitud	Altura	Espesor	Plano
XX-0001	V1-N1	XX/XX/XXXX	X	X	X	PL-XX-XX1
XX-0002	V1-N2	XX/XX/XXXX	X	X	X	PL-XX-XX1
XX-0003	V1-N3	XX/XX/XXXX	X	X	X	PL-XX-XX1

De esta última, se designaba un código o nombre en función a sectores y orden espacial (como se puede apreciar en la figura 3.66 y 3.67), también se seccionó en vanos definidos y según la ubicación desde abajo hasta arriba de cada grada, el resto de información es principalmente geométrica, sumado al plano en donde cada elemento es detallado para su fabricación. La confección de esta tabla es útil tanto para el personal que produce las piezas

como para la cuadrilla que posteriormente montara en terreno, dado que esta fija un orden y asignación predeterminada para evitar errores de despacho e instalación.



Figura 3.66: Identificación grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.



Figura 3.67: Identificación refuerzo grada prefabricada en planta de producción. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.

A pesar de este trabajo realizado por oficina técnica, el hecho de no contar a tiempo con

la información del proyecto, dentro de esta el modelo BIM, se imposibilita de cierta forma la realización de un trabajo eficiente, en donde se observan las pérdidas tanto económicas como de tiempo. De esta forma, ya se evidencia que el flujo mostrado en la figura 3.21 presenta un traspaso de información incompleto, generando repercusiones en la entrega final del producto.

En segundo lugar, es sumamente necesario visualizar esto en terreno, dado que en obra aparecerán problemas distintos a los que puede presentar la planta de producción de las piezas. Así, la visita al estadio permitió comprender en mayor detalle la administración de la construcción desde que se solicita la fabricación hasta que montan el elemento.

La constructora a cargo señalaba que en cuanto a logística de despacho no han presentado grandes problemas, salvo una circunstancia en donde recibieron elementos que no correspondían según planificación, siendo este un error asociado netamente a la falta de comunicación entre ambas partes. Por otro lado, los grandes problemas hasta la fecha están correlacionados con la geometría de las piezas y las placas de inserto de estas, observándose los siguientes detalles:

- Piezas más anchas (error aproximado de 8 mm).
- Desangulación de las piezas.
- Descalce entre piezas.
- Descalce entre placas de inserto de una grada a otra.

Las dos primeras fallas se asocian a la fabricación como tal, dado que por planos y especificaciones estas no deberían presentar dichas irregularidades. En cuanto al descalce entre piezas, se indicaba que sucedió dada la ausencia de un levantamiento topográfico por parte de la prefabricadora una vez construidos los elementos donde se apoyarían las graderías (vigas limón y pilares principalmente, las cuales fueron construidas en sitio), ya que en terreno es bastante difícil que la distancia entre ejes sea igual a la medida teórica diseñada. A modo de ejemplo, en algunos vanos del estadio la distancia entre ejes de las vigas (o pilares) debía ser de 9 m, sin embargo, por aspectos propios de la construcción, esta medida no se alcanzaba de manera perfecta, si no que presentaban errores del orden de 1 cm, lo cual generaba el descuadre acumulativo hasta que en cierto punto una de las gradas no quedaba en la posición deseada. Respecto al descuadre entre insertos, nuevamente se asocia a un error de planta. Desde la figura 3.68 hasta la 3.70 se pueden notar algunos de estos problemas mencionados:



Figura 3.68: Desangulación de gradería prefabricada puesta en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.



Figura 3.69: Descalce geométrico de gradería prefabricada puesta en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.



Figura 3.70: Descalce entre placas de inserto de dos graderías montadas en obra. Fuente: Imagen propia, visita a planta de producción.

De momento, estos errores presentados no han repercutido de tal manera de tener que demoler y volver a construir, dada las soluciones tomadas en terreno. Según el seguimiento de los profesionales, un 20% de las graderías prefabricadas ha presentado al menos uno de las fallas mencionadas.

Por último, se debe destacar que el proyecto cuenta con el desarrollo de maquetas virtuales en Revit y simulaciones constructivas en Navisworks, no obstante, estos no cuentan con actualizaciones desde el año 2023. Además, se señaló que las cuadrillas de construcción operaban bajo la utilización exclusiva de planos en 2D, sin darle un uso efectivo a los modelos 3D según especialidad.

Capítulo 4

Conclusiones

El propósito de este trabajo consiste en proponer una metodología enfocada en BIM, con el objetivo de asegurar el calce geométrico de las piezas y facilitar la administración de la construcción mediante las herramientas que entregan los software asociados.

Seguidamente, se exponen las conclusiones obtenidas:

Requerimientos en construcción mediante prefabricados:

1. El flujo de información desde las etapas tempranas de un proyecto hasta la finalización y puesta en marcha de este, debe ser tal que la línea de producción permita un desarrollo circular ante la toma de decisiones. Esto quiere decir que frente a eventualidades que puedan surgir en cualquier etapa del proyecto, la resolución de este no implique retroceder a las fases primigenias del estudio, sino que se establezca una solución que pueda anteponerse a modo de permitir una actualización del estudio que involucre a todos los actores y gestores del proyecto.
2. El enfoque exhaustivo en las primeras etapas de un proyecto de construcción mediante prefabricados permitirá la generación de fichas y modelos necesarios para la construcción detallada de una estructura. Esto establecerá una base inicial sólida, que servirá como punto de partida adaptable para futuras actualizaciones y modificaciones, considerando las condiciones específicas del terreno.

Utilización de maquetas virtuales:

1. La complejidad de confeccionar un modelo 3D tendrá directa relación con la simetría y regularidad geométrica de cada proyecto. Revit cuenta con elementos (o familias) cargados que podrían facilitar el trabajo a la hora de estar modelando, sin embargo, en diversos casos será necesario partir desde la creación y parametrización de cada pieza para posteriormente dar forma a la maqueta representativa de una estructura.
2. Tanto Revit como Navisworks permiten trabajar de manera progresiva un modelo, dado que estos software cuentan con una variedad de herramientas que dan cuentas de errores en el diseño o en el proceso de dibujo como tal. Esto faculta un desarrollo coherente de inicio a fin, tanto por el calce geométrico de elementos como por factibilidad de emplazar mecanismo de diferentes especialidades.

3. Utilizar maquetas virtuales no solo favorece en la comprensión visual de un proyecto, sino que además estas permitirán almacenar información no geométrica ligada a cada elemento o un conjunto de estos, facilitando la comprensión detallada de todos los componentes.
4. Los programas utilizados para generar maquetas y simulaciones virtuales disponen de plataformas de visualización en línea (Autodesk Viewer). Esto se traduce a que no es necesario contar con licencias para observar los trabajos realizados desde la metodología BIM, lo cual permitirá extender la utilización de estos modelos en terreno.

BIM y la administración de la construcción:

1. La administración de procesos es fundamental en el desarrollo de un proyecto. Culminar exitosamente la materialización de una estructura no solo depende del detallamiento constructivo, sino que también requiere una gestión eficiente de los procesos involucrados, asegurando así la coordinación adecuada entre los equipos, la optimización de los recursos y la mitigación de riesgos.
2. Los software BIM permiten administrar la información de una manera bastante detallada y ordenada, es importante que los profesionales a cargo del modelo especifiquen con precisión los detalles técnicos y las especificaciones del proyecto. Esto incluye información sobre materiales, ensayos a realizar, identificación de elementos, instalaciones, y otros aspectos claves a la hora de construir.

Implementación BIM en casos reales:

1. La utilización de esta metodología se puede observar en grandes proyectos, sin embargo, no siempre todas las especialidades incorporan la información disponible en su forma de trabajar y operar, lo cual impide visibilizar los beneficios que esta implementación tiene.
2. Es de suma importancia incorporar esta metodología de inicio a fin, actualizando constantemente la información respecto a como se vaya ejecutando el trabajo en terreno. Si se trabaja con el mismo modelo a lo largo del desarrollo del proyecto, no será posible prevenir inconvenientes que surjan de modificaciones efectuadas.
3. Con base en el punto anterior, el trabajo paralelo entre los encargados del modelo y quienes construyen en terreno es clave para aprovechar esta herramienta. Cuando se trata de piezas prefabricadas, comprobar la información geométrica de un modelo con lo que realmente se está realizando en la obra permitirá una fabricación acorde a las condiciones reales, ya que es muy común que debido a errores propios del proceso constructivo las medidas y detalles estipulados se vean afectados.

Metodología de Implementación:

Sobre la base del trabajo desarrollado y lo observado en las condiciones actuales del uso BIM, se propone la siguiente metodología de trabajo para lograr la correcta ejecución de proyectos que incorporen el uso de elementos prefabricados de hormigón:

1. Reajuste en los aspectos organizacionales de la empresa. Esto implica reemplazar los procesos tradicionales, a modo de implementar nuevas formas de trabajo que surgirán

con el uso adecuado de metodologías BIM, considerando la participación global de la empresa, incluyendo jefaturas. Es importante facilitar la información pertinente a todos los involucrados, incluyendo los cambios que se producirán en la organización, los nuevos procesos y las tecnologías que serán aplicadas, es decir, contar con **capacitaciones permanentes al personal participante**. En esta primera etapa, también se deben considerar los siguientes aspectos: [17]

- Generar una visión global que permita unir a todos los participantes del proyecto, esto mediante la proposición de hitos claros y específicos, estableciendo claramente los trabajos a realizar por cada uno de los integrantes. Esto permitirá generar el impulso para establecer un cambio y en consecuencia implementar BIM de manera adecuada en la organización.
 - Contar con un equipo de liderazgo BIM, capaces de elaborar iniciativas de implementación como: Realizar evaluaciones de los hitos instaurados, comunicación constante con las jefaturas, inversión en diversas capacitaciones, consideraciones legales con mandantes, revisiones constantes de la implementación y medición de indicadores que permitan reflejar los beneficios de BIM.
 - Un alto porcentaje del éxito de la implementación de cualquier metodología depende del capital humano involucrado y su capacidad de trabajar en equipo en entornos complejos y dinámicos. De esta manera, es importante contar con los profesionales pertinentes: Director BIM, Gerente de Proyectos BIM, Revisor BIM, Coordinador BIM, Modelador BIM y Gestor de Operaciones BIM.
2. Implementación de nuevas tecnologías dentro de la empresa. El tipo de proyecto que se desarrollará y las especialidades que serán parte de este definirán los requerimientos tecnológicos a utilizar. En la práctica puede usarse cualquier software BIM, sin embargo, es importante considerar la interoperabilidad entre softwares BIM. Por otro lado, se debe considerar la adquisición de equipos computacionales adecuados y suficientes para tener un trabajo fluido. [17]
3. Considerando los aspectos organizacionales y tecnológicos que conlleva la implementación, se podrá comenzar a trabajar en los modelos e informes que requiera el proyecto. Esto incorporará como mínimo las siguientes tareas:
- Confección de la maqueta virtual con información geométrica, incluyendo holguras y tolerancias de diseño.
 - Verificar interferencias del diseño y corregir si es necesario.
 - Incorporar información no geométrica a la maqueta virtual, tales como programación, requerimientos y detalles técnicos.
 - Confección de planos, instrucciones y fichas de fabricación.
 - Constante actualización del modelo en base a reajustes propios del diseño y/o el proceso constructivo como tal.

Capítulo 5

Comentarios y Recomendaciones

Hoy en día, y sin duda en los años venideros que la humanidad enfrentará, la necesidad de materializar estructuras de manera rápida y eficiente se hace cada vez más necesaria ante las demandas enfocadas en satisfacer tanto los requerimientos públicos como privados en el sector de la construcción, sumado al constante aumento de la población. Es por esto que la consideración de elementos prefabricados es de suma importancia a la hora de pensar en dicho escenario.

Del mismo modo, la relevancia de adoptar tecnologías innovadoras se vuelve cada vez más crucial para responder a las progresivas demandas en la industria en cuestión. Así, la implementación de Building Information Modeling (BIM) emergen como herramientas indispensables en este panorama en evolución.

Teniendo en cuenta lo mencionado, el presente trabajo se enfocó en confeccionar una metodología de desarrollo basada en BIM, con el fin de optimizar el proceso constructivo mediante piezas fabricadas en plantas especializadas, y así mitigar los clásicos errores que pueden observarse en gran parte de los proyectos que opten por la prefabricación de sus elementos.

Dicha metodología incluye principalmente el uso de softwares de modelación 3D que permitan generar maquetas virtuales de las obras, a partir de las cuales será posible asegurar el calce geométrico de las piezas que conformen el sistema y, a su vez, incluir la administración de los procesos asociados en función de las diferentes herramientas que brindan los programas, generando una base de datos electrónica compartida entre todas las especialidades que participen del diseño, materialización y puesta en marcha de un proyecto.

Esta propuesta apunta a ser un procedimiento para las personas o empresas que busquen construir con un margen de error mínimo al utilizar prefabricados de hormigón armado, priorizando el tiempo asociado al diseño, planificación y administración, a modo de generar un plan de trabajo que cuente con la información y detalles necesarios para anticipar los posibles problemas que se presenten durante la construcción. Esto no debe traducirse como una mayor inversión en las fases tempranas de un proyecto, más bien, debe entenderse como una anticipación a imprevistos y una forma de evitar la dilación en los plazos estipulados.

Si bien, gran parte de este trabajo se centró en aspectos teóricos y técnicos aplicados a casos particulares de estudio, lo cual permitió generar herramientas de análisis que aportaran

en el foco del desarrollo. Pero más allá de esto, es necesario aterrizar los conocimientos en casos reales, a modo de comparar y ver como aplicar de manera correcta lo inferido.

Bajo la idea del párrafo anterior, es clave destacar la responsabilidad que implica la adopción de una metodología como es BIM, es decir, la colaboración y disposición que deben interiorizar los diferentes actores. Esto compromete un trabajo permanente desde el modelo, de inicio a fin, incorporando todos los detalles que involucren cambios en el proceso de construcción, a modo de actualizar las nuevas condiciones a las que se verán afectadas las especialidades involucradas.

Con este enfoque, el uso de BIM debe entenderse como una metodología de integración y colaboración, va más allá de la tecnología que ofrece, es una forma alternativa de abordar un trabajo, lo cual implica un quiebre en el paradigma del rubro constructivo, siendo fundamental la comunicación continua y abierta, la definición clara de roles y responsabilidades dentro de los equipos de trabajo. Ya no se trata solo de diseñar y construir, sino de profesionales que colaboran de manera interdisciplinaria.

Esta clase de trabajo llama a promover e incorporar el uso de sistemas de gestión de datos BIM, sobre todo en el contexto del uso de piezas prefabricadas, facilitando el flujo de información entre todas las etapas y gestores de un proyecto.

Bibliografía

- [1] Trejo, N. 2018. *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [2] Tabilo, M. 2019. *Estudio de la metodología BIM en la gestión de construcción y aplicación demostrativa (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [3] Tordecilla, K. 2020. *Evaluación de la aplicabilidad del estándar nacional BIM de PlanBIM en un edificio público (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [4] Corfo, 2019. *Estándar BIM para proyectos públicos*. PlanBIM. Recuperado de: <https://planbim.cl/documentos/estandar-bim-para-proyectos-publicos/>
- [5] Revista EMB Construcción, 2013. *Los avances del BIM en Chile*. Recuperado de: <https://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2739&ni=los-avances-del-bim-en-chile>
- [6] Aliaga, A. 2022. *Análisis comparativo del método tradicional de hormigón prefabricado y madera, considerando durabilidad, resistencia al fuego y métodos constructivos en edificios de mediana altura (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [7] Valenzuela, R. 2018. *Evaluación de sistemas constructivos para edificios de mediana altura con elementos de hormigón prefabricado (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [8] Libre Mercado. 2022. *Está pensado “hasta el último tornillo”: el plan del Real Madrid para evitar sobrecostes con el nuevo Bernabéu*. Recuperado de: <https://www.libremercado.com/2022-04-08/esta-pensado-hasta-el-ultimo-tornillo-el-plan-del-real-madrid-para-evitar-sobrecostes-con-el-nuevo-bernabeu-6884748/>
- [9] Elematic. *Página oficial de Elematic*. Recuperado de: <https://www.elematic.com/products/>
- [10] Garrido, I. 2011. *Estudio de daños en estructuras industriales prefabricadas de hormigón armado a consecuencia del terremoto del 27 de febrero de 2010 (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.

- [11] Besser, G. 1994. *Tipologías de estructuras y graderías prefabricadas en hormigón (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile.
- [12] Dirección de Arquitectura MOP. Versión 1.19 (2018). *Términos de referencia BIM*. Recuperado de:
https://arquitectura.mop.gob.cl/bim/Documents/18-06-05-TERMINO%20DE%20REFERENCIA%20BIM%20DA_PCR_E.pdf
- [13] Autodesk. *Tienda oficial de Autodesk*. Recuperado de:
<https://latinoamerica.autodesk.com/>
- [14] Politécnico Milano. 2018-2019. *BIM and Revit Course*.
- [15] Revitips Vídeos. 2020 *Familias de Revit*. Recuperado de:
<https://www.youtube.com/watch?v=ZqGSF6eoQfE&list=PLLw1YvALkriFoEPw1x6bZIsEC2SL5KRc0>
- [16] Icefe Ltda. 2020 *Clases Revit*. Recuperado de:
https://www.youtube.com/watch?v=sXekSbScJJY&list=PLTsRxZsBvsB5z5uBu_Mt_xpsRLa9AcbcG
- [17] BIM Forum Chile. 2017. *Guía Inicial Para Implementar BIM en las organizaciones*.
- [18] Instituto Nacional de Normalización (INN). 2023. *PROYECTO DE NORMA – prNCh2369: Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*.

Anexos

Anexo A. Designación “ID” para elementos prefabricados de ejemplo de aplicación

Las figuras comprendidas entre A.1 y A.13 corresponden a la designación de “ID” para cada elemento del ejemplo de aplicación. En cada figura se distingue el elemento en cuestión en color azul (dentro de la maqueta) y la “ID” asignada en el cuadro de “Propiedades” (remarcado en color amarillo).

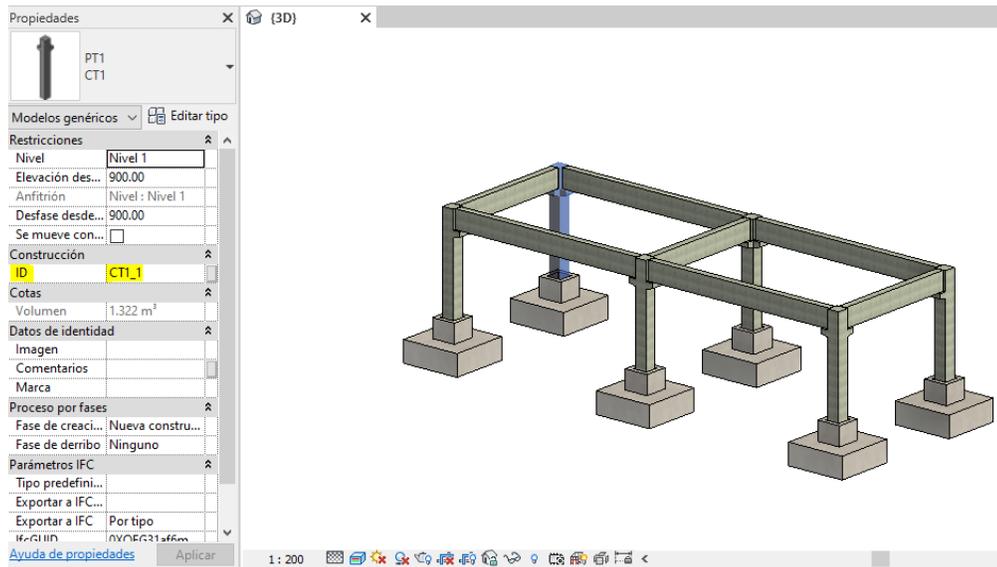


Figura A.1: Primera asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

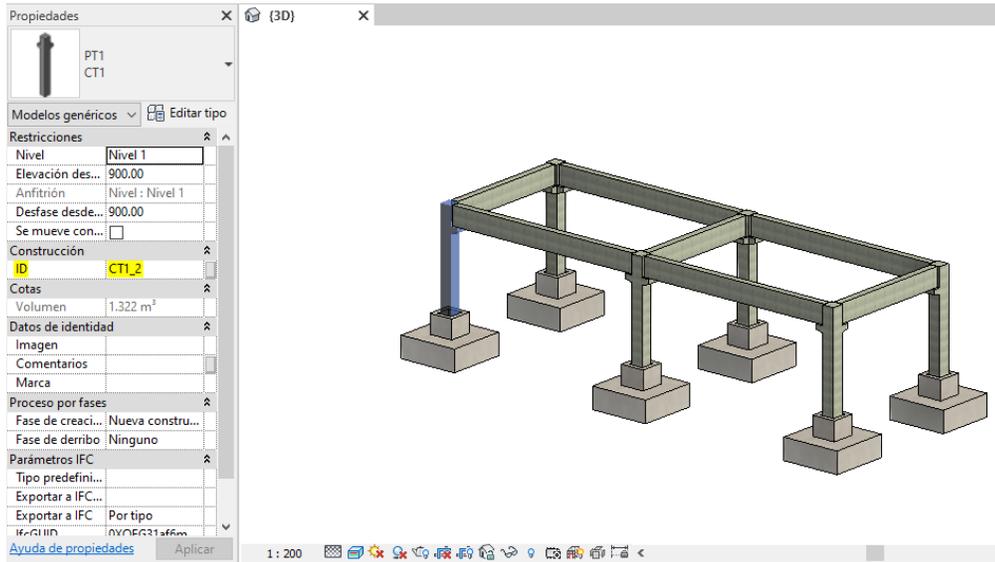


Figura A.2: Segunda asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

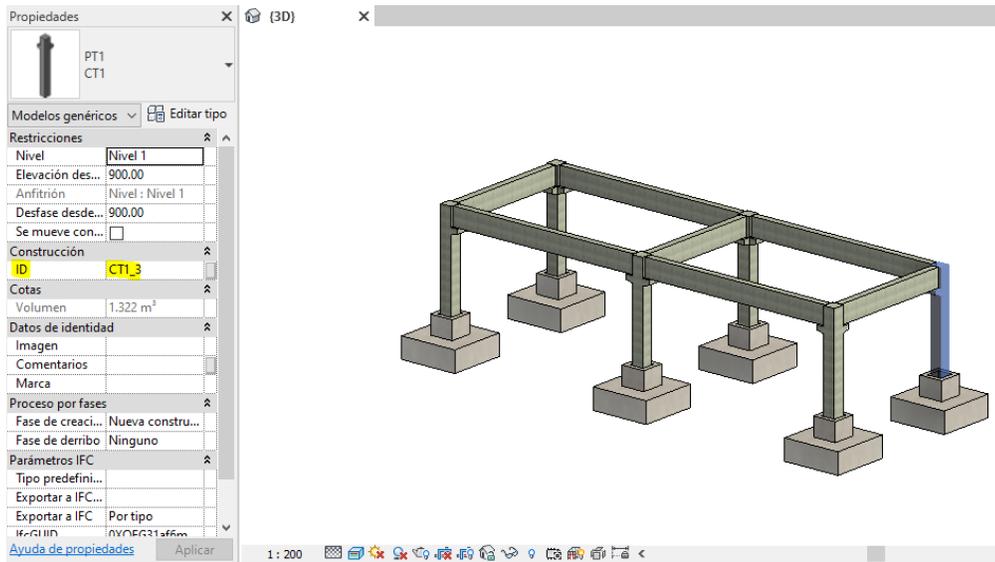


Figura A.3: Tercera asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

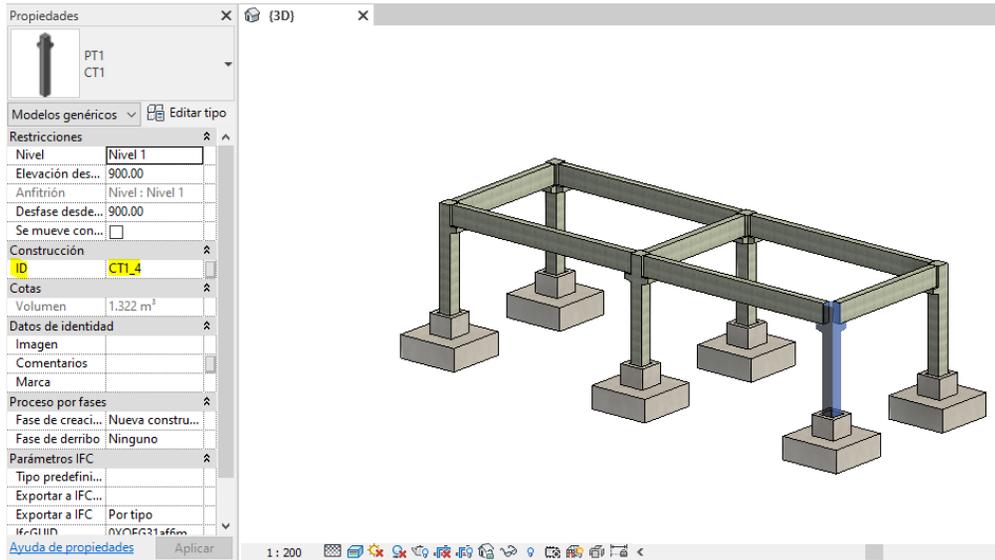


Figura A.4: Cuarta asignación de “ID” a columna tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

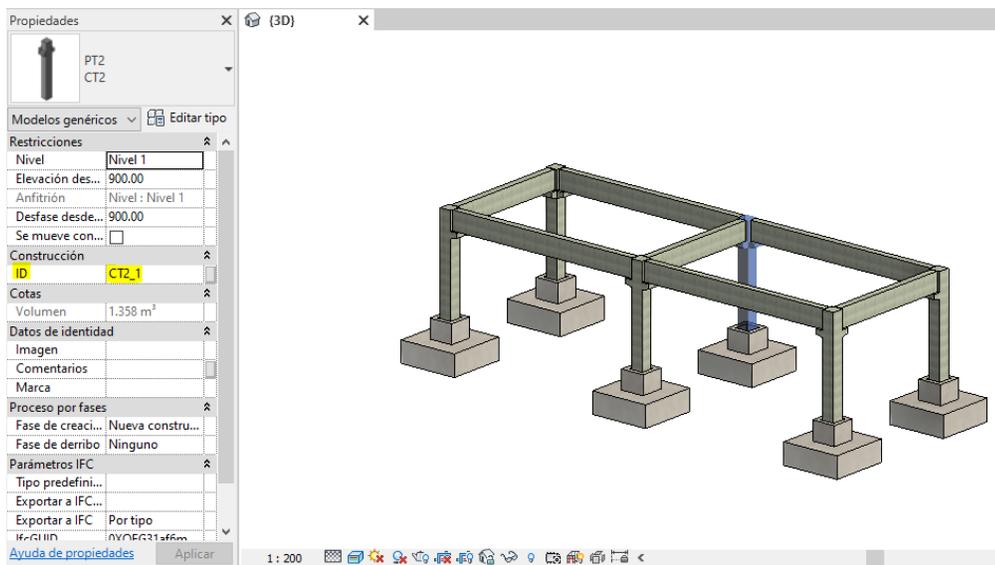


Figura A.5: Primera asignación de “ID” a columna tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

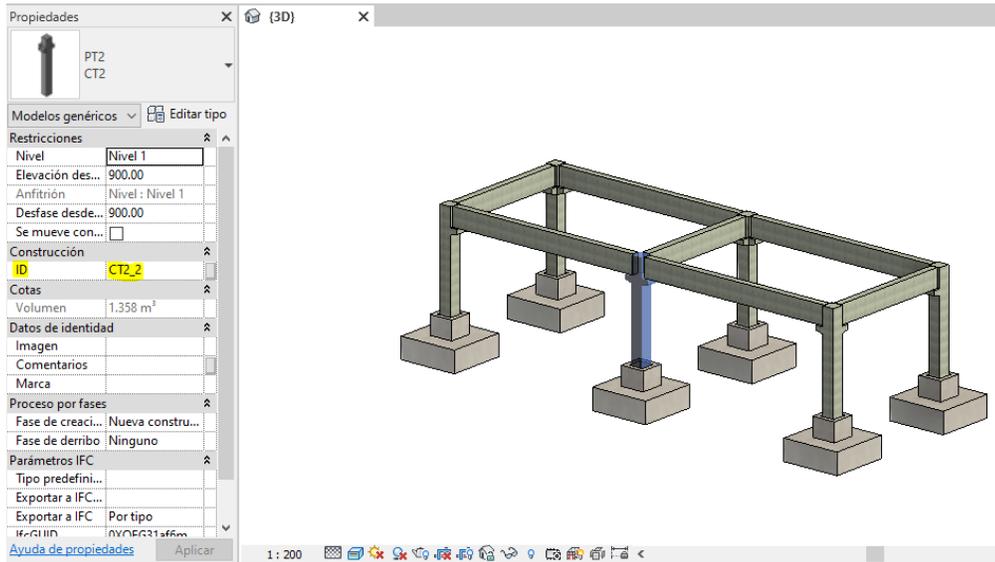


Figura A.6: Segunda asignación de “ID” a columna tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

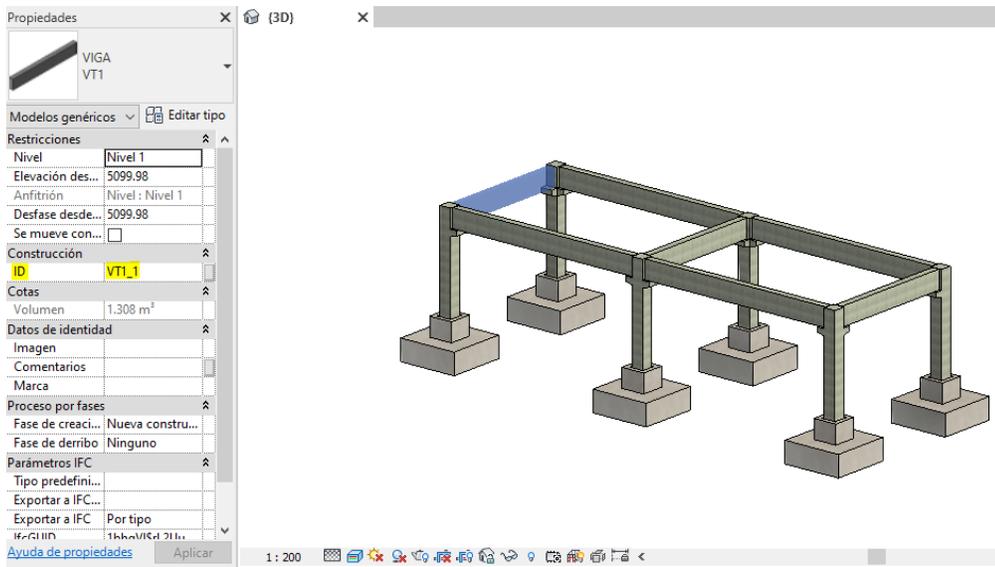


Figura A.7: Primera asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

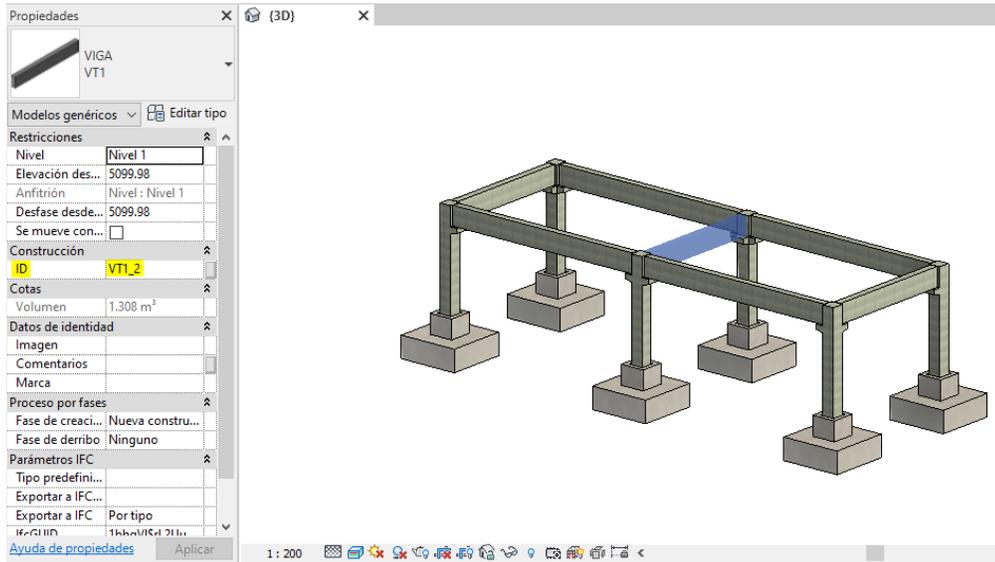


Figura A.8: Segunda asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

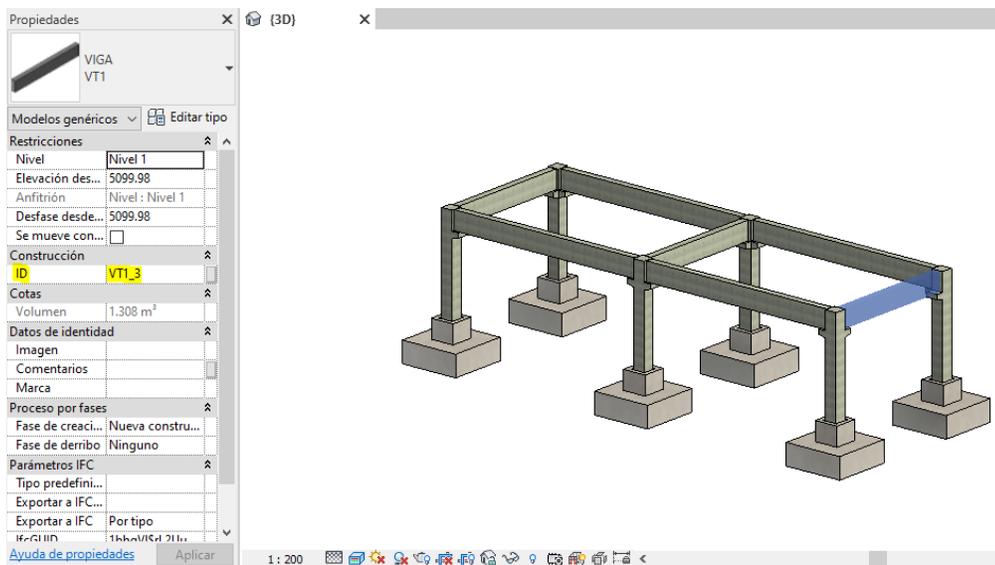


Figura A.9: Tercera asignación de “ID” a viga tipo 1. Fuente: Elaboración propia.

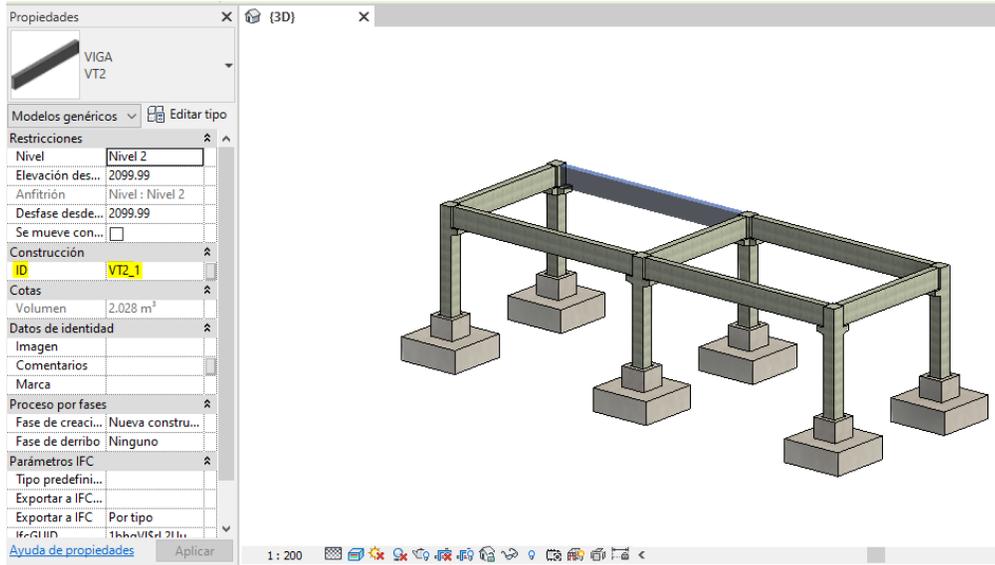


Figura A.10: Primera asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

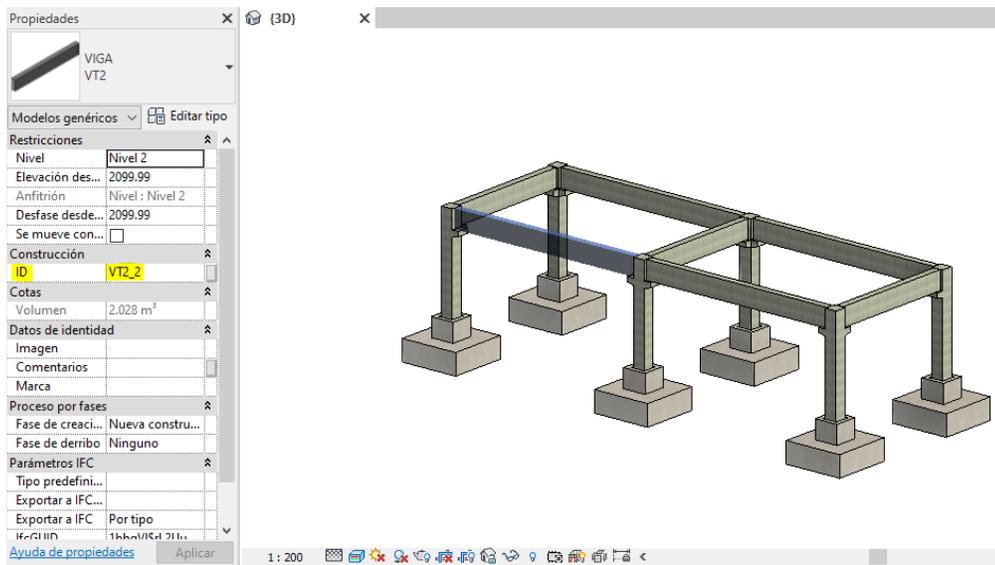


Figura A.11: Segunda asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

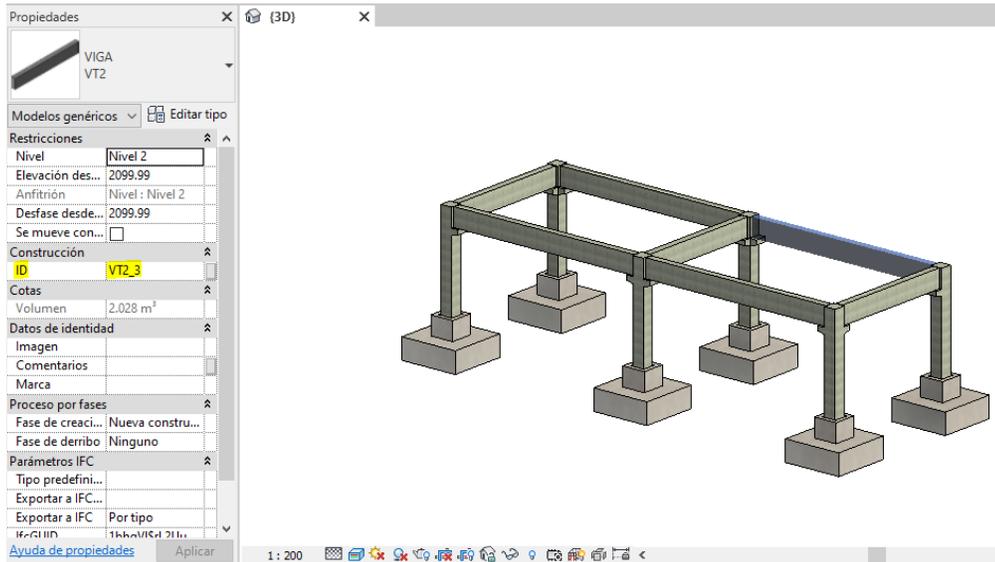


Figura A.12: Tercera asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

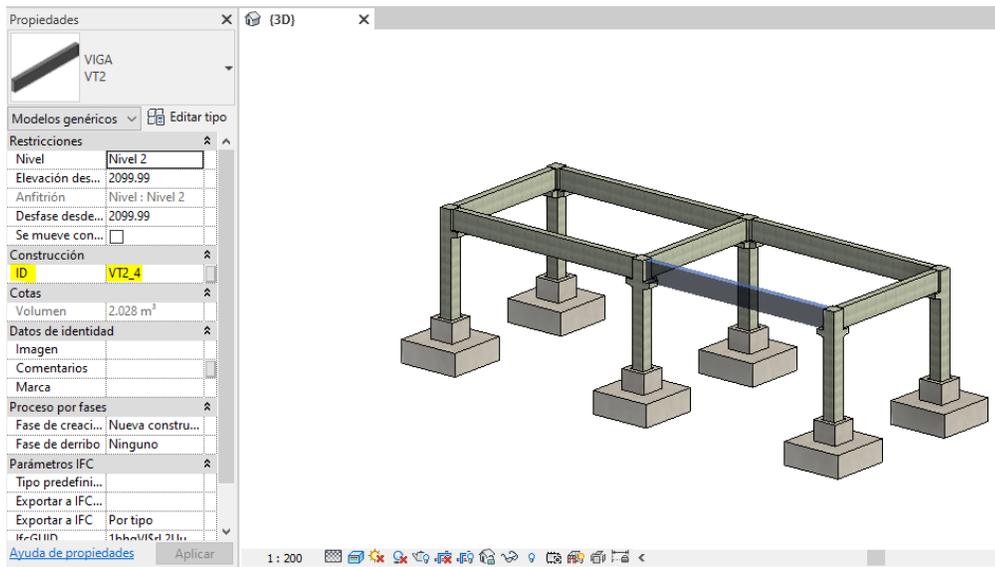


Figura A.13: Cuarta asignación de “ID” a viga tipo 2. Fuente: Elaboración propia.