

Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Un templo digital contemporáneo. Metodología BIM en diseño, construcción y fabricación de un hito

Renovation of Santiago Bernabéu Stadium. A Contemporary Digital Temple. BIM Methodology in Design, Construction and Manufacturing of a Milestone

Laura Aldea Abad^a

^a FCC Construcción, Avenida del Camino de Santiago, 40, Madrid, España.

Recibido el 5 de noviembre de 2024; revisado el 28 de mayo de 2025, aceptado el 7 de octubre de 2025

RESUMEN

La remodelación del estadio Santiago Bernabéu, que comenzó en 2019, es un proyecto emblemático tanto para el Real Madrid como para la ciudad de Madrid. Este proyecto de remodelación se ha llevado a cabo utilizando la metodología BIM, fomentando el trabajo colaborativo y OpenBIM a través de BIM360. Además, ha requerido una gestión documental digital para el seguimiento de la documentación mediante la herramienta Thinkproject.

El proyecto destaca por su metodología 'Fast-Track', en la cual las fases de diseño y construcción se desarrollan de manera simultánea. Este enfoque demanda una actualización constante de los modelos BIM y un acceso constante a la información dentro del Entorno Común de Datos (CDE). Este ritmo acelerado exige una coordinación meticulosa entre disciplinas, procedimientos de validación más ágiles y la incorporación de herramientas colaborativas que faciliten la resolución de problemas en tiempo real.

Además, la tecnología LiDAR jugó un papel crucial en garantizar la precisión geométrica a lo largo del proyecto. Inicialmente, se utilizó para escanear la estructura existente, generando un modelo digital detallado que facilitó la integración del nuevo diseño con la infraestructura actual. Al finalizar, se empleó nuevamente para comparar la geometría construida con la modelada, verificando el cumplimiento de las tolerancias establecidas y asegurando la calidad en la entrega del modelo As-Built.

A lo largo del proceso, se han implementado diversas herramientas digitales para la gestión de incidencias y el control de calidad, así como para la planificación y el control presupuestario. La digitalización ha sido clave para la eficiencia del proyecto, permitiendo una colaboración fluida entre todos los actores involucrados. Al finalizar la obra, los modelos BIM fueron actualizados para reflejar la realidad construida, lo que facilitará la gestión, la operación y el mantenimiento del estadio a lo largo de su vida útil.

Debido a la envergadura del estadio, la metodología BIM resultó imprescindible para evitar la pérdida de datos y permitió ahorrar un 50% de tiempo en la búsqueda de información. Todos los modelos y toda la información se almacenaban en la nube y se actualizaban a tiempo real. Uno de los beneficios para la resolución de problemas de obra y en el estudio de opciones de diseño, fue la posibilidad de tenerlo incluido en los modelos para facilitar la comparación de opciones mediante la visualización dentro del contexto general.

La remodelación del Bernabéu es un ejemplo de cómo la digitalización y la colaboración pueden transformar un proyecto complejo en un éxito al asentar las bases para que el uso de la metodología BIM se convierta en un procedimiento en las futuras obras.

PALABRAS CLAVE: OpenBIM, CDE; BIM360, herramientas digitales, digitalización, colaboración, Santiago Bernabeu..

©2025 Hormigón y Acero, la revista de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

ABSTRACT

The revamp of the Santiago Bernabéu Stadium, which began in 2019, is an emblematic project for both Real Madrid and the city of Madrid. This remodelling project has relied on BIM methodology, collaborative work, and OpenBIM through BIM360, and has required digital document management for tracking documentation, using Thinkproject.

The project is characterized by its "Fast-Track" approach, in which the design and construction phases are developed simultaneously. This approach requires constant updates to the BIM models and continuous access to information within the Common Data Environment (CDE). This accelerated pace demands meticulous coordination between disciplines, more efficient validation procedures, and the incorporation of collaborative tools that facilitate real-time problem resolution.

Moreover, LiDAR technology played a crucial role in ensuring geometric accuracy throughout the project. Initially, it was used to scan the existing structure, generating a detailed digital model that facilitated the integration of the new design with the existing infrastructure. Upon completion, it was used again to compare the built geometry with the modelled one, verifying compliance with the established tolerances and ensuring quality in the delivery of the As-Built model.

Throughout the process, various digital tools have been implemented for Issues Management and Quality Control, as well as for planning and budget control. Digitalization has been key to the project's efficiency, enabling smooth collaboration among all involved parties. At the end of the work, the BIM models were updated to reflect the as-built reality, facilitating the management, operation, and maintenance of the stadium throughout its lifecycle.

Due to the stadium's magnitude, the BIM methodology was essential to prevent data loss and helped save 50% of the time spent on information retrieval. All models and information were stored in the cloud and updated in real-time. One of the benefits for problem-solving during construction and studying design options was the ability to include them in the models, enabling option comparison by visualizing them within the general context.

The revamp of the Bernabéu is an example of how digitalization and collaboration can transform a complex project into a success, laying the groundwork for the use of the BIM methodology to become a standard procedure in future projects.

KEYWORDS: OpenBIM, CDE, BIM360, digital tools, digitalization, collaboration, Santiago Bernabeu Stadium.

©2025 Hormigón y Acero, the journal of the Spanish Association of Structural Engineering (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) License

* Persona de contacto / *Corresponding author*:
Correo-e / e-mail: laura.aldea.abad@gmail.com (Laura Aldea Abad)

Cómo citar este artículo: Aldea, L. (2025). Remodelación del estadio Santiago Bernabéu. Un templo digital contemporáneo. Metodología BIM en diseño, construcción y fabricación de un hito. *Hormigón y Acero*. 76(307):281-303. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.4000>

1. INTRODUCCIÓN

El estadio Santiago Bernabéu, con una capacidad para 81.000 espectadores, ha experimentado múltiples remodelaciones desde su apertura en 1947, afirmándose como un referente tanto arquitectónico como funcional. La reciente intervención incluyó la incorporación de una cubierta retráctil y un césped móvil, manteniendo su emblemática ubicación en el corazón de Madrid, asegurando así su valor simbólico y urbano. Este enfoque confirma su papel como una infraestructura icónica que fusiona la innovación tecnológica con el respeto a su legado.

La remodelación del actual estadio Santiago Bernabéu comenzó hace ya cinco años, en el 2019. Se comienza a partir de un estadio del año construido en 1943, que se renueva con más de 150.000 m² incluyendo urbanismo; y cuyas bases de trabajo son el BIM colaborativo y OpenBIM¹. Esto implica el trabajo de todo el equipo unido bajo un mismo objetivo, y a través de estándares abiertos, fomentando de este modo la interoperabilidad entre agentes, procesos y herramientas.

2. PLAN DE EJECUCIÓN BIM (PEB) O BIM EXECUTION PLAN (BEP)

No hay éxito sin organización. Para garantizar que todo el mundo trabaje bajo las mismas consignas y con la finalidad de asegurar la coordinación desde el inicio hasta la finalización del proyecto, se crea un documento de obligado cumplimiento para todo aquel que trabaje bajo la metodología BIM². Este

documento es el Plan de Ejecución BIM (PEB) o BIM Execution Plan (BEP). Cada proyecto tiene uno específico y único, donde se detallan todos los hitos, incluyendo procedimientos y tecnologías utilizadas.³

Es uno de los documentos más importantes dentro de un proyecto BIM, ya que contiene toda la información centralizada del proyecto, así como las especificaciones tecnológicas y las directrices para los colaboradores involucrados. La transparencia es crucial en esta fase, garantizando que todas las personas implicadas en el proyecto tengan acceso constante a toda la información y comprendan claramente la construcción, el contexto y los roles y responsabilidades de cada uno.

Es un documento vivo, que debe mantenerse al día y actualizarse según se produzcan cambios. Su extensión debe ser precisa, explicando todas las necesidades BIM del proyecto. No debe ser un documento corto en el que no se detalle lo relevante, y tampoco muy largo, ya que, si resulta demasiado extenso, nadie lo leerá, provocando el efecto contrario. En nuestro caso, resultó ser un archivo principal de 60 páginas, al que luego se añadieron aproximadamente 15 anexos más, para una gestión específica.

Este es el índice del PEB de la remodelación del estadio: (Figura. 1).

Dentro de estos anexos al documento principal, se incluye información particular y más específica de algunos de los temas comentados en el documento base. Organizarlo de esta forma, nos permite acceder eficazmente a determinada información. Nuestros anexos al PEB son:

- Sistema de coordenadas
- Procedimientos con BIMcollab
- Criterios de modelado de arquitectura
- Vínculos DWG
- Guía de CAD estándar

1 Definición y explicación extensa en: <https://www.buildingsmart.es/bim/openbim/>

2 La metodología BIM, los modelos BIM, modelo federado, modelo As built se explican dentro de este artículo online: *Espacio BIM*. (2024). *¿Modelo BIM?*

¿Qué es un modelo BIM?

3 Parte de nuestro documento PEB ha partido de plantillas base como la de: ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (Pág. 56-57)

1	INFORMACIÓN DEL PROYECTO	4	10	SISTEMA DE COORDENADAS.....	36
1.2	HITOS Y ENTREGABLES	4	11	CRITERIOS GENERALES DE MODELADO	36
2	DEFINICIONES.....	5	11.1	TIPOS DE ARCHIVO	37
3	DOCUMENTACION DE REFERENCIA	9	11.2	NOMENCLATURA DE SUB-PROYECTOS.....	37
3.1	ESTÁNDARES Y NORMATIVA.....	9	11.3	NAVEGADOR DE PROYECTO	40
3.2	INFORMACIÓN DE PARTIDA GRÁFICA (MODELOS)	9	11.4	NOMENCLATURA DE FAMILIAS	41
4	ROLES Y RESPONSABILIDADES.....	10	11.5	NOMENCLATURA DE FASES	41
4.1	ROLES Y RESPONSABILIDADES.....	10	11.6	NOMENCLATURA DE NIVELES.....	44
4.2	EQUIPO DE PROYECTO, ORGANIGRAMA	12	11.7	NOMENCLATURA DE REJILLAS	45
4.3	CONTACTOS.....	12	11.8	INFORMACIÓN DE PROYECTO	45
4.4	COMUNICACIONES.....	12	11.9	DATOS DE ATRIBUTOS (PARÁMETROS COMPARTIDOS)	45
4.5	REUNIONES	13	11.10	VÍNCULOS DWG.....	47
4.6	REQUISITOS BIM PARA PROVEEDORES Y SUBCONTRATISTAS	14	11.11	BUENAS PRÁCTICAS DE MODELADO:.....	47
5	USOS BIM.....	15	12	MATRIZ DE MODELOS. [LOD-MEA]	49
5.1	MODELADO DE CONDICIONES EXISTENTES.....	15	12.1	DEFINICIONES LOD	49
5.2	AUTORÍA DE DISEÑO	16	12.2	DEFINICIONES LOI	50
5.3	REVISIÓN DE DISEÑO	16	12.3	MATRIZ LOD – M.E.A.	50
5.4	ANÁLISIS DE INGENIERÍA (ILUMINACIÓN, ENERGÍA, MECÁNICA, OTROS).....	17	12.4	ALCANCES DE MODELADO	50
5.5	COORDINACIÓN 3D	18	13	PROCEDIMIENTO COORDINACIÓN DE OBRA	50
5.6	DOCUMENTACIÓN 2D	18	14	CONTROL DE CALIDAD	51
5.7	PLANIFICACIÓN DE FASES 4D	19	14.1	PROCESO	51
5.8	MEDICIONES Y PRESUPUESTOS (5D)	19	15	IMPLANTACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PEB	54
5.9	MODELO DE REGISTRO.....	20	15.1	IMPLANTACIÓN	54
5.10	EXCLUSIONES	21	15.2	MANTENIMIENTO	55
6	SOFTWARE DE PROYECTO Y FORMATOS DE ENTREGA	23	ANEXOS	57	
6.1	SOFTWARE DE PROYECTO.....	23	APÉNDICE 1. MAPA DE USOS BIM	58	
6.2	FORMATOS DE ENTREGA	23			
7	GESTIÓN DE LA INFORMACION	24			
7.1	PLATAFORMA DE INTERCAMBIO INFORMACIÓN	24			
7.2	ESTRUCTURA DE CARPETAS	28			
7.3	PERMISOS Y ACCESOS EN BIM 360 DOCS.....	30			
8	ESTRATEGIA DE PARTICIÓN Y NOMENCLATURA DE MODELOS	30			
8.1	ESTRATEGIA DE PARTICIÓN DE MODELOS.....	30			
8.2	CODIFICACIÓN DE MODELOS.....	34			
8.3	MODELOS AUXILIARES.....	35			
8.4	REGISTRO DE REVISIÓN EN MODELOS	35			
9	UNIDADES Y TOLERANCIAS	36			

Figura. 1. Índice PEB proyecto ejecución y obra.

- Exportaciones DWG
- Procesado de nubes de puntos
- Plataforma de intercambio
- Proceso de intercambio de información
- Mapear y Revincular
- Coordinación 3D
- Recomendaciones para Revit
- Planificación 4D
- Exportaciones IFC
- Criterio de modelado de estructuras

2.1. El uso de nomenclatura

En el caso del Bernabéu, es un proyecto Fast-Track en el que las fases están solapadas (Figura. 2), donde diseño y construcción se desarrollan simultáneamente, e incluso las propias tareas de demolición. De hecho, dentro del estadio podrían

coexistir una zona en fase de obra con demoliciones y en construcción, otra zona aún en fase de diseño, y otra parte ya terminada y entregada al cliente. Por ello es imprescindible contar con una buena gestión y coordinación BIM, donde todos y cada uno de los intervinientes sepan cuál es la última información y la válida para tener en cuenta o para construir.

¿Cuánta cantidad de documentos diferentes en un proyecto se crean en cada una de las diferentes fases? Es por ello que, al tenerlos nombrados de una forma específica no sólo los organiza, sino que hace que nosotros mismos podamos identificarlos incluso antes de abrirlos, sabiendo de qué trata o puede tratar un documento, así como los usos posibles de la información, la revisión o la versión de este. Así, facilita la gestión de la información y su búsqueda dentro de la plataforma.

La nomenclatura de los contenedores de información está basada en la adaptación del Anexo británico de la ISO

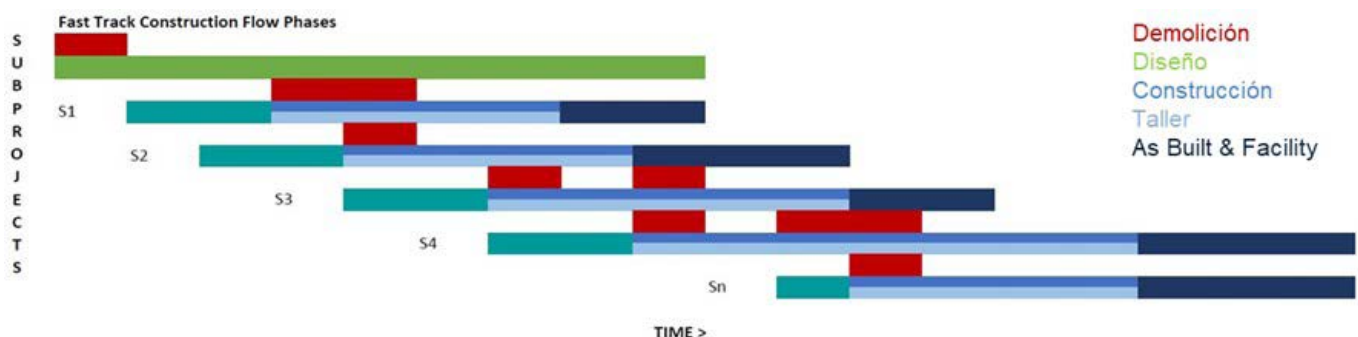


Figura. 2. Ejemplo de proyecto Fast-Track.

Ejemplo Edificación

buildingSMART Spain

NDB-BSSP-E01-ZZZ-M3D-EST-001-PredimNucleos-S0-0205

Requerido Opcional o Metadato

Creador Nivel / Localización Disciplina Descripción Revisión

Proyecto Volumen / Sistema Tipo Número Estado

Ejemplo Obra Civil

buildingSMART Spain

NDB-BSSP-T05-Z01-NPU-TGS-001-EscanGaleriaEste-S1-0100

Requerido Opcional o Metadato

Creador Nivel / Localización Disciplina Descripción Revisión

Proyecto Volumen / Sistema Tipo Número Estado

Figura. 3. Ejemplos nomenclatura Building Smart Spain (versión Junio 2021).⁵

19650⁴. Contar con una nomenclatura para los contenedores de información es fundamental para implementar una estrategia efectiva de segregación de la información. Esto facilita a los distintos participantes del proyecto acceder a los datos necesarios para trabajar en una fase específica del proyecto o en una tarea particular. (Figura. 3)

El uso de una estructura fija de codificación para los diferentes documentos aporta una serie de beneficios:

- Disponer una identificación única para cada documento.
- Permite buscar y encontrar eficientemente.
- Mejora del intercambio de información entre todos los agentes y a lo largo de todo el ciclo de vida del estadio.

Los modelos se nombran siguiente la siguiente codificación:

RSB	AA	BB	CC	DD	EE	0000
1- Código proyecto	2- Originador	3- Fase	4- Localización	5- Tipo de entregable	6- Disciplina	7- Número

- 1- El código de proyecto.
- 2- El originador es la empresa propietaria del modelo o su creador.
- 3- El proyecto y obra se puede dividir en varias fases diferentes.

3- Fase	Código
Existente	EA
Diseño Avanzado	DA
Proyecto Básico	PB
Proyecto de Ejecución	PE
Proyecto de Obra	PO
As Built	AB

Tabla 1 – Codificación de Fase (3)

- 4- Cuando un proyecto es extenso, conviene dividirlo en zonas y subproyectos, evitando utilizar un único modelo.

4- Localización	Código
Genérico	GE
Aparcamiento	AP
Graderío	GR
Galería	GA
Zona Este	ZE
Zona Norte	ZN
Zona Oeste	ZO
Zona Sur	ZS
Fachada	FA
Cubierta	CU
Hipogeo	HI

Tabla 2 - Codificación de Localización (4)

- 5- El tipo de entregable en modelos es un Modelo Genérico (MD) o un Modelo Federado (MF).
- 6- Es la subdivisión de los modelos por disciplina.

6- Disciplinas	Código
Arquitectura	AR
Envolvente	EN
Estructuras	ES
Instalaciones	IN
Climatización y ventilación	CL
Extracción	EX
Electricidad	EL
Fontanería y saneamiento	FS
Extinción de incendios	EI
Gas	CC
Urbanización	UR
Seguridad anti-incendios	SI
BIM	BM
Instalaciones tecnológicas	IT
Auxiliar	AU

Tabla 3 – Codificación de Disciplinas (6)

⁴ Información de referencia para nombra documentación y modelos BIM en: <https://www.buildingsmart.es/recursos/nomenclatura-documentos-bim/>

⁵ Información obtenida de: Introducción a la Serie EN-ISO 19650. Revisión de Mayo 2021. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>

- 7- El último código de los modelos es un número de cuatro dígitos que será único para cada modelo.

7- Número	Código
Arquitectura	0501 a 0504
Estructuras	3501 a 3505
Instalaciones	6501 a 7000
Urbanización	7501 a 8000
Niveles y rejillas	9000
Graderío	0801 y 0811

Tabla 4 - Codificación de Número (7)

2.2. Roles y responsabilidades

Para la gestión del proyecto bajo metodología BIM se creó un equipo en el cual se definen los roles y responsabilidades dentro del plan de Ejecución BIM (PEB) reflejados en el contrato. Debido a las diferentes etapas del ciclo de vida del estadio, en cada una de estas fases se debían analizar los equipos de trabajo que colaboraban en su desarrollo.

En cuanto a la fase de diseño y construcción, quien inicia el proceso y la puesta en marcha del proyecto BIM es el Cliente y a partir de ese momento se van incorporando los siguientes equipos:

- Equipo del Cliente
- Equipo de Project Management
- Equipo de Dirección Facultativa
- Equipo de Diseño del proyecto. Proyectista principal y otros proyectistas.
- Equipo del Contratista: FCC Construcción
- Equipos de las subcontratas
- Equipos de Operación y Mantenimiento

Respecto a la etapa de diseño y construcción antes de comenzar las obras de remodelación, se llevó a cabo la movilización de recursos para la creación de un equipo BIM dentro de FCC Construcción con los siguientes perfiles y sus responsabilidades:

A. BIM MANAGER DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Ejerce de intermediario entre la Oficina BIM del RMCF y los equipos BIM de Obra. Es el interlocutor directo con el RMCF, asesorándole en materia de metodología BIM relacionada con el proyecto.

El BIM Manager es el responsable de la organización, planificación e implantación de los sistemas BIM en el proyecto. Cuando el proyecto se lleve a cabo en colaboración con otros, será el interlocutor y representante de FCC ante los BIM Managers del resto de las organizaciones implicadas, a efectos de garantizar el adecuado desarrollo del proyecto en entorno colaborativo.

Organización y Planificación:

- Lidera la definición, implementación y cumplimiento del PEB del proyecto.
- Define la estrategia de soluciones que permitan maximizar los beneficios de los Usos BIM de acuerdo con los objetivos del proyecto.
- Organiza reuniones del seguimiento BIM.

- Definir la estrategia BIM y el flujo de trabajo para el proyecto.
- Elaborar y mantener actualizado el Plan de Ejecución BIM (PEB).
- Distribuir y mantener accesible el PEB entre el equipo de trabajo de proyecto.
- Dar soporte a los equipos de producción implicados en materia de metodologías BIM y de los criterios específicos, pautas y estándares de trabajo definidos en el PEB de aplicación al contrato.

Coordinación:

- Apoya el trabajo colaborativo y vela porque se garantice la interoperabilidad.
- Plantea y coordina la formación del personal en temas BIM.
- Coordinar el proyecto BIM con los BIM Managers del resto de organizaciones externas involucradas en el proyecto.
- Asesorar en todo momento y de forma transversal al resto de intervinientes implicados en la aplicación del PEB.

Ejecución:

- Responsable de validar y aprobar el PEB.
- Verifica el correcto uso de las herramientas de acuerdo con lo establecido en el PEB.
- Garantiza el control de la calidad y supervisa la coordinación BIM entre los agentes del proyecto, según lo establecido en el PEB.
- Controlar el PEB en la carpeta compartida en el ACC, mantener actualizado el PEB e informar al equipo de trabajo de sus actualizaciones.

B. COORDINADOR BIM DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El Coordinador BIM, es el interlocutor de los Coordinadores BIM de cada departamento, y asumirá las siguientes funciones y responsabilidades:

- Mantener actualizada la carpeta donde residan los instrumentos de normalización del proyecto relativos al modelado (familias, parámetros compartidos, rutinas de programación para modelado, coordenadas de proyecto, etc.).
- Ser el interlocutor cotidiano del BIM Manager de Obra y, como intermediario principal para la implantación del Plan de Ejecución BIM (PEB) y sus actualizaciones, así como para el control del flujo de trabajo en el CDE.
- Mantener actualizado el Master Model (modelo de niveles y rejillas).
- Supervisar la implantación de las pautas de modelado establecidas en el PEB en todas las disciplinas.
- Llevar a cabo, con la frecuencia definida en el Plan de Calidad, las tareas de comprobación del cumplimiento de los estándares del proyecto (PAC y PEB), dejando constancia de las mismas.
- Supervisión de la implantación del sistema específico de clasificación de componentes en las distintas disciplinas y verificará que los modelos cumplen los requisitos de implantación.
- Verificar que los archivos intercambiados codifican sus metadatos en el CDE según lo establecido en el PEB.
- Para la Coordinación 3D mediante Navisworks, el coordinador organizará las sesiones rutinarias de detección de interferencias en los intervalos planificados, y coordinará y

supervisará las acciones previas y posteriores a las sesiones. En particular:

- Verificar antes de las sesiones que los Coordinadores BIM de Disciplina han introducido en los objetos sujetos a detección los metadatos necesarios para que las sesiones se desarrollen eficazmente.
- Verificar que los modelos están preparados a tiempo para las sesiones de coordinación y que los responsables de cada disciplina han guardado los archivos caché en la carpeta adecuada del CDE.
- Participar en dichas sesiones gobernando la integración de los modelos en el Modelo Federado y la aplicación del software de detección de interferencias.
- Trasladar a todas las disciplinas a través de sus Coordinadores BIM de Disciplina las decisiones adoptadas en las sesiones en relación con el modelado.
- Verificar, antes de su entrega, los archivos Navisworks que se producen cuando un agente externo requiere visualizar el modelo en un estadio intermedio de la producción.
- Controlar de forma exclusiva la carpeta que contiene los archivos e informes obtenidos de la detección de interferencias.

C. COORDINADOR BIM DISCIPLINA

La función de los Coordinadores BIM de cada Disciplina es asumir la responsabilidad BIM de la disciplina. El Coordinador BIM es el responsable de los modelos de su disciplina:

- Gestiona un modelo de disciplina específico y asegura que los modeladores de disciplina realizan el trabajo de manera coordinada y con los criterios que establece BEP.
- Los distintos Coordinadores BIM de cada Disciplina se coordinarán por medio de las instrucciones del Coordinador BIM de obra.
- Realiza controles de control de calidad antes de compartir los modelos con otras disciplinas, de acuerdo con el procedimiento del PEB.
- Mantiene una biblioteca de objetos y elementos para su uso en el proyecto, que sean compatibles con las plataformas de software seleccionadas.

D. GESTOR DE LA INFORMACIÓN

Debido a la cantidad de información de proyecto ya generada y a toda la documentación a generar, para este proyecto fue necesario contar con un rol como gestor de la información entre todos los intervinientes, con las siguientes responsabilidades:

- Establece y hace cumplir flujos de trabajo y la gestión de requisitos entre los agentes participantes.
- Define los flujos de trabajo entre los agentes participantes, tanto del propio equipo de obra y BIM como con los equipos de los subcontratistas.
- Coordina las soluciones de TIC con los Gestores de la Información de cada Equipo.
- Administrador de la Información para establecer el Entorno

Común de Datos (CDE) que dé cumplimiento a los requisitos de información del cliente. Concretamente, gestionaba la plataforma Thinkproject para gestionar los accesos y desarrollar los flujos de trabajo y de revisión correspondientes.

- Colaborar en la implantación y gobierno del Entorno Común de Datos (Thinkproject) y en la definición de los Flujos de Trabajo.

E. TÉCNICOS BIM Y MODELADORES

El resto del equipo BIM⁶ está conformado por profesionales técnicos, y dentro de los roles destacamos los Modeladores técnicos tanto para Arquitectura (7 personas), Estructura (6 personas) e Instalaciones (5 personas), 2 Coordinadores BIM, uno para arquitectura y estructuras, y otro para instalaciones; y finalmente 1 Responsable BIM. (Figura. 4)

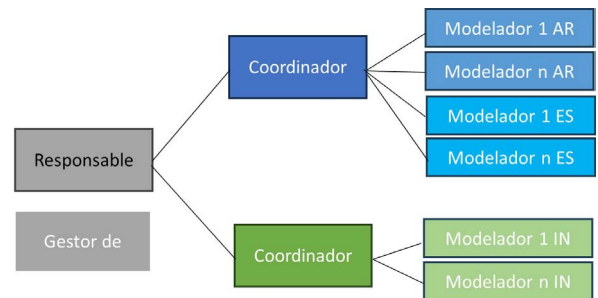


Figura. 4. Organigrama equipo BIM

En todo este esfuerzo de digitalización de la obra, ha sido encomiable el esfuerzo y las ganas de aprender de la plantilla, muchos de los cuales afrontaban por primera vez una obra bajo la metodología BIM. Jefes de Obra, Jefes de Producción y Oficina Técnica, se mostraron interesados en trabajar en la metodología por medio de los principales softwares BIM que necesitaban en su día a día, tomando formación específica para ello.

2.3. Matriz de responsabilidades (RASCI)

Con el fin de conocer hasta dónde llega cada equipo implicado y sus respectivas responsabilidades, se establece una matriz de responsabilidades (Figura. 5) junto con las tareas y usos BIM requeridos. Se diferencian cinco funciones a tener en cuenta para cada actividad:

3. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.1. Common Data Environment (CDE) o Entorno Común de Datos

FCC ha trabajado con distintos tipos de gestores documentales: Alejandría, Thinkproject, Aconex, Viewpoint, y

⁶ Roles y responsabilidades del equipo de trabajo: Puertos del Estado. (2019). *Guía BIM Del Sistema Portuario de Titularidad Estatal*. Puertos del Estado. Ministerio de Fomento. (Pág. 61-63).

MATRIZ DE RESPONSABILIDADES RASCI BIM									
Procesos	Actividades (UNE-EN ISO 19650-2:2019)	RMCF		Dirección Facultativa		FCC Construcción			
		Dirección de Obra	Responsable BIM	Director DF	Técnico DF	BIM Manager	Coordinador BIM	Modelador BIM	Gestor de la información
Planificación BIM	Establecer el Plan de Ejecución BIM (BEP)	I	A	I	I	R	S	I	I
	Establecimiento de estándares y protocolos BIM	I	C	I	I	R	S	I	I
	Aceptar el Plan de Ejecución BIM (BEP) del equipo de desarrollo	I	A	I	I	R	S	I	I
	Establecer la Matriz de Responsabilidades RACI	I	A	I	I	R	S	I	I
	Establecer los Requisitos de Intercambio de Información del adjudicatario principal	I	C	I	I	R	S	I	I
	Establecer la Tabla de Producción de Modelos (MPDT)	I	C	I	I	R	S	I	I
	Establecer Programa General de Desarrollo de Información (MIDP)	I	C	I	I	R	S	I	C
Movilización	Movilizar recursos	I	I	I	I	R	C	I	
	Movilizar la tecnología	I	I	I	I	R	C	I	
	Probar los métodos y procedimientos de producción de información del proyecto	I	I	I	I	R	C	I	C
Usos BIM	Información centralizada	I	A	I	I	R	C	I	R
	Desarrollo de modelo BIM	I	A	I	I	A	S	R	C
	Planificación de fases 4D	I	A	I	I	A	S	R	I
	Verificación de costes 5D	I	A	I	I	A	S	R	I
	Modelo As-Built	A	A	I	I	A	S	R	I
	Modelo de Registro (Record Model)								
	Modelo Facility Management	A	A	I	I	R	S	S	I
Fin de fase	Archivar el modelo de información del proyecto	A	R	I	I	R	C	I	I

R (Responsible)	Persona responsable o encargada de realizar la tarea
A (Accountable)	Persona con la responsabilidad última sobre la tarea.
S (Support)	Persona que apoya a otro rol en una tarea.
C (Consulted)	Persona a la que se debe o puede consultar sobre la tarea
I (Informed)	Persona a la que se debe informar sobre la tarea

Figura. 5. Matriz RASCI.

Thinkproject. En el año 2019, tuvieron lugar las primeras reuniones con la Dirección Facultativa y el Cliente, donde expusieron varias opciones como gestores documentales, y finalmente fueron ellos quienes, según esta comparativa y la adaptación a las necesidades, eligieron la plataforma Thinkproject. La necesidad principal era contar con un gestor documental digital para el seguimiento de entregas y revisión de documentación⁷. El formato de entrega final, y con el que se construía como documentación única y final era en .pdf.

Desde la perspectiva de FCC, esta necesidad era la misma en cuanto al seguimiento de entrega y aprobación de documentación. Sin embargo, al tratarse de un proyecto BIM en diseño y construcción, se identificó la necesidad adicional de coordinar y gestionar los modelos BIM durante el desarrollo de las obras. Con Thinkproject o con cualquier de las otras plataformas, no era posible gestionar y coordinar esta información

BIM de forma fluida, por lo que se decidió utilizar BIM360.

En este contexto, se establecieron dos métodos de gestión de información, los cuales son completamente complementarios (Figura. 6): por un lado, Thinkproject como herramienta de gestión documental, en la que intervienen los equipos de FCC, la Dirección Facultativa, Project Management y el cliente; y, por otro lado, BIM360 (o ACC como se le conoce actualmente), como herramienta de colaboración BIM, en la que intervienen los equipos de FCC, las empresas colaboradoras en fase de diseño, y las empresas colaboradoras en fase de obra y construcción (constructora, subcontratistas, empresas y fabricantes, talleres, y otros).

Por lo tanto, la documentación final, fiable y apta para construir, como lo son los planos pdf, se vuelca siempre en Thinkproject. En esta plataforma, la información cargada puede ser simplemente para información o para aprobación. Si es esta segunda, cada vez que se carga un archivo, se inicia el flujo de aprobación: comienza desde Oficina técnica y su responsable, pasando por el jefe de obra, para después recibirlo el encargado del subproyecto de la Dirección Facultativa y finalmente

⁷ Tener claros los objetivos BIM por parte del cliente: ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (Pág. 16)

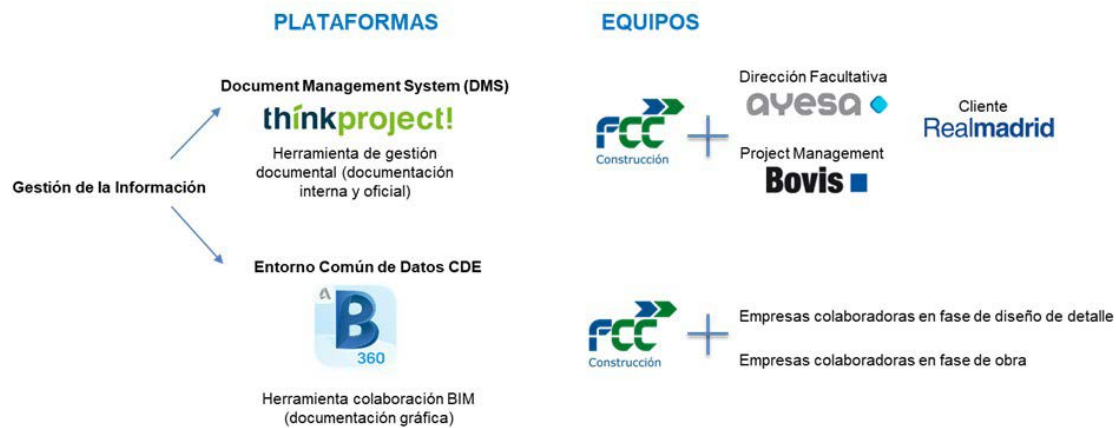


Figura 6. Tecnología para la gestión de la información.

		Código con Revisión	Asunto	Documento en PDF + QR	Localización, Fragment...	Recepción/envío	Estado
1		RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00	RSB-G00.REPOSICIÓN ...	RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00-Reposic...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Vie 05.08.2021 10:44	Aprobado por Ayesa Directr
2		RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00	RSB-G00.REPOSICIÓN ...	RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00-Reposic...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Jue 05.08.2021 19:11	Aprobado por Ayesa 1
3		RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00	RSB-G00.REPOSICIÓN ...	RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00-Reposic...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mie 04.08.2021 17:21	Aprobado por Jefe de Obra,
4		RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00	RSB-G00.REPOSICIÓN ...	RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00-Reposic...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mie 04.08.2021 17:18	Aprobado por Resp. Oficina
5		RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00	RSB-G00.REPOSICIÓN ...	RSB-FO-PO-G00-NT-ES-0435-R00-Reposic...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mie 04.08.2021 17:13	Pendiente de Aprobación

R00 > Técnico OT → Responsable OT → Jefe de obra → Dirección Facultativa → Director Dirección Facultativa

Figura 7. Flujo de información: Aprobado..

		Código con Revisión	Asunto	Código	Documento en PDF + QR	Localización, Fragment...	Recepción/envío	Estado
1		RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560-R00	G00_PLANOS DE OBRA	RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560	RSB-FO-PO-G00-PL-AR...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Jue 13.10.2022 22:46	Rechazado por Ayesa 1
2		RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560-R00	G00_PLANOS DE OBRA	RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560	RSB-FO-PO-G00-PL-AR...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mar 27.09.2022 12:38	Aprobado por Jefe de Obr
3		RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560-R00	G00_PLANOS DE OBRA	RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560	RSB-FO-PO-G00-PL-AR...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mar 27.09.2022 12:20	Aprobado por Resp. Oficina
4		RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560-R00	G00_PLANOS DE OBRA	RSB-FO-PO-G00-PL-AR-0560	RSB-FO-PO-G00-PL-AR...	G00-PROYECTO GALERIA ...	Mar 27.09.2022 12:04	Pendiente de Aprobación

R00 > Técnico OT → Responsable OT → Jefe de obra X Dirección Facultativa / Director Dirección Facultativa

R01 > Técnico OT → Responsable OT → Jefe de obra → Dirección Facultativa → Director Dirección Facultativa

Figura 8. Flujo de información: Rechazado..

el máximo responsable de la Dirección Facultativa. Cuando el documento está aprobado en todas las etapas, es apto para construir con él. (Figura. 7)

Si, por el contrario, un documento en alguna de las etapas de aprobación es Rechazado (Figura. 8), no podrá ser útil, ni referencia para nada. En este caso, lo que hacemos es corregir las incidencias, pasar a una revisión superior, y volver a inicial el flujo de aprobación hasta que finalmente se apruebe.

La información dentro de BIM360 estará siempre en uno de los siguientes estados: (Figura. 9)

- **TRABAJO EN PROCESO:** Información que está siendo trabajada, no definitiva y no finalizada. No está validada, ya que todavía se trabaja en ello.
- **COMPARTIDO PARA INFORMACIÓN:** Información que se comparte para orientar sobre cambios, suele ser archivos en formato nativo o en el software de trabajo.
- **COMPARTIDO:** Información que ha pasado el proceso de comprobación de calidad. Está validada para ser com-

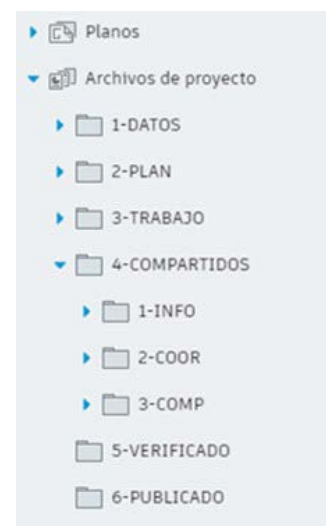


Figura 9. Organización del CDE.

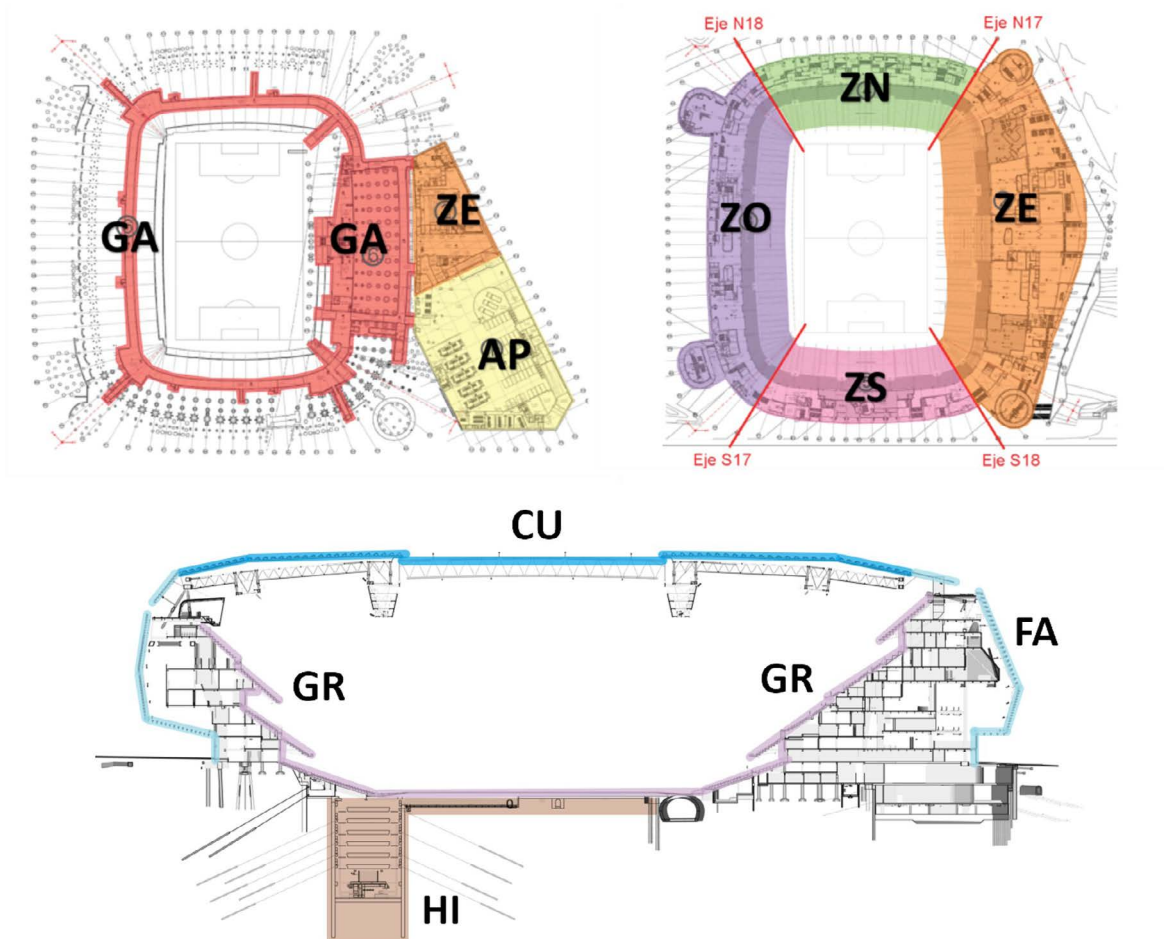


Figura. 10. División modelos en subproyectos por zonas.

partida oficialmente con el resto de los intervinientes en el proyecto y es necesaria para el desarrollo colaborativo. El formato con el que se comparte suele ser IFC (formato abierto y vinculable en cualquier software BIM).

- VERIFICADO: Información "Compartida" que además ha sido coordinada y sometida al proceso de verificación mediante limpiezas y comprobaciones de calidad. Es información lista para ser entregada al cliente.
- PUBLICADO: Se trata de información que ha sido comprobada y autorizada para ser entregada al cliente (contenida también en Thinkproject).
- CANCELADO: Cuando por algún motivo se cancelan los trabajos (por cambio de criterios de Obra, por ejemplo), la información pasará al estado Cancelado.

Uno de los principales principios que marca el antes y el ahora en la gestión de la información en los proyectos, es el acceso y la total colaboración de todos los intervinientes en las fases del proyecto⁸. En este caso, en la fase de diseño, el

entorno común permitía a diseñadores, ingenierías, Dirección Facultativa, y Cliente, y ya posteriormente, en la fase de construcción y ejecución de obra, entraron en juego los talleres de fabricación también.

3.2. Estrategia de federación y estructura de distribución

En esta gran obra de remodelación, el proyecto se ha dividido en unos 38 subproyectos, con un total de más de 250 modelos BIM y han formado parte más de 10 equipos completos de obra.

Pero ¿Por qué se ha subdividido el proyecto en subproyectos? (Figura. 10) Esto se debe principalmente a la gran cantidad de diferentes actuaciones en el Bernabéu, ya que es una remodelación y no una obra que parte de cero. El hecho de subdividirlo ha hecho que la resolución de pequeños problemas sea más fácil, al igual que el seguimiento de obra y la entrega terminada de cada una de estas partes.

Como la extensión del proyecto no debe quedar aislada de la magnitud BIM, y debido a la complejidad del proyecto,

⁸ Se expone los requisitos mínimos en cuanto al nivel BIM exigido en las obras según su presupuesto total desde el año 2023 en adelante. MITMA. Gobierno de España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. (2023). *Plan BIM en la contratación pública. Plan de incorporación de la metodología BIM en la contratación Pública de la Administración General del Estado y sus organismos*

publicos y entidades de derecho público vinculados o dependientes. (Pág. 41-47) Comisión Interministerial BIM. https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-digital/cBIM/planbim_v25_acce.pdf

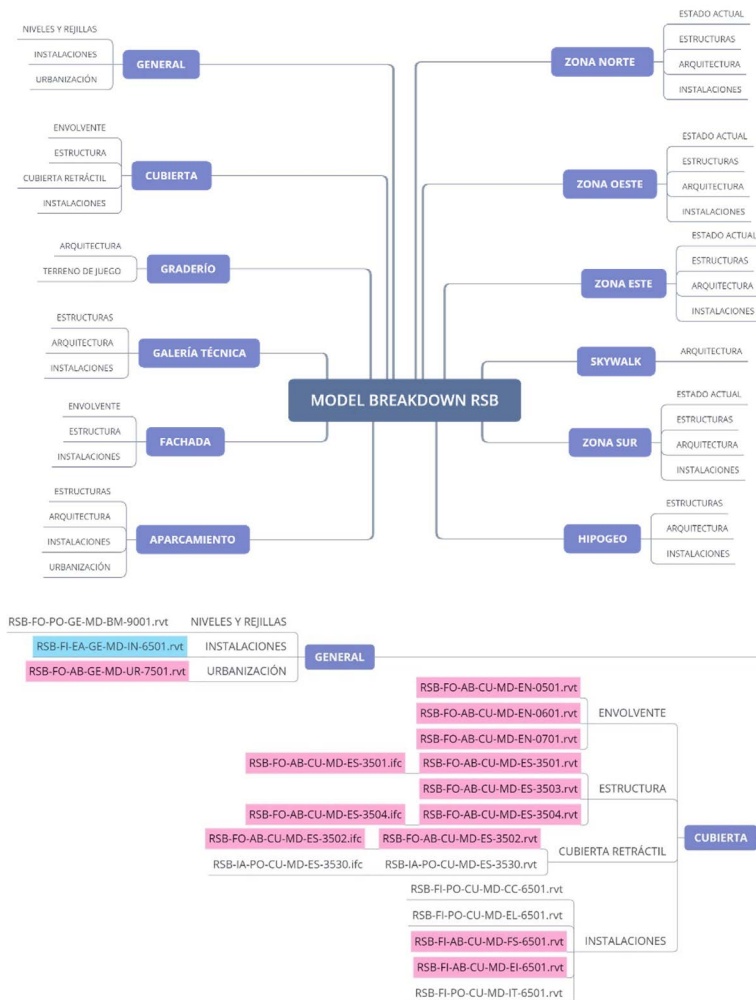


Figura. 11. Esquema y zoom parcial del Breakdown Structure (MBS). Lista de modelos del estadio (sólo FCC) casi al final de la obra.

esto ha derivado en una gran cantidad de modelos, los cuales, primero se han dividido según 12 disciplinas⁹: partiendo de las condiciones existentes, arquitectura, estructura, instalaciones y la envolvente. Y a su vez, cada una de estas disciplinas se ha dividido en 11 zonas. En resumen, se fragmenta en las cuatro zonas principales: norte sur, este y oeste, la galería, el aparcamiento, las gradas, la cubierta fija y retráctil y la fachada, haciendo un total de más de 300 modelos en su punto máximo. Para la organización y visualización de todos los modelos se cuenta con un modelo federado en formato Navisworks, y también con el esquema resumen de todos los modelos conocido como Model Breakdown Structure. (Figura. 11).

Como finalidad para permitir el trabajo viable y productivo de cada uno de los modelos BIM, se ha establecido el tamaño máximo de los modelos dentro del PEB. Al dividir el proyecto en disciplinas y zonas, sólo queda dividir los modelos por niveles o grupos de niveles para que el tamaño máximo no supere los 200 Mb. Este límite se debe a que, al estar varios usuarios dentro de un mismo archivo, la velo-

cidad de trabajo dentro del ordenador, así como en el visor web (BIM360) se pueden ver alteradas en cuanto a rapidez y rendimiento. Esta subdivisión también atiende a necesidades productivas y organizativas, dividiendo desde el nivel NS01 hasta el N03, del N04 al N07 y en algunos casos, sobre todo en la disciplina de arquitectura, en la zona este, desde el N08 al N10 también (Figura. 12).

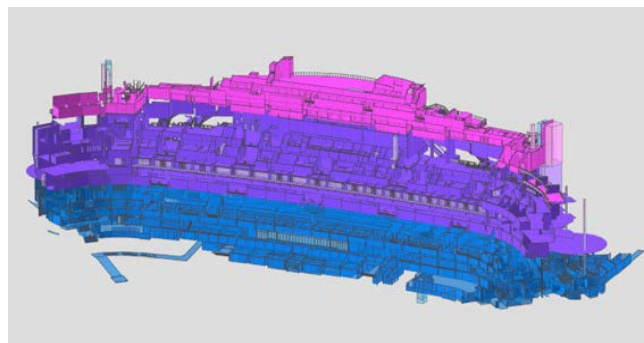


Figura. 12. Ejemplo Subdivisión modelos Arquitectura zona Este (autor: FCC Construcción; software: Revit).

Respecto al LOD (Level Of Development) en los modelos, y desde la firma del contrato con el cliente, se propuso desa-

⁹ Explicación y ejemplos para la organización y subdivisión de los modelos BIM: ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (Pág. 29-36)

rollarlos con un LOD 300 y LOD 350. El primero, en estructuras de hormigón, en las cuales la armadura no se ha llegado a modelar geométricamente, y en el segundo caso, en el resto de las estructuras metálicas con más detalle de modelado, de perfiles, platabandas, pernos, etc. Por tanto, a nivel global se puede decir que es un LOD 350, con la excepción nombrada.¹⁰ Similar ocurre en las disciplinas de arquitectura e instalaciones, que se modelaron bajo un LOD 300.

3.3. Usos BIM

Los Usos BIM se seleccionaron acorde a las necesidades y requisitos aportados por el cliente (EIR) y se han desarrollado conforme al NZCIC (New Zealand Construction Industry Council¹¹) y su anterior versión NZ BIM Handbook¹². (Entre paréntesis número de referencia).

- Modelado de las condiciones existentes (1): La base de partida sobre la que configurar el diseño ha sido clave en la remodelación.
- Mediciones y presupuestos (2): Una vez que el proyecto está modelado en BIM, se ha usado para obtener mediciones a través de tablas de planificación o con exportaciones con el plugin Cost It a Presto de algunas unidades de obra.
- Planificación de Fases 4D (3): Los modelos BIM junto con la planificación técnica, se han complementado para simular los futuros trabajos en obra y ver otro tipo de interferencias.
- Revisión del diseño (6): Algunos de los planteamientos de diseño se han modelado como distintas opciones de diseño antes de elegir la oficial y definitiva.
- Autoría del diseño (7): Se han modelado geometrías, y volúmenes con capacidad para explicar espacios.
- Análisis de ingeniería (8): Se ha utilizado para analizar la geometría propuesta, y como ésta puede afectar a las evacuaciones, reflejos en el entorno, movimientos e impacto del viento, entre otras.
- Coordinación 3D (11): El conjunto de modelos se han ido vinculando entre sí para garantizar la coherencia y compatibilidad entre disciplinas.
- Modelo de Registro (16): Los modelos de diseño posteriormente, se han ido actualizando según modificaciones en obra, hasta conformar un modelo de obra fidedigno.
- Documentación 2D (23): Se han creado modelos de publicación donde se han vinculado los modelos de geometría y desde los que se han exportado los planos de obra y posteriormente planos As-Built.

4.

CASO DE USO

4.1. Modelado de las condiciones existentes: El punto clave para tener un diseño coordinado

Uno de los principales desafíos del diseño fue replicar meticulosamente el estado actual del estadio dentro de los modelos

BIM para integrar la nueva propuesta de diseño de los arquitectos e ingenierías. Los modelos BIM de las condiciones existentes no representaban de forma fiel la realidad del estadio, al menos no en su totalidad: la posición y ubicación exacta en el espacio y la geometría constructiva de los elementos. Para ello, se contó con dos equipos de escaneado que, mediante tecnología LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging, técnica de teledetección activa mediante la emisión y captación del retorno de luz pulsada continua), proporcionaron información fiable a los proyectistas conforme se requería. Se escaneó el estadio, consiguiendo nubes de puntos, que sirvieron de referencia para actualizar los modelos BIM del estado actual según la realidad y las condiciones existentes del estadio. Al actualizar estos modelos, se logró un LOD 350, una buena base de partida para la fase de diseño y la fase de construcción. Cabe recordar que el estadio original, inaugurado en 1947, ha sido objeto de diversas modificaciones a lo largo de los años, de las cuales existen registros poco fiables sobre la realidad ejecutada.

Además de la recopilación de datos, se disponía del proyecto original de GMP, L35 y Ribas&Ribas, quienes ganaron el concurso de diseño con una propuesta de geometría singular en piel de acero, cuyas líneas fluían de manera variable, adaptándose a un entorno relativamente cerrado y creando nuevos espacios para los ciudadanos. Esta propuesta inicial ya incluía una cubierta retráctil que permitiría el uso ininterrumpido del estadio durante los 365 días del año.

4.2. Autoría del diseño y documentación 2D

Desde principios de 2019, cuando se publicó la ISO 19650, se tuvo muy claro que se debía trabajar con estas consignas y bajo flujos o procesos interactivos ya desde las fases de diseño y aplicarlo al proyecto. En obras de esta magnitud y singularidad es primordial que tanto FCC Construcción como el resto de las empresas intervinientes puedan trabajar de manera conjunta para ganar en eficiencia:

ISO 19650-1: Define cómo es el flujo y los procesos de desarrollo y gestión de la información. Establece un Entorno Común de Datos, donde se almacena la información de manera centralizada y accesible para todos los involucrados. Mediante esta norma, también se establecen los procedimientos de aprobación de la documentación.

ISO 19650-2: Corresponde a la fase de desarrollo de los activos, y que comienza desde las primeras etapas, incluso antes desde la contratación. Una vez contratada la obra, se plantean los recursos en tiempo, se nivelan los requisitos y las necesidades con el fin de satisfacerlos, e incluso se inicia con la redacción del Plan de Ejecución BIM (BEP), el Programa de Desarrollo de Tareas (TIDP), y el Programa de Desarrollo de la Información (MIDP). Es en esta etapa cuando, a la vez que se produce la información, se realizan controles de calidad internos.

ISO 19650-4: Plantea cuál es el proceso para el intercambio de información de forma más específica, adecuándose a la escala del proyecto.

ISO 19650-5: Establece el enfoque de seguridad en la gestión de la información. En este caso, dado que es un

¹⁰ El desarrollo del LOD en los modelos de geometría sigue el documento de referencia: BIM FORUM. 2023. Level of Development (LOD) Specification.

¹¹ <https://nzcic.co.nz/resources/>

¹² <https://www.biminnz.co.nz/nz-bim-handbook>

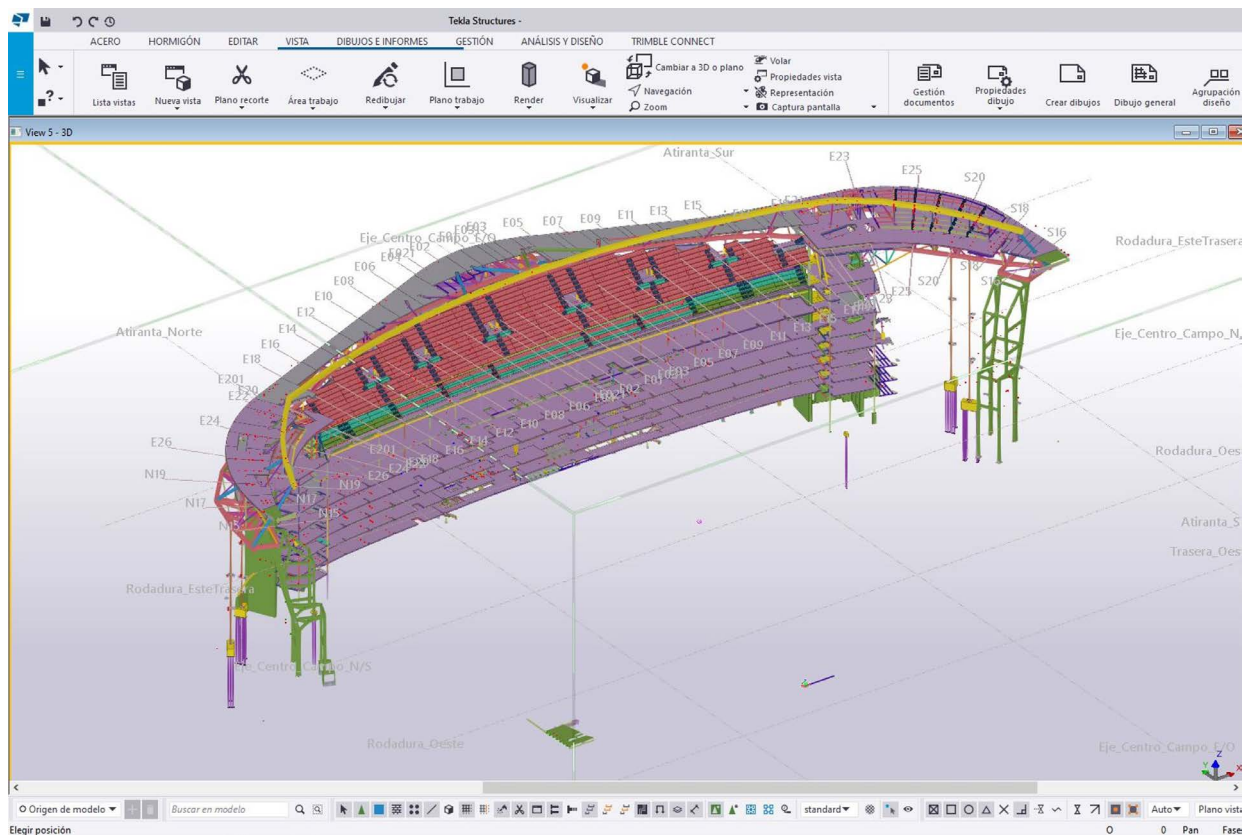


Figura. 13. Modelo de estructura del edificio Este (autor: Fhecor; software: Tekla Structures).

proyecto de alta confidencialidad, se plantean riesgos, protecciones, estrategias ante amenazas y soluciones.

Al haber escogido la metodología BIM desde las fases tempranas, ayudó en momentos de inflexión como la pandemia del COVID-19 o la tormenta Filomena; una tormenta que tuvo lugar en enero del 2021 y que llegó a paralizar la ciudad de Madrid durante una semana. Fue en esos momentos críticos donde se resaltó la importancia de la digitalización y la utilización de diferentes softwares para llevar a cabo las tareas del día a día, lo que resultó esencial. Concretamente, facilitó la revisión y seguimiento de documentación a través de las plataformas online como BIM360, Thinkproject, y Trimble Connect, sin necesidad de desplazamiento, así como el seguimiento y resolución de interferencias entre disciplinas y modelos en BIMcollab.

Los procesos de colaboración y gestión de intercambio de información implantados en el proyecto permitieron a FCC Construcción obtener en 2022 la certificación EN-ISO 19650 Partes 1 y 2¹³.

Para el diseño constructivo, FCC Construcción se apoyó en los Servicios Técnicos para la ingeniería estructural del proyecto, y con FCC Industrial para el diseño de las instalaciones que debían dar servicio a la nueva infraestructura. Además, se contó con las mejores ingenierías nacionales para la arquitectura y la envolvente, así como para determinadas actuaciones

en la estructura, con las que se estableció un flujo de trabajo y colaboración continua para configurar el diseño final.

En este punto, al contar con los modelos BIM actualizados, se pudieron utilizar en estas fases iniciales y comenzar a trabajar conjuntamente bajo la metodología BIM. La mayoría de los modelos fueron realizados en Revit, aunque para posibilitar y facilitar el trabajo se permitió diferente software BIM. De esta forma, no era necesario modelar en Revit, si no que cada empresa podía elegir el que más favoreciera el desarrollo de su trabajo. Es por ello que, con más de 30 empresas, se llegó a tener entre todos más de 20 softwares diferentes, y en los cuales otras herramientas fundamentales destacaron, como por ejemplo Tekla Structures y Tekla Model Sharing (Figura. 13). Al apostar por esta libertad en la elección del software de modelado, prevaleció el uso del OpenBIM para la coordinación entre las distintas empresas, modelos y fases, como en el uso del formato IFC (Industry Foundation Classes).

Además, el trabajo mediante BIM Collaboration Format (BCF)¹⁴ permitió una comunicación entre las distintas empresas de diseño y construcción, esencial en un proyecto vivo. Una de las herramientas utilizadas fue BIMcollab, con la que se realizaban 'incidencias' cada vez que se encontraban interferencias, o discrepancias entre modelos para su posterior resolución entre los distintos equipos. Primero, dichas incidencias eran creadas en Revit y con el plugin BIMCollab la geometría se vincula a un 'issue' en la plataforma. Luego, se procede a exportar a Navisworks con este mismo plugin, y así se podían ver las incidencias e interferencias en todo su contexto.

13 Las normas ISO 19650 definen el marco, los principios y los requisitos, para la adquisición, uso y gestión de la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, tanto de edificación como de obra civil.

14 <https://www.buildingsmart.es/bim/openbim/bcf/>

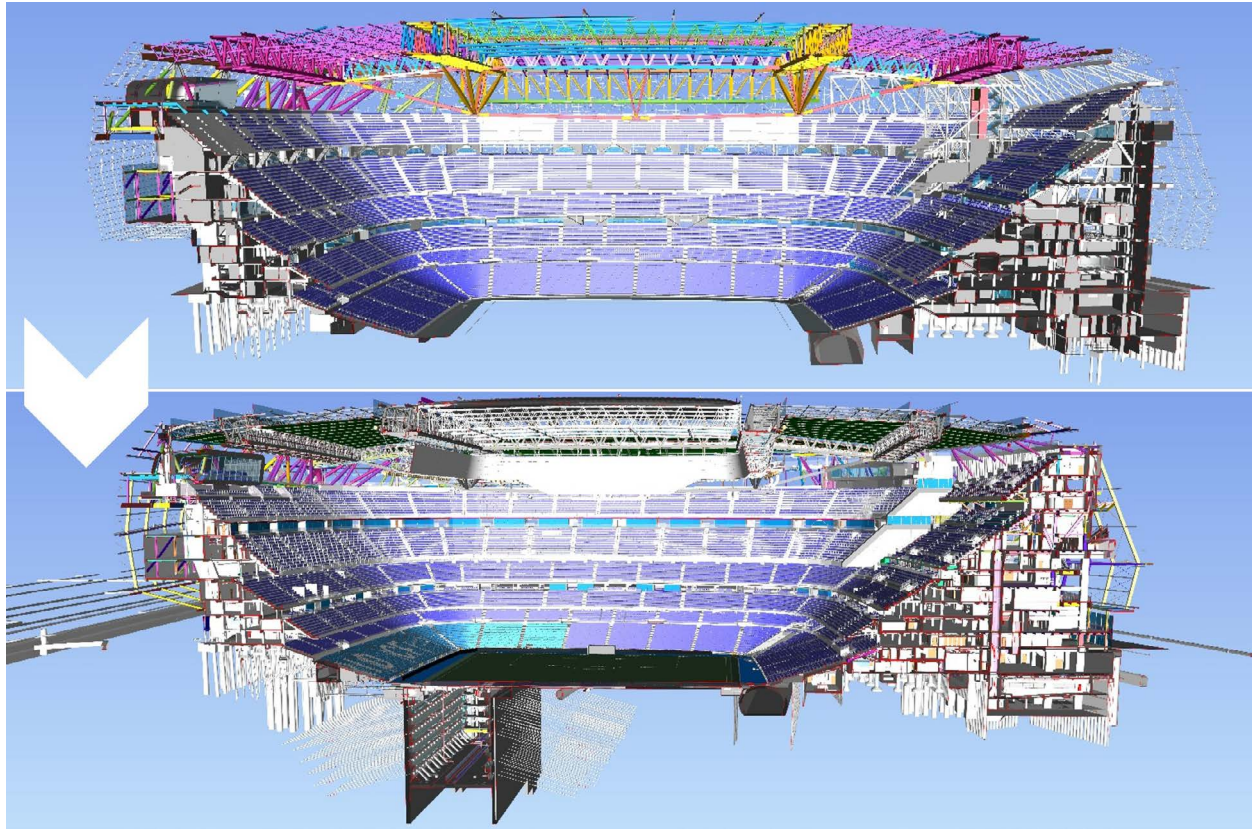


Figura. 14. Comparación entre diseño inicial y diseño final con la inclusión del hipogeo (Autor: FCC Construcción; Software: Vista Federada en Navisworks).

RMCF y FCC Construcción, en su búsqueda continua de excelencia, seleccionaron ingenierías alineadas con su visión para el uso de herramientas digitales avanzadas. Esto permitió realizar simulaciones detalladas para dar solución a elementos críticos, como los estudios de evacuación de espectadores y la visualización desde cada asiento. Asimismo, los estudios aerodinámicos realizados con herramientas de simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) evaluaron el impacto del viento sobre la envolvente del estadio, optimizando su diseño estructural y minimizando riesgos asociados a cargas dinámicas.

Reseñable es el esfuerzo realizado por la ingeniería ARUP para la elaboración de un modelo paramétrico que permitiera simular el deslumbramiento para la optimización de la piel envolvente del estadio. Se siguieron los siguientes pasos:

- Exploración y Análisis de Reflexiones:** Se comenzó analizando las reflexiones en los alrededores de los vecinos y del tráfico para entender cómo afectaban las lamas. Se analizaron más de 11.000 lamas, sobre las que se simularon casi 700.000 impactos lumínicos (del sol o de fuentes no naturales, tales como las luces de tráfico). Las lamas se inclinaron en diferentes ángulos para modificar estas reflexiones. Utilizando la función gaussiana, se analizaron más de 682.000 configuraciones diferentes para encontrar las óptimas.
- Desarrollo Geométrico:** Se utilizó el software Rhinoceros para el modelado 3D y para el desarrollo de la forma de las lamas con precisión geométrica. Este software

permitió explorar múltiples configuraciones y ajustes geométricos.

- Parametrización en Revit:** Una vez definidas las geometrías en Rhinoceros, se empleó Dynamo, una herramienta de programación visual para Revit. Dynamo permitió transferir y parametrizar las lamas en Revit, facilitando la integración y manipulación de los modelos dentro del entorno BIM.
- Iteración y Validación:** A lo largo de estas anteriores etapas, se realizaron iteraciones constantes para asegurar que las lamas no solo cumplieran con los requisitos estéticos y funcionales, sino que también respetaban las tolerancias geométricas y de fabricación establecidas.

4.3. Nueva incorporación a diseño

En el año 2021, cuando parecía que todo el diseño ya estaba coordinado con el estado actual del estadio y con la obra ya comenzada, se añadió al diseño el proyecto del hipogeo. Este proyecto fue redactado aparte por SENER, y coordinado e integrado por FCC Construcción con el conjunto de los trabajos. Geométricamente, es un hueco de 25 metros de profundidad, dividido en 6 niveles, donde se alojan verticalmente las bandejas de césped, que miden 110 metros de largo y 11,6 metros de ancho, lo que suponía incluir más demoliciones en la zona de las gradas del oeste, cambios en todo el perímetro del terreno de juego y dentro del mismo, y nuevas estructuras dentro del este. (Figura. 14) Al igual que se coordinó el diseño inicial, en este caso se continuó utilizando los modelos Re-

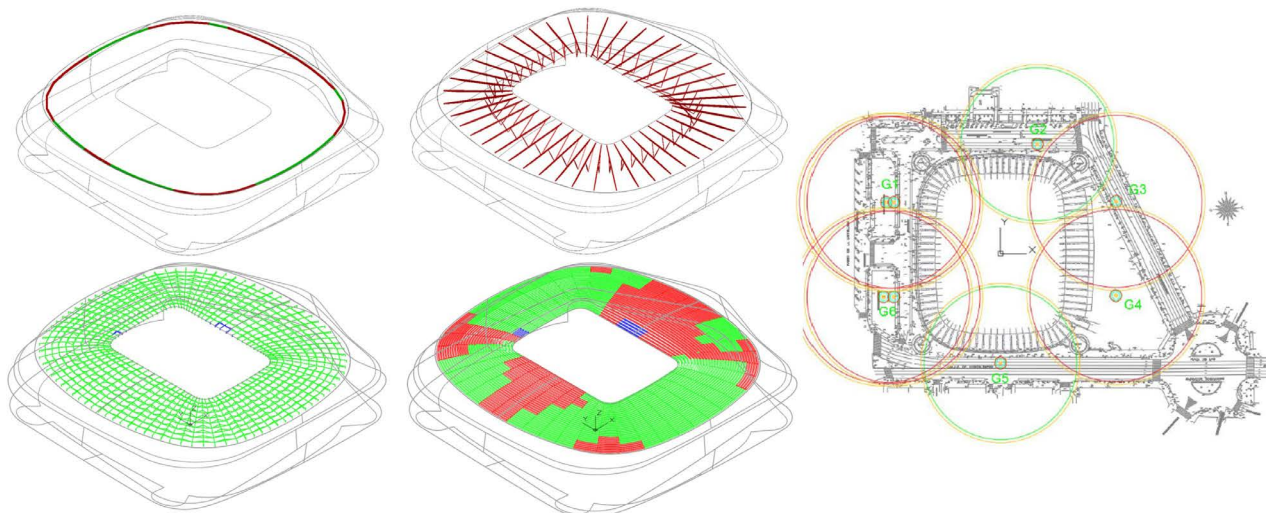
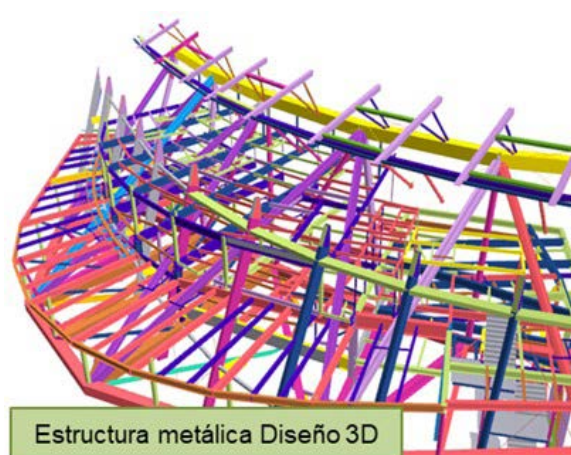
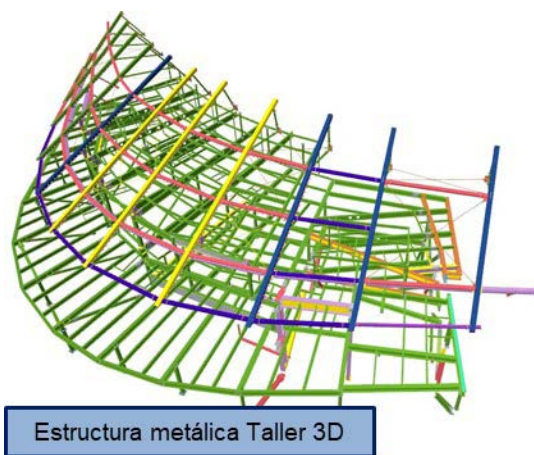


Figura 15. Estudio de izado de las grúas torre (autor: FCC Construcción; software: Revit).



Estructura metálica Diseño 3D



Estructura metálica Taller 3D

Figura 17 y Figura 18. Modelos 3D comparativos de una misma zona (izq: diseño de Fhecor; dcha: taller de Inbersa).

vit, BCFs para la gestión de incidencias, Navisworks Manage para la coordinación y visualización de interferencias.

4.4. Otros análisis de ingeniería

Otro ejemplo de cómo BIM apoyó a FCC Construcción es el ejercicio de simulación del izado (Figura. 15) de los distintos elementos de la estructura metálica para la implantación logística de las grúas torre y la coordinación constructora-taller para su montaje y posición en obra. Dado que el estadio está en plena Calle Castellana (Madrid), no hay suficiente espacio para poder ocupar con acopios, y maquinaria, por lo que su localización debe ser lo más eficiente y abarcar la mayor cantidad de área de cara a ejecutar los puntos más altos, como la cubierta: en verde, zonas de fácil acceso, y en rojo, las áreas más retiradas.

4.5. Coordinación: Diseño & Fabricación

En cuanto a la coordinación con las empresas de fabricación y FCC Construcción, estas primeras han desarrollado prin-

cipalmente lo que corresponde con estructura metálica en Tekla, por lo tanto, el uso de IFC¹⁵ y OpenBIM ha sido muy importante de cara a la coordinación geométrica. A la hora de compartir los modelos, también se ha seguido el flujo mediante el CDE como única fuente de verdad. (Figura. 16)

El trabajo de coordinación comenzaba a partir de los modelos BIM de diseño en detalle de las ingenierías participantes (Figura. 17). Esta geometría era exportada en IFC y compartida, a la vez que estaba visible y actualizada dentro del modelo federado. Una vez que los talleres ya tenían dichos modelos BIM de diseño en detalle, comenzaban su trabajo para desarrollar la geometría con todo el detalle necesario para su construcción y fabricación, incluyendo placas, tornillos, pernos, o cualquier elemento necesario para su ejecución, incluso se realizó alguna modificación puntual que mejoraba la eficiencia y montaje en el proyecto. (Figura. 18)

15 UNE, Normalización Española. (2020). ISO 16739-1:2020 Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020). International Standards for business, Government and Society.

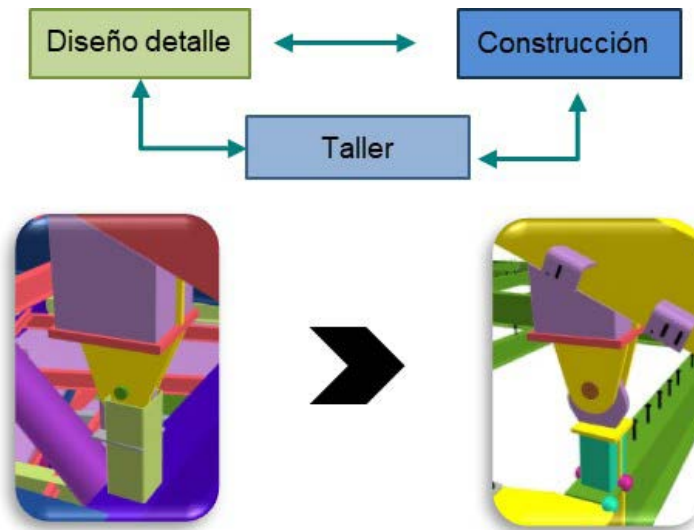


Figura 19. Flujo de trabajo entre diseño en detalle y taller de fabricación. Ejemplo de unión estructura metálica en modelos BIM.



Figura 20. Proceso control calidad modelo con Nubes de puntos..

En el caso anterior, cuando se precisaba de cambios, era siempre comentados en reuniones semanales entre todos para dar el visto bueno a su modificación o no, y siempre teniendo a todos los intervinientes informados. Además, se realizaba mediante el CDE, un flujo de aprobación entre la empresa de diseño y la de fabricación. Se creaba un flujo para una tarea en concreto, o más bien, un flujo entre las empresas que debían revisarlo y las que debían ejecutarlo. Se establecía quien comienza la revisión. En este caso, normalmente, la iniciaba el taller hasta la ingeniería, y esta procedía a descargar el modelo de fabricación para revisarlo y confirmar si era válido. El documento o el modelo, en este caso, podía ser aprobado, rechazado, o aprobado con comentarios. Finalmente, se procedía a compartir los nuevos IFCs de fabricación y a actualizar el modelo federado con estos nuevos modelos, para comprobar el encaje final.

Durante estas tareas de coordinación entre diseño y fabricación, además de los escaneos LiDAR, fueron fundamentales las labores topográficas, sobre todo en lugares donde la nube de puntos ya no era tan fiable ni nítida por estar más lejos físicamente. El seguimiento de los elementos construidos se realizó con periodicidad para comprobar la posición final y verificar si la geometría propuesta para fabricar y montar inmediatamente después, era la adecuada. (Figura. 19)

En cuanto a la estructura metálica, estas labores topográficas se llevaron a cabo en la cubierta fija, cubierta retráctil, el nuevo edificio este, y la subestructura de la fachada, entre otras. Con estos datos (x, y, z) en coordenadas, se pudieron introducir como puntos 3D para comparar su posición real respecto de la posición teórica en los modelos y posteriormente, ajustar sus dimensiones, posición o ver alguna interferencia.

Una de las principales ventajas que han encontrado las empresas fabricantes o los talleres de fabricación en la metodología BIM, ha sido la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad, ya que, por ejemplo, la fabricación de las piezas metálicas y su correspondiente despiece ha conllevado un grado de desperdicio de materiales significativamente menor.

4.6. Coordinación 3D

Debido a la necesidad de agilizar los plazos de ejecución, los Servicios Técnicos de FCC Construcción se alinearon con los talleres de estructura metálica para ajustar el diseño con la construcción y así optimizar el proceso de fabricación y ensamblaje (DfMA, Design for Manufacturing and Assembly). Esto permitió, entre otras acciones, como el montaje en blanco o la maqueta de lamas y su sujeción, pasar de la maqueta virtual al taller y al ensamblaje final, minimizando tiempos y errores en el proceso.

Esencial para el control de lo ejecutado es poder realizar comprobaciones que permitan cotejar la realidad física construida contra el modelo BIM. Para ello, se han realizado escaneos en obra mediante tecnología LiDAR de manera continua. Se realizaba el procesamiento de los escaneos para obtener las nubes de puntos (Figura. 21) y, tras establecer su formato y proceder a su importación en Revit, se contrastaba la obra ejecutada contra el modelo BIM. El proceso (Figura. 20) permitía detectar desajustes geométricos y de localización, y actuar en consecuencia en un breve espacio de tiempo. Este análisis entre la nube de puntos y el modelo se logró hacer automáticamente a través del software Topcon Verity (Figura. 22), que tenía en cuenta las distintas tolerancias de proyecto en la automatización de reportes gráficos.

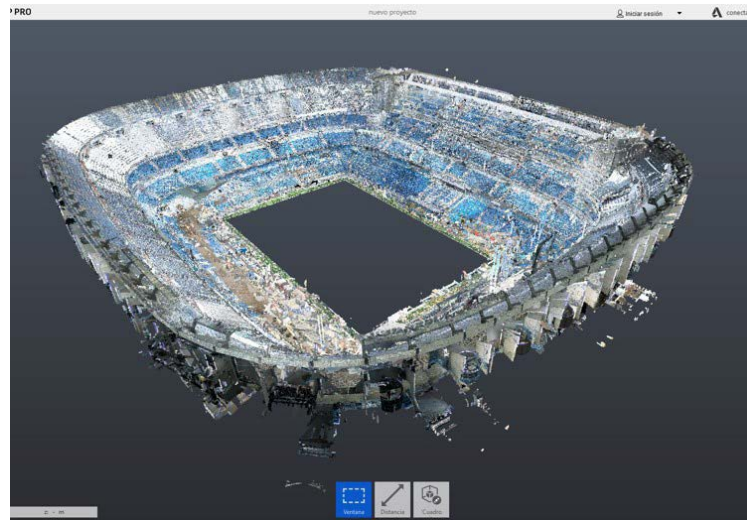


Figura 21. Nube de puntos del estado actual del Bowl antes de iniciar los trabajos (autor: FCC construcción; software: Autodesk Recap Pro).

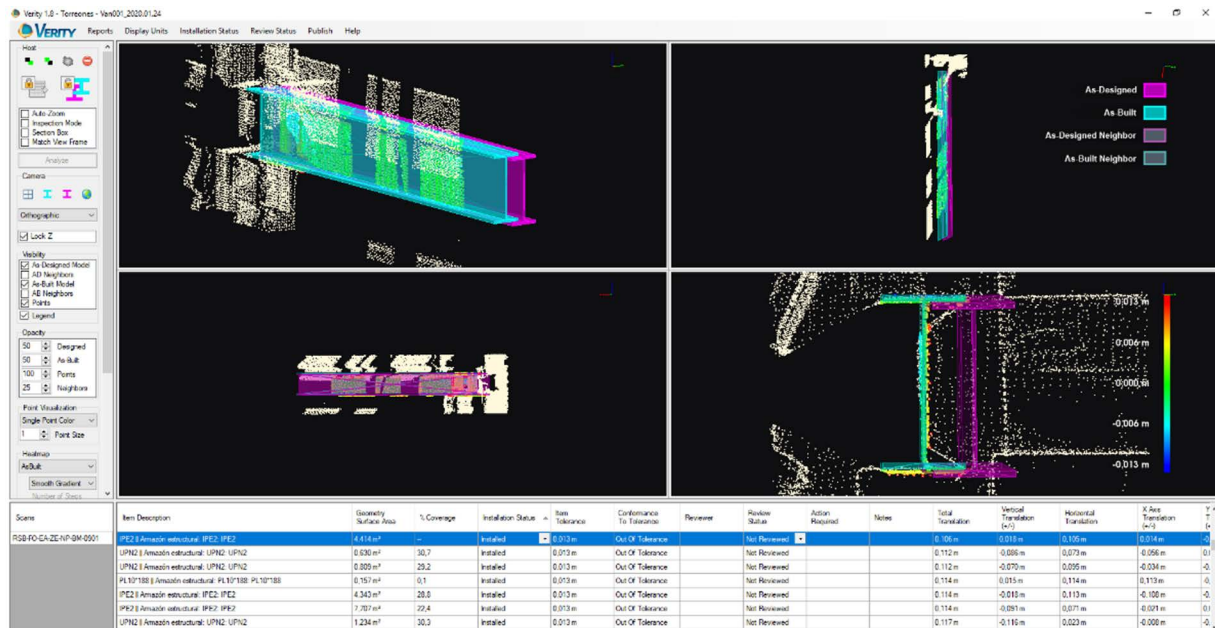


Figura 22. Comparativa nube de puntos con geometría y posible localización. (autor: FCC construcción; software: Verity).

Este proceso era gradual, y semanalmente se podían actualizar pequeñas zonas recién ejecutadas, siguiendo el proceso ilustrado anteriormente.

4.7. Planificación de fases 4D

Más allá de su uso para la coordinación de los trabajos de demolición y diseño, y en paralelo con la nueva construcción, FCC Construcción utilizó la metodología BIM para un mayor control del proyecto en cuanto a la gestión del plazo.

Para abordar la obra desde fases tempranas, durante la 'pre-construcción' se escogió Bentley Synchro Pro, software BIM 4D¹⁶, con el que se realizó el análisis de conflictos espaciales y temporales (Figura. 23). Analizar la obra en tiempo y en espacio a través de la integración de los modelos BIM y la planifi-

cación de obra, permitió establecer trabajos de obra seguros al poder visualizar todo el progreso en avance a los mismos.

4.8. Mediciones y presupuestos

Un proceso para el cual BIM se puede utilizar para ayudar a generar estimaciones de costos precisas durante todo el ciclo de vida de un proyecto, generalmente realizado por un técnico de planificación económica o un técnico de estudios, es lo que se conoce como 5D¹⁷. Este proceso ayuda al equipo del proyecto a evaluar el impacto del coste en los cambios durante todas las fases del proyecto, lo que puede ayudar a frenar los sobrecostos debidos a modificaciones del proyecto o de diseño.

¹⁶ La dimensión 4D trata de incorporar el factor tiempo a la fase de modelado (3D) que se ha realizado hasta el momento.

¹⁷ Es la dimensión del 4D más costes. La dimensión 5D, donde se incorpora la información necesaria para determinar los costes a lo largo del tiempo. 5D agrega información de costes a un modelado.

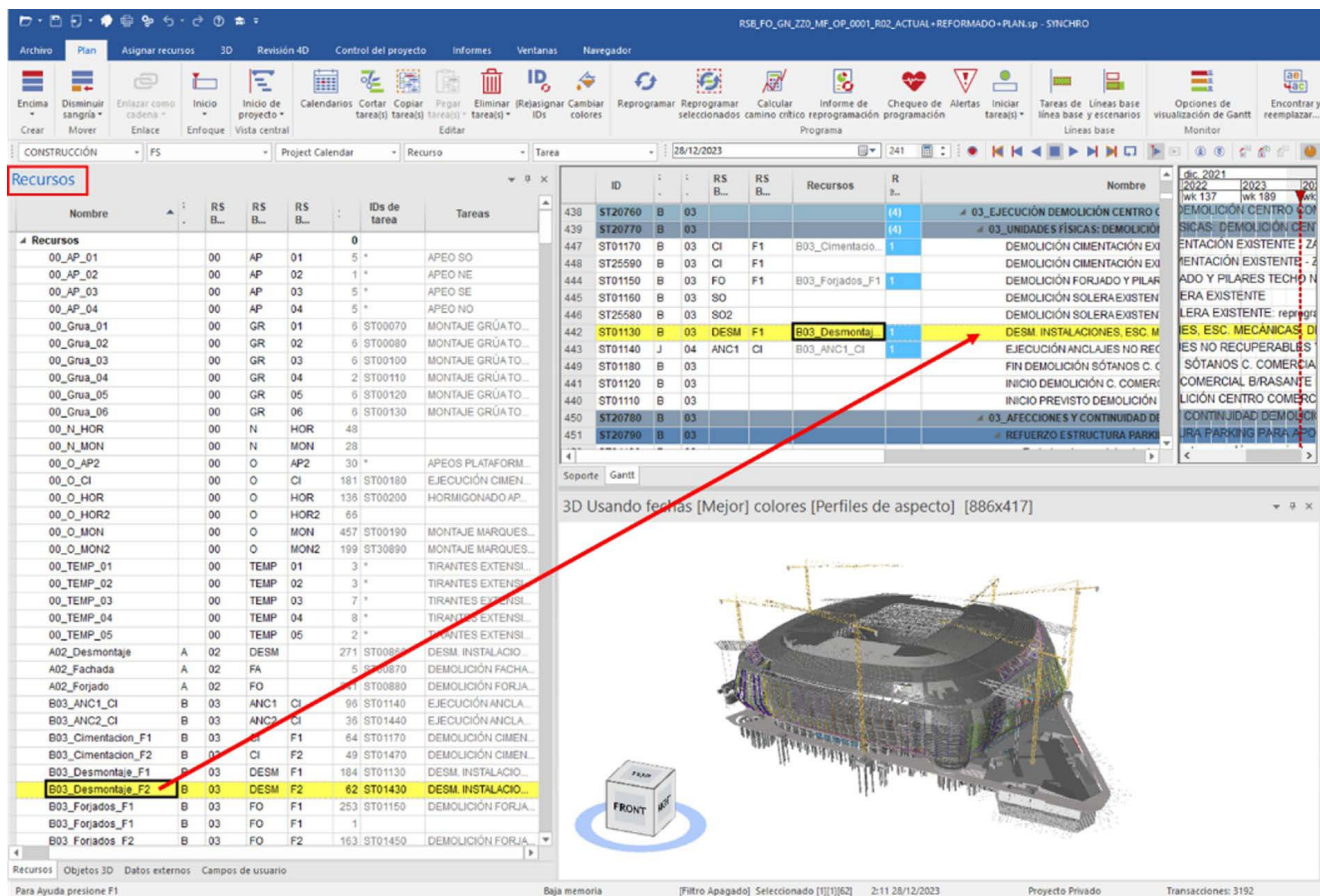


Figura 23. Modelo de planificación BIM 4D (autor: FCC Construcción, software: Bentley Synchro Pro).

El control presupuestario a través de RIB Presto se consigue a través de una gestión eficiente de las mediciones por parte de la constructora. Para ello, FCC Construcción preparó los modelos BIM para conseguir un control que permitiera agilidad suficiente para el seguimiento de la producción y los cambios, así como en avance para apoyar los procesos de compra. Dentro de los modelos se crearon una serie de parámetros compartidos que se rellenaban con información que permitía filtrar por zonas o subproyectos: RSB_Zona. El enlace entre Revit y Presto se realizó mediante Cost-it (Figura. 24), plug-in de Revit que se complementaba con el uso de Bexel Manager¹⁸. El análisis y extracción de mediciones con Bexel fue utilizado principalmente para aquellos modelos que provenían de otro software distinto a Revit, y cuyo formato era IFC. Estos se importaban, se filtraba la geometría a medir tanto con parámetros como geométricamente y se exportaba la medición calculada.

4.9. Modelo As Built: Control de Calidad y seguimiento

Asimismo, en determinadas áreas del estadio se usaron herramientas digitales para la gestión de incidencias en el campo con dispositivos móviles, más concretamente Autodesk BIM 360 Field

¹⁸ BEXEL Manager es una plataforma de software que revoluciona la gestión de proyectos de construcción. Su propósito es mejorar el modelo, así como optimizar los costos y procesos de trabajo en todas las etapas del proyecto, para desarrollarlo exitosamente. Su uso fue complementario para extracción de mediciones.

Management (Figura. 25). Este procedimiento fue utilizado en el edificio Este, donde los refuerzos estructurales eran ejecutados puntualmente y se debía hacer un seguimiento casi diario entre lo ejecutado y la documentación. Dado que se requerían comprobaciones tan continuadas, la opción de la nube de puntos no era tan ágil. Mediante esta solución, permitió implantar un procedimiento de carga de información en el CDE, visitas a obra, y comprobación y comparación de lo ejecutado respecto al modelo.

Principalmente, se utilizó en la zona Este, entre el topógrafo, el jefe de producción, el jefe de obra y el técnico BIM de Oficina Técnica. Para ello, los planos cargados en Thinkproject también se cargaron algunos de los planos de la zona Este dentro de BIM360, en total, más de 280 planos. Cargada toda esa documentación, y a través del móvil o Tablet, se comprueba si la geometría estaba ejecutada en obra tal cual el plano y, por tanto, el modelo BIM. Si no es correcta la documentación, entonces, mediante incidencias a las que se adjuntaba un comentario descriptivo y fotografías de obra, se notificaba a todo el equipo de trabajo la incoherencia. Además, se incluían notas y nubes de revisión para concretar el punto o zona a revisar dentro del plano digital. (Figura. 26).

4.10. Modelo de Registro

Al finalizar la obra, los modelos BIM de obra se tuvieron que ir actualizando según los cambios realizados en la ejecución

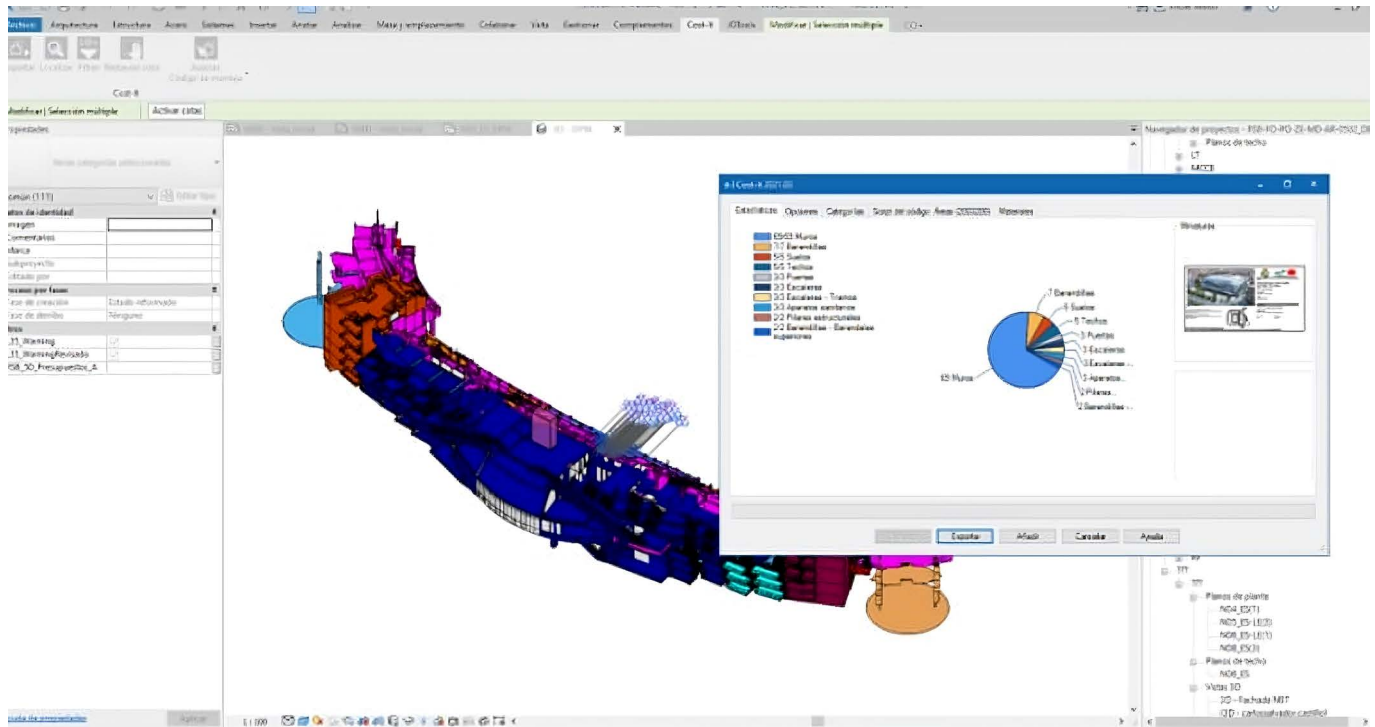


Figura 24. Integración de mediciones (autor: FCC Construcción; software: Revit + Cost-it).

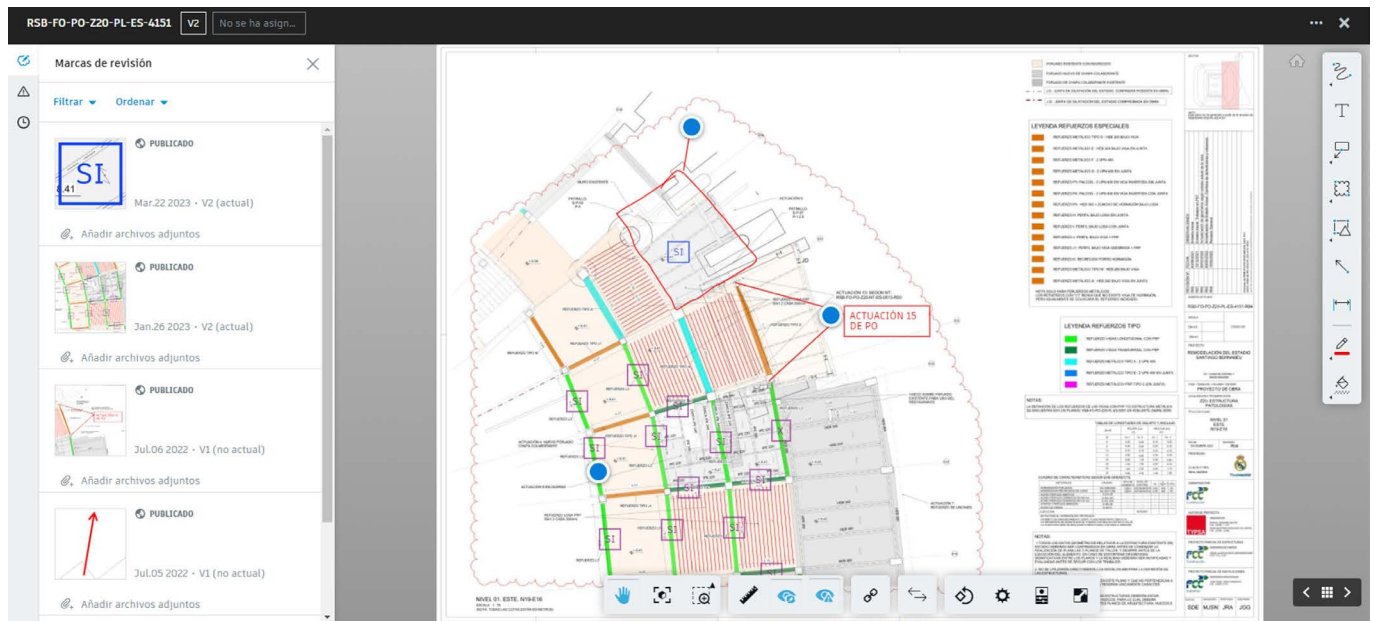


Figura 25. Ejemplo de reporte de incidencias en planos (software: Autodesk BIM360 Field Management).

hasta conformar los modelos As-Built. Posteriormente, una vez realizados cambios dentro del modelo, junto con la limpieza de elementos y parámetros compartidos no útiles para el cliente, se conformaron los Record Models. Finalmente, y partiendo de estos Record Model, se crearon los modelos de Facility Management mediante el relleno de información dentro del parámetro RM_Codigo RM de cada una de las habitaciones de arquitectura, y de manera similar en los aparatos y las instalaciones.

Este trabajo se realizó principalmente en obra, en los refuerzos estructurales dentro del edificio este: se creaban in-

cidencias en los planos y se adjuntaba toda la información necesaria, como las fotografías tomadas con la tablet en la obra, y cualquier otra información relevante. Posteriormente, se realizaban los cambios en los modelos de Revit en la oficina y comenzaba el proceso nuevamente. Así, se logró una coordinación coherente entre la realidad y los modelos.

Además, en este proceso de auditoría interna del modelo, al igual que al inicio de los trabajos, se realizaron escaneos para comparar la geometría dentro de Revit con nubes de puntos.

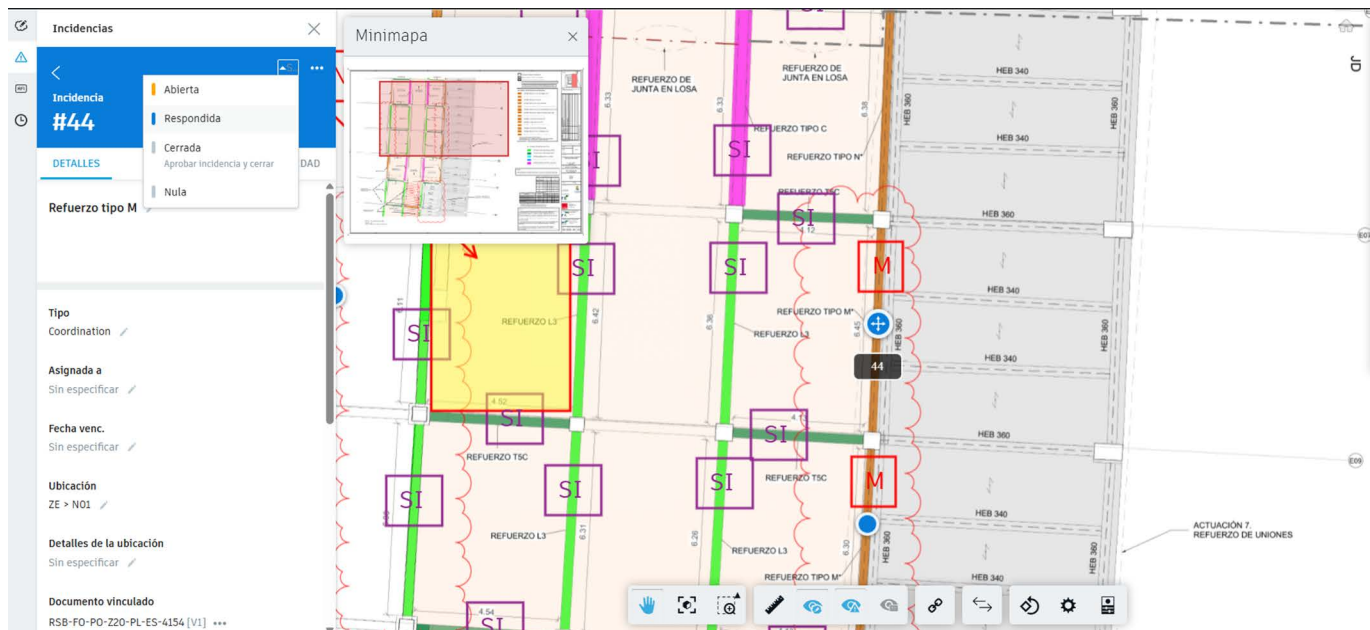


Figura 26. BIM360 Field. Incidencias en planos con anotaciones según ejecución de obra.

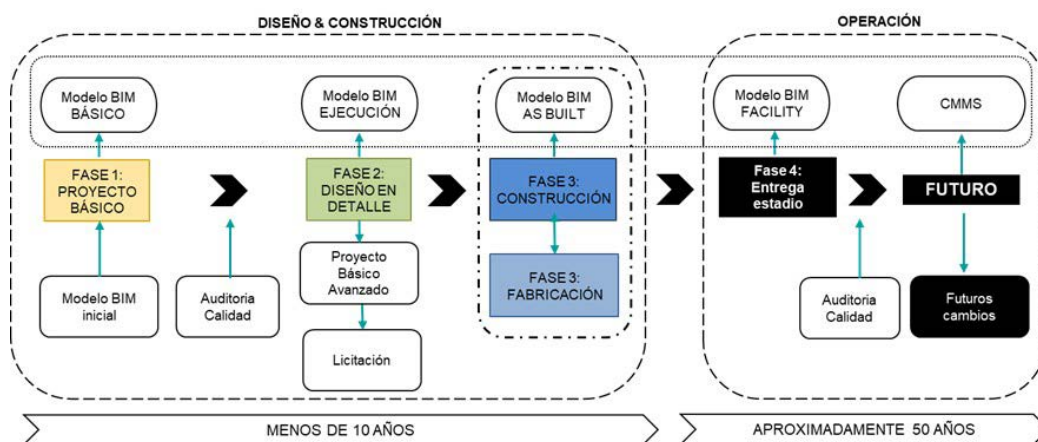


Figura 27. Flujo de fases del proyecto y de la obra, y fases posteriores tras la entrega del estadio.

4.11. Modelo de Información de Activos (AIM)

Finalizados todos los trabajos en obra, y teniendo los modelos BIM fieles a la realidad construida, es cuando el trabajo realizado con los modelos cobra una mayor relevancia. Al observar el esquema general del proceso del modelo desde el comienzo (Figura. 27), ya se está en las últimas fases, entre la etapa final de las obras en el sitio de construcción y la fase de explotación del activo. Esta última etapa será la que tome más tiempo; por ejemplo, si la construcción ha durado algo más de cuatro años, su mantenimiento tomará aproximadamente cincuenta años. Por ello, se destaca la importancia de desarrollar un modelo de instalaciones que sirva durante toda la vida útil del estadio.

Durante la fase de operación, el mantenimiento y gestión del activo se realizan a través de los modelos mediante pla-

taformas GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador) a desplegar por RMCF.

El RMCF estableció desde un principio las bases y definió sus necesidades y enfoque con vistas a Operación y Mantenimiento. Se pone el foco en la planificación de los trabajos a realizar, en vez de solucionar fallos puntuales y reparaciones urgentes, además de proporcionar información sobre la salud del activo, el aprovisionamiento necesario y la capacidad de registrar cada una de las intervenciones en el estadio. Desde acciones más sencillas, como el cambio de bombillas que han dejado de funcionar, hasta tareas más complejas, como la gestión y venta de entradas de partidos y/o conciertos, pasando, por supuesto, por futuras obras y modificaciones en las instalaciones, entre otras muchas actividades.

5.

CIERRE DEL PROYECTO Y LECCIONES APRENDIDAS

En cuanto al cierre de un proyecto, toda la información creada y gestionada hasta ahora debe volcarse en la tecnología corporativa creada para organizar y almacenar todos los proyectos y trabajos. En FCC se cuenta con Alejandría, una aplicación basada en SharePoint.

El volcado de toda la información se realiza automáticamente utilizando la herramienta ACC-Connect, una vez establecido el flujo de trabajo, es decir, desde la carpeta de origen hasta la carpeta de destino. Esto se logra mediante la asignación de carpetas. Así como se mapea la ruta de los archivos, también se mapean los metadatos que interesa copiar, como: el nombre, la revisión, la fase, la persona responsable y su estado final. Otra ventaja es que cualquier cambio o actualización en los metadatos también se refleja en el entorno de SharePoint.

5.1. Lecciones aprendidas y propuesta de mejoras

El final de la fase de desarrollo concluye con el proceso de documentación de las lecciones aprendidas, que servirán como referencia para futuros proyectos.

Las lecciones aprendidas se recogen a lo largo del desarrollo de todo el proyecto y se archivan en su ubicación correspondiente, incluyendo el registro de los siguientes datos:

- Descripción de los aspectos BIM característicos a transmitir.
- Acciones correctivas aplicadas en caso de que fueran necesarias.
- Recomendaciones para futuros proyectos.
- Experiencias por transmitir relacionadas con los participantes en el proyecto.

El objetivo principal de este proceso es transmitir las experiencias, tanto positivas como negativas, recogidas de los participantes en el proyecto. Se consigue identificar posibles riesgos que afecten a los objetivos BIM, reduciendo de esta forma su aparición, así como establecer las bases de éxito para un desarrollo eficiente de un proyecto futuro.

Entre las lecciones aprendidas en este proyecto y sus medidas de mitigación o propuestas de mejora se destacan:

ASPECTOS BIM CARACTERÍSTICOS DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN APLICADA A PROYECTO	LECCIONES APRENDIDAS	PROPUESTAS DE MEJORA
Requerimientos BIM y datos significativos	EIR: Gestor de documentación con flujos de aprobación tipo Thinkproject. FCC propuso BIM360 como herramienta para la coordinación y compartición BIM	Los modelos del estado actual recibidos de parte del cliente, no eran ni fieles a la geometría del estadio, ni los elementos estaban colocados en su localización correcta. No eran fiables de cara a la construcción. Como conclusión a esto primero, los recursos BIM para actualizar los modelos del Estado Actual llegaron más tarde: en el verano del 2020, a la vez que ya se estaba empezando a demoler y ejecutar alguna parte del estadio. Mediante toma de datos topográficos y nubes de puntos se obtuvo información de la localización y geometría de la gran mayoría de los elementos para actualizar los modelos base EA. No se plantearon al inicio los requerimientos BIM para la entrega final de los modelos.	El cliente debe también involucrarse en la aprobación de modelos, así como en los requerimientos mínimos fijados desde el inicio. FCC debe asegurar para futuras obras de remodelación/rehabilitación, que los modelos de las condiciones existentes reflejen fielmente la realidad, y que también superen el mínimo de calidad establecido.
Entorno Común de Trabajo (CDE)	BIM360 para WIP y SHARED Thinkproject para PUBLISHED (NWCs); BIM360 para PUBLISHED fase As Built	Las exigencias contractuales del cliente eran la existencia de un gestor de información [Thinkproject o similar] como gestor de aprobación. Dentro de Thinkproject se estableció una clasificación por subproyectos y el proceso de aprobación de la información. El funcionamiento ha sido bueno y se ha usado en todo momento bajo las premisas iniciales (para aprobación de documentación y planos 2D). En el caso de rechazados se pone comentarios para su futura revisión. En cuanto a los modelos BIM, se estableció BIM360 (CDE) como herramienta para la coordinación y la compartición de modelos.	Establecer proceso de aprobación de los modelos BIM en el CDE correspondiente para asegurar la calidad de los modelos recibidos y entregados al cliente, y de todos los modelos recibidos por los subcontratistas.
Estructura de desglose de modelos	Modelo de coordinación general Modelos por disciplinas y edificios	El modelo federado se generó con un árbol de desglose de modelos separado por disciplinas, y después por las zonas del estadio o subproyectos. Se ha ido actualizando, partiendo desde las primeras versiones en la fase de Diseño, continuando por fase de obra, y posteriormente en la fase As Built. Es un modelo NWD compuesto por más de 250 modelos y son 2Gb de dimensión, lo que para algunos usuarios de la obra con ordenadores menos potentes (jefes de obra y jefes de producción) han encontrado dificultades para abrirlo, y visualizarlo.	Generar varios modelos parciales que se vayan actualizando desde las primeras fases. O generar modelos federados con otros formatos u otras plataformas, como hicimos, por ejemplo, IFCs con Trimble Connect.

ASPECTOS BIM CARACTERÍSTICOS DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN APLICADA A PROYECTO	LECCIONES APRENDIDAS	PROPUESTAS DE MEJORA
Coordinación espacial entre los modelos de diseño (3D)	BIM360 coordination y Navisworks BIM Collab	Para la visualización de la coordinación BIM se ha usado Navisworks, o directamente vinculando los modelos en Revit. Para la gestión de incidencias ha sido mediante BIMcollab, Revit y el plugin BIMcollab BCF Manager. Debido al gran número de intervinientes y de empresas, no todas las incidencias han sido respondidas o resueltas y cerradas a través de BIMcollab.	Seguir el workflow normal forzando el uso de este tipo de plataformas para el cierre y resolución final de incidencias e interferencias.
Planificación de fases (4D)	Microsoft Project y Synchro	La función BIM no estuvo involucrada desde el principio en este proceso y fue complicado vincular toda la planificación con los elementos modelados debido a la codificación. Requiere de un mantenimiento semanal. En el caso de creación de nuevos elementos o modelos como ha sido en nuestro caso, se requiere un seguimiento exhaustivo para incorporar todo con su codificación correcta.	Acordar con el cliente necesidades y requisitos 4D desde el principio y en el contrato. En el caso de que no esté en contrato, si es necesario implementarlo desde el equipo BIM, también se deben fijar las necesidades al principio.
Estimación de costes (5D)	Revit + Cost It. Presto	El software Revit + Cost It ha servido para la obtención de mediciones aproximadas de muchas partidas o la comprobación de las partidas de los subcontratistas. Para dicha exportación de mediciones, era necesario rellenar parámetros compartidos creados para separar el proyecto en los subproyectos necesarios (RSB_Zona). El software funciona correctamente, pero exige al usuario tener conocimientos de Revit a nivel gestión de la información y parámetros. Mediciones extraídas en base a categoría de modelado y filtrado mediante relleno de subproyectos en parámetros compartidos creados para este propósito.	La estimación de costes debería implementarse en BIM desde el inicio de la fase de diseño y continuando en la fase de obra posteriormente. Si se desea que los costes salgan prácticamente de los modelos BIM, estos deberán estar preparados para que las mediciones sean más precisas. De cara al personal o a los recursos humanos que realicen estas funciones deberán tener formación previa en Revit y Cost It así como Presto desde el principio. En proyectos de gran envergadura, como este, es importante que el seguimiento desde la fase de diseño a la de obra sea continuo. Posible alternativa software: Bexel.
Capacidades y Organización del equipo BIM	BIM Manager + BIM Coordinator	En general, sigue habiendo muy poco conocimiento de BIM por parte de los equipos de gestión y, se sigue considerando exclusivamente como modelos 3D.	Enfocarse en la gestión de los datos y la información. Utilización de Excel y Power BI y reducir la dependencia de los modelos 3D para todas las gestiones.
Aseguramiento y Control de calidad BIM	BIM 360 y Navisworks Dynamo	Se pierde mucho tiempo abriendo modelos para revisión. BIM360 ayuda, pero Dynamo es la solución. De cara a la entrega final de los modelos As-Built, ha sido en la fase final de obra cuando fueron expuestos y acordados las exigencias mínimas de cara a los modelos BIM por parte del cliente.	Crear modelos de auditoría con tablas y rutinas de Dynamo. Las necesidades y requisitos BIM por parte del cliente se han de fijar al comienzo del proyecto. De esta forma, desde el principio se siguen las consignas de modelado y de nomenclatura solicitadas tanto por la empresa como por los subcontratistas.
Entregables del proyecto	Nativos, IFC, NWC, NWD Planos DWG y PDF	Se han generado numerosos entregables, sobre todo del tipo 2D en planos PDF y DWG, los cuales se han volcado dentro de Thinkproject. Los flujos de aprobación han funcionado a la perfección. En cuanto a los entregables BIM, también se han volcado en Thinkproject como documento informativo (sin flujo de aprobación) y también se compartían dentro de BIM360 con el cliente, dirección Facultativa y Project Manager en la fase de diseño. De cara al As-Built, los planos 2D se han seguido compartiendo por Thinkproject, y ha hecho falta establecer un flujo de aprobación de todos los modelos BIM, ya sea en Thinkproject o BIM360.	Todo aquello que se entrega en Thinkproject por contrato es oficial, y si es aprobado, es válido para construir. Lo mismo debería ocurrir con los modelos BIM. Deben pasar por un flujo de aprobación en BIM360 en todas sus fases: diseño, obra y As-Built. Explorar las funcionalidades de BIM360 planos.

La remodelación del Estadio Santiago Bernabéu constituye un caso paradigmático de cómo la digitalización y la metodología BIM pueden transformar la gestión de proyectos de gran envergadura. La integración de procesos colaborativos en entornos comunes de datos, el uso de estándares internacionales como la ISO 19650 y la aplicación de tecnologías como LiDAR permitieron una coordinación precisa entre disciplinas, optimizando tiempos y garantizando la calidad constructiva. La estrategia “Fast-Track” impulsó la ejecución simultánea de diseño y obra, lo que exigió una gestión rigurosa de la información y una comunicación constante entre agentes. En conjunto, este proyecto demuestra que la implementación estructurada de BIM no solo mejora la eficiencia y la trazabilidad, sino que también sienta las bases para una gestión operativa inteligente a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura.

Referencias

Bibliografía de referencia

- [1] BIM FORUM. 2023. Level of Development (LOD) Specification.
- [2] ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- [3] ESBIM (2018). *Guía Transversal. Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- [4] Espacio BIM. (2024). *¿Modelo BIM? ¿Qué es un modelo BIM?* <https://www.espaciobim.com/modelo-bim>
- [5] MITMA. Gobierno de España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. (2023). *Plan BIM en la contratación pública*. Plan de incorporación de la metodología BIM en la contratación Pública de la Administración General del Estado y sus organismos públicos y entidades de derecho público vinculados o dependientes. Comisión Interministerial BIM. https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/cBIM/planbim_v25_acce.pdf
- [6] Puertos del Estado. (2019). *Guía BIM Del Sistema Portuario de Titularidad Estatal*. Puertos del Estado. Ministerio de Fomento. <https://www.puertos.es/servicios/publicaciones>
- [7] UNE, Normalización Española. (2020). *UNE-EN ISO 16739-1:2020 Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020.)*. International Standards for business, Government and Society.
- [8] Varios autores (2021). *Introducción a la Serie EN-ISO 19650*. Revisión de Mayo 2021. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>
- [9] Y anexos varios: *Matriz de responsabilidades asociada a los procesos ISO 19650-2 durante las fases de diseño y obra; Matriz de responsabilidades asociada a los procesos ISO 19650-3 durante la fase de operación; Nomenclatura de documentos; MIDP - Registro de Entregables*.

Bibliografía de consulta

- [10] Álvarez, Analia Alejandra, & Ripoll Meyer, M. Verónica. (2020). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en una experiencia áulica orientada a la sustentabilidad edilicia*. Revista Hábitat sustentable, 10(1), 32-43. <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.03>
- [11] ATBIM. Salanova, José Ángel. (2021). Artículo: *BIM en Obra: Usos, beneficios y madurez BIM*. <https://atbim.com/bim-en-obra-usos-beneficios-y-nivel-de-madurez-bim/>

- [12] Azhar, S. (2011). *Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry*. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241-252.
- [13] Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). *How to measure the benefits of BIM—a case study approach*. Automation in Construction, 24, 149-159.
- [14] Blat Tatay, D. (2016). *Nuevas metodologías y tecnologías en el proceso constructivo y mantenimiento de infraestructuras y edificios singulares*. Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/14566>.
- [15] Bryde, D. J., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). *The project benefits of building information modelling (BIM)*. International Journal of Project Management, 31(7), 971-980.
- [16] Chong, W. K., & Zin, R. M. (2016). *Building Information Modeling (BIM) in the Construction Industry: A Review of the Literature*. International Journal of Construction Management, 16(1), 1-12.
- [17] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley.
- [18] Fuentes Giner, Begoña. (2014) *Impacto de BIM en el proceso constructivo español*. Cuadernos EUBIM.
- [19] Martín Dorta, N., González de Chaves Assef, P., Roldán Méndez, M. (2014). *Building Information Modelling(BIM): Una oportunidad para transformar la industria de la construcción*. Spanish Journal of BIM, n° 14/1 12-18
- [20] Mokhtar-Noriega, F., Jernigan, F., Martínez-Matute, J. (2018), *Las dimensiones humanas del BIM*. EUBIM 2018: BIM International Conference / 7º Encuentro de Usuarios BIM Universidad Politécnica de Valencia.
- [21] Meana, V., Bello, A., & García, R. (2019). *Análisis de la implantación de la metodología BIM en los grados de ingeniería industrial en España bajo la perspectiva de las competencias*. Revista ingeniería de construcción, 34(2), 169-180. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200169>
- [22] Nieto, E., Rico, F., Antón, D., Moyano, J.J. (2017), *Metodología BIM en el grado de edificación: modelo de taller en la asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías Universidad Politécnica de Madrid*. Advances in Building Education / Innovación Educativa en Edificación. Sep-Dic 2017, Vol.1 N°3, 37-52
- [23] Holzer, Dominic. (2016). *The Bim Manager's Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction*. John Wiley & Sons Inc.
- [24] Jernigan, Finith. (2007). *BIG BIM little bim - the practical approach to building information modeling - Integrated practice done the right way*. 4Site Press
- [25] Klaschka, Robert. (2014). *BIM in Small Practices: Illustrated Case Studies*. NBS
- [26] Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*. Wiley.
- [27] Oussouboure, Guere y Delagdo Victore, Roberto. (2017). *La asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM*. Revista Arquitectura E Ingeniería, vol. 11, n.o 1, p.4.
- [28] Reyes, Manuel; Cordero, Pablo & Candelario, Alonso. (2016). *BIM. Diseño y gestión de la construcción*. ANAYA.
- [29] Sacks, R., & Barak, R. (2010). *Interaction of BIM and lean construction*. Journal of Construction Engineering and Management, 136(9), 1001-1010.
- [30] Saldías Silva, Rodolfo Omar Luis. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. Tesis postgrado.
- [31] Santamaría Gallardo, Luisa & Hernandez Guadalupe, Javier. (2017). *Salto al BIM: Estrategias BIM de calidad para empresas punteras del sector AEC*.
- [32] Suermann, Patrick C. (2009). *Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction*. University of Florida.
- [33] Yan, Han., & Damian, Peter. (2008). *Benefits and barriers of building information modelling*. In 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering 2008.

Estándares y normativa

El desarrollo del Proyecto de Obra para la Remodelación del Santiago Bernabéu se basa en documentación de referencia reconocida, en los que se recogen una serie de procesos digitales, estándares y usos BIM de aplicación en la fase de Obra:

Guías y estándares

ISO 19650-1:2018	Organización y digitalización de información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluido el modelado de información de edificios (BIM). Gestión de la información mediante el modelado de información de edificios. Parte 1: Conceptos y principios.
ISO 19650-2:2018	Organización y digitalización de información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluido el modelado de información de edificios (BIM). Gestión de la información mediante el modelado de información de edificios. Parte 2: Fase de entrega de los activos.
NZ BIM HANDBOOK	Manual sobre BIM para la construcción, gestión de las instalaciones e infraestructuras lineales en Nueva Zelanda.
BS 8536-1:2015	Instrucciones para diseño y construcción. Código de prácticas para la gestión de instalaciones (infraestructura de edificios)
The CIC BIM Protocol	Protocolo de modelo de información de construcción (BIM); protocolo estándar para uso en proyectos que utilizan modelos de información de construcción
BS ISO 29481-1:2016	Modelado de información de construcción. Manual de entrega de información. Parte 1: Metodología y formato.
BS ISO 29481-2:2012	Creación de modelos de información. Manual de entrega de información. Parte 2: Marco de interacción
LOD BIM FORUM Specification 2018	Especificación que permite a los profesionales de la industria AEC especificar y articular con un alto nivel de claridad el contenido y la confiabilidad de los Modelos de información de construcción (BIM) en varias etapas del proceso de Obra y construcción.
Guías uBIM	Guía adaptada por la BuildingSmart Spanish Chapter a partir del COBIM finlandés.