

Modelado BIM de estructuras de hormigón armado

BIM modeling of reinforced concrete structures

Javier Pereiro-Barceló^a, Ángel Herrero Castaño^b, Vicente Castell Herrera^c, Carlos Fernández Fernández^d

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniero de desarrollo, CYPE Ingenieros

^b Ingeniero Industrial, Director de Desarrollo, CYPE Ingenieros

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Presidente, CYPE Ingenieros

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director Técnico, CYPE Ingenieros

RESUMEN

Building Information Modeling (BIM) es una tendencia y pronto un imperativo legal para el diseño de edificaciones y de obra pública. Por esta razón, resulta imprescindible establecer unas bases sólidas para el modelado de estructuras de hormigón siguiendo la metodología BIM, que tenga como objetivos (1) resolver todos los casos contemplados por las normativas, (2) utilizar procesos de intercambio de información estables que no dependan del diseño del software utilizado, (3) minimizar la introducción manual de datos y (4) obtener resultados acordes al nuevo marco tecnológico. En este artículo se presenta la forma de integrar en la metodología BIM el cálculo y diseño de estructuras de hormigón armado.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) is a trend and soon a legal imperative for the design of buildings and public works. For this reason, it is essential to establish solid basis to model concrete structures following the BIM methodology. The main objectives of this modeling are to (1) solve all cases contemplated by regulations, (2) use stable information exchange processes that do not depend on the design of the employed software, (3) minimize the manual data entry and (4) obtain results according to the new technological framework. This article presents the way to integrate the calculation and design of reinforced concrete structures into the BIM methodology.

PALABRAS CLAVE: Building Information Modeling (BIM), software, marco tecnológico.

KEYWORDS: Building Information Modeling (BIM), software, technological framework.

1 Introducción

La transformación digital está alterando toda la economía y cambiando la forma en que los profesionales solían trabajar. Con cierto retraso en comparación con otras industrias, el

sector de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) también está adoptando estos cambios [1]. La metodología Building Information Modeling (BIM) está en el centro de la

digitalización del sector AEC [2]. Esta nueva metodología ha influido considerablemente en el proceso de diseño tradicional, minimizando errores y facilitando un proceso altamente colaborativo que permitirá que diferentes partes interesadas y miembros del proyecto trabajen simultáneamente.

La demanda de proyectos BIM está creciendo significativamente y se espera que se acelere en los próximos años mientras la industria mejora los estándares y más clientes y la administración lo hacen obligatorio. Por todo ello, se ha producido un necesario impulso en el desarrollo del software BIM. Sin embargo, las estructuras de hormigón armado no están correctamente integradas en el flujo de trabajo BIM, debido a la especial naturaleza de éstas (secciones de hormigón y dimensionamiento del armado). En este artículo se presenta una forma de integrar dichas estructuras en el flujo de trabajo BIM de forma satisfactoria.

2 Flujo de trabajo

Todo proyecto realizado de acuerdo con la metodología BIM debe seguir un flujo de trabajo. Las fases del flujo de trabajo BIM propuesto se muestran en la Figura 1. Un Proyecto BIM comienza con un archivo IFC que debe generarse en base a un modelo geométrico 3D producido por cualquier software de modelado arquitectónico. Este modelo geométrico se carga en una plataforma llamada BIMserver.center, lo cual permite la comunicación directa entre todos los usuarios y aplicaciones que participan en un proyecto. En el apartado 2.1 se tiene más información sobre BIMserver.center. Este flujo de trabajo es Open BIM porque se utilizan ficheros abiertos (IFC). A continuación, todas las aplicaciones que son compatibles con el flujo de trabajo Open BIM importan el modelo IFC. Todos los agentes intervinientes reciben la misma geometría y arquitectura y utilizan las aplicaciones especializadas que ellos consideren para

importar el modelo geométrico y exportar un archivo IFC con sus resultados. De esta manera, el proyecto BIM se enriquece y completa. Por lo tanto, la información del modelo BIM aumenta utilizando los archivos IFC generados por todas las aplicaciones y define el proyecto BIM completo, en su conjunto. Además, durante todo el proceso, si se realizan cambios en el modelo inicial, todas las aplicaciones pueden someterse a un proceso de actualización. Esto garantiza que no se pierda información.

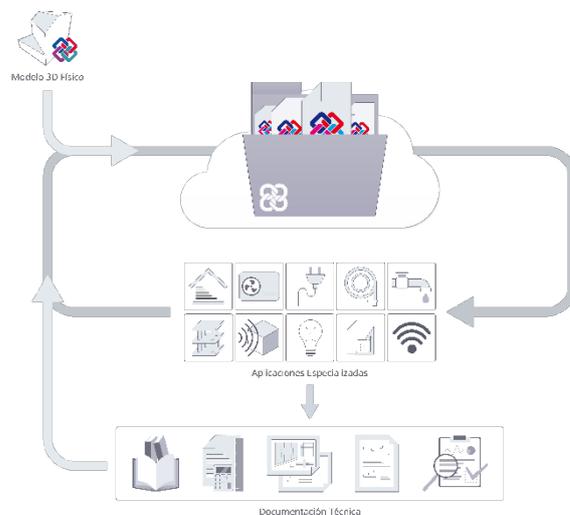


Figura 1. Flujo de trabajo BIM

El flujo Open BIM mostrado desarrolla el proyecto de forma progresiva y permite valorar y establecer las soluciones que puedan ser consideradas convenientes en la fase de proyecto. Por todo ello, el flujo es Open BIM facilita la comunicación entre profesionales, fabricantes de software, industriales y organismos de control públicos y privados, permitiendo que un número ilimitado de usuarios, siempre bajo la tutela de los administradores del proyecto, pueda realizar aportaciones a un mismo proyecto, ya sea como propuestas o como soluciones definitivas. Permite a todos estos usuarios participar en el desarrollo de proyectos, así como intercambiar información y servicios, además de facilitar el acceso a las herramientas y aplicaciones necesarias para dicho fin.

En contraposición, con las aplicaciones y flujos de trabajo BIM comunes existentes en el mercado, se necesita conocer las soluciones que se van a adoptar en el proyecto, desde las fases iniciales de su desarrollo. Además, dicha información se requiere con un nivel de definición que difícilmente se conoce a priori. Esto hace que, actualmente, los modelos BIM se generen como resultado final y opcional de todo el esfuerzo de proyecto y como una tarea manual y específica, es decir, desacoplada del proceso de toma de decisiones en la fase de proyecto.

2.1 BIMserver.center

BIMserver.center es una plataforma web y un servidor en la nube que permite desarrollar proyectos siguiendo la metodología BIM. Se encarga de intercambiar la información necesaria entre aplicaciones, a través del estándar IFC. Por lo tanto, satisface la función principal de un Entorno Común de Datos (CDE) de archivos IFC. Además, permite la comunicación directa entre todos los usuarios y aplicaciones que participan en un proyecto y es gratuita.

Mediante un servicio de actualización en la nube, con BIMserver.center es posible gestionar y compartir todos los archivos de un proyecto BIM, facilitando la organización y la comunicación entre los usuarios autorizados a intervenir en el proyecto. Además, los responsables de los proyectos pueden administrar los permisos y accesos, relativos a cada proyecto, para cada uno de los usuarios autorizados, permitiendo la posibilidad de realizar aportaciones o propuestas a cualquier usuario de BIMserver.center interesado en participar en un proyecto.

Las aplicaciones integradas en el flujo de trabajo Open BIM incluyen una conexión directa y automatizada con la plataforma BIMserver.center. Este vínculo agiliza la transferencia de la información del proyecto

entre los usuarios, ya que éstos no tienen que gestionar continuamente todos los datos de proyecto, sino que son las aplicaciones especializadas las que realizan, de forma automática, dicha tarea, seleccionando y recuperando la información requerida en cada caso.

Debido a que el flujo es Open BIM, cualquier herramienta de cualquier fabricante puede formar parte del flujo de trabajo de forma sencilla y, por tanto, no obliga a los usuarios a tener que modificar su hábito actual de trabajo, ya que son las distintas aplicaciones empleadas en cada disciplina las encargadas de unificar e integrar todas las soluciones propuestas por los integrantes del equipo en el modelo BIM. Como ya se ha comentado anteriormente, los entornos de trabajo BIM comunes se basan en el desarrollo de proyectos a través de una única gran aplicación, lo cual impide a los usuarios el empleo de las herramientas especializadas, condiciona al resto de miembros del grupo de trabajo a emplear esa misma herramienta y los parámetros correspondientes a un mismo elemento son accesibles a todos los usuarios, con lo que no existe ninguna jerarquía en los usuarios.

2.2 Archivos IFC

El formato de archivo utilizado en el flujo de trabajo para intercambiar información entre aplicaciones y para mostrar resultados es IFC (UNE-EN ISO 16739:2016 [3]). Éste permite que los usuarios puedan utilizar las aplicaciones que deseen, siempre y cuando importen y exporten archivos IFC.

Los archivos en formato IFC no incluyen información específica que conforma el proyecto; todos los datos se generan y almacenan en las aplicaciones especializadas. En otras palabras, cada miembro solo comparte los resultados y las soluciones adoptadas, mientras que los datos que se han introducido, la metodología de trabajo y los resultados intermedios permanecen en el dominio privado

del especialista. Al trabajar de esta manera, el tamaño de los archivos se reduce significativamente, ya que cada miembro solo está a cargo de la parte del proyecto de la que es responsable. La información en formato IFC, que forma el proyecto, define exclusivamente el proyecto y, por lo tanto, las herramientas y programas específicos utilizados para crearlo son elementos auxiliares que se pueden cambiar o evitar durante la vida útil del proyecto.

Además, puesto que el estándar IFC es un tipo de archivo abierto que no tiene propietario, se garantiza la perdurabilidad en el tiempo de la información de los usuarios almacenada en estos archivos.

3 Objetivos del software para un correcto modelado BIM de estructuras de hormigón

Para satisfacer las necesidades de los usuarios que proyecten en BIM, el software de modelado de estructuras de hormigón debe cumplir los siguientes aspectos críticos:

1. Resolver todos los casos contemplados por las normativas de diseño.
2. Utilizar procesos de intercambio de información estables que no dependan del software utilizado. De no ser así, todos los miembros que participan en el proyecto deberían utilizar el mismo software para todo, lo cual impide a los usuarios el empleo de las herramientas especializadas con las que esté habituado a trabajar y, además, condiciona al resto de miembros del grupo de trabajo a emplear esa misma herramienta. Además, si sólo se utiliza una aplicación genérica, resulta difícil establecer jerarquías entre usuarios y elementos propios del modelo, resultando más ardua la labor del BIM Manager.
3. Reducir la entrada manual de datos que ya se han introducido previamente en otro software. Se estima que el proceso de

entrada de datos manual supone el 80% del tiempo invertido resolviendo una determinada disciplina dentro de un proyecto. Por lo tanto, todo el software debería ser capaz de importar y exportar resultados. Todo esto requiere como condición necesaria, aunque no suficiente, que se utilicen procesos de intercambio de información estables como se ha mencionado en el apartado anterior.

4. Mostrar los resultados de acuerdo con el último marco tecnológico. Uno de los principales objetivos del BIM es proporcionar una mejor visualización del proyecto que conduzca a una minimización de errores y mejor comprensión de las soluciones adoptadas. Por un lado, la visualización 3D en los programas siempre ha sido una función importante para el software BIM. Por otro lado, las nuevas tecnologías como la realidad aumentada y la realidad virtual tienen un gran potencial y cada vez están siendo más demandadas por los promotores.

Es importante mencionar que la visualización de los resultados en los anteriores formatos no se debería restringir únicamente a visualizar los elementos estructurales, sino también resultados de cálculo, como por ejemplo, las superficies de interacción de pilares y vigas. Esto facilita la adquisición de información en cualquier etapa del proyecto, incluso en la etapa de mantenimiento, cuando se deban afrontar rehabilitaciones, sin necesidad de recurrir a las extensas memorias de cálculo.

4 Consecución de los objetivos

El cumplimiento de los cuatro objetivos anteriores no sería posible si no se desacoplan todos los modelos que se utilizan para diseñar una estructura de hormigón:

- Modelo arquitectónico (cerramientos, tabiques, recintos, plantas...).

- Modelo estructural (vigas, columnas, losas, muros...).
- Modelo analítico (elementos finitos, condiciones de contorno, reacciones...).
- Modelo normativo (cuantías de armadura, secciones resistentes...).
- Modelo de despiece (posición 3D de armaduras, doblado de los estribos...).

- Modelo de fabricación e implementación (secuencias de maquinaria, realidad aumentada interactiva...).

La Figura 2 y la Figura 3 muestran todos estos modelos y ejemplos de software que resuelven cada uno (sólo Figura 2).

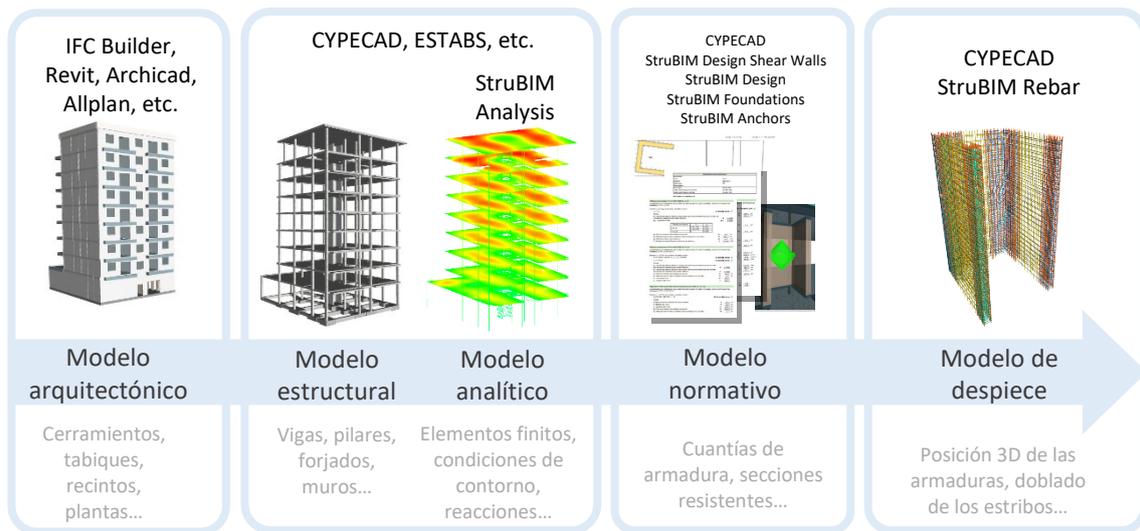


Figura 2. Modelos considerados para el diseño de estructuras de hormigón siguiendo la metodología BIM (Ejemplo 1)

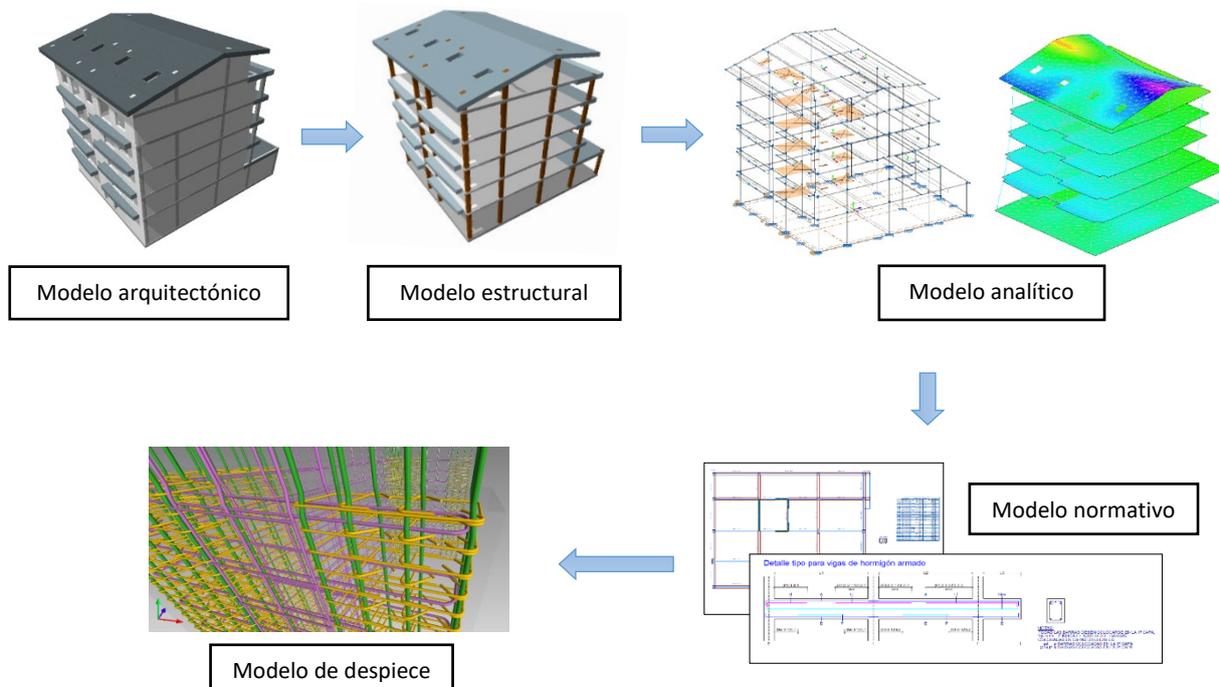


Figura 3. Modelos considerados para el diseño de estructuras de hormigón siguiendo la metodología BIM (Ejemplo 2)

Puede observarse que un software, como CYPECAD [4] o ETABS [5] (entre otros), puede resolver varios de esos modelos. En cambio, otros programas sólo resuelven uno de ellos. Incluso el usuario puede elegir todo tipo de combinaciones, como por ejemplo, realizar el modelo estructural y el analítico con CYPECAD [4] o ETABS [5], y resolver el modelo normativo de los muros de cortante con el StruBIM Design Shear Walls [6], el cual es un programa diseñado para dimensionar y comprobar muros de cortante con el código ACI 318-14 [7] (Figura 4). Mientras el objetivo número (2) se cumpla, la transmisión de información entre aplicaciones permitirá esto.

Desacoplar todos los modelos que se utilizan para diseñar una estructura de hormigón resulta primordial para poder abordar el problema. Por ejemplo, el usuario puede querer desacoplar el modelo normativo del modelo analítico o del modelo de despiece (Figura 2) porque el código de diseño no contempla exactamente su caso (lo cual es probable). De esta forma, el usuario puede llevar a cabo modificaciones únicamente en el modelo normativo bajo unos criterios técnicos y así poder aplicar una determinada normativa (Figura 2). Concretando más el ejemplo, un muro curvo con un radio muy grande puede aproximarse, dependiendo del caso, a un muro recto a efectos normativos, pero a efectos de despiece debe ser considerado curvo. En este caso el modelo normativo y el de despiece estarían desacoplados.

Por otro lado, el usuario también debe tener la posibilidad de poder realizar cambios en un modelo y que el resto de modelos se vean o no afectados. Por esta razón el usuario debe ser capaz elegir cuándo acoplar y cuándo desacoplar los modelos.

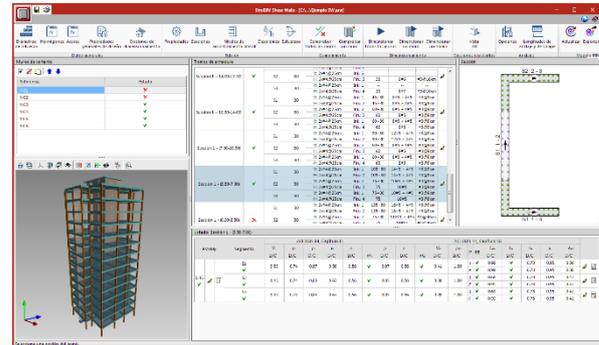


Figura 4. StruBIM Design Shear Walls [6]

El objetivo (1) se logra creando un software específico que se encargue de verificar el modelo estructural de acuerdo con el código de diseño seleccionado, gracias a los resultados del modelo analítico. Por ejemplo, StruBIM Design Shear Walls [6] o cualquier otro análogo, para el caso de la verificación de los muros de cortante. Este programa importa los muros de cortante junto con los esfuerzos en dichos muros que provienen de la resolución del modelo de elementos finitos del modelo analítico. A partir de estos datos, el usuario puede dimensionar, editar y verificar las armaduras de las diferentes secciones de los muros. Una vez finalizado el dimensionamiento de las armaduras, se puede llevar a cabo la generación y exportación de los resultados.

Resulta sumamente importante que los datos que se importen y que se exporten sean los datos básicos del problema que se pretende resolver en cada uno de los modelos de la Figura 2, para que todos los programas puedan intercambiar información entre sí. Por ejemplo, en el caso de StruBIM Design Shear Walls [6], si para comprobar un muro, la normativa proporciona una expresión en la que interviene la cuantía de armadura en la sección, esa cuantía debe ser el dato básico y no, por ejemplo, la

sección de hormigón, el diámetro de las armaduras y la separación. Resulta evidente que con estos últimos parámetros se puede calcular la cuantía que requiere la normativa. Sin embargo, si el usuario quiere introducir distintas separaciones o diámetros de armaduras, en el último caso no podría utilizar ese programa, ya que sólo permite un diámetro y una separación. Sin embargo, si se introduce el dato normativo, que es la cuantía de armadura, el usuario podrá resolver el 100% de los casos de contempla la normativa. En un paso posterior, el software puede implementar capas de ergonomía para mejorar la comodidad y el rendimiento del usuario. Es evidente que las capas de ergonomía son responsables de que el objetivo (1) no pueda cumplirse por completo porque delimitan el campo de aplicación del software (la sección de hormigón, el diámetro de las armaduras y la separación en lugar de cuantía de armaduras). En consecuencia, el usuario también debe tener acceso a introducir los datos básicos.

4.2 Objetivo 2: Utilizar procesos de intercambio de información estables que no dependan del software utilizado.

El intercambio de información entre programas debe realizarse utilizando los datos básicos para que no dependa de las capas de ergonomía de cada programa. Lo único que puede ser transmitido entre diversos programas, incluso de diversos fabricantes de software, son los datos básicos ya que éstos los marcan las normativas en el caso de los modelos normativos o la mínima expresión del problema en el resto de modelos. Sin embargo, si los datos básicos no son tales, sino que corresponden a lo que deberían ser meras capas de ergonomía, un software puede utilizar unos datos y otro software otros distintos para resolver el mismo problema, siendo imposible efectuar una comunicación entre ambos. En el ejemplo anterior, un software podría utilizar el

diámetro, separación de armaduras y sección de hormigón para calcular la cuantía de armadura que requiere la norma y otro, sin embargo, utilizar dos tipos de diámetros y separaciones y el ancho y el canto de la sección de hormigón. Si cada software exporta los anteriores parámetros, uno nunca podría importar información del otro, ya que no es lo que espera por su estructura interna. Por lo tanto, transmitir los datos básicos (la cuantía de armadura en el ejemplo anterior) entre aplicaciones permite alcanzar el objetivo (2). El paquete de programas StruBIM da opción al usuario para que inserte datos básicos así como un nivel superior de datos utilizando capas de ergonomía.

4.3 Objetivo 3: Reducir la entrada manual de datos que ya se han introducido previamente en otro software.

Este objetivo se cumple empleando la filosofía mostrada en el apartado anterior, ya que los programas pueden importar toda la información que necesitan que anteriormente se haya introducido en algún otro programa que resuelve un modelo previo de la estructura, (ver Figura 2) y no es necesario volver a introducirlos manualmente.

4.4 Objetivo 4: Mostrar los resultados de acuerdo con el último marco tecnológico.

Cada modelo debe proporcionar resultados que tiendan a 3D, ya que la tecnología permite cada vez más su visualización en numerosos contextos. Los resultados de StruBIM Rebar [8] son un claro ejemplo de que la visualización 3D ayuda a entender un problema y a adoptar la mejor solución (Figura 5).

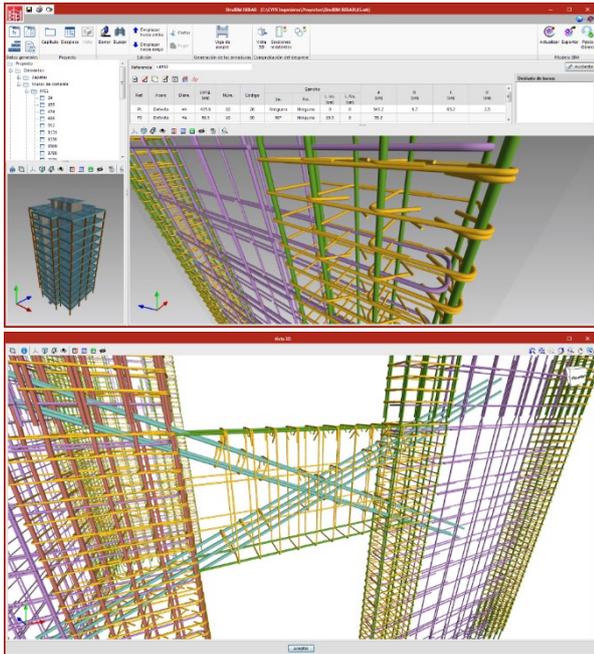


Figura 5. StruBIM Rebar.

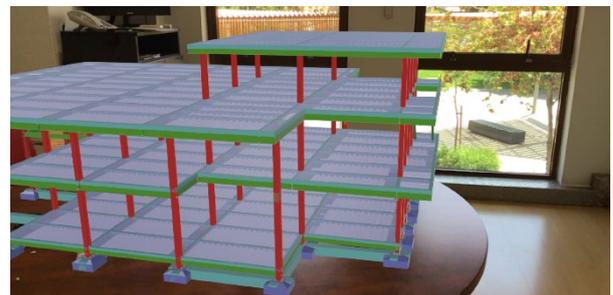
Otra forma de mostrar los resultados es la realidad aumentada. Es un recurso excelente para el sector de la arquitectura e ingeniería ya que combina un entorno físico real con elementos virtuales, creando una realidad mixta. La información sobre el mundo real se convierte en interactiva como una forma de ampliar el mundo real. Con esta tecnología se ahorra tiempo, recursos, se pueden discernir los posibles problemas que se encontrarán antes de ejecutar el proyecto y facilita la toma de decisiones. Otra ventaja considerable es que este tipo de tecnología representa una ventaja competitiva a la hora de captar nuevos clientes, ya que les facilita la comprensión de los procesos sin la necesidad de interpretar planos.

Para que los usuarios puedan aprovechar todas las ventajas de la realidad aumentada, todos los proyectos desarrollados utilizando el flujo de trabajo de BIMserver.center pueden visualizarse de forma inmediata en realidad aumentada tan sólo con utilizar una aplicación gratuita (BIMserver.center AR) en sus dispositivos móviles, sin necesidad de realizar ningún paso previo (Figura 6). Pueden seleccionarse aquellos archivos que se desean visualizar y comprobar las propiedades de cada uno de los elementos que componen los

modelos. Se pueden situar los modelos en cualquier tipo de superficie, navegar a través de ellos y, usando gestos multi-touch, también es posible moverlos, escalarlos y rotarlos.

También se puede realizar realidad aumentada compartida de un proyecto. Mediante esta opción, un usuario director puede fijar una obra en un punto de la realidad y el resto de los usuarios la podrán visualizar en ese mismo lugar, pero desde su punto de vista. Además, verán las capas que el usuario director considere.

Por otro lado, también se tiene la posibilidad de mostrar los resultados en realidad virtual. A diferencia de la realidad aumentada, ésta crea un entorno totalmente digital sin elementos de la realidad. Esto permite la creación de recorridos virtuales tridimensionales inmersivos para visualizar los proyectos antes de que se ejecuten e interactuar con los entornos desarrollados.



Desde la aplicación BIMserver.center VR de Windows [9], los usuarios pueden acceder a los proyectos que estén desarrollando y visualizarlos en un entorno completamente virtual (Figura 7).



Figura 7. Realidad virtual con un proyecto de BIMserver.center.

La visualización de los resultados no corresponde únicamente a los elementos estructurales, sino también a los resultados de cálculo como, por ejemplo, mapas de iluminación, superficies de interacción de los pilares o de los muros de cortante, velocidad del agua en las tuberías, etc. El objetivo de esto es facilitar la adquisición de información en cualquier etapa del proyecto (por ejemplo, al asumir una rehabilitación). Cada aplicación que se encarga de resolver uno o varios de los modelos de la Figura 2, es la responsable de exportar estos resultados al BIMserver.center. Un claro ejemplo de esto se muestra en la Figura 8, donde se representan las superficies de interacción de las secciones de los muros creadas por StruBIM Design Shear Walls [6]. Estos resultados se visualizan tanto en el propio programa como en BIMserver.center y, en consecuencia, también en realidad aumentada y virtual.

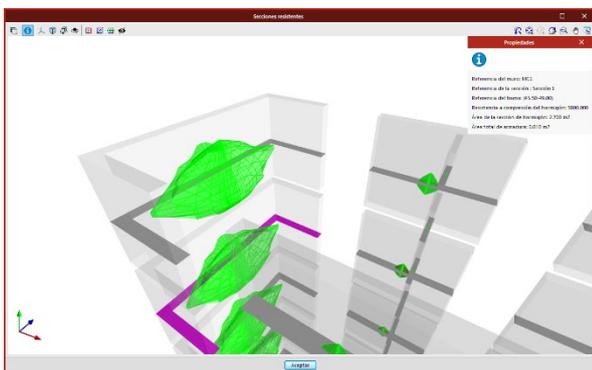


Figura 8. Superficie de interacción de las secciones de los muros de cortante.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas de este artículo son las siguientes:

- Building Information Modeling (BIM) es una tendencia y pronto un imperativo legal para el diseño de edificaciones y obra pública. Por esta razón, resulta imprescindible establecer unas bases sólidas para el modelado de

estructuras de hormigón siguiendo la metodología BIM.

- El software utilizado para modelar las estructuras de hormigón debe ser capaz de resolver todos los casos contemplados por las normativas de diseño.
- También debe utilizar procesos de intercambio de información estables que no dependan del diseño del software utilizado y que minimicen la introducción manual de datos.
- Debe mostrar los resultados acordes al nuevo marco tecnológico.
- Para conseguir software capaz de modelar correctamente las estructuras de hormigón se deben discernir los distintos modelos que surgen a lo largo del diseño: modelo arquitectónico, modelo estructural, modelo analítico, modelo normativo, modelo de despiece de las armaduras, modelos de fabricación y puesta en obra.
- La información básica que el software debe importar y exportar es necesario que corresponda con la mínima expresión del problema que pretende resolver cada modelo (datos básicos) para poder resolver todos los casos de la normativa y para poder intercambiar información con otras aplicaciones. En un paso conceptual posterior, el software puede implementar capas de ergonomía para facilitar el desempeño del usuario.
- Tanto la visualización 3D, como la realidad aumentada y virtual deben mostrar los elementos estructurales y también los resultados de cálculo.

Referencias

- [1] Agarwal R, Chandrasekaran S, Sridhar M. Imagining construction's digital future, in Capital Projects and Infrastructure. McKinsey Product Sci Cent 2016.
- [2] Gerbert P, Castagnino S, Rothballer C, Renz A, Filitz R. Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling n.d.:22.
- [3] AENOR. Spanish Association for Standards and Certification. UNE-EN ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries 2016.
- [4] CYPECAD. CYPE Ingenieros S.A.; <http://cypecad.cype.es/>.
- [5] ETABS. Computers and Structures Inc.; <https://www.csiamerica.com/products/etabs>.
- [6] StruBIM Design Shear Walls. CYPE Ingenieros S.A.; <http://strubim-design-shear-walls.cype.es/>.
- [7] ACI Committee 318. ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. 2014.
- [8] StruBIM Rebar. CYPE Ingenieros S.A.; <http://strubim-rebar.cype.es/>.
- [9] Windows. Microsoft; <https://www.microsoft.com/>.