Integración BIM de los procesos desarrollados por CEMOSA para la caracterización geotécnica y el control de calidad en la construcción

BIM integration of the processes developed by CEMOSA for Geotechnical characterization and quality control in the construction

Miguel Troyano Moreno[*, a], Noemi Jiménez Redondo[b], Gloria Calleja Rodríguez[c], Eusebio Hernández Villalobos[d], Lorenzo Sevilla Hurtado[e]

[a] Prof. of Department of Civil, Materials and Maufacturing Engineering. Universidad de Málaga

[b] Dr. Ing. R&D Director of CEMOSA, Málaga, Spain

[c] Dr. Ing. R&D Department, CEMOSA, Málaga, Spain

[d] Ing. Development Manager, CEMOSA, Málaga, Spain

[e] Prof. Dr. of Department of Civil, Materials and Maufacturing Engineering. Universidad de Málaga

RESUMEN

En esta comunicación se identifican y analizan los trabajos de I+D+i desarrollados por la empresa CEMOSA para integrar, dentro de un flujo de trabajo BIM, los procesos de caracterización geotécnica del emplazamiento y el control de calidad en la construcción, al objeto de mejorar la coordinación entre los proyectistas y los especialistas de geotecnia, mejorar la fiabilidad de la información de los modelos BIM y, en definitiva, mejorar la productividad y la calidad de estos procesos. Adicionalmente, la aplicación de esta metodología permite que el cliente realice una monitorización más fácil de los servicios contratados.

ABSTRACT

In this communication, the R&D works developed by the company CEMOSA are identified and analyzed to integrate, within a BIM workflow, the Geotechnical site characterization processes and the construction quality control, in order to improve the coordination between designers and Geotechnical specialists, the reliability of the information on BIM models and, in conclusion, the productivity and quality of these processes. Additionally, the application of this methodology allows the client to carry out an easier monitoring of the contracted services.

PALABRAS CLAVE: BIM, IFC, Control de Calidad, Control de Proyecto, Geotecnia
KEYWORDS: BIM, IFC, Quality Control, Project Control, Geotechnical

1. Introducción

La metodología BIM implica una nueva forma de trabajo, de tipo integrado y colaborativo, que intenta abarcar todas las etapas del ciclo de vida de una construcción y a todos los intervinientes en dicho proceso, que intercambian información para obtener un modelo digital de la construcción. Este modelo va adquiriendo mayor nivel de definición a lo largo de su ciclo de vida, de tal forma que, en fase de proyecto, el modelo "proyectado" pretende representar, de forma virtual, la construcción a ejecutar. Durante la fase de construcción se

actualiza e incluye nueva información, para dar soporte a las tareas de esta fase, resultando un modelo "ejecutado" que intenta representar, de forma virtual, la construcción realmente llevada a cabo y que sirva de partida para la gestión de esta construcción durante su período de uso.

El estado actual de la tecnología BIM está suficientemente maduro en los procesos de diseño (3D) [1,2], en el campo de la programación de tiempos y costes de ejecución (4D/5D) [3,4] y, cada vez más, en los estudios de impacto ambiental (6D) [5-10] y la gestión del mantenimiento (7D) [11].

Sin embargo, otros procesos de la construcción, como el control de calidad (CC) [12,13] y la caracterización geotécnica del emplazamiento (CG) [14], realizados por Entidades y Laboratorios de Control de Calidad, no están, a día de hoy, adecuadamente integrados dentro de flujos de trabajo BIM, a pesar de que dichos procesos se realizan con el uso de herramientas informáticas que contienen información relevante, relativa a la construcción que se está proyectando o construyendo. Así, no toda esta información llega a formar parte del modelo BIM de la construcción, ni se hace partícipe de ella al resto de agentes con sus estándares.

Parece razonable que el modelo BIM de la construcción incluya no solo la información de proyecto y ejecución, sino también toda otra información que afecte a las características de la construcción o que pueda justificar un comportamiento anómalo durante su fase de servicio, como es la información relativa al CC (materiales, ensayos, pruebas de funcionamiento) y CG (prospecciones, ensayos, niveles geotécnicos…)

Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra una incidencia detectada durante una inspección de ejecución. Parecería interesante que la información relativa a dicha incidencia, así como la asociada a las decisiones que se tomaron en su día en la obra, formaran parte del Modelo BIM, ya que podría justificar, llegado el caso, un inadecuado comportamiento de la construcción, con la consecuente reducción de costes de investigación de las posibles causas y una mejor depuración de responsabilidades.

Figura 1. Incidencia durante la ejecución de la obra.

En esta comunicación se identifican y analizan los trabajos de I+D+i desarrollados por la empresa CEMOSA para integrar dentro de un flujo de trabajo BIM los procesos de CC y CG que realiza dentro de su actuación como Entidad de Control de Calidad (ECC) y Laboratorio de Control de Calidad (LCC).

Estos trabajos han consistido en:

- El desarrollo de una metodología que integre el CC y CG en un flujo de trabajo BIM.
- El desarrollo de un Entorno de Datos Colaborativo (CDE, Common Data Environment) [15] para permitir el intercambio de información con los distintos agentes implicados en el proyecto y/o construcción del edificio o infraestructura
- La definición del modelo de datos que recoja la información relevante del CC y CG para su inclusión en el Modelo BIM.
- El mapeo de dicho modelo de datos con la estructura de clases del estándar IFC (Industry Foundation Classes) [16-18] y la definición de los conjuntos de parámetros (Pset's) necesarios para almacenar toda la información del modelo de datos.
- El desarrollo de las aplicaciones de movilidad para la toma de los datos de campo (datos de prospecciones, muestras de materiales, inspecciones, entre otros).

- El desarrollo de una plataforma software que gestione la información del CC y CG así como la generación de sus modelos BIM.

2. Metodología

Para integrar toda la información relativa al CC y CG dentro de la información gestionada por la metodología BIM en las fases de proyecto y obra de la construcción, se han actualizado los procesos empresariales de CEMOSA y se ha implementado un entorno de trabajo colaborativo (CDE, Common Data Environment), que permite la interacción de cualquier agente o interlocutor con el conjunto de la información (Figura 2). Está formado por dos capas: una de aplicación, desarrollada bajo la plataforma Fiori® de SAP®, para la gestión de la información, y otra de información (repositorio de información), implementada sobre SAP®, que contendrá toda la información y documentación de la construcción en estas fases.

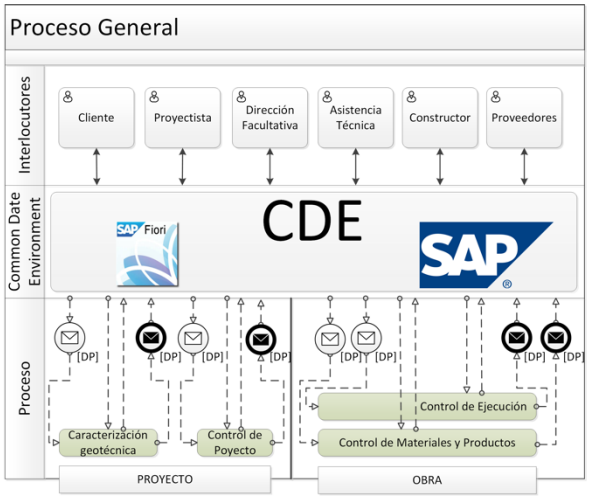


Figura 2. Esquema general de procesos y su relación con el CDE.

Los procesos fundamentales se describen a continuación.

2.1 Diario de Proyecto [DP]

Se trata de una tarea transversal que registra todos los flujos de información entre los distintos interlocutores en las fases de proyecto y obra de la construcción, y asigna las tareas de colaboración entre ellos. Datos registrados: tipo de información y su descripción, interlocutor emisor, interlocutor receptor, fecha de registro, versión (en caso de documentos o modelos BIM), fecha de inicio y fin (en caso de tareas), documentos asociados, etc.

2.2 Caracterización geotécnica

En este proceso (Figura 3) se establecen los condicionantes para el diseño de la cimentación y elementos de contención de la construcción. Para ello, en función de las características del terreno y de la construcción, se realizan una serie de prospecciones (sondeos, catas, etc.), ensayos in-situ y ensayos de laboratorio, sobre muestras del terreno, para caracterizar los estratos del terreno y sus parámetros geotécnicos.

2.2 Control de proyecto

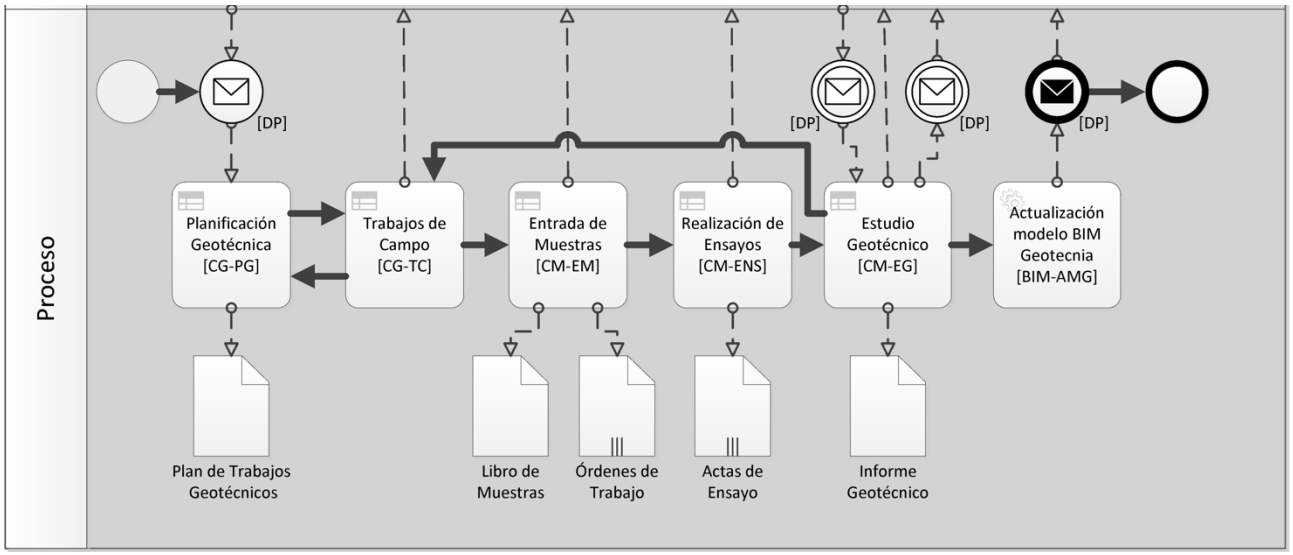
Este proceso (Figura 4) está orientado a la comprobación de tres aspectos fundamentales:

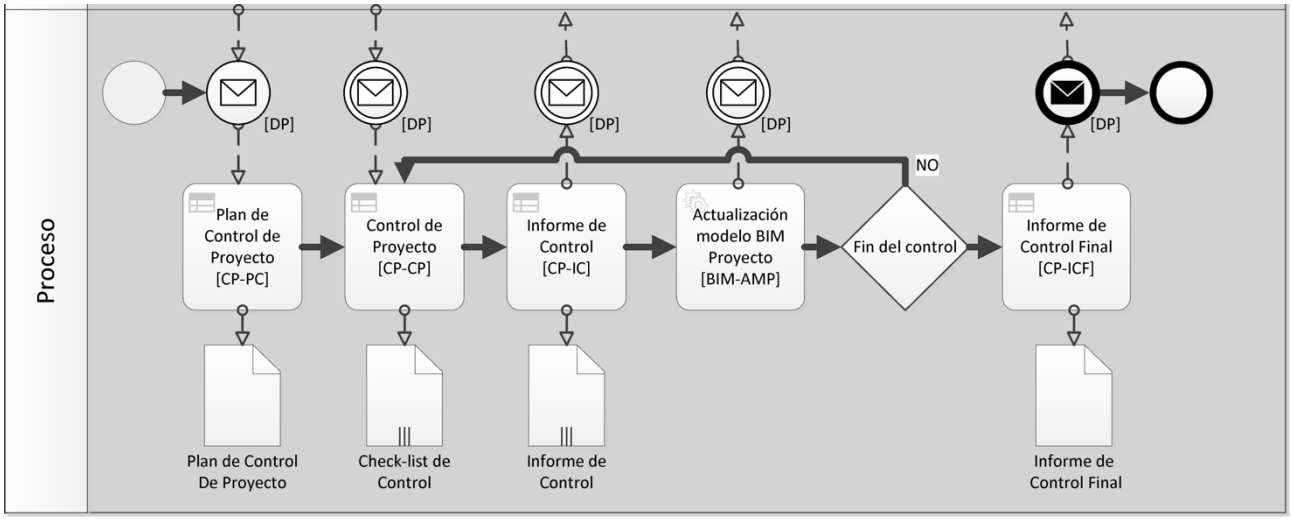
- Adecuación de la información de los modelos BIM de proyecto, para que los niveles de desarrollo y de definición de esa información sean los adecuados según las especificaciones del BEP (Plan de Ejecución BIM) del proyecto.

- Control de la coherencia de la información BIM, comprobando que la información de los modelos BIM es coherente, sin que se produzcan interferencias ente elementos del mismo o distintos modelos.

- Control documental, para garantizar que el proyecto contiene toda la documentación exigida por la reglamentación vigente, que la información contenida en esta documentación es coherente entre los distintos documentos, y que en ella se definen todas las características de los elementos a construir y la forma de llevar a cabo esta construcción.

- Control de los requisitos básicos, para garantizar que en el proyecto se definen y se satisfacen los requisitos básicos exigidos por la normativa reglamentaria, relativos a la funcionalidad, seguridad y habitabilidad.





2.3 Control de ejecución

En este proceso (Figura 5) se controla que los trabajos que se realizan, los elementos que se ejecutan, los sistemas montados y los materiales y productos suministrados a la obra cumplen con las especificaciones del proyecto y con la normativa reglamentaria, precisándose realizar, para ello: inspecciones de control de ejecución, ensayos in-situ de elementos ejecutados o productos colocados en obra, pruebas de funcionamiento y de puesta en marcha de sistemas, y el control documental de los productos suministros.

2.4 Control de materiales y productos

En este proceso (Figura 6) se determinan las características de los suelos, rocas y materiales de la construcción objeto de control, siendo necesaria, para ello, la toma de las distintas muestras, así como la realización de ensayos in-situ o en laboratorio.

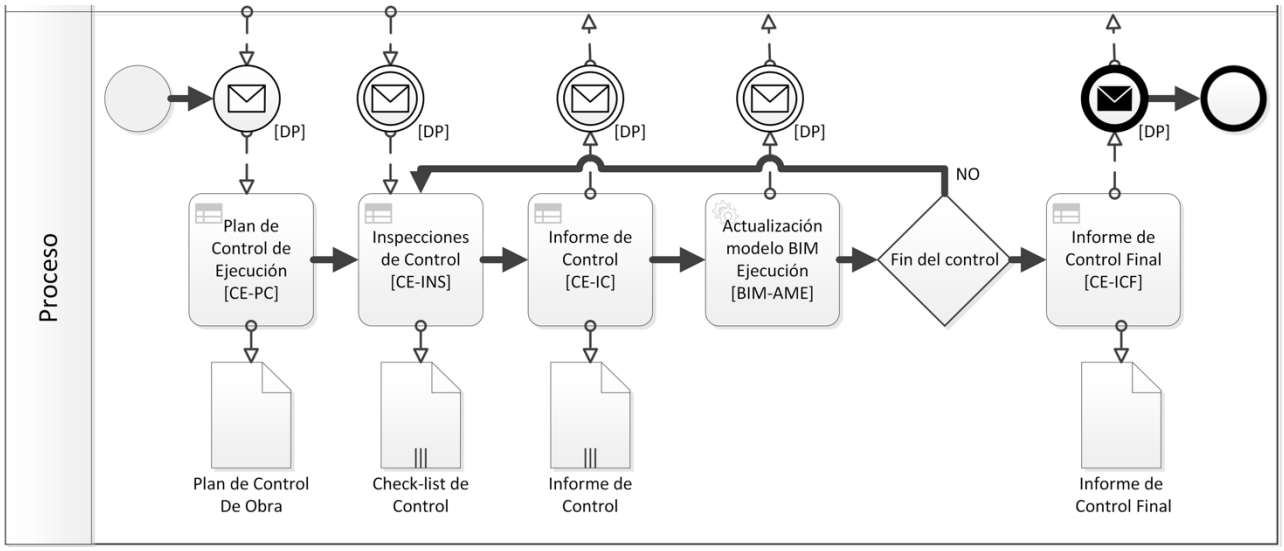


Figura 5. Proceso para el control de ejecución.

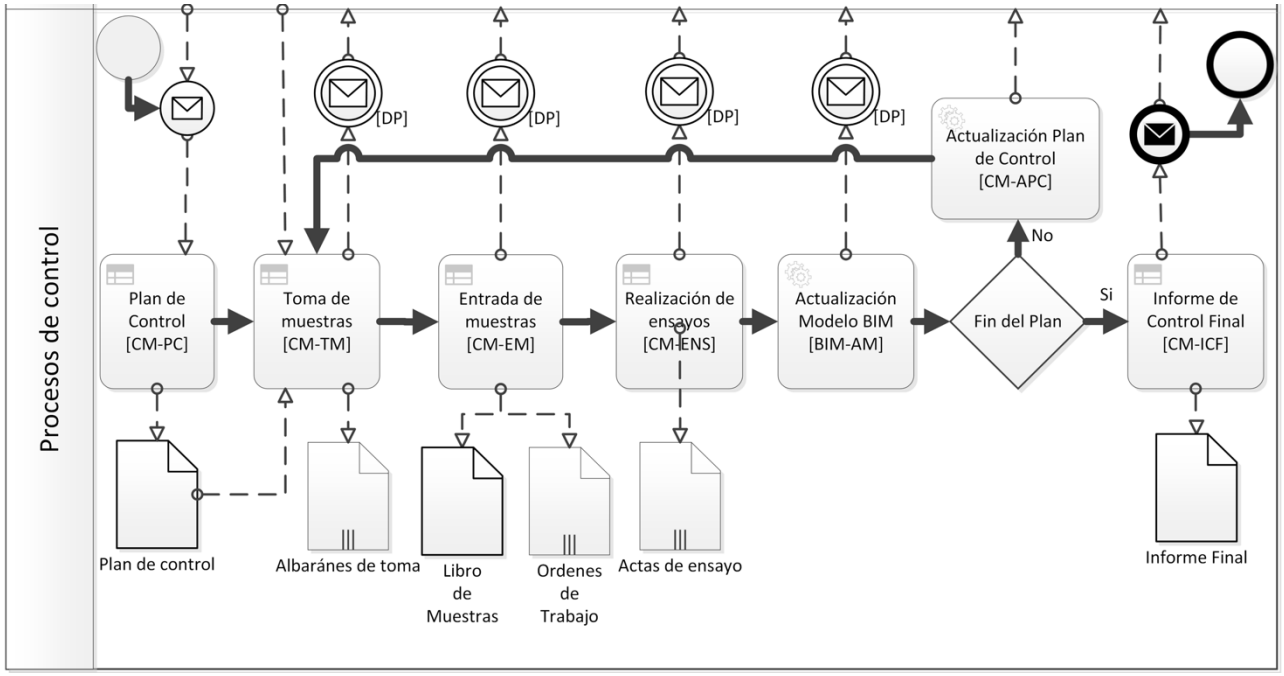


Figura 6. Proceso para el control de materiales y productos.

El CDE permite el trabajo colaborativo entre los distintos interlocutores que participan en las fases de proyecto y obra de la construcción, poniendo a disposición de cada uno de ellos, en función de los roles asignados, la información disponible en cada una de dichas fases, tanto planificada como real.

La información compartida en dicho entorno (Figura 7) consiste en:

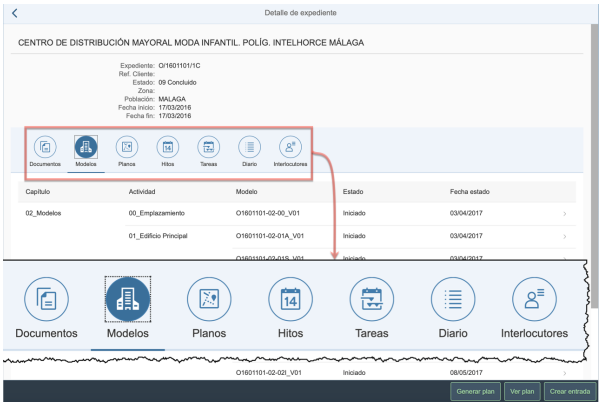


Figura 7. Entorno de Datos Colaborativo.

Documentos: muestra los ficheros que no son modelos BIM o planos en formato dwg (por ejemplo: pdf, Word, Excel…).

Modelos: muestra los modelos BIM. Cuando los modelos están en formatos de revit, navisworks o IFC, se pueden visualizar directamente desde el CDE, al estar incrustada dentro de este entorno la plataforma de Autodesk BIM 360 (Figura 8).

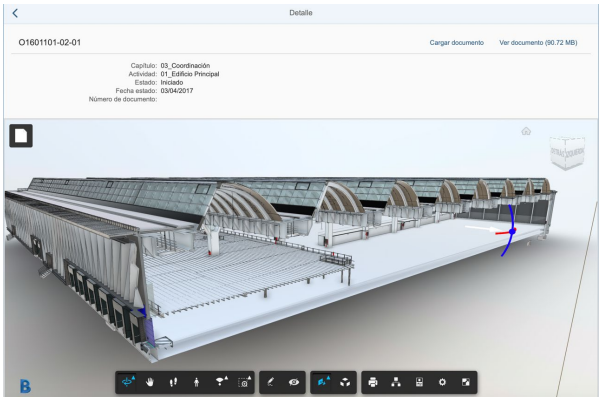


Figura 8. Vista en el CDE de modelos BIM a través de Autodesk BIM 360.

Planos: muestra los planos. Cuando éstos están en formato dwg, se pueden visualizar directamente desde el CDE, al igual que los modelos BIM, a través de la plataforma de Autodesk BIM 360.

Tareas: muestra las tareas, a realizar por los distintos agentes, que sean relevantes para el trabajo colaborativo.

Diario: muestra el registro de todos aquellos hechos que son relevantes para el proyecto, entre las que se pueden destacar:

- Registros de las reuniones realizadas, junto con las conclusiones y acciones a realizar tras cada reunión.
- Registros de las comunicaciones entre los distintos interlocutores del proyecto.
- Entregas de documentos, modelos BIM y Planos.
- Registros de incidencias o no conformidades, junto con las medidas correctoras para la subsanación de dichas incidencias.

Interlocutores: se muestran los distintos agentes participantes, con su información de contacto y rol desempeñado.

4. Modelo de datos

Para almacenar el conjunto de información relativa al CC y CG se ha diseñado un modelo de datos y se ha implementado dentro de la plataforma SAP® de CEMOSA. Dada la inviabilidad de describir en esta comunicación este modelo de datos, se resume a continuación la información básica que contiene, asociada a los principales procesos descritos anteriormente y que posteriormente formará parte del modelo BIM de la construcción.

4.1 Caracterización geotécnica

La información del modelo BIM de caracterización geotécnica es la siguiente:

- Registro de la información de partida (modelos, versiones, fechas, autores).
- Prospecciones realizadas, localización de las mismas y profundidades alcanzadas.
- Ensayos in-situ realizados, localización de los mismos y resultados obtenidos.
- Muestras tomadas, ensayos realizados y resultados de los mismos.
- Superficies que definen los niveles geotécnicos del terreno y sus parámetros geotécnicos.
- Recomendaciones de cimentación y contención, y parámetros geotécnicos para su diseño.

4.2. Control de proyecto

La información del modelo BIM de control de proyecto es la siguiente:

- Registro de la información analizada (modelos, versiones, fechas y autores).
- Exigencias que se van a controlar.
- Para cada exigencia, lotes de control de proyecto, elementos controlados por lote,

comprobaciones realizadas y resultados de las comprobaciones

- Registro de comunicaciones de incidencias del control, interlocutores informados, fechas, incidencias comunicadas, grados de no conformidad y, en su caso, medidas adoptadas para subsanar las incidencias.

4.3 Control de Ejecución

La información del modelo BIM de control de ejecución es la siguiente:

- Registro de la información de partida (modelos, versiones, fechas y autores).
- Exigencias que se van a controlar.
- Para cada exigencia, lotes de control de ejecución, elementos pertenecientes a los lotes, registro de inspecciones realizadas, comprobaciones realizadas y resultados de las comprobaciones.
- Lotes de control mediante ensayos in-situ de los elementos y productos de construcción, ensayos realizados y resultados de los ensayos.
- Sistemas probados, pruebas de funcionamiento realizadas y resultados de dichas pruebas.
- Documentación de los materiales y productos suministrados a la obra.
- Registro de las comunicaciones de incidencias de control, interlocutores informados, fechas, incidencias comunicadas, grados de no conformidad y, en su caso, medidas adoptadas para subsanar las incidencias.

4.4 Control de materiales y productos

La información del modelo BIM de control de materiales es la siguiente:

- Las exigencias que se van a controlar
- Para cada exigencia, los lotes de control, las muestras tomadas, los ensayos realizados y los resultados de los ensayos.
- El registro de las comunicaciones de incidencias, de los interlocutores informados, fechas, incidencias comunicadas, grados de no conformidad y medidas adoptadas

4.5 Esquema de clases IFC

Para la obtención del modelo BIM asociado al CC y CG, se ha optado por el uso del estándar IFC de la buildingSMART®, para lo cual ha sido necesario mapear la información del modelo de datos de SAP® con las clases IFC y añadir en éstas conjuntos de propiedades (Pset's), a fin de incluir la información no recogida en el estándar IFC. Para aquella información que no se ajusta a ninguna clase específica del estándar IFC, se ha utilizado la clase IfcProxy, la cual permite albergar información de diversa naturaleza.

De nuevo, ante la inviabilidad de describir en esta comunicación el esquema completo de clases adoptado para representar el modelo BIM de CC y CG, se indica en la Figura 9 el esquema de entidades a muy alto nivel.

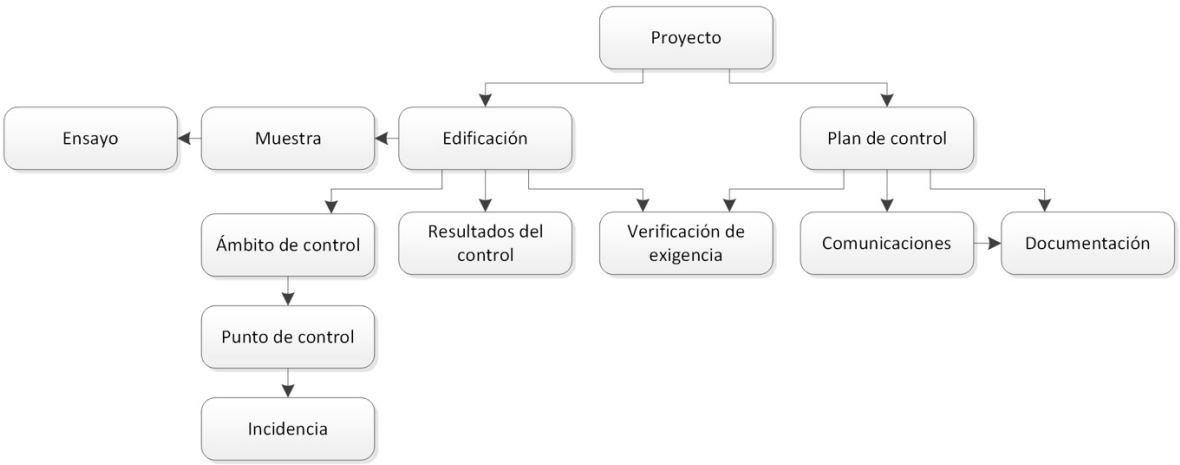


Figura 9. Esquema de entidades para los modelos BIM de CC.

6. Aplicaciones de movilidad

Como parte de la mejora de los procesos para llevar a cabo el CC y CG dentro de un flujo de trabajo BIM, se han diseñado aplicaciones para realizar la toma de datos de campo (prospecciones, inspecciones y tomas de muestra) mediante dispositivos móviles. Estas aplicaciones están desarrolladas bajo SAP® FIORI®, lo que permite a los operadores y técnicos de CEMOSA la toma directa de datos in-situ y su almacenamiento en tiempo real en la base de datos de SAP® (Figura 10).

Figura 10. Aplicación de movilidad para la toma de muestras.

7. Generación de los modelos BIM de CC y CG

El proceso se esquematiza en la Figura 11. La información de partida consiste en uno o varios modelos BIM, con la información del emplazamiento de la construcción y/o de la propia construcción, dentro del ámbito de actuación a realizar. A partir de un plugin desarrollado sobre la API de BIM Vision®, se selecciona la información relevante y se traspasa a SAP®. Esa información, junto con la relativa a los procesos de CC y CG, son tratadas con desarrollos realizados en SAP® para obtener el modelo de datos del CC y CG. Finalmente esa información es mapeada con el esquema de clases IFC descrito anteriormente en un plugin desarrollado en xBIM®, generando finalmente el modelo BIM del CC y CG.

En la Figura 12 se muestra, a modo de ejemplo, el modelo BIM de CC de una estructura de Hormigón Armado, donde se aprecia la información relativa a la lotificación y los resultados del control.

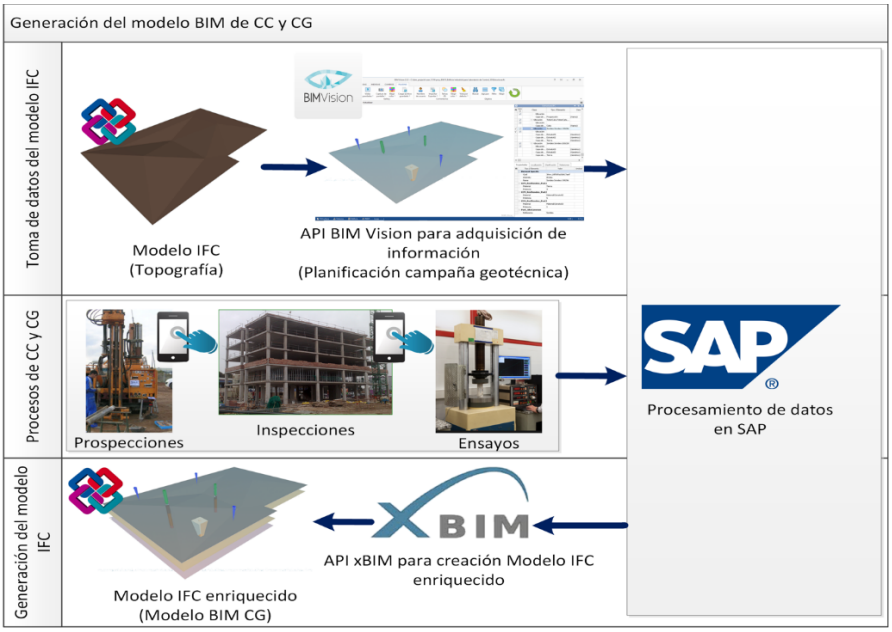


Figura 11. Esquema de procesos para la generación de los modelos BIM de CC y CG.

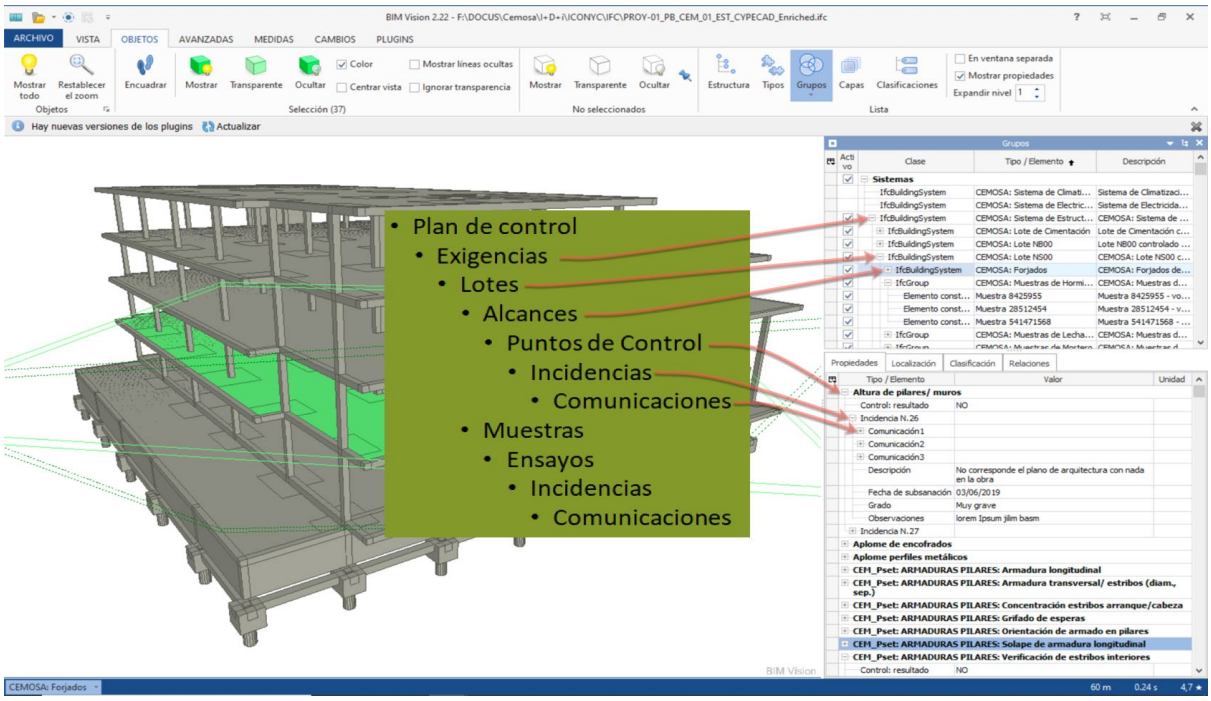


Figura 12. Modelos BIM de CC de una estructura de hormigón.

8. Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

La inclusión del proceso de control de calidad de la obra en los modelos BIM permitirá, además de una mayor fiabilidad de la información, tanto del modelo BIM proyectado como del ejecutado, una mejor trazabilidad de los controles realizados y, por consiguiente, una mayor garantía en la depuración de responsabilidades en futuras patologías que pueda presentar la construcción.

Finalmente, en su conjunto, cabe destacar que el uso de la metodología BIM en los procesos de CC y CG presenta, al igual que sucede en el resto de los procesos de la construcción, una mejora de la productividad y de la calidad de los servicios prestados, permitiendo al cliente, además, realizar una monitorización más fácil de los servicios contratados.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado dentro del proyecto ICONYC (IDI-20170766), cofinanciado con fondos FEDER, a través del Programa PID del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Málaga-Campus de Excelencia Internacional Andalucia Tech, por el soporte prestado en el desarrollo de este trabajo.

Referencias

[1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons Inc, Hoboken, NJ, USA, 2011.

[2] R. Charef, H. Alaka, S Emmitt, Beyond the third dimension of BIM: A systematic review

of literature and assessment of professional views, Journal of Building Engineering. 19 (2018), 242-257

[3] A. Candelario, H. Martín, F. San Emeterio. Simulación 4D como metodología de planificación frente a procedimientos convencionales en proyectos de construcción, Spanish Journal of BIM 18 (1) (2018) 10-13.

[4] F. Bermejo. Proyectar controlando costes en entornos de trabajo BIM. Spanish Journal of BIM 17(2) (2017) 26-29.

[5] A. K. Nical, W. Wodyński, Enhancing Facility Management through BIM 6D, Creative Construction Conference 2016 (2016), 25-28

[6] M.C Loeffler, G. Calleja-Rodriguez, R. Guruz, Scenario Manager: Integratied and innovative concept for process and information management based on BIM execution plan digitalization and key points. International Research Conference, 11/09/2017-12/09/2017, Salford, UK

[7] G. Calleja-Rodriguez, R. Guruz, M. C. Geissler, R. Steinmann, K. Linhard, G. Dangl, Collaboration requirements and interoperability fundamentals in BIM based multi-disciplinary building design processes, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and construction, ECPPM 2016, Pag 349.

[8] R. J. Scherer, R. Guruz, G. Calleja-Rodríguez and M. C. Geissler. Towards a KPI-controlled holistic design method for eeBuildings, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and construction, ECPPM 2014, Pag 879.

[9] P. Stenzel, J. Haufe, N. Jiménez-Redondo, Using a multi-model for a BIM-based design and operation of building energy management systems, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and construction, ECPPM 2014, Pag 813.

[10] P. Stenzel, J. Haufe, N. Jiménez-Redondo, Using a BIM flow for the design and operation of Building Energy Management Systems, 1st International Conference "ICT Sustainable Places", September 9-11, 2013, Nice, France.

[11] H. Burak Cavka, S. Staub-French, E. A. Poirier. Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. Automation in Construction 83 (2017) 169–183.

[12] L. Chen, H. Luo. A BIM-based construction quality management model and its applications. Automation in Construction 46 (2014) 64–73.

[13]. H. Luo, P. Gong. A BIM-based Code Compliance Checking Process of Deep Foundation Construction Plans. Journal of Intelligent & Robot Systems 79 (2015) 549–576.

[14] IFC Common Schema for Infrastructure. Geotechnics. Use Cases, Requirements and Proposals, BuildingSMART International, (2019)

[15] PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using BIM. BSI. British Standard Institution (2013)

[16] UNE-EN ISO 16739:2016. IFC (Industry Foundation Classes) para el intercambio de datos en los sectores de la de construcción y de la gestión de inmuebles (2016)

[17] Specification of Industry Foundation Classes: Version 4.2, BuildingSMART International, 2019, online: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/

[18] J. Wix, J. Karlshøj. IDM Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods. BuildingSMART. 2010