

Tecnologías “*Building Information Modeling*” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado*

Hernán Porras-Díaz

Doctor en Ingeniería Telemática, de la Universidad Politécnica de Madrid. Docente de Planta e Investigador; Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga - Colombia.
hporras@uis.edu.co

Omar Giovanni Sánchez-Rivera

Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander; Estudiante de Maestría en Pensamiento Estratégico y Prospectiva, de la Universidad Externado de Colombia. Docente Catedrático e Investigador; Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga - Colombia.
omarsanchez.44@hotmail.com

José Alberto Galvis-Guerra

Estudiante de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga - Colombia.
alberto9210@hotmail.com

Néstor Albeiro Jaimez-Plata

Estudiante de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga - Colombia.
njaimenzp@gmail.com.

Karen Milady Castañeda-Parra

Estudiante de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga - Colombia.
karito_0493@hotmail.com

RESUMEN

En el presente artículo se estudia el impacto de la aplicación de la tecnología Building Information Modeling (BIM), en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado, frente al método tradicional de cálculo que se fundamenta en dibujos en dos dimensiones (2D). El caso de estudio es la estructura de concreto reforzado de una estación de buses alimentadores del sistema de transporte público de la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Se presenta la metodología para el desarrollo del modelo BIM y la integración de la información del presupuesto de construcción al modelo. Se efectúa una comparación del presupuesto de obra obtenido con el método tradicional, y el presupuesto obtenido con la utilización de BIM, a partir de la cual es posible verificar el aporte de la implementación de BIM al aumento de la precisión del presupuesto de construcción, soportado en la precisión que se logra en el cálculo de cantidades de obra, las facilidades del modelo BIM para, entre otros, la determinación de actividades de obra y la integración de la información del proyecto en una única base de datos.

PALABRAS CLAVE

Building Information Modeling, costo de construcción, estimación de costos, gestión de proyectos, Integración de proyectos, presupuesto.

Recibido: 15/10/2014 **Aceptado:** 05/12/2014

* El presente documento corresponde a uno de los productos de la investigación autónoma de los investigadores; bajo la dirección y la coordinación del doctor Hernán Porras. Se busca implementar las tecnologías BIM (Building Information Modeling) como herramientas para la estimación de presupuestos de proyectos de construcción. El trabajo de investigación expuesto se desarrolló en las instalaciones del grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander; con recursos propios del grupo de investigación Geomática.

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: PORRAS-DÍAZ, Hernán; SÁNCHEZ-RIVERA, Omar Giovanni; GALVIS-GUERRA José Alberto; JAIMEZ-PLATA, Néstor Albeiro; CASTAÑEDA-PARRA, Karen Milady. Tecnologías “Building Information Modeling” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *En:* Entramado. Enero - Junio, 2015 vol. 11, no. 1, p. 230-249, <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>



Technologies "Building Information Modeling" budgeting in construction of reinforced structures

ABSTRACT

This article studies the impact of then application of building information modeling (BIM) technology on the creation of construction budgets for structures with reinforced concrete in comparison to the traditional calculation method, which is based on drawings in two dimensions (2D). The case study is the reinforced concrete structure of a bus station from the public transportation system in the city of Bucaramanga, Colombia. The methodology for the development of the BIM model and the integration of the construction budget information into the model is presented. A comparison between the project budget obtained with the traditional method and the budget obtained with the use of BIM is conducted. This comparison makes it possible to verify the contribution of BIM implementation to an increase in precision in the construction budget, which arises from the precision achieved in the calculation of project quantities, the ease with which the BIM model can, amongst others, determine project activities and integrate project information in a single database.

KEYWORDS

Building Information Modeling, Construction cost, Costs estimation, Project management, Integration project, Budget.

Tecnologias de "Building Information Modeling" na elaboração de orçamentos para a construção de estruturas de concreto armado

RESUMO

No presente artigo, é estudado o impacto da aplicação da tecnologia de *Building Information Modeling* (BIM) na elaboração de orçamentos para a construção de estruturas de concreto armado, em comparação com o método tradicional de cálculo baseado em desenhos de duas dimensões (2D). O caso de estudo é a estrutura de concreto armado de uma estação de ônibus que alimenta o sistema de transportes públicos da cidade de Bucaramanga, Colômbia. É apresentada a metodologia para o desenvolvimento do modelo BIM e a integração das informações desde o orçamento de construção até o modelo. É realizada uma comparação do orçamento da obra obtido com o método tradicional e o orçamento obtido com a utilização do BIM, a partir do qual é possível verificar a contribuição da implementação do BIM para o aumento da precisão no orçamento da construção, apoiado na precisão alcançada no cálculo de quantidades da obra e nas facilidades do modelo BIM para, entre outras coisas, determinar as atividades da obra e a integração da informação do projeto em uma única base de dados.

PALABRAS-CHAVE

Building Information Modeling, custo de construção, estimativa de custos, gestão de projetos, integração de projetos, orçamento.

Introducción

La estimación del costo de un proyecto de construcción, también conocida como el cálculo del presupuesto de construcción, es el proceso de predecir el costo del proyecto, con base en: los materiales, las herramientas, los equipos, la mano de obra y el transporte, entre otros, requeridos para la ejecución según los estudios y diseños del proyecto (Mohamed y Mohamed, 2014; Sattineni y Bradford, 2011). Los presupuestos se emplean en casi cualquier organización y los gerentes de proyectos generalmente se encuentran interesados en controlarlos y gestionarlos para reducir costos y maximizar las utilidades (Hitt, Stewart y Porter, 2006; Barlish y Sullivan, 2012).

La gestión de un proyecto debe incluir un conjunto de dimensiones, que involucran una estrategia y unos medios

para alcanzar los objetivos de una organización (Pacheco, Castañeda y Caicedo, 2002; Rodríguez, Rodríguez, Chirinos y Meleán, 2009). Dentro de las dimensiones incluidas en la gestión de un proyecto de construcción es necesario contar con una dimensión dedicada a la gestión de costos. Esta incluye los procesos de planear, estimar, determinar y controlar (Project Management Institute, 2013). En un proyecto de construcción, los costos involucrados en el diseño, la construcción y la operación resultan ser altos por concepto del elevado costo de los insumos, el conocimiento requerido y la magnitud de los proyectos. Por estas razones, es de gran importancia una eficiente gestión de costos en las distintas fases del proyecto que haga posible reducir las pérdidas asociadas al mismo.

En la actualidad, un factor relevante de una gestión de costos efectiva en un proyecto de construcción, es el uso de las

tecnologías de la información y la comunicación (TIC), empleadas en sus distintas fases y procesos. De otro lado, en la elaboración del presupuesto de construcción, actividad que hace parte de la gestión de costos del proyecto, algunos de los problemas más importantes, que en la actualidad muchos investigadores y profesionales de la industria de la construcción intentan resolver, son, entre otros, el cálculo de las cantidades de obra, la integración de la información del proyecto y la minimización de los posibles imprevistos.

Además, en la mayoría de los casos, el gran inconveniente de los presupuestos de construcción es la baja precisión en su estimación, que es un indicador porcentual, positivo o negativo, que muestra la diferencia entre la variación del costo final del proyecto y el costo objetivo que se planificó para el mismo (Popescu, 2003). Es importante aclarar que la problemática de la desviación entre el costo planificado y el ejecutado se presenta a nivel mundial y nacional. Según el estudio "correcting the course of capital projects", realizado a nivel mundial por PwC (Price Waterhouse) a 33 proyectos de construcción (Abadie y Raymond, 2013), se determinó que aproximadamente el 6.1% de los proyectos al construirlos se encuentran por debajo del presupuesto y que el 36.4% presentan sobrecostos superiores al 50% del presupuesto de construcción, datos que permiten apreciar la problemática existente en la precisión de los presupuestos.

En el caso de la ciudad de Bucaramanga, Colombia, con datos respaldados por la tesis de grado "Aplicación de la técnica del valor ganado a un proyecto de construcción de un edificio de vivienda" se evidencia un sobrecosto del 27% sobre el valor proyectado en el presupuesto de obra (Rey y Salinas, 2011).

Una solución a varios de los inconvenientes en la preparación de presupuestos de obra es la elaboración de un modelo de los elementos de construcción en tres dimensiones 3D, con la información de construcción vinculada a los distintos elementos, según corresponda. Precisamente, un modelo BIM (Building Information Modeling) permite la idealización del proyecto con una representación virtual en varias dimensiones de los elementos de construcción y la integración de la información del proyecto (Gu y London, 2010; Cerovsek, 2012; Woo, Wilsmann y Kang, 2010; Barlish y Sullivan, 2012).

En la actualidad, BIM es aplicado en diferentes campos de la ingeniería y la construcción (Goedert y Meadati, 2008), situación que, en parte, se da porque la tecnología BIM se basa en modelos digitales en varias dimensiones (Mora y León, 2014), modelos que cuentan con beneficios adicionales a los tradicionales dibujos en dos dimensiones 2D.

Entre los principales beneficios de BIM figuran, entre otros, la comprobación automática, coordinación, compatibilidad, integración, el análisis directo, el apoyo a la producción (Mohamed y Mohamed, 2014; Chen, Li, Tangirala, Shirole y Sweeney, 2006), la posibilidad para el trabajo colaborativo en distintas ubicaciones geográficas (Haymaker, Fisher y Liston, 2005), la detección de interferencias e inconsistencias (Mohamed y Mohamed, 2014), los cálculos de las cantidades de construcción (Wang, Weng, Wang y Chen, 2014; Haymaker *et al.*, 2005; Mikulakova, König, Tausher y Beucke, 2010; Monteiro y Martins, 2013).

En Colombia, el uso de la tecnología BIM está cambiando la planificación y el control de obras. El fenómeno de la implementación de BIM emerge desde las principales universidades del país, entre las cuales se encuentran, Eafit, Andes y Javeriana. Se utiliza esta tecnología con el objetivo de mejorar la etapa de construcción de los proyectos, mediante el mejoramiento de cálculo de cantidades, la simulación de procesos constructivos y la programación de obra. BIM es aplicado en gran proporción al modelamiento de edificaciones, de forma análoga, se desarrolla en baja magnitud el avance de la tecnología Bridge Information Modeling para la modelación de puentes de concreto reforzado (Gaitá y Gómez, 2014; Tristancho, Contreras y Vargas, 2011; Mojica y Valencia, 2012). En el ámbito de las organizaciones de la industria de la construcción colombiana son muy pocas las que han adoptado BIM dentro de sus procesos.

En el presente documento se exponen los resultados de la investigación basada en el impacto de la utilización de BIM, en la elaboración de presupuestos de estructuras en concreto reforzado, el caso de aplicación es una estación de buses en la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Se presenta una metodología para la elaboración de presupuestos con BIM; se analizan los resultados del uso de BIM en la elaboración de presupuestos frente al método tradicional, método que consiste en la utilización de dibujos en dos dimensiones (2D) y diferentes *softwares*.

El aporte científico y social de la investigación se basa en exponer el impacto del BIM en el cálculo de presupuestos de estructuras en concreto reforzado, enfocado a presentar un referente para investigadores y personal de la industria de la construcción, sobre la implementación de BIM en el cálculo de presupuestos de obra.

Así, se presenta una metodología de trabajo con el objetivo de abordar la problemática que existe para lograr precisión en la estimación del costo de construcción de un proyecto, situación que en la actualidad compromete la ejecución exitosa de proyectos de construcción en los sectores público y privado.

I. Metodología

La metodología utilizada para la presente investigación hace referencia al método científico experimental. El desarrollo de la metodología se enfoca en el estudio del impacto de BIM en el cálculo de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado, frente al método tradicional de cálculo. Elaborar un presupuesto de obra resulta una labor compleja dada, la magnitud de los proyectos de construcción, las múltiples tareas de obra, la incertidumbre en obra, los factores climáticos, la variedad de los materiales empleados en el proyecto, los variables precios de materiales, equipos, mano de obra y transportes, entre otros.

Para obtener un presupuesto es necesario calcular las cantidades de obra y los precios unitarios de los elementos de construcción del proyecto, conocidos como análisis de precios unitarios (APU), que determinan las tareas a tener presentes en el programa de obra. El alcance de los APU se define de acuerdo con el criterio del profesional encargado de la elaboración del presupuesto, el profesional debe tener en cuenta las características del proyecto, las condiciones de contratación propias de la región y el sector económico al que pertenezca el proyecto.

En la Figura 1 (ver págs. 234 y 235) se presenta la metodología para el cálculo del presupuesto de obra de una estructura en concreto reforzado, adoptada para el desarrollo de la investigación. La metodología propone una modificación al método tradicional de cálculo de presupuestos, que consiste en el desarrollo de un modelo BIM para el análisis e integración de la información, la obtención de cantidades de obra, la determinación de las actividades requeridas en la ejecución del proyecto y la generación del presupuesto. La modificación al método tradicional resulta de gran beneficio para la disminución de la incertidumbre en la predicción del costo de construcción de estructuras en concreto reforzado, ya que en el método tradicional la información se almacena de forma dispersa en informes y dibujos en dos dimensiones, que generalmente son incompatibles entre sí e inducen errores en la estimación de cantidades y determinación de actividades.

La vinculación de un modelo BIM, en el cálculo de presupuestos de construcción, brinda un sistema flexible frente a los posibles cambios en los diseños de los proyectos, situación que facilita la actualización del presupuesto de obra del proyecto en un tiempo reducido.

En el presente trabajo de investigación, se aplicó la metodología mostrada en la Figura 1, para elaborar el presupuesto del caso de estudio, el cual corresponde a la estructura en concreto reforzado de una estación de buses. Los recursos

e instrumentos que fueron necesarios para el desarrollo de la metodología adoptada, se muestran en la Tabla 1 (ver pág. 235).

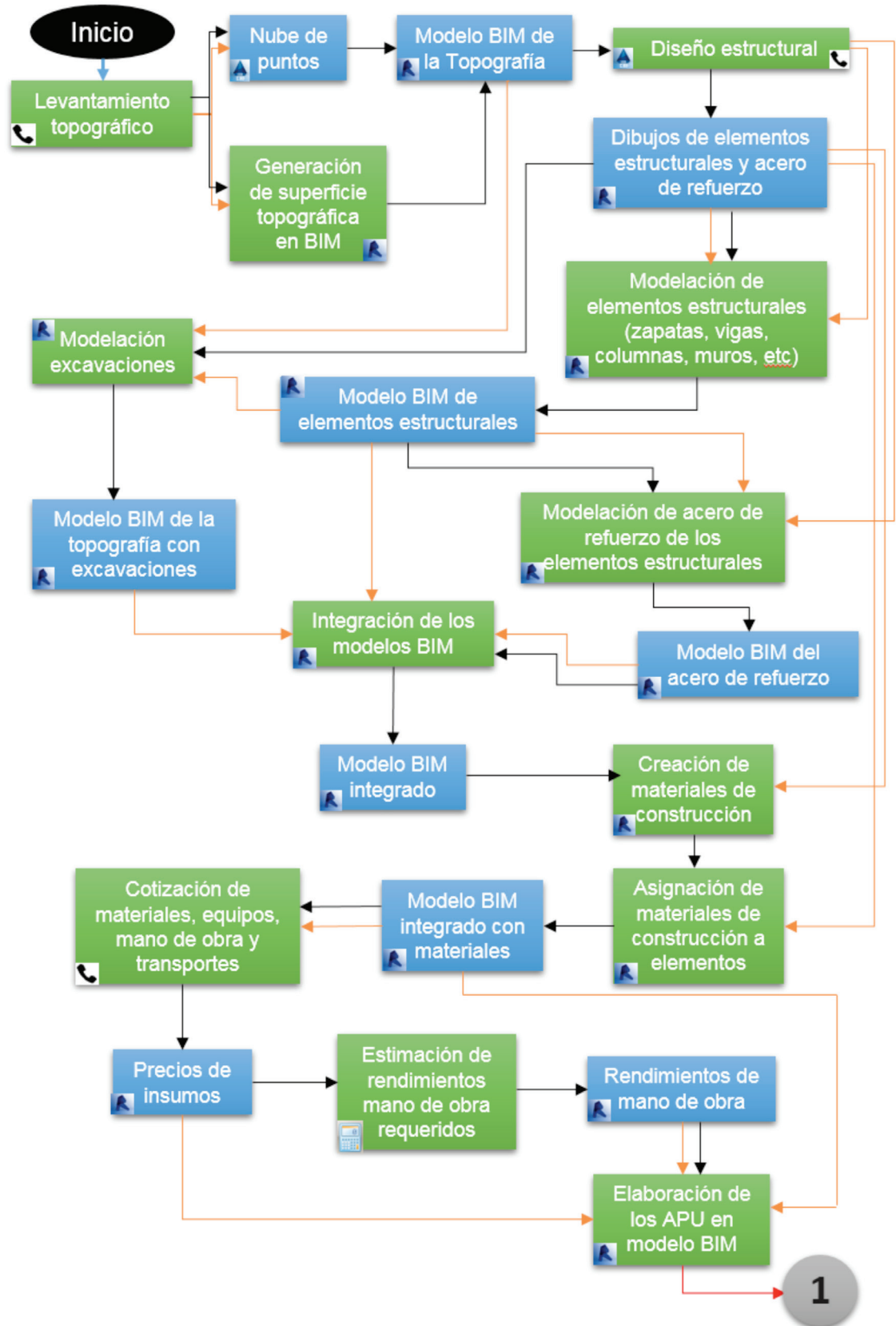
I.1. Desarrollo del Modelo BIM

BIM es el diminutivo empleado para hablar de la tecnología Building Information Modeling, definida por la AGC (Associated General Contractors of America) como: "tecnología que permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes, que ayudan a simular la construcción" (Ernststrom, Hanson, y Hill, 2011), definición que permite pensar el modelo BIM, como una representación digital que posee información explícita y modificable de los diseños de un proyecto de construcción.

Uno de los objetivos en el desarrollo del modelo BIM consiste en obtener un modelo de la totalidad de los elementos de construcción del proyecto, al cual se le desea calcular el presupuesto. Al finalizar el cálculo, el modelo contará con información almacenada de los elementos de construcción (vigas, columnas, placas, muros, y demás), También podrá ser alimentado en cualquier instante por nueva información producida en el equipo de diseño del proyecto. Dentro de la información, almacenada en el modelo y que podrá ser consultada fácilmente, se encuentran dimensiones en los ejes x, y y z de los elementos, material de construcción, ubicación espacial en el proyecto, propiedades químicas y mecánicas del material, costo unitario, área, volumen, especificaciones técnicas de construcción, texturas, fase del proyecto a la que pertenece el elemento, detalles en general, entre otros.

En la producción del modelo BIM es necesario contar con los planos en formato CAD 2D, un modelo 3D o cualquier fuente de información de los parámetros y las características del proyecto (Porras, Sánchez y Galvis, 2014). Una opción que resulta de gran viabilidad es la elaboración de los diseños del proyecto con la utilización de tecnologías BIM, ya que a medida que se avanza en el diseño, el modelo BIM es elaborado como parte del proceso. Para la construcción del modelo BIM están disponibles en el mercado distintos software, que brindan diversas herramientas de análisis y modelado (Succar, 2009). En la Tabla 2 (ver pág. 236) se listan los principales proveedores de *software* BIM que hacen posible la estructuración del modelo.

En la elaboración del modelo se debe tener presente vincular la especificación técnica de cada uno de los materiales y procesos constructivos requeridos, esto con el objetivo de facilitar el proceso de obtención de cantidades de obra e integrar en una única base de datos la información correspondiente al proyecto.



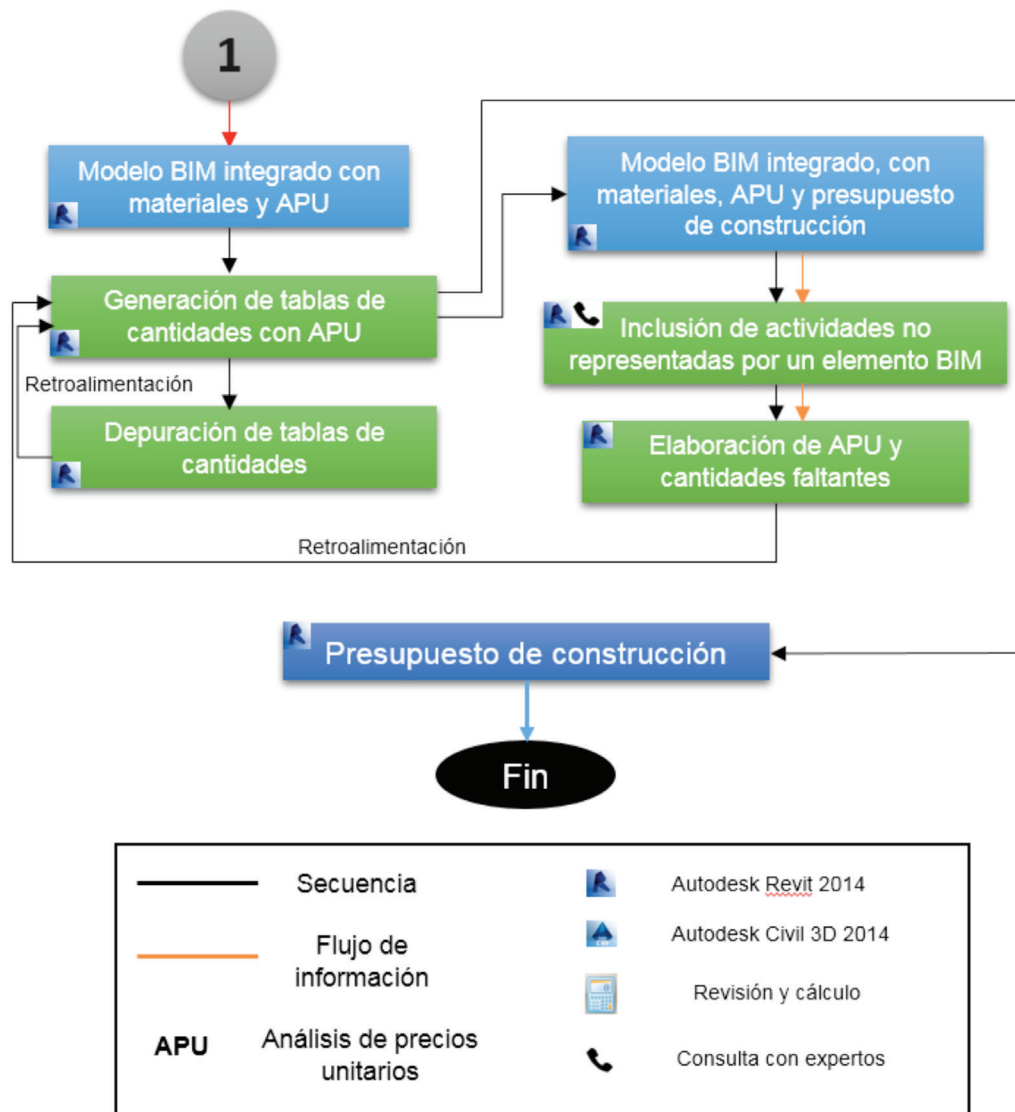


Figura 1. Metodología adoptada para el cálculo de presupuestos de estructuras en concreto reforzado, con la utilización de BIM.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.

Recursos e instrumentos utilizados para la ejecución de la metodología de la Figura 1.

Recursos e instrumentos	Unidad	Cantidad
Computador Intel XEON E5-2603 de 4 núcleos con velocidad de 1,8 GHz, RAM 32 GB, tarjeta de video NVidia Quadro 2000 (2 GB), Disco duro 250 GB tipo SATA	Unidad	3
Modelador capacitado en el manejo de software BIM y presupuestos de construcción	Horas	225
Licencia educacional del software Autodesk Revit 2014	Unidad	3
Licencia educacional del software Autodesk Civil 3D 2014	Unidad	3
Estudios y diseños estructurales de la estructura en concreto reforzado del caso de aplicación	Unidad	1
Levantamiento topográfico del terreno donde se construirá el proyecto	Unidad	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Proveedores de *software* BIM [62].

Proveedor	Software
Autodesk	Revit
Graphisoft	ArchiCAD
Nemetschek	Allplan Architecture
Gehry Technologies	Digital Project Designer
Nemetschek	Vectorworks Architect
Bentley	Architecture
4MSA Idea Architectural Desing	IntelliCAD
CADSoft	Envisioneer
Softtech	Spirit
RhinoBIM	BETA

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, dado que algunos proyectos de construcción son extensos y cuentan con un alto nivel de complejidad, la elaboración del modelo BIM puede resultar una tarea extensa y poco eficiente, por lo que para agilizar la debida tarea y la comunicación entre los distintos profesionales relacionados con el proyecto, es posible trabajar en una plataforma virtual en red (Shou, Wang, Wang y Chong, 2014). En

la plataforma varios modeladores pueden trabajar de forma simultánea. En la Figura 2 se bosqueja una idealización de la metodología de la elaboración del modelo con el uso de una plataforma virtual.

Elaborar el modelo BIM con la utilización de una plataforma virtual, como la mostrada en la Figura 2, tiene múltiples ventajas, dentro de las cuales una de mayor significancia es la posibilidad de compartir con el cliente y la totalidad del equipo técnico, la información del proyecto en tiempo real. De esta forma se puede mejorar la eficiencia en la toma de decisiones, aspecto clave en la calidad de un proyecto de construcción.

Como se muestra en la Figura 1, el desarrollo del modelo se cumple con la integración de los modelos BIM: topográfico, de elementos estructurales y de acero de refuerzo; el modelo se elabora por partes con motivo de la especialidad que poseen las plantillas del *software* Autodesk Revit 2014 y las herramientas de modelado en cada una de las plantillas.

En algunos casos, el motivo, por el cual el modelo se elabora por partes, es la limitación en términos de capacidad de los equipos informáticos, debido a que algunos proyectos son demasiado extensos y por tanto poseen un gran número de elementos que ocasionan que el proceso de modelado sea lento y poco eficiente.

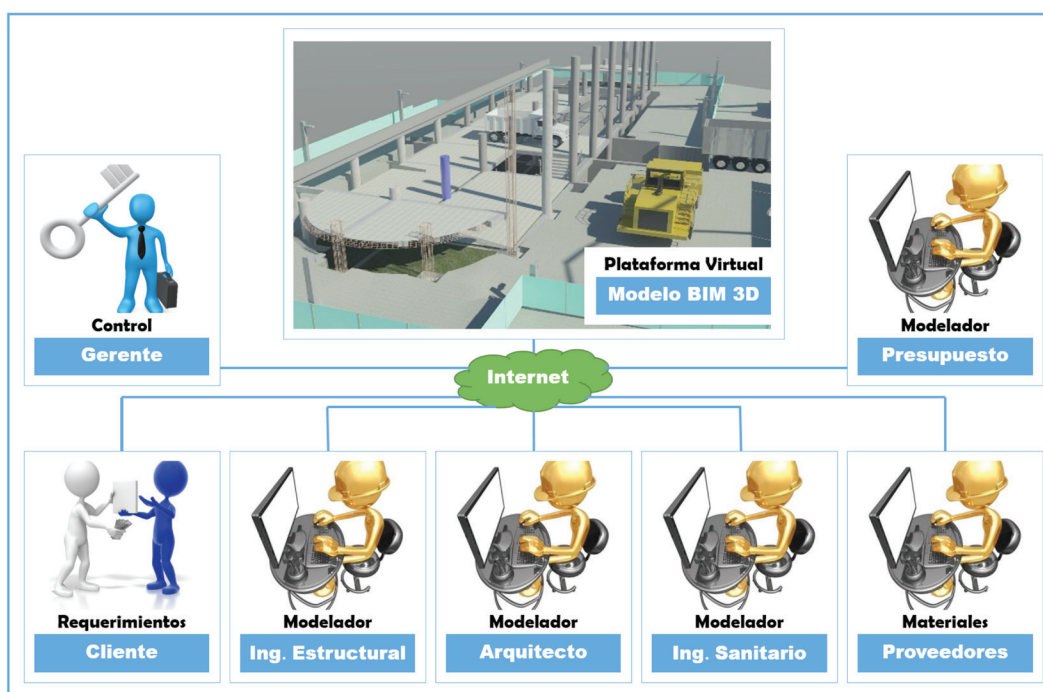


Figura 2. Plataforma virtual para la elaboración del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.1. Modelo BIM de la topografía

La modelación de la superficie topográfica en BIM parte de un conjunto de puntos o curvas de nivel que representen las características topográficas del lugar de construcción del proyecto, donde se debe estar atento a las cotas de elevación y coordenadas planas de ubicación del mismo. Con el apoyo de los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se recomienda la modelación y ubicación de elementos tales como árboles, construcciones y redes existentes, entre otros, con la finalidad de cuantificar y tener presente en el presupuesto las posibles demoliciones que se requieran al momento de la construcción.

Con el modelo BIM de la topografía existente y los diseños de la estructura en concreto reforzado es posible modelar las excavaciones y rellenos requeridos para la ejecución del proyecto de construcción. Se recomienda tener presente la inclinación de los taludes resultantes de excavaciones y rellenos, con base en los estudios de suelos y la seguridad del personal en obra.

Como se observa en la Figura 1 para el caso de aplicación, se generó una nube de puntos en el *software* Autodesk Civil 3D 2014 y el modelado BIM de la superficie topográfica se realizó en el *software* Autodesk Revit 2014. Las cantidades de obra de movimientos de tierra se obtienen de la comparación entre las superficies inicial y modificada.

1.1.2. Modelo BIM de elementos estructurales

Para el desarrollo del modelo BIM de los elementos estructurales, se parte de los dimensionamientos resultantes del diseño estructural. Otra opción se presenta cuando los diseños estructurales se elaboran en un paquete BIM de diseño estructural, en este caso no resulta necesario la modelación de los elementos estructurales ya que el modelo BIM se desarrolla en el proceso de diseño.

Para el caso de estudio, los diseños estructurales utilizados se encuentran en dibujos en dos dimensiones, compatibles con el *software* Autodesk Civil 3D 2014.

1.1.3. Modelo BIM del acero de refuerzo

Con el modelo de los elementos estructurales, es posible modelar el acero de refuerzo teniendo en cuenta la información obtenida en el proceso de diseño estructural. Con motivo de la cantidad significativa de elementos, se recomienda que el modelo del acero de refuerzo se desarrolle en un archivo diferente al de los elementos estructurales. Cuando el proyecto es muy extenso se sugiere dividir el proyecto en diferentes etapas para evitar que el proceso

sea lento por cuestiones de limitaciones computacionales. En el proceso de modelamiento se debe estar pendiente de los elementos indicados con texto y no con un dibujo.

1.2. Cálculo de cantidades de obra con el Modelo BIM 3D

El cálculo de las cantidades consiste en determinar las cantidades de las unidades de construcción necesarias para la ejecución del proyecto: metros lineales, metros cuadrados, metros cúbicos, kilogramos, unidades, entre otras (Beltrán, 2012).

El profesional a cargo del cálculo de las cantidades de obra del proyecto debe poseer un amplio conocimiento del proyecto, de las especificaciones técnicas, las características de la ubicación geográfica, la forma de contratación, el proceso constructivo, entre otros. De esta forma disminuirá la posibilidad de pasar por alto alguna cantidad en la elaboración del listado de cantidades del proyecto y procurar que el presupuesto de obra corresponda a una buena estimación del costo.

Algunos investigadores y profesionales de la industria de la construcción denominan al cálculo de las cantidades de obra como cubicación. Se podría pensar que la cubicación o cálculo de cantidades de obra es un proceso simple, de solo lectura de dimensiones en un plano y una serie de operaciones aritméticas sencillas, que tendrán como finalidad obtener las cantidades de obra del proyecto, que tales procedimientos no requieren gran destreza e importancia, pero la realidad es otra. El problema de la cubicación es mucho más extenso y complejo, ya que las cantidades de obra se pueden clasificar en: las que se indican en los planos y las que no se indican en los planos.

Las cantidades que no se indican en los planos, se refieren a simplificaciones en los dibujos o actividades que se realizan como parte del proceso constructivo y que no agregan valor operacional al proyecto, un claro ejemplo se presenta con las formaleas utilizadas durante el proceso constructivo de una estructura en concreto reforzado; las formaleas deben ser instaladas y luego de un determinado tiempo se deben retirar, como resultado de una actividad que no agrega valor operacional al producto final y que no se indica en los planos, convirtiéndose en una de las variables de mayor incertidumbre al momento de la elaboración del presupuesto de obra. El caso de simplificaciones en los dibujos es posible observarlo en elementos como el acero de refuerzo, donde algunos son reemplazados por textos y no son dibujados en los planos, otros ejemplos se pueden observar en la Figura 3. (Ver pág. 238).

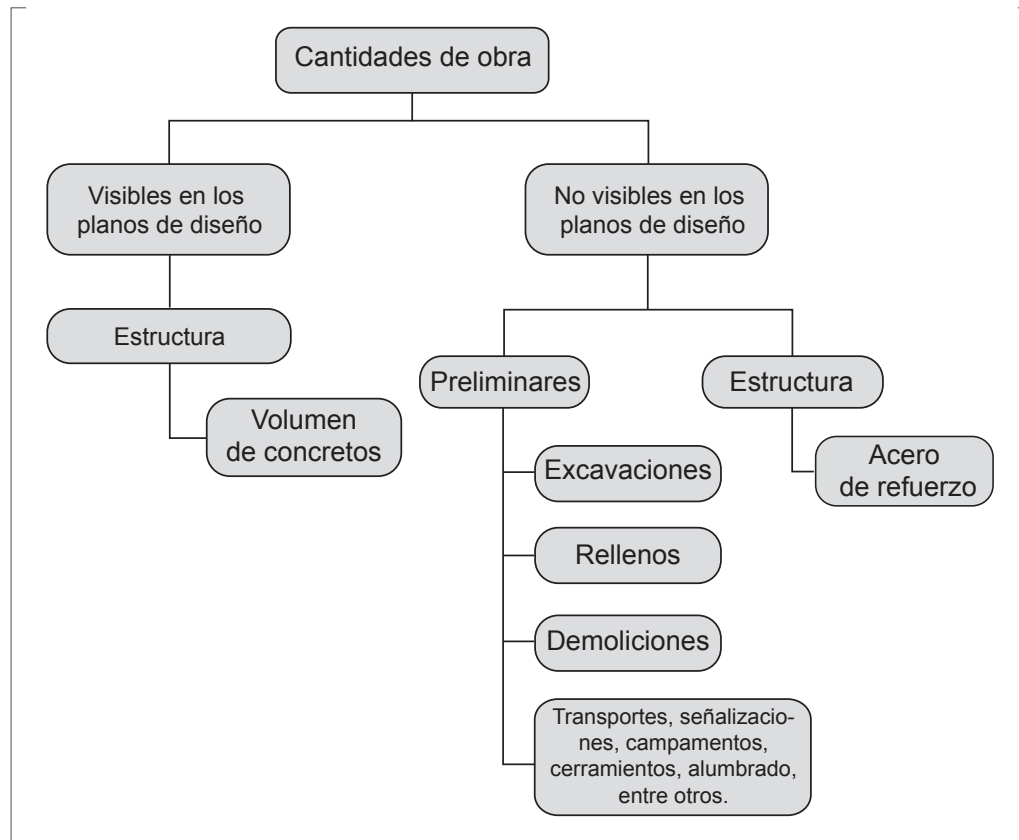


Figura 3. Clasificación de las cantidades de obra, acorde con la facilidad para ser visualizadas en los diseños.
Fuente: Elaboración propia.

El volumen de cálculos, para la obtención de las cantidades de obra, es directamente proporcional al tamaño de los proyectos, la omisión o mala estimación a causa del error humano aumenta la incertidumbre en los presupuestos y por tanto genera posibles sobrecostos para los constructores, en la fase de construcción.

Un modelo BIM permite calcular las cantidades de obra y vincularlas con herramientas de estimación de costos (Saldías, 2010). En la presente investigación se utiliza el modelo BIM para calcular las cantidades de obra del proyecto de construcción en estudio, teniendo en cuenta la clasificación de cantidades de la Figura 4. De esta forma, se disminuye la posibilidad de cometer algún error humano al momento de calcular las cantidades de construcción que se evidencian y las que no se evidencian en los planos.

1.3. Análisis de precios unitarios

Una vez obtenidas las cantidades de construcción mediante el modelo BIM, la elaboración de los análisis de precios unitarios APU exige el siguiente proceso para el desarrollo de la metodología propuesta en la Figura 1.

El objetivo de la elaboración de los APU es estimar los precios por unidad de construcción asociados con las cantidades calculadas, teniendo en cuenta la cantidad de materiales, mano de obra, el equipo y el transporte necesarios para la ejecución de una unidad de construcción y de las actividades requeridas para la ejecución del proyecto.

Para estimar los precios de los APU, es necesario cuantificar los rendimientos de la mano de obra de cada actividad. Cuantificarlos consiste en determinar la productividad de la mano de obra o una evaluación del desempeño en el proceso constructivo, con respecto a la unidad de tiempo (Mejía y Hernández, 2007; Mercado, 1998).

En el proceso de cuantificar los rendimientos se deben tener presentes factores como: el clima, la temperatura, la modalidad de contratación, la experiencia, entre otros (Botero, 2002). Los rendimientos utilizados en los APU del caso de estudio se presentan en la Tabla 3 y fueron calculados con base en el estudio “Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción” (Polanco, 2009), resultado del estudio de rendimientos de mano de obra de una edificación levantada Bucaramanga, Colombia, ciudad donde se construirá la estación de buses en estudio.

Tabla 3.

Rendimientos, para la mano de obra, utilizados en los APU, estimados con base en el estudio de Polanco (2009).

Actividad	Cuadrilla	Rendimiento	Unidad
Acero de refuerzo	1 oficial + 1 ayudante	0.03	$\frac{hr}{Kg}$
Concreto ciclópeo	1 oficial + 1 ayudante	2.50	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para zapatas	1 oficial + 1 ayudante	9.90	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para muro de contención	1 oficial + 1 ayudante	7.15	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para vigas de cimentación	1 oficial + 1 ayudante	5.77	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para columnas	1 oficial + 1 ayudante	10.14	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para vigas aéreas	1 oficial + 1 ayudante	11.14	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para viguetas	1 oficial + 1 ayudante	11.20	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para placas	1 oficial + 1 ayudante	9.30	$\frac{hr}{m^3}$
Concreto para viga canal	1 oficial + 1 ayudante	11.14	$\frac{hr}{m^3}$

Fuente: Elaboración propia.

En la elaboración de los APU los costos deben ser estimados teniendo en cuenta las características del proyecto, pues cada proyecto de construcción tiene características propias que lo diferencian de los demás.

El costo es el sacrificio necesario de recursos financieros, para producir o adquirir bienes tangibles o intangibles que generen beneficios presentes o futuros (Rodríguez et al., 2009). Para la estimación de los costos por concepto de: materiales, equipos, mano de obra y transportes, se recomienda realizar varias cotizaciones con proveedores ubicados cerca al lugar en el que se ejecutará el proyecto, algunos materiales y equipos, pueden demandar el transporte desde distintas ubicaciones geográficas al lugar de ejecución del proyecto, por tanto, se debe ser cuidadoso al momento de la estimación del costo de transporte, ya que puede resultar significativo en el total del APU.

La elaboración de los APU finaliza en el momento en que la totalidad de las actividades de obra tienen asignado un valor unitario de ejecución, obtenido de la suma de los costos por concepto de materiales, equipos, mano de obra y transporte.

1.4. Elaboración del presupuesto de construcción

Con las cantidades Q_i , de las actividades necesarias para la construcción del proyecto, obtenidas con la utilización del modelo BIM y el costo por unidad de construcción P_i ,

calculado en los APU, es posible obtener el costo directo total C_i , de las diferentes actividades de construcción, con el producto de los valores Q_i y P_i .

$$C_i = Q_i P_i$$

Los costos indirectos son los relacionados con la ejecución de un proceso constructivo del cual no se derive un producto (Beltrán, 2012); ejemplos de costos indirectos son la interventoría, los impuestos, la utilidad del constructor, la administración de la obra, los imprevistos, entre otros. Los costos indirectos generalmente no son incluidos en los análisis de precios unitarios APU, en la presente investigación estos no son incluidos en los APU.

2. Resultados

2.1. Desarrollo del Modelo BIM

En la Figura 4, (ver pág. 240) se presenta el resultado del desarrollo del modelo BIM, modelado en el software Autodesk Revit 2014 y elaborado con la información de los planos y documentos correspondientes a los diseños del proyecto.

Con el modelo BIM 3D se logra representar gráficamente las características físicas de la topografía y los elementos de construcción del proyecto, además de una integración de la información de construcción con los diferentes elementos.

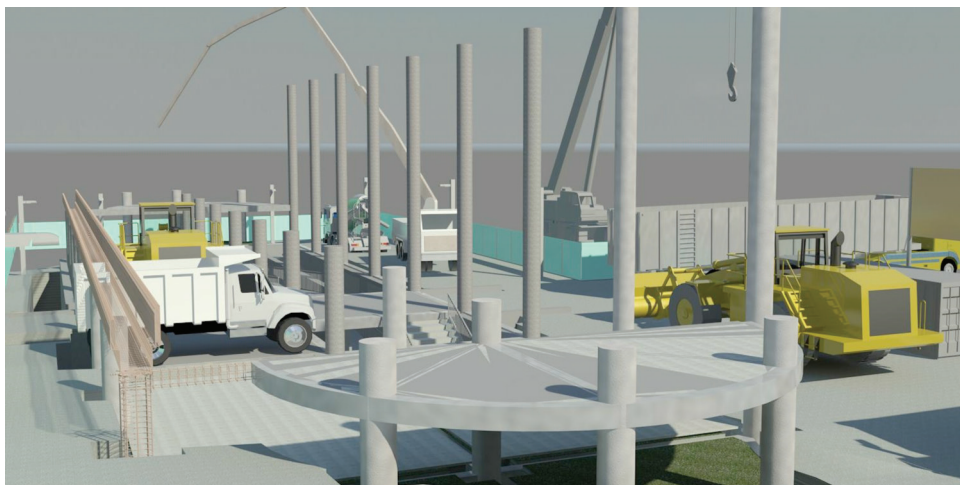


Figura 4. Modelo BIM del caso de estudio (estructura de concreto reforzado de una estación de buses, ubicada en la ciudad de Bucaramanga-Colombia).

Fuente: Elaboración propia, en el software Autodesk Revit 2014.

Uno de los impactos de mayor significancia de la utilización del BIM en el cálculo de presupuestos de obra, es la detección de incoherencias e interferencias, situaciones que afectan en gran manera la precisión del presupuesto de construcción. En el proceso de elaboración y análisis, del modelo BIM (mostrado en la Figura 4), fue posible determinar modificaciones, a los diseños del caso de estudio modificaciones necesarias para la correcta ejecución de la fase de construcción del proyecto y que impactan la precisión del presupuesto de construcción. En la Tabla 4 se resumen las situaciones causantes de las modificaciones determinadas con ayuda del modelo BIM, para el caso de estudio.

Al realizar modificaciones de los diseños del proyecto según las situaciones mostradas en la Tabla 2, con origen en la

fase de diseño del proyecto y detectadas mediante la visualización y análisis tridimensional del proyecto en el modelo BIM, fue posible realizar la actualización del cálculo de las cantidades de obra y el presupuesto de construcción, de forma rápida y efectiva. Se logra reducir los posibles imprevistos, durante la construcción del proyecto, impactando así la certidumbre del presupuesto de construcción.

2.2. Cálculo de cantidades con el modelo BIM

El cálculo de cantidades con BIM impacta y modifica de forma significativa, el método tradicional de cálculo. En desarrollo de la metodología fue posible observar la facilidad, rapidez y precisión con la que se obtuvieron las cantidades

Tabla 4.

Situaciones causantes de modificación a los diseños del caso de estudio (estructura de concreto reforzado de una estación de buses ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia), determinadas con base en el modelo BIM 3D.

Situación	Cantidad
Los taludes, resultantes de la excavación para la construcción de estructuras a desnivel, se presentaban peligrosos para el personal en la fase de construcción. Afecta: los volúmenes de movimientos de tierra.	1
Casos de diferencia de cotas de diseño en diferentes planos del proyecto. Afecta: los volúmenes de movimientos de tierra y los volúmenes de concreto.	2
Incoherencias en algunos despieces de elementos de concreto reforzado. Afecta: las cantidades de acero de refuerzo.	7
Falta del despiece del acero de refuerzo de elementos estructurales. Afecta: las cantidades de acero de refuerzo.	2
Interferencia entre elementos estructurales y elementos de redes sanitarias e hidráulicas. Afecta: los volúmenes de concreto.	1
Incoherencia entre planos de planta y perfil. Afecta: Cantidades de obra en general	2
Total	15

Fuente: Elaboración propia, en el software Autodesk Revit 2014.

de obra, a diferencia del método tradicional que fue un proceso largo y tedioso, expuesto a los errores.

En la Tabla 5, se observa el cuadro comparativo de las cantidades de obra del proyecto estudiado, calculadas para la estructura en concreto reforzado con el método tradicional y el modelo BIM.

Con base en el desarrollo de la metodología fue posible observar que la variación de las cantidades de obra, obtenidas

por los dos métodos estudiados, se produjo principalmente en el método tradicional por: error humano en el cálculo de cantidades, error por falta de dibujos y elementos no visibles en los planos, olvido de actividades por concepto de la cantidad de dibujos, incoherencias e inconsistencias de los dibujos, entre otras.

En la Figura 5, es posible observar la interfaz de usuario del software Autodesk Revit 2014, al momento del cálculo de las cantidades de concreto del proyecto estudiado.

Tabla 5.

Cantidades de obra de la estructura de concreto reforzado, caso de estudio (estructura de concreto reforzado de una estación de buses ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia), obtenidas con el método tradicional y con el modelo BIM.

Elemento	Cantidades de obra: elementos de concreto reforzado			
	Método de cálculo			
	Método tradicional 2D		Método BIM	
	M³ concreto	Kg de acero de refuerzo	M³ concreto	Kg de acero de refuerzo
Concreto pobre (2000 psi)	40.5		51.3	
Zapatas (3000 Psi)	33.6	1205.6	33.4	1148.5
Vigas de amarre (3000 Psi)	56.4	3803.2	53.6	3783.3
Columnas (3000 Psi)	55.2	9127.5	53.4	9250.6
Vigas aéreas (3000 Psi)	26.3	2415.2	26.0	2623.3
Viguetas (3000 Psi)	30.4	745.6	35.6	777.4
Placa de contra-piso (3000 Psi)	21.9	718.5	22.1	723.8
Muros de contención (3000 Psi)	300.5	20125.4	305.9	20635.8
Viga canal (3000 Psi)	27.6	1885.4	27.7	1887.7
Sumatoria	592.4	40026.4	609.0	40830.4
Variación			2.80%	2.01%

Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Interfaz de usuario del software Autodesk Revit 2014. Fuente: Elaboración propia.

En el cálculo de las cantidades de acero de refuerzo fue posible observar una fortaleza significativa del modelo BIM, teniendo en cuenta que en los dibujos en dos dimensiones resulta una labor extensa, expuesta al error humano y no flexible ante modificaciones de diseño, situaciones estrechamente relacionadas con el gran número de elementos pertenecientes al acero de refuerzo.

Para el cálculo de cantidades de volúmenes de movimientos de tierra se observó una ventaja significativa del modelo BIM, frente al método tradicional, que consiste en la posibilidad de observar en tres dimensiones las excavaciones y los rellenos, a partir de la superficie topográfica inicial, a diferencia del método tradicional donde los volúmenes se estiman a partir de las curvas de nivel, provenientes de dibujos en dos dimensiones.

Con el desarrollo de la metodología fue posible observar que la integración de la totalidad de la información del proyecto en el modelo BIM, permite mejorar la precisión de las cantidades de construcción y disminuir la posibilidad de olvidar o repetir actividades de obra, al momento de la elaboración del presupuesto de construcción.

2.3. Presupuesto de construcción

Para el caso de estudio se elaboraron dos presupuestos de construcción: en uno se utilizaron las cantidades obtenidas con el método tradicional 2D y en el otro las cantidades calculadas con el método del modelo BIM, resultados mostrados en la Figura 1. Los precios unitarios utilizados en los dos presupuestos fueron los mismos, al igual que los diseños. La Tabla 6 muestra los costos directos de los capítulos del presupuesto de construcción del caso de estudio, obtenidos para los dos métodos de cálculo de cantidades de obra estudiados.

Como se observa en la Tabla 6, se presentan variaciones significativas en los costos directos de los diferentes capítulos

del presupuesto, obtenidos con los dos métodos estudiados. En esta situación se puede evidenciar la reducción que se logra de los posibles imprevistos en la fase de construcción del proyecto, para el caso de estudio una variación del costo directo de 4.23% con la utilización de un modelo BIM en la fase de diseño.

En general, fue posible observar que la implementación de BIM, en el cálculo de presupuestos de obra, contribuye significativamente al mejoramiento de la precisión del presupuesto de construcción.

3. Discusión

Con base en los resultados, obtenidos en la investigación, es posible afirmar que el uso de BIM en la elaboración de presupuestos de obra permite mejorar la gestión de los costos en la fase de diseño y construcción de los proyectos. Una eficiente gestión del costo, en la estimación del valor económico de un proyecto de construcción, se traduce en la minimización de los imprevistos en su ejecución, situación que resulta de gran importancia para garantizar los recursos económicos necesarios para el desarrollo de las actividades en obra. Así es posible garantizar la culminación exitosa de la fase de construcción del proyecto y evitar retrasos u obras inconclusas, que se convierten en pérdidas económicas, situaciones que afectan significativamente los proyectos y pueden detectarse, corregirse y evitarse.

El proceso de calcular el presupuesto de construcción de un proyecto, con el uso de BIM, se convierte en una metodología flexible a los cambios en diseño y la actualización del presupuesto; sumado a esto las múltiples ventajas de BIM. De esta forma, BIM resulta una herramienta informática atractiva para las organizaciones, relacionadas con la industria de la construcción, que desean mejorar la planificación financiera de sus proyectos y mejorar los procesos de diseño, construcción y operación de los mismos.

Tabla 6.
Costos directos estimados con los métodos tradicional 2D y modelo BIM.

Capítulo del presupuesto de obra	Costo directo estimado		Variación
	Método: tradicional 2D	Método: modelo BIM 3D	
Preliminares	\$ 36,426,106	\$ 35,457,427	-2.66%
Movimientos de tierra	\$ 43,349,303	\$ 57,795,262	33.32%
Concretos	\$ 370,989,661	\$ 379,250,419	2.23%
Acero de refuerzo	\$ 120,495,021	\$ 122,911,034	2.01%
Costo directo total	\$ 571,260,091	\$ 595,414,142	4.23%

Fuente: Elaboración propia.

3.1. Cálculo de cantidades de obra

El cálculo de cantidades de obra es una de las tareas clave en la elaboración de los presupuestos de construcción; con un cálculo de cantidades riguroso, eficiente y preciso, es posible disminuir de forma significativa la incertidumbre de la duración y el costo total del proyecto, puesto que la medición de los elementos de construcción del proyecto permite calcular el costo y la carga de trabajo correspondientes a cada actividad constructiva en obra. (Monteiro y Martins, 2013).

Con los resultados obtenidos en la presente investigación fue posible evidenciar que resulta de gran utilidad la elaboración de un modelo BIM, para el cálculo preciso de cantidades, y de esta forma, obtener los beneficios expuestos, tomando en cuenta que el modelo BIM permite el cálculo de cantidades (Wang et al., 2014; Haymaker, et al., 2005; Mikulakova, 2010; Monteiro y Martins, 2013; Sylvester y Dietrich, 2009), gracias a que el modelo es una representación digital compartida de las características físicas y funcionales del proyecto de construcción (Mohamed y Mohamed, 2014; Mercado, 1998; Martínez, Arbizu y Gómez, 2014), con su uso se proporcionan cantidades de obra más acertadas, (Khaled, 2010) con un 90% de precisión (Suermann, 2009) con respecto al método tradicional basado en dibujos en dos dimensiones.

En la elaboración del presupuesto, uno de los objetivos principales es maximizar y planificar la relación beneficio-costos (Durán, 2011), por tanto, en un proyecto de construcción la relación beneficio-costos puede ser planeada y calculada, de forma eficaz, elaborando un modelo BIM del proyecto. Esto gracias a que se logra una representación geométrica precisa de la totalidad de los elementos del proyecto, en un entorno de datos integrados (Azhar, Nadeem, Mok y Leung, 2008). El modelo BIM permite consultar información de la longitud, área y volumen de los elementos de construcción automáticamente (Eos Group, 2014), para minimizar el riesgo de errores y facilitar la consulta y modificación.

En un proyecto de construcción, la estimación de cantidades se puede realizar y desarrollar utilizando directamente las diferentes herramientas que brinda el modelo BIM (Saldías, 2010), la ventaja de un usuario BIM, consiste en que es posible realizar una gestión de los cambios en los diseños, a partir de una única fuente de información del proyecto (Escudero y Guillén, 2013), por lo que el cálculo de las cantidades como actividad independiente desaparece, pues se remite a realizar un modelo organizado del cual se extraen las cantidades automáticamente, en cualquier punto de avance del proyecto (Lee, Kim y Yu, 2014).

3.2. Información del proyecto de construcción

Los datos en la industria de la construcción son del tipo "Big Data", que se refiere a que con los avances tecnológicos son más las fuentes de información y, por lo tanto, en la actualidad las organizaciones almacenan, procesan y analizan un gran volumen de información (Tankard, 2012). Sin embargo, resulta tedioso tener información en diversas partes y formas; en la mayoría de los casos la información suele ser incompleta o errónea, por consiguiente las demoras y los retrasos en obras son frecuentes (Saldías, 2010).

En desarrollo de un proyecto de construcción (planeación, diseño, construcción y operación) se genera un alto volumen de información (Qing, Tao y Ping, 2014; Renaud, Christophe y Christophe, 2008; Jiao et al., 2013; Saldías, 2010). El volumen complejo de información, resultado de un diseño multidisciplinar, en un proyecto de construcción (Shen et al. 2010), suele representarse en documentos de diferentes formatos que, a la hora de realizar una integración, revelan incoherencia y falta de compatibilidad entre sí, (Park, Kim, Kim y Kim, 2011).

Un presupuesto de un proyecto de construcción es considerado como un documento que contiene la información de la estimación del costo económico requerido para la materialización del proyecto (Mejía, 2007). El presupuesto debe ser un documento que facilite el análisis, la predicción y el control del proyecto de construcción, por tanto debe estar soportado en un sistema de información eficiente, donde la información de los elementos de construcción de las distintas disciplinas que intervienen en el proyecto se encuentre integrada y sea de fácil consulta. Un sistema de información eficiente es el modelo BIM que almacena la información de los elementos de construcción en una base de datos digital (Qing et al. 2014), el modelo BIM brinda la posibilidad de una visualización virtual del proyecto y facilita la comunicación e integración de la información, (Park et al., 2011; Mohamed y Mohamed, 2014; NIBS, 2007; Barlish y Sullivan, 2012; Alcántara, 2013; Mora y Leon, 2014).

En el caso de aplicación, la información de la estructura en concreto reforzado de la estación de buses, proveniente del equipo técnico de diseño, está distribuida en 71 archivos digitales de distintos formatos. La Tabla 7 (ver pág. 244) muestra los formatos digitales del proyecto y la cantidad de archivos, según el formato digital.

En el proceso de elaboración del modelo BIM fue posible observar que algunos de los archivos presentan incoherencia e incompatibilidad entre sí, situación que afecta la calidad del presupuesto de construcción y el proceso de construc-

Tabla 7.

Archivos digitales en los que se encuentra la información de construcción del caso de estudio.

Formato digital	Cantidad de archivos
Drawing (.dwg)	23
Drawing exchange format (.dxf)	2
Autocad color dependent (ctb)	2
Imagen (.jpg)	17
Microsoft Word (.doc)	4
Microsoft Excel (.xlsx)	12
Microsoft Project (.mpp)	1
Documento de lectura (.pdf)	8
Archivo de texto (.txt)	2
Total	71

Fuente: Elaboración propia.

ción del proyecto. El modelo BIM permitió la integración y compatibilidad de la información de los 71 archivos digitales; igualmente el modelo BIM actúa como una base de datos digital en donde la información del proyecto es almacenada e integrada (Qing *et al.*, 2014).

3.3. Actualización del presupuesto de obra

En los proyectos de construcción, es usual que durante la fase de construcción se realicen numerosos cambios a los diseños que componen el proyecto, resultado de errores y omisiones en los planos, condiciones de terreno no anticipadas, nuevos requerimientos del cliente, entre otros. Las soluciones a estos cambios generan sobrecostos y retrasos en los proyectos (Saldías, 2010). Lo ideal para los gestores de los proyectos de construcción es que las modificaciones se realicen en la etapa de diseño a nivel de planos. De esta forma, no se pierde dinero en la construcción. BIM genera la posibilidad de realizar modificaciones en los diseños arquitectónicos, estructurales y de redes y, de manera simultánea, detectar los conflictos entre las disciplinas y actualizar el presupuesto.

Con la totalidad de la información en un único modelo virtual, es posible visualizar, de forma rápida y eficaz, cruces entre las disciplinas de diseño, actividad previa a la ejecución de la obra (Sylvester y Dietrich, 2009). Con el modelo ajustado a cambios y con la posibilidad de extraer las cantidades de materiales de forma automática e inmediata (Wang *et al.*, 2014; Saldías, 2010; Azhar *et al.*, 2008; Sylvester y Dietrich, 2009), es posible realizar una actualización rápida al presupuesto de la obra con cada modificación hecha a

los diseños y ahorrar recursos y tiempo (Ki Lee *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014).

3.4. Toma de decisiones con BIM

En el diseño de un proyecto de construcción, las opciones, exigencias y especificaciones son numerosas; lograr un diseño económico, funcional, estético y seguro, resulta crucial para las partes involucradas en el proyecto. Un modelo BIM 3D unifica las funciones tradicionales en las fases de los proyectos de construcción, tales como: planificación, diseño, cálculo, gestión de materiales y control de costos (Jung y Joo, 2011; Barlish y Sullivan, 2011). Las funciones que BIM involucra permiten asociar el trabajo de los administradores y de los diseñadores del proyecto (Barlish y Sullivan, 2011), para así obtener una buena definición de lo que se va a construir y, de esta forma, definir los objetivos del proyecto y tomar las decisiones correctas para su ejecución. Por tanto, BIM resulta una herramienta ideal en la toma de decisiones en desarrollo del proyecto.

En cuanto al ámbito de la toma de decisiones relacionadas con el presupuesto de construcción, BIM permite generar fácilmente alternativas de diseño a partir de la integración multidisciplinar de modelos BIM 3D (Schreyer *et al.*, 2014), con un esfuerzo mínimo, en un tiempo corto (Mohamed y Mohamed, 2014) y a partir de las opciones, tomar decisiones acertadas, en función del presupuesto disponible o de la viabilidad económica.

3.5. Disminución de la incertidumbre en los presupuestos de obra

La incertidumbre en un proyecto de construcción se presenta cuando no hay certeza en la frecuencia y magnitud de algunos de los procesos a realizar. Según Palis, Monterroza y Echeverry, (2005), a nivel de la fase de planificación de los proyectos, las principales fuentes que generan incertidumbre son: las cantidades de obra de los ítems, los rendimientos y costos que integran el APU de cada ítem, fuentes que afectan, antes o después de la ejecución de la obra, cualquier estimación en lo que respecta al presupuesto.

En la labor de estimar el presupuesto de un proyecto de construcción, es necesario controlar el comportamiento del cálculo de cantidades de obra y de los análisis de precios unitarios, para tener un buen control de los sobrecostos del proyecto; tradicionalmente la estimación de cantidades de obra se realiza de forma manual, sometida a errores humanos debido a las interpretaciones subjetivas de la cuantificación que pueden tener diferentes significados dependiendo de la persona que realice la estimación de las cantidades de obra (Monteiro y Martins, 2013). Actualmente la infor-

mación de diseño de los proyectos de construcción se presenta en planos en dos dimensiones, mediante tecnologías CAD, que permiten el cálculo de cantidades de obra de forma automatizada. No obstante, convertir el cálculo de las cantidades de obra en un proceso automático puede inducir a errores, debido a que se pueden pasar por alto aquellas cantidades de obra de los ítem que no son visibles en los planos 2D, errores que representan malas estimaciones de los costos de las actividades que se reflejaran en el presupuesto de obra (Khaled, 2010).

La obtención de los análisis de precios unitarios (APU) está relacionada directamente con la mano de obra, los equipos, el transporte y el material necesarios para construir los diseños elaborados por los profesionales como arquitectos e ingenieros. Cuando la información de los diseños por parte de los profesionales es presentada en planos bidimensionales, es altamente probable que no se comprendan o visualicen partes importantes del proyecto de construcción, las cuales pueden ser omitidas por el encargado de estimar los APU. Cada omisión contribuye a la incertidumbre en el presupuesto.

Con la tecnología BIM como herramienta de la gestión de costos, se permite visualizar los componentes del proyecto de construcción en tres dimensiones y almacenar la información de los diseños del proyecto de todas las disciplinas (arquitectura, ingeniería, instalaciones hidráulicas, sanitarias, mecánicas y eléctricas) como una base de datos digitalizada 3D (Saldías, 2010), que además de facilitar el orden permite modificarla continuamente. Por tanto, se logra una estimación de las cantidades de obra precisa y certera, ayudando a reducir significativamente la variabilidad en las estimaciones de costos (Sabol, 2008). Y debido a que modelos BIM permiten ser modificados y revisados por el equipo de diseño en cualquier instante (Escudero y Guillén, 2013), cada componente, su geometría e información (Alcántara, 2013), permitiendo la obtención de los APU de forma más precisa ya que hace que la estimación de las cantidades de los materiales pueda ser obtenida directamente del modelo (Alcántara, 2013)

3.6. Visualización de posibles imprevistos en el modelo BIM

Un proyecto de construcción se compone de varias etapas de ejecución, dependiendo del sistema de gestión usado, se puede afirmar que en general las etapas principales son: diseño, planificación y construcción; para desarrollar cada etapa se debe involucrar la participación de especialistas en disciplinas tales como: arquitectura, estructura e instalaciones (eléctricas, sanitarias e hidráulicas, entre otras). La comunicación entre las partes es necesaria porque de su

unión depende el avance del proyecto y su ausencia tiene como consecuencia directa la aparición de imprevistos que retrasan el inicio de la construcción.

Los imprevistos son problemas debidos a una incorrecta representación gráfica en los planos. Por ejemplo, cuando el detalle de un elemento no guarda relación con lo indicado en los demás planos (Taboada, Alcántara, Lovera, Santos y Diego, 2012); los imprevistos en la mayoría de los casos se detectan por los obreros cuando la obra está en construcción, implica pérdidas de tiempo en las labores que ejecutan las cuadrillas de obreros y reducción de la productividad y aumento de costos de construcción (Saldías, 2010). Para evitar estos factores negativos en la fase de construcción, los imprevistos se deben visualizar en etapas tempranas del proyecto y darles solución mediante la coordinación digital de las diferentes especialidades (Saldías, 2010). Con un modelo BIM se logra un entorno digital de colaboración porque unifica todas las disciplinas de diseño en un mismo modelo, para detectar cruces entre ellas y se provee la información necesaria para que el personal encargado del proyecto pueda identificar y gestionar eficazmente los problemas potenciales antes de que se conviertan en intratables (Gaorath y Evans, 2006), lo que permite una gestión donde se toman mejores y más eficaces decisiones para resolver los problemas, así como una óptima reestructuración de costos (Gaorath y Evans, 2006; Bank, McCarthy, Thompson y Menassa, 2010).

Finalmente, es posible afirmar que usar un modelo BIM en la fase de diseño de los proyectos de construcción, permite lograr una mejor coordinación de las disciplinas encargadas de diseñar los diferentes elementos del proyecto porque brinda la facilidad de visualizar todos los componentes de las disciplinas en un solo modelo, con la ventaja de identificar interferencias entre ellas.

4. Conclusiones

Implementar BIM, en el cálculo del presupuestos de estructuras en concreto reforzado, resulta de gran beneficio para disminuir la posibilidad de variación del presupuesto real versus el presupuesto ejecutado, por tanto, las organizaciones de la industria de la construcción deberán procurar la implementación de BIM en los procesos de estimación del costo de estructuras en concreto reforzado.

Los volúmenes de movimientos de tierras son unos de los principales causantes de generación de incertidumbre en los presupuestos de obra. La modelación rigurosa de excavaciones y rellenos en BIM proporciona la posibilidad de obtener cantidades con mayor precisión y reducir la incertidumbre en el presupuesto de construcción.

Con un modelo BIM en la elaboración de presupuestos de construcción, se reduce la posibilidad de olvidar actividades al momento de la elaboración de un presupuesto de obra, ya que la información se encuentra en una única base de datos. Así, es posible contar con una mayor concepción de las actividades de obra que se deben tener en cuenta en el presupuesto y, por ende, disminuir los posibles imprevistos que se puedan presentar.

Modelar el acero de refuerzo en BIM resulta de gran beneficio para el cálculo de cantidades de obra, ya que en los dibujos de dos dimensiones medir las cantidades de acero puede terminar un proceso de gran complejidad y poca eficiencia, resultando un método propenso a errores humanos. Utilizar BIM en el cálculo de cantidades de acero de refuerzo contribuye al mejoramiento de la precisión en la estimación del presupuestos de obra de estructuras en concreto reforzado.

En algunas organizaciones o proyectos puede resultar no viable la aplicación de BIM a los presupuestos de estructura en concreto reforzado debido, entre otros factores, a la mano de obra especializada requerida para la elaboración del modelo, el alto costo de las licencias de software, el tiempo requerido para la modelación BIM, la resistencia al cambio de procesos por parte del equipo humano, las limitaciones en recursos computacionales, el costo económico...

Con el objetivo de economizar costos y lograr una mayor integración de la información del proyecto, se recomienda que los diseños estructurales sean desarrollados en un paquete BIM especializado en estructuras de concreto, esto debido a que en el proceso de diseño estructural el modelo BIM es un producto del diseño y, por tanto, no debe elaborarse como actividad independiente.

Para la disminución de la incertidumbre de los presupuestos de estructuras en concreto reforzado, resulta apropiada la modelación de la formaleta a utilizar en el proceso constructivo, ya que la formaleta corresponde a una de las actividades que generalmente no se encuentra en los planos de diseño y al realizar una estimación de la cantidad requerida se incurre en una fuente significativa de incertidumbre.


La utilización de modelos, en tres dimensiones (3D), resulta de gran beneficio, entre otras, para las siguientes actividades: la gestión de la información del proyecto, visualización de los elementos, análisis e integración de la información, detección de interferencias e incoherencias, determinación de las actividades del presupuesto de obra, retroalimentación y actualización flexible, actividades que resultan complejas y poco eficientes de desarrollar en dibujos en dos di-

mensiones (2D), donde los resultados no son tan favorables como en los modelos 3D.

La estimación de presupuestos de construcción es una labor con resultados que poseen un alto grado de incertidumbre, la variación de información en el proyecto con respecto a: límite de intervención, fases y magnitud del proyecto, dimensionamiento de los elementos, tipos de acabados, distribución espacial, entre otros, generan cambios en las cantidades de obra que producen modificaciones al presupuesto de construcción. En el método tradicional, la repetición del trabajo requerido para el recalcular, de cantidades de obra, puede tomar un mayor tiempo que el necesario con BIM, esto con motivo a que en el modelo BIM, los cambios ocasionan que las cantidades de obra se actualicen de forma instantánea.

BIM presenta múltiples utilidades, una de las de mayor significancia es la opción para el trabajo colaborativo, en donde los individuos relacionados con el proyecto pueden trabajar de forma conjunta en distintas ubicaciones geográficas; además los participantes del proyecto cuentan con la posibilidad de enviar y recibir información en tiempo real, situación que resulta de gran beneficio para la disminución de tiempos de entrega eficiencia en la comunicación de la información e integración de las disciplinas en las diferentes etapas del proyecto.

Con BIM se logra controlar el uso de las instalaciones temporales en obra, como es el caso de las formaletas. Se evita el cruce con otras instalaciones y se reduce el sobrecosto por el control de las instalaciones que consumen recursos monetarios en función del tiempo lo cual se traduce en ganancia para el constructor. Entonces implementar la tecnología BIM en las distintas fases de los proyectos de construcción debe ser el futuro cercano de la industria de la construcción, debido a los beneficios que se obtienen con este uso y la gran capacidad de unificación que posee con demás enfoques de gestión.

El desarrollo del modelo BIM de una estructura en concreto reforzado brinda un valor agregado al proyecto en la fase de construcción, esto con motivo a que en obra una de las mayores dificultades es la interpretación y consulta de planos. Con el modelo BIM es posible contar con la información del proyecto en una única base de datos y la posibilidad de consulta de información en obra mediante algún dispositivo electrónico. 

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo, por parte del grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Apreciamos, en gran manera, las contribuciones por parte de Puno Ardila Amaya y Silvia Milena Parra Diettes, investigadores vinculados al grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander.

Agradecemos a Autodesk por las licencias educacionales del software Autodesk Revit 2014.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias Bibliográficas

- ABADIE, Richard; RAYMOND, Peter. Correcting the course of capital projects, plan ahead to avoid time and cost overruns down the road. Única edición, Londres, Gran Londres, Reino Unido, Price waterhouse Coopers, 2013. 15 p.
- ALCÁNTARA, Paúl. Metodo para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM. MSc. Tesis pregrado. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 2013. 126p.
- AZHAR, Salmar; NADEEM, Abid; N. MOK, Johnny; LEUNG, Brian. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. *En: First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I)*. Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice. August, 2008. vol. 1, p. 435-446.
- BANK, Lawrence; MCCARTHY, Michael; THOMPSON, Benjamin; MENASSA, Carol. Integrateing BIM with system dynamics as a decision-making framework for sustainable building design and operation. *En: First International Conference on Sustainable Urbanization (ICSU)* Hong Kong, December, 2010. vol. 1, no. 1, p. 1-9.
- BARLISH, Kristen; SULLIVAN, Kenneth. How to measure the benefits of BIM – A case study approach. *En: Automation in Construction*, July, 2012. vol. 1, no. 1, p. 1-102.
- BELTRÁN, Álvaro. Costos y presupuestos. Primera Edición. México: Ed. Instituto Tecnológico de Tepic, 2012, 4-8 p.
- BOTERO BOTERO, Luis Fernando. Análisis de rendimientos y consumo de mano de obra en actividades de construcción. *En: Revista Universidad EAFIT*. Enero, 2002. vol. 128, p. 9- 20.
- BURCO, akinci; FISCHER, Martin; LEVITT, Raymond; CARLSON, Robert. Formalization and automation of time-space conflict analysis *En: Journal of Computing in Civil Engineering*. April, 2002, vol. 16, no.2, p. 124-134.
- CEROVSEK, Tomo. Process reuse in product development with 5D models: concepts, similarity measures and querying techniques. *En: Communications in Computer and Information Science*, July, 2012. Vol. 248, no. 1, p. 253-262.
- CHEN, Stuart; LI, Jun-Wei; TANGIRALA, Vamsi-Krishna; A. Shirole, T. Sweeney, Accelerating the desing and delivery of bridges with 3D bridge information modeling: Pilot study of 3D-Centry modeling processes for integrated desing and construction of highway bridges [online]. Primera Edicion [Washington, D.C., USA]; 2006 [Citado el 12 de junio 2014]. Disponible *En: Program Project Final Report, Transportation Research Board*, (libro http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/NCHRP108_Final_Report.pdf)
- CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. Leading industry practices for estimating, controlling, and managing indirect construction cost. [En línea]. The University of Texas at Austin: Actualizado al 2012 Disponible en https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/282_l_more.cfm.
- Cooperative Research Centre. Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House. Primera Edicion. Australia: CRC Construction Innovation, 2007. 19 p.
- DURÁN, Emerson. Presupuestación bajo incertidumbre. *En: Cuadernos de Contabilidad*, Enero, 2011. Vol. 12, no.30, p. 309-326.
- EOS GROUP. Building Information Modeling: A Cost Estimating Perspective. *En: EOS GROUP*, Marzo, 2014. Vol. 6, no. 8, p. 3.
- ERNSTROM, Bill; HANSON, David; HILL, Damian. The contractors' guide to BIM. First edition, The associated general contractors of america, 2011. 41p.
- ESCUADERO GONZALES, Pedro; GUILLÉN GUILLAMÓN, Ignacio. Estudio sobre las exigencias en un modelo BIM para evaluar prestacionalmente el documento básico de protección frente al ruido del código técnico de la edificación. Ms.C. Tesis. Valencia. España. Univ. politécnica de Valencia. Dept. de Tecnología. 2013. 43 p.
- FARAH, Toni. Review of current estimating capabilities of the 3D Building Information Model software to support design for production/ construction. MSc. Tesis de posgrado. Estados Unidos. MA. Worcester Academy. Departamento de Ciencia, 2005. 128 p.
- GAITÁ, Jua; GÓMEZ, Adria. Uso de la metodología BRIM (Bridge Information Modeling) como herramienta para la planificación de la construcción de un puente de concreto en Colombia. *En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Julio, 2014. Vol. 24, no.2, p. 145-156.
- GAO, Ju; FISCHER, Martin. Framework & Case Studies Comaring Implementations & Impacts of 3D/4D Modeling Across Project. MSc. Tesis. California. USA. Stanford University. Dept. de Environmental Engineering. 2008. 60 p.
- GAORATH, Danirl; EVANS, Michael. Software Sizing, Estimation and Risk Management. First Edition. New York: Auerbach Publications by Taylor & Francis Group, 2006. pp. 25-55.
- GOEDERT, James; MEADATI, Pavan. Integrating construction process documentation into building information modeling. *En: Journal of Construction Engineering and Management*. July, 2008. vol. 134, no. 7, p. 509-515.
- GU, Ning; LONDON, Kerry. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *En: Automation in Construction*, December, 2010. Vol. 19, no. 8, p. 988-999.
- HAYMAKER, Jhon; FISHER, Martin; LISTON, Kathleen. Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers. Primera Edición. Gainesville, USA: Taylor & Francis e.Library., Lisse, 2005. 285 p.

24. HITT, Michael; BLACK, Stewart; PORTER, Lyman. Administration. Novena Edición. México: Pearson Education, 2006. p. 581-586.
25. IDERSTINE, Lee. What is BIM, and how does it affect your construction firm?: An introduction to Building Information Modeling (BIM) and How BIM Can Affect Your Firm [online]. Unica ed. [United States]; 2011 [Citado el 07 de julio de 2014] Disponible En: <http://www.newgen.ca/knowledge-center/articles/what-is-bim,-and-how-does-it-affect-your-construction-firm/>, consultado el 07 de Julio de 2014.
26. JIAO Yi; WANG, Yinghui; ZHANG, Shaohua; LI, Yin; YANG, Baoming; YUAN, Lei. A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS. En: *Advanced Engineering Informatics*. April, 2013. vol. 27, no. 2, p. 173-178.
27. JUNG, Youngsoo and JOO, Mihee. Building information modeling (BIM) a framework for practical implementation. En: *Automation in Construction*, March, 2011. vol. 1, no. 2, p.1-22.
28. KHALED, Nassar. The Effect of Building Information Modeling on the Accuracy of Estimates. En: *American University in Cairo*. 2010. vol. 34, p. 356-395.
29. KIM, kyungki; TEIZER Jochen. Automatic desing and planning of scaffolding systems using building information modeling. En: *Advanced Engineering Informatics*, January. 2014. vol. 28, no.1, p. 66-80.
30. LEE, Seul-Kin; KIM, Ka-Ram; YU, Jung-Ho. BIM and ontology-based approach for building cost estimation En: *Automation in Construction*. May, 2014, vol. 41, p. 96-105.
31. MARTÍNEZ, María; ARBIZU, Marina; GÓMEZ, Cesar. Simulation and evaluation of building information modeling in a real pilot site. En: *Applied Energy*. February, 2014. Vol. 114, p. 475-484.
32. MEJIA AGUILAR, Guillermo; HERNÁNDEZ. Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. En: *Revista UIS ingenierías*. 2007. vol. 6, no. 2, p. 45- 59.
33. MEJIA Guillermo. Análisis de presupuestos a través de metodologías de análisis de requerimientos para sistemas de información. En: *Gerencia Tecnológica Informática*. 2007, vol. 6, p. 34-42.
34. MERCADO, E. Productividad, base de la competitividad, 2. Ed. México: LIMUSA S.A, 1998 pp. 400.
35. MIKULAKOVA, Eva; KÖNIG, Markus; TAUSHER, Eike; BEUCKE, Karl. Knowledge based schedule generation and evaluation. En: *Advanced Engineering Informatics*. November, 2010. vol. 24, no. 4, p. 389-401.
36. MOHAMED, Marzouk; MOHAMED, Hisham. Implementing earned value management using bridge information modeling. En: *KSCE Journal of Civil Engineering*. Journal, 2014. vol. 18, no. 5, p. 1302-1313.
37. MOJICA, Alfonso; VALENCIA, Diego. Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Tesis pregrado. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Civil. 2012. 98p.
38. MONTEIRO, André; POÇAS MARTINS, Joao. A survey on modelind guideling for quacity takeoff oriented BIM based design. En: *Automation in Construction*. November, 2013. vol.35, p. 238-253.
39. MONTERROZA, Juan; PALIS, Odette; ECHEVERRI, Diego. Herramienta computacional para el manejo del riesgo en costos y duraciones en proyectos de construcción [online]. Unic. Edición [Bogotá]; 2005 [Citado el 23 de julio de 2014]. Disponible En: <http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/546>.
40. MORA, Augusto; LEON, Jorgw. El BIM Manager en España: Estrategias para su Implantacion. MSc. Tesis posgrado. Zaragoza, España. Universidad San Jorge. Departamento de Arquitectura. 2014. 77p.
41. NAHANGI, Mohammad; HAAS, Carl; Automated 3D compliance checking in pipe spool fabrication. En: *Advanced Engineering Informatics*. May, 2014. vol. 28, no. p. 112-125.
42. National Institute of BUILDING SCIENCES. NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD. Primera Edición, Part 1. USA, Washington, D.C.: National Institute of Building Sciences, 2007. 182 p.
43. PACHECO, Juan Carlos; CASTAÑEDA, Wildberto; CAICEDO, Carlos. Indicadores integrales de gestión. 2. ed. Bogotá: Mc Graw Hill, 2002. p. 184, 2002.
44. PARK, jungjun; KIM, Byungil; KIM, changyoon; KIM, Hyoungkwab. 3D/4D CAD applicability form life-cycle facility management. En: *Journal of Computing in Civil Engineering*. March, 2011, vol. 25, no.2, p. 129 – 138.
45. POLANCO SANCHEZ, Lina Marithza. Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción. Tesis de Pregrado en Ingeniería Civil. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultas de Ingeniería Civil. Escuela de Ingenierías y Administración, 2009. 72 p.
46. POPESCU, Calin. Estimating Building Costs. Primera edición, New York, USA: CRC Press, Taylor & Francis e.Library. Lisse, capítulo 2, 2003. 635 p.
47. PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar; GALVIS, José. Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías building information modeling. En: *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, December, 2014. Vol. 13, no. 1, p. 1-15.
48. Project Management Institute. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide), Fourth Edition, USA, Pensilvania: Project Management Institute, GLOBALSTANDARD, 2013, 250p.
49. QING Liu; TAO, Gao; PING, Wang-jian. Study on building lifecycle information management platform based on BIM. En: *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. January, 2014, vol. 7, no.1, p. 1-8.
50. RAJA, Isa; FLOOD, Ian; BRIEN, William. 4D CAD and Visualization in Construction Developments and Applications. Primera Edición. Gainesville, USA: Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, 2003. 285 p.
51. RENAUD, Vanlande; CHIRISTOPHE, Nicolle; CHIRISTOPHE, Cruz. IFC and building lifecycle management. En: *Automation in Construction*. December, 2008. vol. 24, no. 1, p. 70-78.
52. REY, Giovanni; SALINAS, Jairo. Aplicación de la técnica del “valor ganado” a un proyecto de construcción de un edificio de vivienda. MSc. Tesis posgrado. Bucaramanga, Santander. Universidad Pontificia Bolivariana. Departamento de Ingeniería Civil. 2011. 45p.
53. RODRÍGUEZ, Medina; RODRÍGUEZ, Belkis; CHIRINOS, Alira; MELEÁN, Rosana. Gestión de costos de las actividades en el sector metalmecánico de la región zuliana. En: *Revista Venezolana de Gerencia*. Junio, 2009. Vol. 14, no. 46, p. 260-273.
54. SABOL, Louise. Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling. En: *Design + Construction Strategies*. 2008. vol. 5, p. 1-16.
55. SALDÍAS SILVA, Rodolfo Omar. Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM. Tesis de Pregrado en Ingeniería Civil, Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2010. 121p.
56. SATTINENI, Anoop; BRADFORD, Harrison. Estimating with BIM: A survey of us construction companies. En: *Automation and Robotics in Construction*. 2011. vol. 15, p. 234-257.

57. SHEN, Weiming; HAO, Qi; MAK, Helium; NEELAMKAVIL, Joseph; XIE, Helen; DICKINSON, John; RUSS Thomas; PARDASANI, Ajit; XUE Henry; Systems integration and collaboration in architecture, engineering: A review. *En: Advanced Engineering Informatics*. April, 2010, vol. 24, no. 2, p. 196-207.
58. SHOU, Wenchi; WANG, Jun; WANG, Xiangyu; CHONG, Yih. A comparative review of building information modeling implementation in building and infrastructure industries. *En: Archives of computational methods in engineering*, Agosto, 2014. Vol. 9, no. 1, p. 1-18.
59. STANLEY, Ryan; THURNELL, Derek. The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand. *En: Australian Journal of Construction Economics Building*. 2014. Vol. 14, no. 1, p. 105-117.
60. SUCCAR, Bilal. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *En: Automation in Construction*, October, 2008. Vol. 18, no. 1, p. 357-375.
61. SUERMANN, Patrick. Evaluating the Impact of Building Information Modeling (BIM) On Construction. PhD thesis. Gainesville. USA. University of Florida. Dept. de Philosophy. 2009. 229 p.
62. SYLVESTER, Keith; DIETRICH, charlotte. Evaluation of Building Information Modeling (BIM) Estimating Methods in Construction Education. *En: East Carolina University. Associated Schools of Construction*, March, 2009. vol. 35, p. 114-132.
63. TABOADA, José; ALCÁNTARA, Vladimir; LOVERA, Daniel; SANTOS, Ricardo; DIEGO, Jorge. Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. *En: Revista del instituto de investigaciones de la facultad de Geología, Minas; Metalurgia y Ciencias Geográfica*, Mayo, 2011. Vol. 14, no. 28, p. 9.
64. TANKARD Colin. Big data security. *En: Network Security*, July, 2012, vol. 7, no. 7, p. 5-7.
65. TRISTANCHO, Julián; CONTRERAS, Leonardo; VARGAS, Luis. Aplicación del modelo integrado de desarrollo (BIM) en el diseño de proyectos para oficina abierta. *En: Ingeniería*, Octubre, 2011. Vol. 16, no. 2, p. 78-93.
66. VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building information modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. *En: Automation in Construction*. 2014, vol. 38, p. 109 – 127.
67. WANG, Wei-Chih; WENG Shao-Wei; WANG, Shih-Hsu; CHEN Cheng-Yi. Integrating building information models construction process simulations for project scheduling support. *En: Automation in Construction*. 2014 vol. 37, p. 68 – 80.
68. WOO, J, WILSMANN, J; KANG, Use of as-built building information modeling. *En: Construction Research Congress*, Mayo, 2010. Vol. 1, no. 1, p. 538-547.