

Integración de las metodologías BIM 5D y EVM a través de una herramienta computacional, aplicada a un proyecto de construcción VIS en Bogotá D.C.

BIM 5D and EVM methodologies integration through a computational tool, applied in a VIS building project in Bogotá D.C

Christian C. Cárdenas-Jiménez¹, Paola N. Zapata-Rozo², Natalia E. Lozano-Ramírez³

¹ Ingeniero Civil. Candidato a Maestría en Ingeniería Civil. / Civil Engineer. M. Sc. Civil Engineering candidate. Pontificia Universidad Javeriana Cra. 7 No 40-62 Ed. 42 1er. Piso. Tel: (57 1) 320 8320. christiancardenas@javeriana.edu.co

² Ingeniera Civil. Candidato Maestría en Ingeniería Civil / Civil Engineer. M. Sc. Civil Engineering candidate. Pontificia Universidad Javeriana Cra. 7 No 40-62 Ed. 42 1er. Piso. Tel: (57 1) 320 8320. paola_zapata@javeriana.edu.co

³ Ingeniera Civil y Arquitecta. M. Sc. Arquitectura. / Civil Engineer and Architect. M. Sc. Architecture. Pontificia Universidad Javeriana Cra. 7 No 40-62 Ed. 42 1er. Piso. Tel: (57 1) 320 8320. lozano.n@javeriana.edu.co

Resumen

Muchos proyectos de construcción presentan incertidumbre en sus presupuestos y cronogramas. Asimismo, el manejo de tiempo y costos es inconsistente. Existen metodologías y técnicas que mejoran la gestión de proyectos constructivos: Técnicas como Gestión del Valor Ganado (EVM), ideal para planear, monitorear y controlar la gestión de tiempo y costos durante la ejecución de proyectos, y metodologías como Building Information Modeling (BIM) reconocida por mejorar la planeación y diseño de proyectos de construcción. Esta investigación propone la integración de (BIM) y (EVM) mediante un software OpenBIM llamada COST-BIM, diseñada en lenguaje de programación JAVA y entorno de desarrollo NetBeans 8.0.1. Gestiona tiempo y costos de proyectos constructivos bajo una única interfaz, conformada por cuatro módulos y quince procesos. COST-BIM es software útil para gestores de construcción que se esfuerzan por aumentar el rendimiento de sus proyectos y se corroboró la validez de su uso a través de un proyecto real.

Palabras clave: Building Information Modeling, Gestión del Valor Ganado, Control de presupuesto, Control de Costos, Curvas de Progreso.

Abstract

Many construction projects present uncertainty in their budgets and schedules. Also time and cost management is inconsistent. There are methodologies and techniques that improve the management of construction projects. Techniques such as Earned Value Management (EVM), ideal for planning, monitoring and controlling time and cost management during project execution, and methodologies such as Building Information Modeling (BIM) recognized for improving planning and design of construction projects. This paper proposes the integration of (BIM) and (EVM) using an OpenBIM software called COST-BIM, designed under the JAVA programming language and NetBeans 8.0.1 development environment. It manages time and costs of construction projects under an only interface, made up of six modules and fifteen processes. Provides designers with benefits in the design phase. COSTBIM is a useful software for construction project managers who strive to increase the performance of their projects. The validity of use was corroborated through a real project.

Keywords: Building Information Modeling, Earned value management, Schedule control, Costs control, Progress curves.

1. Introducción

Las constructoras que hayan gestionado proyectos de construcción sabe que casi siempre toman más tiempo y cuestan más de lo planeado (Abadie, Raymond, Morgan, & Caletka, 2013). Por tal razón, los gestores de construcción se encuentran interesados en gestionar y controlar sus cronogramas y presupuestos, para reducir sus costos y maximizar sus utilidades (Hitt, Black, & Porter, 2006). Sin embargo, elaborarlos implica la recopilación de grandes volúmenes de información de diferentes profesionales, que generalmente no interactúan y/o no se comunican eficientemente entre sí durante la fase de diseño de los entregables, produciendo así incompatibilidad, fugas y reprocesamientos de información durante su integración. Esto genera incertidumbre en la cuantificación de recursos (materiales, mano de obra y equipos) relacionados con las actividades de los entregables que conformaran el cronograma y el presupuesto planeado, provocando posteriormente variaciones entre el cronograma y presupuesto planeado y ejecutado del proyecto.

Pero la incertidumbre presente en el cronograma y en el presupuesto planeado, no es la única causa de las variaciones entre el cronograma y presupuesto planeado y ejecutado en proyectos constructivos. Según (Abadie, Raymond, Morgan, & Caletka, 2013), es tan solo una de las muchas causas que las genera y añaden que las causas más comunes son: La mala planeación, la inadecuada definición de los objetivos y del alcance del proyecto, la inadecuada comunicación entre profesionales involucrados, la ineficaz gestión y supervisión del proyecto, la incorrecta identificación de los riesgos del proyecto y los deficientes sistemas para la estimación y control del tiempo y de los costos del proyecto.

Por lo anterior, agregan que la problemática de las variaciones en el presupuesto y en el cronograma se presenta a nivel mundial. De 975 proyectos de construcción que analizaron a nivel mundial, tan solo el 5.4% de los proyectos al construirlos están dentro del presupuesto, y el 36.4% de los proyectos presentan sobrecostos por encima del 50% del presupuesto planeado. Estos datos, permiten apreciar el gran impacto que tienen las variaciones entre el cronograma y presupuesto planeado y ejecutado en el costo final del proyecto. Sin embargo, este fenómeno no es propio de la fase de planeación. Durante la fase de ejecución, por lo general se generan demoras provocando sobrecostos, a consecuencia de la ausencia de un sistema para controlar el desempeño del trabajo realmente realizado (Abadie, Raymond, Morgan, & Caletka, 2013).

Con base a lo anterior, la variación entre el cronograma y presupuesto planeado y ejecutado de los proyectos de la industria de la construcción, radican a la ausencia de un sistema que integre las herramientas necesarias para gestionar este tipo de proyectos, desde su planeación y diseño hasta su ejecución, seguimiento y control en una única interfaz. No obstante, la tecnología está revolucionando las prácticas de gestión de la construcción. En la actualidad existen metodologías

como Building Information Modeling (BIM) y técnicas como Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management EVM), capaces de gestionar proyectos de construcción durante las etapas de planeación y diseño hasta su ejecución, seguimiento y control respectivamente.

Lo dicho hasta aquí supone una clara necesidad de reducir las variaciones entre el presupuesto y cronograma planeado y ejecutado de los proyectos de construcción. Por consiguiente, con técnicas como EVM ideal para monitorear y controlar la gestión de tiempo y costos durante la ejecución de los proyectos (Project Management Institute, 2005), y la metodología BIM reconocida por mejorar la planificación y realización de proyectos de construcción, esta investigación desarrolló la integración BIM-EVM por medio de la creación de un software llamado COST-BIM, que pretende mejorar la gestión del cronograma y del presupuesto de los proyectos de construcción, dentro de un entorno virtual interoperable para la planeación, diseño, ejecución, seguimiento y control de proyectos de construcción. Esta herramienta permite la integración de la metodología BIM y técnica EVM en una única interfaz, gracias a su interoperabilidad con herramientas OpenBIM, con el fin de aprovechar los beneficios de cada una en la gestión de proyectos de construcción, con el objetivo de brindar a los gestores de construcción una herramienta que les ayude a controlar el cronograma y el presupuesto de sus proyectos.

2. Antecedentes

(Stevens, 1986) propone una herramienta de gestión de proyectos basado en la curva de rendimiento, integrando el costo y el tiempo del proyecto. (Miyagawa, 1997) plantea un sistema de planeación de administración de la construcción (CMY Planner). (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008) presentaron BIM como un proceso de diseño y construcción más integrado, que tiene como finalidad producir edificios de mejor calidad a menor costo. (Enshassi & Abuhumra, 2016) perciben los beneficios de BIM en la fase de diseño, debido a que las tareas colaborativas se realizan entre todas las partes interesadas desde el inicio del proyecto, de modo que cada aspecto del diseño puede ser coordinado. Los autores añaden que cualquier cambio en un diseño se refleja en todo el modelo, eliminando así errores y ahorrando tiempo al cambiar los planos y modelos del diseño. (Staub-French & Khanzode, 2007) precisan que la adopción del modelo 4D permite la vinculación de una programación a los elementos 3D, produciendo una simulación constructiva. Aseguran que los beneficios son múltiples: identificación de los conflictos en la fase de diseño, productividad, menos órdenes de cambio, mejor control de costes, detección de interferencias constructivas. (Chou, Chen, Hou, & Lin, 2010) establecen la necesidad de presentar la información del proyecto visualmente y automáticamente para un proceso de control eficiente del proyecto. (Isaza, Botero, & Vasquez, 2015) afirma que BIM disminuye los riesgos en un 66%, mejora el trabajo colaborativo entre profesionales en un 63%, reduce reprocesamiento de información en un 60%, el tiempo de diseño disminuye en un 48%, aumenta productividad en un 67% e integra los procesos dentro de la organización en un 75%.

Los autores mencionados, deducen que BIM por sí solo no presenta la suficiencia para gestionar proyectos constructivos durante todo el ciclo de vida del proyecto, sobre todo porque su mayor potencial se ve reflejado durante la etapa del diseño para la preparación de modelos de construcción y no durante las etapas de ejecución y seguimiento y control.

Por otro lado, (Czarnigow, 2008) analiza los problemas de la implementación de la técnica EVM. Recomienda el uso de tecnologías o programación para lograr una exitosa implementación de esta y aprovechar todo su potencial. Teniendo en cuenta esto, muchos investigadores desarrollaron métodos para obtener los beneficios de la técnica EVM. Por ello, (Kim, 2009) evaluó la aplicación de EVM en proyectos residenciales, y analizó la significancia del índice de Desempeño del Presupuesto (CPI) y del Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) en el rendimiento del cronograma y el presupuesto. Introdujo un marco para analizar los resultados de estos indicadores y cómo utilizarlos para mejorar el desempeño del proyecto.

Basado en lo anterior, autores como (Jrade & Lessard, 2015) proponen un sistema integrado de gestión del tiempo y costos al cual se le denominó (ITCMS). Está compuesto por una plataforma EVM desarrollada en Microsoft Excel y MS Project, que sincroniza el modelo de construcción con los parámetros de tiempo y costo del proyecto. El modelo 3D del proyecto fue desarrollado en Autodesk Revit 2013 y Autodesk Quantity Takeoff. Se asignan los tiempos de las actividades en MS Project para establecer las estimaciones de costos e integrar esta información con una hoja de cálculo en Microsoft Excel para generar las curvas EVM en MS Project.

(Su, Chen, & Chien, 2015) desarrollaron un modelo orientado a objetos elaborado en MS Visual #, denominado (CSIS). Vincula elementos BIM con sus respectivos costos y tiempos de programación, calcula automáticamente el total de costos y tiempos del proyecto, y exporta esta información a MS Project o Primavera Project Planner.

Con base a la información anterior, se ha demostrado que BIM mejora la gestión de proyectos en las fases de diseño y planeación. Además, se encontró que EVM es una herramienta útil que permite una adecuada supervisión y control de tiempo y costo en relación con el alcance del proyecto. Permitiendo a gestores de construcción comparar el progreso de la línea base planeada y luego evaluar si su construcción cumplirá con los objetivos del presupuesto y el cronograma. Por todo esto, se plantea el sistema BIM-EVM por medio de COST-BIM.

3. Desarrollo del software COST-BIM

COST-BIM se desarrolló en un modelo orientado a objetos y programada en NetBeans, un poderoso entorno de desarrollo integrado para generar aplicaciones en la plataforma Java. Para su desarrollo fue necesario la creación de IDE Project, un grupo de archivos de código fuente de Java, además de los metadatos asociados, los archivos de propiedades específicos del proyecto y el script de compilación que controla la configuración de compilación y ejecución para programar

la herramienta. En la Figura 1, se puede detallar los componentes del software y su interfaz gráfica.

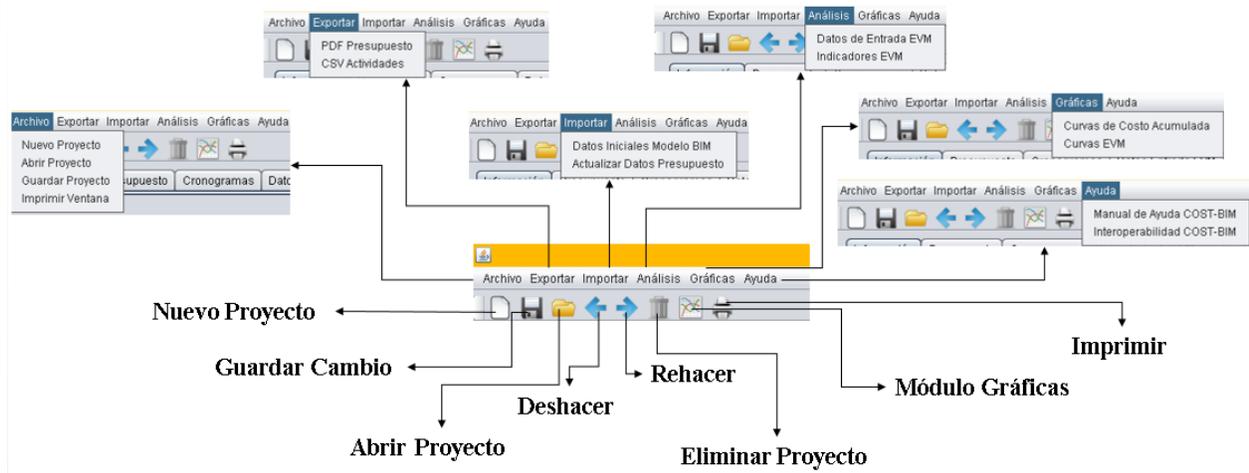
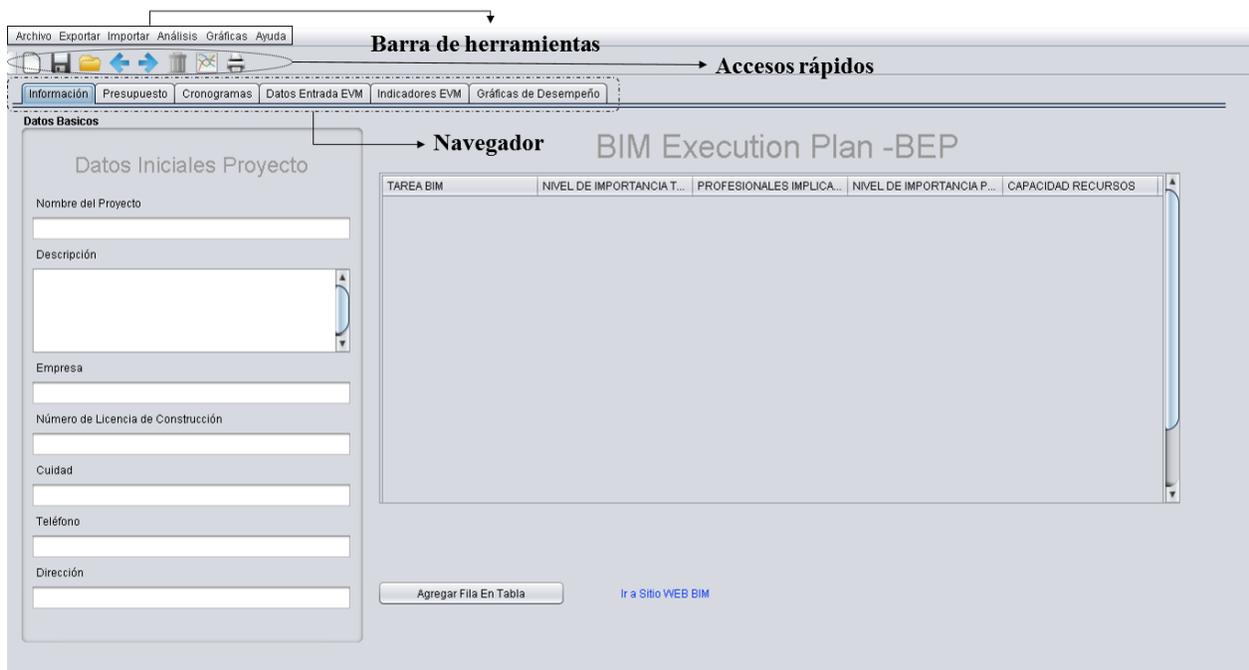


Figura 1. Interfaz COST-BIM

COST-BIM fue pensado con el objetivo de integrar las metodologías BIM y EVM, por tal razón, su interfaz fue desarrollada de acuerdo a los procesos de gestión de proyectos: planeación, ejecución seguimiento y control, y a su vez, de acuerdo a un marco BEP (BIM Execution Plan). El desarrollo de dicho plan, facilita la gestión de la información en el proyecto y está basado

según las recomendaciones del *BIM Project Execution Planning Guide* (Messner, 2010).

COST-BIM es un software OpenBIM que gestiona proyectos de construcción en un sistema BIM-EVM., evita fugas y reproceso de información, genera y actualiza automáticamente el presupuesto importado de un modelo 5D (Con Cantidades y Valores Unitarios). Además, exporta la información del cronograma a otras herramientas BIM para la simulación (4D), y realiza análisis EVM generando indicadores y proyecciones del proyecto y por actividad, basadas en tendencias.

3.1.Sistema BIM-EVM

El sistema BIM-EVM se logra por la interoperabilidad de COST-BIM con otros software OpenBIM. En la Figura 2, se enumera las entradas, análisis, criterios y salidas requeridas para integrar BIM y EVM durante las etapas de planeación y ejecución. Cada fase tiene su propio conjunto de entradas y salidas. Las principales entradas en fase de planeación son una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) (vinculada al modelo 3D mediante una estructura de Keynotes), el modelo 3D, las duraciones y costos de las actividades. Para la fase de ejecución son el avance del trabajo efectivamente ejecutado y las solicitudes de cambio aprobadas.

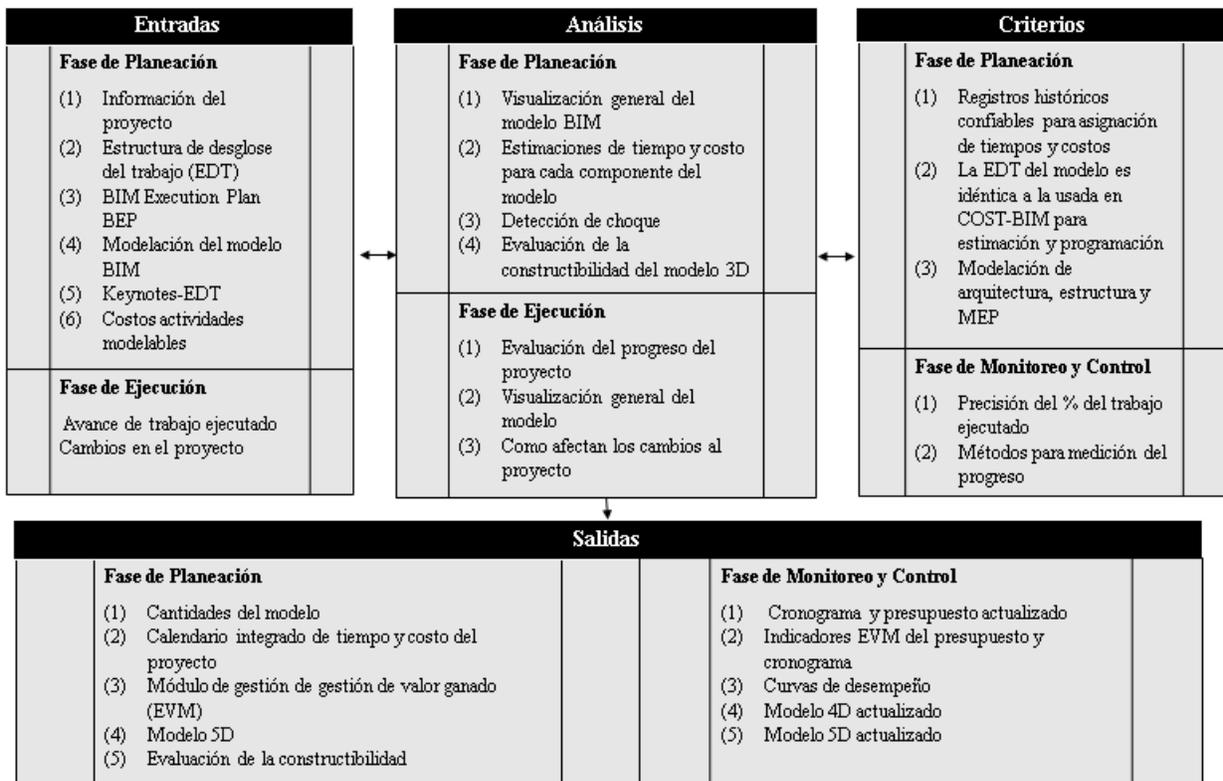


Figura 2. Arquitectura sistema BIM-EVM

COST-BIM propone un sistema eficiente que facilita la gestión, coordinación de proyectos y mejore la comunicación entre los interesados asegurando el almacenamiento, la integración y la sincronización de la información del proyecto como el alcance, cronograma y presupuesto en una única interfaz BIM-EVM.

3.2. Metodología del Sistema BIM-EVM

El sistema BIM-EVM aborda la planeación, ejecución seguimiento y control de un proyecto de construcción, mediante su interfaz, creando el presupuesto y cronograma, indicadores EVM y curvas de desempeño de cualquier tipo de proyecto de edificación, centralizados al modelo (3D) y EDT del proyecto (Ver Figura 3).

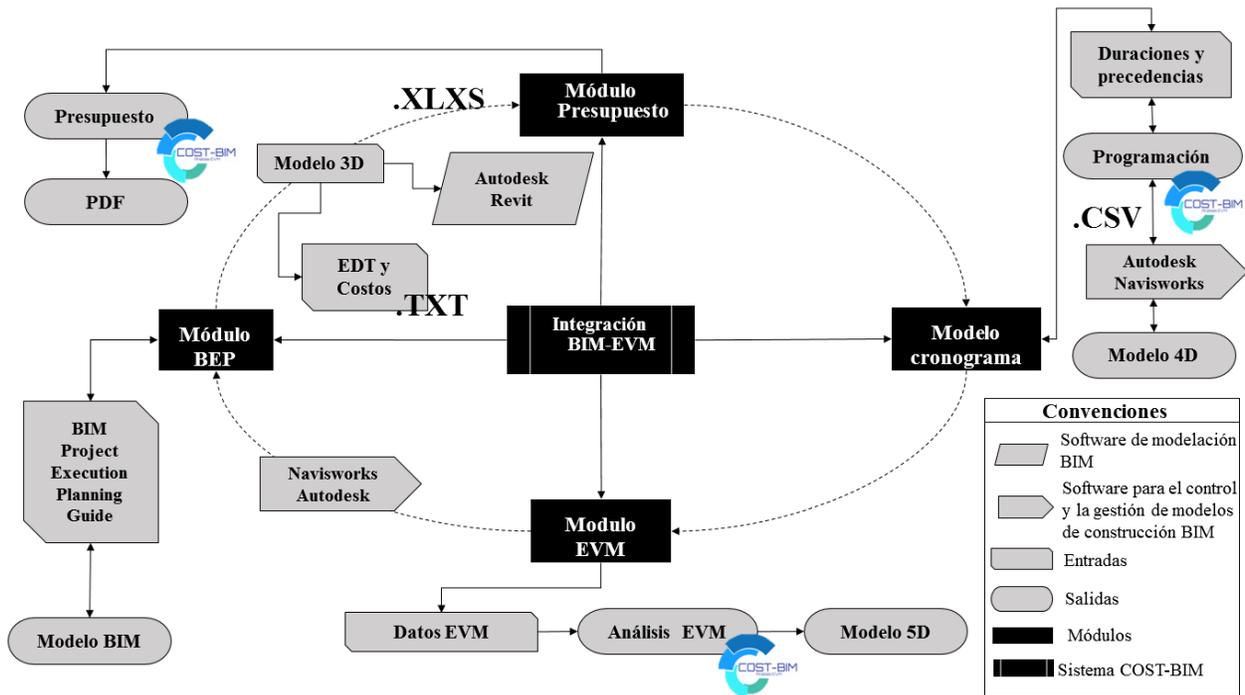


Figura 3. Metodología Sistema BIM-EVM

Para la integración de la interfaz BIM-EVM por medio de COST-BIM, es necesario utilizar un software de modelación BIM y un software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM. Para este caso se usaron el software de modelación BIM, Autodesk Revit, y el software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM, Autodesk Navisworks. Sin embargo, COST-BIM permite el uso de cualquier software BIM, conservando ciertos parámetros

de interoperabilidad.

En la

Figura 4, se describe la integración de BIM y EVM y cómo esta abarca la planeación, ejecución, y monitoreo y control del proyecto; a través de la integración del manejo del alcance, tiempo y costo del proyecto.

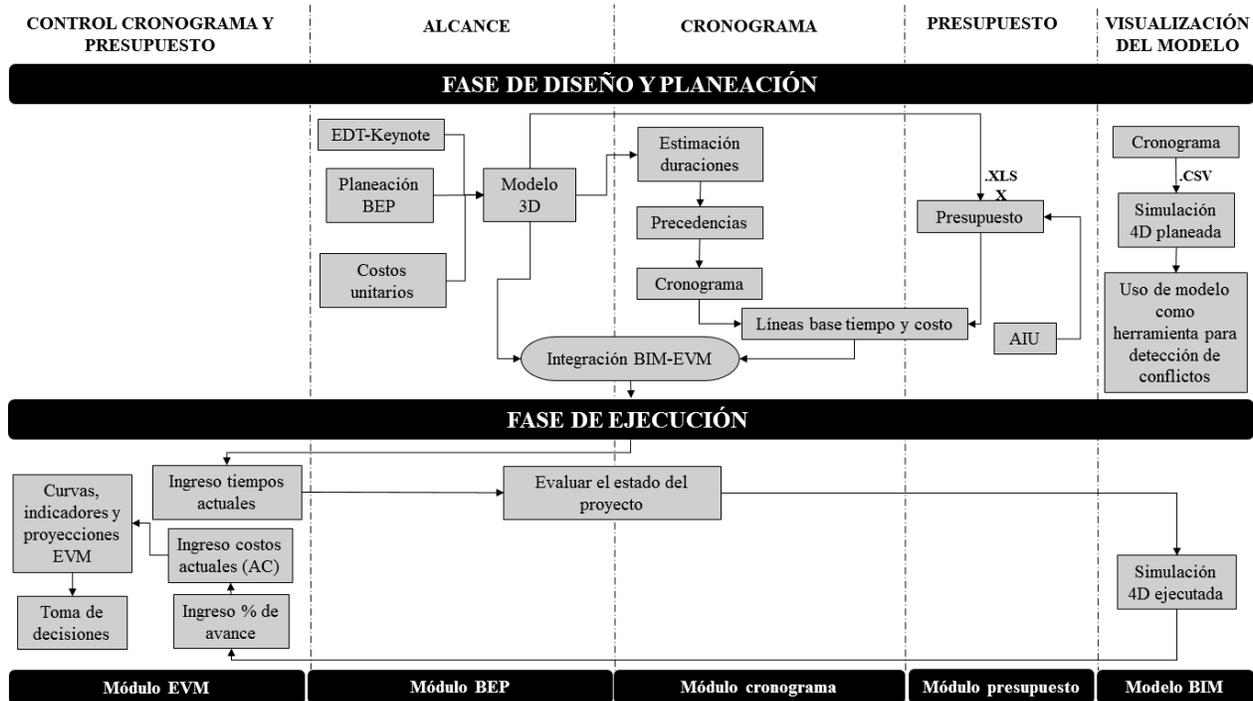


Figura 4. Sistema BIM-EVM durante ciclo de vida del proyecto

4. Resultados

COST-BIM fue validado para probar la viabilidad y potencial del sistema BIM-EVM. La corroboración de sus resultados fueron probados con dos escenarios, durante planeación y durante la fase de construcción. El análisis y sistematización de la información se corroboró bajo pruebas de funcionalidad del sistema, con la información de un proyecto real. En cuanto a la corroboración de los resultados generados por el software, se comparó el presupuesto y el cronograma COST-BIM contra los suministrados por la constructora aliada. Para la corroboración del módulo EVM, fue necesario desarrollar una hoja en Microsoft Excel de este módulo debido a que constructora no controla el cronograma y el presupuesto mediante EVM.

4.1. Funcionamiento de COST-BIM

El sistema BIM-EVM inicia creando la EDT del proyecto en un archivo .txt. Posteriormente, se diligencia el formulario BEP, donde se registran los responsables y responsabilidades relacionadas con el modelo BIM (Ver Figura 5).

TAREA BIM	NIVEL DE IMPORTANCIA T...	PROFESIONALES IMPLICA...	NIVEL DE IMPORTANCIA P...	CAPACIDAD RECURSOS
DISEÑO ARQUITECTONICO	ALTO	PAOLA ZAPATA ROZO	ALTO	1
DISEÑO ESTRUCTURAL	ALTO	CHRISTIAN CARDENAS JI...	ALTO	1
DISEÑO HIDRAULICO	ALTO	PAOLA ZAPATA ROZO	ALTO	2
DISEÑO ELECTRICO	ALTO	CHRISTIAN CARDENAS	ALTO	1
COSTOS MODELO 3D	MEDIO	PAOLA ZAPATA ROZO	ALTO	1
MODELO 4D	ALTO	CHRISTIAN CARDENAS	ALTO	2

Figura 5. Módulo BIM Execution Plan (BEP)

Se vincula la EDT del proyecto mediante “Keynotes”. A partir de la información 2D del proyecto piloto, se realiza el modelo BIM del proyecto en el software de modelación y se ingresa toda la información relevante del proyecto como los costos de cada uno de los elementos BIM. Las cantidades y costos generados en el software de modelación BIM son exportadas desde el modelo BIM 3D, a un archivo .xlsx. Este archivo permite generar el enlace entre COST-BIM y cualquier software de modelación BIM. Esta tabla contiene la siguiente información: 1. Keynote, que indexa el ID de cada una de las actividades modelables dentro de una EDT del proyecto, 2. Piso, o nivel donde se encuentra el elemento, (esta información es importante para la configuración del presupuesto, cronograma, análisis EVM y 4D), 3. Propiedades físicas del elemento, (longitud, altura, ancho, área, volumen), con las cuales se obtienen las cantidades del elemento para el presupuesto, 4. Propiedad del elemento a analizar. Esta opción es de gran importancia ya que en esta se inserta el costo unitario del elemento para luego calcular el presupuesto de manera automática.

Con el modelo BIM completado, se realiza la exportación de las cantidades en un archivo .xlsx, para luego ser importadas a COST-BIM. Automáticamente se genera el cronograma en función a la EDT del proyecto, se asigna la duración a cada actividad, a partir de un diagrama de Gantt, contemplando la precedencia lógica de las actividades del proyecto. (Ver Figura 6).

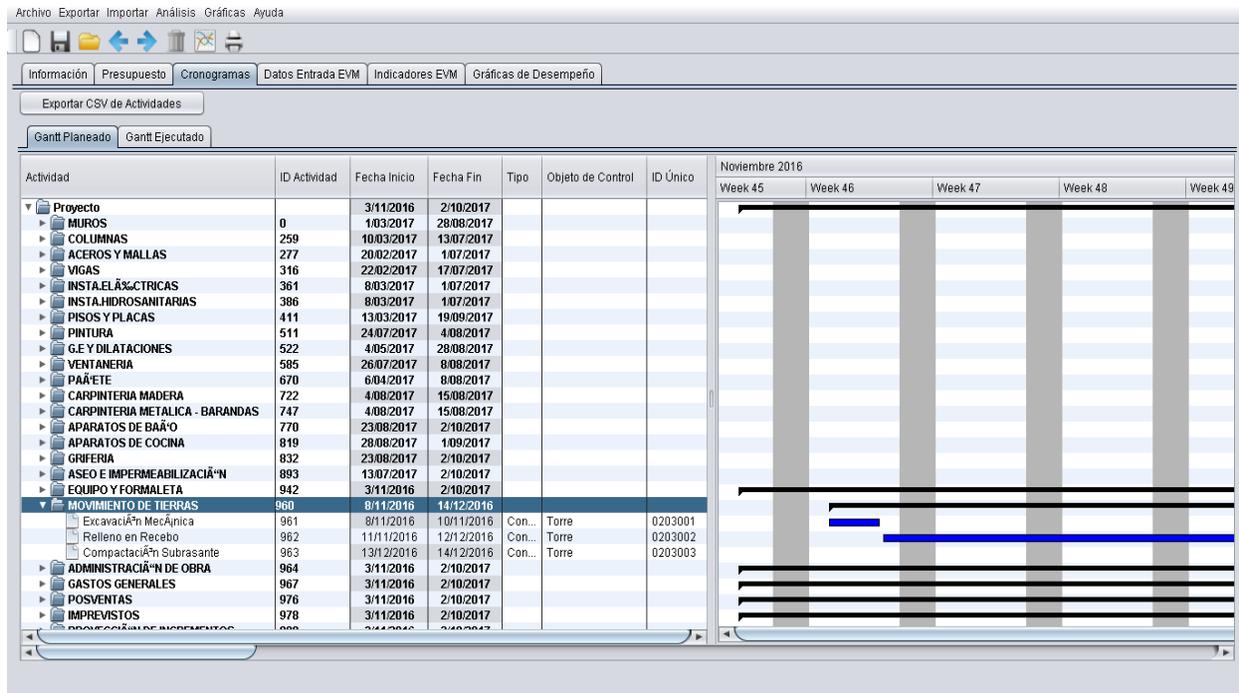


Figura 6. Módulo cronograma

Finalmente se crea un archivo .csv con la información del cronograma, para importarlo al software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM, con el fin de realizar la modelación simulación 4D.

Es importante mencionar que al importar el archivo .xlsx con las cantidades del proyecto a COST-BIM el presupuesto se genera automáticamente según la EDT del proyecto, simultáneamente con el cronograma. El presupuesto (Ver Figura 3) se presenta en estructura de árbol de tres niveles (Capítulos-Sub-capítulos, Ítems), con sus respectivas cuentas de control. Se crea las actividades no modelables con sus respectivos costos y el correspondiente AIU del proyecto. Cabe mencionar, al crear una actividad no modelable, esta es creada automáticamente en el cronograma, por ende, es necesario volver al cronograma y asignarle la precedencia y duración correspondientes. Es importante mencionar, que el módulo presupuesto COST-BIM permite actualizar el presupuesto automáticamente en función de los cambios efectuados directamente en el modelo 3D, sin perder la información añadida anteriormente.

Archivo Exportar Importar Análisis Gráficas Ayuda

Información Presupuesto Cronogramas Datos Entrada EVM Indicadores EVM Gráficas de Desempeño

VALOR TOTAL PRESUPUESTO: \$ 1,458,464,933.88

Actualizar Presupuesto Agregar Capítulo Agregar Actividad Borrar Capítulo Borrar Actividad Exportar PDF

ID	Nombre Actividad	Objeto de Control	Unidad	Cantidad	Precio	Valor Total
▶	MUROS					\$ 314,922,149.48
▶	COLUMNAS					\$ 63,334,035.71
▶	ACEROS Y MALLAS					\$ 159,040,703.71
▶	VIGAS					\$ 31,692,485.60
▶	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					\$ 121,289,990.40
▶	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS					\$ 125,783,721.60
▶	PISOS Y PLACAS					\$ 220,466,311.08
▶	PINTURA					\$ 1,180,049.10
▶	GEOMETRÍAS Y DILATACIONES					\$ 5,209,158.32
▶	VENTANERÍA					\$ 16,089,292.80
▶	PAÑETE					\$ 8,267,769.62
▶	CARPINTERÍA MADERA					\$ 10,513,536.00
▶	CARPINTERÍA METALICA...					\$ 3,297,463.65
▶	APARATOS DE BAÑO					\$ 11,126,544.00
▶	APARATOS DE COCINA					\$ 14,415,456.00
▶	GRIFERÍA					\$ 6,140,072.00
▶	ASEO E IMPERMEABILIZ...					\$ 7,743,790.80
▶	EQUIPO Y FORMALETA					\$ 65,926,750.51
▶	MOVIMIENTO DE TIERR...					\$ 7,956,943.50
▶	ADMINISTRACIÓN DE O...					\$ 28,739,628.00
▶	GASTOS GENERALES					\$ 54,520,876.00
▶	POSVENTAS					\$ 9,413,733.00
▶	IMPREVISTOS					\$ 27,834,437.00

Figura 7. Módulo presupuesto

Para finalizar, se realiza la medición del rendimiento del proyecto, por medio del valor ganado. Se compilan y procesan los datos planeados y ejecutados del proyecto. Luego se ingresan los datos tales como valor actual AC, y el % completado a la fecha de cada actividad (en función a la simulación 4D), con el fin de obtener los indicadores de desempeño del presupuesto y cronograma (Ver Figura 8), junto con las gráficas EVM (Ver Figura 9).

ID	Objeto de Control	Nombre Actividad	Días	Valor Planeado	Valor Actual	Valor Ganado	BAC
MUROS							
501002.0	Cimentación	Concreto 0.12M	6	\$4,302,148.48	\$4,431,213	\$4,302,148.48	\$4,302,148.48
501002.0	Piso 1	Concreto 0.12M	8	\$6,507,966.72	\$6,703,206	\$6,507,966.72	\$6,507,966.72
501002.0	Piso 1A'	Concreto 0.12M	8	\$5,997,022.72	\$6,176,933	\$5,997,022.72	\$5,997,022.72
501002.0	Piso 2	Concreto 0.12M	4	\$6,300,669.44	\$6,489,689	\$6,300,669.44	\$6,300,669.44
501002.0	Piso 2A'	Concreto 0.12M	4	\$4,989,733.12	\$5,139,425	\$4,989,733.12	\$4,989,733.12
501002.0	Piso 3	Concreto 0.12M	4	\$4,334,264.96	\$4,464,293	\$4,334,264.96	\$4,334,264.96
501002.0	Piso 3A'	Concreto 0.12M	4	\$4,334,264.96	\$4,464,293	\$4,334,264.96	\$4,334,264.96
501002.0	Piso 4	Concreto 0.12M	5	\$4,334,264.96	\$4,464,293	\$4,334,264.96	\$4,334,264.96
501002.0	Piso 4A'	Concreto 0.12M	5	\$2,420,414.72	\$2,493,027	\$2,420,414.72	\$2,420,414.72
501002.0	Piso 5	Concreto 0.12M	6	\$507,294.40	\$522,513	\$507,294.40	\$507,294.40
501002.0	Piso 5A'	Concreto 0.12M	6	\$507,294.40	\$522,513	\$507,294.40	\$507,294.40
501002.0	Piso 6	Concreto 0.12M	7	\$507,294.40	\$522,513	\$507,294.40	\$507,294.40
501002.0	Piso 6A'	Concreto 0.12M	7	\$253,282.24	\$260,881	\$253,282.24	\$253,282.24
503004.0	Piso 6A'	Cuchillas Fachada	10	\$352,071.53	\$362,634	\$352,071.53	\$352,071.53
503004.0	Cubierta 2	Cuchillas Fachada	10	\$702,216.54	\$723,283	\$702,216.54	\$702,216.54
503004.0	Cubierta 1A'	Cuchillas Fachada	10	\$350,145.01	\$360,649	\$350,145.01	\$350,145.01
502001.0	Piso 6A'	Cuchillas Interior	10	\$2,391,061.75	\$2,462,794	\$2,391,061.75	\$2,391,061.75
502001.0	Cubierta 2	Cuchillas Interior	10	\$4,958,516.50	\$5,107,272	\$4,958,516.50	\$4,958,516.50
502001.0	Cubierta 1A'	Cuchillas Interior	10	\$2,570,576.75	\$2,647,694	\$2,570,576.75	\$2,570,576.75
703004.0	Piso 6A'	Cuchillas Fachada	10	\$285,124.96	\$293,679	\$285,124.96	\$285,124.96
703004.0	Cubierta 2	Cuchillas Fachada	10	\$570,249.92	\$587,357	\$570,249.92	\$570,249.92
703004.0	Cubierta 1A'	Cuchillas Fachada	10	\$285,124.96	\$293,679	\$285,124.96	\$285,124.96
702001.0	Piso 6A'	Cuchillas Interior	10	\$1,155,530.25	\$1,190,196	\$1,155,530.25	\$1,155,530.25
702001.0	Cubierta 2	Cuchillas Interior	10	\$2,222,083.50	\$2,288,746	\$2,222,083.50	\$2,222,083.50
702001.0	Cubierta 1A'	Cuchillas Interior	10	\$1,066,163.00	\$1,098,148	\$1,066,163.00	\$1,066,163.00

CONSOLIDADO COSTOS	Día 0	03-11-2016	04-11-2016	05-11-2016	06-11-2016	07-11-2016	08-11-2016	09-11-2016
Valor Planeado(PV)	-	\$1,167,885.16	\$1,167,885.16	\$1,167,885.16	\$1,167,885.16	\$1,167,885.16	\$2,178,730.49	\$2,178,730.49
Valor Planeado(PV) - Acumulado	-	\$1,167,885.16	\$2,335,770.32	\$3,503,655.48	\$4,671,540.64	\$5,839,425.81	\$8,018,156.30	\$10,196,886
Valor Actual(AC)	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Valor Actual(AC) - Acumulado	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Valor Ganado(EV)	-	\$1,071,433.98	\$1,071,433.98	\$1,071,433.98	\$1,071,433.98	\$1,071,433.98	\$2,082,279.32	\$2,082,279.32
Valor Ganado(EV) - Acumulado	-	\$1,071,433.98	\$2,142,867.97	\$3,214,301.95	\$4,285,735.93	\$5,357,169.91	\$7,439,449.23	\$9,521,728.16
INDICADORES EVM	-							
BAC	\$1,458,464,933.80							
Días Totales	334							
CPI	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TCIP	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EAC	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
VAC	-	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464,933.80	\$1,458,464.4
ETC	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
SV	-	-\$96,451.18	-\$96,451.18	-\$96,451.18	-\$96,451.18	-\$96,451.18	-\$96,451.18	-\$96,451.18
SPI	-	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.96	0.96
EACT	-	365	365	365	365	365	350	350
Fecha EAC	-	03-11-2017	04-11-2017	05-11-2017	06-11-2017	07-11-2017	24-10-2017	25-10-2017
Reporte De Presupuesto	-	Presenta Sobrecosto	Presenta So					
Reporte De Cronograma	-	Retraso	Retraso	Retraso	Retraso	Retraso	Retraso	Retraso

Figura 8. Módulo EVM

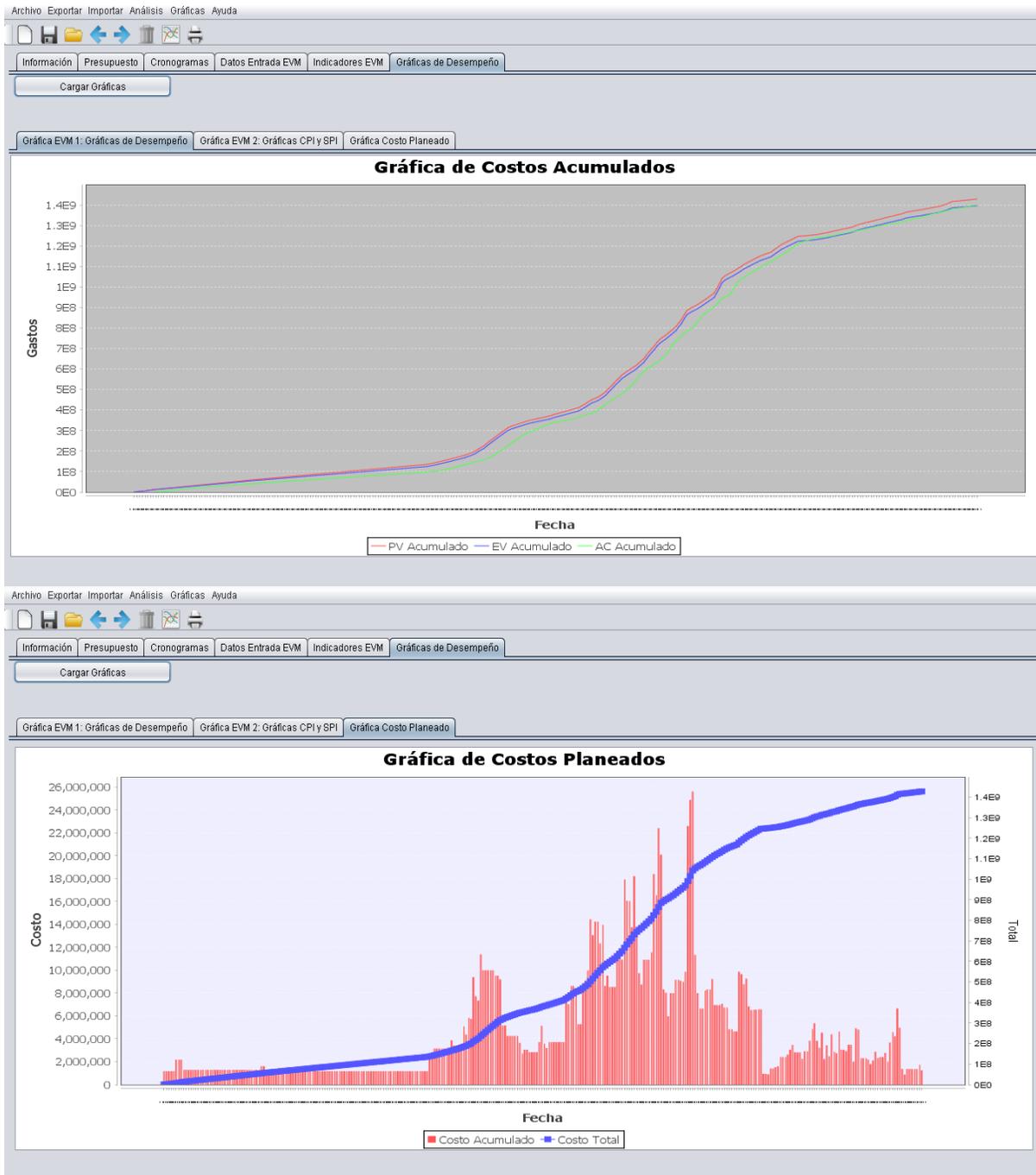


Figura 9. Módulo gráficas EVM

4.2. Proyecto piloto

Para la validación de la interfaz BIM-EVM de COST-BIM, se utilizó un proyecto de construcción real de vivienda de interés social (VIS), ubicado en Usme, Bogotá D.C., Colombia. El proyecto contará con 18 torres de 6 pisos, 4 apartamentos por piso para un total de 432

unidades de vivienda, y cuya construcción culminará en 2018. Este tipo de proyectos se componen de módulos repetitivos de espacios que hacen más sencillo el proceso de modelación, razón por la cual fue seleccionado para la validación. El área total construida es de 23.456 m² contando con áreas vendibles desde 47 m² hasta 61 m². En las Figura 10, se describen las características del modelo. Cabe aclarar, que para la validación se analizó el presupuesto y el cronograma de un módulo doble (2 torres) de 24 apartamentos desde su cimentación hasta su cubierta, con el fin de simplificar la validación. El presupuesto de este módulo doble es de \$1, 446, 108, 083.00 y un cronograma de 349 días.

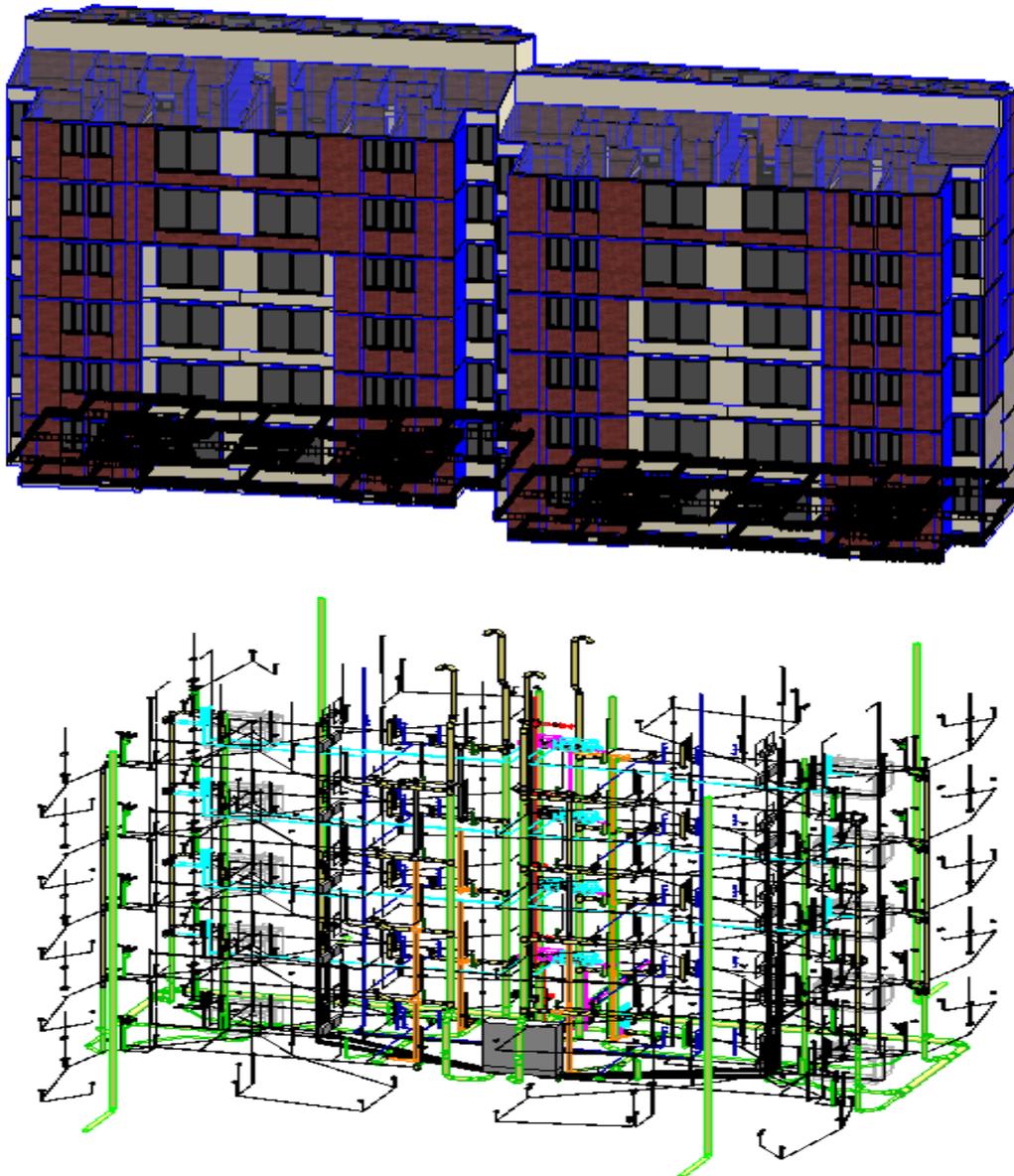


Figura 10. Modelo arquitectónico, estructural y MEP

4.3. Validación de datos

El módulo presupuesto presenta una diferencia del 0.85% (Ver Figura 11), frente al presupuesto original, producto de la cuantificación del acero de refuerzo del proyecto. La constructora realiza la cuantificación de esta actividad por medio de cuantías suministradas por el ingeniero estructural, a diferencia de la cuantificación de cantidades del sistema BIM-EVM basada en el modelo 3D. Esta diferencia no es significativa, representa menos del 1% del presupuesto original. Así mismo, el presupuesto generado por COST-BIM se ajusta a la planeación del proyecto.

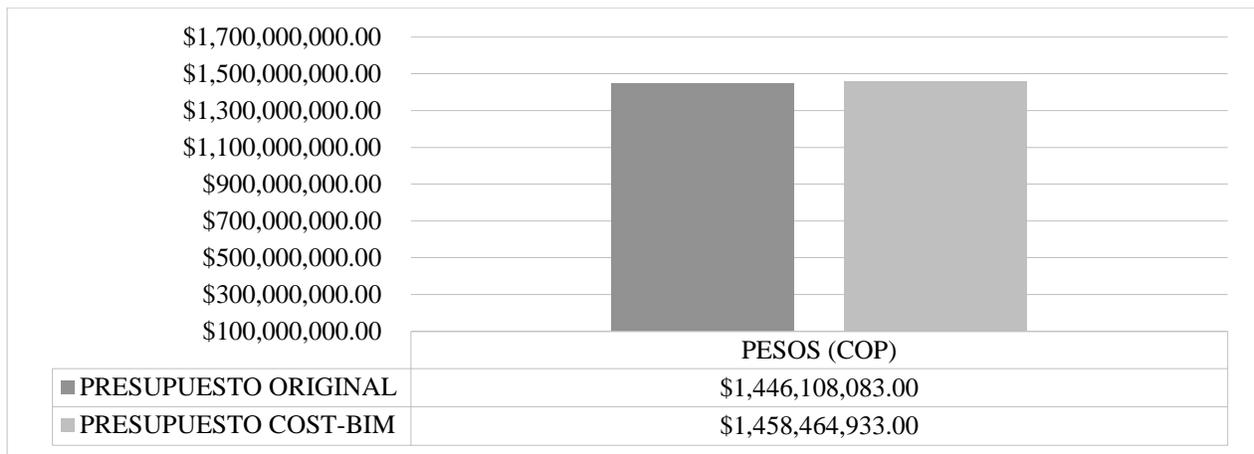


Figura 11. Presupuesto original Vs COST-BIM

Con respecto al módulo cronograma se presentan una diferencia del 4.3% (Ver Figura 12), frente al cronograma original. La diferencia en el cronograma radica en la imposibilidad de programar los días festivos del calendario colombiano en COST-BIM, inconveniente que se solucionara en futuras versiones del software.

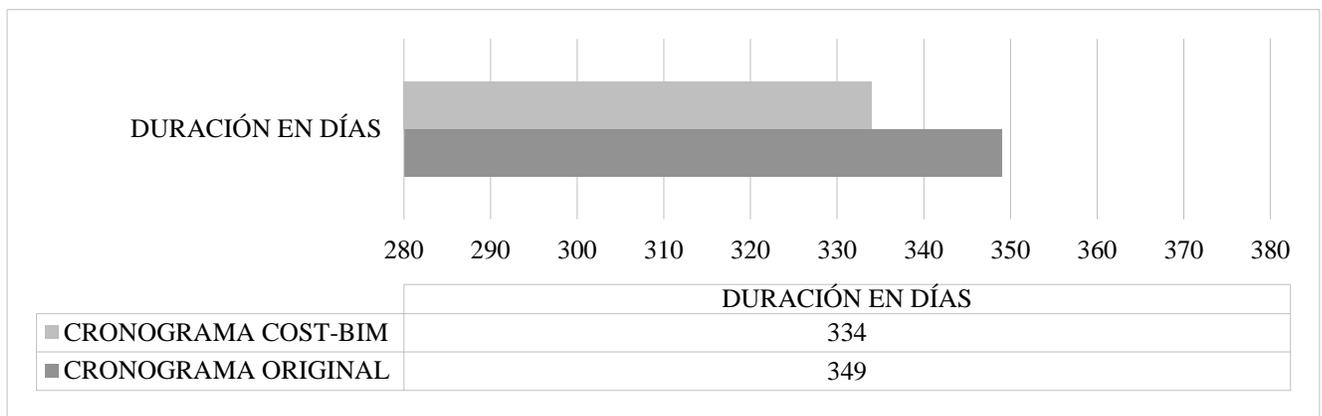


Figura 12. Cronograma original Vs COST-BIM

En relación al módulo EVM, los indicadores y proyecciones generados por COST-BIM fueron idénticos a los generados por la hoja de cálculo de Microsoft Excel, (Ver Figura 13).

CONSOLIDADO DE COSTOS		10/09/2017	
Valor Planeado(PV)		\$	1,241,979.74
Valor Planeado(PV)-Acumulado		\$	1,428,342,939.65
Valor Actual(AC)		\$	1,434,630.12
Valor Actual(AC)-Acumulado		\$	1,399,029,279.51
Valor Ganado(EV)		\$	1,078,979.48
Valor Ganado(EV)-Acumulado		\$	1,396,076,094.99
INDICADORES EVM			
BAC			
DIAS TOTALES			0.75
CPI			1
TCPI			1.00
EAC		\$	1,939,200,658.74
VAC		\$	-480,735,724.86
ETC		\$	1,937,766,028.62
SV		-\$	163,000.26
SPI			0.87
EACt			385
Fecha EAC			23/11/2017

EVM (PROYECTO)	
10-09-2017	
	\$1,241,979.74
	\$1,428,342,939.65
	\$1,434,630.12
	\$1,399,028,473.25
	\$1,078,979.48
	\$1,396,076,094.99
	0.75
	1
	\$1,939,200,658.74
	-\$480,735,724.86
	\$1,937,766,028.62
	-\$163,000.26
	0.87
	385
	23-11-2017
	Presenta Sobrecosto
	Retraso

Figura 13. EVM original Vs. COST-BIM

El proyecto piloto hasta la fecha de corte de 10/09/2017, presenta un avance del 75%, un valor planeado de PV = \$1,458, 464,934, un costo actual de AC = \$1.461.037.538 y un valor ganado de EV = \$1.42.86.111 (Ver Figura 14).

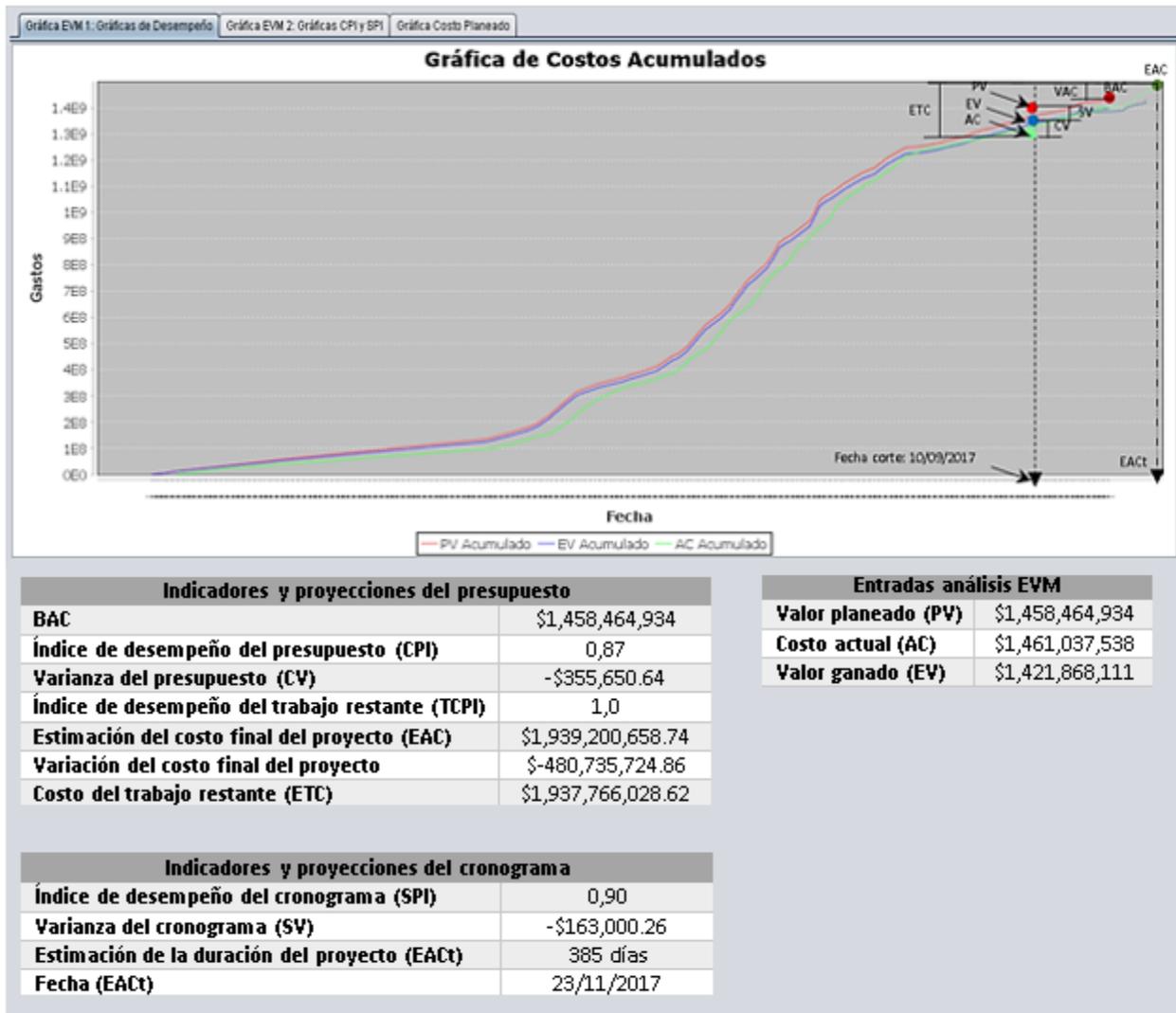


Figura 14. Indicadores y curvas generadas por COST-BIM

Con base a la información de la Figura 14, se evidencia que el presupuesto presenta desempeño negativo con un CPI = 0,75 inferior a 1, indicando una ineficiente inversión del presupuesto durante la ejecución del proyecto. Por ende, se estiman un costo final del proyecto de total de hasta EAC = \$ 1.939.200.658, percibiendo una variación entre el presupuesto planeado y ejecutado de VAC = - \$480.735.724. Respecto al cronograma del proyecto este presenta atrasos, producidos por el incumplimiento de las fechas preestablecidas en el cronograma planeado. El proyecto no inicio el 03/11/2016 como se tenía planeado, sino el 03/11/2016, provocando atraso de una semana al inicio del proyecto, debido al incumplimiento del contratista de movimiento de tierras. Posteriormente se generó un atraso de dos semanas por incumplimiento del contratistas de mampostería. Con este escenario, el cronograma del proyecto presenta un panorama negativo con un SPI = 0,90 inferior a 1, lo cual indica un inadecuado desempeño. Por tal razón, se estima una duración de EACt = 384 días y no 334 días como estaba planteado en la cronograma

planeado, por ende el proyecto finalizara el día 22/11/2017 y no el día 02/10/2017 como se tenía planeado.

Según los indicadores y proyecciones generados, COST-BIM estima un escenario negativo para el proyecto piloto hasta la fecha de corte. Por esto, con sistemas como el propuesto en COST-BIM se podría mitigar este tipo de escenarios negativos, identificando las actividades del proyecto causantes de las variaciones entre el cronograma y el presupuesto planeado y ejecutado.

Por tal razón, este tipo de sistemas se convierten en una herramienta útil para los gestores de construcción, durante la planificación y diseño, y adquiere mayor relevancia durante la ejecución, seguimiento y control para la toma de decisiones para cambiar el rumbo del proyecto, todo lo anterior si se realiza su implementación desde el inicio del proyecto.

Con la implementación COST-BIM y su sistema BIM-EVM en el proyecto piloto, se demuestra que la herramienta funciona según se esperaba y cumple con los requisitos y especificaciones establecidas previamente, ya que genera las alertas necesarias para poder realizar una toma de decisiones asertiva durante la ejecución del proyecto.

5. Discusión

En la actualidad se cuenta con diferentes software OpenBIM, dedicados a la gestión de proyectos desde el (BIM2D) hasta el (BIM5D). Investigadores como (Su, Chen, & Chien, 2015), desarrollaron CSIS interoperable con Autodesk Revit, capaz de integrar el presupuesto y cronograma en una única interfaz. Dicha herramienta sólo concibe la fase de planeación de los proyectos constructivos, puesto que no desarrolló en su interfaz un módulo de control de costos y tiempo. (Jrade & Lessard, 2015), desarrollaron ITCMS logrando la integración del presupuesto y cronograma, añadiendo un control de tiempo y costo por medio de la técnica EVM. Sin embargo, el uso de diferentes herramientas para gestión de proyectos constructivos produce reprocesamiento y fugas de información.

A si mismo, el mercado de software para la gestión de proyectos de construcción ofrece diferentes alternativas. La Tabla 1, registra algunos de estos, junto con las falencias encontradas frente a COST-BIM y al sistema BIM-EVM.

Tabla 1. COST-BIM Vs. Otras herramientas

Software	Desventaja frente a COST-BIM
Edificar	No integra cronograma en su interfaz, generando reproceso de información. No exportar información del cronograma automáticamente desde su interfaz para simulaciones 4D. (EVM) general, los indicadores generados no son por actividad.

Opus-2015	No OpenBIM, no integra cronograma en su interfaz lo que impide la exportación de la información del cronograma para simulaciones 4D.
SAP	No integra cronograma en su interfaz. No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Microsoft-Project	Genera fugas y reprocesos de información. No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Microsoft -Excel	No integra el cronograma en su interfaz. Genera fugas y reprocesos de información.
Presto	No integra cronograma en su interfaz. No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Sinco-ERP	No OpenBIM. No integra el cronograma en su interfaz. No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Primavera-P6	No genera el presupuesto en función del modelo BIM, por ende, en actualizaciones del presupuesto se presentan fugas y reprocesamientos de información.
Tilos-Software	No OpenBIM. No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Vico-Software	No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).
Synchro-Software	No controla cronograma y presupuesto mediante (EVM).

Por lo anterior, se infiere que COST-BIM reduce la brecha encontrada en aplicativos como ITCMS, CSIS y software del mercado. Debido a que COST-BIM integra tiempo y costo en una sola interfaz, al igual que la metodología BIM y técnica EVM, gestionado así proyectos desde su planeación y diseño hasta su ejecución, seguimiento y control en un entorno OpenBIM, controlando el desempeño del cronograma y del presupuesto de proyectos constructivos en una sola interfaz, a través de la técnica EVM.

6. Conclusiones

COST-BIM se acomoda a la metodología BIM y aprovecha los beneficios de los software de modelación y de control en la gestión de modelos de construcción BIM, para realizar la

coordinación y visualización de proyectos constructivos, con el fin de asociar el tiempo y costo a cada componente de un modelo de construcción 5D. De igual forma se ajusta y fomenta las buenas prácticas del Project Management Institute (PMI), desarrollando cronogramas y presupuestos según lo aconseja el PMI, también se consideró el control de cambios dentro del modelo 3D, y el control del desempeño del proyecto en sus líneas base en función a la EDT del proyecto.

Tiene el potencial de mejorar el flujo de trabajo en la gestión de proyectos de construcción ya que se identificaron múltiples beneficios desde su implementación en el proyecto como: la capacidad de asociar valores detallados de tiempo y costo de cada uno de los componentes del modelo de construcción durante la fase de planeación, automatiza el proceso de estimación de costos y elaboración de presupuesto, realiza la creación de una línea de base de tiempo y costo que sirve de referencia para un análisis de rendimiento de EVM en cualquier fecha de corte del proyecto y estima la posible dirección hacia la cual se dirige el proyecto, utilizando tendencias de desempeño para brindar al gestor de proyectos un escenario tentativo del futuro del proyecto.

Se considera que COST-BIM, junto con herramientas BIM, mejorará las buenas prácticas de construcción y promoverá la implementación de la técnica EVM y metodología BIM en el sector de la construcción. También, ayudará a los gestores de construcción a tomar decisiones vitales en el momento indicado durante la etapa de planeación y ejecución del proyecto, ya que dentro de la herramienta es posible analizar los indicadores de una manera general (Análisis por Proyecto) o de forma específica (Análisis por objeto de control, paquetes de trabajo y entregables) ya que los analiza de forma independiente.

En un futuro, COST-BIM podría desarrollar dentro de sus módulos la gestión del riesgo y la calidad, ya que podrían estar vinculados directamente al modelo BIM 5D, beneficiando a los gestores de construcción a gestionar eficazmente sus proyectos.

Además, es recomendable que en próximas versiones, esta herramienta de gestión se pueda vincular con otras herramientas contables o de control de costos para poder llevar de manera más automatizada y precisa los Costos Actuales generados por cada uno de los entregables, ya que actualmente el usuario debe insertar estos costos de manera manual.

Referencias

- Abadie, R., Raymond, W., Morgan, A., & Caletka, T. (2013). *Correcting the course of capital projects Plan ahead to avoid time and cost overruns down the road*. Delaware: PWC network.
- Chou, J., Chen, H., Hou, C., & Lin, C. (2010). Visualized EVMsystem for assessing project performance. *Automation in Construction*, 596-607.
- Czarnigow, A. (2008). Earned value method as a tool for project control. *Budownictwo i*

Architektura, 15-32.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey : Jhon Wiley&Sons, Inc.

Enshassi, A., & Abuhumra, L. (2016). Investigación de las funciones del modelado de la información de construcción en la industria de la construcción en Palestina. *Revista Ingeniería y Construcción*, 127-138.

Hitt, M., Black, S., & Porter, L. (2006). *Administración* . Mexico D.F: Pearson .

Isaza, P., Botero, F., & Vasquez, H. (2015). Estado de la Practica BIM en Colombia. *Sibragec Elagec*, 1-9.

Jrade, A., & Lessard, J. (2015). An Integrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study. *Journal of Cosntruction Engineering*, 1-10.

Kim, S. (2009). Project success indicators focusing on residential projects: are schedule performance index and cost performance ndex accurate measures in earned value? *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1700-1710.

Messner, J. (2010). *Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania: Charles Pankow Foundation and The Pennsylvania State University.

Miyagawa, T. (1997). Constructionmanageability planning—a system for manageability analysis in construction planning. *Automation in Construction*, 175-191.

Project Management Institute. (2005). *Practice Standard for Earned alue Management*. Pennsylvania: Project Management Institute Inc.

Staub-French, S., & Khanzode, A. (2007). 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 381-407.

Stevens, M. (1986). Cost control: integrated cost/schedule performance. *Journal of Management in Engineering*, 157-164.

Su, L. F., Chen, H. W., & Chien, C. H. (2015). Integration of Cost and Schedule Using BIM. *Journal of Applied Science and Engineering*, 223-232.