



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

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

Presentado por:

**Christian Camilo Cárdenas Jiménez**  
**Paola Natalia Zapata Roza**

Trabajo de grado presentado a la

Maestría de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Civil  
Pontificia Universidad Javeriana

Bogotá D.C., Colombia, Enero 2018

**1**



Aprobado por:

**Natalia Elizabeth Lozano Ramírez. I.C., Arq. MS Arch.**

Directora

Departamento de Ingeniería Civil  
Pontificia Universidad Javeriana

**Adriana Gómez Cabrera MSc.**

Jurado Interno

Departamento de Ingeniería Civil  
Pontificia Universidad Javeriana

**William Marcel Picón Arciniegas MSc.**

Jurado Externo

Bioconstrucciones, Bogotá D.C., Colombia

Aprobado en Bogotá D.C., Enero de 2017

**2**



## Resumen

Muchos proyectos de construcción presentan incertidumbre en sus presupuestos y cronogramas. Asimismo, el manejo de tiempo y costos es inconsistente. Esta situación ha obligado a la industria AEC a replantear su forma tradicional de gestionar proyectos. Actualmente 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 planificación y diseño de proyectos de construcción. Esta investigación propone la integración de (BIM) y (EVM) mediante una herramienta computacional OpenBIM llamada COST-BIM, diseñada bajo el lenguaje de programación JAVA y entorno de desarrollo NetBeans 8.0.1. Tiene como prioridad gestionar el tiempo y los costos de proyectos constructivos bajo una única interfaz durante las fases de planeación, ejecución y seguimiento y control. COST-BIM está conformado por seis módulos y quince procesos. El sistema provee a diseñadores beneficios en la fase de diseño; además los profesionales de planeación pueden sincronizar el modelo 3D y actualizar automáticamente los parámetros de tiempo y costo, así como optimizar el proceso constructivo del proyecto a través de un proceso de simulación 4D y detección de choques que da como resultado reducciones presupuestarias y horarias. Adicionalmente, es una herramienta útil para gestores de proyectos de construcción que se esfuerzan por aumentar el rendimiento sus proyectos. Los autores corroboraron en este documento la validez de usar COST-BIM a través de un proyecto real.

## Palabras Clave

Metodología BIM 5D, Herramienta computacional, Building Information Modeling, Control de cronograma, Planificación de edificaciones VIS, Gestión del valor ganado EVM, Línea base de proyecto, Gestión del alcance, Gestión de cronograma, Gestión de presupuesto, Modelos parametrizados BIM.



## Abstract

*Many construction projects present uncertainty in their budgets and schedules. Also time and cost management is inconsistent. This situation has forced the AEC industry to rethink its traditional way of managing projects. Currently there are methodologies and techniques that improve the management of construction projects. Earned Value Management (EVM) techniques ideal for planning, monitoring and controlling the management of time and costs during the execution of projects and methodologies. This paper proposes the integration of (BIM) and (EVM) using an OpenBIM computational tool called COST-BIM, designed under the JAVA programming language and NetBeans 8.0.1 development environment. It has as a priority to manage the time and costs of construction projects under an only interface during the planning, execution and monitoring and control phases. COST-BIM is made up of six modules and fifteen processes. The system benefits in the design phase; moreover planning professionals can synchronize the 3D model and automatically update the time and cost parameters, as well as optimize the construction process of the project through a 4D simulation process and the detection of collisions resulting in budget reductions and schedules. Additionally, it is a useful tool for construction project managers who strive to increase the performance of their projects. The authors corroborated in this document the validity of using COST-BIM through a real project.*

## Keywords

*BIM 5D Methodology, Computational Tool, Building Information Modeling, Schedule Control, VIS Construction Planning, EVM Earned Value Management, Project Baseline, Scope Management, Schedule Management, Budget Management, BIM Parameterized Models.*



# Índice General

Capítulo 1.....	8
1. Introducción .....	8
1.1. Hipótesis .....	12
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1. Objetivo General .....	12
1.2.2. Objetivo Especifico.....	13
Capítulo 2.....	13
2. Marco de Referencia.....	13
2.1.1. Building Information Modeling BIM.....	13
2.1.2. Gestión del Valor Ganado EVM .....	17
2.2. Software de Gestión del Mercado Nacional e Internacional.....	22
2.3. Marco Demográfico.....	24
Capítulo 3.....	27
3. Desarrollo del Software COST-BIM .....	27
3.1 Ingeniería de Software .....	27
3.2 Proyecto Piloto .....	35
Capítulo 4.....	36
4. Resultados .....	36
4.1. Funcionamiento de COST-BIM .....	36
4.1.1. Interoperabilidad de la herramienta .....	36
4.1.2. Exportación e Importación de cantidades.....	37
4.1.3. BIM Execution Plan.....	37
4.1.4. Presupuesto COST-BIM.....	38
4.1.5. Cronograma COST-BIM.....	39
4.1.6. EVM COST-BIM .....	40
4.1.7. Curvas de desempeño COST-BIM .....	43
4.2. Corroboración de valores del proyecto piloto obtenidos de COST-BIM .....	44
Capítulo 5.....	47
5. Discusión.....	47
Capítulo 6.....	49
6. Conclusiones .....	49



Capítulo 7.....	51
7. Recomendaciones .....	51
Referencias.....	51

## Índice de Figuras

Figura 1. Beneficios económicos y de proyecto según usuario.....	9
Figura 2. Nivel de beneficios del uso BIM según usuarios regulares .....	10
Figura 3. Dimensiones BIM. Modificada de.....	15
Figura 4. Valor planeado .....	17
Figura 5. Valor Actual.....	18
Figura 6. Valor Ganado .....	18
Figura 7. Indicadores de desempeño y proyecciones del presupuesto.....	20
Figura 8. Indicadores de desempeño y proyecciones del cronograma .....	21
Figura 9. Herramientas BIM usadas.....	22
Figura 10. Niveles de adopción.....	25
Figura 11. Tipo de proyectos.....	25
Figura 12. Usos de BIM en usuarios indirectos.....	26
Figura 13. Arquitectura del sistema de COST-BIM .....	29
Figura 146a. Arquitectura del sistema de COST-BIM .....	30
Figura 15. Desarrollo metodológico de COST-BIM durante ciclo de vida del proyecto .....	33
Figura 16. Modelo arquitectónico del proyecto piloto .....	35
Figura 17. Modelo estructural del proyecto piloto.....	35
Figura 18. Modelo MEP del proyecto piloto.....	36
Figura 19. BEP COST-BIM .....	38
Figura 20. Modulo presupuesto COST-BIM .....	39
Figura 21. Modulo cronograma COST-BIM.....	40
Figura 22. Modulo Datos entrada EVM .....	41
Figura 23. Indicadores de desempeño EVM actividades .....	41
Figura 24. Indicadores de desempeño EVM proyecto.....	42
Figura 25. Curva de desempeño del Proyecto .....	43
Figura 26. Grafica de indicadores CIP y SPI.....	43
Figura 27. Curva acumulada del Proyecto y flujo de caja .....	44
Figura 28. Curvas de desempeño del Proyecto COST-BIM .....	45
Figura 29. Presupuesto Original VS COST-BIM .....	47
Figura 30. Cronograma Original VS COST-BIM.....	47
Figura 31. Sobre el futuro de BIM .....	49



## Índice de Tablas

Tabla 1. Formato exportación de cantidades de Revit Autodesk ®.....	37
Tabla 2. Comparación presupuesto.....	45
Tabla 3. Comparación cronograma .....	45
Tabla 4. Elementos de la técnica EVM.....	46
Tabla 5. Indicadores del presupuesto .....	46
Tabla 6. Indicadores del cronograma .....	46

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuaciones de Indicadores de desempeño y proyecciones del presupuesto....	20
Ecuación 2. Ecuaciones de Indicadores de desempeño y proyecciones del cronograma.....	21



## 1. Introducción

Las constructoras destinan gran parte de sus recursos y tiempo a gestionar y controlar sus proyectos. Utilizan por lo general, la elaboración de presupuestos y cronogramas para gestionarlos durante las fases de planeación, seguimiento y control y ejecución, para mitigar sobrecostos y retrasos asociados al proyecto, con el fin de maximizar sus utilidades (Hitt, Black, & Porter, 2006). Desarrollar un presupuesto y un cronograma de un proyecto de construcción, es fundamental en la planeación del mismo. Aquí se conforman las líneas base del proyecto constructivo, usadas para comparar el desempeño del proyecto durante la fase de ejecución, respecto a las proyecciones planteadas en la fase de planeación. Su utilización en conjunto con técnicas de medición, las convierte en una herramienta útil y potencial para generar análisis financieros y control de tiempo de proyectos de construcción.

Para la conformación de un presupuesto y de un cronograma detallado en fase de planeación, es necesario la recopilación de grandes volúmenes de información referentes al proyecto, provenientes de diferentes profesionales involucrados. A su vez, de los requerimientos por parte del cliente, que son cada vez mayores, con una gran variedad de instalaciones, materiales, insumos, recurso humano y procedimientos que exigen la aplicación no solo de herramientas eficaces de gestión y planificación en la construcción, sino también de una adecuada revisión, compatibilización y realimentación del diseño del proyecto antes y durante la etapa de construcción (Taboada; Alcántara; Lovera; Santos , 2011). Todo esto ha provocado que la industria considere reevaluar su rendimiento y buscar metodologías para mejorar e integrar todas las profesiones involucradas en el desarrollo del proyecto, con el fin de mantener el presupuesto y cronograma según lo planificado, dicho de otra manera, sin desviaciones en tiempo y costo.

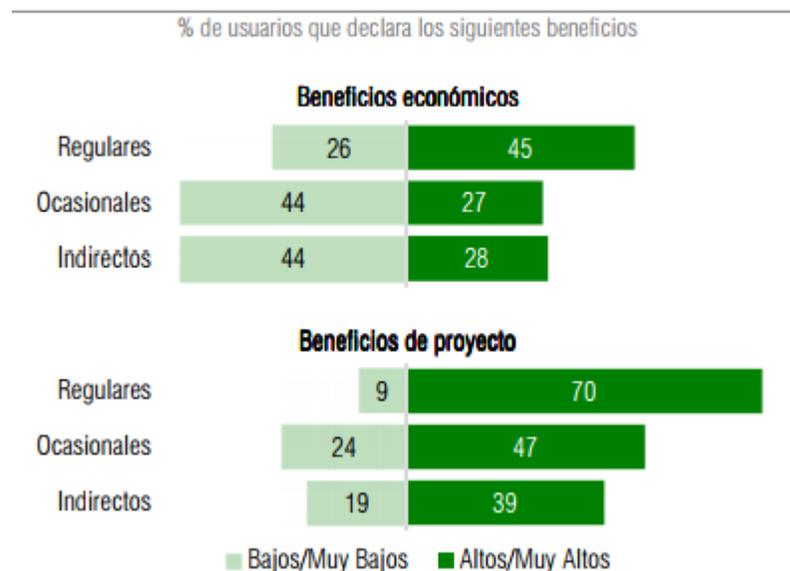
Según (Porrás, Sánchez, Galvis, & Jaimez, 2015) la problemática de las desviaciones entre los costos planificados y ejecutados se presenta a nivel mundial y nacional. De acuerdo con el estudio "Correcting the course of capital projects" elaborado a nivel mundial por ( PricewaterhouseCoopers LLP, 2013), realizado a 975 proyectos de construcción, tan solo el 6.1% de los proyectos al construirlos están dentro del presupuesto, y el 36.4% de los proyectos presentan sobrecostos por encima del 50% del presupuesto de construcción planeado. Estos datos, permiten apreciar el gran impacto de la incertidumbre que presentan los presupuestos y cronogramas de los proyectos en fase de planeación, provocando altas variaciones del costo final del proyecto (Popescu, Phaobunjong, & Ovararin, 2003). Sin embargo, este fenómeno no es propio de la fase de planeación. Durante la fase de ejecución, por lo general se generan sobrecostos y demoras, a consecuencia de la falta de un sistema o técnica para controlar el desempeño del trabajo realmente realizado; aumentando aún más las variaciones de las líneas base del proyecto, en comparación con la planeación original del proyecto.

Por su parte, la industria de la construcción en Colombia padece de incertidumbre en sus presupuestos y cronogramas, debido a que gran parte de las constructoras realizan la asignación de sus recursos manualmente, o en el mejor de los casos con programas abiertos que permiten la manipulación de su código base, lo cual genera errores (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015).



La incertidumbre y variaciones presentes en los presupuestos y cronogramas de la industria de la construcción, son consecuencia de la poca inversión destinada a las nuevas tecnologías y metodologías de gestión de proyectos, como Building Information Modeling (BIM) y Gestión del Valor Ganado (EVM). Según (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015), un porcentaje del 58% de empresas constructoras colombianas reconocen que una de sus principales barreras para adoptar prácticas como (BIM) y (EVM) se encuentra asociado al costo tecnológico que conlleva su implementación y otro 42% lo asocian a los cambios que se deben realizar dentro de la organización. Por su parte, (BIM) y (EVM) son capaces de gestionar proyectos durante las etapas de planificación y ejecución, aumentan la eficiencia del flujo de trabajo, disminuyen la incertidumbre en la cuantificación de recursos asociados a las actividades del proyecto (Fernández Vidal, 2015), y controlando las variaciones en tiempo real durante la ejecución del proyecto (Project Management Institute, 2005).

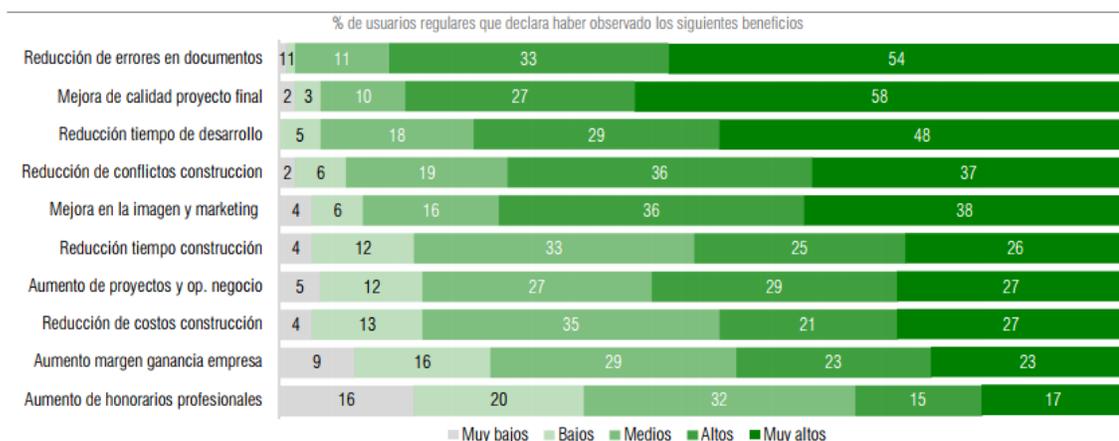
Por ejemplo, según (Loyola, 2016) en la encuesta realiza a la 1338 profesionales de la comunidad chilena del sector de la construcción, al usar la metodología BIM en proyectos se evidencia una considerable reducción de errores en los documentos y mejora de calidad del proyecto final. Estos son los principales beneficios percibidos transversalmente por todos los usuarios. Otros beneficios difieren según tipo de usuario. Como se puede ver en la Figura 1, los beneficios de proyecto (tales como reducción del tiempo de desarrollo y construcción, o reducción de conflictos en obra) aumentan con el nivel de uso (regulares 70%, ocasionales 47%, indirectos 39%). Por otro lado, los beneficios económicos (aumento de honorarios y margen de ganancia) son percibidos principalmente por usuarios regulares (45% altos/muy altos), mientras que usuarios ocasionales e indirectos muestran niveles inferiores similares (27%), ver Figura 1.



**Figura 1. Beneficios económicos y de proyecto según usuario**  
Fuente. (Loyola, 2016)



Asimismo en la Figura 2, se pueden evidenciar detalladamente los beneficios de la metodología BIM en diferentes aspectos de la gestión de proyectos, según los usuarios regulares de la metodología. Se observa que el 87% de los encuestados perciben una reducción de los errores de documentos del proyecto, de igual forma el 85% de los encuestados perciben una mejora en la calidad del proyecto final, de la misma manera el 77% de los encuestados sugieren que se reduce el tiempo de desarrollo del proyecto, igualmente el 73% de los encuestados indican la reducción de los conflictos en la construcción del proyecto. Por su parte y siendo estos aspectos los más importantes según los encuestados el uso de la metodología BIM se reduce los tiempos de construcción y costos de construcción con un 51% y 48% respectivamente. Son evidentes las bondades y beneficios de la metodología BIM en los proyectos, por tal razón, ya dejó de ser una novedad y una tecnología innovadora. BIM sin lugar a dudas es hoy una tecnología en expansión y que llegó para quedarse en el sector de la construcción.



**Figura 2. Nivel de beneficios del uso BIM según usuarios regulares**  
Fuente. (Loyola, 2016)

Lo dicho hasta aquí supone la clara necesidad de reducir la incertidumbre y las variaciones entre el presupuesto y cronograma planeado y ejecutado de los proyectos de construcción. Por ello, es necesario el uso de herramientas computacionales que almacenen toda la información relacionada al proyecto, y sean interoperables con (BIM) y generen indicadores del rendimiento del proyecto.

Por tal razón, desarrollar herramientas computacionales que integren metodologías como (EVM) y que sean interoperables con (BIM), son de gran relevancia e interés para el sector de la construcción en Colombia, ya que este se caracteriza por sus métodos tradicionales y su rechazo al cambio en comparación a otros sectores. Según (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015), el rechazo al cambio es la principal razón por la cual otros países nos aventajan en el uso de sistemas (BIM) o implementaciones de herramientas computacionales de gestión de proyectos. En la actualidad ya se habla sobre esta nueva forma de trabajo (BIM), pero nos encontramos en una fase prematura de su implantación y la mayoría de los esfuerzos se centralizan en la fase de diseño arquitectónico del modelo 3D



Por tal razón, integrar la metodología BIM y la técnica EVM a través de una herramienta computacional resulta ideal para planificar, monitorear y controlar el presupuesto y el cronograma de los proyectos, ayudando a constructoras a controlar sistemáticamente el presupuesto y cronograma de los proyectos de construcción en una única interfaz, evitando por completo la fuga de información y reduciendo la incertidumbre en cuantificación de cantidades referentes al proyecto. Por tanto, esta investigación desarrolló la integración entre (BIM) y (EVM) utilizando una herramienta computacional llamada COST-BIM, diseñada bajo el lenguaje de programación JAVA y el entorno de desarrollo integrado (NetBeans 8.0.1). La herramienta desarrolla el presupuesto del proyecto automáticamente a partir de las tablas de cantidades extraídas del modelo BIM y la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) del proyecto, genera el cronograma en función a la (EDT) y lleva a cabo el control del proyecto mediante la técnica del valor ganado. Además, calcula los indicadores de desempeño del presupuesto, del cronograma, y las posibles proyecciones en tiempo y costo para cada una de las actividades del proyecto y del proyecto en general. Finalmente, genera automáticamente los gráficos de desempeño del proyecto (Curvas S) y flujo de caja del proyecto.

(Stevens, 1986), propone una herramienta de gestión de proyectos basado en la curva de rendimiento, integrando el costo y el tiempo del proyecto. (Miyagawa, Constructionmanageability planning—a system for manageability analysis in construction planning, 1997), plantea un interesante 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), percibe los beneficios de (BIM) en la fase de diseño, debido a que las tareas colaborativas se realizan entre todas las partes consultadas desde el inicio del proyecto, de modo que cada aspecto del diseño puede ser coordinado. Añade 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. Además, (BIM) puede emplearse en proyectos de cualquier tamaño. (Staub-French & Khanzode, 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned, 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, comunicación de intenciones de programación. (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, Estado de la Practica BIM en Colombia, 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 hasta aquí, 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). El autor concluyó que puede ser difícil la recopilación fiable de toda la información requerida por esta técnica. 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 calendario 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, An Integrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study, 2015), proponen un sistema integrado de gestión del tiempo y costos al cual se le denominó (ITCMS). Este sistema está compuesto por una plataforma (EVM) desarrollada en Microsoft Excel y MS Project. 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. Posteriormente, se exporta el modelo en Autodesk Quantity Takeoff para asignar los tiempos de las actividades en MS Project y establecer las estimaciones de costos e integrar esta información con una hoja de cálculo en Microsoft Excel para generar las curvas (EVM) (MS Project). (Su, Chen, & Chien, 2015), desarrollaron un modelo orientado a objetos elaborado en MS Visual #, al cual se le denominó (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.

Actualmente existen múltiples software de seguimiento de tiempo y costos para la construcción. Sin embargo, no existe uno que haya realizado esto mediante la técnica (EVM) y que sea interoperable con la metodología (BIM). Por todo esto, se plantea desarrollar COST-BIM.

## 1.1. Hipótesis

La hipótesis en la cual se fundamenta esta investigación es:

“Desarrollar una herramienta computacional que integre las metodologías BIM 5D y EVM, ayudará a constructoras a controlar sistemáticamente el cronograma y presupuesto de sus proyectos de forma detallada en una única interfaz.”

## 1.2. Objetivos

Para el desarrollo de esta investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### 1.2.1. Objetivo General



Integrar las metodologías BIM 5D y EVM mediante una herramienta computacional.

## 1.2.2. Objetivo Especifico

- 1.2.2.1. Diseñar una herramienta computacional mediante el lenguaje de programación JAVA, por medio del aplicativo Netbeans 8.0.1.
- 1.2.2.2. Corroborar los resultados generados por la herramienta computacional con datos reales obtenidos de un proyecto VIS.
- 1.2.2.3. Generar un manual para el usuario, enfocado en la fácil comprensión del uso de la herramienta computacional.

## Capítulo 2

## 2. Marco de Referencia

### 2.1.1. Building Information Modeling BIM

Por otro lado, Building Information Modeling BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo tridimensional de información digital creado por todos los profesionales involucrados en el proyecto (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Actualmente esta metodología va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación (Fernández Vidal, 2015).

Como se plantea anteriormente, en BIM se trabaja con un modelo único tridimensional. Sin embargo, en la actualidad a este modelo se le pueden añadir diferentes dimensiones que aportan mayor valor agregado a esta metodología como:

**BIM 4D:** Se agrega la dimensión tiempo. Asigna a cada elemento una secuencia de construcción, la cual permite controlar la dinámica del proyecto y realizar simulaciones de las diferentes fases de construcción, diseñar el plan de ejecución y anticipar posibles dificultades. Todo ello hace que se aumente notablemente la productividad y facilite el cumplimiento de plazos previos (Vera, 2016).

**BIM 5D:** Se agrega la dimensión costos. Se abarcar el control de costos y estimación de gastos de un proyecto. De esta forma se tendrá más control sobre la información financiera del proyecto, mejorando su rentabilidad y facilitando los cumplimientos de los presupuestos (Vera, 2016).

Actualmente las capacidades de visualización 3D de BIM permiten a los participantes no sólo ver el edificio en tres dimensiones, sino también ser examinados más a fondo mediante el BIM 4D que asigna



una secuencia de construcción a cada elemento del modelo BIM, permitiendo el control de la dinámica del proyecto, generando simulaciones de las diferentes fases de construcción. Mientras que, el modelo BIM 5D se obtiene de la unificación de la estimación de costos y el modelo BIM 4D. La simulación del modelo BIM 5D representa la simulación del proceso constructivo de cada elemento estructural, teniendo en cuenta la posición en el espacio, las dimensiones de los elementos, el tiempo y el costo de construcción (Vera, 2016).

Con referencia a lo anterior, con el BIM 5D es posible modelar la ejecución constructiva, simular situaciones críticas que pueden afectar el desarrollo normal del proceso constructivo y evaluar su impacto antes de iniciar la construcción del proyecto. Para el aspecto financiero de un proyecto de construcción, un modelo BIM 5D resulta una herramienta ideal, ya que permite modelar y simular los recursos económicos requeridos para la construcción de un proyecto. De esta forma es posible realizar una mejor planificación de los recursos financieros que se requieren en la obra, antes de la ejecución del proyecto.

Con el soporte de un modelo BIM 5D, elaborar un programa de obra acertado, permite analizar por medio de la simulación del proceso constructivo posibles falencias en el programa de obra, y de esta forma dichas falencias son ajustadas antes de iniciar la obra. BIM 5D resulta una herramienta ideal para la planificación de actividades de prevención de riesgos en obra de un proyecto de construcción (Jrade & Lessard, An Integrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study, 2015).

La metodología BIM además de tomar un modelo 3D, integra otras dimensiones adicionales que proporcionan información al modelo, capaces de recrear todos los aspectos y comportamientos del edificio (Fernández Vidal, 2015). En la Figura 3, se exponen lo que los modelos más habituales y en creciente uso ofrecen a día de hoy.

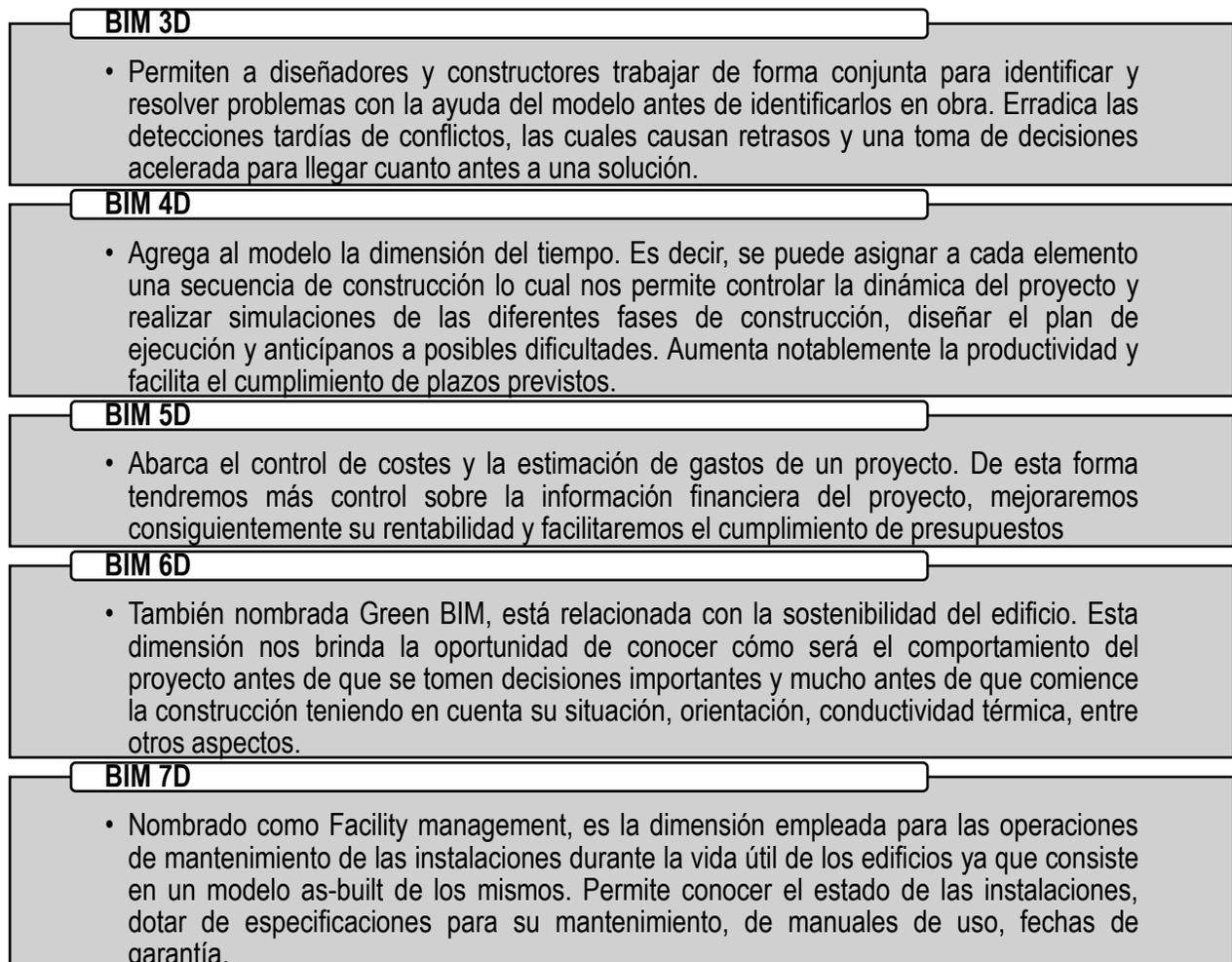
A pesar del gran uso del BIM en el mundo, Colombia se aproxima tímidamente a su adopción. Según una investigación realizada por (Isaza, Botero, & Vasquez, Estado de la Practica BIM en Colombia, 2015), el 94% manifestó que tarde o temprano los modelos de BIM serán una práctica generalizada en los proyectos de construcción, aunque solamente el 18% lo utiliza siempre o frecuentemente, sin embargo los encuestados también manifestaron que las prácticas de BIM permitieron la toma decisiones importantes que incidieron significativamente en el resultado final de los proyectos, aunque las características más avanzadas del BIM como los modelos 4D, 5D, 6D y 7D no son valoradas o son desconocidas por la mayoría de los usuarios. Son varias las razones que argumentan para el bajo nivel de utilización y adopción del BIM como una práctica generalizada, entre las barreras se destacan los costos asociados a los cambios de tecnología, el tiempo invertido en el aprendizaje, la falta de claridad sobre las ventajas de su utilización y los cambios que se deben realizar al interior de las organizaciones para adoptar este nuevo ambiente de trabajo colaborativo que significa el BIM. (Fernández Vidal, 2015).

En las últimas tres décadas, investigadores como Rafael Sacks, Martin Fischer, entre otros, han dedicado su tiempo a diseñar herramientas e implementar metodologías como BIM, capaces de mitigar los diferentes problemas que padece los proyectos de construcción durante sus diferentes etapas.

(Miyagawa, Constructionmanageability planning—a system for manageability analysis in construction planning, 1997), propone un sistema de planificación de administración de la construcción (CMY Planner), el cual construye un plan maestro y horario que representa explícitamente la capacidad de administración de los métodos de construcción previstos, los horarios y la utilización de recursos. El sistema simula la ejecución del proyecto e identifica los posibles factores de riesgo en el plan y programa,



predice la manejabilidad de la construcción con el fin de ayudar a los administradores de proyectos. Por otro lado (Perera & Imriyas, 2004), propone la utilización de MS Access ™ y MS Project ™ para proporcionar un sistema de información de gestión de tiempo y de costes integrado que abarca cálculo, previsión, control de costes, control de los recursos y los costos, y el control financiero. La investigación demostró que un sistema de gestión de costes del proyecto integrado es eficaz y podría ser desarrollado como una solución económica para pequeñas y medianas organizaciones de la construcción. (Staub-French & Khanzode, 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned, 2007), proporcionan directrices para ayudar a los equipos de proyectos a implementar modelados 3D y 4D en la construcción de proyectos de edificios. Ayudando de esta forma a los equipos de proyectos a superar los aspectos técnicos, de procedimiento y problemas de organización que a menudo son un obstáculo para la adopción de estas tecnologías. Comprobó mediante la aplicación de esta metodología, en dos casos de estudio que el modelado 3D y 4D pueden tener un impacto significativo en la ejecución de un proyecto.



**Figura 3. Dimensiones BIM. Modificada de Fuente. Modificado de (Vera, 2016)**

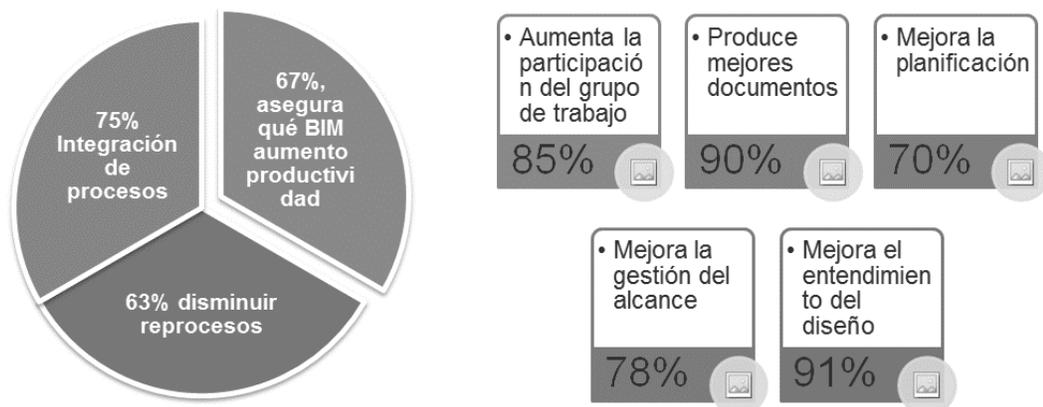


Por su parte (Sacks, Akinco & Ergen, 2007), plantean una metodología automática para recopilar información de las obras de construcción, con el fin de controlar el rendimiento del proyecto y así controlar las actividades y gestionar el tiempo real del proyecto en un circuito cerrado. Curiosamente (Fischer, Fruchter, Hartmann & Peterson, 2011), presenta las experiencias y lecciones aprendidas durante la introducción de la construcción de modelos de información (BIM) en cursos de gestión de proyectos de ingeniería de la construcción.

En la actualidad (Jrade & Lessard, An Inntegrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study, 2015), desarrollo un sistema de gestión (ITCMS) que garantiza la integración y sincronización de tiempo y costo con las mejores prácticas de la construcción, BIM y EVM. El sistema contempla el presupuesto y cronograma de todo el proyecto, monitoreándolo mediante la ayuda de la técnica de la gestión del valor ganado EVM. El sistema de gestión se llevó a cabo de forma descentralizada, en su mayoría mediante herramientas informáticas como MS Project, Microsoft Excel, Autodesk Revit y Autodesk Navisworks. El ITCMS está compuesto por cuatro módulos y trece procesos diferentes. Tiene el potencial de mejorar las prácticas de construcción, pues tiene la capacidad para asociar los valores de tiempo y de costos de cada uno de los componentes del modelo 3D de construcción durante la fase de diseño; además suministra la creación de una línea base de tiempo y línea base de coste que sirve como una referencia para informes sobre el rendimiento de EVM en cualquier momento durante la construcción del proyecto.

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

A continuación se muestra una gráfica tomada de (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015), donde muestra el estado de la implementación BIM en Colombia arrojando resultados muy positivos en la etapa de ejecución.

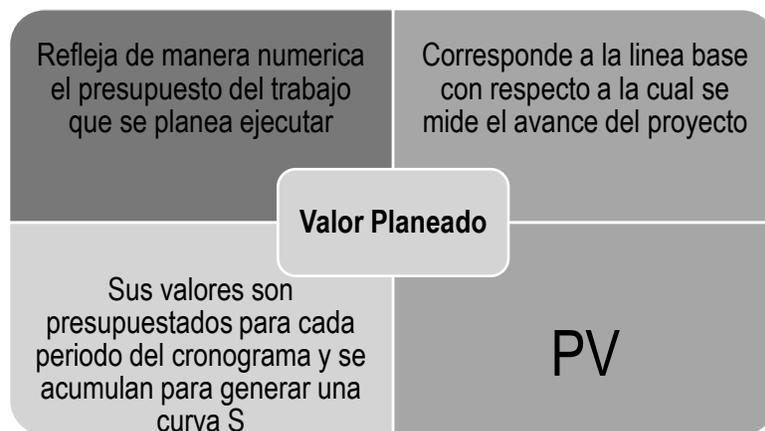


**Figura 4. Beneficios de implementación BIM en una organización**



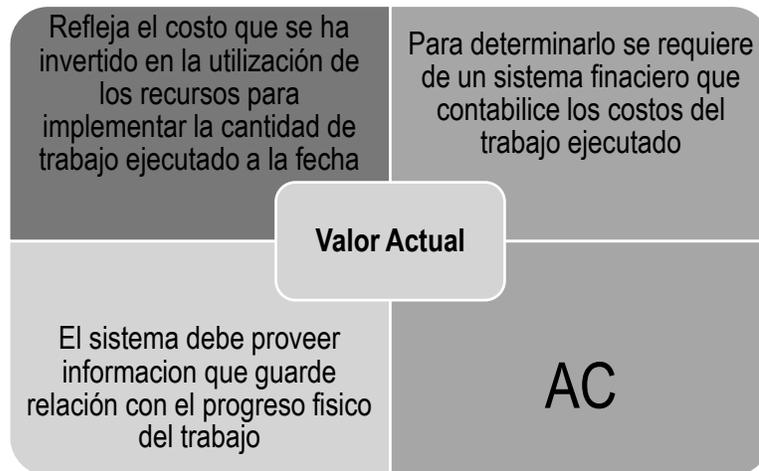
## 2.1.2. Gestión del Valor Ganado EVM

Acorde con (Project Management Institute, 2005), el EVM es una técnica de análisis, que es una interrelación tridimensional entre lo planeado, el trabajo efectivamente realizado (ganado) y los costos reales incurridos en el proyecto. Sin embargo, para llegar a esa correspondencia es necesario poner a disposición de EVM un grupo de procesos o mejores prácticas de gestión de proyectos, que convierten a EVM en un “sistema” complejo de gestión. Efectivamente, EVM se alimenta de la información de la Estructura de desglosé de trabajo (EDT), del cronograma, del presupuesto y de la planificación de recursos, y establece puntos de control donde se integran alcance, tiempo y costo (o se planifican) y se compara el presupuesto de lo planeado o línea de base del proyecto, con el costo incurrido y la medición del trabajo efectivamente realizado. Con esta información se obtienen variaciones de costo y cronograma (en términos de costo), se evalúan índices de desempeño, se observan las tendencias y finalmente se estiman las proyecciones del proyecto. Estas sirven como sustento al Gerente del Proyecto para identificar problemas y tomar decisiones con el objeto de mitigarlos (Project Management Institute, 2005). Para la utilización de la técnica EVM en cualquier tipo de proyecto, es necesario la información de las siguientes variables (Ver Figura 5, Figura 6 y Figura 7 ).



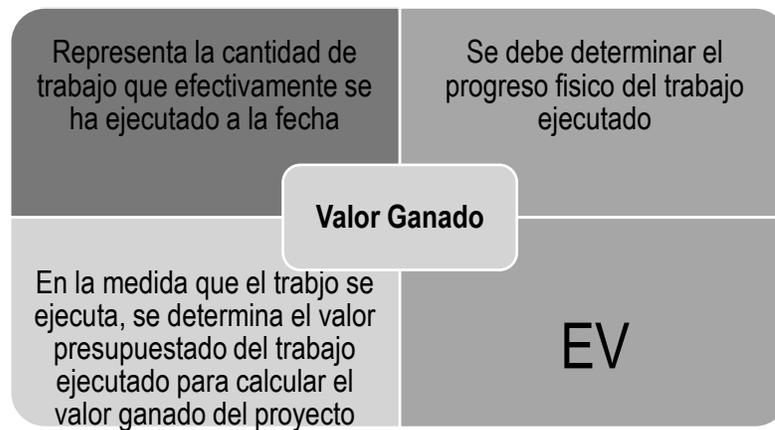
**Figura 5. Valor planeado**

**Fuente.** Modificado de (Ordoñez, 2016)



**Figura 6. Valor Actual**

Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)



**Figura 7. Valor Ganado**

Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)

Considerando que el control del presupuesto y cronograma es muy importante para cualquier organización de la construcción. Según (Project Management Institute, 2005), la gestión de Valor Ganado EVM, es probablemente uno de los sistemas más importantes, y al mismo tiempo menos comprendidos de la dirección de proyectos. Ha demostrado ser una técnica fundamental de seguimiento y control del presupuesto y cronograma de los proyectos, la cual no ha podido ser reemplazada con éxito por otra metodología similar. Así mismo, es poco comprendida porque muchos conocedores de la técnica no han entendido todavía que se trata de un sistema complejo y no meramente de una herramienta aislada de análisis del desempeño del proyecto. (Fleming & Koppelman, 2010). El EVM constituye parte de lo más puro de la dirección de proyectos. Permite al administrador de proyectos rastrear problemas desde el mismo comienzo del proyecto, permitiéndole tomar decisiones de una manera oportuna. Con el fin de



generar estrategias para ajustar el rendimiento del proyecto y hacer compensaciones basadas en los objetivos planteados inicialmente (Baeza Pereyra & Salazar Ledezma, 2005).

Por su parte, la gestión del Valor Ganado puede ser aplicable a cualquier tipo de proyectos, grandes, medianos o menores (aunque con una gestión menos exigente). Es aplicable a un proyecto entero, a cualquiera de las fases del ciclo de vida o inclusive a todos y cada uno de los paquetes de trabajo de la definición de alcance (Project Management Institute, 2005). La técnica del EVM presenta diferentes variables e indicadores. Según (Project Management Institute, 2005), el valor planeado (PV) representa el costo del presupuesto para todas las tareas que fueron planeadas empezar y terminar en el momento del análisis. El valor ganado (EV) representa la suma de todo el costo del presupuesto del trabajo realizado en el momento del análisis. El costo actual (AC) es el costo real del trabajo realizado en el momento del análisis. Esos tres elementos se miden en determinados momentos, y se usan para calcular los índices de desempeño y las variaciones respecto del plan original, que son: El índice del desempeño del cronograma (SPI) es una medida de qué tan bien está avanzando el trabajo respecto del cronograma planificado. El SPI responde a la pregunta ¿Cuál es la proporción entre lo que se hizo realmente (valor ganado) respecto de lo que se planificó hacer (valor planificado)? Si el resultado es mayor que 1, indica que el proyecto está adelantado en el cronograma, o está realizando más trabajo de lo que se planificó haber hecho a un momento dado. La variación del cronograma (SV) es una medida de qué tan lejos está el proyecto respecto del cronograma original. Si el resultado es positivo, indica que el proyecto está adelantado. El índice del desempeño del costo (CPI) es una medida de qué tan eficientemente se están gastando el dinero del proyecto. El CPI responde la pregunta ¿Cuál es la proporción del trabajo hecho frente a lo que realmente pagamos? Si el resultado es mayor que 1, indica que el proyecto está pagando menos por el trabajo hecho, que el costo que se planificó. La variación del costo (CV) es una medida de qué tan lejos está el proyecto del costo presupuestado con respecto al trabajo realizado o ganado. Un resultado positivo indica que el proyecto está pagando menos de lo planificado para el trabajo que se hizo. Estos tres valores de entrada y los cuatro cálculos de salida son los que componen los elementos básicos del EVM (Project Management Institute, 2005).

En la Figura 8, se puede observar los indicadores (CV, CPI, TCPI y VAC) y las proyecciones del presupuesto (EAC y ETC); en Ecuación 1, se agrupan las ecuaciones para cada indicador y proyección del presupuesto. En la Figura 9, se puede observar los indicadores (SY y SPI) y las proyecciones del presupuesto (EACt); en Ecuación 2, se agrupan las ecuaciones para cada indicador y proyección del cronograma.



<b>Variación del presupuesto (CV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El proyecto presenta sobrecostos si <math>CV &lt; 0</math> ahorros respecto al presupuesto si <math>CV &gt; 0</math></li> </ul>
<b>Indice de desempeño de desempeño del presupuesto (CPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cual es la eficiencia a la cual se están invirtiendo los recursos del presupuesto. Si <math>CPI &lt; 1</math> sobrecostos y si <math>CPI &gt; 1</math> ahorros</li> </ul>
<b>Indice de desempeño del trabajo restante (TCPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cual es la eficiencia a la que se deberían invertir los recursos para terminar el trabajo restante de acuerdo al presupuesto inicial.</li> </ul>
<b>Estimación del costo final del proyecto (EAC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cual será el costo del proyecto cuando termine</li> </ul>
<b>Variación del costo Final del proyecto (VAC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cual es la cantidad de sobrecosto o ahorro al final del proyecto</li> </ul>
<b>Costo del trabajo restante (ETC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cual es el costo del trabajo restante</li> </ul>

**Figura 8. Indicadores de desempeño y proyecciones del presupuesto.**  
Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)

<b>Variación del presupuesto (CV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>CV = EV - AC</math></li> </ul>
<b>Indice de desempeño de desempeño del presupuesto (CPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>CPI = EV / AC</math></li> </ul>
<b>Indice de desempeño del trabajo restante (TCPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>TCPI = (BAC - EV) / (BAC - AC)</math></li> </ul>
<b>Estimación del costo final del proyecto (EAC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>EAC = BAC / CPI</math></li> </ul>
<b>Variación del costo Final del proyecto (VAC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>VAC = BAC - EAC</math></li> </ul>
<b>Costo del trabajo restante (ETC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>ETC = (BAC - EV) / CPI</math></li> </ul>

**Ecuación 1. Ecuaciones de Indicadores de desempeño y proyecciones del presupuesto**  
Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)



<b>Variación del cronograma (SV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proyecto esta adelantado o atrasado respecto al cronograma. Si <math>SV &lt; 0</math> atarasado y si <math>SV &gt; 0</math> adelantado</li> </ul>
<b>Indice de desempeño de desempeño del cronograma (SPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cual es la eficiencia a la cual se esta implementando el trabajo si <math>SPI &lt; 1</math> atarsado y si <math>SPI &gt; 1</math> adelantado</li> </ul>
<b>Estimación de la duración del proyecto (EACT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cual sera la duracion total del proyecto</li> </ul>

**Figura 9. Indicadores de desempeño y proyecciones del cronograma**

Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)

<b>Variación del cronograma (SV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>SV = EV - PV</math></li> </ul>
<b>Indice de desempeño de desempeño del cronograma (SPI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>SPI = EV / PV</math></li> </ul>
<b>Estimación de la duración del proyecto (EACT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>EACT = (BAC / SPI) / (BAC / \#meses)</math></li> </ul>

**Ecuación 2. Ecuaciones de Indicadores de desempeño y proyecciones del cronograma**

Fuente. Modificado de (Ordoñez, 2016)

Investigadores dedicados a la investigación fundamentalista de la gestión de proyecto (Czarnigowska, 2008), recomienda el uso de la metodología del Valor ganado como una herramienta de monitoreo mas no como una herramienta de predicción. Expone que esta metodología proporciona el estado del proyecto hasta una fecha de corte del cronograma, identifica eventos potencialmente negativos y realiza una estimación aproximada de este efecto negativo al resultado del proyecto. Por lo cual aconseja, si el proyecto se va a gestionar conscientemente, monitorear estos eventos negativos por medio de métodos más preciosos. Debido a este tipo de inconvenientes que presenta la metodología del valor ganado EVM, algunos investigadores plantean métodos para aumentar y transmitir con éxito los beneficios del EVM en el control de proyectos. (Ghanem, Ghanem, & Abdelrazig, 2006), plantea un nuevo modelo basado en tecnologías de comunicaciones inalámbricas, para seguir el progreso del porcentaje completado en un proyecto de construcción. El modelo se basa en el sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID). Esta técnica aumentará en gran medida la productividad y la eficiencia, reducirá las horas de mano de obra y el tiempo necesario para el seguimiento y dará resultados más precisos en la estimación de la metodología del EVM. Esta nueva tecnología incluye un sistema automático de lectura de etiquetas RFID



colocadas en los artículos que envían o bien un número de seguimiento, u otra información de dicho elemento, directamente al lector. Hacer un seguimiento de los materiales utilizados en el lugar, en base a la cantidad estimada permitirá hacer una mejor estimación de la cantidad de trabajo realizado en una obra de construcción, disminuyendo la incertidumbre de los resultados del EVM.

## 2.2. Software de Gestión del Mercado Nacional e Internacional

El estado del arte de herramientas computacionales es amplio, a continuación se mencionaran algunas de las más destacadas y utilizadas en la industria nacional, más que nada por las grandes constructoras:

OPUS PLANET 2015 es un software de gestión de proyectos, contiene un módulo de planeación y control integral, con el cual se puede controlar las obras o proyectos con las prácticas más comunes llevadas a cabo por las constructoras más grandes de América Latina. Este sistema se adapta a los estándares de la administración de proyectos PMI. Involucra la Gestión del Valor Ganado que permite controlar la ejecución de una obra a través de su presupuesto y de su calendario de ejecución (OPUS PLANET, 2016).

EDIFICAR 9.0 SQL es otro software de gestión de proyectos, con casa matriz en Colombia. Es una solución diseñada en plataforma .net con motor base de datos SQL. Integra y coordina todos los procesos constructivos de empresas constructoras. Ofrece integridad con contabilidad a través de uso de centros de costos que pueden ser las obras, o los capítulos, o las actividades, con software contable tales como Sistema 1, Sistema ERP Enterprise de SIESA, ya sea a través de archivos CGBATCH o conectividad en línea a través de Web service, Sigo Windows y el CRM de Siesa, así como con Factiplan, Bioble, Archicad, Excel, Word, Acrobat Reader y Project de Microsoft. (Torres, 2016)

A nivel de uso de herramientas BIM la herramienta Autodesk Revit® es la dominante en el mercado: es utilizada por un 76% de los usuarios, transversalmente a todas las disciplinas. Un 47% del total declara ser usuario exclusivo de Revit®, sin utilizar ninguna otra herramienta BIM. Le sigue ArchiCAD® con sólo un 28% de usuarios, mayoritariamente arquitectos. La herramienta Navisworks® es usada por un 23% de usuarios, principalmente coordinadores BIM. Tekla® es utilizado casi exclusivamente por ingenieros estructurales. Otros programas muestran tasas de uso marginales (Loyola, 2016).



Figura 10. Herramientas BIM usadas



Fuente. (Loyola, 2016)

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

Por otra parte, software como VICO Y SYNCHRO realizan unos análisis detallados en temas de presupuestos e integración con herramientas BIM existentes en el mercado actual, pero en la fase de ejecución del proyecto no realiza un control detallado del proyecto mediante metodologías o herramientas de control de costos y tiempos.

Gracias al avance tecnológico, en la actualidad también existen aplicativos computacionales de análisis bajo la metodología Open BIM, la cual es un enfoque universal al diseño colaborativo y operativa de los edificios, basado en flujos de trabajo y estándares abiertos, que utilizan el sistema abierto de Building Smart Data Model. Uno de estos aplicativos es Cost-It. Este es un complemento de Revit Autodesk para el software PRESTO, el cual obtiene el presupuesto automáticamente y resuelve todas las tareas para la gestión integral del costo (Silvela, 2015).

Hoy en día, existen varias herramientas avanzadas de software. Por ejemplo, iTWO 4.0 ®, diseñado con un entorno BIM 5D, integrando la información de los módulos de diseño, planificación y



control, conectados a la nube, la producción y la gestión inteligente de la cadena de modelos de construcción. Quizás ITWO 4.0 ® es la tecnología de vanguardia para crear un ambiente de alta calidad.

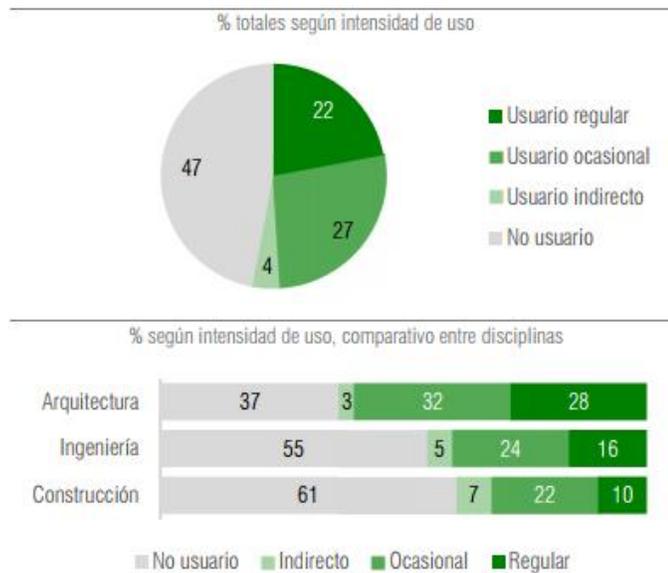
## 2.3. Marco Demográfico

El sector de la construcción tiene gran trascendencia económicamente, representa aproximadamente el 9% del PIB mundial y emplea un 7% de la mano de obra de la población activa mundial (Aguilar , 2015). Sin embargo, las características tanto del producto final como del proceso productivo presentan unas singularidades que lo diferencian de otros sectores y hacen que no sea posible aplicar los mismos métodos.

La práctica y el nivel de uso de EVM y BIM varían según la madurez de una organización a otra y de un proyecto a otro. El uso de EVM, explora algunos factores críticos de éxito para la implementación del mismo haciendo que, los profesionales obtengan una visión más global de la situación actual de su proyecto (Czarnigowska, 2008).

Según (Loyola, 2016), en la encuesta nacional BIM 2016 realizada en Chile más de la mitad de los encuestados (53%) señala ser usuario de BIM. Un 22% del total declaran ser usuarios regulares de la tecnología, es decir, que han utilizado BIM en varios o en la mayoría de sus proyectos en los últimos 12 meses. Un 27% del total se declaran como usuarios ocasionales, es decir, que han usado BIM sólo en un par de proyectos. Un 4% son usuarios indirectos, es decir, que han usado BIM sólo a través de una empresa externa de modelación o coordinación BIM. Las diferencias entre disciplinas son evidentes. El 63% de los arquitectos señala ser usuario, comparado con sólo el 45% de los ingenieros y 39% de los constructores. Los arquitectos tienen la mayor proporción de usuarios regulares (28%), mientras que los constructores tienen la mayor cantidad de usuarios indirectos (7%). Un análisis más fino muestra diferencias entre especialidades de ingeniería: un 57% de los ingenieros estructurales declara ser usuario de BIM, lo que contrasta con sólo un 39% de usuarios especialistas en ingeniería eléctrica, sanitaria o climatización (MEP).





**Figura 11. Niveles de adopción**  
Fuente. (Loyola, 2016)

De igual manera (Loyola, 2016), plantea que el uso de BIM es transversal a todo tipo de proyectos, destacándose los edificios menores a 250m<sup>2</sup> como el caso de uso más frecuente entre usuarios regulares y ocasionales (51%). La coordinación BIM, en cambio, es principalmente requerida para edificios de residenciales en altura (61%), de oficinas (56%) y edificios de salud (56%).



**Figura 12. Tipo de proyectos**  
Fuente. (Loyola, 2016)



Actualmente los principales usos de BIM son para visualización durante diseño y para elaboración de planos generales. El uso para planos de detalles es mayor en ingenieros estructurales que en otras disciplinas. La coordinación de estructuras es más frecuente que la coordinación de instalaciones eléctricas, sanitarias y de clima (Loyola, 2016).



**Figura 13. Usos de BIM en usuarios indirectos**

Fuente. (Loyola, 2016)

Por otro lado, BIM según (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015), actualmente en Colombia las ciudades donde más se implementa la metodología BIM son Medellín (44%) Bogotá (36%) y Cali (8%); y en las etapas del proyecto donde más se encuentra involucrada es: Etapa de Diseño (68%), Etapa de Coordinación (48%) y la Etapa de Construcción (30%). Estos indicadores evidencian que esta metodología está siendo implementada en gran mayoría hasta la etapa de planeación ya que en la ejecución del proyecto no se tiene una buena práctica, aunque un 49% de los profesionales concuerdan que con la representación BIM 4D y 5D se mejora el resultado final en los proyectos en los cuales han participado.

Por su parte, (Diez, Perez, & Montes, 2015) el cual analiza la medición del desempeño en la dirección de proyectos en Colombia, y la influencia que este tiene sobre el éxito en el proceso de ejecución, mediante la adopción de sistemas de medición del rendimiento de los proyectos; se observa que aproximadamente el 19% de los directores no utilizan ningún sistema de medición de desempeño, en algunos casos porque no utilizan procedimientos y tan solo un 7% utiliza herramientas computacionales para el análisis de la información. También se puede apreciar que generalmente se utilizan los indicadores tradicionales como: tiempo (71%), coste (82%), y calidad (35%); y alcance (27%). Es interesante notar que una proporción considerable (18%) habitualmente no utiliza ningún indicador, pese a su condición actual.

Por ende, la adopción de nuevas técnicas y herramientas podría generar una mejora considerable en el desempeño de los proyectos, promoviendo a su vez nuevas estrategias de desarrollo en esta disciplina (Isaza, Botero, & Hernandez, Estado de la práctica BIM en Colombia, 2015).



### 3. Desarrollo del Software COST-BIM

#### 3.1 Ingeniería de Software

La herramienta 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. El primer paso fue 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. Posteriormente se diseñó la interfaz, para lo cual fue necesario crear un contenedor Java dentro del cual se colocaron los otros componentes requeridos por el constructor de interfaz gráfica (GUI Builder). En este paso, se creó un contenedor utilizando el componente JFrame (clase o biblioteca gráfica utilizada para generar ventanas sobre las cuales se puede añadir distintos objetos con los que se puede interactuar con el usuario), para luego ser colocado en un nuevo paquete.

COST-BIM se desarrolló con los siguientes componentes:

**Área de diseño:** Ventana principal del Creador de GUI para crear y editar formularios GUI de Java. El botón Fuente de la barra de herramientas permite ver el código fuente de una clase, el botón Diseño permite una vista gráfica de los componentes GUI, el botón Historial le permite acceder al historial local de cambios del archivo. Los botones de la barra de herramientas adicionales proporcionan un acceso conveniente a los comandos comunes, como elegir entre los modos de selección y conexión, alinear componentes, configurar el comportamiento de redimensionamiento automático de los componentes y pre visualizar formularios.

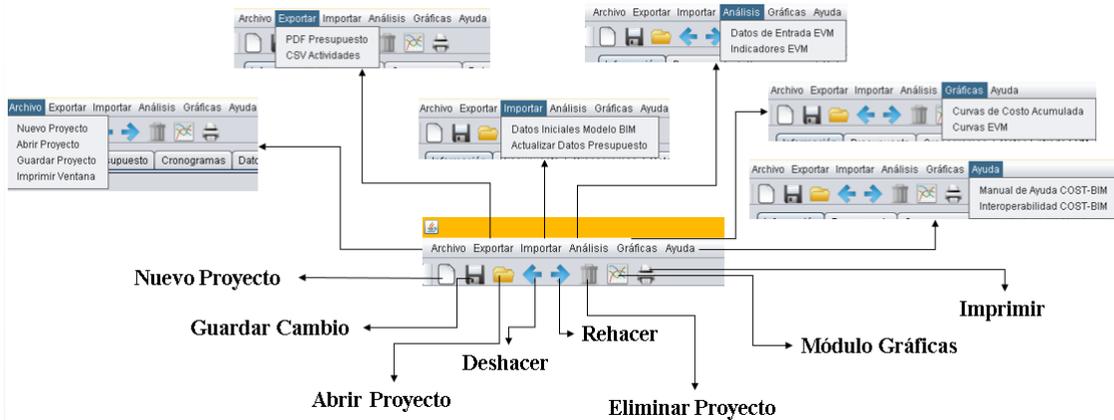
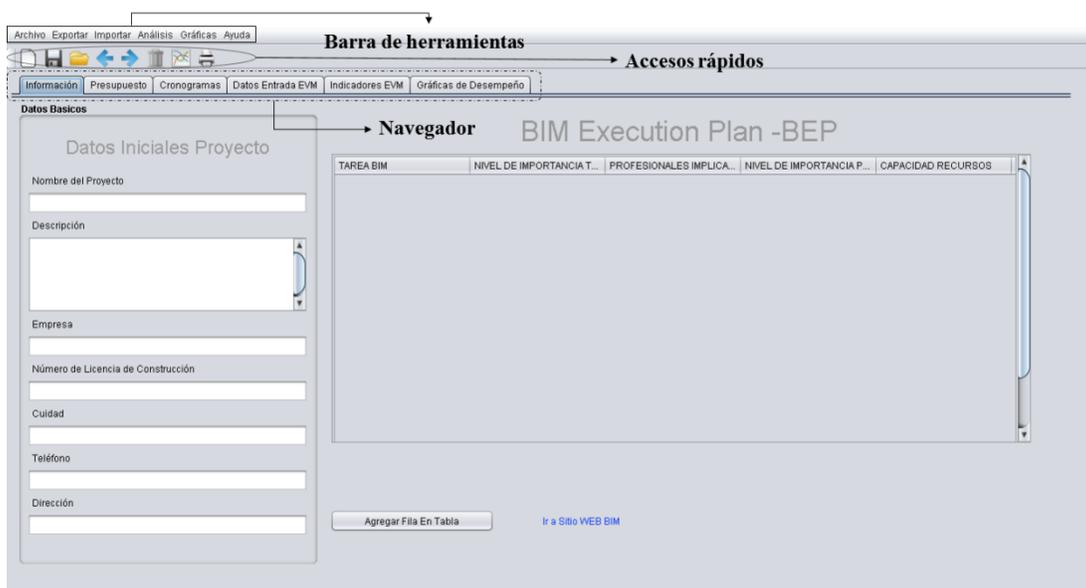
**Navegador:** Proporciona una representación de todos los componentes, tanto visuales como no visuales, en la aplicación como una jerarquía de árbol. El Navegador también proporciona información visual sobre qué componente del árbol se está editando actualmente en el GUI Builder, así como permite organizar los componentes en los paneles disponibles.

**Paleta:** Una lista personalizable de componentes disponibles que contienen pestañas que gestionan el diseño y la arquitectura de la herramienta

**Ventana Propiedades:** Muestra las propiedades del componente seleccionado actualmente en la ventana Constructor de GUI, Ventana de navegación, Ventana de proyectos o Ventana de archivos.

En la Figura 14, se puede detallar los componentes del software y su interfaz gráfica.

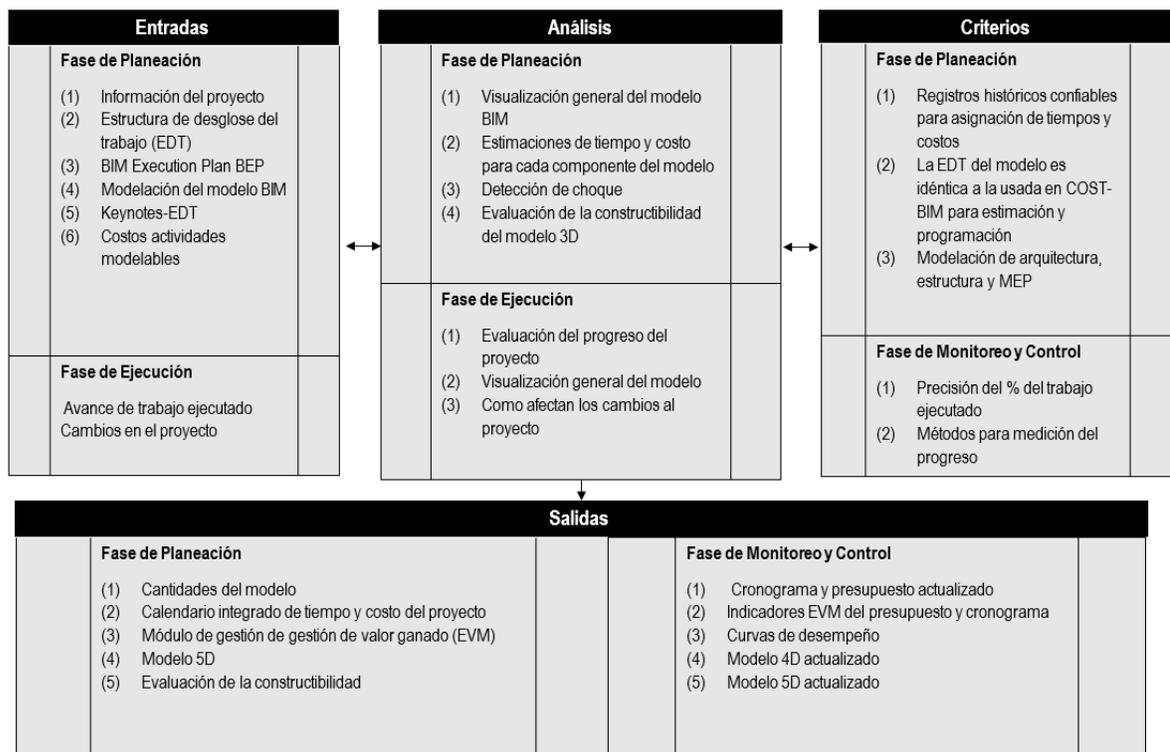




**Figura 14. Interfaz COST-BIM**

En la Figura 15, se enumeran las entradas, análisis, criterios y salidas requeridas para integrar BIM y EVM mediante COST-BIM, utilizando un diseño virtual y de fácil entendimiento para el usuario. La intención general de este estudio es desarrollar una herramienta que sea eficiente de usar, facilite la coordinación de proyectos y mejore la comunicación entre las partes interesadas, asegurando el almacenamiento, la integración y la sincronización de la gestión de información como el alcance, cronograma, presupuesto, plataforma EVM y modelo BIM.





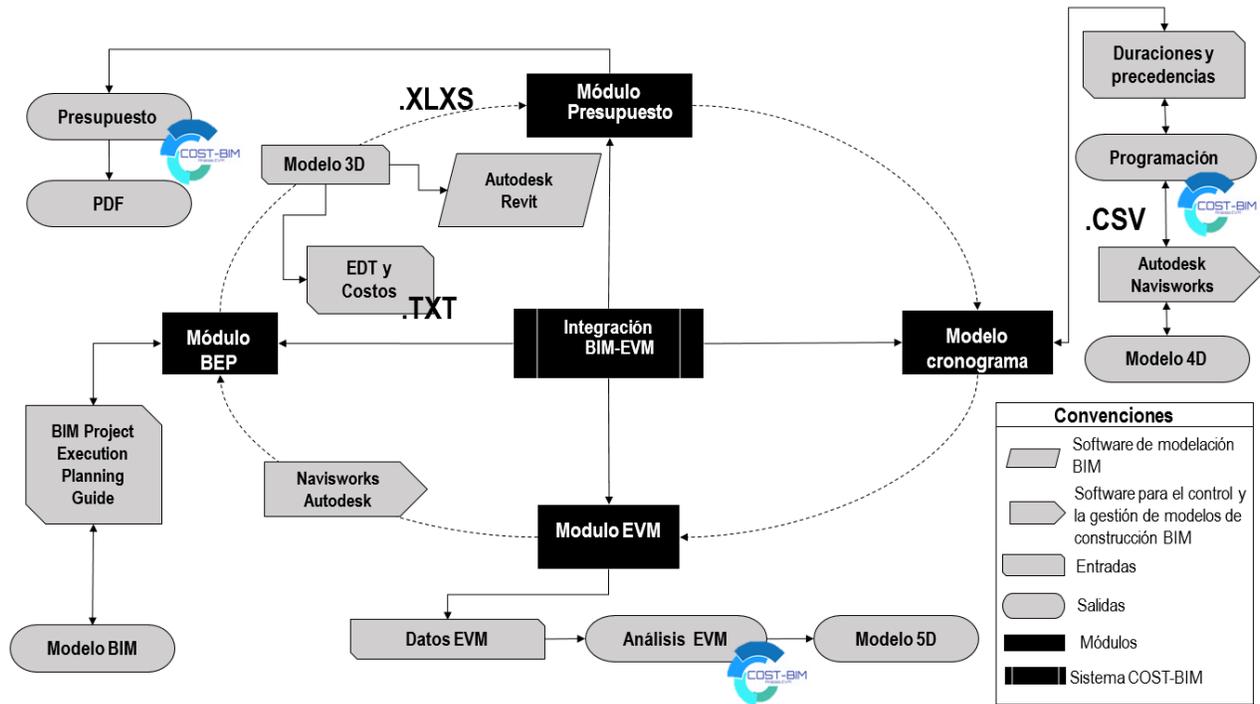
**Figura 15. Arquitectura del sistema de COST-BIM**

COST-BIM puede abordar la planeación, ejecución y control de un proyecto de construcción, mediante su interfaz BIM-EVM, creando su presupuesto y cronograma, al igual que sus correspondientes indicadores y curvas de desempeño. Para lograr la integración de la interfaz BIM-EVM por medio de COST-BIM, es necesario la utilización de 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.

A continuación, en la Figura 16, se describe de manera detallada la integración de las metodologías de gestión de proyectos desarrollada para la integración de BIM y EVM en esta herramienta computacional, siguiendo tres fases importantes: Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control. En cada fase se desarrollan tres áreas del conocimiento tales como, Alcance, tiempo (cronograma) y costo (presupuesto), para gestionar conjuntamente y transversalmente estas áreas del conocimiento respecto a sus correspondientes fases.

El sistema BIM-EVM abordar 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, como se puede ver en la Figura 16.





**Figura 16. Arquitectura del sistema de COST-BIM**

De igual forma en la Figura 18 se detalla cómo funciona el sistema COST-BIM por medio de su interoperabilidad con el software de modelación y control y gestión de modelos de construcción BIM.

El sistema BIM-EVM inicia creando la (EDT) del proyecto. Posteriormente se diligencia el formulario (BEP), donde se registran los responsables y responsabilidades relacionadas con el modelo BIM. 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. 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 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 COSTBIM permite actualizar el presupuesto automáticamente en función de los cambios efectuados directamente en el modelo 3D, sin perder la información añadida anteriormente.

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 ingresa 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.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que todo este proceso está enmarcado bajo la herramienta de la mejora continua llamada PVHA (**PLANEAR-HACER-VERIFICAR-ACTUAR**), ya que con la aplicación de una modalidad circular, el proceso o proyecto no termina cuando se obtiene el resultado deseado, sino que más bien, se inicia un nuevo desafío no sólo para el responsable de cada proceso o proyecto emprendido, sino también para la propia organización. Además, permite identificar las oportunidades de mejora y se aplican análisis con métodos más simples y eficientes para reducir costos, eliminar desperdicios y mejorar la calidad de los productos y los servicios.

El ciclo PHVA es un ciclo dinámico que puede ser empleado dentro de los procesos de un proyecto. Es una herramienta de simple aplicación y, cuando se utiliza adecuadamente, puede ayudar mucho en la realización de las actividades de una manera más organizada y eficaz. Por tanto, adoptar la filosofía del ciclo PHVA proporciona una guía básica para la gestión de las actividades y los procesos, la estructura básica de un sistema, y es aplicable a cualquier proyecto.

Por ende, mediante esta metodología se enmarco todo el proceso de mejora continua dentro del proyecto ya que dentro de esta herramienta computacional el usuario debe tener en cuenta todas estas fases para corregir de esta forma desviaciones en el proyecto y poder tomar decisiones sobre las mismas. A través del ciclo PHVA el proyecto se puede planear, estableciendo objetivos, definiendo los métodos para alcanzar los objetivos y definiendo los indicadores para verificar que en efecto, éstos fueron logrados. Luego, se implementa y realiza todas sus actividades según los procedimientos y conforme a los requisitos y a las normas establecidas en la fase de planeación, comprobando, monitoreando y controlando el proyecto y su el desempeño en todos los procesos clave.

Luego, se mantiene esta estrategia de acuerdo a los resultados obtenidos, haciendo girar de nuevo el ciclo PHVA mediante la realización de una nueva planificación que permita adecuar y los objetivos planteados originalmente, así como ajustar los procesos a las nuevas circunstancias que enmarquen el proyecto. Por lo tanto de manera resumida se enmarcaran los procesos del proyecto COST-BIM en las siguientes fases:



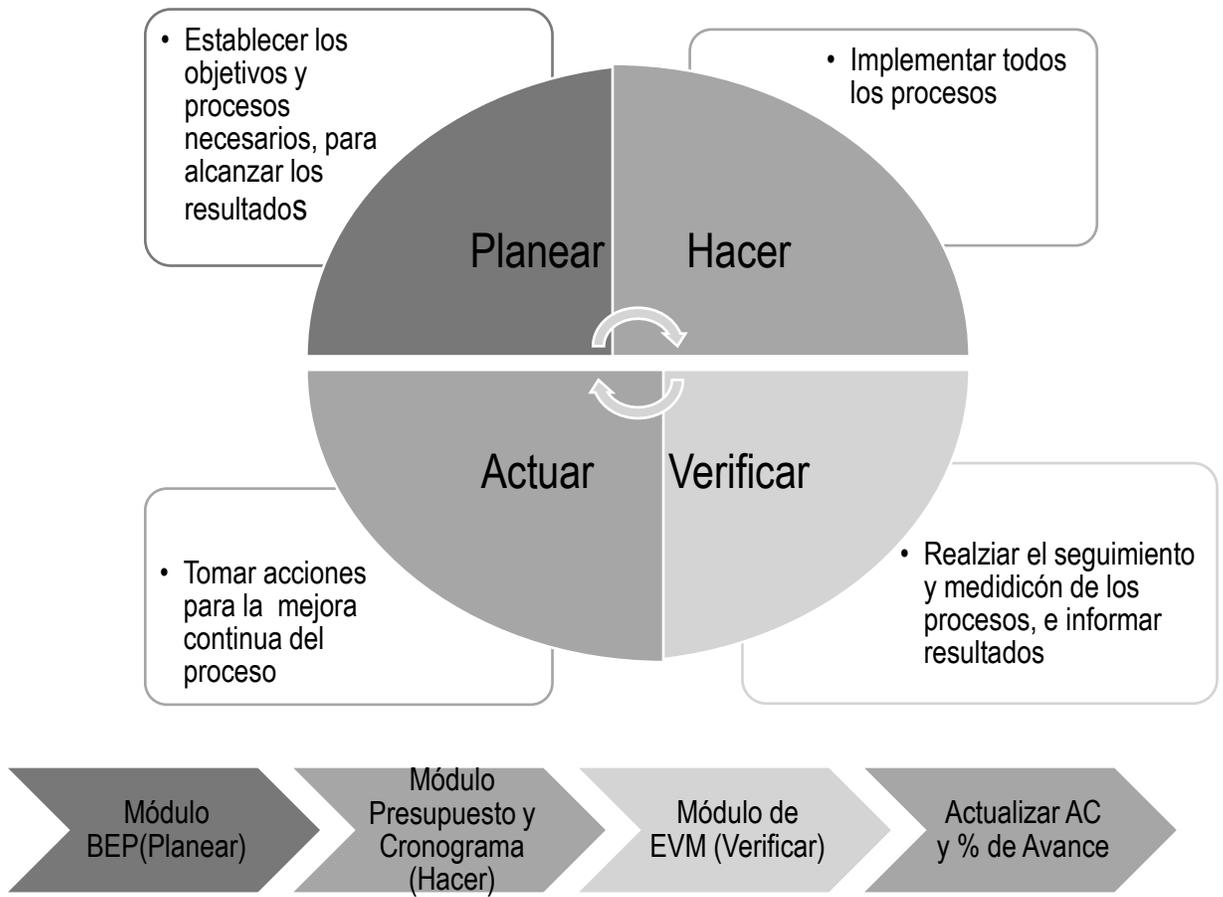


Figura 17. Ciclo PHVA para la mejora continua del proceso COST-BIM

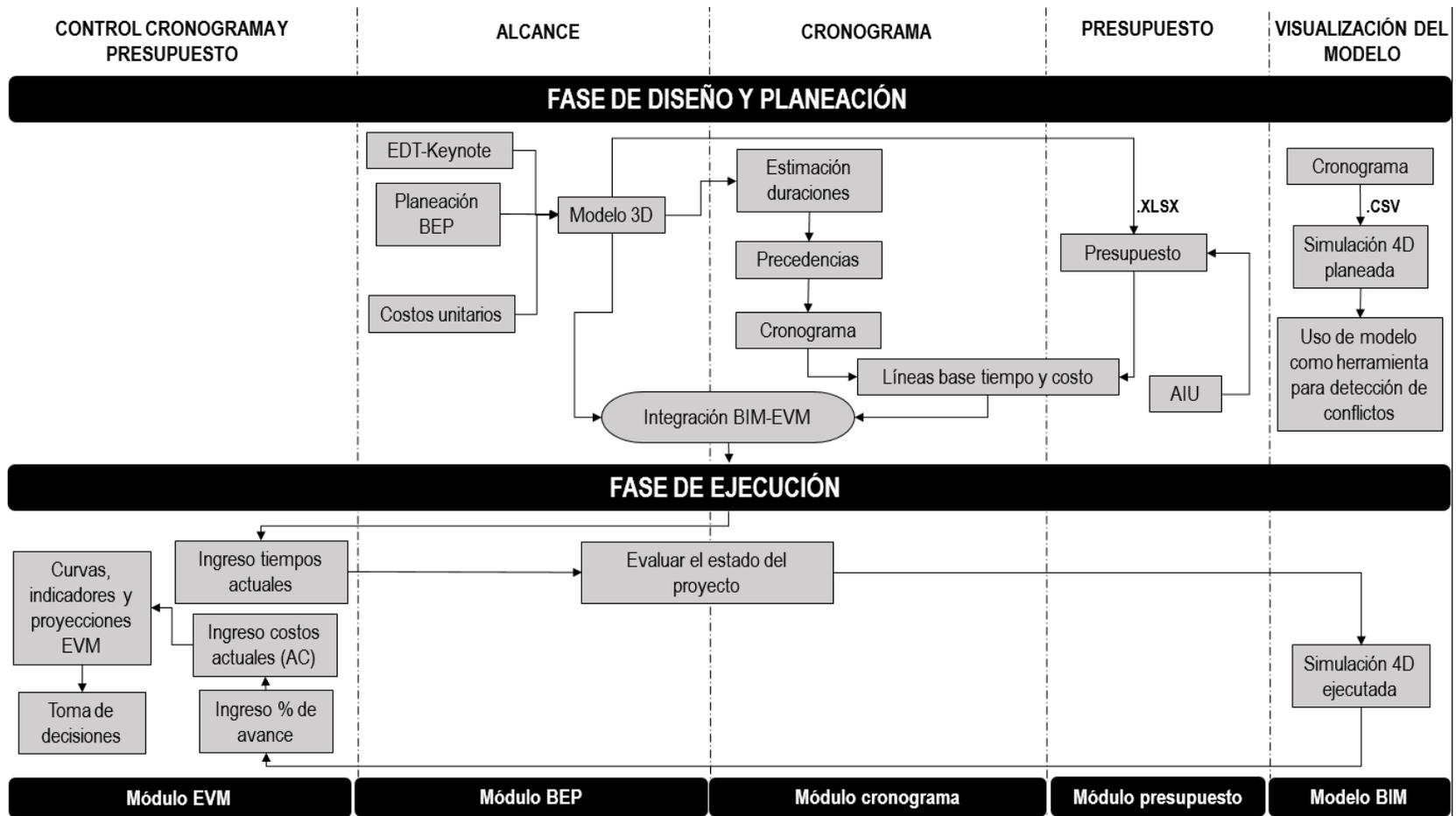


Figura 18 Desarrollo metodológico de COST-BIM durante ciclo de vida del proyecto



Lo que se busca es analizar de manera integral cada una de estas fases y áreas en una sola herramienta, teniendo consigo una línea base del proyecto para que puedan ser comparadas sus etapas de planeación y ejecución.

Con esa finalidad, se pretende obtener un mayor análisis del proyecto durante todas sus etapas, garantizando que la información del mismo sea analizada con un alto nivel de desarrollo desde el BIM 3D hasta BIM 5D+EVM. A continuación se describe la metodología:

**BIM 3D:** Se inició creando la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) del proyecto. Posteriormente se diligenció el formulario BIM Execution Plan (BEP), donde se registran los responsables y responsabilidades relacionadas con el modelo BIM. Se vinculó la EDT del proyecto mediante “Keynotes”. A partir de la información 2D del proyecto piloto, se realizó el modelo BIM del proyecto en el software de modelación y se ingresó 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, ó 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, anchura, 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.

**BIM 4D:** Con el proyecto BIM completado, se generaron las tablas de cantidades en el software de modelación, y se realizó la exportación de las cantidades en un archivo .xlsx, para luego ser importadas a COST-BIM. Se genera el cronograma en función a la EDT del proyecto, se asignan la duración a cada actividad, a partir de un diagrama de Gantt, contemplando la precedencia lógica de las actividades del proyecto. Finalmente se creó 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 del proceso constructivo del proyecto.

**BIM 5D:** 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 se presenta en estructura de árbol de tres niveles (Capítulos-Sub-capítulos, Ítems), con sus respectivas cuentas de control. Se crearon las actividades no modelables con sus respectivos costos y el correspondiente AIU del proyecto. Cabe mencionar que, 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.

**BIM 5D+EVM:** Para finalizar, se realizó la medición del rendimiento del proyecto, por medio del valor ganado, compilando y procesando los datos planeados y ejecutados del proyecto. Luego se ingresaron los datos tales como valor actual (AC), y el % completado a la fecha de cada actividad, con el fin de obtener los indicadores de desempeño del presupuesto y cronograma.



## 3.2 Proyecto Piloto

Para efectos de la validación de COST-BIM, se utilizó un proyecto de construcción real de vivienda de interés social VIS. El proyecto está ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, específicamente en la localidad de Usme. Es un proyecto de vivienda el cual contará con 18 torres de 6 pisos, 4 apartamentos por piso para un total de 432 unidades de vivienda. El área total construida es de 23.456 m<sup>2</sup> contando con las áreas vendibles desde 47 m<sup>2</sup> hasta 61 m<sup>2</sup>.

En las Figura 19, Figura 20 y Figura 21, se pueden detallar las características del modelo. Para la validación de la herramienta COST-BIM y por razones de simplicidad, se analizó el presupuesto y el cronograma de un módulo doble (2 torres) de 24 apartamentos desde su cimentación hasta su cubierta.

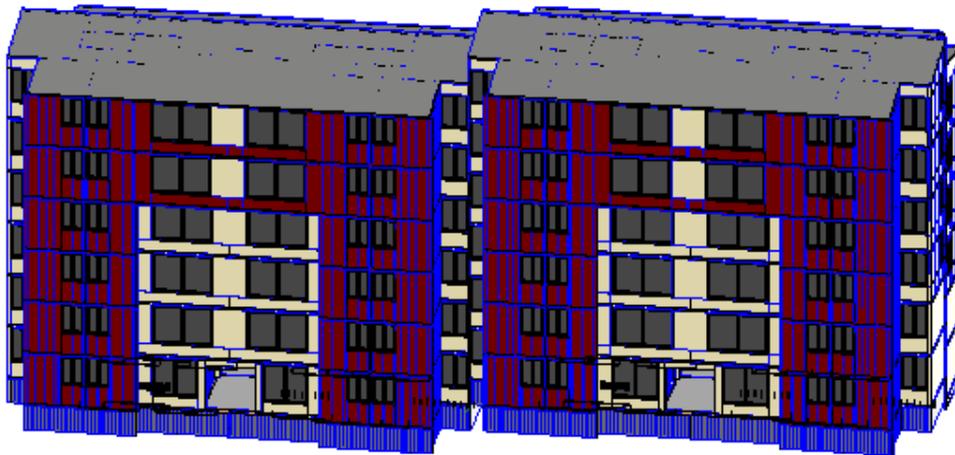


Figura 19. Modelo arquitectónico del proyecto piloto

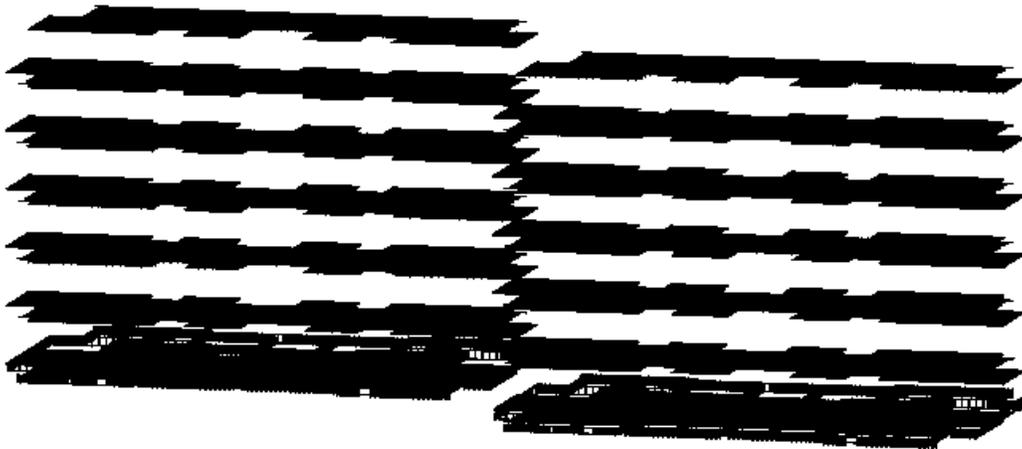
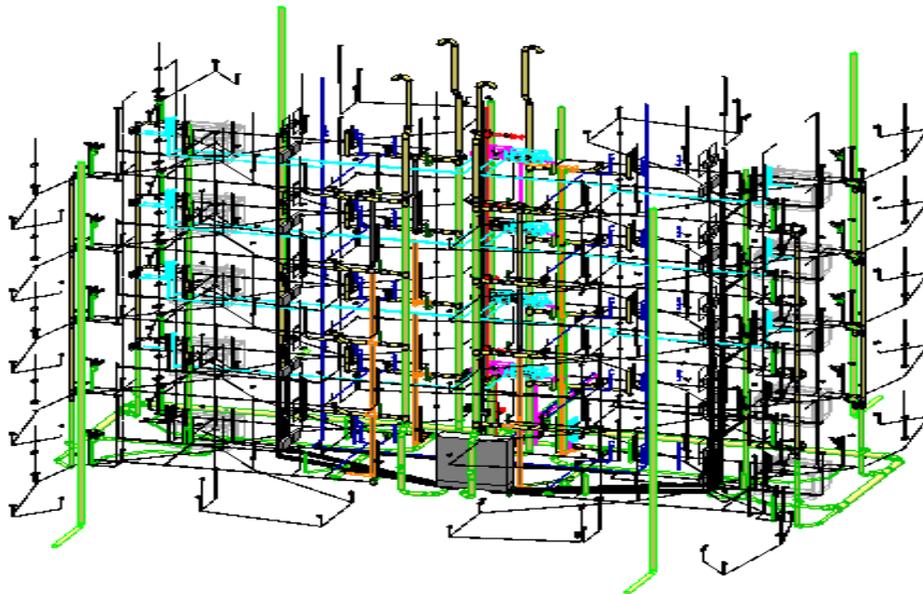


Figura 20. Modelo estructural del proyecto piloto



**Figura 21. Modelo MEP del proyecto piloto**

En esta fase se desarrolló todo el modelo BIM con su respectiva coordinación por ende se realizó toda la modelación arquitectónica, estructural y Modelación MEP del sistema. Esta fase es de gran importancia ya que la información generada del modelo BIM serán los datos de entrada para la elaboración del presupuesto y programación del mismo.

## Capítulo 4

### 4. Resultados

El análisis y sistematización de la información se corroboró bajo pruebas de funcionalidad del sistema, por medio de datos reales del proyecto de vivienda de interés social suministrado, donde se analizó el presupuesto y cronograma de un módulo doble de 24 apartamentos desde su cimentación hasta cubierta.

Los resultados obtenidos se dividen en la funcionalidad del sistema y los resultados obtenidos en el proyecto piloto.

#### 4.1. Funcionamiento de COST-BIM

##### 4.1.1. Interoperabilidad de la herramienta

Los archivos .xlsx y .csv son piezas claves para lograr el enlace entre COST-BIM y los software de modelación BIM y monitoreo y control BIM respectivamente. El archivo .xlsx provee la información

necesaria para que COST-BIM genere de forma automática el presupuesto del proyecto. Por su parte, el archivo .csv contiene la información necesaria para generar la simulación 4D del modelo constructivo del proyecto. Reduciendo el tiempo requerido para generar el modelo 4D en un software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM como Navisworks Autodesk®, debido a que la configuración de las familias del modelo BIM está en función a la EDT del proyecto, por ende, la estructura de familias del software de monitoreo y control y la estructura del cronograma generado en COST-BIM en archivo .csv, son totalmente compatibles.

## 4.1.2. Exportación e Importación de cantidades

Las cantidades generadas en software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM son exportadas desde el modelo 3D, a un archivo .xlsx, es este archivo permite generar el enlace entre COST-BIM y cualquier software BIM dedicado a la modelación. 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: Este se refiere al nivel donde se encuentra el elemento, esta información es importante para la configuración del presupuesto, cronograma, análisis EVM y 4D, 3. Propiedades del elemento: Describe todas las propiedades físicas del elemento (longitud, altura, anchura, área, volumen), con estas se obtienen las cantidades del elemento para el presupuesto, 4. Propiedad del elemento a analizar. Esta opción es de gran importancia ya que esta es la unidad que el BIM de Costo selecciona para calcular el presupuesto. En la Tabla 1, se detalla la configuración requerida de las tablas.

**Tabla 1. Formato exportación de cantidades de Revit Autodesk®**

Muros										
ID	PISO	TIPO	LONGITUD (M)	ALTURA (M)	ÁREA (M2)	ANCHO (M)	M. LINEAL	M. CUADRADOS	COSTOS	UNIDAD A SELECCIONAR
05010003	Cimentación	Concreto 0.12M	38.20	25.02	58.94	1.92	0.00	58.94	\$ 46,800	ÁREA (M2)
05010004	Piso 1	Concreto 0.12M	54.73	39.95	89.16	2.88	0.00	89.16	\$ 46,801	ÁREA (M2)
05010005	Piso 1'	Concreto 0.12M	53.00	35.40	82.16	2.52	8.32	78.00	\$ 46,802	ÁREA (M2)
05010006	Piso 2	Concreto 0.12M	61.32	36.40	86.32	2.76	16.64	78.00	\$ 46,803	ÁREA (M2)
05010007	Piso 2'	Concreto 0.12M	53.58	31.76	68.36	2.52	16.64	60.04	\$ 46,804	ÁREA (M2)
05010008	Piso 3	Concreto 0.12M	49.70	29.44	59.38	2.40	16.64	51.06	\$ 46,805	ÁREA (M2)
05010009	Piso 3'	Concreto 0.12M	49.70	29.44	59.38	2.40	16.64	51.06	\$ 46,806	ÁREA (M2)

## 4.1.3. BIM Execution Plan

Para COST-BIM, la planificación del proyecto es muy importante, por lo tanto, un BIM Execution Plan (BEP) es el primer formato a diligenciar. El desarrollo de dicho plan, facilita la gestión de la información en el proyecto. El BIM Execution Plan (BEP) de COST-BIM tiene la posibilidad de insertar: Tarea BIM, nivel de importancia, profesional implicado, recursos, competencias, experticia BIM del profesional, como es recomendado en (The Pennsylvania State University, 2010) ver Figura 22. COST-BIM, posee un Link que direcciona al usuario a la página del BEP de (The Pennsylvania State University, 2010).



Archivo Exportar Importar Análisis Gráficas Ayuda

Información Presupuesto Cronogramas Datos Entrada EVM Indicadores EVM Gráficas de Desempeño

**Datos Basicos**

**Datos Iniciales Proyecto**

Nombre del Proyecto  
PROYECTO PILOTO

Descripción  
UBICACION:  
KR 65 SUR-23B  
USME-BOGOTA

Empresa  
PYD

Número de Licencia de Construcción  
AK156-181223

Cuidad  
BOGOTA

Teléfono  
3118912897

Dirección  
KR 3A 3-36

**BIM Execution Plan -BEP**

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

Agregar Fila En Tabla [Ir a Sitio WEB BIM](#)

Figura 22. BEP COST-BIM

#### 4.1.4. Presupuesto COST-BIM

El módulo de presupuesto genera automáticamente el presupuesto del proyecto con la cantidad, unidad, costo unitario y costo total del proyecto. Como se puede detallar en la Figura 23. En este módulo el usuario puede añadir capítulos y actividades que no fueron dibujados en el modelo 3D, eliminar actividades y capítulos y exportar el presupuesto final en formato PDF con toda la información asociada al proyecto (Nombre del proyecto, descripción del proyecto, licencia del proyecto).

La función más importante de la herramienta COST-BIM es la actualización del presupuesto. El usuario puede cargar el presupuesto de nuevo si el modelo 3D sufre alguna modificación, lo que valida la naturaleza BIM de COST-BIM y la interoperabilidad para ser correctamente implementado. Inclusive, permite ingresar toda la información relacionada con las actividades no modelables y el AIU del proyecto. (Ver Figura 23).

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					\$ 31,892,485.60
▶	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					\$ 121,289,990.40
▶	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS					\$ 125,783,721.60
▶	PISOS Y PLACAS					\$ 220,468,311.08
▶	PINTURA					\$ 1,180,049.10
▶	G.E.Y DILATACIONES					\$ 5,209,158.32
▶	VENTANERÍA					\$ 16,089,282.80
▶	PAÑETE					\$ 8,267,769.62
▶	CARPINTERÍA MADERA					\$ 10,513,536.00
▶	CARPINTERÍA METALIC...					\$ 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 23. Modulo presupuesto COST-BIM

## 4.1.5. Cronograma COST-BIM

La herramienta genera el cronograma del proyecto, en función a la (EDT) del proyecto (Ver

Figura 24). El usuario puede insertar las fechas de inicio y finalización de cada una de las actividades, generar un gráfico de Gantt y transmitir visualmente esta información. La herramienta describe todas las tareas involucradas en un proyecto y muestra su orden en un calendario específico. Esto le da una visión general instantánea del proyecto. El gráfico de Gantt contiene: el ID de actividad, las fechas de precedencia y la duración de la actividad. El módulo de cronograma permite al usuario exportar esta información a un archivo .csv, para generar la simulación 4D en un software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM.

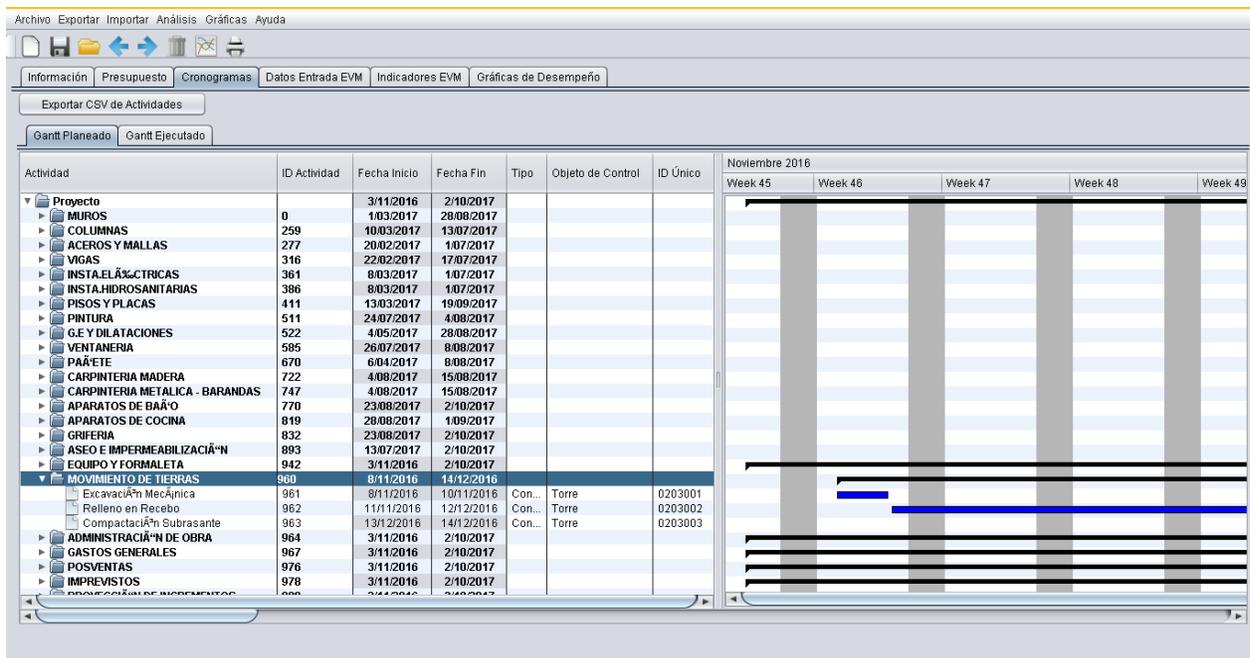


Figura 24. Modulo cronograma COST-BIM

#### 4.1.6. EVM COST-BIM

En este módulo, COST-BIM adopta la estructura de la EDT del proyecto, al igual que el módulo de cronograma. A cada una de las actividades se le realiza análisis EVM, para conocer su desempeño en tiempo y costo, a partir de los indicadores de desempeño de cronograma (SV y SPI) y los indicadores de presupuesto (CV e CPI). Conjuntamente, la herramienta genera las proyecciones para el presupuesto (EAC y ETC) y de cronograma (EACt). Estos indicadores y proyecciones pueden visualizarse en el sub-módulo "Datos entrada EVM". Este módulo se dividió en tres sub-módulos: (a) Valor Planificado, (b) Valor Actual y (c) Valor Ganado, para tener una visualización de los desembolsos monetarios en cada periodo de tiempo del proyecto, y visualizar el comportamiento de desempeño del trabajo realizado, como se puede ver en la

Figura 25. Adicionalmente, COST-BIM genera una tabla de indicadores de desempeño, así como proyecciones de calendario y presupuesto para cada actividad, con una breve descripción del estado actual del entregable en la fecha de corte.

Igualmente genera los indicadores EVM por actividad del proyecto y para todo el proyecto como se puede ver en la

Figura 26 y

Figura 27, con el fin de encontrar las desviaciones exactas del proyecto.

Archivo Exportar Importar Análisis Gráficas Ayuda

Información Presupuesto Cronogramas Datos Entrada EVM Indicadores EVM Gráficas de Desempeño

10/09/2017 Cargar

V. Planeado V. Actual V. Ganado

ID	Objeto de Control	Nombre Actividad	Días	Valor Planeado	03-11-2016	04-11-2016	05-11-2016
MUROS							
501002.0	Cimentación	Concreto 0.12M	6	\$4,302,148.48			
501002.0	Piso 1	Concreto 0.12M	8	\$6,507,966.72			
501002.0	Piso 1A	Concreto 0.12M	8	\$5,997,022.72			
501002.0	Piso 2	Concreto 0.12M	4	\$6,300,669.44			
501002.0	Piso 2A	Concreto 0.12M	4	\$4,989,733.12			
501002.0	Piso 3	Concreto 0.12M	4	\$4,334,264.96			
501002.0	Piso 3A	Concreto 0.12M	4	\$4,334,264.96			
501002.0	Piso 4	Concreto 0.12M	5	\$4,334,264.96			
501002.0	Piso 4A	Concreto 0.12M	5	\$2,420,414.72			
501002.0	Piso 5	Concreto 0.12M	6	\$507,294.40			
501002.0	Piso 5A	Concreto 0.12M	6	\$507,294.40			
501002.0	Piso 6	Concreto 0.12M	7	\$507,294.40			
501002.0	Piso 6A	Concreto 0.12M	7	\$253,282.24			
503004.0	Piso 6A	Cuchillas Fachada	10	\$352,071.53			
503004.0	Cubierta 2	Cuchillas Fachada	10	\$702,216.54			
503004.0	Cubierta 1A	Cuchillas Fachada	10	\$350,145.01			
502001.0	Piso 6A	Cuchillas Interior	10	\$2,391,061.75			
502001.0	Cubierta 2	Cuchillas Interior	10	\$4,958,516.50			
502001.0	Cubierta 1A	Cuchillas Interior	10	\$2,570,576.75			
703004.0	Piso 6A	Cuchillas Fachada	10	\$285,124.96			
703004.0	Cubierta 2	Cuchillas Fachada	10	\$570,249.92			
703004.0	Cubierta 1A	Cuchillas Fachada	10	\$285,124.96			
702001.0	Piso 6A	Cuchillas Interior	10	\$1,155,530.25			
702001.0	Cubierta 2	Cuchillas Interior	10	\$2,222,083.50			
702001.0	Cubierta 1A	Cuchillas Interior	10	\$1,066,163.00			
903005.0	Cimentación	Empaste Pintura Fachada	2	\$87,763.86			
903005.0	Piso 1	Empaste Pintura Fachada	2	\$264,612.24			
903005.0	Piso 1A	Empaste Pintura Fachada	2	\$264,612.24			

Figura 25. Modulo Datos entrada EVM

Archivo Exportar Importar Análisis Gráficas Ayuda

Información Presupuesto Cronogramas Datos Entrada EVM Indicadores EVM Gráficas de Desempeño

Cargar EVM

EVM (ACTIVIDADES) EVM (PROYECTO)

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	\$6,489,669	\$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	\$723,293	\$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

Figura 26. Indicadores de desempeño EVM actividades



Archivo Exportar Importar Análisis Gráficas Ayuda

Información Presupuesto Cronogramas Datos Entrada EVM Indicadores EVM Gráficas de Desempeño

Cargar EVM

EVM (ACTIVIDADES) EVM (PROYECTO)

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	\$10,196,886.46
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	\$9,521,728.21
<b>INDICADORES EVM</b>								
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	\$1,458,464,933.80
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
EACI	-	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						
Reporte De Cronograma	-	Retraso						

Figura 27. Indicadores de desempeño EVM proyecto



## 4.1.7. Curvas de desempeño COST-BIM

Este módulo genera las gráficas de desempeño del proyecto como: la curva de desempeño del proyecto (Curvas S) para el valor planificado (PV), el costo actual (AC) y el valor acumulado (EV) (Ver Figura 28), la gráfica de indicadores (SPI) y (CPI) y su comportamiento durante la duración del proyecto (Ver

Figura 29) y finalmente la curva acumulada del proyecto con su correspondiente flujo de caja (Ver Figura 30).



Figura 28. Curva de desempeño del Proyecto

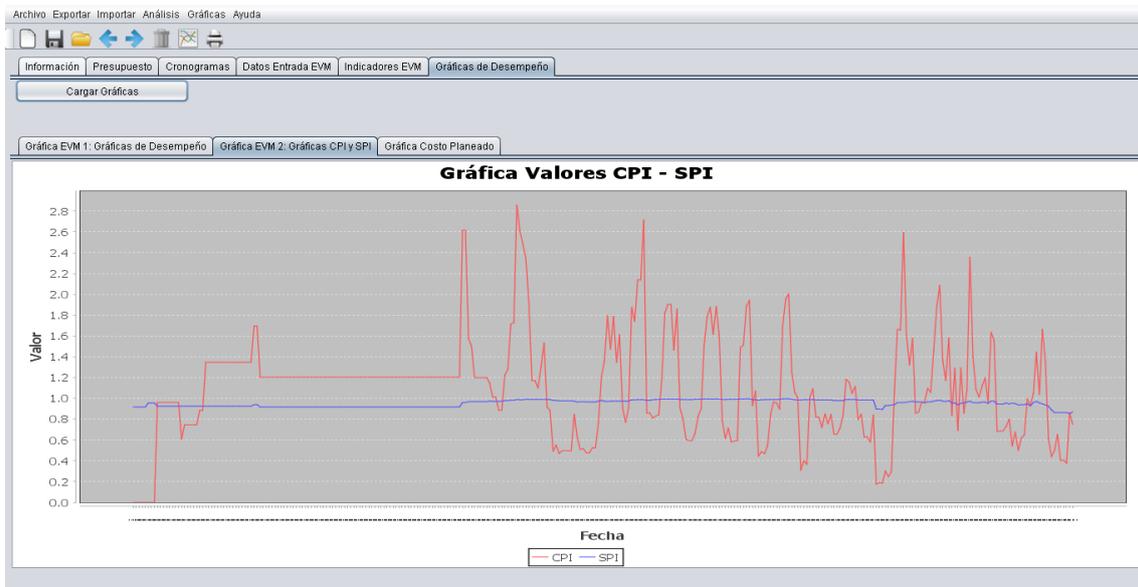
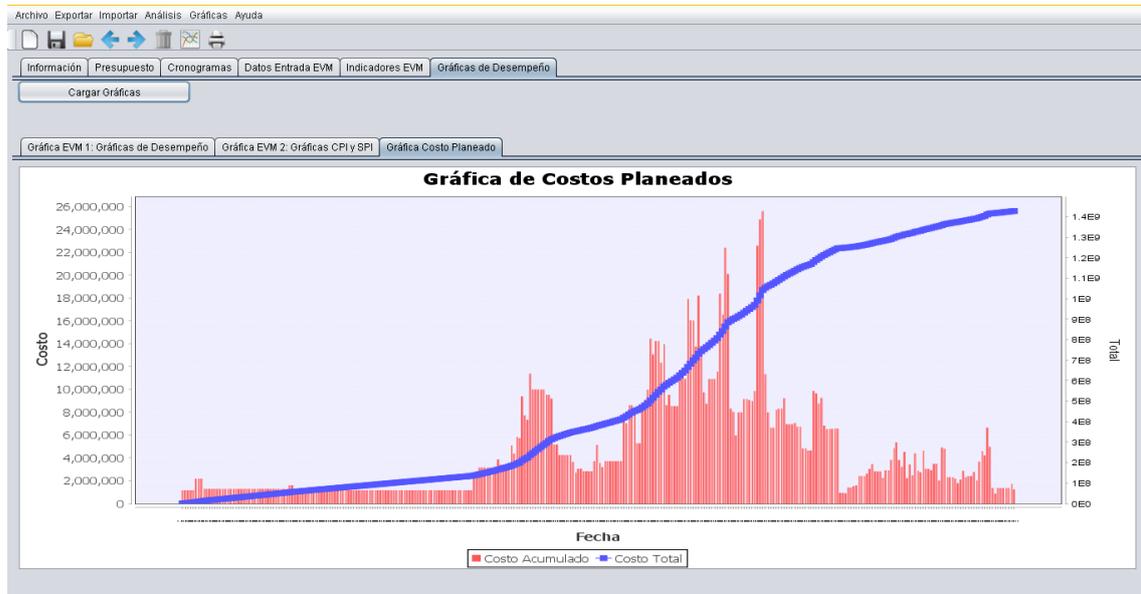


Figura 29. Grafica de indicadores CIP y SPI



**Figura 30. Curva acumulada del Proyecto y flujo de caja**

Para mayor información acerca del uso e interoperabilidad de COST-BIM consultar (Cárdenas & Zapata, Manual de usuario COST-BIM, 2017) y (Cárdenas & Zapata, Manual de interoperabilidad COST-BIM, 2017). Allí se encontrara detalladamente las funciones de cada módulo junto con el marco de interoperabilidad de COST-BIM con software BIM y el marco de implementación e impacto de COST-BIM en la organización, contenido en el Manual de interoperabilidad COST-BIM

## 4.2. Corroboración de valores del proyecto piloto obtenidos de COST-BIM

En cuanto a la corroboración de los resultados generados por la herramienta, se comparó el presupuesto y el cronograma del proyecto original con el presupuesto y cronograma COST-BIM. Para la corroboración del módulo EVM se desarrolló una hoja de Microsoft Excel del módulo de EVM. En la Figura 31 y Tabla 2,

Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 Tabla 6 se detallan los resultados obtenidos.

Respecto al cronograma el proyecto presenta atraso, con un  $SPI=0,90$  generando sobrecostos de  $SV= -\$ 163,000.26$ , por ende se estima una duración de 384 días y no 334 días como estaba planteado en la planeación del proyecto, es decir, el proyecto finalizara el día 22/11/2017.

**Tabla 5A** partir de los indicadores EVM del proyecto piloto generados en COST-BIM hasta la fecha de corte seleccionada 10/09/2017, presenta un  $CPI= 0,75$  lo cual indica una ineficiente inversión del presupuesto en el proyecto, por consiguiente se presenta un sobrecosto de  $CV= -\$355,650.64$ . Con estos sobrecostos se proyecta un sobrecosto total en el proyecto de  $VAC= -\$480,735,724.86$ .

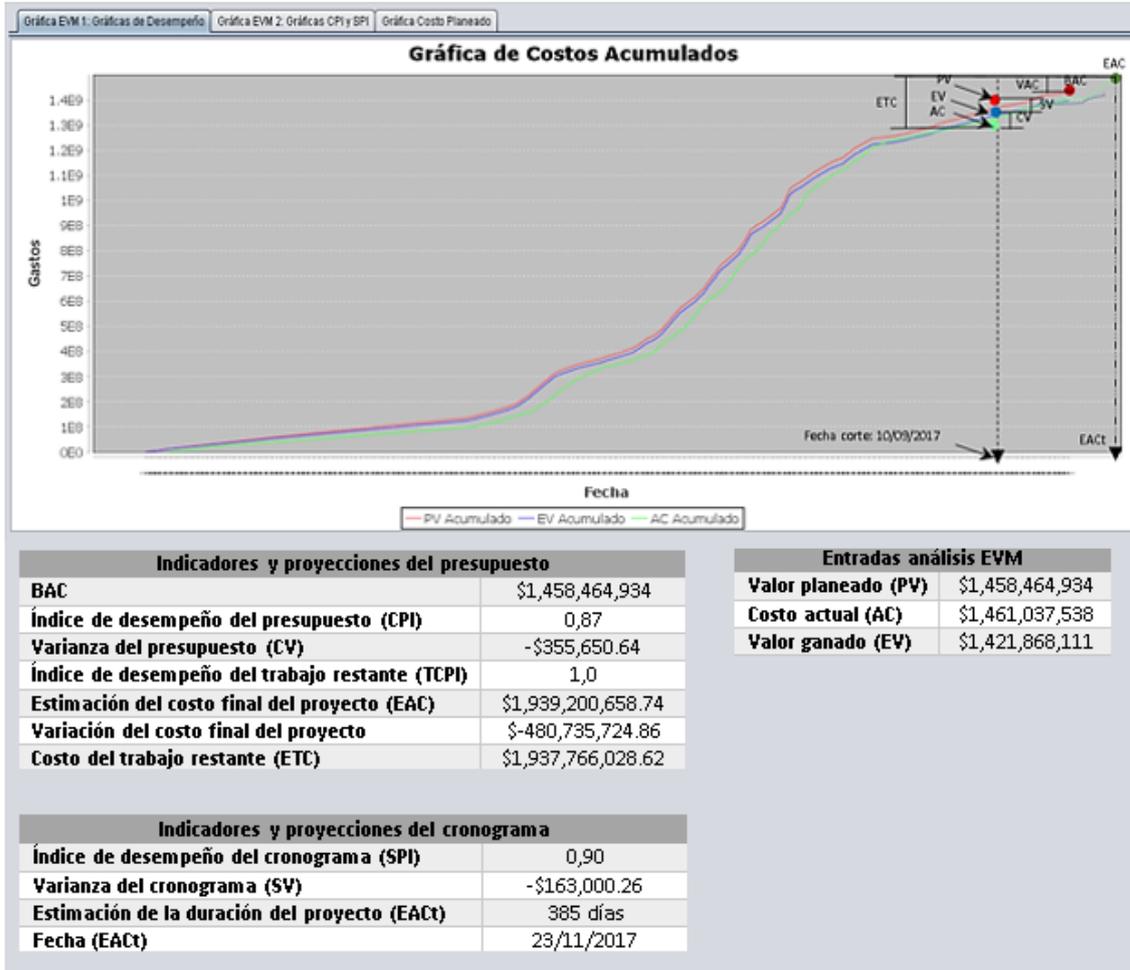


Figura 31. Curvas de desempeño del Proyecto COST-BIM

Se observa una diferencia de \$12.356.850 entre el presupuesto original y presupuesto COST-BIM, producto cuantificación del acero de refuerzo del proyecto. Por su parte, 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 COST-BIM basado en el modelo BIM3D. Por otro lado se presenta una diferencia en el cronograma de 15 días, debido a que COST-BIM no tiene en cuenta los días festivos.

Tabla 2. Comparación presupuesto

<b>PRESUPUESTO ORIGINAL</b>	<b>\$ 1, 446, 108,083</b>
PRESUPUESTO COST-BIM	\$ 1, 458, 464,933

Tabla 3. Comparación cronograma

<b>CRONOGRAMA ORIGINAL</b>	<b>319</b>
CRONOGRAMA	334

**Tabla 4. Elementos de la técnica EVM**

<b>PV</b>	\$ 1,458,464,934
<b>AC</b>	\$ 1,461,037,538
<b>EV</b>	\$ 1,421,868,111

Respecto al cronograma el proyecto presenta atraso, con un SPI=0,90 generando sobrecostos de SV= -\$ 163,000.26, por ende se estima una duración de 384 días y no 334 días como estaba planteado en la planeación del proyecto, es decir, el proyecto finalizara el día 22/11/2017.

**Tabla 5. Indicadores del presupuesto**

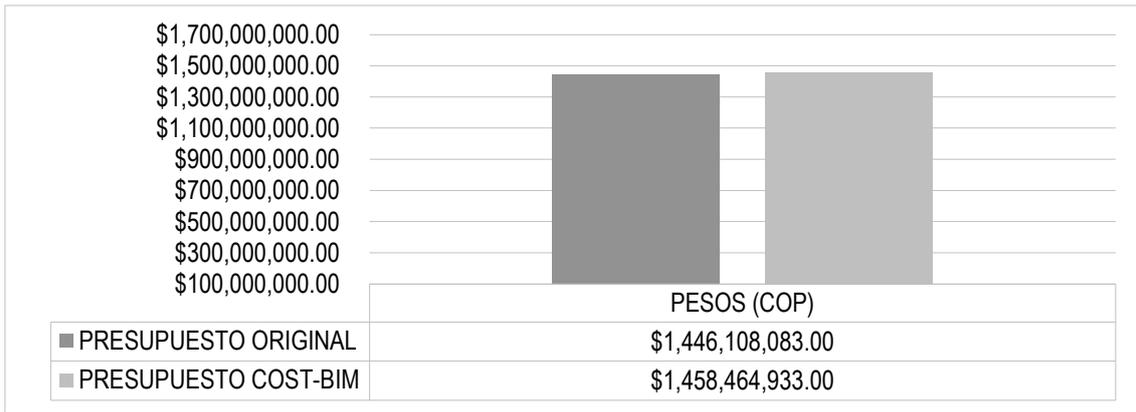
<b>CV</b>	-\$355,650.64
<b>CPI</b>	0,75
<b>TCPI</b>	1
<b>EAC</b>	\$ 1,939,200,658.74
<b>BAC</b>	\$1,458,464,934
<b>VAC</b>	\$ -480,735,724.86
<b>ETC</b>	\$ 1,937,766,028.62

A partir de los indicadores EVM del proyecto piloto generados en COST-BIM hasta la fecha de corte seleccionada 10/09/2017, presenta un CPI= 0,75 lo cual indica una ineficiente inversión del presupuesto en el proyecto, por consiguiente se presenta un sobrecosto de CV= -\$355,650.64. Con estos sobrecostos se proyecta un sobrecosto total en el proyecto de VAC= -\$480,735,724.86.

**Tabla 6. Indicadores del cronograma**

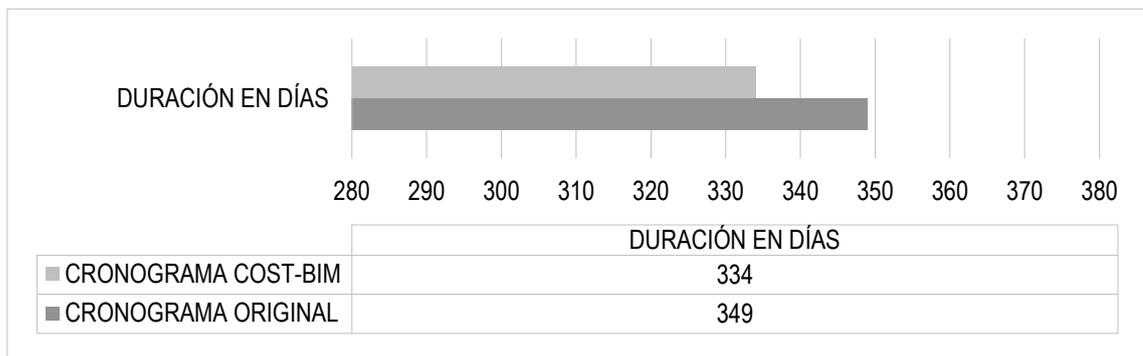
<b>SV</b>	-\$ 163,000.26
<b>SPI</b>	0,90
<b>EACT</b>	384 días- 22/11/2017

El módulo presupuesto presenta una diferencia del 0.85% (Ver Figura 32), 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 32. Presupuesto Original VS COST-BIM**

Con respecto al módulo cronograma se presentan una diferencia del 4.3% (Ver Figura 33; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), 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 33. Cronograma Original VS COST-BIM**

## Capítulo 5

### 5. Discusión

El futuro de la metodología BIM es prometedor, según la encuesta realizada a la industria AEC chilena (Ver Figura 34), ya se percibe la necesidad de implementar la metodología BIM en el sector público, con el fin de mejorar la gestión de estos proyectos que se categorizan de alta complejidad y de alta prioridad. Adicionalmente es evidente la necesidad de desarrollar estándares BIM que regularicen y estandaricen esta metodología con el fin de mejorar la forma como gestiona los proyectos la industria EAC actualmente. Por lo anterior, realizar investigaciones que promueva el uso de la metodología BIM o que desarrollen herramientas computacionales OpenBIM, van acorde con el objetivo de reducir los problemas que padece la gestión de proyectos tradicional. Adicionalmente promueve la adopción de esta metodología en la industria.

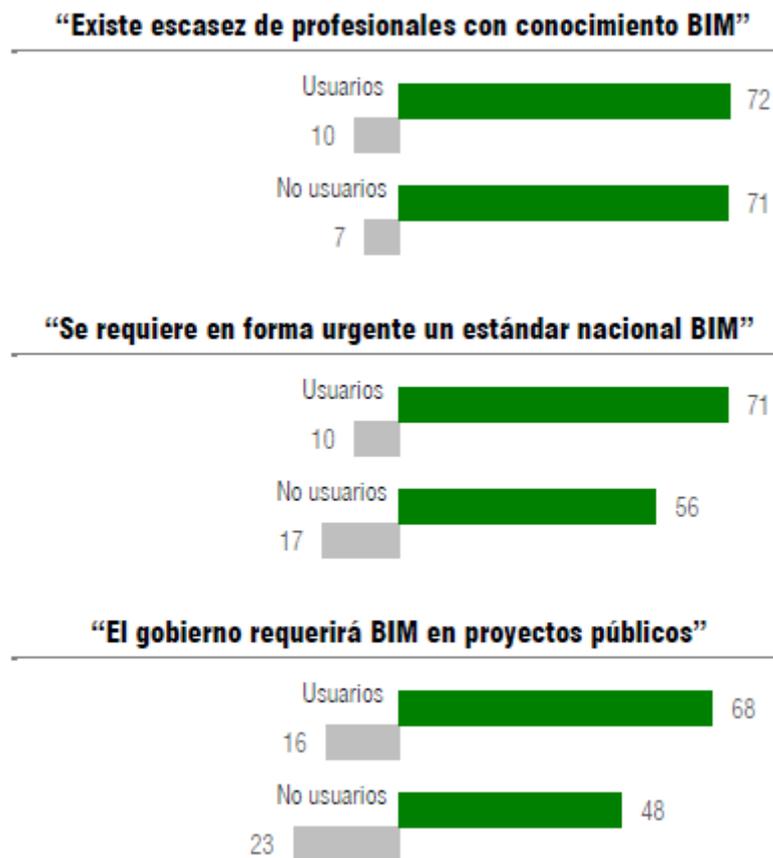
COST-BIM se acomoda a la metodología (BIM) y aprovecha los beneficios de los software de modelación y de control en la gestión de modelos de construcción (BIM), para realizar la coordinación y visualización de proyectos constructivos, con el fin de asociar el tiempo y costo a cada componente de un modelo 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.



**Figura 34. Sobre el futuro de BIM**

Por ello en la actualidad se cuentan con diferentes herramientas Open BIM, algunas dedicadas a la gestión de proyectos desde el BIM 2D hasta el BIM 5D. Investigadores como (Su, Chen, & Chien, 2015), desarrollaron una herramienta computacional interoperable con Revit Autodesk, capaz de integrar el presupuesto y cronograma en una sola interfaz. Dicha herramienta solo concibe la fase de planeación de los proyectos constructivos, puesto que no desarrollo en su interfaz un módulo de control de costos y tiempo. Por su parte (Jrade & Lessard, 2015), por medio del uso de diferentes herramientas como Microsoft Excel, Microsoft Project y Revit Autodesk logran la integración del presupuesto y cronograma, añadiéndole a esto un control de tiempo y costo por medio de la técnica EVM. Pero el uso de diferentes herramientas para gestión de proyectos constructivo, produce reprocesamiento de información y fugas de información. Con el fin de reducir estas brechas se desarrolló COST-BIM:

## Capítulo 6

### 6. Conclusiones

- Herramienta capaz de en integrar la metodología BIM y la técnica EVM. Gestiona proyectos hasta BIM 5D; y a su vez brinda el control del desempeño del costo y tiempo de los proyectos constructivos a través de la Técnica de EVM. COST-BIM genera el presupuesto y el cronograma de un proyecto constructivo automáticamente según la EDT del proyecto, evitando por completo la fuga de información, gracias a que es totalmente interoperable con



software de modelación BIM y software para el control y la gestión de modelos de construcción BIM.

- 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.
- 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.
- Esta herramienta contiene seis módulos: Planeación BIM (BIM Execution Plan), Estimación de costos y presupuesto, estimación de tiempo-programación-visualización, datos entrada EVM, indicadores EVM y graficas de desempeño. COST-BIM se puede describir como una herramienta conveniente que acomoda a la metodología BIM y aprovecha los beneficios de los software de modelación y de control y la gestión de modelos de construcción BIM, para realizar la coordinación y visualización de proyectos constructivos, con el fin de asociar tiempo y los valores de costo con cada componente de un modelo de construcción 5D.
- Realiza la gestión de proyectos constructivos en función de la EDT del proyecto, acoplándose a las buenas practicas del Project Management Institute (PMI). Tanto el cronograma, presupuesto y control del proyecto en sus líneas base, se realiza mediante la EDT del proyecto.
- Funciona mediante una interacción gráfica con el usuario de fácil comprensión. Adicionalmente, es una herramienta capaz de supervisar y controlar las desviaciones del presupuesto (cargos adicionales) y los cronogramas (retrasos) del proyecto durante su ejecución por medio del módulo EVM. COST-BIM puede ayudar a las constructoras a sistematizar sus procesos mediante una herramienta tecnológica. Por lo tanto, es necesario tener una imagen clara del proyecto, definiendo sus características, los interesados, el alcance, los materiales y el sistema de construcción para definir los elementos BIM y toda la información relacionada al proyecto, así como EDT del calendario y presupuesto.
- Tiene el potencial de mejorar el flujo de trabajo en la gestión de proyectos de construcción. Se identificaron múltiples beneficios desde su aplicación al proyecto como: capacidad de asociar valores detallados de tiempo y costo cada uno de los componentes del modelo de construcción durante la fase de planeación, automatiza el proceso de e estimación 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.

- Finalmente es una herramienta con enfoque visual que fomenta una mejor comprensión entre el equipo del proyecto, particularmente con las personas con menos conocimientos de gestión de proyectos.

## Capítulo 7

### 7. Recomendaciones

- Para el uso de COST-BIM es necesario la implementación de la metodología BIM en las empresas del sector construcción, sin importar el tamaño de ésta con el fin de una estrategia de mejora de la gestión en los procesos de diseño y construcción
- Antes de emprender la implementación de una herramienta como COST-BIM en cualquier constructora es necesario realizar un mapeo de los procesos de la organización, ya que esto permite identificar plenamente a los involucrados en los procesos a implementar y obtener las métricas que deseamos controlar, por ello COST-BIM aporta un marco de referencia para su implementación en la organización.
- En el futuro se concibe una herramienta con la adición de otros parámetros de gestión de proyectos como el riesgo y la calidad. Variables interactivas con el modelo BIM 5D y que podrían beneficiar en gran medida a los gestores de proyectos a gestionar eficazmente sus proyectos.
- 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.
- Con el fin de definir del alcance del proyecto totalmente desde el la planeación del proyecto y que este sea entendible para todos los interesados del proyecto, COST-BIM debe contener un módulo con un acta de constitución BIM, donde se presente el modelo BIM 3D y registre la información del proyecto con un nivel de detalle superior al actual.
- Implementar COST-BIM en un proyecto sostenible incorporaría al sistema COST-BIM una sexta dimensión, aumentando el potencial de la herramienta y la demanda de este tipo de proyectos constructivos. Esto se considera un prometedor avance para la industria de la construcción.

### Referencias

- PricewaterhouseCoopers LLP. (2013). *Correcting the course of capital projects Plan ahead to avoid time and cost overruns down the road*. Delaware: PWC network.
- Aguilar , G. (2015). *Modelado 4D y monitoreo de productividad IP en proyectos de construcción*. Medellín: Universidad EAFIT.



- Baeza Pereyra, J., & Salazar Ledezma, G. (2005, Julio). Integración de proyectos utilizando el modelo integrado de información para la construcción. *Revista de Ingeniería*, 62, 67-75.
- Cárdenas, C., & Zapata, P. (2017). *Manual de interoperabilidad COST-BIM*. Bogotá D.C.
- Cárdenas, C., & Zapata, P. (2017). *Manual de usuario COST-BIM*. Bogotá D.C.
- 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.
- Czarnigowska, A. (2008). Earned value method as a tool for project control. *Budownictwo i Architektura vol. 3*, 15-32.
- Diez, M., Perez, A., & Montes, M. (2015). Medición del desempeño y éxito en la dirección de proyectos. *Revista EAN*, 60-79.
- 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.
- Eastman, C; Teicholz, P; Sacks, R; Liston; K. (2008). *BIM handbook A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons. New Jersey: BIM handbook.
- 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.
- Fernández Vidal, S. (2015). *Aplicación de la técnica de línea de avances y gestión de riesgos a un proyecto de edificación en el entorno BIM*. Trabajo fin de Grado, La coruña.
- Fleming, Q., & Koppelman, J. (2010). Earned value project management. *4th edition*.Newtowns Square, PA: Project Management Institute.
- Ghanem, A. G., Ghanem, A. G., & Abdelrazig, Y. A. (2006). A framework for real-time construction project progress tracking. Earth and Space. *in Earth and Space 2006—10th Biennial International International Conference on Engineering, Construction, and Operations in Challenging Environments, March 5, 2006-March 8, 2006, League City/Houston, TX, United States, American*, 1-8.
- Hitt, M., Black, S., & Porter, L. (2006). *Administración*. Mexico D.F: Pearson .
- Hoon, Y., & Anbari, F. (2012). History, practices, and future of earned value management in government: Perspectives from NASA. *Project Management Journal*, 77-90.
- Isaza, P., Botero, F., & Hernandez, A. (2015). Estado de la práctica BIM en Colombia. *SIBRAGEC ELAGEC 2015*, (p. 9). Sao Carlos-Brasil.
- Isaza, P., Botero, F., & Vasquez, H. (2015). Estado de la Practica BIM en Colombia. *Sibragec Elagec*, 1-9.
- Jrade, A., & Lessard, J. (2015). An Inntegrated BIM System to Track the Time and Cost of Construction Projects: A Case Study. *Journal of Construction Engineering*, 1-10.
- 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.
- Loyola, M. (2016, Octubre 3). *Encuesta nacional BIM 2016: Informe de Resultados*. Retrieved from Universidad de Chile: [www.bim.uchilefau.cl](http://www.bim.uchilefau.cl)
- Miyagawa, T. (1997). Constructionmanageability planning—a system for manageability analysis in construction planning. *Automation in Construction*, vol. 6, no. 3, 175-191.
- Miyagawa, T. (1997). Constructionmanageability planning—a system for manageability analysis in construction planning. *Automation in Construction*, 175-191.



- Monfort Pitarch, C. (2015). *Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura*. Barcelona: Universidad Politecnica de Valencia.
- OPUS PLANET. (2016, Noviembre 3). *OPUS PLANET 2016*. Retrieved from OPUS PLANET 2016: <http://www.opus-planet.mx>
- Ordoñez, A. (2016). Conceptos Basicos Valor Ganado Parte 1. *Clase Pontificia Universidad Javeriana Gestión del Valor Ganado*, (pp. 17-21). Bogotá D.C.
- Perera, J., & Imriyas, K. (2004). An integrated construction project cost information system using MS Access™ and MS Project™. *Construction Management and Economics*, vol. 22, no. 2, 203–211.
- Popescu, C., Phaobunjong, K., & Ovararin, N. (2003). *Estimating Building Cost*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Porras, D., Sánchez, O., Galvis, J., & Jaimez, N. (2015). Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Ingeniería y Tecnología*, 230-249.
- Project Management Institute. (2005). *Practice Standard for Earned Value Management*. Pennsylvania: Project Management Institute Inc.
- Silvela, M. (2015). Cost-It: El presupuesto BIM 5D con Presto. *Cost Engineering (Morgantown, West Virginia)*, 12, 12-16.
- 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* vol. 12, 381-407.
- 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.
- Taboada; Alcántara; Lovera; Santos . (2011). Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. *Revista de investigación UNMSM*, Vol.14,1-9.
- The Pennsylvania State University. (2010). *Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania: Charles Pankow Foundation.
- Torres, G. (2016). *Software especializado para ingeniería y arquitectura*. Cali : GT y CIA Ltda.
- Vera, S. (2016). *Modelo BIM como base de datos para el ejercicio del Facilities Management*. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña.

