

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO 5D CON TECNOLOGÍAS "BUILDING INFORMATION MODELING"

METHODOLOGY FOR MODELLING THE CONSTRUCTION PROCESS 5D WITH TECHNOLOGIES BUILDING INFORMATION MODELING



AUTOR

HERNÁN PORRAS DÍAZ
Ingeniero civil.
MSc. en Gestión Tecnológica.
MSc. en Informática.
PhD. en Ingeniería Telemática.
*Universidad Industrial de Santander
Docente universitario e investigador.
Director del grupo de investigación
Geomática, Gestión y Optimización
de Sistemas
hporras@uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

OMAR GIOVANNY SÁNCHEZ RIVERA
Ingeniero civil.
Estudiante de Maestría en Pensamiento
Estratégico y Prospectiva.
Estudiante de Maestría en Ingeniería
Civil.
*Universidad Industrial de Santander
Docente catedrático e investigador.
Grupo de investigación Geomática,
Gestión y Optimización de Sistemas.
omarsanchez.44@hotmail.com
COLOMBIA

*INSTITUCIÓN

Universidad Industrial de Santander
UIS
Universidad pública
Ciudad Universitaria
Calle 9 carrera 27
vacadem@uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JOSÉ ALBERTO GALVIS GUERRA
Estudiante de Ingeniería Civil
* Universidad Industrial de
Santander
Investigador
Grupo de investigación Geomática,
Gestión y Optimización de
Sistemas.
alberto9210@hotmail.com
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: El presente documento corresponde a uno de los productos de los trabajos de grado, de pregrado y posgrado, de los investigadores José Galvis y Omar Sánchez, bajo la dirección y la coordinación del doctor Hernán Porras. En los trabajos de grado se busca implementar las tecnologías BIM (Building Information Modeling) como herramientas para la gestión de proyectos de construcción. El trabajo de investigación expuesto se desarrolló en las instalaciones del grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, y se inició en el mes de diciembre de 2012.

RECEPCIÓN: Junio 14 de 2014

ACEPTACIÓN: Noviembre 04 de 2014

TEMÁTICA: Gestión tecnológica.

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de investigación científica y tecnológica.

Forma de citar: Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2015). Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías "Building Information Modeling". En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 14(38), 59-73. ISSN 1657-8236.

RESUMEN ANALÍTICO

La planificación de un programa de obra, para la construcción de un proyecto de edificación, resulta una labor compleja, esto debido a la gran cantidad de elementos de construcción, la mano de obra y los equipos requeridos para la ejecución de las actividades de la obra y el gran volumen de información de un proyecto de construcción, entre otros. Un modelo del proceso constructivo facilita la elaboración de un programa de obra. En el presente artículo se propone una metodología para la elaboración de un modelo del proceso constructivo, teniendo en cuenta cinco variables (dimensión en el eje x, dimensión en el eje y, dimensión en el eje z, tiempo y costo). Para la elaboración del modelo se utilizan tecnologías "building information modeling" (BIM), y el caso de estudio es la estructura de concreto reforzado de una estación de buses ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Se analizan las ventajas de la elaboración de un modelo BIM 5D, como: gestión de la información de construcción, detección de interferencias e incoherencias, planificación de actividades y recursos para la ejecución del proyecto, seguimiento del proceso constructivo y disminución de pérdidas en el proceso de construcción.

PALABRAS CLAVES: building information modeling, BIM, BIM 5D, Proceso constructivo, Modelado del proceso constructivo 5D, Gestión del proceso constructivo, Gestión de la construcción.

ANALYTICAL SUMMARY

Planning a program of work for the construction of a building project, it is a complex work, that due to the large amount of building components, and labor required for the execution of the activities of the work team and the large volume of information on a construction project, among others. A model of the construction process facilitates the development of a program of work. In this paper a methodology for the development of a model of the construction process is proposed, taking into account five variables (dimension in the x-dimension in the y-dimension in the z axis, time and cost). For the modeling technologies "building information modeling" (BIM), and the case study is the reinforced concrete structure of a bus station located in the city of Bucaramanga, Colombia used. The advantages of developing a 5D BIM model, as discussed, manage construction information, interference detection and inconsistencies, planning activities and resources for project implementation, monitoring of the construction process and reduce losses in the process construction.

KEYWORDS: Building information modeling, BIM, BIM 5D, Construction process, 5D construction process modeling, Management of the construction process, Construction management.

INTRODUCCIÓN

Muchos investigadores y consultores, de la industria de la construcción, han desarrollado modelos del proceso constructivo con cuatro dimensiones (4D), (dimensión en el eje x, dimensión en el eje y, dimensión en el eje z y tiempo) [1-2-3-4], posible en gran parte por las ventajas y las facilidades de las tecnologías BIM (Building Information Modeling).

Elaborar un modelo del proceso constructivo de un proyecto de construcción tiene varias ventajas; entre las más significativas: almacenamiento y gestión de la información de construcción, reducción de los costos en las fases de diseño y construcción de un proyecto, posibilidad para el trabajo con profesionales en distintas partes del mundo [5], cálculo de las cantidades de construcción [1-5-6], detección de problemas de seguridad en la obra [1-5], detección de inconsistencias

en los diseños del proyecto [5], optimización del espacio en la obra [1-8] y planificación de los recursos que han de utilizarse [1-9-5], entre otros.

Para solucionar los problemas de almacenamiento y visualización del gran volumen de información de un proyecto de construcción, se han desarrollado varios *softwares*. Una de las soluciones más versátiles consiste en la elaboración de un modelo con tecnologías BIM.

BIM permite la generación de un modelo virtual de un proyecto de construcción de una forma integral, con una representación digital de los elementos de una obra en las distintas fases del proyecto y el ciclo de vida [10-11]. BIM actúa como una base de datos digital en donde la información de construcción es almacenada. BIM facilita a quienes pueden afectar o son afectados por las actividades del proyecto, el almacenamiento, la consulta y la comunicación de la información.

En el presente trabajo se propone una metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D, con la utilización de tecnologías BIM, incluyendo cinco variables (dimensión en el eje x, dimensión en el eje y, dimensión en el eje z, tiempo y costo). En el desarrollo del trabajo se exponen algunas de las ventajas de la elaboración de un modelo del proceso constructivo BIM 5D. El caso de estudio es la estructura de concreto reforzado de una estación de buses que se construirá en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

1. METODOLOGÍA

La metodología que se propone para la elaboración de un modelo del proceso constructivo BIM 5D, que corresponde al modelo del proceso constructivo de un proyecto de construcción, se observa en la figura 1.

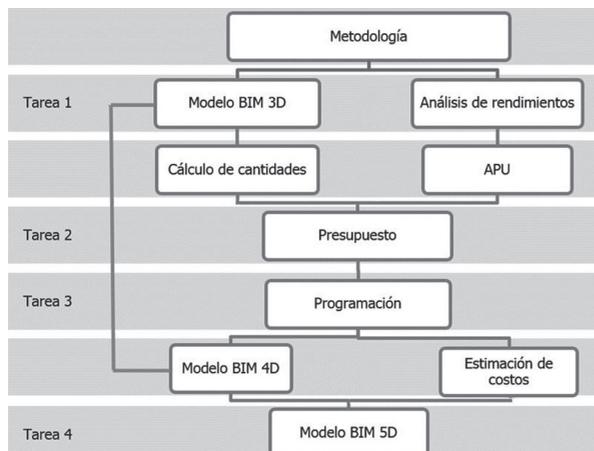
La metodología se divide en cuatro tareas principales: en la primera tarea se desarrolla un modelo tridimensional BIM 3D en un *software* BIM. Para el caso de estudio se utilizó el *software* Autodesk Revit 2014.

En la segunda tarea, el objetivo es la elaboración del presupuesto de construcción del proyecto.

En la tercera tarea se realiza el modelado BIM 4D del proyecto en un *software* BIM, se vincula el orden de ejecución de las actividades de obra del proyecto (programa de obra) con el modelo BIM 3D. Para el caso de estudio se utilizó el *software* Autodesk Navisworks Manage 2014.

Para finalizar, en la tarea 4 se unifican los productos de las tareas 1, 2 y 3, en el *software* utilizado en la tarea 3; de esta forma se obtiene un modelo BIM 5D.

FIGURA 1: Esquema metodológico para la elaboración de modelos BIM 5D.



Fuente: elaboración propia.

1.1 TAREA 1: MODELO BIM 3D Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

La primera tarea de la metodología se subdivide en dos etapas; en la primera etapa se desarrolla el modelo tridimensional BIM 3D, y en la segunda etapa se realiza el análisis de los rendimientos de la mano de obra y los equipos para la construcción de los elementos del proyecto.

1.1.1 Etapa 1: Modelo BIM 3D

El espacio es un recurso importante en un proyecto de construcción [12]. Un modelo 3D de un proyecto facilita la asignación y la gestión de espacios en la fase de construcción y proporciona una visualización virtual del proyecto; de esta forma es posible verificar detalles constructivos antes de iniciar la obra.

Para la elaboración del modelo BIM 3D del proyecto, en el *software* BIM, es necesario contar con los planos de diseño en formato CAD 2D, un modelo 3D o cualquier fuente de información de los parámetros y las características de diseño del proyecto.

Con la información del proyecto, para desarrollar el modelo BIM 3D se inicia con el modelamiento de la topografía, y con esta se modelan las excavaciones para los cimientos, de acuerdo con las especificaciones de los diseños; luego elementos estructurales de concreto reforzado, como zapatas, vigas de cimentación y columnas, entre otros, y de esta forma se continúa con los elementos de redes hidráulicas, redes sanitarias, redes eléctricas, elementos arquitectónicos, etc.

La tarea de la elaboración del modelo BIM 3D, en algunos proyectos, requiere de un tiempo extenso. Una posibilidad para la reducción del tiempo empleado en la elaboración del modelo BIM 3D es el trabajo colaborativo.

El trabajo colaborativo en un proyecto de construcción se da entre profesionales con diferente grado de experiencia, diversos conocimientos, diferente pensamiento del desarrollo del proyecto y métodos diferentes, entre otros [13]. Por estas y otras razones, el trabajo colaborativo para la elaboración del modelo BIM 3D puede resultar una labor compleja.

1.1.2 Etapa 2: Análisis y estimación de los rendimientos de mano de obra

Quantificar el rendimiento consiste en determinar la productividad de la mano de obra. El rendimiento es interpretado como una evaluación del desempeño en el proceso constructivo con respecto a la unidad del tiempo [14-15]. Quantificar los rendimientos resulta

fundamental para determinar el costo de la obra y el programa de ejecución de la obra.

Los rendimientos son necesarios para elaborar los análisis de precios unitarios (APU), el presupuesto de obra y el programa de obra.

Para la estimación de rendimientos, se deben tener presente las actividades que se definirán para el programa de obra y las unidades de medición de las diferentes actividades.

El resultado de los análisis de rendimientos depende de la ubicación geográfica del proyecto: factores como el clima, la temperatura, la modalidad de contratación y la experiencia, entre otros [16], afectan el rendimiento de la mano de obra y los equipos.

En el caso de estudio, los rendimientos fueron estimados con base en el estudio 'Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción' [17], producto del estudio de rendimientos de mano de obra de una edificación levantada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, ciudad donde se construirá la estación de buses.

Las actividades de encofrado y desencofrado de formaleta no son elaboradas en el modelo 5D; sin embargo, en el programa de obra, el rendimiento de estas actividades es tenido en cuenta.

1.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

Consiste en elaborar el presupuesto de construcción para calcular el costo de construcción del proyecto. Para la elaboración del presupuesto es necesario consultar en el mercado local los precios de materiales, equipos, mano de obra y transporte.

En el caso de estudio, se utiliza el *software* Microsoft Excel 2013. Algunos de los datos de entrada son los rendimientos estimados en la tarea 1, las cantidades de obra de las distintas actividades necesarias para la construcción del proyecto y los precios locales de mano de obra, materiales y equipos.

La elaboración del presupuesto según la metodología propuesta, planteada en la figura 1, consta del desarrollo de dos etapas:

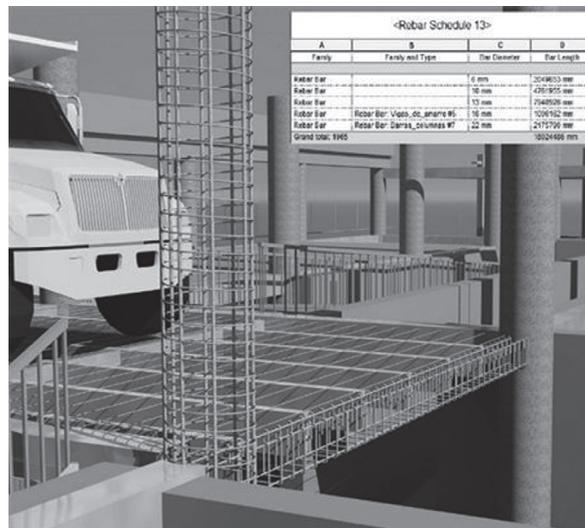
1.2.1 Etapa 1: Cálculo de cantidades de obra en el modelo BIM 3D

BIM beneficia de forma significativa a los profesionales y facilita el cálculo de cantidades de obra [18]. Con BIM se reduce la incertidumbre en el cálculo del presupuesto, ya que las cantidades son exactas y hay baja posibilidad de que se olvide incluir elementos de construcción en el presupuesto.

En el caso de estudio, las cantidades de concreto y acero totales para la construcción de cada elemento estructural se calculan con el *software* Autodesk Revit 2014, que permite calcularlas de forma rápida y precisa, a diferencia de las tecnologías CAD.

En la figura 2, se observa la interfaz del *software* Autodesk Revit 2014 para cálculo de cantidades de acero en el caso de estudio.

FIGURA 2: Cálculo de cantidades en el *software* Autodesk Revit 2014. Elaboración propia.



ETAPA 2: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU

Un análisis de precios unitarios APU corresponde al análisis del costo de materiales, equipos, mano de obra y transporte requeridos para la ejecución de una unidad de una actividad de obra; por ejemplo, un metro cúbico de concreto de 3000 Psi para las columnas de un proyecto.

En esta etapa se realizan los análisis de precios unitarios de las actividades de obra. Se estima el costo de los materiales, la mano de obra, el transporte, las herramientas y los equipos, necesarios para la ejecución de las actividades que harán parte del presupuesto general de la obra. La estimación de los costos se realiza con base en una consulta de los precios locales en donde tendrá lugar la construcción del proyecto.

Para determinar el costo unitario que tendrá cada actividad, se utilizan los rendimientos estimados en la tarea 1.

Con las cantidades de obra calculadas por medio del modelo BIM 3D, es posible calcular el costo total (C_i) de las diferentes actividades, como el producto de la

cantidad de obra (Q_i) de la actividad y el precio unitario (P_i) de la actividad.

$$C_i = Q_i P_i \quad (1)$$

1.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA

Elaborar el programa de obra consiste en asociar la variable tiempo a las actividades necesarias para la construcción del proyecto. Para la elaboración del programa de obra se calcula la duración de las diferentes actividades, fecha de inicio y fecha de terminación [19]. Los datos de entrada para la elaboración del programa de obra son los rendimientos de la mano de obra y las cantidades de obra; valores obtenidos en las tareas 1 y 2.

Con los rendimientos de obra que se obtienen en la etapa de análisis de rendimientos y las cantidades de obra calculadas con el *software* BIM, es posible calcular la duración estimada (D_e) de las distintas actividades necesarias para la construcción del proyecto. La duración estimada está determinada por el producto de la cantidad de obra (C_o) y el rendimiento de obra (R_o).

$$D_e = C_o R_o \quad (2)$$

La duración estimada corresponde al tiempo estimado que tardará la cuadrilla de construcción, asignada en la etapa de elaboración de Análisis de Precios Unitarios (APU) en la ejecución de la actividad.

Con las duraciones estimadas de las actividades, continúa la asignación de fechas de ejecución de las actividades y la asignación de actividades predecesoras.

Se recomienda que el programa de obra sea elaborado, en lo posible, por fases, y que sea verificado al finalizar cada fase en el modelo BIM 5D, que brinda la posibilidad de obtener una representación de la programación de obra; esto para evitar errores e incoherencias en el flujo y en el orden de las actividades.

Las fases son definidas a criterio del programador, y se procura que el número de actividades por fase sea moderado.

Al finalizar la etapa de la elaboración del programa de obra, se obtienen las fechas planeadas para el inicio y la finalización de las actividades necesarias para la culminación del proyecto.

1.4 TAREA 4: ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D

La metodología concluye con la realización de la tarea cuatro, en que el objetivo es la generación del modelo BIM 5D.

El modelo BIM 4D se obtiene de vincular el programa de obra con el modelo BIM 3D en un *software* de modelación BIM 4D.

Para el caso de estudio, el programa de obra se elaboró con el *software* Microsoft Project 2013, y el modelo BIM 3D en el *software* Autodesk Revit 2014. La simulación del modelo BIM 4D representa la simulación virtual del proceso constructivo del proyecto.

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.

Para el caso de estudio, el modelo BIM 5D se elaboró con el *software* Autodesk Navisworks 2014.

2. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a la ejecución de las cuatro tareas planteadas en el esquema metodológico de la figura 1, con caso de aplicación a la estructura de concreto reforzado de una estación de buses ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

2.1 TAREA 1: MODELACIÓN BIM 3D Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

En la siguiente tabla, se observan los rendimientos de mano de obra estimados para la elaboración del presupuesto de construcción y el programa de obra del proyecto del caso de estudio.

TABLA 1. Rendimientos de mano de obra estimados para la construcción de estructura de concreto reforzado en la ciudad Bucaramanga, Colombia, rendimientos estimados con base en el estudio: *Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción* [17].

Actividad	Cuadrilla	R	Unidad
Acero de refuerzo de 63000 Psi	1 oficial + 1 ayudante	0,03	$\left[\frac{hr}{kg}\right]$
Concreto ciclópeo (2000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	2,50	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para zapatas (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	9,90	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para muro de contención (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	7,15	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$

Actividad	Cuadrilla	R	Unidad
Concreto para vigas de cimentación (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	5,77	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para columnas (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	10,14	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para vigas aéreas (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	11,14	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para viguetas (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	11,20	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para placa (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	9,30	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$
Concreto para viga canal (3000 psi)	1 oficial + 1 ayudante	11,14	$\left[\frac{hr}{m^3}\right]$

Al finalizar la elaboración del modelo BIM 3D, la información de los diferentes elementos de construcción se encuentra almacenada en una única base de datos; de esta forma, la integración y la consulta se facilitan de gran manera. En la figura 3 es posible observar el modelo BIM 3D de la estación de buses, caso de aplicación que se analiza en la presente investigación.

2.2 TAREA 2: ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

Como producto de la elaboración del presupuesto de construcción, se obtiene el costo directo estimado para las diferentes actividades necesarias para la construcción del proyecto, además de los materiales requeridos y los recursos de mano de obra y maquinaria.

Para el caso de estudio, la estructura de concreto reforzado de la estación de buses, se obtienen los costos directos en pesos colombianos, que se observan en la tabla 2.

FIGURA 3: Modelo BIM 3D de la estructura en concreto reforzado de la estación de buses. Elaboración propia en el *software* Autodesk Revit 2014.

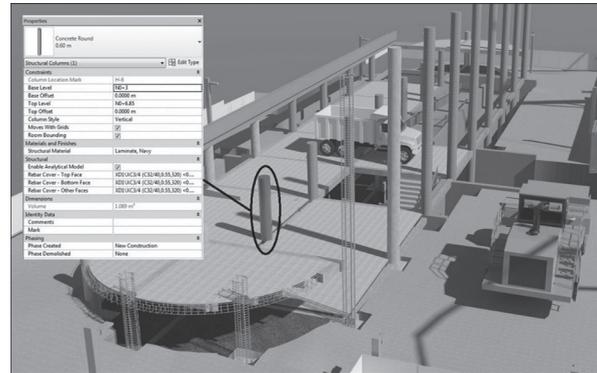


FIGURA 4: Programa de obra, construcción de la estructura de concreto reforzado de la estación de buses. Elaboración propia en el *software* Microsoft Project 2013.

Nombre de tarea	URD	Cant.	Duración
• Estructura en concreto reforzado		0	61.19 días
• Concretos		0	54.74 días
Concreto pobre	M3	28.8	6 horas
Concreto para zapatas	M3	33.4	27.56 horas
Concreto para vigas de amarre	M3	53.6	25.77 horas
Concreto para columnas	M3	53.4	45.12 horas
Concreto para vigas aéreas	M3	26	74.46 horas
Concreto para viguetas	M3	35.6	74.53 horas
Concreto para placas de contrapiso	M3	22.1	74.47 horas
Concreto para muros de contención	M3	305.9	182.27 horas
Concreto para viga canal	M3	27.7	25.71 horas
• Acero de refuerzo		0	57.98 días
Acero de refuerzo zapatas	Kg	1148.5	2.87 horas
Acero de refuerzo vigas de amarre	Kg	3783.3	9.46 horas
Acero de refuerzo para columnas	Kg	9250.6	23.13 horas
Acero de refuerzo para vigas aéreas	Kg	2623.3	10.8 horas
Acero de refuerzo viguetas	Kg	777.4	10.8 horas
Acero de refuerzo para placas de contrapiso	Kg	723.8	10.8 horas
Acero de refuerzo para muros de contención	Kg	20635.8	51.59 horas
Acero de refuerzo para viga canal	Kg	1887.7	4.72 horas

FIGURA 5: Simulación del modelo BIM 5D, proceso constructivo de la estructura de concreto reforzado del caso de estudio, elaboración propia en el software Autodesk Navisworks Manage 2014.

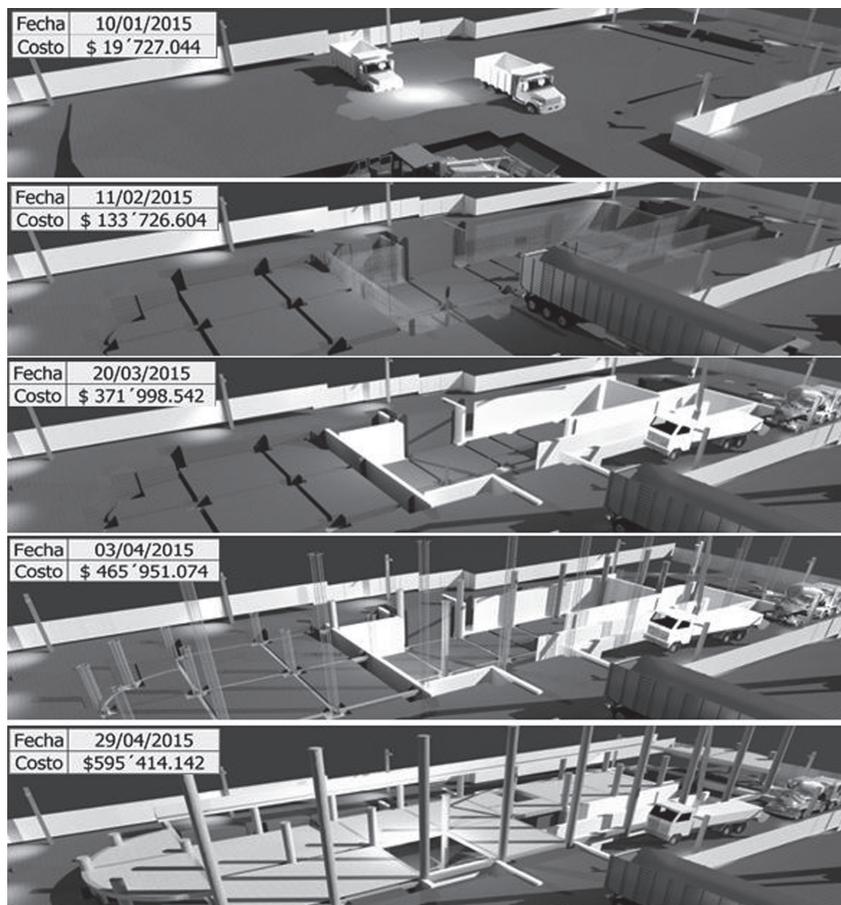


TABLA 2: Costos directos estimados para el caso de estudio.

Concepto	Subtotal
Preliminares	\$ 35.457.427
Movimientos de tierra	\$ 57.795.262
Concretos	\$ 379.250.419
Acero de refuerzo	\$ 112.911.034
Costo directo total	\$ 595.414.142

2.3 TAREA 3: ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE OBRA

Al finalizar la elaboración del programa de obra, se obtienen la duración de construcción del proyecto, las fechas planeadas para la ejecución de las diferentes actividades, las fechas y la cantidad requerida de recursos para la ejecución de las actividades, entre

otros. En la figura 4 se muestra el programa de obra para el caso de estudio analizado.

2.4 TAREA 4: MODELACIÓN BIM 5D

El producto final, de la metodología de la figura 1, es el modelo del proceso constructivo BIM 5D. En la figura 5 es posible observar seis momentos de la simulación del modelo BIM 5D del proceso constructivo del caso de estudio.

3. DISCUSIÓN

Los beneficios de las tecnologías BIM en la industria de la construcción han jugado un papel fundamental en la reforma de los flujos de información [20]. Cuando la información del proyecto de construcción es almacenada en un modelo BIM, se presenta un mejor flujo de la información y, por tanto, la información es comunicada, integrada y compartida, en las distintas fases del proyecto de forma eficaz.

Un uso de las tecnologías BIM se da en modelado del proceso de construcción en que es posible involucrar varias variables [21]. En el caso de estudio analizado, las variables involucradas son: dimensión en el eje X, dimensión en el eje Y, dimensión en el eje Z, tiempo y costo. Con motivo de que las variables son cinco, en la metodología propuesta el modelo resultante se define como "modelo del proceso constructivo 5D".

Para el caso de aplicación (una estación de buses), el modelo 5D, producto de aplicar la metodología propuesta para su elaboración, permite observar ventajas como: una eficiente gestión de la información de la construcción, detección de interferencias e inconsistencias en los diseños del proyecto, planificación de las actividades y recursos para la ejecución del proyecto, posibilidad para un mejor seguimiento del proceso constructivo y disminución de pérdidas en el proceso de construcción, entre otros.

3.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN

La gestión de la información consiste en brindar las condiciones necesarias para que exista interoperabilidad de información, de modo que la información pueda ser interpretada sin problemas por los entes que la solicitan [22].

En un proyecto de construcción se emplean múltiples y heterogéneas tecnologías de la información, además de expertos en áreas multidisciplinarias [23]. En la medida en que el número de fuentes de información aumenta, el volumen de información es mayor.

En el desarrollo de las fases de un proyecto de construcción (planeación, diseño, construcción, operación, etc.), se genera un gran volumen de información [24-25-22]. En la medida en que avanza un proyecto, el volumen de información aumenta. La información generalmente se encuentra en formatos digitales incompatibles entre sí, como Autodesk DWG (abreviación de "Drawing"), DXF (abreviación de "Drawing Exchange Format"), DNG (abreviación de "Desing"), DOC/XLS/PPT (formato de Microsoft office), RM/MPEG (formato de video) y JPEG (formato de imagen) [22-26-27].

En la tabla 2, es posible observar el número de archivos relacionados con el diseño de la estructura en concreto reforzado, correspondientes a la estación de buses analizada, según el formato digital de los archivo.

TABLA 2: Archivos según formato digital para el diseño de la estructura en concreto reforzado de la estación de buses analizada.

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

Los diferentes archivos y diferentes formatos en los que se encuentra la información de construcción del proyecto tienen como consecuencia el hecho de que se presente incoherencia e incompatibilidad entre algunos de los archivos, situación que en la fase de construcción puede retrasar el cronograma de ejecución y aumentar los costos de construcción del proyecto.

Para la integración, el almacenamiento y la gestión de la información de construcción, un modelo BIM (Building Information Modeling) resulta de gran utilidad. El modelo BIM proporciona una visualización del proyecto, comunicación de la información e integración [28].

BIM se ha definido con estándares internacionales como una representación digital compartida de las características físicas y funcionales de cualquier objeto construido [29-30].

En la última década, el término BIM ha recibido gran atención por parte de un gran número de investigadores, y se han publicado numerosos casos de estudio aplicados a diferentes proyectos de construcción [21-7-2].

En un modelo BIM, la información de los elementos de construcción es almacenada en una base de datos digital [24]. Almacenar la información de construcción de un proyecto en una base de datos digital permite mejorar, integrar y optimizar la consulta y el uso del gran volumen de información.

En la fase de construcción, un modelo BIM 5D permite mejorar de forma significativa la gestión de la información, esto con motivo de que la información se encuentra consolidada en una única base de datos digital; de esta forma se garantiza información compatible coherente y completa, situación que disminuye el riesgo de atraso por concepto de deficiencias en la gestión de la información.

3.2 DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS E INCOHERENCIAS

Los proyectos de construcción aumentan de magnitud cada vez más. El aumento de la magnitud de los proyectos implica que los elementos de construcción sean numerosos. Los dibujos en dos dimensiones (2D) que se realizan son a menudo incapaces de representar las características de los elementos de construcción [1-29].

En la mayoría de los diseños de construcción de la actualidad, los profesionales de las distintas áreas elaboran dibujos en 2D. En muchos de los proyectos, los dibujos de las distintas disciplinas no son coherentes entre sí; por ejemplo, los dibujos 2D de la estructura no coinciden con los dibujos en 2D de la arquitectura, y como consecuencia se dan incoherencias e interferencias.

Una ventaja de las grandes ventajas de BIM sobre el tradicional CAD es la posibilidad de detectar conflictos e interferencias entre elementos [31-32].

Como se evidencia en el desarrollo del presente trabajo, un modelo en tres dimensiones (3D) es una solución eficiente para la integración de los dibujos en 2D. El modelo 3D detallado es desarrollado en un modelo BIM; de esta forma pueden ser corregidas las interferencias y las incoherencias entre los dibujos 2D de las distintas disciplinas.

Los investigadores han desarrollado numerosas aplicaciones 4D, que permiten la visualización de las fases de construcción, además de la detección de conflictos de construcción [1-7].

En el desarrollo del modelo 5D, que corresponde al caso de aplicación expuesto en el presente documento, fue posible detectar interferencias e incoherencias; las más significativas se muestran en la tabla 3:

TABLA 3: Interferencias e incoherencias en los diseños de la estructura de concreto reforzado de la estación de buses analizada.

Caso	Cantidad
Los taludes, resultantes de la excavación para la construcción de estructuras a desnivel, se presentaban peligrosos para el personal en la fase de construcción	1
Casos de diferencia de cotas de diseño en diferentes planos del proyecto	2
Incoherencias en algunos despieces de los elementos de concreto reforzado	7
Falta del despiece del acero de refuerzo de elementos estructurales	2
Interferencia entre elementos estructurales y elementos de redes sanitarias e hidráulicas	1
Incoherencia entre planos de planta y perfil	2
Diferencias significativas en las cantidades del presupuesto de construcción oficial	3
Total	17

3.3 PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES Y RECURSOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Planificar las actividades laborales para completar un proyecto de construcción es una fase importante para en la gestión del proyecto [33]; planificar efectivamente proporciona una buena ejecución de la fase de construcción del proyecto [34].

Tradicionalmente, las herramientas para realizar la planificación del proyecto de construcción, como los diagramas de redes y la carta Gantt, no representan la comunicación entre el espacio y el tiempo, aspectos importantes en una buena planificación de un proyecto de construcción [35]. Con una buena integración del espacio y el tiempo es posible controlar y verificar el orden de ejecución de las actividades constructivas; por ejemplo, un posible error podría ser planificar la fundición de columnas antes que la fundición de los cimientos.

En proyectos con grandes volúmenes de actividades se vuelve tedioso comprobar la correcta secuencia de las actividades basándose solo en dibujos en dos dimensiones (2D). Para la solución de tal asunto, en 1996, el Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) de la Universidad de Stanford oficialmente crea y usa el concepto de modelo CAD 4D [36], que relaciona la representación gráfica del proyecto en tres dimensiones (espacio) con su planificación (tiempo). Concepto que actualmente es conocido como modelación BIM 4D. Como parte del enfoque BIM, la modelación 4D busca conectar la planificación realizada en la carta Gantt con el modelo 3D de la edificación, con el fin de visualizarlo en el tiempo, para identificar de este modo interferencias, actividades ya ejecutadas y ayudar a cuantificar los compromisos futuros [37].

El modelo 4D que se desarrolló para el cumplimiento de la metodología planteada en la figura 1 permite comprobar los beneficios expuestos anteriormente. Es una manera efectiva de mejorar el proceso de la planificación en proyectos de construcción, no solo de edificaciones; es posible adaptarlo a cualquier obra civil. La industria de la construcción colombiana puede adoptar fácilmente esta tendencia, usada ampliamente en los principales países desarrollados, de donde se tienen excelentes reportes de constructoras, que ya han hecho la tecnología BIM 4D parte de sus proyectos.

3.4 SEGUIMIENTO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El avance en la información tecnológica presente en el mundo ha permitido desarrollar la modelación en tres dimensiones de edificaciones, al punto de lograr unificar los modelos 3D con las variables específicas del proyecto de construcción [38], como el tiempo, los costos y la información sobre los elementos de construcción, entre otras. Esto con el objetivo de lograr crear modelos de simulación virtuales que representen cada variable específica de la edificación, con el fin de obtener información valiosa sobre los detalles constructivos, difíciles de visualizar en los dibujos CAD 2D [39-40-41].

La anterior unificación tecnológica es lo que actualmente se conoce en el mundo como modelo de simulación BIM 5D.

Con esta investigación se ha logrado proponer una metodología para la realización de modelos BIM 5D. La metodología propuesta resulta fácil de reproducir en cualquier obra de construcción.

Las ventajas que se pueden obtener al aplicar la herramienta del modelo BIM 5D a la gestión tradicional de proyectos de edificaciones y otros proyectos de construcción son varias.

Como parte de la investigación, se logró la verificación de los beneficios que han logrado obtenerse en algunos países, como es el caso de Estados Unidos, como reducir el tiempo de inactividad de los recursos, mejorar la productividad en obra [42] y corregir los conflictos de tiempo para la asignación y la utilización de recursos en las actividades constructivas [43].

El modelo BIM 5D permite la visualización del avance de la construcción de los proyectos en el tiempo y su costo. BIM 5D no solo se queda en la representación en un modelo de las variables específicas anteriormente descritas; el modelo va más allá de un simple dibujo en computador. Se describe el modelo BIM 5D como un pre proyecto de construcción con el que es posible modelar y simular 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.

3.5 DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

La palabra perdida puede tener diversos significados dependiendo del contexto en que sea usada. En un proyecto de construcción, las pérdidas están relacionadas con el tiempo y los recursos usados para la construcción del proyecto. Tener pérdidas en un proyecto de construcción es usar más de los recursos y tiempos planificados en la ejecución de las diferentes fases del proyecto (diseño, planificación y construcción).

El doctor Flavio Picchi, investigador brasileño, plantea en su tesis doctoral una clasificación y una cuantificación porcentual de las pérdidas que surgen tradicionalmente en la fase de construcción de un proyecto de edificación [44], y que pueden generalizarse en tres grandes grupos: pérdidas en actividades de producción, pérdidas en costos y pérdidas en la optimización de sub proyectos necesarios en el proyecto de edificación (arquitectura, estructura, redes, etc.).

Se tiene un porcentaje elevado, según los resultados de la investigación de F. Picchi, en la falta de optimización de los sub proyectos, ya que tradicionalmente los proyectos están divididos en grupos de trabajos de diferentes disciplinas, y la organización de los numerosos grupos de trabajo es una situación que puede incrementar los riesgos y los errores en los proyectos [45].

Es importante la identificación de los motivos más importantes, generadores de pérdidas en los proyectos de construcción. En general, existen diferentes tipos de residuos en las obras de construcción; sin embargo, el consumo excesivo y el desperdicio de material son el principal factor de residuos en lo que respecta al

aumento de los costos de construcción del proyecto [46].

Los orígenes de estas grandes cantidades de material están relacionados con los cambios en los diseños, los restos de materiales sobrantes y los errores en los diseños [47].

Las actitudes actuales de los entes involucrados directamente con el diseño y la construcción de los proyectos, frente al problema de pérdidas, se han analizado en diferentes estudios realizados; los arquitectos y los contratistas identifican que los residuos de materiales de construcción se deben al diseño, el sitio de operación, las rutas de adquisición, el manejo de los materiales y las prácticas de subcontratación [48].

Ahankoob, Khoshnava, Rostamiy Preece (2012) afirman que la idea para lograr reducir los residuos es centrarse en las etapas previas a la construcción, particularmente en la de diseño, una meta fácil de lograr mediante la implementación de un modelo BIM 5D, debido al aumento de las tecnologías de la información en el campo de la industria constructora. En estos últimos años, los modelos BIM y los procesos de simulación han evolucionado y son ampliamente usados como herramientas para la gestión del ciclo de vida de los proyectos [49], que abarca desde el diseño hasta la construcción.

BIM 5D aborda muchos aspectos de los residuos producidos en obra a medida que el concepto de diseño se desarrolla. Diseñadores, propietarios y constructores pueden tomar decisiones que eviten concentraciones de residuos en obra [13]. Además, BIM cuenta confunciones que ayudan a reducir la variabilidad y los ciclos de tiempo empleados en la fase de diseño de los proyectos de construcción [50]; funciones como la visualización de las variables espacio, tiempo y costo, la rápida generación de alternativas de diseño, colaboración en diseño y construcción contribuyen a generar calidad, a reducir las duraciones de las actividades productivas y a mejorar el manejo de los volúmenes de información. En conclusión, el uso de herramientas computacionales avanzadas de visualización logra reducir pérdidas y generar valor en fases de los proyectos de construcción [51-52].

Es decir, los modelos BIM 5D permiten sistematizar los procesos necesarios para construir cada elemento estructural del proyecto [53]. Con BIM 5D, es posible controlar el diseño en el ámbito virtual, obtener residuos simulados por BIM, en lugar de tener residuos reales. Los residuos se identifican, se estiman, y se plantean acciones para reducirlos antes de la ejecución del proyecto [54].

3.6 VENTAJA DEL BIM 5D EN EL CÁLCULO DE CANTIDADES DE OBRA FRENTE AL MÉTODO TRADICIONAL

El cálculo de cantidades de obra se basa en cuantificar el total de material necesario para la construcción de cada una de las obras del proyecto de construcción, desde los planos de diseño arquitectónicos, estructurales e instalaciones hidráulicas y mecánicas, por ejemplo, la cantidad de metros cúbicos de concreto necesarios para construir columnas y vigas en una edificación.

En los planos de diseño, dibujos en dos dimensiones propios del método tradicional, las cantidades de obra se pueden clasificar en dos grupos, cantidades visibles y cantidades no visibles, por ejemplo, las cantidades de los volúmenes de concreto son visibles mientras que las cantidades de los rellenos no lo son, esta situación propicia que la incertidumbre en la estimación de cantidades de obra aumente de forma significativa en el método tradicional.

Un modelo BIM 5D permite calcular las cantidades de obra [55], gracias a que el modelo es una representación digital de los elementos del proyecto de construcción [56], además permite modelar y representar obras como: rellenos, excavaciones, transportes, señalizaciones, entre otras, obras que no son visibles en los planos. Con el uso de BIM se proporcionan cantidades de obra más acertadas [57], con un 90% de precisión [58] con respecto al método tradicional que se basa en los dibujos en dos dimensiones (planos de diseño).

El modelo BIM facilita la actualización de cambios en los diseños del proyecto, por tanto, la estimación de cantidades de obra ya no es una actividad independiente, como sucede en el método tradicional, esto debido a que con la elaboración del modelo BIM 5D las cantidades se obtienen automáticamente en cualquier punto de avance del proyecto, logrando así un flujo de trabajo rápido, preciso y flexible a los cambios en diseños.

4. CONCLUSIONES

La elaboración de un modelo BIM 5D es posible con la ejecución de cuatro labores: 1) elaboración de un modelo BIM 3D y análisis de rendimientos, 2) elaboración del presupuesto, 3) elaboración del programa de obra y 4) elaboración del modelo BIM 5D.

La elaboración de un modelo del proceso constructivo BIM 5D resulta en una herramienta que facilita de gran manera la gestión de la información de un proyecto de construcción. En un modelo BIM 5D, el gran volumen de información del proyecto se encuentra en única base de datos digital; de esta forma hay integración

de la información, coherencia, mayor facilidad para la consulta y facilidad de comunicación entre otros.

Un modelo detallado en tres dimensiones (3D) de un proyecto de construcción resulta de gran utilidad para la verificación de interferencias e incoherencias entre los distintos elementos de construcción de un proyecto.

Un modelo BIM 3D es una herramienta eficaz para el cálculo de las cantidades de obra; reduce significativamente la posibilidad de cometer errores y olvidar elementos de construcción. De esta forma, el cálculo del presupuesto de construcción y el programa de construcción es más exacto que con el método tradicional en que se utilizan dibujos en dos dimensiones (2D).

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, es posible elaborar un programa de obra acertado, con motivo de que el modelo BIM 5D 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.

La simulación de un modelo BIM 5D permite la interacción de las distintas disciplinas involucradas en un proyecto de construcción; por tanto, se presenta un ambiente propicio para que los profesionales de las distintas disciplinas brinden sus recomendaciones y sus observaciones para el proceso de construcción del proyecto.

5. AGRADECIMIENTOS

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

Apreciamos de gran manera las contribuciones por parte de Puno Ardila Amaya, Julián Mauricio Zaraza Peña, Omar Andrés Sierra Alarcón y Silvia Milena Parra Diettes, investigadores vinculados al grupo de investigación *Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas* de la Universidad Industrial de Santander.

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

6. REFERENCIAS

- [1] Wang, W. Weng, S. Wang, S. Chen, C. (2014). Integrating building information models construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, 37, 68 – 80.
- [2] Chen, C. (2011). *Applying BIM and simulation to schedule construction projects*. Tesis de Trabajo de Grado de Maestría, NationalChiaoTungUniversity, Hsinchu, Taiwan.
- [3] Koo, B. Fisher, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in comercial construction. *Journal Engineering Construction Management*, 126, 251 – 260.
- [4] Mahalingam, A. Kashyap, R. Mahajan, C. (2010). An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects, *Automation in Construction*, 19, 148 – 159.
- [5] Fisher, M. Haymaker, J. Kathleen, L. (2003). Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers. *Swets&Zeitlinger*.
- [6] Mikulakova, E. König, M. Tauscher, E. Beucke, K. (2010). Knowledge based schedule generation and evaluation. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 389 – 401.
- [7] Zhang, J. Hu, Z. (2011). BIM and 4D based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction*, 20, 155 – 166.
- [8] Mallasi, Z. (2006). Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilising 4D visualization. *Automation in Construction*, 13, 640 – 655.
- [9] Wang, H. Zhang, J. Chau, K. Anson, M. (2004). 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. *Automation in Construction*, 13, 575 – 589.
- [10] Gu, N. London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19, 988 – 999.
- [11] [Cerovsek, T. (2012). Process reuse in product development with 5D models: concepts,

- similarity measures and querying techniques. *Communications in computer and information science*, 248, 243 – 262.
- [12] Lucko, G. Said, H. Bouferguene, A. (2014). Construction spatial modeling and scheduling with three dimensional singularity functions. *Automation in Construction*, 43, 132 – 143.
- [13] Porras, H. Sánchez, O. Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Revista Avances Investigación en Ingeniería*, 11-1, 10-32.
- [14] Mejía, G. Hernández, T. (2007). Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra, *Revista UIS ingenierías*, 6 (2), 45 – 59.
- [15] Mercado, E. (1998). *Productividad, base de la competitividad*. (Ed.). LIMUSA S.A, (p 400). México.
- [16] Li, H. Arditi, D. Wang, Z. (2013). Factors that affect transaction costs in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management – ASCE*, 139, 60 – 68.
- [17] Polanco, L. (2009). *Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción*. Tesis de trabajo de grado publicado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- [18] Lee, T. (2008). Sheduling, estimating, and BIM: a profitable combination. *International Transactions – ASCE*.
- [19] Sánchez, J. (1997). *Manual de programación y control de programas de obra*. (Ed.). Universidad Nacional de Colombia, (p 6). Medellín, Colombia.
- [20] Aram, S. Eastman, C. Sacks, R. (2013). Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. *Automation in Construction*, 35, 1 – 17.
- [21] Ding, L. Zhou, Y. Akinci, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 20.
- [22] Jiao, Y. Wang, Y. Zhang, S. Li, Y. Yang, B. Yuan L. (2013). A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS. *Advanced Engineering Informatics*, 27, 173 – 188.
- [23] Shen, W. Hao, Q. Mak, H. Neelamkavil, J. Xie, H. Dickinson, J. Thomas, R. Pardasani, A. Xue, H. (2010). Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 196 – 207.
- [24] Qing, L. Tao, G. Ping, W. (2014). Study on Building Lifecycle Information Management Platform Based on BIM. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7, 1-8.
- [25] Renaud, V. Christophe, N. Christophe, C. (2008). IFC and building lifecycle management. *Automation in Construction*, 19, 70 – 78.
- [26] Redmond, A. Alan, H. Alshawi, M. West, R. (2012). Exploring how information exchanges can be enhanced through cloud BIM. *Automation in Construction*, 24, 175 – 183.
- [27] Eastman, C. Teicholz, P. Sacks, R. Liston, K. (2011). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and constructors*. (Ed.). John Wiley & Sons Inc. Publishing Company. New Jersey, United States.
- [28] Park, J. Kim, C. Kim, B. Kim, H. (2011). 3D/4D CAD applicability form life-cycle facility management. *Journal computing of civil engineering*, 25, 129 – 138.
- [29] Volk, R. Stengel, J. Schultmann, F. (2014). Building information modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109 – 127.
- [30] ISO Standard, ISO 29481-1. (2010). *Building information modeling – information delivery manual – part 1: Methodology and format*, 2010.
- [31] Hartmann, T. Gao, J. Fischer, M. (2008). Areas of application for 3D and 4D models on construction projects. *Journal Engineering Construction Management*, 134, 776 – 785.
- [32] Porter, S. Tan, T. Tan, T. Geoff, W. (2014). Breaking into BIM: Performing static and dynamic security analysis with the aid of BIM. *Automation in Construction*, 40, 84 – 95.
- [33] Hendrickson, C. (2000). *Project managementforconstruction- fundamental*. consultado el 18 de Marzo de 2014 en: http://pmbok.ce.cmu.edu/09_Construction_Planning.html.

- [34] Heesom, D. Mahdjoubi, L. (2004). Trends of 4D CAD applications for construction planning. *Construction management and economics*, 22, 171-182.
- [35] Fischer, M. Liston, K. Schwegler, B.R. (2001). *Interactive 4D project management system*. The 2nd civil engineering conference in the Asian region, Tokyo, 16- 18 Abril.
- [36] McKinney, K. Kim, J. Martin, F. Howard, C. (1996). *Interactive 4D - CAD. Computing in civil engineering*, (pp. 383-389).New York.
- [37] González, A.M. (2012). *Propuesta de implementación del sistema LastPlanner con el apoyo de modelación 4D para la obra gruesa de edificaciones*. Tesis de trabajo de grado publicado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- [38] Dang, D. Tarar, M. (2012). *Impact of 4D modeling on construction planning process*. Tesis de master publicado, Chalmers University of Technology, Goteborg, Suiza.
- [39] Abourizk, S. Mather, K. (2000). Simplifying simulation modeling through integration with 3D CAD. *J. Construction engineering management*. 126(6), 475- 483.
- [40] Kamat, V.R. Martinez, J.C. (2007). Variable- speed object motion in 3D visualizations of discrete - event construction simulation models, *Electron. Journal informatics technological construction*. 12, 293-305.
- [41] Kang, S.C. Chi, H.L. Miranda, E. (2009). Three-dimensional simulation and visualization of crane-assisted construction erection processes, *Journal computation of civil engineering*. 23 (6), 363-371.
- [42] Halpin, D.W. Woodhead, R. (1976). *Design of Construction and Process Operations*, John Wiley & Sons, New York.
- [43] Halpin, D.W. Rong, Y.H. (1993). Dynamic interface simulation for construction operations. *Automation and robotics in construction*, 503-510.
- [44] Picchi, F. A. (1993). *Sistemas de qualidade uso em empresas de construção de edifícios*. Tesis para optar el título de doctor. Sao paulo, Brasil.
- [45] Popov, V. Skas, D. Juocevicius, V. Milkalauskas, S. (2008). *Application of building information modeling and construction*. International symposium on automation and robotics in construction, 25, 616 – 624.
- [46] Ahankoob, A. khoshnava, S. Rostami, R. Preece, C. (2012). *BIM perspectives on construction waste reduction*. Management in construction research association postgrade conference,
- [47] Faniran, G. Caban. (1998). Minimizing waste on construction project sites. *Engineering, construction and architectural management*, 5, 182-188.
- [48] Osmani, M. et al. (2006). Architect and contractor attitudes to waste minimization. *Proceedings of the institution of civil engineers waste reduction by design*. 159, 65-72.
- [49] Ford, S. Aouad, G. Brandon, P. Brown, F. Child, T. Cooper, G. Kirkham, J. Oxman, R. Young, B. (1994). The object oriented modeling of building design concepts. *Building and environment*, 29 NO. 4, 411-419.
- [50] Sacks, R. Koskela, L. Dave, B. Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in construction. *Journal of construction engineering and management*, 136 NO. 9, 968 – 980.
- [51] Birna, I. (2011). *BIM adoption in Iceland and its relation to Lean Construction*. Reykjavik University.
- [52] Stanley, R. Thurnell, D. (2014). The benefits of, and Barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying *Journal of Construction Economics and Building*, 14 (1), 105 – 117.
- [53] Breit, M. Vogel, M. Häubi, F. Marki, F. Raps, M. (2008). 4D design and simulation technologies and process design patterns to support. *Lean construction methods*, 13, 179 – 184.
- [54] Park, J. Nagakura, T. (2014). A thousand BIM: A rapid value simulation approach to developing a. *International Journal of Architectural Computing*, 12, 47 – 60.
- [55] Silva, O. (2010). Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM. Tesis de pregrado en ingeniería civil, Santiago de Chile, Universidad de Chile, facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería civil.121p.
- [56] Mohamed, M. Mohamed, H. (2014). Implementing

- earned value management using bridge information modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(05), 1302 – 1313.
- [57] Khaled, N. (2010). The effect of Building Information Modeling on the accuracy of estimates. *American University in Cairo*, 34, 356 – 395.
- [58] Suermann, P. (2009). Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on construction. PhD thesis. Gainesville, USA. University of Florida. 229 p.