

Comparación del comportamiento del costo del equipo de estructuras temporales de un proyecto de construcción, a partir de la variación del programa de obra, modelos BIM 5D y dinámica de sistemas

Mayra Alejandra Velasco

Paula Andrea Vélez Chacón

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Omar Giovanni Sánchez Rivera

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme este logro, por darme la vida y siempre cuidar de mí. A mi madre por compartir este sueño conmigo y por su inmenso amor. A mi familia y amigos que han estado a mi lado en este proceso.

Paula Andrea Vélez Chacón

Gracias querido Dios y a esa mujer que me hace llenar de orgullo, te amo y no va haber manera de devolverte todo lo que has hecho por mí, incluso antes de que hubiese nacido, tu amor es invaluable y tus esfuerzos son impresionantes, por eso esta tesis es un logro más que llevó a cabo y sin lugar a dudas es gracias a ti. Te doy mis infinitas gracias mamita.

Mayra Alejandra Velasco

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco conceptual.....	15
1.1 Estructuras temporales	15
1.2 Planificación de las Estructuras Temporales	18
1.3 Building Information Modeling.....	19
1.4 Dinámica de sistemas.....	20
2. Metodología	21
2.1 Tarea 1: características del mercado de alquiler de estructuras temporales	22
2.2 Tarea 2: modelo BIM 3D y análisis de rendimientos	23
2.2.1 Etapa 1: Modelo BIM 3D	23
2.2.2 Etapa 2: Estimación de los rendimientos de mano de obra	24
2.3 Tarea 3: elaboración del presupuesto.....	25
2.4 Tarea 4: elaboración del programa de obra.....	26
2.5 Tarea 5: elaboración del modelo BIM 5D	28
2.6 Tarea 6: elaboración del modelo de dinámica de sistemas	29
3. Resultados	30
3.1 Tarea 1: características del mercado de alquiler de estructuras temporales	30
3.2 Tarea 2: modelo BIM 3D y análisis de rendimientos	33

3.3 Tarea 3: elaboración del presupuesto.....	34
3.4 Tarea 4: elaboración del programa de obra.....	34
3.5 Tarea 5: modelo BIM 5D.....	36
3.6 Tarea 6: modelo de dinámica de sistemas.....	36
4. Conclusiones.....	47
5. Recomendaciones	49
Referencias bibliográficas.....	51

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Estructura Temporal tipo Andamio.	15
<i>Figura 2.</i> Estructura Temporal tipo Encofrado.....	16
<i>Figura 3.</i> Esquema metodológico para la elaboración de los modelos.	22
<i>Figura 4.</i> Modelación en Autodesk Revit (2017).....	24
<i>Figura 5.</i> Cálculo de cantidades en el software Autodesk Revit 2017.	25
<i>Figura 6.</i> Cantidad de estructuras temporales de acuerdo a cada piso.	26
<i>Figura 7.</i> Duración en días de acuerdo a la actividad.....	27
<i>Figura 8.</i> Modelación en Autodesk Revit donde se observa las ET.....	28
<i>Figura 9.</i> Empresas de alquiler respecto a su ciudad de ubicación.	30
<i>Figura 10.</i> Porcentaje de implementación según el material de la Estructura Temporal.	31
<i>Figura 11.</i> Porcentaje de días de antelación para solicitar el pedido.....	32
<i>Figura 12.</i> Porcentaje mínimo de alquiler por días.	32
<i>Figura 13.</i> Costo de las estructuras temporales por día.....	33
<i>Figura 14.</i> Modelo BIM 3D. Elaboración propia.	33
<i>Figura 15.</i> Primer programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.....	34
<i>Figura 16.</i> Segundo programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.....	35
<i>Figura 17.</i> Tercer programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.	35
<i>Figura 18.</i> Fases empleadas en cada opción de acuerdo al proceso constructivo.	37

<i>Figura 19.</i> Costo de cada proceso constructivo de acuerdo a su respectiva opción.	38
<i>Figura 20.</i> Representación gráfica de los costos de los 3 procesos constructivos.	38
<i>Figura 21.</i> Valor Presento Neto de acuerdo a cada opción.	39
<i>Figura 22.</i> Tiempo de arrendamiento de cada opción respecto a la opción 3.	40
<i>Figura 23.</i> Datos generales del arriendo.	40
<i>Figura 24.</i> Valor presente opción 1.	40
<i>Figura 25.</i> Valor presente opción 2.	41
<i>Figura 26.</i> Valor presente opción 3.	41
<i>Figura 27.</i> Ganancia por arriendo y costo final.	41
<i>Figura 28.</i> Valor del arriendo de la opción 1 y 2.	43
<i>Figura 29.</i> Simulación del modelo BIM 5D, proceso constructivo de la estructura en el software Autodesk Naviswork Manage 2017.	44
<i>Figura 30.</i> Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 1.	45
<i>Figura 31.</i> Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 2.	46
<i>Figura 32.</i> Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 3.	47

Resumen

Título: Comparación del comportamiento del costo del equipo de estructuras temporales de un proyecto de construcción, a partir de la variación del programa de obra, modelos BIM 5D y dinámica de sistemas*

Autoras: Mayra Alejandra Velasco**
Paula Andrea Vélez Chacón

Palabras clave: Building Information Modeling, Estructuras temporales, Dinámica de sistemas, Proyecto de construcción.

Descripción

Las estructuras temporales en un proyecto de edificación son uno de los principales factores para el rendimiento constructivo del proyecto, estas influyen directamente en la apariencia y calidad de la estructura. La planificación de un programa de obra en un proyecto de construcción de alta complejidad la información es fundamental para la gestión y toma de decisiones, por lo cual se han venido desarrollando metodologías de modelado, Building Information Modeling permite desarrollar un proceso de generación y gestión de datos de un edificio a lo largo de su ciclo de vida con el objetivo de incrementar su eficiencia y sostenibilidad, para esto se utiliza un software dinámico de modelado que agrega distintas dimensiones. Los métodos que involucran a Building Information Modeling como herramienta contribuyen en gran medida a la disminución de los problemas, dando solución a varios inconvenientes en la preparación de presupuestos de obra, ya que permite la idealización del proyecto con una representación virtual en varias dimensiones de los elementos de construcción y la integración de la información. En el presente artículo se muestra una metodología para la elaboración de tres modelos constructivos involucrando variables de tiempo y costo para realizar una comparación entre ellos con el fin de determinar el mejor proceso constructivo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanny Sánchez Rivera, Ingeniero Civil

Abstract

Title: Comparison of the cost behavior of the team of temporary structures of a construction project, based on the variation of the construction program, BIM 5D models and system dynamics *

Authors: Mayra Alejandra Velasco**
Paula Andrea Vélez Chacón

Keywords: Building Information Modeling, Temporary structures, Systems dynamics, Construction projects.

Description

The temporary structures in a project of building are one of the principal factors for the constructive performance of the project, these influence directly the appearance and quality of the structure. The planning of a program of work in a project of construction of high complexity the information is fundamental for the management and capture of decisions, for which they have come developing methodologies of shaped, Building Information Modeling allows to develop a process of generation and management of information of a building along his life cycle with the aim to increase his efficiency and sustainability, for this a dynamic software is in use of shaped that adds different dimensions. The methods that involve Building Information Modeling as tool contribute to a great extent to the decrease of the problems, giving solution to several disadvantages in the preparation of budgets of work, since it allows the idealization of the project with a virtual representation in several dimensions of the elements of construction and the integration of the information. In the present article a methodology appears for the production of three constructive models involving variables of time and cost to realize a comparison between them in order to determine the best constructive process.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Civil Engineer

Introducción

Las estructuras temporales se refieren a los sistemas y conjuntos utilizados para el soporte temporal durante la construcción, los procesos de instalación, uso y desinstalación son determinantes para el desarrollo de las actividades de la obra, ya que variables como seguridad, velocidad, calidad y productividad son afectadas por las estructuras temporales (Kim & Teizer, 2014, págs. 66 – 80). Las últimas cuatro décadas se ha registrado numerosos colapsos relacionados con el control incorrecto de las estructuras temporales, por lo cual deben de tener una planificación organizada, durante la fase de diseño de los proyectos, con el objetivo de eludir pérdidas en la productividad, y además minimizar los problemas de coordinación durante la fase de construcción, por esta razón se han propuesto metodologías para analizar de forma automática las condiciones espacio temporales con el fin de identificar las distancias y espacios entre estas en el lugar de trabajo, (Porwal & Hewage, 2012, págs. 943–954), (Faghihi, Reinschmidt, & Kang, 2016, págs. 79–88), (Kumar & Cheng, 2015, págs. 24–37)[4]. La planificación de las estructuras se realiza de forma manual, por lo tanto, se presenta un consumo de tiempo (Kim, K.; Cho, Y.; Kwak, Y.H., 2016, págs. 2709-2718) [5], ya que los encargados de la elaboración se fundamentan en dibujos en dos dimensiones, para así procurar definir las técnicas necesarias para prevenir situaciones peligrosas que atente contra la integridad de los trabajadores, sin embargo, estas predicciones pueden tener un porcentaje de error (Zhang, S. et al., 2013, págs. 183-195), por lo cual se ha implementado enfoques asistidos por computador con el fin de evaluar los distintos escenarios viables, para así mejorar los procesos de construcción.

La gestión de un proyecto debe incluir un conjunto de dimensiones, que involucran una estrategia y unos medios para alcanzar los objetivos de una organización, dentro de las dimensiones incluidas en la gestión de un proyecto de construcción es necesario contar con una dimensión dedicada a la gestión de costos. Esta incluye los procesos de planear, estimar, determinar y controlar. En un proyecto de construcción, los costos involucrados en el diseño, la construcción y la operación resultan ser altos por concepto del elevado costo de los insumos y el conocimiento requerido. Por estas razones es de gran importancia una eficiente gestión de costos en las distintas fases del proyecto que haga posible reducir las pérdidas asociadas al mismo (P.D, S.R., G.G., J.P, & C.P, 2015).

En la planificación de estructuras temporales es posible obtener una estimación de costos de compra o alquiler de los elementos requeridos para el desarrollo del proceso constructivo, los proyectos de construcción tienen un carácter único, lo que genera incertidumbre en la estimación de los costos, es por esto que cada proyecto debe contar con una estimación propia, un proyecto puede ser construido siguiendo diferentes procesos constructivos, situación que genera la posibilidad de plantear diferentes alternativas de construcción con diferentes costos de estructuras temporales, en donde es posible elegir la de mayor viabilidad técnica, menor riesgo asociado y menor costo económico. (J. & G.), (Sulankivi & Kähkönen, 2010, págs. 117,), (Franco-Duran & Mejia A., 2016, págs. 2039–2049)

La pregunta que se desea responder en el desarrollo de la investigación es: ¿Cuál es la influencia que tiene el orden de ejecución de las actividades de obra en el costo de las estructuras temporales de un proyecto de construcción? para responder a la pregunta se tomaran tres procesos constructivos de un caso de estudio y se realizara una simulación BIM 5D para cada proceso constructivo, la información obtenida se utilizara en la herramienta de dinámica de sistemas en

donde se estimara el costo asociado a cada proceso, con lo que será posible estudiar la influencia del orden de ejecución de las actividades de obra en el costo de estructuras temporales.

1. Marco conceptual

1.1 Estructuras temporales

Se refiere a los sistemas y conjuntos utilizados para el soporte temporal o arriostramiento del trabajo permanente durante la construcción, y las estructuras construidas para uso temporales, tienen vida útil corta y se fundamenta que son instaladas, usadas y desinstaladas durante la etapa de construcción (Kim & Teizer, 2014), (Lee, C.; Ham, S.; Lee, G., 2007, págs. 8-10). Las estructuras pueden ser implementadas para soportar más de una actividad de construcción, debido que en algunas situaciones las utilizan como soporte de materiales y personal, apoyo de equipos y herramientas (Kim, Fischer, Kunz, & Levitt, 2014, págs. 187-194). Las estructuras temporales están compuestas por sistemas de andamios, encofrados y apuntalamientos (ver figura 1), (Kim & Teizer, 2014).



Figura 1. Estructura Temporal tipo Andamio.

En actividades en las que se usan estructuras temporales, parámetros como la velocidad, seguridad, calidad y productividad, son afectados, por lo que resulta indispensable un proceso riguroso y preciso de planificación de las estructuras temporales, de modo de que la necesidad de la implementación de técnicas es esencial, teniendo en cuenta la complejidad de los proyectos de construcción y el gran número de elementos asociados.

Encofrado: es considerado como un método importante para mejorar la productividad el diseño del encofrado se considera importante debido a su fuerte vínculo con las obras de sitio, sin embargo, la mayoría del encofrado se realiza de forma manual e influenciado por la habilidad del trabajador y, por lo tanto, se producen muchos errores de construcción. El encofrado tiene una gran influencia en todos los procesos del trabajo de hormigón armado y es un proceso único que es importante desde la perspectiva de la duración y el costo de la construcción (Jung, Park, Kang, Park, & Choi, 2004, pág. 6), (Kim, Shin, Lee, & Kang, 2007, pág. 8). El modelo BIM puede proporcionar un sistema de diseño de encofrado con datos más precisos sobre la forma, las dimensiones y la estructura del edificio que los dibujos basados en 2D (ver figura 2).



Figura 2. Estructura Temporal tipo Encofrado.

BIM también se define como una representación computarizada de las características físicas y funcionales de una instalación y su información del ciclo de vida, utiliza estándares aprobados en la industria para informar la toma de decisiones enfocadas al aumento del valor de los proyectos (Kaner, Sacks, Kassian, & Quitt, 2008), (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014, págs. 109 – 127). Puede emplearse en la planificación y comunicación de la seguridad (Kim, K.; Cho, Y, 2015, págs. 436-444), lo cual beneficia la disminución de riesgos relacionados a los procesos constructivos, donde la planificación de la seguridad es posible realizarla a partir de simulaciones del proceso constructivo BIM 4D (Benjaoran & Bhokha, 2010, págs. 395 – 403), que consiste en replicas virtuales en las que se involucran 4 variables (alto, ancho, profundidad y tiempo), con el beneficio que en las simulaciones no se arriesgan el bienestar de los trabajadores y los recursos económicas.

El proceso constructivo realizado a partir de las simulaciones BIM 4D que involucra estructuras temporales, se requiere información de geometrías, cronogramas de instalación, materiales, uso y desinstalación, estas características son parámetros los cuales es posible variar mediante diferentes simulaciones, con cual se puede encontrar la mejor alternativa y por ende favorece los resultados de la etapa de planificación de las estructuras temporales (Benjaoran & Bhokha, 2010, págs. 395 – 403).

El modelo BIM 5D se obtiene de la unificación de la estimación de costos y el modelo BIM 4D, está simulación presenta el 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.

1.2 Planificación de las Estructuras Temporales

Cuando se refiere a la planificación de las estructuras temporales corresponde al conjunto de actividades que se ejecutan con anterioridad al inicio del proceso constructivo, en el cual se analizan aspectos relacionados a la geometría, diseño, tipo, instalación, desinstalación, seguridad, uso, costos, productividad, entre otros, de las estructuras temporales. Raramente las estructuras temporales son planificadas con anterioridad al inicio del proceso constructivo (Kim & Teizer, 2014), (Ratay, 1996, pág. 810), por lo en ocasiones el personal de trabajo debe recurrir a la improvisación para cumplir con los requerimientos de los procesos constructivos.

Para la disminución de la incertidumbre de los presupuestos de estructuras en concreto reforzado, resulta apropiada la modelación de las estructuras temporales a utilizar en el proceso constructivo, ya que las estructuras temporales corresponden a unas de las actividades que generalmente no se encuentran en los planos de diseño y al realizar la estimación de la cantidad requerida se incurre en fuente significativa de incertidumbre. (P.D H. , S.R., G.G., J.P, & C.P., 2015)

Es importante la planificación de la seguridad para así identificar escenarios de peligro potencial y decidir las medidas de mitigación del riesgo, con la finalidad de que si aparece la necesidad de realizar cambios relacionados con las estructuras temporales se tenga previsto la seguridad del personal.

1.3 Building Information Modeling

Building Information Modeling es una tecnología emergente de la industria de la construcción que se ha venido implementado debido a sus beneficios en las áreas de visualización, integración, almacenamiento y comunicación de la información de construcción (Wang, J. et al., 2014, págs. 321 – 328), hace posible la creación y gestión de los proyectos de construcción e infraestructura de una forma más rápida y económica (Tang, P. et al., 2010, págs. 829 – 843). Permite adquirir información más precisa sobre la forma, dimensión, estructura, etc., del edificio que los dibujos basados en 2D, por lo tanto, la mayor productividad, como la reducción de la carga de trabajo, y los tiempos de trabajo, y la eficiencia económica, como la reducción de tipos encofrados y las dimensiones de forma con la consideración de constructibilidad.

BIM también se define como una representación computarizada de las características físicas y funcionales de una instalación y su información del ciclo de vida, utiliza estándares aprobados en la industria para informar la toma de decisiones enfocadas al aumento del valor de los proyectos (Kim, Fischer, Kunz, & Levitt, 2014, págs. 187-194), (Jung, Park, Kang, Park, & Choi, 2004, pág. 6). Puede emplearse en la planificación y comunicación de la seguridad (Kim, Shin, Lee, & Kang, 2007, pág. 8), lo cual beneficia la disminución de riesgos relacionados a los procesos constructivos, donde la planificación de la seguridad es posible realizarla a partir de simulaciones del proceso constructivo BIM 4D (Kaner, I.; Sacks, R.; Kassian, W.; Quitt, T., January de 2008), que consiste en replicas virtuales en las que se involucran 4 variables (alto, ancho, profundidad y tiempo), con el beneficio que en las simulaciones no se arriesgan el bienestar de los trabajadores y los recursos económicas.

La utilización de modelos, en tres dimensiones resulta de gran beneficio, entre otras, para las siguientes actividades: la gestión de información del proyecto, visualización de los elementos, análisis e integración de la información, detección de interferencias e incoherencias, determinación de las actividades del presupuesto de obra, retroalimentación y actualización flexible, actividades que resultan complejas y poco eficientes de desarrollar en dibujos dos dimensiones, donde los resultados no son tan favorables como en los modelos 3D. (P.D H. , S.R., G.G., J.P, & C.P., 2015).

El proceso constructivo realizado a partir de las simulaciones BIM 4D que involucra estructuras temporales, se requiere información de geometrías, cronogramas de instalación, materiales, uso y desinstalación, estas características son parámetros los cuales es posible variar mediante diferentes simulaciones, con cual se puede encontrar la mejor alternativa y por ende favorece los resultados de la etapa de planificación de las estructuras temporales. El modelo BIM 5D se obtiene de la unificación de la estimación de costos y el modelo BIM 4D, el cual se elaboró con el software Autodesk Navisworks 2017.

1.4 Dinámica de sistemas

La dinámica de Sistemas es una metodología para el análisis y resolución de problemas, desarrollada por Jay Forrester y presentada en sus obras. En Dinámica de Sistemas, se concibe como la interacción casual entre tributos que lo describen. De esta forma, se construyen representaciones sistemáticas con flechas y puntos, denominadas diagramas casuales, que capturan todas las que se pueden aprender del sistema para intervenir sobre él en el ejercicio de decisión. (Aracil & Gordillo, 1978)

Considerando que los comportamientos de los costos en proyectos de obras civiles varían a lo largo del proceso constructivo es importante el uso de la metodología denominada Dinámica de Sistemas, la cual permite representar variables (Lee, Lim, & Arditi, 2011, págs. 376-389) como son: los flujos de efectivo entrantes (ingresos), salientes (egresos) que en conjunto se les conoce como flujo de caja. (Lu, Won, & Cheng, 2015, págs. 3-21), (Chen, 2017, págs. 171-181), (Ibarra Vega & Redondo, 2014)

La primera etapa es construir un diagrama causal donde representamos los elementos que consideramos forman el sistema y las relaciones que existen entre ellos. Es normal que el primer diagrama causal que dibujemos sea incompleto, lo iremos perfeccionando y ampliando si es necesario. La segunda etapa es trasladar este diagrama causal a un diagrama de flujos, que es el formato que pueden manejar los diferentes tipos de software que sirven para realizar este tipo de simulaciones. (García, 2003), (Taborda, Angulo, & Olivar, 2010, págs. 99-119), (Sánchez-Román, Folegatti, & OrellanaGonzález, 2009, págs. 578-590)

2. Metodología

La metodología que se plantea para estudiar el comportamiento del costo del equipo de estructuras temporales a partir de la variación del programa de obra, modelos BIM 5D y dinámica de sistemas, corresponde a la figura 3.

La metodología se divide en seis tareas principales: en la primera tarea se realizó la investigación de las características del mercado de alquiler de estructuras temporales en el entorno colombiano. En la segunda tarea, se desarrolló un modelo tridimensional BIM 3D, mediante el

software Autodesk Revit 2017. En la tercera se tarea, se elaboró el presupuesto de construcción del modelo constructivo. En la cuarta tarea se realizó el modelado BIM 4D, se vincula el orden de ejecución de las actividades de obra con el modelo BIM 3D, mediante el Software Autodesk Naviswork Manage 2017. En la quinta tarea, para obtener los modelos BIM 5D se vinculó las tareas 2,3 y 4, mediante el software Autodesk Naviswork Manage 2017. Por último, en la sexta tarea diseñó un modelo dinámico de sistemas, con el fin de entender el comportamiento del proyecto.

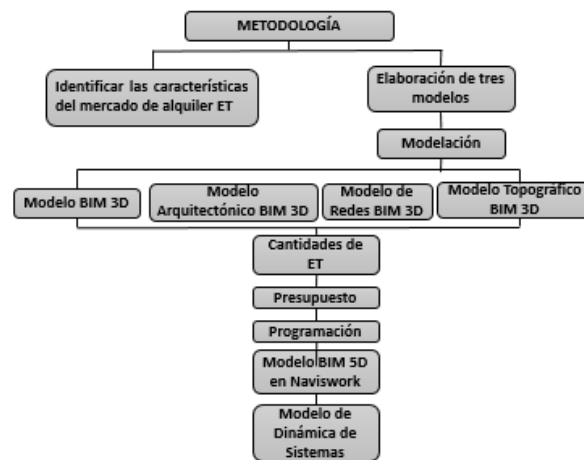


Figura 3. Esquema metodológico para la elaboración de los modelos.

2.1 Tarea 1: características del mercado de alquiler de estructuras temporales

La primera tarea es identificar las características del mercado de alquiler de estructuras temporales a nivel nacional, para lo cual se realizó encuestas en empresas de alquiler localizadas en ciudades principales de Colombia.

Se estimó una serie de preguntas en cuanto al material, tiempo de antelación para solicitar las estructuras temporales, cantidad máxima y mínima de alquiler, servicio de transporte, entre otros aspectos, con el fin de estudiar el mercado de alquiler, tales como:

- ¿Cuál es el material de las estructuras temporales que manejan?
- ¿Con cuánto tiempo de antelación se debe formular el pedido de las estructuras temporales?
- ¿Mínimo cuantos días se debe cancelar por el alquiler?
- ¿Prestan el servicio de transporte de entrega?
- ¿Prestan el servicio de transporte de devuelta?
- ¿Cuál es la cantidad máxima y mínima que alquilan?

2.2 Tarea 2: modelo BIM 3D y análisis de rendimientos

La segunda tarea de la metodología se subdivide en dos etapas; en la primera etapa se desarrollar el modelo tridimensional BIM 3D, mediante el software Autodesk Revit 2017 y en la segunda etapa se realiza el análisis de los rendimientos de la mano de obra.

2.2.1 Etapa 1: Modelo BIM 3D. Un modelo BIM 3D, facilita la asignación y la gestión de espacios en la fase de construcción, lo cual es observado en la visualización virtual del modelo, por lo tanto, es posible verificar detalles constructivos antes de ejecutar la obra.

La elaboración del modelo BIM 3D, requiere de un tiempo extenso, por lo cual una posibilidad para la reducción del tiempo es el trabajo colaborativo, el cual en un proyecto de construcción se da entre profesionales con diferente grado de experiencia, diversos conocimientos, diferentes

pensamientos del desarrollo del proyecto y métodos. (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014, págs. 10-32)

Antes de empezar la modelamiento se ubicó el sitio de estudio en la calle 48 # 4-109 Barrio Lagos II, en el municipio de Floridablanca Santander, a partir de los planos de diseño estructurales en formato CAD 2D, se empezó a desarrollar el modelo BIM 3D, donde se inició con el modelamiento de la topografía y a partir de esto se modela las excavaciones para los cimientos, luego los elementos estructurales de concreto reforzado, zapatas, vigas de cimentación, vigas aéreas, columnas, placa entrepiso y placa (ver figura 4) .



Figura 4. Modelación en Autodesk Revit (2017).

2.2.2 Etapa 2: Estimación de los rendimientos de mano de obra. El análisis de rendimientos de obra se emplea para realizar una evaluación del desempeño en el proceso constructivo con respecto a la unidad del tiempo, por lo tanto, cuantificar los rendimientos es fundamental para determinar el programa de ejecución de la obra y el costo de la obra.

Para la estimación de rendimientos se debe tener presente las actividades que se definirán para el programa de obra, las unidades de medición, la cantidad de acero y concreto, la cantidad de cuadrillas, con el objetivo de calcular la duración de cada actividad.

Los rendimientos fueron estimados con base al artículo titulado Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2015, págs. 59-73) y de la tesis Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción – estudio de caso edificio J UPB (Polanco, 2009), donde se describe los rendimientos de mano de obra estimados para la construcción de estructura de concreto reforzado en la ciudad de Bucaramanga.

2.3 Tarea 3: elaboración del presupuesto

Para la ejecución de este proyecto es importante elaborar el presupuesto de construcción para así obtener el costo de esta, ya que el factor principal es comparar la variación del costo de obra de los tres modelos de estudio.

Mediante BIM se facilita el cálculo de las cantidades de obra de manera que reduce la incertidumbre en el cálculo del presupuesto, ya que las cantidades son exactas. Las cantidades de concreto y acero totales de cada elemento se calculan con el software Autodesk Revit 2017.

En la figura 5, se observa la interfaz del software Autodesk Revit 2017 para el cálculo de cantidades de acero.

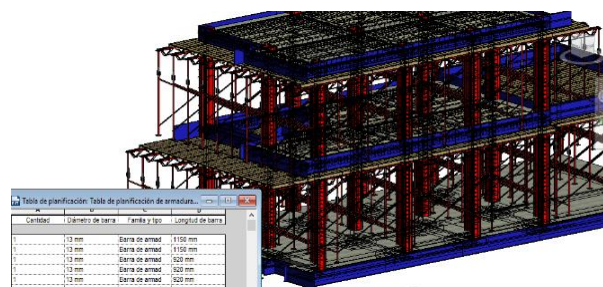


Figura 5. Cálculo de cantidades en el software Autodesk Revit 2017.

Las cantidades de las estructuras temporales se obtienen a partir del modelo en el software Autodesk Revit 2017, ya que permite visualizar cada elemento detalladamente y así realizar un conteo de cada estructural temporal que se dispondrá en la ejecución constructiva. En la tabla 1 se registró la cantidad de cada estructura temporal implementada.

PISOS	ELEMENTOS	CANTIDAD
Piso 1	Formaleta de viga de cimentación (Zapatatas)	108
	Formaleta de viga aérea	30
	Formaleta de columnas	68
	Formaleta en madera	108
	Cercha metálica	60
	Casetones	28
	Parales	70
Piso 2	Formaleta de viga aérea	12
	Formaleta de columnas	48
	Formaleta en madera	72
	Cercha metálica	40
	Crucetas	40
	Parales	50

Figura 6. Cantidad de estructuras temporales de acuerdo a cada piso.

2.4 Tarea 4: elaboración del programa de obra

Consistió en agrupar el tiempo de acuerdo a cada actividad que se empleó en el desarrollo del proceso constructivo. Mediante el software de Microsoft Project 2013 se organizó el programa de obra partiendo de la duración de cada actividad de acuerdo a la fecha de inicio y de terminación obra considerando cuadrillas de mano de obra AA, especialidad albañilería¹ de 1 + oficial + 1 ayudante, en base a los rendimientos de la mano de obra y las cantidades de obra, determinados en la tarea 2 y 3. En la tabla 2, se puede observar la duración en días de acuerdo a la actividad.

En base a los rendimientos de obra y las cantidades de obra obtenidas con el software BIM, se calcula la duración estimada (D) de las distintas actividades para la construcción del proyecto. La duración estimada está establecida por el producto de la cantidad de obra (C) y el rendimiento de obra (R). Teniendo la duración se divide por 8 horas al día, las cuales comprenden a un día laboral.

$$D = C * R \quad (1)$$

Item	Nombre de Tarea	U.N	Cantidad	Cuadrillas	Rendimiento	Cantidad de	Duración Dias	U.N	Duración/Unidad
1	ZAPATAS				3 Dias				
1.1	Acero	kg	1117,3	Mano de obra AA	0,03	3	1,4	12	0,12
1.2	Encofrado	Und	48	Mano de obra AA	2,72	5	3,3	12	0,28
1.3	Fundida	m³	2,239	Mano de obra AA	1,11	1	0,4	12	0,03
1.4	Desencofrado	Und	48	Mano de obra AA	0,33	2	1	12	0,08
2	VIGAS DE CIMENTACIÓN				6 Dias				
2.1	Acero	kg	543,22	Mano de obra AA	0,03	3	0,7	22	0,03
2.2	Encofrado	Und	60	Mano de obra AA	1,93	5	2,9	22	0,13
2.3	Fundida	m³	4,13	Mano de obra AA	2,37	2	0,7	22	0,03
2.4	Desencofrado	Und	60	Mano de obra AA	1,57	5	2,4	22	0,11
3	COLUMNAS (Piso 1)				20,3 Dias				
3.1	Acero	kg	664,28	Mano de obra AA	0,03	3	0,9	17	0,05
3.2	Encofrado	Und	68	Mano de obra AA	2,62	5	4,5	17	0,26
3.3	Fundida	m³	4,26	Mano de obra AA	2,4	2	0,7	17	0,04
3.4	Desencofrado	Und	68	Mano de obra AA	1,04	5	1,8	17	0,11
4	VIGUETAS (Entrepiso 1)				1 Día				
4.1	Acero	kg	1,9	Mano de obra AA	0,03	1	0,1	19	0,01
4.2	Encofrado	Und	28	Mano de obra AA	1,93	5	1,4	19	0,07
4.3	Fundida	m³	2,09	Mano de obra AA	2,36	1	0,7	19	0,04
4.4	Desencofrado	Und	28	Mano de obra AA	1,57	5	1,1	19	0,06
5	VIGAS ÁREAS (Entrepiso 1)				3 Dias				
5.1	Acero	kg	908,59	Mano de obra AA	0,03	3	1,2	22	0,05
5.2	Encofrado	Und	30	Mano de obra AA	1,93	4	1,9	22	0,09
5.3	Fundida	m³	5,85	Mano de obra AA	2,37	1	1,8	22	0,08
5.4	Desencofrado	Und	30	Mano de obra AA	1,57	4	1,5	22	0,07
6	PLACA ENTREPISO 1				7 Dias				
6.1	Acero	kg	524	Mano de obra AA	0,03	1	2	28	0,07
6.2	Encofrado	Und	65	Mano de obra AA	1,93	5	3,2	28	0,11
6.3	Fundida	m³	3,01	Mano de obra AA	2,37	1	0,9	28	0,03
6.4	Desencofrado	Und	65	Mano de obra AA	1,58	5	2,6	28	0,09
7	COLUMNAS (Piso 2)								
7.1	Acero	kg	664,28	Mano de obra AA	0,03	1	2,5	12	0,21
7.2	Encofrado	Und	48	Mano de obra AA	3,18	5	3,9	12	0,33
7.3	Fundida	m³	4,26	Mano de obra AA	2,95	1	1,6	12	0,13
7.4	Desencofrado	Und	48	Mano de obra AA	1,6	5	2	12	0,17
8	VIGUETAS (Entrepiso 2)								
8.1	Acero	kg	1,9	Mano de obra AA	0,03	1	0,1	24	0,00
8.2	Encofrado	Und	31	Mano de obra AA	1,92	5	1,5	24	0,06
8.3	Fundida	m³	2,09	Mano de obra AA	2,36	1	0,7	24	0,03
8.4	Desencofrado	Und	31	Mano de obra AA	1,57	4	1,6	24	0,07
9	VIGAS ÁREAS (Entrepiso 2)								
9.1	Acero	kg	908,59	Mano de obra AA	0,03	3	1,2	17	0,07
9.2	Encofrado	Und	12	Mano de obra AA	1,93	2	1,5	17	0,09
9.3	Fundida	m³	5,85	Mano de obra AA	2,37	1	1,8	17	0,11
9.4	Desencofrado	Und	12	Mano de obra AA	2,57	3	1,3	17	0,08
10	PLACA ENTREPISO 2								
10.1	Acero	kg	524	Mano de obra AA	0,03	2	1	20	0,05
10.2	Encofrado	Und	50	Mano de obra AA	1,15	4	1,8	20	0,09
10.3	Fundida	m³	3,01	Mano de obra AA	1,41	1	0,6	20	0,03
10.4	Desencofrado	Und	50	Mano de obra AA	0,93	4	1,5	20	0,08
11	PLACA DE CONTRAPISO				7 Dias				
11.1	Acero	kg	422,06	Mano de obra AA	0,03	1	1,6	1	1,60
11.3	Fundida	m³	13,84	Mano de obra AA	2,37	3	1,4	5	0,28

Figura 7. Duración en días de acuerdo a la actividad.

Antes de empezar a modelar en el software Autodesk Navisworks Manage 2017, en base al modelo diseñado en el software Autodesk Revit 2017 las estructurales temporales necesarias en el proceso constructivo, para así determinar las cantidades de cada una de ellas, es decir cuántos casetones, rinconeras para columnas, formaleta para viga de cimentación, aérea y columnas, cerchas metálicas, parales, crucetas, entre otras. Mediante Revit 2017 (ver figura 6) se implementaron las estructuras temporales relacionado con las siguientes familias:

- Familia de cerchas metálicas
- Familia de casetones en madera
- Familia formaleta de columnas
- Familia de vigas de cimentación
- Familia de vigas aéreas
- Familia de crucetas
- Familia de parales

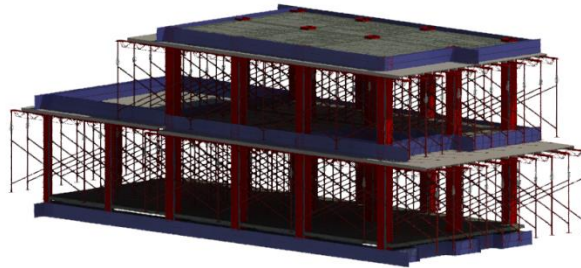


Figura 8. Modelación en Autodesk Revit donde se observa las ET.

2.5 Tarea 5: elaboración del modelo BIM 5D

Con el objetivo de realizar el BIM 5D involucrando 5 variables (dimensión en el eje x, dimensión en el eje y, dimensión en el eje z, tiempo y costo), se unifica el modelo BIM 3D en el software Autodesk Revit 2017 con el programa de obra que se elaboró con el software de Microsoft Project 2013, lo cual representa el modelo BIM 4D.

El modelo BIM 5D se obtiene de la unificación del modelo BIM 4D y la estimación de costos, mediante el software Autodesk Navisworks Manage 2017, permitiendo representar la simulación el proceso constructivo de cada elemento estructural.

2.6 Tarea 6: elaboración del modelo de dinámica de sistemas

Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para lograr un fin común. Los modelos son utilizados para representar y explicar el comportamiento a través del tiempo, para así considerar la importancia de su evolución de acuerdo a la estructura del sistema.

Mediante metodología de la dinámica de sistemas se busca entender el comportamiento el proceso constructivo de acuerdo al tiempo empleado de desarrollo del proyecto, de modo que permite analizar, comprender y discutir situaciones que se perciben en la realidad. El nivel de detalle con el cual se realiza el modelo 5D es clave para elaborar un modelo de dinámica de sistemas con igual nivel de detalle, ya que se obtiene de este la información de entrada (Sánchez Rivera, 2015), necesaria para construir el flujo de caja durante el proceso constructivo del proyecto.

3. Resultados

De acuerdo al esquema metodológico donde se plantea las seis tareas a ejecutar se presentan los resultados, de acuerdo al proceso constructivo del proyecto.

3.1 Tarea 1: características del mercado de alquiler de estructuras temporales

Se realizaron encuestas a empresas de alquiler de estructuras temporales en las principales ciudades de Colombia, en la tabla 3 se observa las 15 empresas de alquiler estimadas respecto a su ciudad de ubicación.

CIUDAD	EMPRESA
Armenia	CentralQuipos
Barrancabermeja	García Vega
Barranquilla	METCON Andec
Bogotá	FORMESAN SAHECO S.A.S MAQUITEC
Bucaramanga	INSERCO S.A Construforma FORMADCOL FORINCO LTDA
Cali	CORTEMETAL S.A.S
Cartagena	Equinorte S.A
Medellín	METALEX
Villavicencio	ANDAMETA

Figura 9. Empresas de alquiler respecto a su ciudad de ubicación.

De acuerdo a las preguntas empleadas en las encuestas, se determinó las siguientes estadísticas:

El 87% de las empresas de alquiler de estructuras temporales sus productos son de material metálico y el 3% sus productos son de material metálico y madera, representado en la figura 7.

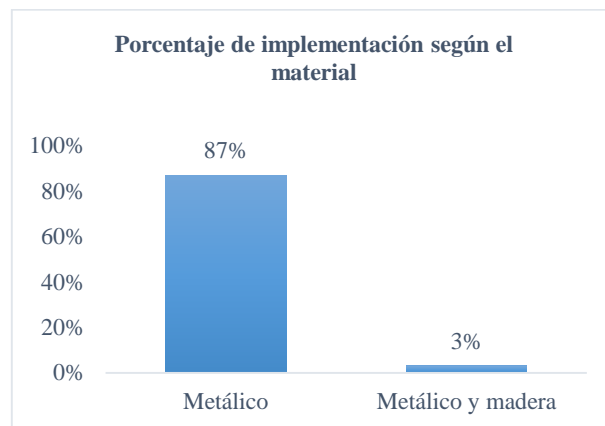


Figura 10. Porcentaje de implementación según el material de la Estructura Temporal.

De acuerdo a la antelación del pedido; el 20% (3) se debe solicitar el pedido con un 1 día de antelación, el 7% (1) se debe solicitar con 2 días a 3 días de antelación, el 53% (8) se debe solicitar con tiempo de antelación de mínimo 3 horas a 1 día y el 20% (3) se debe solicitar con tiempo de antelación de mínimo 4 horas a 2 días, representado en la figura 8.

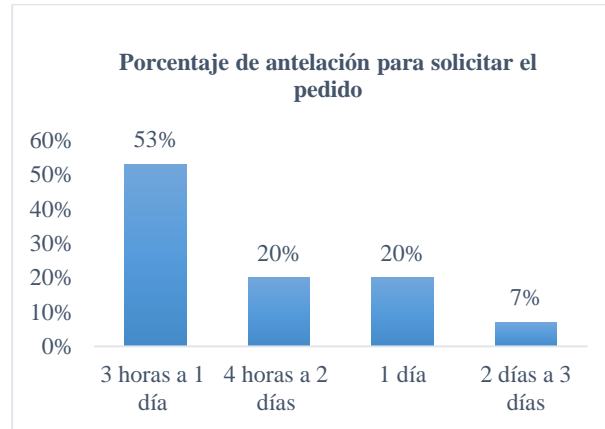


Figura 11. Porcentaje de días de antelación para solicitar el pedido.

De acuerdo al mínimo de días de alquiler: El 20% (3) cobran el alquiler mínimo de 1 día, el 13% (2) cobran el alquiler mínimo de 2 días, el 40% (6) cobran el alquiler mínimo de 3 días y el 27% (4) cobran el alquiler mínimo de 5 días, representado en la figura 9.

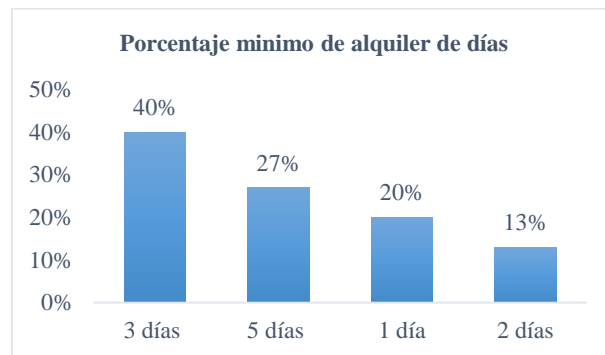


Figura 12. Porcentaje mínimo de alquiler por días.

Todas las empresas prestan el servicio de transporte de entrega y vuelta, claro está que depende del destino en donde se encuentre el proyecto de construcción. La cantidad mínima y máxima depende de lo que se requiera en la obra, es decir que no hay una cantidad específica para el alquiler de las estructuras temporales.

Para determinar el precio por unidad de las estructuras temporales se realizó un promedio de los precios establecidos en cada una de las diferentes empresas a las cuales se les realizó las encuestas. En la tabla 4 se registró el costo de las estructuras temporales por día.

ELEMENTOS	VALOR/DÍA
Formaleta de viga de cimentación (Zapatatas)	\$ 1,175
Formaleta de viga aérea	\$ 1,175
Formaleta de columnas	\$ 1,400
Formaleta en madera	\$ 108
Cercha metálica	\$ 400
Crucetas	\$ 315
Parales	\$ 350

Figura 13. Costo de las estructuras temporales por día

3.2 Tarea 2: modelo BIM 3D y análisis de rendimientos

Se desarrolló el modelo en el software Revit, en la figura 10 se observa la planta alta de la estructura con algunas estructuras temporales.

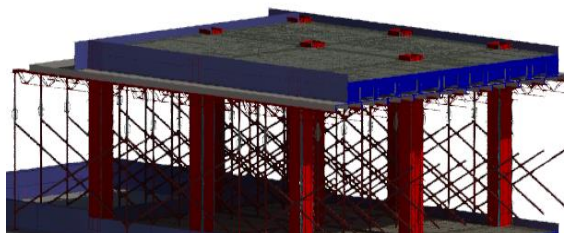


Figura 14. Modelo BIM 3D. Elaboración propia.

3.3 Tarea 3: elaboración del presupuesto

Para la elaboración del presupuesto de construcción, se estima las diferentes actividades desarrolladas durante el proceso constructivo, además los recursos de mano de obra y los materiales empleados. Las cantidades de concreto y acero totales de cada elemento se calculan con el software Autodesk Revit 2017 y las cantidades de estructuras temporales se realizó el conteo visualmente del modelado.

3.4 Tarea 4: elaboración del programa de obra

Partiendo de la elaboración del programa de obra, se obtiene la duración del proceso constructivo del proyecto, teniendo presente las fechas estipuladas desde el inicio para la ejecución de las actividades y las cantidades requeridas para el desarrollo de estas. Se elaboró tres programas de obra, debido a la variación de la implementación de las estructuras temporales.

En el primer programa de obra el proceso constructivo actividades (encofrado, acero, fundida y desencofrado) se realizó continuo, es decir solo se realizó 1 fase de construcción (ver figura 11).

Modo de	Texto1	Nombre de tarea	Comienzo	Fin
		PROYECTO ET	mar 20/06/17	jue 20/07/17
1		ZAPATAS Y VIGAS	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1		Encofrado	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2		Acero	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3		Fundida	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4		Desencofrado	mar 20/06/17	mar 20/06/17
2		COLUMNAS (Piso 1)	vie 23/06/17	lun 26/06/17
3		ENTREPISO (Piso 1)	mié 05/07/17	jue 06/07/17
4		COLUMNAS (Piso 2)	jue 13/07/17	vie 14/07/17
5		ENTREPISO (Piso 2)	mié 19/07/17	jue 20/07/17
6		PLACA DE CONTRAPISO	lun 26/06/17	mar 27/06/17

Figura 15. Primer programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.

En el segundo programa de obra el proceso constructivo se realizó en dos fases (ver figura 12).

Modo de	Texto1	Nombre de tarea	Comienzo	Fin
		PROYECTO ET	mar 20/06/17	jue 27/07/17
1		ZAPATAS Y VIGAS	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1		Encofrado	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1.1		Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1.2		Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2		Acero	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2.1		Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2.2		Face 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3		Fundida	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3.1		Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3.2		Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4		Desencofrado	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4.1		Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4.2		Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
2		COLUMNAS (Piso 1)	vie 23/06/17	mar 27/06/17
3		ENTREPISO (Piso 1)	jue 06/07/17	lun 10/07/17
4		COLUMNAS (Piso 2)	lun 17/07/17	mié 19/07/17

Figura 16. Segundo programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.

En el tercer programa de obra el proceso constructivo se realizó en tres fases (ver figura 13).

Texto1	Nombre de tarea	Comienzo	Fin
	PROYECTO ET	mar 20/06/17	lun 07/08/17
1	ZAPATAS Y VIGAS	mar 20/06/17	mié 21/06/17
1.1	Encofrado	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1.1	Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1.2	Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.1.3	Fase 3	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2	Acero	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2.1	Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2.2	Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.2.3	Fase 3	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3	Fundida	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3.1	Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3.2	Fase 2	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.3.3	Fase 3	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4	Desencofrado	mar 20/06/17	mié 21/06/17
1.4.1	Fase 1	mar 20/06/17	mar 20/06/17
1.4.2	Fase 2	mar 20/06/17	mié 21/06/17
1.4.3	Fase 3	mié 21/06/17	mié 21/06/17
2	COLUMNAS (Piso 1)	lun 26/06/17	mié 28/06/17

Figura 17. Tercer programa de obra de acuerdo al proceso constructivo.

3.5 Tarea 5: modelo BIM 5D

Basados en la metodología de la figura 1, se obtiene el producto el final, el modelo del proceso constructivo BIM 5D. En la figura 18 se puede observar 9 momentos de la simulación del modelo.

3.6 Tarea 6: modelo de dinámica de sistemas

Un diagrama de flujo de datos es una técnica muy apropiada para reflejar de una forma clara y precisa los procesos que conforman el sistema de información. Por esta razón permitió representar gráficamente los límites del sistema y la lógica de los procesos estableciendo que funciones se debía desarrollar, permitiendo observar el flujo o movimientos de los datos a través del sistema y sus transformaciones como resultado de la ejecución de los procesos.

Esta metodología consistió en la descomposición sucesiva de los procesos desde un nivel general, en este caso de estudio se empieza cuando se hace los pedidos, los cuales fueron en dos secciones, seguidamente se vincula con la llegada de las ET, partiendo así al almacenamiento de esta, para hacer instalada mediante tiempos ya determinados previamente hasta el desencofrado de la estructura, como esta empleado por fases se vuelve a almacenar, con esto se llega al nivel de detalle necesario para reflejar toda la semántica que debe soportar el sistema en estudio.

El diagrama de flujo de datos se compone de los siguientes elementos:

Entidad externa (número de pedidos): representa un ente ajeno al sistema que proporciona o recibe información del mismo, los cuales son los pedidos realizados en diferentes días, para la asignación de las ET en sus tiempos correspondientes. El estudio de las relaciones entre entidades

externas no forma parte del modelo, puede aparecer varias veces en un mismo diagrama, así como en los distintos niveles DFD para mejorar la claridad del diagrama.

Almacén de datos (bodega): representa la información en reposo utilizada por el sistema independiente del sistema de gestión de datos. El almacén no puede crear, transformar o destruir datos, no puede estar conectado con otro almacén o entidad externa y aparecerá por primera vez en aquel nivel en que dos o más procesos acceden a él. En el caso de estudio en el almacén se almacenó las ET.

Flujos de datos (llegada, instalación y desencofrado de las ET): representa el movimiento de los datos y establece la comunicación entre los procesos y los almacenes de datos o las entidades externas. Un flujo de datos entre dos procesos solo es posible cuando la información está en sincronía, es decir el proceso de destino comienza cuando el proceso origen finaliza su función.

Los tres modelos del flujo de caja fueron elaborados en el software Evolución 4.5, en todo se tuvo en cuenta las características de la dinámica de sistemas. Mediante la metodología de dinámica de sistemas se logra entender el comportamiento del proceso constructivo, en la tabla 5 se puede observar las tres opciones del proceso constructivo del proyecto de acuerdo a las fases de variación que se implementó. En las figuras 19, 20 y 21 se observa los modelos de dinámicas de sistemas.

Opciones	Fases
Opción 1	Fase 1
Opción 2	Fase 1
	Fase 2
Opción 3	Fase 1
	Fase 2
	Fase 3

Figura 18. Fases empleadas en cada opción de acuerdo al proceso constructivo.

Mediante el software se calcula los costos de la implementación de las estructuras temporales. En la tabla 6 se registró los costos y días de duración de acuerdo a la opción.

Opciones	Costo Total	Duración (Días)
Opción 1	\$ 12'576,184	60
Opción 2	\$ 9'565,670	85
Opción 3	\$ 7'409,825	112

Figura 19. Costo de cada proceso constructivo de acuerdo a su respectiva opción.

En la figura 14 se puede observar el comportamiento de cada proceso constructivo que se analizó, a partir del costo total de cada opción respecto al tiempo de duración en días en el cual se desarrolló.

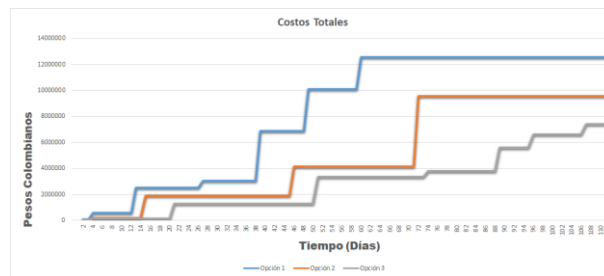


Figura 20. Representación gráfica de los costos de los 3 procesos constructivos.

A partir de los costos totales de cada opción se determinó el valor presente neto mediante esta la siguiente expresión (2):

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (2)$$

Donde:

$-F_t =$ flujo de dinero en cada período.

$-n =$ número de periodos en el tiempo.

$-k =$ tasa efectiva.

Para determinar el flujo de dinero en cada período se realizó una consulta del rendimiento por período para un CDT con plazo total de 180 días, de acuerdo a la entidad financiera Bancolombia, tomando como inversión el costo total de cada opción (ver tabla 7).

Opciones	Rendimientos por período después de retención en la fuente	k	Valor Presente Neto
Opción 1	42,181.71	4.10%	\$ 220,404.2954
Opción 2	29,693.70	3.95%	\$ 155,912.1316
Opción 3	23,001.54	3.95%	\$120,773.7376

Figura 21. Valor Presento Neto de acuerdo a cada opción.

Realizando una búsqueda de las rentas de bodegas en áreas circundantes a la ubicación de la actual bodega se determina un precio aproximado de renta de $7,500 m^2$, por lo cual se estima que la bodega de $78,4 m^2$ por planta tendrá un costo de arriendo mensual de \$ 1'176,000 COP. En la tabla 8, se muestra la ganancia obtenida por concepto de arriendo dependiendo del tiempo de terminación de cada una de las opciones con respecto a la opción 3 (112 días), debido a que esta es la opción con más duración.

Opciones	Fecha inicio de construcción	Duración en días de acuerdo al proceso constructivo	Fecha de terminación de construcción	Tiempo de arrendamiento
Opción 1	20 de marzo	60	20 de mayo	1 mes y 22 días
Opción 2	20 de marzo	85	15 de junio	27 días
Opción 3	20 de marzo	112	12 de julio	0 días

Figura 22. Tiempo de arrendamiento de cada opción respecto a la opción 3.

Para determinar la ganancia procede a llevar a presente los flujos de dinero por concepto de arrendamiento teniendo como interés la inflación mensual del año 2017 la cual corresponde al 0.71%, (ver tabla 9).

Datos generales	
Arriendo/mes	\$1'176,000
Arriendo/día	\$39,200
Inflación mensual	0,71%
Inflación diaria	2,3586 X10^-4

Figura 23. Datos generales del arriendo.

Se realiza el diagrama de flujo de dinero a través del tiempo de cada opción. En las figuras 15, 16 y 17 se registra el valor presente para obtener relativamente la ganancia, la ecuación 3 representa el valor presente.

$$VP = \frac{V_f}{(1+i)^n} \tag{3}$$

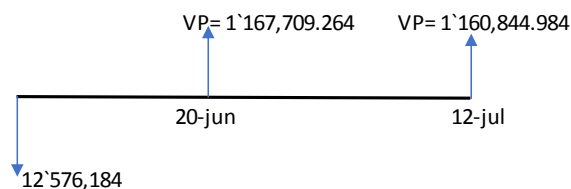


Figura 24. Valor presente opción 1.

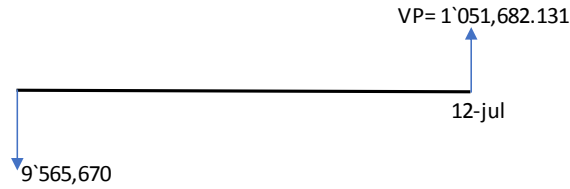


Figura 25. Valor presente opción 2.

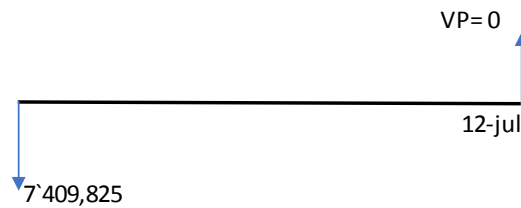


Figura 26. Valor presente opción 3.

Opciones	Costo	Ganancia por arriendo	Costo final
Opción 1	\$ 12'576,184	2'328,554.248	\$ 10'247,630
Opción 2	\$ 9'565,670	1'051,682.131	\$ 8'513,988
Opción 3	\$7'409,825	0	\$7'409,825

Figura 27. Ganancia por arriendo y costo final.

Como se observa en la última tabla opción 3, a pesar de que tardar 112 días y su costo total del proceso constructivo es de un \$7'409,825, resulta ser la mejor opción puesto que al analizar la ganancia generada por motivo de arriendo para las anteriores opciones dicha ganancia no conlleva a disminuir el costo total de manera significativa para que dichas opciones puedan convertirse en alternativas viables.

Para determinar cuánto debe ser el arriendo en la opción 1 y 2 para que estas opciones sean \$500.000 pesos más económicas que la opción tres, con menor costo hasta el momento (\$7'409.825) se proponen las siguientes ecuaciones:

Donde:

$$Xa = \text{valor arriendo (incognita)}$$

$$Id = 2,3586 \times 10^{-4} \text{ inflación diaria}$$

$$Ct_{\text{Mínimo}} = \$7\,409.825 \text{ opción 3}$$

$$R_{\text{costo}} = \$500.000 \text{ Determinado como significativo}$$

por autores del proyecto

Determinación del valor que debe tener el arriendo opción 1 sea viable económicamente, ecuación 4.

$$Ct_{\text{opción 1}} - \left[\frac{Xa}{(1+0,71\%)} + \frac{Xa}{(1+Id)^{(22)}} \right] = Ct_{\text{Mínimo}} - R_{\text{costo}} \quad (4)$$

Determinación del valor que debe tener el arriendo opción 2 sea viable económicamente, ecuación 5.

$$Ct_{\text{opción 2}} - \left[\frac{Xa}{(1+Id)^{(27)}} \right] = Ct_{\text{Mínimo}} - R_{\text{costo}} \quad (5)$$

Haciendo los anteriores cálculos para las opciones 1 y 2 se determinan los siguientes valores mínimos de arriendo, estos valores harán que cada una de las opciones mencionadas sea viable, siendo así \$500.000 más baratas que la opción tres.

Opción	Valor del arriendo
Opción 1	\$2'843,764
Opción 2	\$2'656,471

Figura 28. Valor del arriendo de la opción 1 y 2.

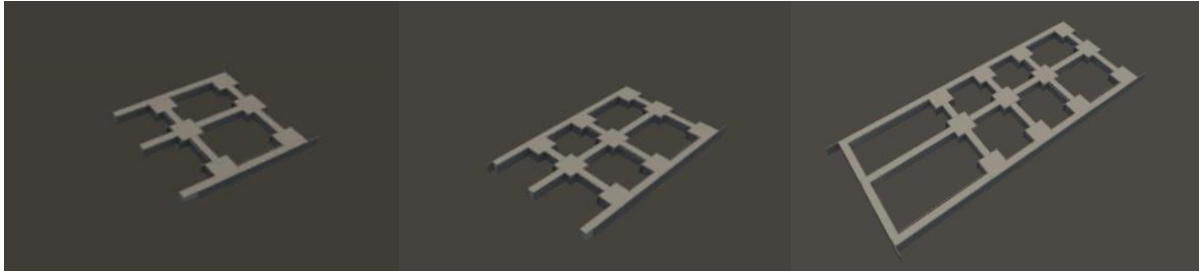
Se determina que si se gana de arriendo un valor mínimo de \$2'843.764 la opción uno con un costo de \$12'576.184 será \$500.000 más económica que la opción tres con costo de \$7'409. 825. De igual manera para la opción dos, si el valor de arriendo es de \$2'625.471 esta opción es \$500.000 más económica que la opción 3 (ver tabla 11).

Con esto se puede concluir, que dependiendo del valor recibido por el arriendo se hace conveniente alguna de las opciones, además, es importante considerar cuánto se quisiera reducir el costo mínimo (opción tres) para decidir si una opción es viable o no.

Tiempo(días)	14
Costo (COP)	387,650

Tiempo(días)	14
Costo (COP)	567,800

Tiempo(días)	14
Costo (COP)	890,230



Tiempo(días)	31
Costo (COP)	3'984,550

Tiempo(días)	31
Costo (COP)	5'100,800

Tiempo(días)	31
Costo (COP)	6'900,600



Tiempo(días)	59
Costo (COP)	8'950.000

Tiempo(días)	59
Costo (COP)	9'892.550

Tiempo(días)	59
Costo (COP)	11'892.300



Figura 29. Simulación del modelo BIM 5D, proceso constructivo de la estructura en el software Autodesk Naviswork Manage 2017.

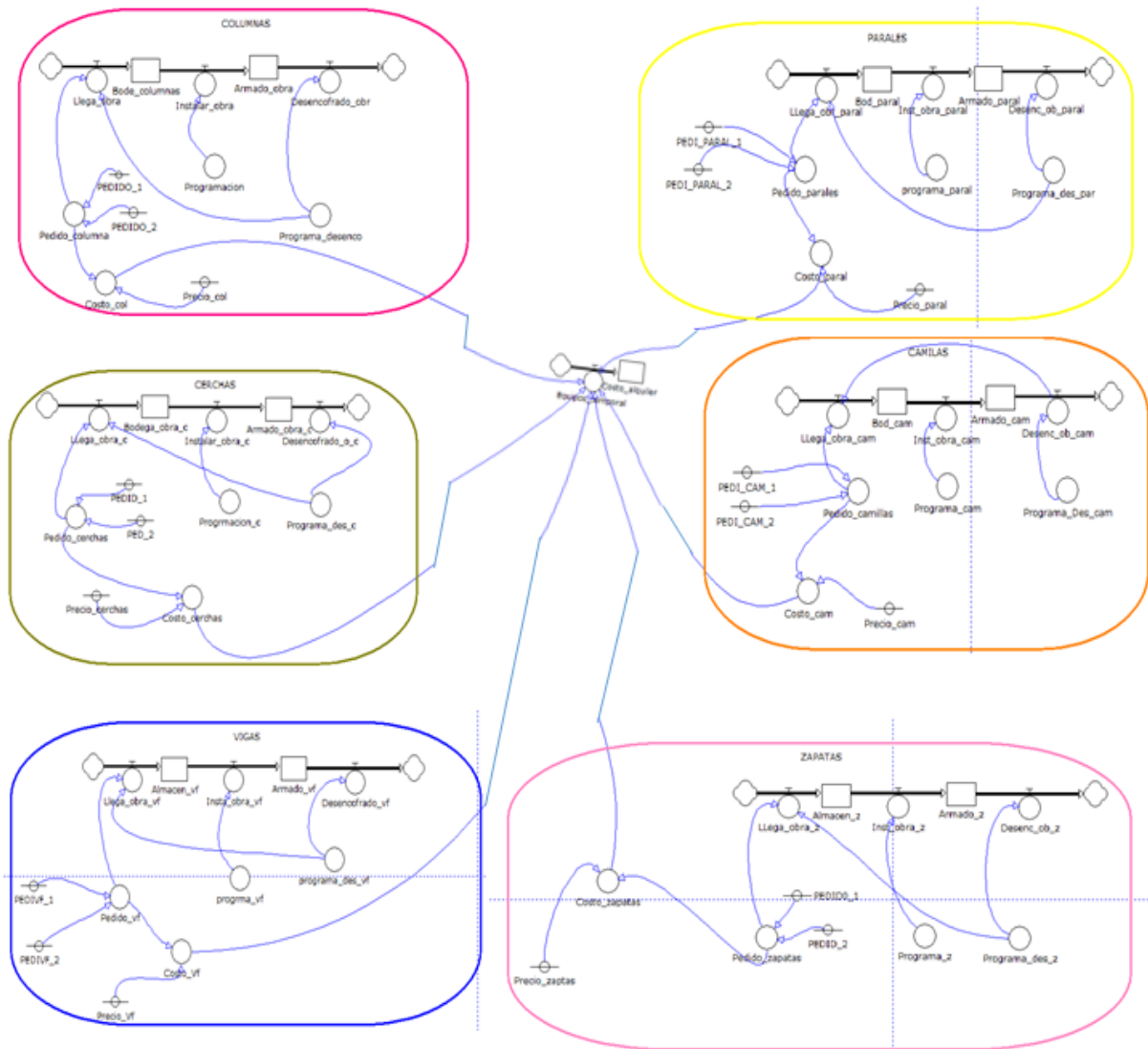


Figura 30. Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 1.

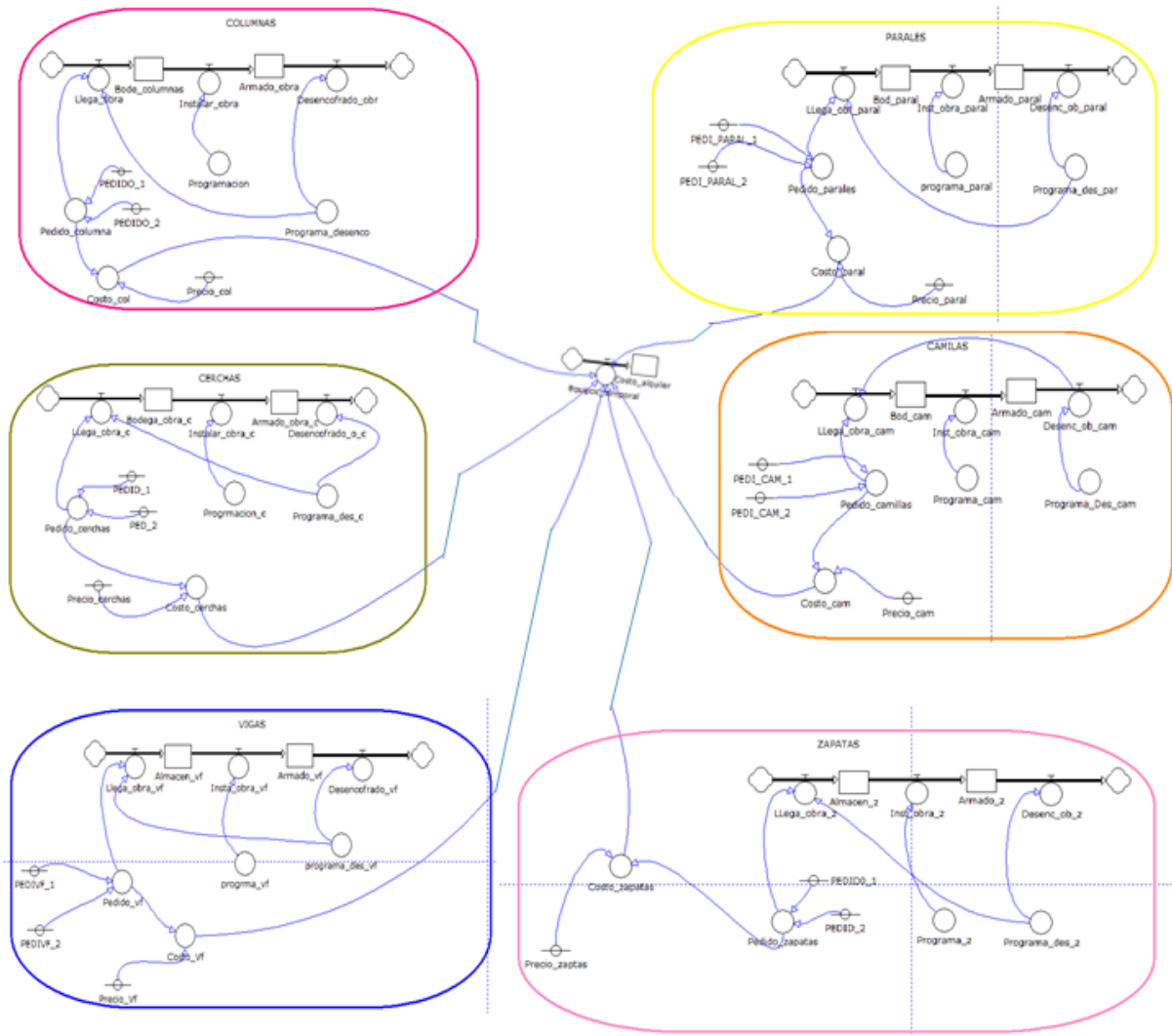


Figura 31. Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 2.

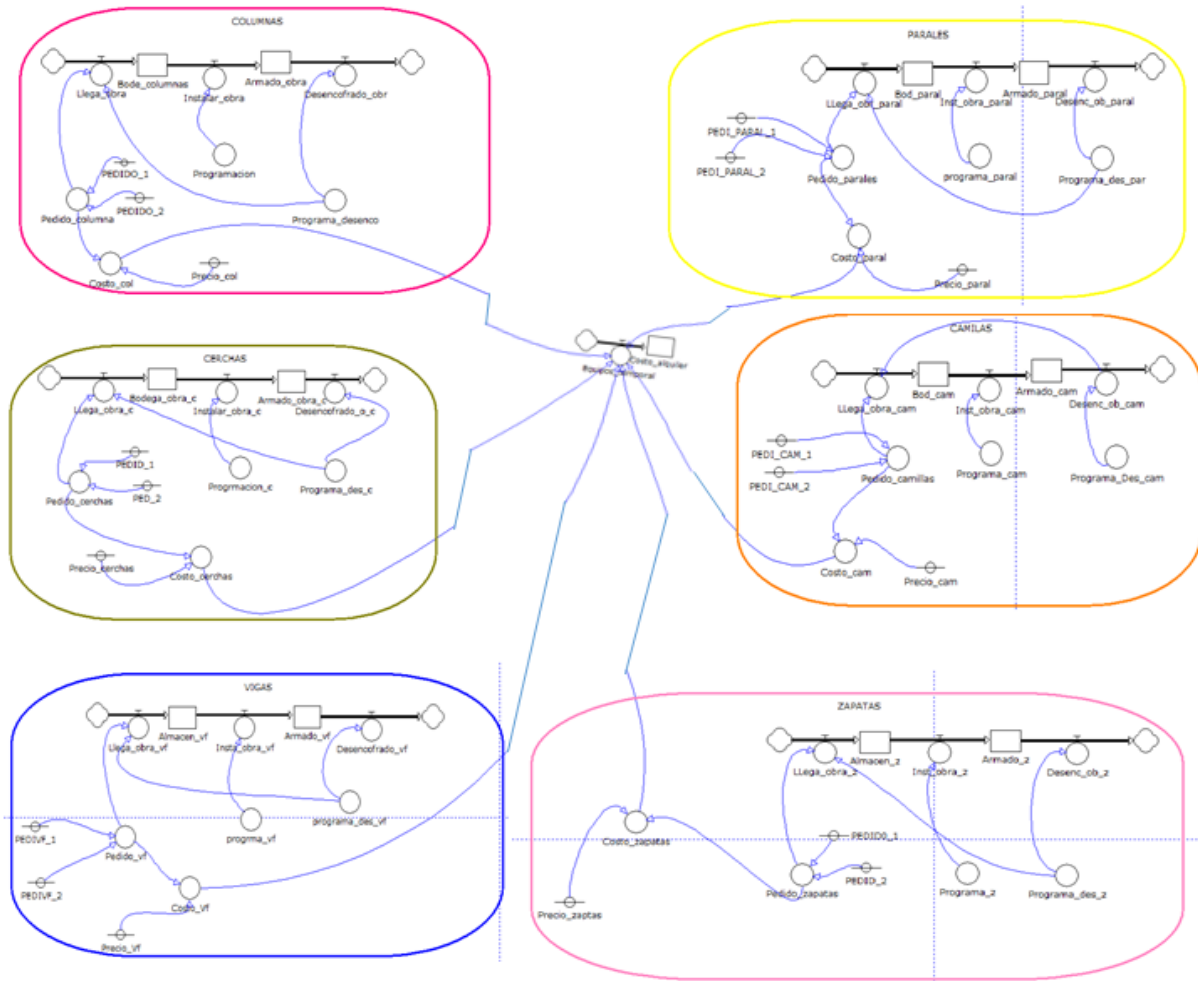


Figura 32. Modelo de dinámica de sistemas del proceso constructivo opción 3.

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta el tiempo de construcción y el valor de arrendamiento, con respecto al tiempo disponible de cada bodega producto de su pronta terminación de construcción se concluye: la primera opción donde se realiza el alquiler de toda la formaleta tiene un mayor costo en menor

tiempo, si en el tiempo restante se hace el alquiler de la bodega a un precio aproximado al de las bodegas circundantes (1'176.000) este valor no es suficiente para que esta opción sea la más viable puesto que, la utilidad generada no es suficiente para cubrir el alto costo de construcción de esta opción (12'576.184), para que esta opción sea viable se debe recibir un valor mínimo de arriendo de \$ 2'843,764.

Para la opción 2 el costo disminuye con respecto a la opción 1 en \$ 3'010.514, como resultado de ser arrendada 27 días a un valor de \$1'176.000 aun así, el costo total obtenido (8'513.988) no es menor al de la tercera opción (\$7'409.825). Para que la opción 2 sea viable el valor de arriendo debe ser \$ 2'656.471 o más puesto que, con este valor de arriendo se tendrá una reducción del costo de la tercera opción de \$500.000 (determinado como significativo por los autores del proyecto).

Si el valor del arriendo recibido no oscila entre \$2'843,764 y \$2'656.471 la **opción 3** la cual tiene mayor duración y menos costo de alquiler de formaleta será el **mejor proceso constructivo**.

Teniendo en cuenta la necesidad del cliente se analiza que si el cliente requiere que la obra termine en menor tiempo la opción viable será la opción 1 aunque sea mayor el costo de construcción, si el cliente necesita disminuir el costo en formaleta la opción 3 es la más viable, aunque el tiempo de construcción sea el máximo respecto a las otras opciones.

La estimación del costo de un proyecto de construcción, también conocida como el cálculo del presupuesto de construcción, es el proceso de predecir el costo del proyecto, con base a los materiales, herramientas, mano de obra, entre otros, requeridos para la ejecución según los estudios y diseños del proyecto, por lo cual es de gran importancia una gestión de costos en las distintas fases del proyecto que haga posible reducir las pérdidas asociadas al mismo, por esta razón la metodología de BIM aporta gran ayuda a este factor.

Con BIM se logra controlar el uso de instalaciones temporales en obra, como es el caso de las estructuras temporales. Se evita el cruce con otras instalaciones y se reduce el sobre costo por el control de las instalaciones que consumen recursos monetarios en función del tiempo. Entonces implementar la tecnología BIM en las distintas fases del proyecto de construcción es de gran ayuda debido a la gran capacidad de unificación que posee con demás enfoques de gestión.

5. Recomendaciones

BIM como metodología de trabajo, organización y ejecución del sector de construcción, ha demostrado ser el proceso más eficaz y adaptable a los estándares de calidad que el mercado exige en nuestros tiempos, el uso de la tecnología está cambiando la planificación y el control de obras debido a que el objetivo de implementar esta tecnología es mejorar la etapa de construcción, mediante el mejoramiento de cálculo de cantidades, la simulación de los procesos constructivos y la programación de obra.

La elaboración de un modelo del proceso constructivo BIM 5D presenta muchos beneficios en el desarrollo de un proyecto de construcción, tales como la optimización del tiempo aportando información para la administración de las tareas pendientes en cada etapa, evita retrasos y costos adicionales debido a que permite visualizar los procesos con antelación, permite visualizar cambios simultáneos sin improvisar nuevos modelos, mejora la organización y el seguimiento durante la construcción, facilita la estimación de recursos facilitando desarrollar el presupuesto y control de obra y permite facilitar la sustentabilidad de la obra.

El desarrollo del modelo BIM del proyecto de construcción brinda un valor agregado en las fases de construcción, ya que con el modelo BIM es posible contar con la información en una única base de datos. Se puede afirmar que usar un modelo BIM en la fase de diseño de un proyecto de construcción, permite lograr una mejor coordinación de las disciplinas de todos los componentes de las disciplinas en un solo modelo, con la ventaja de identificar interferencias entre ellas.

Referencias bibliográficas

- Aracil, Javier y Gordillo, Francisco. (1978). *Dinámica de sistemas*. Madrid, España. Alianza Editorial Textos.
- Benjaoran, V. & Bhokha, S. (2010). An integrated safety management with construction management using 4D CAD model, *Safety Science*, vol. 48, no. 3. pp.395 – 403.
- Chen, H. L. (2017). Developing cost response models for company-level cost flow forecasting of project-based corporations. *Journal of Management in Engineering*, 23(4), 171-181.
- Faghihi, V.; Reinschmidt, K. F. and Kang, J. H. (2016). Objective-driven and Pareto Front analysis: Optimizing time, cost, and job-site movements. *Autom. Constr.*, vol. 69, pp. 79–88.
- Franco-Duran, D. M. and Mejia A., G. (2016). Construction Research Congress 2016 2039. *Proc. Constr. Res. Congr.* pp. 2039–2049.
- García, J.M. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*.
- Ibarra Vega, D. W.; Redondo, J. M. (2014). *Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en la ingeniería*. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3217/321739268009.pdf>
- J., Alberto and G., Guerra. *Construcción, con base en modelos BIM 5D y dinámica de sistemas*
Temporary structures planning a construction project, based on BIM 5D models and system dynamics.
- Jung, Y.S.; Park, J.H.; Kang, S.H.; Park, B.M.; Choi, I.S. (2004). Factors for Slection Forms; A Case-Study, *The korea Institute of Building Construction* 5 (2)0 pp. 6.

- Kaner, I.; Sacks, R.; Kassian, W.; & Quitt, T. (2008). Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms, vol. 13, no. January.
- Kim, J.; Fischer, M.; Kunz, J.; & Levitt, R. (2014). Sharing of temporary structures: formalization and planning application, *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 187-194.
- Kim, K. & Teizer, J. (2014). Automatic desing and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28. no. 1, pp. 66 – 80.
- Kim, K.; Cho, Y. (2015). BIM-Based Planning of Temporary Structures for Construction Safety, *Journal of Computing in Civil Engineering*. pp. 436-444.
- Kim, K.; Cho, Y.; & Kwak, Y.H (2016). BIM-Based optimization of scaffolding plans for safety, *PROCEEDINGS Construction Research Congress*. pp. 2709-2718.
- Kim, T.H.; Shin, Y.S.; Lee, U.K.; Kang, K.I. (2007). Decision Support Model using a Decision Tree for Formwork Selection in Tall Building Construction, *Architectural Institute of Korea* 23 (11) pp. 8.
- Kumar, S. S. and Cheng, J. C. P. (2015). A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Autom. Constr.*, vol. 59, pp. 24–37.
- Lee, C.; Ham, S. & Lee, G. (2007). The Development of Automic Module for Formwork Layout using the BIM, *System*, vol.3, pp. 8-10.
- Lee, D. E.; Lim, T.K., & Arditi, D. (2011). Stochastic project financing analysis system for construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 376-389.
- Lu, Q.; Won, J., & Cheng, J. C. P. (2015). A financial making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34(1), 3-21.

- P.D., Hernán; S.R., Omar; G.G., José; J.P., Néstor & C.P, Karen. (2015). Tecnologías Building Information Modeling en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado, Escuela de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Polanco, L.M. (2009). Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción – estudio de caso edificio J UPB. Escuela de ingenieras y administración, ingeniería civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- 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.
- Porras, H.; Sánchez, O.; Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revision actual. Revista Avances Investigación en Ingeniería, 11-1, pp. 10-32.
- Porwal, A. and Hewage, K. N. (2012). Building Information Modeling–Based Analysis to Minimize Waste Rate of Structural Reinforcement. J. Constr. Eng. Manag., vol. 138, no. 8, pp. 943–954.
- Ratay, R. (1996). Handbook of temporary structures in construction. p. 810.
- Sánchez Rivera, O.G. (2015). Análisis del flujo de caja de la construcción de un proyecto con modelos BIM 5D y dinámica de sistemas.
- Sánchez-Román, R.M.; Folegatti, M.V.; OrellanaGonzález, A.M.G. (2009) Water resources situation at piracicaba, capivari and jundiaí watersheds using a dynamic systems model [Situação Dos Recursos Hídricos Nas Bacias Hidrográficas Dos Rios Piracicaba, Capivari E

- Jundiaí Utilizando Modelo Desenvolvido Em Dinâmica De Sistemas]. Engenharia Agrícola, 29 (4), pp. 578-590. Cited 7 times. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.77955296658&partnerID=40&md5=62d92dbf5ef0b8ae9c6ecb4f63da7268>.
- Sulankivi, K. and Kähkönen, K. (2010). 4D-BIM for construction safety planning. Proc. W099-..., no. May, pp. 117.
- Taborda, J.A.; Angulo, F.; Olivar, G. (2010). Mandelbrotlike bifurcation structures in chaos band scenario of switched converter with delayed-pwm control. International Journal of Bifurcation and Chaos, 20 (1), pp. 99-119. Cited 1 time. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77951534090&partnerID=40&md5=df8e9ea505492fab61d2177078218777>
- Tang, P. et al. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser – scanned point clouds: A review of related techniques, Automation in Construction, vol. 19, no. 7. pp. 829 – 843.
- Volk, R.; Stengel, J.; & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs, Automation in Construction, vol. 38, pp. 109 – 127.
- Wang, J. et al. (2014). Integrating building information modeling and firefly algorithm to optimize tower crane layout, 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC – Proceedings, no. Isarc, pp. 321 – 328.
- Zhang, S. et al. (2013). Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules, Automation in Construction, vol. 29. pp. 183-195.