

**DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE
ESTRUCTURAS TEMPORALES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
PÓRTICOS Y MUROS DE CARGA, CON BASE EN UN CASO DE ESTUDIO,
MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS**

**JUAN DAVID CASTILLO CÁCERES
OSCAR DANIEL MARTÍNEZ PÉREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE
ESTRUCTURAS TEMPORALES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
PÓRTICOS Y MUROS DE CARGA, CON BASE EN UN CASO DE ESTUDIO,
MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS**

**JUAN DAVID CASTILLO CÁCERES
OSCAR DANIEL MARTÍNEZ PÉREZ**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Director

OMAR GIOVANNI SÁNCHEZ RIVERA

PhD. en Ingeniería – Gestión de Desarrollo Tecnológico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

Se expresa agradecimiento a los profesores Omar Giovanni Sánchez Rivera, Guillermo Mejía Aguilar por su aporte y dirección durante el desarrollo del estudio.

De igual forma, se agradece al grupo de investigación Geomática, Gestión y optimización de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander y sus integrantes, por los recursos tecnológicos dispuestos y su contribución en la complementación del material bibliográfico.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. METODOLOGÍA	17
2.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y ACTIVIDADES QUE AFECTAN LOS COSTOS DE LAS ET.....	18
2.1.1 Búsqueda de material bibliográfico relacionado con ET.	18
2.1.2 Clasificación del material bibliográfico obtenido.....	19
2.2 FASE 2: ELABORACIÓN DE LOS MODELOS BIM Y DEL MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS DE LAS ET.....	22
2.2.1 Descripción del caso de estudio.	23
2.2.2 Elaboración de los modelos BIM 5D de los sistemas estructurales con las ET necesarios para el proceso constructivo.....	24
2.2.3 Elaboración del modelo en dinámica de sistemas del costo del equipo de ET en el caso de estudio	25
2.3 FASE 3: COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE ET USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS SISTEMAS ESTRUCTURALES DEL CASO DE ESTUDIO.....	26
3. RESULTADOS.....	27
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LOS COSTOS DEL EQUIPO DE ET EN SISTEMAS DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS Y MUROS DE CARGA.....	27

3.1.1 La selección de ET.	27
3.1.1.1 Método de selección de ET.....	28
3.1.1.2 Contexto del proyecto.	31
3.1.1.3 Otras variables que afectan la selección de ET.	35
3.1.2 Operación de las ET.	36
3.1.2.1 Disposición del sitio de construcción.	37
3.1.2.2 Conflictos espacio-temporales.	39
3.1.2.3 Reutilización de las ET.....	40
3.1.3 Estimación de riesgos en la planificación de las ET.	42
3.2 PLANIFICACIÓN DEL USO DE ET EN UN CASO DE ESTUDIO	44
3.2.1 Elaboración de los modelos BIM 5D de los sistemas estructurales con sus respectivas ET.	44
3.2.2 Elaboración del modelo en dinámica de sistemas del costo de ET en el caso de estudio.	46
3.3 COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE ET PARA LOS SISTEMAS DE PÓRTICO Y MUROS, EN EL CASO DE ESTUDIO.....	50
4. DISCUSIÓN.....	52
4.1 ACTIVIDADES Y VARIABLES QUE AFECTAN LOS COSTOS DE LAS ET Y LA PLANIFICACIÓN DE LAS ET.	52
4.2 METODOLOGÍA BIM 5D Y LOS COSTOS DE LAS ET	53
4.3 FLUJO DE LAS ET	54
5. CONCLUSIÓN	55
BIBLIOGRAFÍA.....	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Bases de datos usadas para la búsqueda bibliográfica.....	18
Tabla 2. Lista de términos usados para la búsqueda bibliográfica.	19
Tabla 3. Nomenclatura de las actividades constructivas.	25
Tabla 4. Rendimientos medidos en función del volumen de concreto y del peso de acero de refuerzo.....	25
Tabla 5. Criterios decisivos hallados en estudio realizado en Polonia.	32
Tabla 6. Unidades de ET necesarias para la construcción del sistema pórtico.....	45
Tabla 7. Unidades de ET necesarias para la construcción del sistema muros de carga.....	46

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de la metodología llevada a cabo en la presente investigación.	17
Figura 2. Relación del número de documentos clasificados en las categorías de la base de datos	20
Figura 3. Gráficas estadísticas de los 175 documentos de la base de datos.....	21
Figura 4. Gráficas estadísticas de los 175 documentos de la base de datos.....	22
Figura 5. Gráfica del flujo tipo de cada elemento de ET en dinámica de sistemas	26
Figura 6. Otras variables que afectan la selección de ET	35
Figura 7. BIM 3D de las ET usadas en la construcción del pórtico.	44
Figura 8. BIM 3D de las ET usadas en la construcción del sistema de muros.....	45
Figura 9. Simulación del proceso constructivo, a la izquierda sistema muros y a la derecha sistema pórtico	47
Figura 10. Modelo de la dinámica de sistemas del flujo de la ET en el sistema de muros.....	48
Figura 11. Modelo de la dinámica de sistemas del flujo de la ET en el sistema de pórtico.	49
Figura 12. Simulación del armado en obra de la ET en el sistema de muros.	49
Figura 13. Simulación del armado en obra de la ET en el sistema de pórtico.	50
Figura 14. Simulación del costo de la ET usada en el sistema de muros	51
Figura 15. Simulación del costo de la ET usada en el sistema de pórtico	51

RESUMEN

Título: DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE ESTRUCTURAS TEMPORALES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PÓRTICOS Y MUROS DE CARGA, CON BASE EN UN CASO DE ESTUDIO, MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS*

Autores: JUAN DAVID CASTILLO CÁCERES
OSCAR DANIEL MARTÍNEZ PÉREZ**

Palabras Clave: Building Information Modeling, Dinámica de sistemas, Estructuras temporales, Muros de carga, Pórtico, Proyectos de construcción.

Descripción

Las estructuras temporales (ET) son instalaciones que contribuyen a la materialización de cualquier proyecto de construcción, asistiendo los procesos constructivos según sea el método de construcción, por ende su uso afecta significativamente la calidad, seguridad y rentabilidad de los proyectos de construcción; el éxito del uso de las ET radica en la planificación de las mismas y en la efectividad con la que sean implementadas, no obstante, la planificación de las ET es subestimada y en muchos casos ignorada, esto se debe a que comúnmente la toma de decisiones es subjetiva e intuitiva, de este modo la planificación de las ET es limitada por la experiencia de los profesionales. Por otro lado, la metodología BIM ofrece una plataforma que integra varios componentes de los proyectos de construcción facilitando el diseño, planificación y toma de decisiones de las ET que se usan en los procesos constructivos. El presente estudio consigue incorporar la metodología BIM 5D en conjunto con la dinámica de sistemas para evaluar y comparar los costos de las ET requeridas para la construcción de pórticos resistentes a momentos y muros de carga, haciendo énfasis en los beneficios de la implementación de esta metodología y tomando como caso de estudio un edificio residencial de tres plantas cuya ET en su mayoría es alquilada.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, UIS. Director: PhD. OMAR GIOVANNI SÁNCHEZ RIVERA

ABSTRACT

Title: DETERMINATION AND COMPARISON OF THE COST OF THE TEAM OF TEMPORARY STRUCTURES REQUIRED FOR THE CONSTRUCTION OF PORTS AND WALLS OF LOAD, BASED ON A CASE STUDY, MODELS BIM 5D AND DYNAMICS OF SYSTEMS*

Authors: JUAN DAVID CASTILLO CÁCERES
OSCAR DANIEL MARTÍNEZ PÉREZ**

Keywords: Building Information Modeling, Systems dynamics, Temporary structures, Load-bearing walls, Frame structure, Construction projects.

Description

Temporary structures (TS) are facilities who contribute to construction project's materialization, becoming in a factor who affects construction projects' cost, quality and safety, on the other hand, BIM methodology offers a platform who integrates several construction projects' components, facilitating TS's design, planning and decision making that are used in the construction processes. The present study incorporates BIM 5D methodology in conjunction with systems dynamics to evaluate and compare TS's costs required for construction of concrete frame structure and load bearing walls construction, emphasizing the benefits of the implementation of this methodology and taking as a case study a three level residential building whose TS is mostly rented.

* Degree work

**Physical-mechanics Engineering Faculty, Civil Engineering School, UIS. Director: PhD. OMAR GIOVANNI SÁNCHEZ RIVERA

INTRODUCCIÓN

La norma colombiana sismo resistente, NSR-10, establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas, cuyo uso primordial es la habitación u ocupación de seres humanos; esta reconoce cuatro tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica, sistema de muros de carga, sistema combinado, sistema de pórtico y sistema dual. Entre estos, el sistema estructural de pórtico espacial resistente a momentos, compuesto por vigas y columnas, que resisten en su totalidad todas las cargas verticales y horizontales¹, es uno de los de mayor uso en la industria, de los mencionados. No obstante, el sistema de muros de carga, también es usual, caracterizándose por ser un proceso más industrializado; este sistema estructural no dispone de un pórtico, por lo que las cargas verticales y horizontales son resistidas por los muros de carga².

Las ET son instalaciones que permiten materializar cualquier edificación según el método constructivo, permitiendo principalmente la colocación de materiales a granel; su uso afecta en manera significativa la seguridad, calidad, velocidad y la rentabilidad de la construcción^{3 4 5}. Es imperativo resaltar, que las ET son fundamentales en los proyectos de construcción, ya que su manejo en obra

¹ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, 2010, tit. A. p. 41-46.

² MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. *Ibíd.* p. 41-46.

³ KIM, Kyungki y TEIZER, Jochen. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Adv Eng Informatics*, 2014. p.66-80.

⁴ RATAY, R. Temporary structures in construction operations, in: *Proceedings of a Session Sponsored by the Construction Division of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE Convention in Atlantic, City*. 1987. p.1-8.

⁵ RATAY, R. *Handbook of Temporary Structures in Construction: Engineering Standards, Designs, Practices and Procedures*. 1996.

(instalación y desinstalación), resulta ser de vital importancia, para la finalidad de los mismos⁶. El problema es que las prácticas actuales en la industria de la construcción, comúnmente dependen del conocimiento y la experiencia de los ingenieros, quienes se encargan de la planificación y diseño de las ET mediante un análisis visual de los planos de obra cuando el proyecto se encuentra en marcha⁷. Por esta razón, las falencias de la planificación de ET en proyectos de construcción, casi siempre ocasionan graves problemas de apilamiento, generando pérdida de espacio, incomodidad y principalmente pérdida de tiempo involucrando directamente todos los aspectos económicos del proyecto en construcción.

La metodología BIM, se basa en una plataforma tecnológica que integra arquitectura, ingeniería y construcción, con el objetivo de modelar la geometría de las edificaciones con la información necesaria para facilitar su diseño y construcción⁸. Actualmente, en la industria de la construcción, se ha implementado el uso de la tecnología BIM, con el fin de incorporar las principales instalaciones de ET, logrando, ahorro en costos y tiempos, mediante la reducción de esfuerzos manuales, con el uso de la exacta visualización 3D del proyecto dentro de los

⁶ KIM, Hyunjoo y AHN, Hongseob. Temporary facility planning of a construction project using BIM (Building Information Modeling). *Congr Comput Civ Eng Proc*, 2011. p.627-634.

⁷ KIM, Kyungki y TEIZER, Jochen. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Adv Eng Informatics*, 2014. p.66-80.

⁸ KIM, Hyunjoo y AHN, Hongseob. Temporary facility planning of a construction project using BIM (Building Information Modeling). *Congr Comput Civ Eng Proc*, 2011. p.627-634.

modelos BIM⁶⁹¹⁰. A pesar de dichos impactos, las ET son usadas en los proyectos, sin mayores esfuerzos para prever su planificación.

La elección de un sistema estructural para cualquier proyecto se fundamenta en las ventajas y desventajas que puede ofrecer frente a diversos aspectos, de esta forma la pregunta que se desea responder en el desarrollo de la investigación es: ¿Cuáles son las diferencias en costos de estructuras temporales para los sistemas de muros de carga y pórtico resistente a momentos, en un caso de estudio?, para dar respuesta a esta pregunta, se tomaran los diseños estructurales de un edificio con muros de carga y los diseños estructurales del mismo edificio pero con pórtico resistente a momentos como caso de estudio; se elaboraran los modelos BIM 5D con sus respectivas ET y por medio de la dinámica de sistemas se observara el flujo y costo de las mismas para poder realizar la respectiva comparación de la selección de ET en los dos sistemas estructurales.

⁹ ANGELO, Jhon y ANGELO, Frances. John & Frances Angelos Law Center Schuster Concrete, (accessed 11.14.12). [Online]. Available: <http://www.tekla.com/us/Documents/BIM-awards-2011/concreteproject7.html>.

¹⁰ SCHUSTER CONSTRUCTION LLC. "Schuster Construction", (accessed 11.14.12). [Online]. Available: http://www.schusterconstruction.com/projects/angelos_law_center.html.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar y comparar los costos de estructuras temporales para los sistemas de pórtico resistente a momentos y muros de carga.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar variables y actividades relacionadas con los costos de estructuras temporales de sistemas de pórtico resistente a momentos y muros de carga.

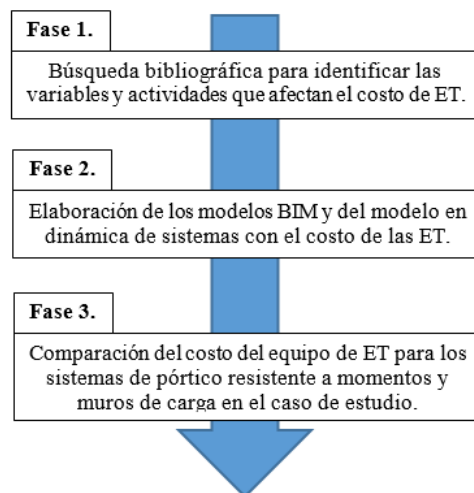
Elaborar un modelo en dinámica de sistemas del costo de estructuras temporales, de un caso de estudio, para los sistemas de pórtico resistente a momentos y muros de carga, con base en una simulación BIM 5D.

Realizar una comparación entre los costos de estructuras temporales para los sistemas de pórtico resistente a momentos y muros de carga, con base en los resultados obtenidos en dinámica de sistemas.

2. METODOLOGÍA

En la presente sección se muestra la metodología llevada a cabo en esta investigación para determinar y comparar el costo del equipo de ET requeridas para la construcción de un caso de estudio en dos sistemas estructurales (sistema pórtico y muros de carga) a partir de modelos BIM y dinámica de sistemas. En esta metodología se contemplaron tres fases para el desarrollo de la investigación como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de la metodología llevada a cabo en la presente investigación.



La primera fase, consistió en realizar la búsqueda bibliográfica necesaria para identificar las variables y actividades que afectan el uso de ET en la construcción de proyectos con concreto reforzado; la segunda fase, se basó en la elaboración de dos modelos BIM 5D del caso de estudio, cada uno con un sistema estructural y sus respectivas ET para la posterior elaboración del modelo en dinámica de sistemas con el costo y planificación del uso de las ET en el caso de estudio de cada sistema estructural; finalmente, en la tercera fase, se realizó la comparación del costo del

equipo de ET para los sistemas de pórtico resistente a momentos y muros de carga en el caso de estudio.

2.1 FASE 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y ACTIVIDADES QUE AFECTAN LOS COSTOS DE LAS ET.

Esta sección de la investigación se basó en la búsqueda y recolección del material bibliográfico para su posterior clasificación así como se muestra a continuación.

2.1.1 Búsqueda de material bibliográfico relacionado con ET.

La consulta bibliográfica se realizó a partir de la base de datos con la que contaba el grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, esta base de datos contaba con 73 artículos científicos sobre ET clasificados en análisis/diseño, planeación, seguridad, relación de estos con la tecnología BIM, entre otros que serán detallados en la siguiente sección del presente artículo. Para ampliar esta base de datos, se realizó la consulta de las bases de datos que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Bases de datos usadas para la búsqueda bibliográfica.

Lista de bases de datos.	
Bases de datos	URL
American Society of Civil Engineers (ASCE)	ascelibrary.org
ELSEVIER	www.elsevier.com
Sciencedirect	www.sciencedirect.com

En cada una de estas bases de datos se realizó la combinación de los términos de la columna A con la columna B de la tabla 2.

Tabla 2. Lista de términos usados para la búsqueda bibliográfica.

Lista de términos.	
Columna A	Columna B
Temporary Structure	Construction
Scaffolding	Planning
Formwork	BIM
Falsework	

En este proceso de búsqueda se descartaron los documentos que ya se encontraban incluidos en la base de datos con la que contaba el grupo de investigación; al final de esta búsqueda y depuración, se recopilaron 173 documentos científicos con los que se procedió a realizar la clasificación.

2.1.2 Clasificación del material bibliográfico obtenido.

Para el proceso de clasificación del material bibliográfico recopilado, se procedió a repartir los 173 documentos entre los dos investigadores para que cada uno se encargara de realizar la lectura del título y el resumen de cada uno de los documentos con el ánimo de determinar la importancia y veracidad de cada documento con respecto al tema de estudio, uso de las ET en procesos constructivos y la aplicación de tecnología BIM en la ingeniería civil. Luego de realizar esta tarea, cada investigador entregó el reporte de los documentos que le habían correspondido para de esta forma descartar los documentos que no cumplieran con el propósito de la investigación. Al final de este proceso se

descartaron 111 documentos, quedando un total de 62 documentos para ser incluidos en la base de datos del grupo de investigación que ya contaba con 73 artículos.

Estos 62 documentos se clasificaron en las 9 categorías ya establecidas en la base de datos: (1) tecnología BIM en ET, (2) planificación de ET, (3) estudios de seguridad en ET, (4) conceptos básicos de ET, (5) optimización de ET, (6) diseño y análisis de ET, (7) monitoreo de ET, (8) proceso constructivo de ET y (9) educación en el área de ET. En la figura 2, se muestra el número de documentos clasificados en cada una de las anteriores categorías, además, en la figura 3 y en la figura 4, se muestran las principales graficas estadísticas realizadas a los 175 documentos de la base de datos.

Figura 2. Relación del número de documentos clasificados en las categorías de la base de datos.

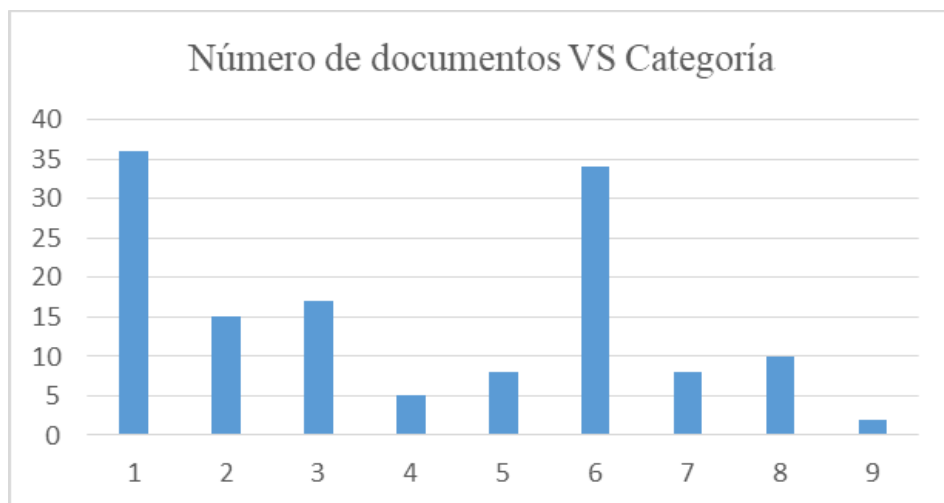


Figura 3. Gráficas estadísticas de los 175 documentos de la base de datos.

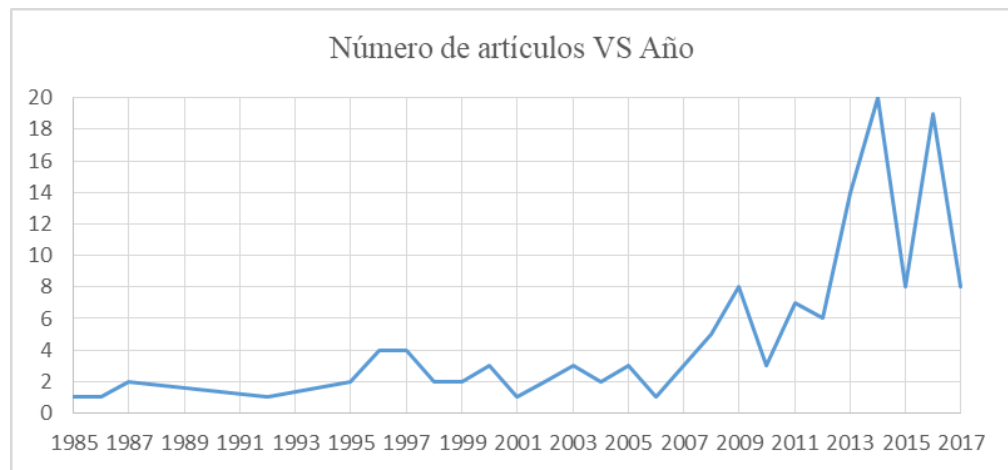
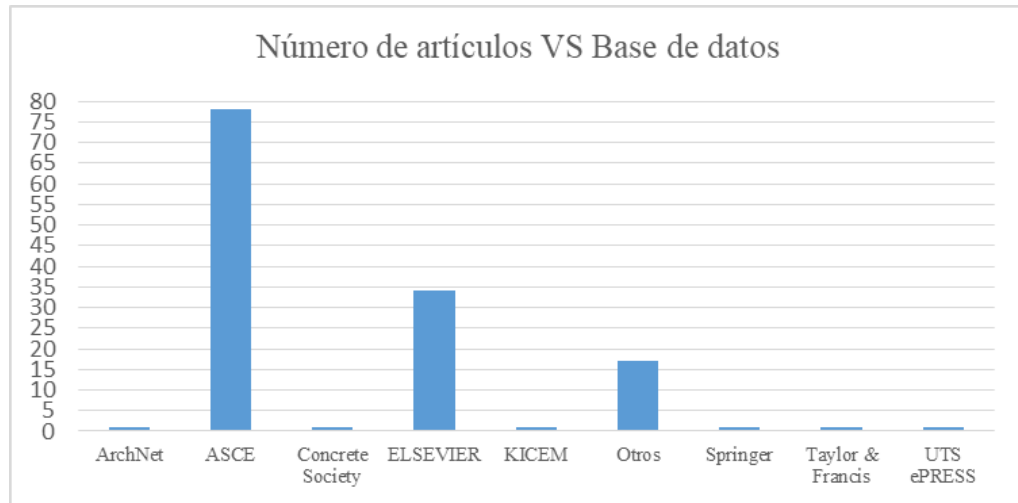
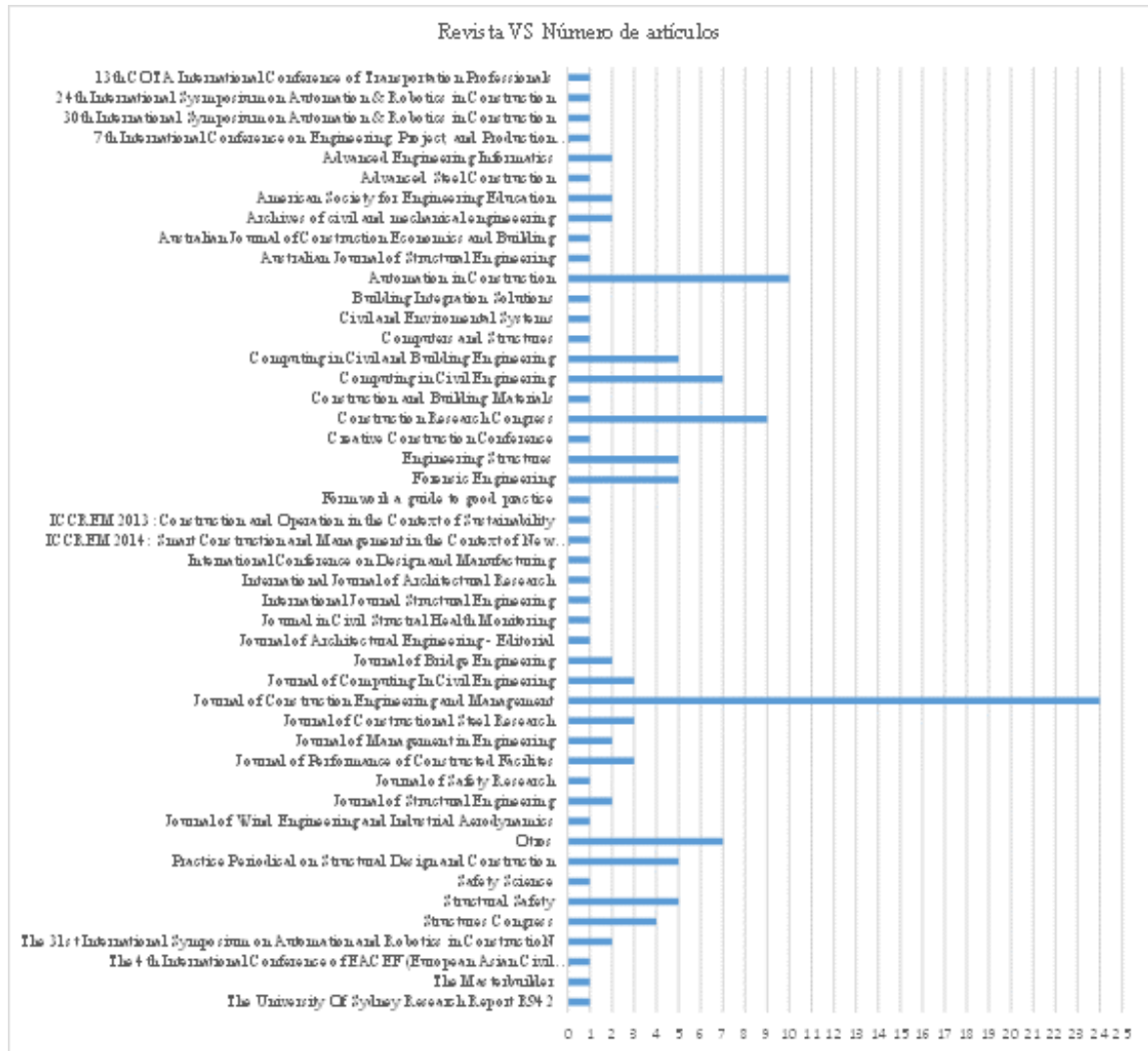


Figura 4. Gráficas estadísticas de los 175 documentos de la base de datos.



2.2 FASE 2: ELABORACIÓN DE LOS MODELOS BIM Y DEL MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS DE LAS ET.

En esta sección se describe la forma en que se realizaron los modelos de los dos sistemas estructurales con sus respectivas ET en el software de modelamiento de información para la construcción de la casa de Autodesk, Revit, luego junto con el plan de obra elaborado en Microsoft Project se procedió a realizar la simulación del proceso constructivo en el software Navisworks, también de la casa de Autodesk.

Finalmente mediante la visualización del flujo de los diferentes elementos de ET usados en los dos procesos constructivos, se planteó la dinámica de sistemas que gobernaba este flujo de ET en el software Evolución, este es un software desarrollado por el grupo de investigación SIMON de investigaciones en modelamiento y simulación de la Universidad Industrial de Santander.

2.2.1 Descripción del caso de estudio.

Como caso de estudio se tomaron los planos estructurales de un edificio residencial de tres plantas, cada planta con 134.86 m² de área construida, cuyos diseños contemplaban las dos opciones de sistemas estructurales necesarios para esta investigación (sistema de pórtico y muros de carga) como opciones de construcción.

El sistema de pórtico está diseñado con una cimentación compuesta por zapatas y vigas de amarre, el soporte de la estructura consta de vigas y columnas rectangulares y el entrepiso contempla una placa aligerada con viguetas nervadas en una dirección, por otro lado, el sistema de muros de carga cuenta para la cimentación con zapatas corridas en la dirección principal de los muros de carga y con vigas de amarre en la dirección perpendicular a esta, los muros de carga se usan como soporte de la estructura y para los entrepisos se usa una placa maciza de 10 cm.

Para la selección de la ET a usar en los dos procesos constructivos, se decidió usar los mismos componentes para ambos sistemas estructurales; es así que para la cimentación se usaron la tabla burra como sistema de encofrado y para los componentes del sistema de resistencia sísmica se decidió usar la formaleta metálica o tableros metálicos como sistema de encofrado. Para la construcción de la losa de los entrepisos se decidió usar el armado tipo cama o entarimado que consta de paraleles, crucetas, cerchas y camillas o estibas. Para la determinación del costo de la ET en esta investigación se decide que la tabla burra es el único

elemento que se compra junto con los casetones en el sistema de pórtico y el resto de la ET se alquila.

2.2.2 Elaboración de los modelos BIM 5D de los sistemas estructurales con las ET necesarios para el proceso constructivo.

Para la elaboración de los modelos BIM 5D se parte de los planos de diseño estructural 2D en AutoCAD para generar el modelo BIM 3D en Revit con las ET necesarias para la construcción de cada estructura, aquí se puede apreciar la geometría, las propiedades de los materiales y en especial la ubicación espacial de cada uno de los elementos de la ET necesarios para llevar a cabo cada proceso constructivo. De este modelo BIM 3D de Revit se obtienen las cantidades necesarias de ET para cada sistema estructural y también se exportan los archivos a Naviswork para que junto con Microsoft Project y un proceso iterativo de visualización y prueba se pueda optimizar el plan de obra para cada proceso constructivo.

En este punto de la investigación se decidió dividir el proceso de construcción tanto de las columnas como de los muros de carga en dos fases y a su vez usar sólo un juego de entarimado durante todo el proceso constructivo de cada estructura. Los rendimientos usados para determinar la duración de cada actividad se presenta en la tabla 4. mientras que en la tabla 3 se observa la nomenclatura de cada actividad constructiva.

Tabla 3. Nomenclatura de las actividades constructivas.

Nomenclatura	
E	Encofrado
F	Fundida
D	Desencofrado
R	Refuerzo

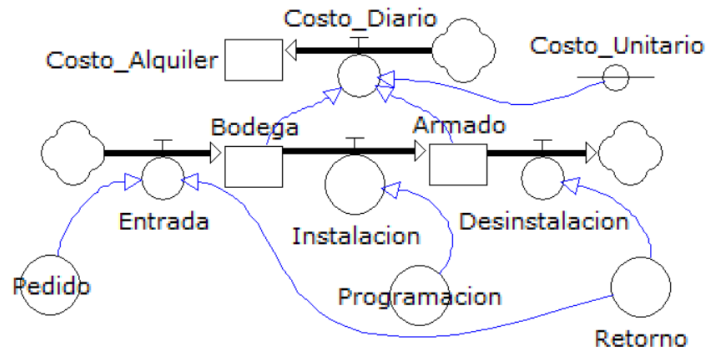
Tabla 4. Rendimientos medidos en función del volumen de concreto y del peso de acero de refuerzo.

Rendimientos	(Hr/m ³)			(Kg/m ³)
	E	F	D	R
Elemento				
Zapatas	2.70	1.91	0.71	0.03
Columnas	2.54	1.91	1.03	0.03
Vigas	2.45	1.93	1.41	0.03
Muros	5.13	1.91	2.27	0.03

2.2.3 Elaboración del modelo en dinámica de sistemas del costo del equipo de ET en el caso de estudio

Teniendo en cuenta las cantidades de ET obtenidas del modelo de Revit y los tiempos de permanencia de la ET ya sea en bodega o armados en obra obtenidos a partir de la simulación de ambos procesos constructivos, se presenta este movimiento o flujo de ET como un proceso complejo el cual se modela en la dinámica de sistemas como se muestra la figura 5.

Figura 5. Gráfica del flujo tipo de cada elemento de ET en dinámica de sistemas.



De esta forma, se definen los flujos (entrada, instalación, desinstalación y costo diario) que en la figura se representan con un círculo con llave, como los que con una razón de cambio entregan cierta cantidad de ET en el tiempo a un lugar específico; los niveles (bodega, armado y costo alquiler) que en la figura se representan con un cuadrado, son los que acumulan las unidades a medida que pasa el tiempo en un sitio específico; las variables auxiliares (pedido, programación y retorno) que se representan con un círculo, son las que almacenan la información necesaria para alimentar los flujos; finalmente, los parámetros (costo unitario) representan un valor constante en el sistema.

2.3 FASE 3: COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE ET USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS SISTEMAS ESTRUCTURALES DEL CASO DE ESTUDIO

En esta fase se realiza una comparación numérica directa y también una comparación del uso de la ET en cada proceso constructivo de cada sistema estructural.

3. RESULTADOS

En la presente sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología propuesta para la presente investigación.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LOS COSTOS DEL EQUIPO DE ET EN SISTEMAS DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS Y MUROS DE CARGA

Como resultado de la búsqueda y lectura bibliográfica se identifican 3 actividades que afectan el uso y costo de la ET en los proyectos de construcción, cada una de estas actividades poseen variables que a su vez las afectan. A continuación se exponen cada una de estas 3 actividades: la selección de ET, operación de las ET y la estimación de riesgos en la planificación de las ET, con las variables que las complementan respectivamente.

3.1.1 La selección de ET.

Las ET representan un área de considerable significancia en los procesos de construcción, con una larga influencia sobre la calidad, seguridad y rentabilidad de los proyectos de construcción¹¹. Tener un profundo conocimiento en la tecnología usada en las obras de concreto monolítico y en las características de los sistemas de ET, resulta en la selección apropiada de un sistema de ET para la realización de

¹¹ KIM, Jonghoon y FISCHER, Martin. Formalization of the features of activities and classification of temporary structures to support an automated temporary structure planning. J Comput Civ Eng, 2007. p.338-346.

obras en concreto¹². Esta selección es crucial para el éxito de proyectos con concreto fundido en situ, ya que la correcta selección da lugar a: reducción en los costos laborales y en la cantidad de materiales, mejoras en la seguridad y calidad de los procesos con concreto y el logro de ciclos de trabajo mucho más rápidos. De este modo la selección de las ET es el primer problema que debe ser considerado para mejorar la utilización de las mismas en el sitio de construcción^{13 14 15}.

3.1.1.1 Método de selección de ET.

En las construcciones de concreto reforzado el método para la apropiada selección de ET es un factor crucial para la exitosa finalización del proyecto, dado que el método de selección de ET tiene un importante rol en los ciclos por piso en los proyectos de construcción ^{16 17}. Por lo tanto, el apropiado método de selección de ET no afecta únicamente el costo de la construcción, sino también afecta la secuencia de las actividades de construcción, y por ende la duración de los proyecto^{18 19}.

¹² KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p.366-372.

¹³ KRAWCZYNSKA-PIECHNA. *Ibíd.* p.366-372.

¹⁴ MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.1700-1709.

¹⁵ MA, Guofeng; GU, Lingyun y LI, Nan. Scenario Based Proactive Robust Optimization for Critical Chain Project Scheduling. *J Constr Eng Manag*, 2015. p.1-12.

¹⁶ SHIN, Yoonseok, *et al.* A formwork method selection model based on boosted decision trees in tall building construction. *Autom Constr*, 2012. p.47-54.

¹⁷ PROVERBS, David; HOLT, Gd y OLOMOLAIYE, Po. Factors impacting construction project duration: a comparison between France, Germany and the u.k. *Build Environ*, 1998. p.197-204.

¹⁸ SHIN. *Op. Cit.* p.47-54.

¹⁹ TAM, cm, *et al.* Selection of vertical formwork system by probabilistic neural networks models. *Constr Manag Econ*, 2005. p.245-254.

Pese a la importancia y complejidad de la selección de ET, en la práctica esta selección ha dependido principalmente de las decisiones subjetivas e intuitivas de los profesionales, limitadas por su experiencia^{20 21}. Entonces, es común el uso de un procedimiento manual de prueba y error para la selección de las ET; consecuentemente su utilización impide realizar una búsqueda exhaustiva para la selección conduciendo a una selección pobre, limitantes en el número de ET que se pueden considerar y elevación de los costos²². Técnicas de extracción de datos han sido utilizadas para asistir al planificador con un método para la selección apropiada de ET^{23 24}. Sistemas expertos^{25 26}, redes neuronales artificiales (“Neural-

²⁰ MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.1700-1709.

²¹ SHIN, Yoonseok, *et al.* A formwork method selection model based on boosted decision trees in tall building construction. *Autom Constr*, 2012. p.47-54.

²² KIM, Jonghoon y FISCHER, Martin. Formalization of the features of activities and classification of temporary structures to support an automated temporary structure planning. *J Comput Civ Eng*, 2007. p.338-346.

²³ SHIN. Op. Cit. p.47-54.

²⁴ HANNA, Awad; WILLENBROCK, Jack y SANVIDO, Victor. Knowledge Acquisition and Development for Formwork Selection System. *J Constr Eng Manag*, 1992. p.179-198.

²⁵ HANNA. *Ibíd.* p.179-198.

²⁶ XIAO, Xue; SKITMORE, Martin y HU, Xin. Case-based Reasoning and Text Mining for Green Building Decision Making. *Energy Procedia*, 2017. p.417-425.

Networks” NNs)^{27 28 29 30} y árboles de decisiones (“Decision trees” DTs)^{31 32 33}, han sido implementados debido a los numerosos factores que influyen la selección de ET³⁴.

El rango de métodos que pueden aplicarse para resolver el problema de una selección multi-criterio van desde los métodos clásicos hasta la inteligencia artificial, que puede predecir las soluciones con una exactitud de más o menos 65% a 85% dependiendo de la calidad y el tamaño del tren de datos y del número de factores que fueron considerados³⁵; estos métodos son científicamente valiosos pero requieren ser aplicados por computadora y podrían no ser usados por un director de proyectos común, ya que se requiere un nivel de conocimiento y experiencia en el tema. De este modo, los métodos clásicos aún mantienen un valor importante

²⁷ TAM, cm, *et al.* Selection of vertical formwork system by probabilistic neural networks models. *Constr Manag Econ*, 2005. p.245-254.

²⁸ KAMARTHI, Sagar; SANVIDO, Victor y KUMARA, Soundar. Neuroform—neural network system for vertical formwork selection. 1992. p.178-199.

²⁹ ROE, Byron, *et al.* Boosted decision trees as an alternative to artificial neural networks for particle identification. *Nucl Instruments Methods Phys Res Sect A Accel Spectrometers, Detect Assoc Equip*, 2005. p.577-584.

³⁰ AN, sh, *et al.* Application of Support Vector Machines in assessing conceptual cost estimates. *J Comput Civ Eng*, 2007. p.259–264.

³¹ ROE. Op. Cit. p.577-584.

³² SHIN, Yoon-Seok. Formwork System Selection Model for Tall Building Construction Using the Adaboost Algorithm. *J Korea Inst Build Constr*, 2011. p.523-529.

³³ RAVI-KUMAR, P y RAVI, V. Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques - A review. *Eur J Oper Res*, 2007. p.1-28.

³⁴ SHIN, Yoonseok, *et al.* A formwork method selection model based on boosted decision trees in tall building construction. *Autom Constr*, 2012. p.47-54.

³⁵ MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.1700-1709.

para la selección de ET, no obstante, el método más apropiado de selección debe contar con las siguientes ventajas para hacer que la problemática de selección sea fácil de resolver ^{36 37}:

- ✓ El método no debe requerir cualquier parámetro extra que puedan confundir al planificador.
- ✓ La mejor alternativa debe ser determinada claramente mediante un valor escalar, no mediante una jerarquía donde dos soluciones incomparables son posibles de obtener.
- ✓ La alternativa debe ser ordenada con algoritmos.
- ✓ Los algoritmos deben ser de fácil programación.

3.1.1.2 Contexto del proyecto.

La selección de ET no puede ser formulada sin el estudio previo de: las necesidades del proyecto, la cultura de construcción y las condiciones de trabajo a nivel local. Prueba de esto son las numerosas investigaciones que sugieren varios criterios para la selección de ET según los requerimientos locales del proyecto, no obstante, su importancia en la problemática de selección de ET (el análisis del contexto en el que se desenvuelve un proyecto) no ha sido distintivamente formulado^{38 39}.

Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se encaminan en el reconocimiento de las preferencias de los profesionales de la construcción y su jerarquía en el

³⁶ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p.366-372.

³⁷ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Application of TOPSIS Method in Formwork Selection Problem. *Appl Mech Mater*, 2015. p.101-107.

³⁸ KRAWCZYNSKA-PIECHNA. Op. Cit. p.366-372.

³⁹ KRAWCZYNSKA-PIECHNA. Op. Cit. p.101-107.

problema de selección de ET, lo que resulta en la formulación de 9 criterios decisivos, que se presentan en la tabla 5, que pueden ayudar a los profesionales en la selección de ET según sean sus necesidades locales^{40 41 42}.

Tabla 5. Criterios decisivos hallados en estudio realizado en Polonia.

Criterios decisivos	
ET ergonómicos	Lo que implica rápido y fácil ensamblado, elementos de bajo peso para un ensamblaje manual y la posibilidad de mover conjuntos completos de ET, entre otros.
Soporte por parte del proveedor de ET	Esto incluye diseños de las ET, la capacitación del personal y el montaje de prueba de los elementos más complejos.
ET versátiles	Implica que las ET pueden ser usadas para realizar tareas de construcción de varios tipos, forma y localización.

⁴⁰ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p.366-372.

⁴¹ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Application of TOPSIS Method in Formwork Selection Problem. *Appl Mech Mater*, 2015. p.101-107.

⁴² HANNA, Awad; WILLENBROCK, Jack y SANVIDO, Victor. Knowledge Acquisition and Development for Formwork Selection System. *J Constr Eng Manag*, 1992. p.179-198.

Calidad en los acabados y en el rendimiento del concreto	Depende en gran medida de los materiales en los que se constituyan las ET.
Seguridad	Las ET vienen equipadas con plataformas que proveen alta seguridad para el personal de construcción.
Durabilidad de los elementos de las ET	Capacidad de las ET para soportar condiciones externas.
ET conocidas para los trabajadores	Si la ET ha sido utilizada, es adaptable a las habilidades de personal que además no necesitaran de entrenamiento especial.
Compatibilidad con el sistema o elementos de las ET	Cada tipo de ET sean compatibles entre sí y no representes limitantes.
Términos atractivos de alquiler	Costos de Alquiler.

Por otro lado, el contexto en el que se desarrolla el proyecto, también tiene gran influencia en el éxito de los métodos numéricos que han sido propuestos para complementar la selección de las ET debido a que el contexto para el que se desarrolló el método numérico limita su capacidad de aplicabilidad⁴³. De este modo, una desventaja de los métodos numéricos en la selección de las ET es su limitación para representar el contexto en el que se desarrollan distintos proyectos de construcción, así que la aplicación directa de un método de selección sin considerar

⁴³ MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.1700-1709.

el contexto del proyecto para el que fue planteado, puede dirigirse a resultados equívocos e imprecisos. Entonces, adaptar o crear un método numérico que sirva para el contexto de un caso particular puede ser una opción para solucionar el problema de selección, no obstante, el desarrollo de un método de selección requiere una inversión significativa de tiempo y recursos^{44 45 46 47}.

En consecuencia, para soportar la toma de decisiones en el proceso de selección de ET, el método debe capturar el contexto en el que se desenvuelve el proyecto junto con las perspectivas de los profesionales encargados de la toma de decisiones, ya que la participación de los profesionales envueltos en el proyecto juega un papel fundamental para la familiarización de las condiciones locales que afectan la selección de las ET^{48 49 50}.

⁴⁴ RIABACKE, Ari; LARSSON, Aron y DANIELSON, Mats. Conceptualisation Of The Gap Between Managerial Decision-Making And The Use Of Decision Analytic Tools. *Int J Inf Technol Bus Manag*, 2014. p.30-46.

⁴⁵ ELAZOUNI, Ashraf; ALI, Amal Y ABDEL-RAZEK, Refaat. Estimating the Acceptability of New Formwork Systems Using Neural Networks. *Asce*, 2005. p.33-41.

⁴⁶ ELBELTAGI, Emad, *et al.* Selection of slab formwork system using fuzzy logic. *Constr Manag Econ*, 2011. p.659-670.

⁴⁷ HANNA, A. S. (1989). "An interactive knowledge based formwork selection system for buildings," dissertation presented to Pennsylvania State University at University Park, Pa., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosop. In: dissertati.

⁴⁸ MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.1700-1709.

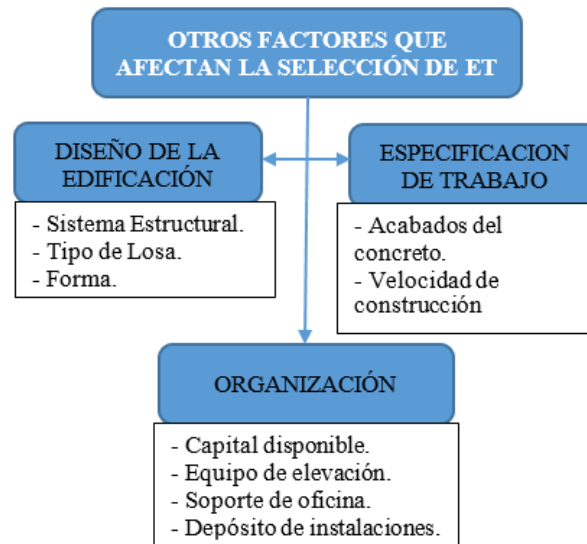
⁴⁹ HANNA, Awad; WILLENBROCK, Jack y SANVIDO, Victor. Knowledge Acquisition and Development for Formwork Selection System. *J Constr Eng Manag*, 1992. p.179-198.

⁵⁰ YAU, Nie-Jia y YANG, Jyh-Bin. Applying Case-Based Reasoning Technique to Retaining Wall Selection. *Autom Constr*, 1998. p.271-283.

3.1.1.3 Otras variables que afectan la selección de ET.

Además de “el método de selección y el contexto del proyecto”, existen otros factores que deben ser considerados, para permitir una selección exitosa de ET.

Figura 6. Otras variables que afectan la selección de ET.



Fuente: HANNA, A. S. (1989). “An interactive knowledge based formwork selection system for buildings,” dissertation presented to Pennsylvania State University at University Park, Pa., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosop. In: dissertati.

Se han clasificado 3 categorías, que envuelven características específicas de cada proyecto de construcción, relacionadas a: Diseño Arquitectónico y Estructural, Especificaciones del proyecto y soportes organizacionales, cómo se muestra en la figura 6. Algunos expertos, afirman que estos factores afectan la selección de los sistemas de ET y se pueden correlacionar fácilmente con los costos de alquiler de los mismos. Por ende, el análisis de estos factores resulta muy útil para la evaluación de los costos de las ET en el proyecto; aspecto crucial en el éxito de

selección de las ET dado que los costos de alquiler de las ET son uno de los más grandes aspectos que afectan la selección de ET en la competitiva industria de la construcción⁵¹.

3.1.2 Operación de las ET.

Las ET son elementos críticos de la planificación de la construcción en general que comprometen la seguridad de los trabajadores, del público genérico y la finalidad del proyecto⁵². Esto se evidencia en mayor proporción en las obras en concreto reforzado donde comúnmente las ET son alquiladas, convirtiéndose en un componente de costo significativo sobre el costo total del proyecto. Por lo tanto, el problema de la utilización eficiente de las ET debe ser extensamente considerada abarcando la selección adecuada de las ET, el diseño de la planificación de obra y la evaluación de calidad de la programación⁵³.

La utilización efectiva de las ET debe ser entendida como una condición donde las ET están siendo utilizadas en su máximo potencial. De este modo la subutilización de las ET puede darse en situaciones en donde las ET se encuentran disponibles en el sitio de construcción, pero permanecen sin uso o en las que las ET deben ser removidas, pero permanecen aún en uso en el sitio de construcción⁵⁴. Por medio de la investigación de la literatura y con el conocimiento experto de profesionales en la

⁵¹ HANNA, Awad; WILLENBROCK, Jack y SANVIDO, Victor. Knowledge Acquisition and Development for Formwork Selection System. *J Constr Eng Manag*, 1992. p.179-198.

⁵² MEHDIZADEH, Rasool; BREYSSE, Denys y TAILLANDIER, Franck. Civil Engineering and Environmental Systems Dynamic and multi perspective risk management in construction with a special view to temporary structures. 37-41.

⁵³ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p.366-372.

⁵⁴ KRAWCZYNSKA-PIECHNA. *Ibíd.* p.366-372.

construcción, se derivaron las siguientes variables que pueden afectar la operación de las ET como lo son: la disposición del sitio de construcción, los conflictos espacio-temporales, la reutilización de las ET y la disposición de las mismas.

3.1.2.1 Disposición del sitio de construcción.

El uso efectivo del espacio en la obra para acomodar recursos durante la ejecución de un proyecto de construcción es de suma importancia. Los conflictos espaciales que ocurren en el sitio de construcción incrementan seriamente la posibilidad de riesgos potenciales, por esta razón la disposición del sitio de construcción debe ser planificada teniendo en cuenta las Instalaciones Temporales (IT) que se presentan en el proyecto; este es el caso de materiales, equipos, áreas demarcadas (áreas de colocación, de vehículos, de tareas) y por supuesto de las ET^{55 56}.

La disposición del sitio de construcción se basa en un proceso de identificación de los requerimientos de las IT para determinar su tamaño y localización. Una apropiada planificación de la disposición del sitio de construcción impacta sobre la duración, los costos, la seguridad y la productividad de las actividades del proyecto particularmente cuando el espacio en el lugar de la construcción es restringido^{57 58}.

⁵⁵ SHANG, Zhexiong y SHEN, Zhigang. A Framework for a Site Safety Assessment Model Using Statistical 4D BIM-Based Spatial-Temporal Collision Detection. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p.2187-2196.

⁵⁶ ZOUEIN, Pp y TOMMELEIN, Id. Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method. *J Constr Eng Manag*, 1999. p.400-408.

⁵⁷ ELBELTAGI, Emad; HEGAZY, Tarek y ELDOSOUKY, Adel. Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety. *J Constr Eng Manag*, 2004. p.534-541.

⁵⁸ JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Estimating the Size of Temporary Facilities in Construction Site Layout Planning Using Simulation. *Constr Res Congr 2014*, 2014. p.140-149.

Las IT son identificadas por medio del análisis de las actividades del proyecto y los requerimientos de sus recursos tales como los requerimientos de movilización. Por lo tanto, el proceso de identificación del tamaño de las IT y su disposición es muy complejo, ya que los tipos de IT que se involucran en el proyecto dependen de las demandas del mismo y las regulaciones de seguridad y salud⁵⁹. Entonces, la principal consideración en la planificación efectiva de la disposición del sitio de construcción es la seguridad, seguida del flujo de materiales, actividades y equipos en obra de manera sencilla y manteniendo el bajo costo⁶⁰.

De este modo, la planificación de la disposición del sitio de construcción es una importante tarea que envuelve identificar las necesidades de las ET para soportar las actividades de construcción, determinando su tamaño, forma y posicionamiento adecuado dentro de los límites del sitio de construcción⁶¹ ⁶². Sin embargo, el planificador también debe entender que a medida que la construcción evoluciona, la disposición del sitio de construcción puede necesitar ser dinámicamente reorganizada en varios intervalos de la programación para adaptarse a las necesidades operacionales⁶³.

⁵⁹ JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Estimating the Size of Temporary Facilities in Construction Site Layout Planning Using Simulation. *Constr Res Congr 2014*, 2014. p.140-149.

⁶⁰ ELBELTAGI, Emad; HEGAZY, Tarek y ELDOSOUKY, Adel. Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety. *J Constr Eng Manag*, 2004. p.534-541.

⁶¹ ZOUEIN, Pp y TOMMELEIN, Id. Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method. *J Constr Eng Manag*, 1999. p.400-408.

⁶² ELBELTAGI. Op. Cit. p.534-541.

⁶³ ELBELTAGI, Emad; HEGAZY, Tarek y ELDOSOUKY, Adel. Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety. *J Constr Eng Manag*, 2004. p.534-541.

3.1.2.2 Conflictos espacio-temporales.

Los conflictos espacio-temporales dificultan significativamente el rendimiento de las actividades concurrentes, de hecho, muchas investigaciones citan a los conflictos espacio-temporales entre las mayores causas de pérdida de productividad en la construcción⁶⁴. El uso de las ET provee el soporte necesario para el acceso a las actividades de construcción, no obstante, su uso puede impedir otras tareas, ya que las ET pueden causar conflictos espacio-temporales y riesgos mientras están en el sitio de construcción⁶⁵. Esta es la razón por la que las condiciones de la construcción necesitan ser analizadas eficientemente con un sistema de planificación que pueda analizar rápidamente y ampliamente el marco espacio-temporal⁶⁶.

Las prácticas actuales de la industria escasean de un enfoque formalizado que asista al equipo de gestión a detectar, analizar y monitorear los conflictos espacio-temporales entre las actividades de construcción en una programación de obra a priori. Consecuentemente, los conflictos espacio-temporales ocurren frecuentemente y tienen impactos considerables en los procesos constructivos⁶⁷, estos conflictos espacio-temporales tienen 3 características que los diferencian de los conflictos de diseño⁶⁸:

⁶⁴ AKINCI, B.; FISCHER, M. y CARLSON, B.. Formalization and automation of time-space conflict analysis. 2002. p.124-134.

⁶⁵ KIM, Jonghoon, *et al.* Semiautomated Scaffolding Planning: Development of the Feature Lexicon for Computer Application. *J Comput Civ Eng*, 2015. p.401-409.

⁶⁶ KIM. *Ibíd.* p.401-409.

⁶⁷ AKINCI; FISCHER y CARLSON. *Op. Cit.* p.124-134.

⁶⁸ AKINCI, B.; FISCHER, M. y CARLSON, B. Formalization and automation of time-space conflict analysis. 2002. p.124-134.

- ✓ Tienen aspectos temporales, lo que quiere decir que estos ocurren únicamente en un lapso de tiempo.
- ✓ Existen en diferentes formas.
- ✓ Estos generan una serie de problemas en el sitio de construcción.

En la detección de conflictos espacio-temporales, se pueden generar conflictos espacio-temporales entre dos o más actividades que concurren en el tiempo o entre diferentes actividades y el uso de las IT. Hoy por hoy, los métodos avanzados y el desarrollo científico están siendo aplicados para resolver problemas organizacionales en el sitio de construcción para planear las obras de construcción efectivamente y de manera fiable. Pero a pesar de la disponibilidad de numerosos programas y aplicaciones para la planificación como técnicas de “Location Based Services” (LBS) y redes de programación, no se acostumbra soportar a la planificación en el análisis de la efectiva utilización de las ET, aun cuando la detección de conflictos espacio-temporales necesita identificar las discrepancias no solamente en el espacio geométrico tridimensional, sino también, las que suceden a lo largo del tiempo^{69 70}.

3.1.2.3 Reutilización de las ET

En los proyectos de construcción, las ET se utilizan para muchas actividades diferentes y a medida que los trabajos en la construcción progresan, las ET pueden ser utilizadas en múltiples ocasiones en el proyecto. Algunas ET como los andamios, pueden ser reutilizadas incluso de proyecto a proyecto. No obstante, cuando las ET se reutilizan en múltiples ocasiones, estas son expuestas a repeticiones de carga y descarga, procesos de erección y desmontaje y exposición

⁶⁹ KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p.366-372.

⁷⁰ AKINCI; FISCHER y CARLSON. Op. Cit. p.124-134.

a condiciones ambientales del sitio de trabajo, no sólo durante su uso en obra sino también durante su transporte y almacenamiento⁷¹.

De este modo, una estimación y un seguimiento preciso de la rentabilidad y del estado de las ET son de vital importancia para lograr una utilización eficiente de las mismas sumando una buena gestión de la seguridad a lo largo del proyecto. Sin embargo, la falta de investigación en el área de la reutilización de las ET es especialmente evidente, por ejemplo, “The American Society of Civil Engineers (ASCE) Design Load on Structures During Construction” establece que: “ Los diseñadores deben tener en cuenta que las ET en uso repetido están sujetas a desgaste y perder su capacidad” y que “los factores de seguridad inherentes a la resistencia del material sobre la carga de diseño, debe ser más bajos que los usados en diseños de resistencia ordinaria para compensar las pérdidas de capacidad”, pero el ASCE no provee una guía sobre la disminución que se debe realizar en dichos factores^{72 73}.

Dadas las dificultades para considerar las implementaciones reales del sitio de construcción durante el diseño de ET y el deseo de mantener un rápido y eficaz proceso constructivo, la estimación de la integridad de las ET es comúnmente realizada en campo por personal de construcción basándose en una inspección visual subjetiva. Entonces las ET que terminan su utilización en una actividad, son

⁷¹ JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Construction Research Congress 2014 ©ASCE 2014 140. *Constr Res Congr 2014*, 2014. p.140-149.

⁷² JALAEI y JRADE. *Ibíd.* p.140-149.

⁷³ SOCIETY AMERICAN, ENGINEERS CIVIL. American Society of Civil Engineers Design Loads on Structures During Construction American Society of Civil Engineers Design Loads on Structures During Construction. Management, 2003.

inspeccionadas visualmente y el personal residente, interventor u otro tipo de personal en la obra determina si estas deben ser reutilizadas⁷⁴.

El proceso subjetivo de decisión puede acarrear decisiones muy conservadoras (lo que implica poca reutilización de las ET) y entonces limitar la eficiencia e incrementar los costos de las ET. Por otro lado, si la capacidad de las estructuras temporales es subestimada, estas podrían fallar en el proceso de carga ocasionando lesiones e incluso fatalidades en los trabajadores, por lo que la habilidad para estimar la capacidad de las ET para su reutilización es un componente crítico para la utilización segura e eficiente de las mismas⁷⁵.

Finalmente, es claro que existe un escaso conocimiento cuantitativo y metodológico relacionado con los impactos de la reutilización de las ET, especialmente en lo que concierne a la confiabilidad de las ET, la eficiencia de sus materiales y los riesgos que afectan a los trabajadores en su utilización⁷⁶.

3.1.3 Estimación de riesgos en la planificación de las ET.

Las ET durante la construcción son generalmente subestimadas y la mayoría de las veces son una idea de último momento hasta que llega el tiempo real de la construcción. Como una consecuencia, la mayoría de las fallas trágicas ocurren durante la construcción, las que son usualmente causadas por diseños

⁷⁴ JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Construction Research Congress 2014 ©ASCE 2014 140. Constr Res Congr 2014, 2014. p.140-149.

⁷⁵ JALAEI y JRADE. *Ibíd.* p.140-149.

⁷⁶ JALAEI y JRADE. *Ibíd.* p.140-149.

inapropiados, construcción o mantenimiento de las ET⁷⁷. Otra razón por la que estos accidentes ocurren, se debe a que las ET son ignoradas en el proceso de gestión de riesgos del proyecto⁷⁸.

Para minimizar los impactos negativos de los accidentes y fallas de las ET, el proceso de gestión de riesgos del proyecto tiene que cubrir eficientemente las probabilidades de riesgo de las ET, aún si estas no son consideradas como parte permanente de la construcción⁷⁹.

En la mayoría de los casos, el diseño y uso de las ET tienen una gran significancia sobre los costos del proyecto. La gestión de los riesgos entendida como un proceso dinámico que sigue la vida del proyecto, comprendida por las siguientes etapas: identificación de riesgo, análisis y estimación de riesgos, definición de respuestas y mitigación de los eventos que pueden resultar en riesgos para la construcción, puede llegar a facilitar la evaluación de los diseños de las ET que requiera el proyecto durante la construcción, generando un impacto positivo en los costos del proyecto^{80 81}.

⁷⁷ MEHDIZADEH, Rasool; BREYSSE, Denys y TAILLANDIER, Franck. Civil Engineering and Environmental Systems Dynamic and multi perspective risk management in construction with a special view to temporary structures. p. 37-41.

⁷⁸ MEHDIZADEH; BREYSSE y TAILLANDIER. *Ibíd.* p. 37-41.

⁷⁹ MEHDIZADEH; BREYSSE y TAILLANDIER. *Ibíd.* p. 37-41.

⁸⁰ HADIPRIONO, Fabian C.; ASCE, M. y WANG, Hana-kwang. ANALYSIS OF CAUSES OF FALSEWORK FAILURES. 1986. p.112-121.

⁸¹ HADIPRIONO, Fabian C y ASCE, M.. Analysis of Events in Recent Structural Failures. *J Struct Eng*, 1985. p.1468-1481.

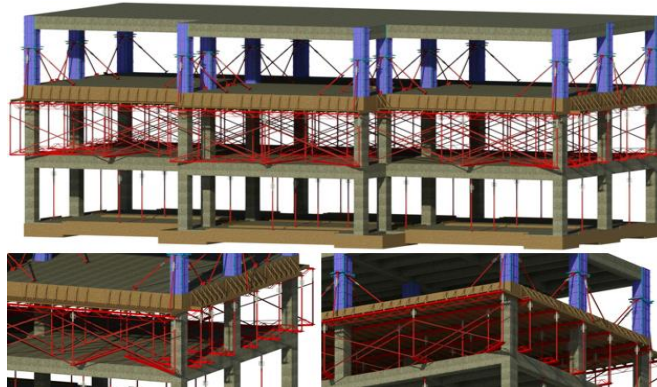
3.2 PLANIFICACIÓN DEL USO DE ET EN UN CASO DE ESTUDIO

En esta parte del artículo se observan los resultados de los modelos BIM 5D y de la dinámica de sistemas de la ET donde se observa el uso y costo de los mismos durante la construcción de ambos sistemas estructurales.

3.2.1 Elaboración de los modelos BIM 5D de los sistemas estructurales con sus respectivas ET.

A continuación, en la figura 7 se presenta el modelo BIM 3D de las ET usadas para la construcción del pórtico obtenido de Revit y en la figura 8 el modelo BIM 3D de las ET usadas para la construcción del sistema de muros de carga.

Figura 7. BIM 3D de las ET usadas en la construcción del pórtico.



En estas figuras se observan las imágenes renderizadas de las estructuras en una vista general donde se observan todos los elementos estructurales comunes en la construcción de estructuras en concreto reforzado junto con las ET necesarias para la construcción de cada uno de los elementos de la estructura, también se observan secciones del modelos BIM 3D donde se muestra el detalle y ubicación de las ET necesarias para la construcción de estos sistemas estructurales.

Figura 8. BIM 3D de las ET usadas en la construcción del sistema de muros.

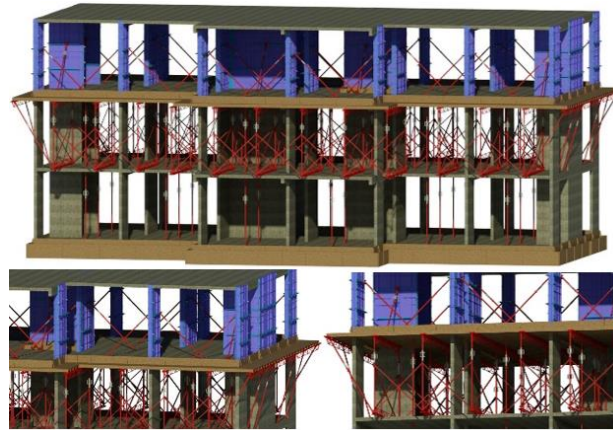


Tabla 6. Unidades de ET necesarias para la construcción del sistema pórtico.

Unidades de ET	
Casetón	58
Cerchas	85
Crucetas	85
Estibas	176
Formaleta	56
Parales	134
Tabla burra	120

De estos modelos BIM 3D se obtuvieron las siguientes cantidades totales de ET en los dos procesos constructivos como se muestra en las tablas 6 y 7.

Tabla 7. Unidades de ET necesarias para la construcción del sistema muros de carga.

Unidades de ET	
Cerchas	75
Crucetas	78
Estibas	166
Formaleta	194
Parales	124
Tabla burra	163

Después de exportar estos modelos BIM 3D desde Revit a Naviswork y junto con el plan de obra del proceso constructivo de cada sistema estructural, se obtuvo la simulación de cada proceso constructivo. En la figura 9 se presenta una comparación de ambos procesos constructivos.

3.2.2 Elaboración del modelo en dinámica de sistemas del costo de ET en el caso de estudio.

Siguiendo la metodología propuesta, se modeló el flujo (instalación y desinstalación) de la ET en el software Evolución, de cada proceso constructivo como se muestra en las figuras 10 y 11. En las figuras 12 y 13 se observa el resultado de simular el proceso de instalación y desinstalación de los diferentes elementos de la ET en los dos procesos constructivo.

Figura 9. Simulación del proceso constructivo, a la izquierda sistema muros y a la derecha sistema pórtico.

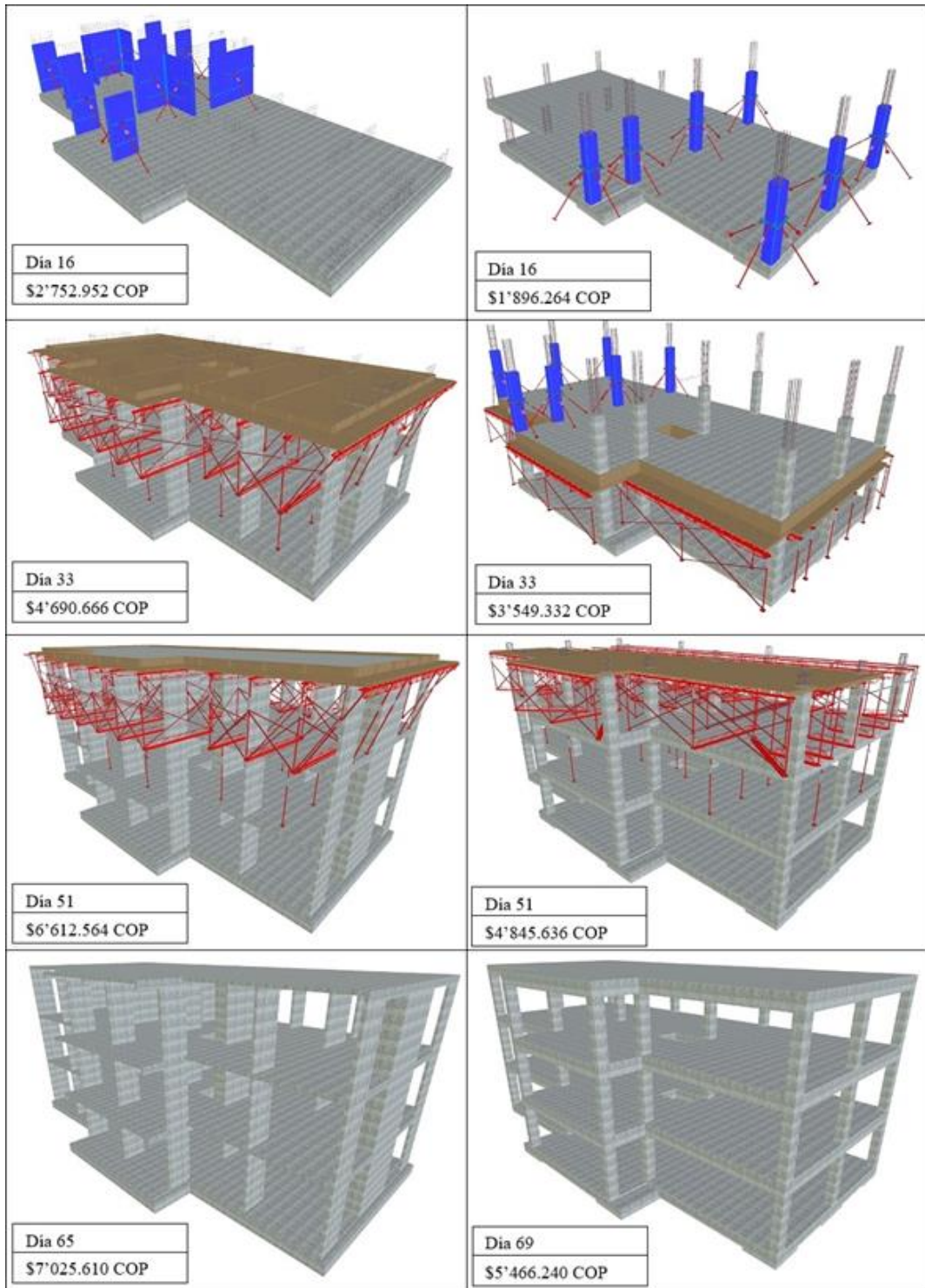


Figura 10. Modelo de la dinámica de sistemas del flujo de la ET en el sistema de pósito.

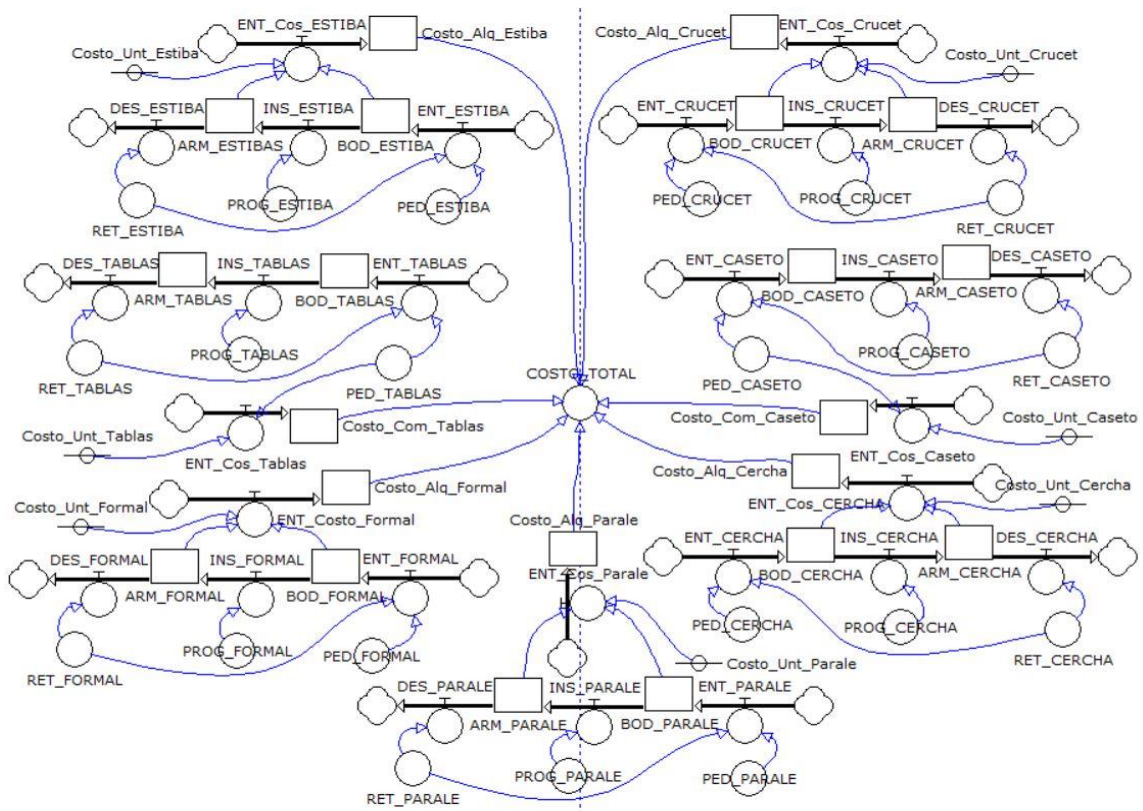


Figura 11. Modelo de la dinámica de sistemas del flujo de la ET en el sistema de muro.

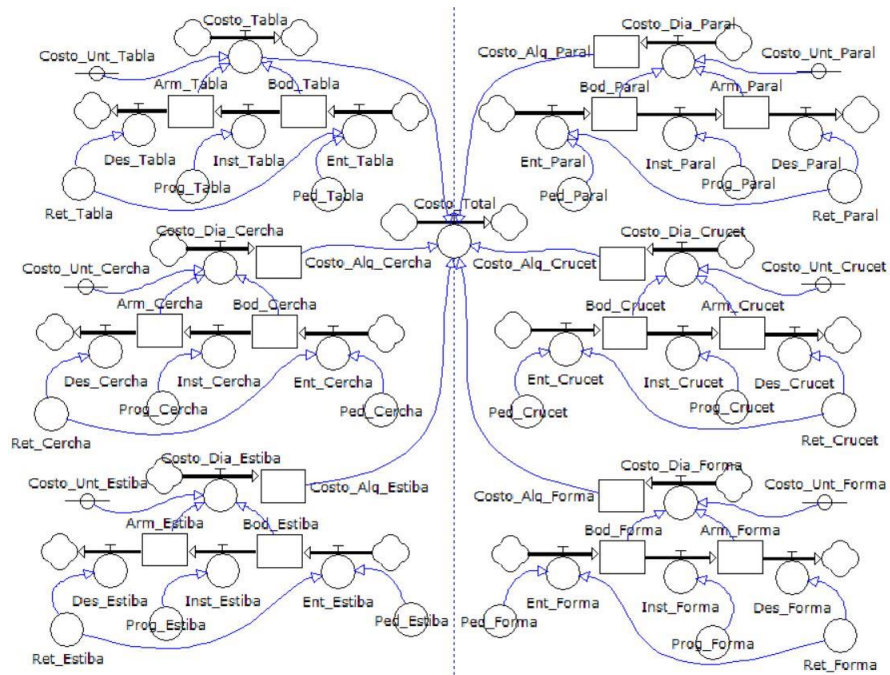


Figura 12. Simulación del armado en obra de la ET en el sistema de muros.

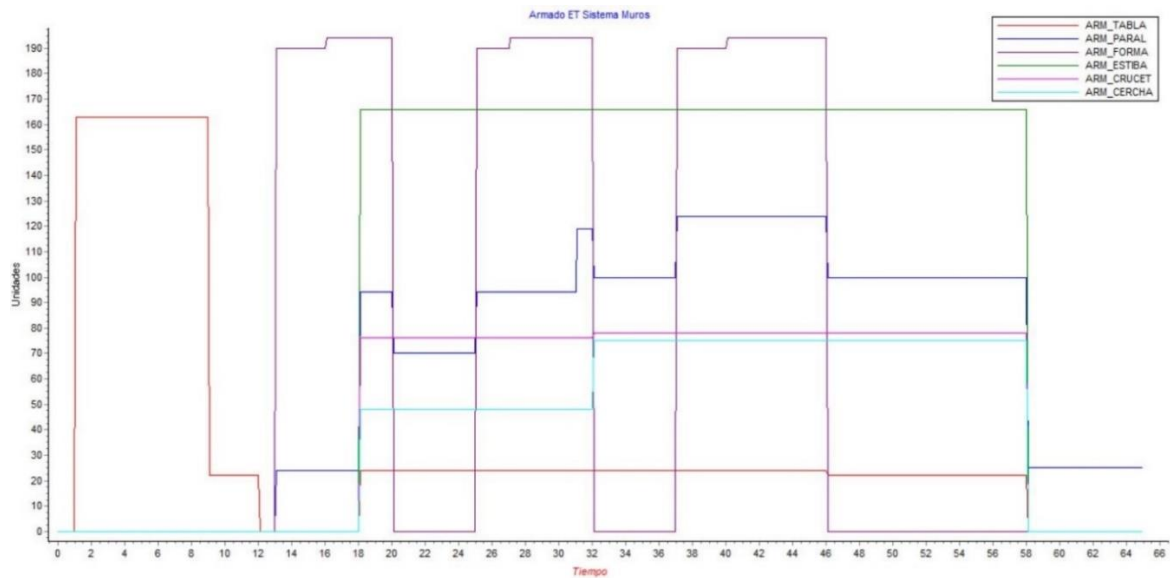
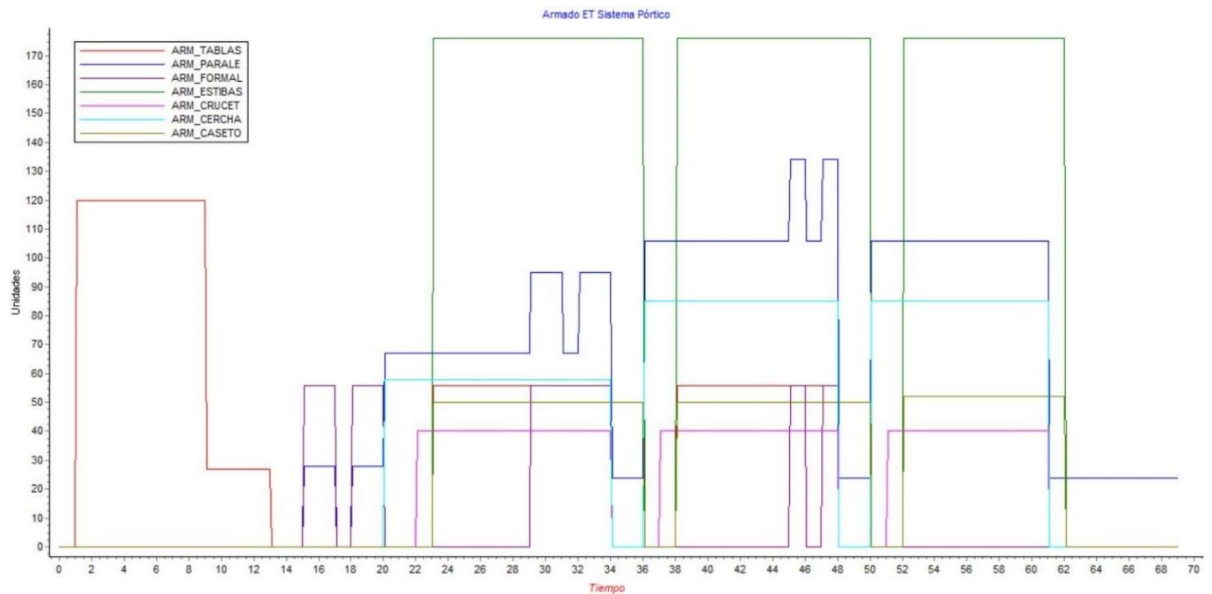


Figura 13. Simulación del armado en obra de la ET en el sistema de pórtico.



3.3 COMPARACIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO DE ET PARA LOS SISTEMAS DE PÓRTICO Y MUROS, EN EL CASO DE ESTUDIO

Para la comparación del costo del equipo de ET empleado en los dos procesos constructivos del caso de estudio, se simuló el costo generado de la ET en el tiempo en la dinámica de sistema, esta simulación se muestra en las figuras 14 y 15.

Figura 14. Simulación del costo de la ET usada en el sistema de muros.

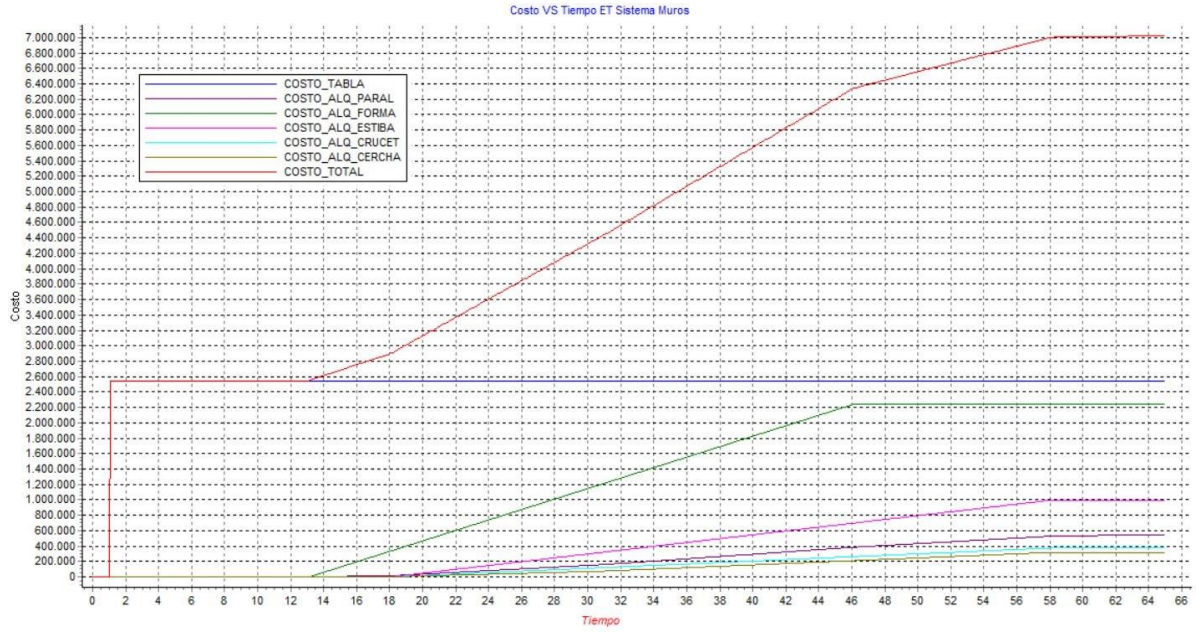
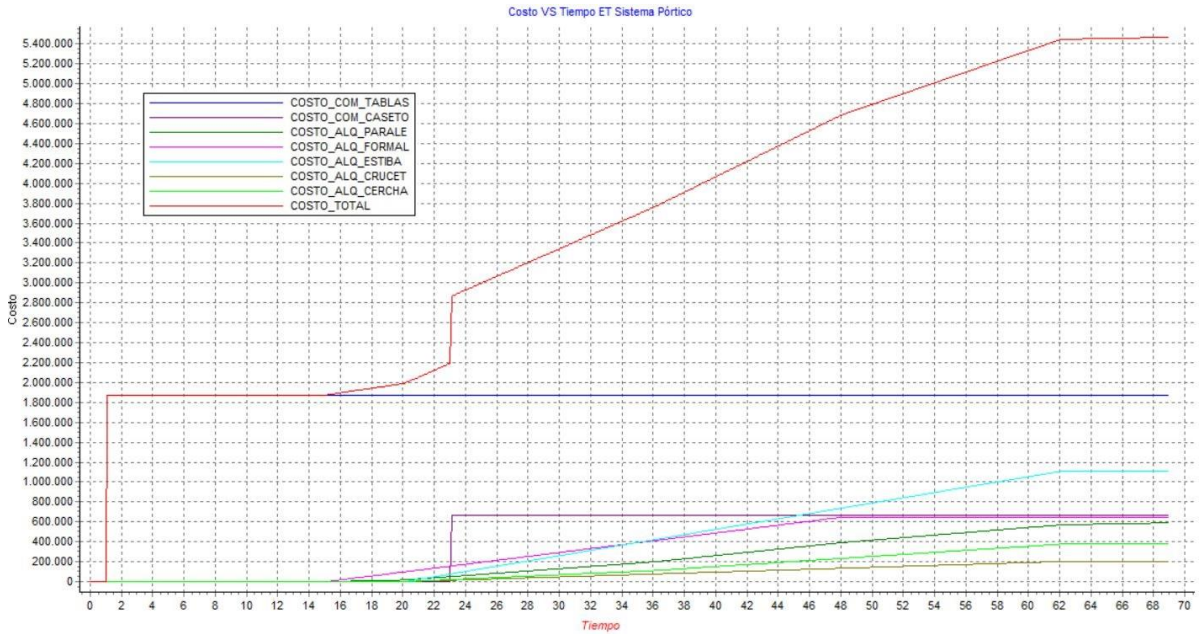


Figura 15. Simulación del costo de la ET usada en el sistema de pórtico.



4. DISCUSIÓN

4.1 ACTIVIDADES Y VARIABLES QUE AFECTAN LOS COSTOS DE LAS ET Y LA PLANIFICACIÓN DE LAS ET.

La planificación de las ET comprende actividades que se realizan con anterioridad al inicio del proceso constructivo; en este proceso se analizan aspectos relacionados a las ET como: geometría, tipo, diseño, instalación, uso, desinstalación, seguridad, productividad, costo, entre otros⁸², así que la planificación de las ET es una etapa crítica de la construcción en general, que afecta en gran medida los costos y la finalidad del objetivo del proyecto⁸³.

La planificación tradicional de las ET es manual y se limita por la experiencia de los profesionales encargados de dicha tarea ya que la toma de decisiones es intuitiva y subjetiva dada la falencia de una metodología asistida por nuevas herramientas que faciliten este proceso⁸⁴.

Aun así, las ET son raramente dibujadas en planos o especificaciones técnicas y planificadas con anterioridad al inicio de la obra, delegando esta responsabilidad al personal de construcción, abriendo espacios a la improvisación para cumplir con

⁸² DÍAZ, Hernán Porras, *et al.* Temporary structure planning assisted by computer : a systematic review Planificación de estructuras temporales asistida por computador : una revisión sistemática.

⁸³ MEHDIZADEH, Rasool; BREYSSE, Denys y TAILLANDIER, Franck. Civil Engineering and Environmental Systems Dynamic and multi perspective risk management in construction with a special view to temporary structures. p. 37-41.

⁸⁴ KIM, Kyungki y CHO, Yong. BIM-Based Planning of Temporary Structures for Construction Safety. *J Comput Civ Eng*, 2015. p.436-444.

los requerimientos de los procesos constructivos^{85 86}.

El previo análisis de las actividades y variables que afectan los costos de las ET puede constituir el éxito de la planificación de las ET y a su vez contribuir en la reducción de los costos de las ET en un proyecto de construcción porque otorgan al planificador una base sólida en la cual sustentar la toma de decisiones en el transcurso del proyecto.

4.2 METODOLOGÍA BIM 5D Y LOS COSTOS DE LAS ET

La planificación tradicional de las ET se realiza con base en la experiencia de los profesionales y herramientas tales como hojas de cálculo y dibujos a mano alzada, dificultando la toma de decisiones y haciendo que el proceso de planificación requiera una gran cantidad de esfuerzos manuales, volviéndolo tedioso⁸⁷.

La asistencia de la planificación de las ET por medio de una simulación BIM 5D, permite la visualización de los diferentes requerimientos y características de los tipos de ET en el espacio, el tiempo y los costos que se involucran en el proyecto, facilitando el proceso de planificación y diseño de las ET ya que es posible realizar inspecciones de las réplicas virtuales del proceso constructivo, resultando en mejoras en la toma de decisiones y la anticipación de situaciones claves para la

⁸⁵ KIM, Kyungki y TEIZER, Jochen. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Adv Eng Informatics*, 2014. p.66-80.

⁸⁶ RATAY, R. Handbook of Temporary Structures in Construction: Engineering Standards, Designs, Practices and Procedures. 1996.

⁸⁷ KIM, Kyungki y CHO, Yong. BIM-Based Planning of Temporary Structures for Construction Safety. *J Comput Civ Eng*, 2015. p.436-444.

sucesión del proyecto ^{88 89}.

La implementación de la tecnología BIM en la planificación de las ET también facilita la incursión del análisis de las variables y actividades que afectan el costo de las ET en la planificación de las ET en un proyecto de construcción, lo que lleva a una planificación encaminada a la optimización de los costos de las ET y por ende de su rendimiento y utilización.

4.3 FLUJO DE LAS ET

En muchos casos, las estructuras temporales se consideran estructuras estáticas que no necesitan monitoreo, sin embargo, las ET representan un flujo de entrada y salida a lo largo del proceso de construcción⁹⁰. Por medio del uso de BIM y dinámica de sistemas, es posible llevar un monitoreo del flujo de las ET a lo largo del proyecto, entonces es posible obtener información sobre los costos de subutilización de las ET, los periodos de almacenamiento de las ET y los periodos de uso de las ET, además de permitir la comparación de los costos de las diferentes clases de ET en un proyecto de construcción e incluso se hace posible realizar la comparación para diferentes proyectos, como se da en el caso de estudio de esta investigación.

⁸⁸ DÍAZ, Hernán Porras, *et al.* Temporary structure planning assisted by computer : a systematic review Planificación de estructuras temporales asistida por computador : una revisión sistemática.

⁸⁹ KIM, Kyungki y CHO, Yong. BIM-Based Planning of Temporary Structures for Construction Safety. *J Comput Civ Eng*, 2015. p.436-444.

⁹⁰ CIVIL COMPUTING IN. Computing in civil and building engineering ©ASCE 2014 1707. 2014. p. 1707-1714.

5. CONCLUSIÓN

La presente investigación, describe las actividades y variables que afectan los costos de las ET, poniendo en evidencia que las ET representan un componente de costo significativo sobre el costo total del proyecto, debido a su larga influencia sobre la calidad, seguridad y rentabilidad de los proyectos de construcción, por ende, un correcto análisis de las actividades y variables planteadas, puede dar lugar a: reducción en los costos laborales, reducción en la cantidad de materiales, mejoras en la seguridad y calidad de los procesos con concreto, además del logro de ciclos de trabajo mucho más eficientes en los proyectos de construcción.

La identificación de las actividades y variables más importantes que afectan el costo de las ET, estuvo regida principalmente por el estudio de las metodologías para la planificación de las ET, el uso de herramientas computacionales que asisten al planificador para reducir la incertidumbre generada por las decisiones intuitivas y subjetivas de los profesionales y la importancia de la utilización efectiva de las ET dado el alto nivel de significancia que tienen en el costo de un proyecto de construcción y su estrecha relación con temas tales como la selección adecuada de las ET, el diseño de la planificación en obra y la evaluación de calidad de la programación.

Por medio de la aplicación de la tecnología BIM, mediante el uso de la exacta visualización 4D del proyecto dentro de los modelos BIM, se permitió realizar la planificación de las ET para cada uno de los sistemas estructurales involucrados en el caso de estudio, lo que llevo a un análisis práctico y eficaz de la disposición de espacios, la toma de decisiones en cada etapa, la duración de ciclos de trabajo por nivel, la interrelación espacio-temporal que existe entre las actividades que componen los procesos constructivos clarificando la conexión que existe entre el estudio de las variables que afectan los costos de las ET y la planificación de las

mismas, logrando de este modo una optimización de costos y duraciones alusivos a las ET dentro del caso de estudio.

El estudio propone el análisis BIM 5D, por medio del software Evolución® permitiendo acoplar los modelos 4D con el análisis de los costos de las ET, bajo los parámetros de la dinámica de sistemas; lo que resulta en la obtención de una categorización de los diferentes tipos de ET según su costo y según el flujo de las ET en el desarrollo del proyecto permitiendo a su vez un cuestionamiento de la utilización eficiente de cada una de las categorías y por supuesto del costo global de alquiler de las ET en el caso de estudio.

Con base en la información obtenida a través de la investigación, es posible obtener una comparación en los costos de alquiler de las ET en la construcción de pórticos resistentes a momentos y muros de carga en el caso de estudio; deduciendo el costo de las estructuras temporales para el sistema de pórtico resistente a momento en \$5'466.240 y para el sistema de muros de carga en \$7'025.610, resultando el sistema de pórtico resistente a momentos más económico en \$1'559.370 con respecto al sistema de muros de carga; además el costo de las estructuras temporales para el caso de estudio, en el sistema de pórtico resistente a momentos y el sistema de muros de carga, sobre el costo total de materiales estructurales representa el 7,60% y el 9,01% respectivamente.

La metodología expuesta en la investigación permite realizar un seguimiento detallado de la planificación de las ET en un proyecto de construcción, con una base sólida para la toma de decisiones a lo largo de la materialización del mismo lo que influencia en gran medida a los costos y la utilización de las ET dando lugar a escenarios donde el planificador pueda anticipar situaciones para llegar a una solución óptima; además, el planificador puede indagar en aspectos que afectan el costo de las ET pero que no son del todo evidentes, como por ejemplo: el sistema constructivo que se utilice, el tipo de sistema estructural, la seguridad, la calidad de

los acabados y la relación que se da entre las diferentes actividades que componen la construcción en las que se involucran las ET. Por último, la aplicación de la investigación puede ser viable para la implementación de diferentes sistemas de ET incluso poniendo a prueba las nuevas tecnologías y su uso podría extenderse a edificaciones de gran altura que presenten variaciones en su sistema estructural.

BIBLIOGRAFÍA

AKINCI, B.; FISCHER, M. y CARLSON, B. Formalization and automation of time-space conflict analysis. 2002. p. 124-134.

AN, sh, et al. Application of Support Vector Machines in assessing conceptual cost estimates. J Comput Civ Eng, 2007. p. 259–264.

ANGELO, Jhon y ANGELO, Frances. John & Frances Angelos Law Center Schuster Concrete, (accessed 11.14.12). [Online]. Available: <http://www.tekla.com/us/Documents/BIM-awards-2011/concreteproject7.html>.

CIVIL COMPUTING IN. Computing in civil and building engineering ©ASCE 2014 1707. 2014. p. 1707-1714.

DÍAZ, Hernán Porras, et al. Temporary structure planning assisted by computer : a systematic review Planificación de estructuras temporales asistida por computador : una revisión sistemática, 2017. p. 1-14.

ELAZOUNI, Ashraf; ALI, Amal Y ABDEL-RAZEK, Refaat. Estimating the Acceptability of New Formwork Systems Using Neural Networks. ASCE, 2005. p. 33-41.

ELBELTAGI, Emad, et al. Selection of slab formwork system using fuzzy logic. Constr Manag Econ, 2011. p. 659-670.

ELBELTAGI, Emad; HEGAZY, Tarek y ELDOSOUKY, Adel. Dynamic Layout of Construction Temporary Facilities Considering Safety. J Constr Eng Manag, 2004. p. 534-541.

HADIPRIONO, Fabian C y ASCE, M. Analysis of Events in Recent Structural Failures. J Struct Eng, 1985. p. 1468-1481.

HADIPRIONO, Fabian C.; ASCE, M. y WANG, Hana-kwang. ANALYSIS OF CAUSES OF FALSEWORK FAILURES. 1986. p. 112-121.

HANNA, A. S. "An interactive knowledge based formwork selection system for buildings". dissertation presented to Pennsylvania State University at University Park, Pa., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosop. In: dissertati, 1989.

HANNA, Awad; WILLENBROCK, Jack y SANVIDO, Victor. Knowledge Acquisition and Development for Formwork Selection System. J Constr Eng Manag, 1992. p. 179-198.

JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Construction Research Congress 2014 ©ASCE 2014 140. Constr Res Congr 2014, 2014. p. 140-149.

JALAEI, Farzad y JRADE, Ahmad. Estimating the Size of Temporary Facilities in Construction Site Layout Planning Using Simulation. Constr Res Congr 2014, 2014. p. 140-149.

KAMARTHI, Sagar; SANVIDO, Victor y KUMARA, Soundar. Neuroform—neural network system for vertical formwork selection. 1992. p. 178-199.

KIM, Hyunjoo y AHN, Hongseob. Temporary facility planning of a construction project using BIM (Building Information Modeling). Congr Comput Civ Eng Proc, 2011. p. 627-634.

KIM, Jonghoon y FISCHER, Martin. Formalization of the features of activities and classification of temporary structures to support an automated temporary structure planning. *J Comput Civ Eng*, 2007. p. 338-346.

KIM, Jonghoon, et al. Semiautomated Scaffolding Planning: Development of the Feature Lexicon for Computer Application. *J Comput Civ Eng*, 2015. p. 401-409.

KIM, Kyungki y CHO, Yong. BIM-Based Planning of Temporary Structures for Construction Safety. *J Comput Civ Eng*, 2015. p. 436-444.

KIM, Kyungki y TEIZER, Jochen. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Adv Eng Informatics*, 2014. p. 66-80.

KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Application of TOPSIS Method in Formwork Selection Problem. *Appl Mech Mater*, 2015. p. 101-107.

KRAWCZYNSKA-PIECHNA, Anna. Comprehensive Approach to Efficient Planning of Formwork Utilization on the Construction Site. *Procedia Eng*, 2017. p. 366-372.

MA, Guofeng; GU, Lingyun y LI, Nan. Scenario Based Proactive Robust Optimization for Critical Chain Project Scheduling. *J Constr Eng Manag*, 2015. p. 1-12.

MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris y ALVEAR, Ariana. Formwork System Selection Using Choosing by Advantages. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p. 1700-1709.

MEHDIZADEH, Rasool; BREYSSE, Denys y TAILLANDIER, Franck. Civil Engineering and Environmental Systems Dynamic and multi perspective risk

management in construction with a special view to temporary structures, 1997. p. 37-41.

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, 2010, tit. A. p. 41-46.

PROVERBS, David; HOLT, Gd y OLOMOLAIYE, Po. Factors impacting construction project duration: a comparison between France, Germany and the U.K. Build Environ, 1998. p. 197-204.

RATAY, R. Handbook of Temporary Structures in Construction: Engineering Standards, Designs, Practices and Procedures, 1996.

RATAY, R. Temporary structures in construction operations, in: Proceedings of a Session Sponsored by the Construction Division of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE Convention in Atlantic, City. 1987. p. 1-8.

RAVI-KUMAR, P y RAVI, V. Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques - A review. Eur J Oper Res, 2007. p.1-28.

RIABACKE, Ari; LARSSON, Aron y DANIELSON, Mats. Conceptualization of the Gap between Managerial Decision-Making and the Use of Decision Analytic Tools. Int J Inf Technol Bus Manag, 2014. p. 30-46.

ROE, Byron, et al. Boosted decision trees as an alternative to artificial neural networks for particle identification. Nucl Instruments Methods Phys Res Sect A Accel Spectrometers, Detect Assoc Equip, 2005. p. 577-584.

SCHUSTER CONSTRUCTION LLC. "Schuster Construction", (accessed 11.14.12). [Online]. Available:

http://www.schusterconstruction.com/projects/angelos_law_center.html.

SHANG, Zhexiong y SHEN, Zhigang. A Framework for a Site Safety Assessment Model Using Statistical 4D BIM-Based Spatial-Temporal Collision Detection. *Constr Res Congr 2016*, 2016. p. 2187-2196.

SHIN, Yoonseok, et al. A formwork method selection model based on boosted decision trees in tall building construction. *Autom Constr*, 2012. p. 47-54.

SHIN, Yoon-Seok. Formwork System Selection Model for Tall Building Construction Using the Adaboost Algorithm. *J Korea Inst Build Constr*, 2011. p. 523-529.

SOCIETY AMERICAN, ENGINEERS CIVIL. American Society of Civil Engineers Design Loads on Structures During Construction American Society of Civil Engineers Design Loads on Structures During Construction. Management, 2003.

TAM, cm, et al. Selection of vertical formwork system by probabilistic neural networks models. *Constr Manag Econ*, 2005. p. 245-254.

XIAO, Xue; SKITMORE, Martin y HU, Xin. Case-based Reasoning and Text Mining for Green Building Decision Making. *Energy Procedia*, 2017. p. 417-425.

YAU, Nie-Jia y YANG, Jyh-Bin. Applying Case-Based Reasoning Technique to Retaining Wall Selection. *Autom Constr*, 1998. p. 271-283.

ZOUEIN, Pp y TOMMELEIN, Id. Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method. *J Constr Eng Manag*, 1999. p. 400-408.