

BIM como herramienta para mitigar errores y omisiones de diseño en proyectos de construcción

Juan Diego Cortés Echavez
Wendy Juliana Cruz Esparza

Proyecto de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director
Guillermo Mejía Aguilar
PhD. en Ingeniería de la Construcción

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de ingeniería civil
Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A las dos mujeres de mi vida, mis dos mamás *Gladys María* y *Lilia Rosa*, por ser el motor que me motiva a seguir cada día y todo el cariño mostrado durante estos años.

Juan Diego Cortés Echavez

A mi hermano y mi madre, *Matías* y *Stella*, por siempre estar a mi lado apoyando y brindando su amor, tenerlos hace todo posible.

Wendy Juliana Cruz Esparza

Agradecimientos

A mi compañera, Wendy Juliana Cruz Esparza por su amistad, su paciencia y comprensión durante estos últimos meses de trabajo.

A mi familia, por todo el apoyo brindado a pesar de las adversidades.

Al profesor Guillermo Mejía Aguilar, por su confianza y gestión en este proyecto.

A Angie, por siempre brindarme palabras de apoyo cuando fueron necesarias.

A mis amigos, que estuvieron a mi lado en todo este proceso.

Juan Diego Cortés Echavez

Al *flaco*, amor de mis días, por su paciencia y motivación en cada momento.

A mi compañero, *Juan Diego Cortés Echavez* por su amistad y todo el esfuerzo para lograr este objetivo.

A nuestro director, el profesor *Guillermo Mejía*, por su confianza y disposición en cada paso.

A mi familia, por confiar en mí, en especial a *Golldyn* y *Yayu*.

A mi amigo de siempre, por animarme en cada etapa de la vida.

Wendy Juliana Cruz Esparza

Contenido

Introducción	14
1. Marco teórico	15
1.1. Errores y Omisiones en Proyectos de Construcción	15
1.2. Tecnologías Emergentes: BIM	16
1.3. Buenas Prácticas	16
2. Metodología	17
2.1. Selección de artículos publicados	17
2.2. Clasificación de la información	19
3. Resultados y discusión	20
3.1. Errores y omisiones de diseño como sobrecosto	20
3.1.1. Periodo I: Antes del 2005	21
3.1.2. Periodo II: Desde el año 2006 hasta el año 2010	22
3.1.3. Periodo III: Desde el año 2011 hasta el año 2015	23
3.1.4. Periodo IV: Año 2016 en adelante	24
3.2. Funcionalidades BIM	28
3.2.1. Periodo II: Desde el año 2006 hasta el año 2010	28
3.2.2. Periodo III: Desde el año 2011 hasta el año 2015	28

3.2.3. Periodo IV: Año 2016 en adelante	29
3.2.4. Definición de las funcionalidades	30
3.3. Resumen de las buenas prácticas encontradas	31
3.3.1. Incorporación de profesionales con conocimiento BIM	32
3.3.2. Estandarización de BIM	32
3.3.3. Profesionales BIM	32
3.3.4. Capacitaciones del personal en BIM	34
3.3.5. Plan estratégico de trabajo.....	35
3.3.6. Mecanismo de evaluación	35
3.3.7. Trabajo colaborativo.....	35
4. Conclusiones	36
Referencias bibliográficas.....	37

Lista de figuras

Figura 1	Proceso de búsqueda y recopilación de la información.....	20
-----------------	---	----

Lista de tablas

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda.....	18
Tabla 2. Clasificación de la información en periodos de cinco años	19
Tabla 3. Factores de sobrecosto encontrados en el periodo I de la revisión bibliográfica	21
Tabla 4. Factores de sobrecosto encontrados en el periodo II de la revisión bibliográfica	23
Tabla 5. Factores de sobrecosto encontrados en el periodo III de la revisión bibliográfica ...	25
Tabla 6. Factores de sobrecosto encontrados en el periodo IV de la revisión bibliográfica ...	26
Tabla 7. Literatura relacionada con las funcionalidades o herramientas BIM.....	33

Lista de apéndices

(Ver adjuntos apéndices adjuntos en Cd y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Apéndice A. Recopilación bibliográfica de la temática, errores y omisiones como sobrecostos

Apéndice B. Recopilación bibliográfica de la temática, Building Information Modelling BIM

Resumen

Título: BIM como herramienta para mitigar errores y omisiones de diseño en proyectos de construcción*

Autores: Juan Diego Cortés Echavez
Wendy Juliana Cruz Esparza**

Palabras Clave: Building Information Modelling, Buenas Prácticas BIM, Errores y Omisiones, Proyecto de Construcción, Sobrecostos.

Uno de los grandes problemas en la industria de la construcción son los sobrecostos, los cuales se pueden generar desde las etapas tempranas de proyecto como la de diseño. Dentro de los factores que generan sobrecostos que pertenecen a la etapa de diseño están los errores y omisiones de diseño que deben ser mitigados o evitados, para disminuir su impacto en las etapas posteriores del proyecto. El objetivo de esta investigación es identificar y describir las funcionalidades de la tecnología BIM que mitiguen errores y omisiones en el diseño que generen eventos de sobrecostos. Se realizó una revisión bibliográfica para identificar la influencia de los errores y omisiones de diseño en eventos de sobrecosto, las funcionalidades de la tecnología BIM y las mejores prácticas en el uso de BIM. Se logró identificar que los errores y omisiones afectan directa e indirectamente los sobrecostos de los proyectos y para evitar este impacto se cuenta con herramientas BIM de visualización, simulación y gestión de conocimientos que mejoran la productividad de los proyectos; también se logró identificar las mejores prácticas BIM se basan en la gestión del conocimiento, planes estratégicos de proyecto y marcos de evaluación BIM para formalizar los procesos de gestión.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director:

Abstract

Title: BIM as a tool to mitigate design errors and omissions in construction projects *

Authors: Juan Diego Cortés Echavez

Wendy Juliana Cruz Esparza **

Keywords: Building Information Modelling, BIM Best Practices, Errors and Omissions, Construction Project, Cost Overruns.

One of the big problems in the construction industry is cost overruns, which can be generated from the early stages of the project such as design. Among the factors that generate cost overruns that belong to the design stage are design errors and omissions that must be mitigated or avoided, to reduce their impact in the later stages of the project. The objective of this research is to identify and describe the functionalities of BIM technology that mitigate errors and omissions in the design that generate cost overrun events. A literature review was carried out to identify the influence of design errors and omissions in cost overrun events, the functionalities of BIM technology and best practices in the use of BIM. It was possible to identify that errors and omissions directly and indirectly affect project cost overruns and to avoid this impact there are BIM tools for visualization, simulation and knowledge management that improve project productivity; It was also possible to identify BIM best practices based on knowledge management, strategic project plans and BIM evaluation frameworks to formalize management processes.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director:

Introducción

Los proyectos de construcción presentan frecuentemente dos fenómenos de gran preocupación, los retrasos y los sobrecostos, afectando directamente el rendimiento (Shehu, Endut, Akintoye, & Holt, 2014), estos problemas se evidencian en las distintas fases de un proyecto constructivo (Planificación, diseño, ejecución y mantenimiento) como se ha demostrado en estudios a través de los años (Bhargava, Anastasopoulos, Labi, Sinha, & Mannering, 2010; Creedy, Skitmore, & Wong, 2010; Ma, Gu, & Li, 2014), es tan usual que se ha vuelto normal encontrar diferencias entre el costo original de planificación y el costo final de los mismos, por ello es una anomalía que se presenta comúnmente (Avots, 1983). En pocos casos esta diferencia es beneficiosa para las finanzas del proyecto, es decir, que el costo real sea menor al costo presupuestado (Avots, 1983); dando como resultado en la mayoría de las obras de ingeniería un valor al terminar mayor al monto planeado (Apolot, Tindiwensi, & Alinaitwe, 2013).

Un aspecto indispensable en la ejecución de un proyecto de obras civiles es el seguimiento de los requerimientos establecidos en la normativa vigente y el control que se ejerza del proyecto. Una de las fases de mayor importancia es la etapa de diseño, ya que en esta se establecen las pautas para el desarrollo de la obra: estudios técnicos, selección de materiales, elaboración de planos, entre otros; teniendo en cuenta que un error en esta etapa repercute de forma directa en el proceso constructivo, afectando por ende el presupuesto inicial de los proyectos (Shrestha & Mani, 2013).

La investigación se centró en identificar la influencia de los errores y omisiones de diseño de los proyectos en los sobrecostos por medio de Building Information Modelling (BIM). Esta tecnología va más allá que los métodos 3D usados porque no se limita exclusivamente a la

visualización, abarca todo el proceso, donde permite producir, comunicar y analizar los modelos simultáneamente (Chong, Lopez, Wang, Wang, & Zhao, 2016), teniendo control de diversas situaciones tales como: lugar, especificaciones, costos y tiempo.

En la presente investigación se desea abordar la hipótesis: La tecnología BIM contribuye en la mitigación de eventos de sobrecostos en proyectos de construcción, mediante la detección y ajuste de errores en el diseño, durante etapas tempranas del proyecto, para lo cual se planea realizar una base de datos que relacione los errores de diseño y las funcionalidades o herramientas que los solucionen, adicionalmente un listado de las mejores prácticas BIM que potencian el uso de la tecnología.

1. Marco teórico

1.1. Errores y Omisiones en Proyectos de Construcción

Debido a la aplicación de nuevas tecnologías, el grado de preparación de los profesionales y la experiencia adquirida en el área, se espera que en los proyectos de ingeniería civil se reduzcan costos y aumente el índice de calidad, lo cual se traduce en satisfacción de los clientes de dichos proyectos, esto se ha vuelto un reto para los profesionales debido a los errores y omisiones que conlleva todo el proceso constructivo (Guckert & King, 2002). Una noción general de los términos error y omisión en la ingeniería se podría dar como una desviación de algún tipo, esto se debe normalmente a faltas de habilidad o negligencia de los profesionales involucrados (Lopez & Love, 2012; Lopez, Love, Edwards, & Davis, 2010). Las omisiones en el diseño se pueden describir como la falta de una o varias especificaciones, las cuales finalmente añaden costos al presupuesto

dado inicialmente (Guckert & King, 2002). Por otra parte, los errores en el diseño se pueden definir como la fallas en la realización de actividades que generan resultados distintos a los esperados, cuando estos se corrigen a tiempo no crean costos adicionales al proyecto (Enshassi, Arain, & Al-raee, 2010; Guckert & King, 2002; Lopez & Love, 2011). Cuando se habla de estos dos términos se debe tener en cuenta diversos factores que los afectan como lo son, la gran cantidad de profesionales que intervienen en el proceso de diseño, la baja probabilidad de alcanzar en totalidad los objetivos propuestos, la claridad de lo que busca el cliente para el proyecto, los tiempos de entrega, la complejidad de los proyectos, entre otros (Guckert & King, 2002).

1.2. Tecnologías Emergentes: BIM

Herramienta virtual multidisciplinaria para la construcción que permite mediante sistemas de información y trabajo colaborativo generar, ensamblar, planificar y monitorear obras civiles a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Adicionalmente la vinculación de esta tecnología busca mejorar la productividad, disminuyendo errores de diseño, retrabajo, retrasos, órdenes de cambio, cambios de diseño y sobre costos en etapas tempranas del proyecto (Forgues & Iordanova, 2010; Francom & El Asmar, 2015; Lee, Khamidi, See, Lees, & Chai, 2016; Zuppa, Issa, & Suermann, 2009).

1.3. Buenas Prácticas

Documentación que informa, ilustra y sugiere mejoras acerca de las prácticas habituales en las actividades, es posible presentar la información a partir de metodologías aplicadas que lo

sustentan. Buenas prácticas de BIM es el conjunto de metodologías para el aprovechamiento de las herramientas que ofrece durante la ejecución de obras civiles, usando todos los conocimientos de las disciplinas que intervienen, con el fin de optimizar el rendimiento de esta tecnología y por ende del proyecto. Como toda herramienta BIM tiene desafíos y debilidades en su implementación, esto se da por falta de información, conocimiento de lo que es realmente BIM, el uso de tecnología CAD 2D para simular el uso de BIM, falencias en el trabajo colaborativo que afectan el buen desarrollo de esta tecnología (Al-fadhali, Zainal, Kasim, Dodo, & Soon, 2017; Holzer, 2015).

2. Metodología

Para lograr los objetivos planteados anteriormente, y con base en la metodología de una revisión sistemática de literatura, se llevaron a cabo las siguientes etapas de investigación: (1) Selección de artículos publicados (2) Selección y clasificación de la información y (3) Análisis de la información:

2.1. Selección de artículos publicados

El proyecto de investigación se realiza en base a una revisión bibliográfica de distintos documentos científicos, en lo que se incluirán artículos científicos, libros, conferencias, entre otros. La búsqueda se dio en el motor de búsqueda Scopus, teniendo como punto de partida las palabras claves BIM, Best Practices, Errors and Omissions, Construction/Construction Project y Cost Overruns.

El proceso se basa en tres temáticas para las cuales se muestra las ecuaciones de búsqueda utilizadas en la tabla 1, en este paso se realiza el primer filtro tomando en cuenta solo los documentos del área de ingeniería y corroborando que el objetivo de cada uno de estos documentos abordara alguna de las temáticas.

Tabla 1.

Ecuaciones de búsqueda

Temática	Ecuación de búsqueda	N° artículos
Errors and Omissions	(TITLE-ABS-KEY (“Error and omissions”) AND TITLE-ABS-KEY (construction)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,” ENGI”))	69
	((TITLE-ABS-KEY (" cost overruns") AND TITLE-ABS-KEY ("construction projects")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA;"ENGI")))	338
BIM	(TITLE-ABS-KEY (“Building Information Modeling”) AND TITLE-ABS-KEY (“Construction project”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “ENGI”))	547
Best Practices	(TITLE-ABS-KEY (“Best Practices”) AND TITLE-ABS-KEY (“BIM”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “ENGI”))	87
TOTAL		1041

Se realizó la lectura detallada de cada uno de los textos seleccionados con anterioridad, en la literatura referente a los sobrecostos se identificaron los factores que generan sobrecostos de forma directa o indirecta resaltando sus posibles causas; en el apartado de funcionalidades BIM, se buscaron las herramientas o funcionalidades que llevan a una mejor productividad en los proyectos, detectando o solucionando los problemas descritos en la temática anterior; finalmente

se determinaron las buenas prácticas en el uso de BIM que mitigaran los problemas de la temática de sobrecostos. Ver figura 1.

2.2. Clasificación de la información

En un proyecto de construcción, es esencial el control a lo largo de cada etapa para acelerar el progreso de este y obtener el resultado esperado dentro del presupuesto establecido. Para lograr los objetivos de esta investigación se agrupó la información en cuatro periodos: los documentos comprendidos antes del año 2005; desde el año 2006 hasta el año 2010; desde el año 2011 hasta el año 2015; y los encontrados posterior al año 2016.

Tabla 2.

Clasificación de la información en periodos de cinco años

Periodo		E&O - Cost Overruns		BIM		Best Practices	
Inicio	Fin	Nº	%	Nº	%	Nº	%
-	2005	7	10,9%	0	0,0%	0	0,0%
2006	2010	9	14,1%	3	11,1%	0	0,0%
2011	2015	16	25,0%	9	33,3%	0	0,0%
2016	-	32	50,0%	15	55,6%	3	100,0%
		64	100%	27	100%	3	100%

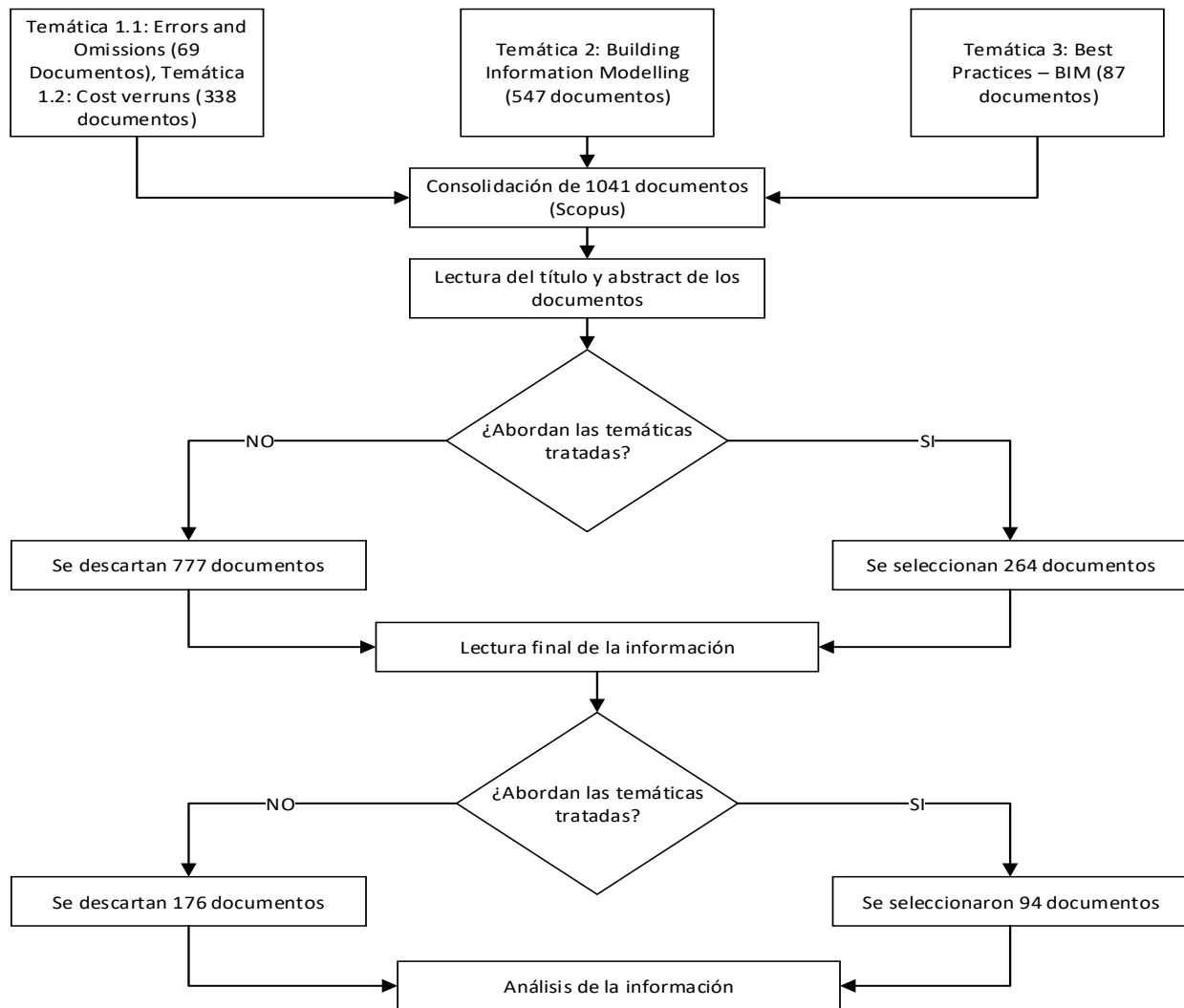


Figura 1 *Proceso de búsqueda y recopilación de la información*

3. Resultados y discusión

3.1. Errores y omisiones de diseño como sobrecosto

Los proyectos de construcción presentan de forma recurrente escenarios de sobrecostos (Shehu et al., 2014), sin embargo, no es común encontrar investigaciones donde se identifiquen los factores

que los generan específicamente por medio de casos de estudio; la mayoría de la investigación se basa en el uso de la escala Likert, la cual mide la opinión de los profesionales de la industria respecto a unos parámetros dados, dichos datos surgen de la literatura o de pruebas piloto a otros profesionales.

3.1.1. Periodo I: Antes del 2005. Basado en siete artículos para el primer rango se establece dos temáticas características, la primera “*errores y omisiones como factor de retrabajo*” (Love & Li, 2000) y por ende en los costos finales del proyecto, al generar tareas o imprevistos no contemplados en el cronograma, debido a repeticiones de las actividades para la respectiva corrección de los errores presentados, mano de obra por primera y segunda vez y los posibles cambios a presentar en otras líneas de trabajo a raíz del cambio en el diseño inicial; Por lo tanto, la repetición de una tarea genera alteraciones en el presupuesto. Los datos de la revisión se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.

Factores de sobre costo encontrados en el periodo I de la revisión bibliográfica

Factor	Literatura Relacionada	Causa	Literatura Relacionada
Retrasos	Kaming1997; Knight2000	Cambios de diseño	Kaming1997
		Planificación inadecuada	Kaming1997
		Baja productividad	Kaming1997
		Documentos de diseño	Knight2000
Retrabajo	Josephson2002; Peter2000	Errores de diseño	Peter2000; Josephson2002;
		Omisiones de diseño	Peter2000; Josephson2002;
		Cambios Diseño	Peter2000

Factor	Literatura Relacionada	Causa	Literatura Relacionada
Cambios de diseño	Chritamara2002	-	-
Cambio de orden	Zaneldin2005	Errores de diseño	Zaneldin2005
		Omisiones de diseño	Zaneldin2006

Nota: La tabla 3 presenta la relación entre los factores de sobre costo, sus causas y la literatura que los relaciona, la cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice A.

Como segunda temática “diseño como factor de retrasos y sobre costos”(Knight & Fayek, 2000) los autores mencionan distintos problemas en el diseño como contribuyente de retraso entre los cuales se pueden observar: cambios de diseño (Love & Li, 2000); dibujos incompletos (Knight & Fayek, 2000); diseño incompleto o incorrecto y se relacionan con la temática uno porque son errores y omisiones que requiere de repetición de trabajo. Los datos se presentan en la tabla 3.

3.1.2. Periodo II: Desde el año 2006 hasta el año 2010. En el segundo periodo aparece un concepto nuevo “*ordenes de cambio*”, el cual denota toda variación en las actividades del proyecto que lleva a modificar el alcance del mismo, este fenómeno se da por parte de cualquier participante del proyecto, se encuentra en la literatura como ordenes de modificación, ordenes de variación y genera por errores y omisiones y/o por los cambios de diseño (Enshassi et al., 2010), haciendo énfasis en que el producto de un mal diseño se refleja en la etapa constructiva, pero el error se genera desde la etapa de diseño, de igual manera se repite la temática del primer periodo “diseño como factor de retrasos y sobre costos” (Enshassi, AlNajjar, & Kumaraswamy, 2009; Veronika, Riantini, & Firmansyah, 2008) mencionando los siguientes: diseño incomprensible (Veronika et al., 2008), cambios de diseño, errores en el diseño (Enshassi et al., 2010). Los resultados completos de la revisión en este periodo se presentan en la tabla 4.

3.1.3. Periodo III: Desde el año 2011 hasta el año 2015. En la tercera etapa se registra en la mayoría de los artículos “*diseño como factor de retrasos*” y como efecto de estos se genera sobrecostos en los proyectos (Orangi, Palaneeswaran, & Wilson, 2011; Pourrostam, Ismail, & Mansournejad, 2011), y en algunos artículos se menciona específicamente “*diseño como factor de sobrecostos*” (Doloi, 2013; Rahman et al., 2013), la temática “*ordenes de variación*” aparece en una artículo, el cual es un estudio en Etiopia donde se demuestra que la mala planificación produce ordenes de cambio. Los resultados completos se presentan en la tabla 5.

Tabla 4.

Factores de sobrecosto encontrados en el periodo II de la revisión bibliográfica

Factor	Literatura relacionada	Causa	Literatura relacionada
Retrasos	Enshassi2010_; Senaratne2009; Zhao2008	Cambios de diseño	Zhao2008; Senaratne2009
		Documentos de diseño	Enshassi2010_
		Diseño pobre o inexacto	Enshassi2010_
		Errores de diseño	Enshassi2010_
Cambios de diseño	Enshassi2010_; jergeas2010; creedy2010; Bhargava2010	-	-
Cambio de orden	Alnuami2010; Enshassi2010	Errores de diseño	Alnuami2010; enshassi2010; Arain2006
		Omisiones de diseño	Alnuami2010; Enshassi2010; Arain2006
		Cambio de diseño	Arain2006

Nota: La tabla 4 presenta la relación entre los factores de sobrecosto, sus causas y la literatura que los relaciona, la cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice A.

3.1.4. Periodo IV: Año 2016 en adelante. Finalmente, la etapa comprendida después del año 2015 se registraron 36 documentos donde se identifican cinco temáticas. Con un total de 23 documentos se establece los “*Sobrecostos en proyectos de construcción*” como la temática principal de este periodo, se identifican como factores de sobrecosto: Cambios de Diseño (Rahman, Ismail, & Jaber, 2018; Tahir & Haron, 2017; Ullah, Abdullah, Nagapan, Suhoo, & Khan, 2017), errores de diseño (Rahman et al., 2018; Ullah et al., 2017), omisiones de diseño (Rahman et al., 2018), cambios de orden (Ametepey, Gyadu-asiedu, & Assah-kissiedu, 2018; Tahir & Haron, 2017; Ullah et al., 2017), diseño pobre (Rahman et al., 2018; Tahir & Haron, 2017), documentos de diseño, retrabajo (Ametepey et al., 2018) y diseño imperfecto (Ullah et al., 2017). Los sobrecostos en proyectos de construcción dependen principalmente del tamaño de proyecto, los clientes, el diseño del material y del grupo de diseño (Bhangale, 2016). Ver tabla 6.

Adicionalmente, se encuentran 13 documentos que abordan el tema de retrasos en proyectos de construcción, reconociendo como factores de retraso: Ordenes de cambio, Errores de Diseño (Al-fadhali et al., 2017; Rahman et al., 2018), Omisiones de Diseño (Rahman et al., 2018), Cambios de Diseño (Al-fadhali et al., 2017; Rahman et al., 2018; Tahir & Haron, 2017), Documentos de diseño (Ametepey et al., 2018), Cambios de Orden (Ametepey et al., 2018; Tahir & Haron, 2017), Diseño Imperfecto (Rahman et al., 2018; Tahir & Haron, 2017). Además, los retrasos en proyectos de construcción son una causa principal de sobrecostos (Al-fadhali et al., 2017; Ametepey et al., 2018). Ver tabla 6.

Tabla 5.

Factores de sobrecosto encontrados en el periodo III de la revisión bibliográfica

Factor	Literatura relacionada	Causa	Literatura relacionada
Retrasos	Pourrostam2011; Orangi2011; Calzadilla2012; Ramanathan2012; Alinaitwe2013; Othumanmydin2014; Gardezi2014; Pandit2015	Diseño pobre o inexacto	Pourrostam2011
		Cambios de diseño	Orangi2011; Calzadilla2012; Alinaitwe2013; Gardezi2014
		Errores de diseño	Orangi2011; Ramanathan2012; Alinaitwe2013
Cambios de diseño	Ramanathan2012; doloji2013; Rahman2013; Mahamid2014; Akinsiku2014; Polat2014; Baghdadi2015; Charles2015	-	-
Cambios de orden	Ismail2012	Errores de diseño	Ismail2012
		Cambios de diseño	Ismail2012
		Omisiones de diseño	Ismail2012

Nota: La tabla 5 presenta la relación entre los factores de sobrecosto, sus causas y la literatura que los relaciona, la cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice A.

La tercera temática “*Cambios de orden*” de este periodo se aborda de forma directa en 2 documentos, donde se identifica como generador de sobrecostos en proyectos (Heravi & Mohammadian, 2019) y de retrasos (Heravi & Mohammadian, 2019; Staiti, Othman, & Jaaron, 2016). Se tienen como factores de ordenes de cambio los errores, las omisiones y los cambios de diseño (Staiti et al., 2016). Adicionalmente, la cuarta temática “*Retrabajo*” se observa en 4 documentos, en los cuales se expresa este factor como generador de sobrecostos (Safapour & Kermanshachi, 2019; Yap, Low, & Wang, 2017), siendo las principales causas de este fenómeno: errores de diseño (Safapour & Kermanshachi, 2019; Yap et al., 2017), cambios de diseño (Safapour & Kermanshachi, 2019), omisiones en el diseño, diseño incompleto, colisiones de

elementos, claridad de diseño (Yap et al., 2017) y documentos de diseño (Akampurira & Windapo, 2019). Por último, este periodo también hace mención a los cambios de diseño como factor de sobre costo (Boon, Yap, Abdul-rahman, & Wang, 2016; Boon, Yap, & Skitmore, 2018), originados por los errores y omisiones de diseño (Boon et al., 2016, 2018), documentos de diseño (Boon et al., 2018), cambios de orden y diseño pobre o defectuoso (Boon et al., 2016). Ver tabla 6

Tabla 6.

Factores de sobre costo encontrados en el periodo IV de la revisión bibliográfica

Factor	Literatura relacionada	Causa	Literatura relacionada
Retrasos	Al-Fadhali2019; Singhal2018; Ametepey2018; Gebrehiwet2017; Arantes2016; Khair2016	Cambio de orden	Al-Fadhali2019; Tahir2019; Ametepey2018; Samarghandi2016; Arantes2016; Heravi2019; Staiti2016
		Errores de diseño	Al-Fadhali2019; Rahman2018; Gebrehiwet2017
		Omisiones de diseño	Rahman2018
		Cambios de diseño	Al-Fadhali2019; Kavuma2019; Tahir2019; Rahman2018; Subramani2018; Khair2016
		Documentos de diseño	Akampurira2019; Ametepey2018; Arantes2016
		Diseño pobre o inexacto	Tahir2019; Rahman2018
		Especificaciones de diseño	Gebrehiwet2017

Factor	Literatura relacionada	Causa	Literatura relacionada
Retrabajo	Safapour2019; Yap2017; Ametepey2018; Durdyev2017; Famiyeh2017	Cambios de diseño	Safapour2019
		Errores de diseño	Safapour2019; Yap2017
		Omisiones de diseño	Yap2017
		Documentos de diseño	Akampurira2019
		Diseño pobre o inexacto	Yap2017
		Colisiones de elementos	Yap2017
Cambio de orden	Tahir2019; Staiti2016; Muhammad2015; Franca2018; Johnson2018; Ametepey2018; Ullah2017; Niazi2017; Durdyev2017; asiedu2017; Khabisi2016; Heravi2019	Cambio de diseño	Staiti2016; Muhammad2015;
		Error de diseño	Staiti2016; Muhammad2015;
		Diseño pobre o inexacto	Staiti2016; Mohammad2015;
Cambio de diseño	Akram2017; Kavuma2019; Tahir2019; Hamid2018; Rahman2018; Johnson2018; Ullah2017; Subramani2018; Sohu2018; Cindreladevi2017; Niazi2017; Yap2016; Yap2018	Error de diseño	Yap2016; Yap2018
		omisiones de diseño	Yap2016; Yap2018
		documentos de diseño	Yap2016
		Cambios de orden	Yap2018

Nota: La tabla 6 presenta la relación entre los factores de sobrecosto, sus causas y la literatura que los relaciona, la cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice A.

3.2. Funcionalidades BIM

La acogida que ha tenido la tecnología BIM en los últimos años se puede evidenciar en el aumento de investigaciones sobre ella, incluyendo su definición, las ventajas que trae a la industria y cómo se comporta en conjunto con otras tecnologías. Al realizar la revisión documental sobre las funcionalidades o herramientas BIM, se encontró que en literatura anterior al año 2005 no se aborda este tema, a continuación, se resume las funcionalidades encontradas en los demás periodos.

3.2.1. Periodo II: Desde el año 2006 hasta el año 2010. BIM es una herramienta para la visualización y coordinación en el área de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), evitando errores y omisiones (Zuppa et al., 2009), en el cual se considera necesario adoptar nuevas prácticas en el uso de BIM, para fortalecer el trabajo colaborativo y la coordinación (Forgues & Iordanova, 2010), este periodo se centra en el aprendizaje de nuevas prácticas para el uso de BIM que permita aprovechar todo el potencial de esta tecnología (Rekola, Kojima, & Mäkeläinen, 2010). Ver tabla 7.

3.2.2. Periodo III: Desde el año 2011 hasta el año 2015. Con 9 documentos se identifica en este periodo la necesidad de fortalecer los conocimientos y adquirir mejores prácticas para optimizar los beneficios de BIM (Farnsworth, Beveridge, Miller, & Christofferson, 2014). Además de ello, BIM muestra una influencia clave en la reducción de costos, retrasos, ordenes de cambio, retrabajo, errores de diseño (Farnsworth et al., 2014).

Se reconocen como herramientas o funcionalidades que generan los descrito anteriormente: detección de choques (Cha & Lee, 2015; Farnsworth et al., 2014), visualización 3D (Cha & Lee, 2015), modelos 3D con atributos de elementos (Cha & Lee, 2015; Farnsworth et al., 2014), trabajo colaborativo (Farnsworth et al., 2014) y simulación de procesos (Cha & Lee, 2015). Ver tabla 7.

3.2.3. Periodo IV: Año 2016 en adelante. El uso de la tecnología BIM en proyectos de construcción marcó una diferencia en la productividad, logrando disminuir de forma significativa sobre costos, retrasos en el cronograma, actividades de retrabajo (Ali, Zahoor, Mazher, & Maqsoom, 2018; Khasani & Hidayat, 2018), ordenes de cambio (Likhitruangsilp, Handayani, Ioannou, & Yabuki, 2018) y cambios en los diseños (Ozturk & Yitmen, 2019), adicionalmente se evidencia una mejora en la calidad del proyecto (Khasani & Hidayat, 2018).

Las funcionalidades halladas en la literatura durante este periodo se dividen en tres grupos: visualización, simulación y gestión de la información. En el apartado de visualización se evidenció la capacidad de BIM para generar modelos tridimensionales (Hüthwohl, Brilakis, Borrmann, & Sacks, 2018; Khasani & Hidayat, 2018), detección de choques que facilita la identificación de conflictos de elementos, estructurales, eléctricos, mecánicos, sanitarios e hidráulicos (Hüthwohl et al., 2018). La simulación de procesos incluye herramientas para llevar el seguimiento del cronograma, control de costos (Hüthwohl et al., 2018; Ozturk & Yitmen, 2019), análisis de rendimiento energético (Ozturk & Yitmen, 2019), revisión de parámetros normativos y análisis de cantidades (Hüthwohl et al., 2018). Finalmente, la gestión de la información se basa en un sistema multiplataforma que permite el trabajo colaborativo y canales de comunicación interdisciplinario de forma simultánea y de manera remota (Ozturk & Yitmen, 2019), adicionalmente se permite la

exportación e importación de datos a programas no BIM para su análisis (Khasani & Hidayat, 2018). Ver tabla 7.

3.2.4. Definición de las funcionalidades. Con la información recopilada en la literatura se logró identificar 10 funcionalidades o herramientas BIM, las cuales se describen a continuación.

3.2.4.1. Análisis de cantidades. Cálculo aproximado y automatizado de las cantidades de material a partir de los atributos de geometría y material de los elementos del modelo

3.2.4.2. Rendimiento energético. Simulación de procesos de aprovechamiento energético y sostenibilidad en el modelo virtual de la edificación, a partir de normativas incorporadas directamente en el software.

3.2.4.3. Simulación de procesos. Automatización de procesos del proyecto, como lo son control de costos, cronograma, volúmenes de tránsito, análisis estructural, hidrología, visibilidad entre otros; con la finalidad de reducir errores y omisiones en la planificación de este.

3.2.4.4. Modelado 3D. Representación tridimensional que facilita la presentación a todos los participantes del proyecto.

3.2.4.5. Atributos de elementos. Descripción de características básicas de los elementos como lo son la geometría y el material, además se permite asignar convenciones de nombre, grupo y color.

3.2.4.6. Visualización. Funcionalidad que facilita la toma de decisiones en el proyecto ya que permite tener múltiples alternativas de diseño por medio de la visualización.

3.2.4.7. Trabajo colaborativo. Funcionalidad que permite a los participantes del proyecto trabajar de manera remota y simultánea en el modelo del proyecto, además se crean canales de comunicación para el intercambio de información.

3.2.4.8. Interoperabilidad BIM y no BIM. Capacidad de exportar e importar información entre software BIM y no BIM para un manejo más completo de los procesos llevados a cabo en el proyecto

3.2.4.9. Revisión de normativa. Sugerencias de diseño y chequeo de parámetros automatizado por medio de parámetros preestablecidos basados en normativas diseño incorporadas en el software.

3.2.4.10. Detección de choques. Herramienta de visualización que permite identificar conflictos entre elementos del modelo, los cuales pueden ser estructurales, hidráulicos, sanitarios, eléctricos, mecánicos, entre otros.

3.3. Resumen de las buenas prácticas encontradas

Uno de los principales desafíos en la implementación de la tecnología BIM en la industria de la construcción, ha sido definir una serie de buenas prácticas que mejoren los resultados en la ejecución de los proyectos donde se apliquen. A pesar de esto, la investigación en este tema es demasiado reciente en comparación a las realizadas en otros ámbitos BIM, desde la aparición de esta tecnología. A partir de la revisión de literatura se encontró documentación con relevancia sobre buenas prácticas BIM en el periodo comprendido después del año 2016, las cuales generaron

cierta mejoría en la productividad en los proyectos constructivos donde se aplicaron. Aunque el termino BIM surgió hace un par de décadas, hasta hace pocos años ha ganado popularidad en la industria de la construcción, esto se debe a publicidad realizada sobre el tema y las normativas que empiezan a exigir su uso, siendo esta la buena práctica o recomendación dada a nivel de industria y se puede denotar como “*Difusión de BIM*”, (Wu et al., 2018). A continuación, se muestran las buenas prácticas requeridas a nivel de empresa:

3.3.1. Incorporación de profesionales con conocimiento BIM. Consiste en ejecutar estrategias de reclutamiento dirigida a profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción con estudios o experiencia del manejo de la tecnología BIM, con el fin de coordinar y realizar todo lo referente a la construcción digital de una manera más eficiente. (Wu, Mayo, McCuen, Issa, & Smith, 2018).

3.3.2. Estandarización de BIM. Es necesario que toda la industria de la construcción maneje un mismo lenguaje, por lo tanto, se debe generar un marco para el uso de BIM, donde se especifiquen sus requisitos, alcances y entregables. (Wu et al., 2018).

3.3.3. Profesionales BIM. Cada grupo de trabajo debe tener un líder que coordine y lleve seguimiento de las tareas que se están ejecutando, la vinculación de BIM conlleva a crear cargos especializados en el área, estos pueden ser gerentes y directores BIM. (Kasim et al., 2017; Wu et al., 2018)

Tabla 7.

Literatura relacionada con las funcionalidades o herramientas BIM

Funcionalidad	Del año 2006 al 2010	Del año 2011 al 2015	Del año 2016 en adelante
Análisis de cantidades	Rekola2010	-	Cheng2019; Koseoglu2018; Borrmann2018; Bhat2018
Rendimiento energético	Rekola2010	-	Ozturk2019
Simulación de procesos (Tiempo y costos)	Rekola2010	Zhang2013; Masood2014; Li2014; Jung2015; Cha2015	Cheng2019; Ozturk2019; Lindblad2019; Wang2019; Koseoglu2018; Borrmann2018; Tulke2018; Abdjamil2018; Jianhua2018; Cardenas2018; Luo2018; Bhat2018
Modelado 3D	Rekola2010	Zhang2013; Masood2014; Johansson2014; Li2014; Farnsworth2015; Jung2015; Pilehchian2015; Cha2015	Wang2019; Lin2019; Koseoglu2018; Borrmann2018; Abdjamil2018; Khasani2018; Jianhua2018; Luo2018
Atributos de elementos	-	Zhang2013	Borrmann2018; Wang2019; Lin2019; Abdjamil2018; Cheng2019; Jianhua2018; Luo2018
Trabajo colaborativo	Suermann2009; Forgues2010; Rekola2010	Zhang2013; Li2014; Farnsworth2015; Pilehchian2015	Ozturk2019; Hwang2019; Lin2019; Koseoglu2018; Abdjamil2018; Luo2018; Bhat2018

Funcionalidad	Del año 2006 al 2010	Del año 2011 al 2015	Del año 2016 en adelante
Interoperabilidad BIM y no BIM	-	Johansson2014; Pilehchian2015	Cheng2019; Khasani2018; Jianhua2018; Cardenas2018; Luo2018; Lindblad2019; Wang2019; Lin2019; Borrmann2018; Abdjamil2018; Bath2018
Detección de choques	-	Johansson2014; Farnsworth2015; Lu2015; Pilehchian2015; Cha2015	Ozturk2019; Hwang2019; Lindblad2019; Koseoglu2018; Borrmann2018; Tulke2018; Abdjamil2018; Luo2018; Bhat2018
Revisión de parámetros normativos	-	-	Borrmann2018; Tulke2018
Visualización	Suermann2009; Rekola2010	Zhang2013; Masood2014; Johansson2014; Li2014; Cha2015	Lindblad2019; Koseoglu2018; Abdjamil2018

Nota: La tabla 7 presenta la relación entre las funcionalidades o herramientas BIM y la literatura que los relaciona, la cual se encuentra de forma más detallada en el apéndice B.

3.3.4. Capacitaciones del personal en BIM. Se lleva a cabo a corto plazo con la capacitación de los profesionales de diseño y coordinadores de proyecto. A largo plazo, se hace necesario la inclusión de programas académicos en universidades y centros de estudio en el manejo de BIM, esto para encaminar a los futuros profesionales de la industria en las ventajas de esta tecnología. (Kasim et al., 2017; Wu et al., 2018).

3.3.5. Plan estratégico de trabajo. Todo proyecto donde se esté implementando BIM debe tener pautas para su funcionamiento, que van desde responsabilidades de los profesionales, tiempos de entrega, reuniones periódicas, cronograma y plan de control de costos. Estas pautas deben ser coordinadas por el gerente o director BIM. (Kasim et al., 2017).

3.3.6. Mecanismo de evaluación. Como todo proyecto, los que incluyen BIM deben ser evaluados y monitoreados a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye control del trabajo colaborativo, seguimiento de tareas, ejecución de procesos BIM y no BIM, y gestión del conocimiento. (Nývlt & Prušková, 2017).

3.3.7. Trabajo colaborativo. Para que se logren resultados exitosos en la ejecución de proyectos bajo el uso de BIM, debe existir voluntad de los profesionales de las distintas áreas de trabajo para compartir de forma eficiente y entendible la información requerida por otros. (Kasim et al., 2017)

4. CONCLUSIONES

A partir de la información recolectada durante la investigación se puede constatar que los errores y omisiones en el diseño pueden generar retrasos en el cronograma, ordenes de cambio, retrabajo y cambios de diseño, los cuales son factores de sobre costos en proyectos de construcción.

La tecnología BIM ha ganado popularidad en la industria de la construcción durante los últimos años, debido a los beneficios en la productividad de los proyectos. Esto se debe a las herramientas y funcionalidades de las que dispone, entre las cuales se resaltan la visualización tridimensional, la detección de errores de diseño, la simulación de procesos, el trabajo colaborativo de forma simultánea y remota, la interoperabilidad con otras plataformas y la gestión de la información.

La investigación sobre los beneficios de la tecnología BIM crece a la par del uso de esta, con el fin de identificar las mejores prácticas que se deben llevar a cabo en la ejecución de obras civiles. Estas prácticas buscan optimizar los resultados finales de los proyectos, el presente estudio logro identificar varias de ellas en las que se encuentran la gestión del conocimiento, estandarización y difusión, planes de ejecución de proyectos y mecanismos de evaluación BIM.

Referencias bibliográficas

- Akampurira, E., & Windapo, A. (2019). Key quality attributes of design documentation : South African perspective. *Journal of Engineering, Design and Technology*.
<https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2018-0137>
- Al-fadhali, N., Zainal, R., Kasim, N., Dodo, M., & Soon, N. K. (2017). The desirability of Integrated Influential Factors (IIFs) Model of internal stakeholder as a panacea to project completion delay in Yemen. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–9.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1390720>
- Ali, B., Zahoor, H., Mazher, K. M., & Maqsoom, A. (2018). BIM Implementation in Public Sector of Pakistan Construction Industry. *ICCREM 2018*, 1, 54–66.
- Ametepey, S. O., Gyadu-asiedu, W., & Assah-kissiedu, M. (2018). Causes-Effects Relationship of Construction Project Delays in Ghana : Focusing on Local Government Projects. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60450-3>
- Apolot, R., Tindiwensi, D., & Alinaitwe, H. (2013). Investigation into the Causes of Delays and Cost Overruns in Uganda ’ s Public Sector Construction Projects. *Journal of Construction in Developing Countries*, 18(2), 33–47.
- Avots, I. (1983). Cost-relevance analysis for overrun control. *International Journal of Project*

Management, 1(3), 142–148. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(83\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0263-7863(83)90018-2)

Bhangale, P. P. (2016). ANALYSIS OF TIME AND COST OVERRUN TO KEY SUCCESS OF HIGH-RISE COMMERCIAL BUILDING PROJECT - A CASE STUDY. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 7(4), 400–405.

Bhargava, A., Anastasopoulos, P. C., Labi, S., Sinha, K. C., & Mannering, F. L. (2010). Three-Stage Least-Squares Analysis of Time and Cost Overruns in Construction Contracts. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, (November), 1207–1218.

Boon, J., Yap, H., Abdul-rahman, H., & Wang, C. (2016). A Conceptual Framework for Managing Design Changes in Building Construction. *MATEC Web of Conferences*, 00021.

Boon, J., Yap, H., & Skitmore, M. (2018). Investigating design changes in Malaysian building projects Investigating design changes in Malaysian building projects. *Architectural Engineering and Design Management*, 2007. <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1384714>

Cha, H. S., & Lee, D. G. (2015). A case study of time/cost analysis for aged-housing renovation using a pre-made BIM database structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 841–852. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0617-1>

- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(6), 05016021. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000460)
- Creedy, G. D., Skitmore, M., & Wong, J. K. W. (2010). Evaluation of Risk Factors Leading to Cost Overrun in Delivery of Highway Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, (May), 528–537.
- Doloi, H. (2013). Cost Overruns and Failure in Project Management : Understanding the Roles of Key Stakeholders in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(March), 267–279. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)
- Enshassi, A., AlNajjar, J., & Kumaraswamy, M. (2009). Delays and cost overruns in the construction projects in the Gaza Strip. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 14(2), 126–151. <https://doi.org/10.1108/13664380910977592>
- Enshassi, A., Arain, F., & Al-raee, S. (2010). CAUSES OF VARIATION ORDERS IN CONSTRUCTION PROJECTS. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(4), 540–551. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.60>
- Farnsworth, C. B., Beveridge, S., Miller, K. R., & Christofferson, J. P. (2014). Application,

Advantages, and Methods Associated with Using BIM in Commercial Construction. *International Journal of Construction Education and Research*, 11(3), 218–236. <https://doi.org/10.1080/15578771.2013.865683>

Forgues, D., & Iordanova, I. (2010). An IDP-BIM Framework for Reshaping Professional Design Practices. *Construction Research Congress 2010*, 41109(May), 172–182. [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)18](https://doi.org/10.1061/41109(373)18)

Francom, T. C., & El Asmar, M. (2015). Project Quality and Change Performance Differences Associated with the Use of Building Information Modeling in Design and Construction Projects: Univariate and Multivariate Analyses. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO)

Guckert, D., & King, J. R. (2002). Who pays for the architect's mistakes? Retrieved from [https://www.facilities.uiowa.edu/infolibrary/WhoPaysForArchitectsMistakes\(APPASepOct02\).pdf](https://www.facilities.uiowa.edu/infolibrary/WhoPaysForArchitectsMistakes(APPASepOct02).pdf)

Heravi, G., & Mohammadian, M. (2019). Investigating cost overruns and delay in urban construction projects in Iran. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1601394>

Holzer, D. (2015). *Best Practice BIM. The BIM Manager's Handbook.*

<https://doi.org/10.1002/9781118987780.ch1>

Hüthwohl, P., Brilakis, I., Borrmann, A., & Sacks, R. (2018). Integrating RC Bridge Defect Information into BIM Models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(3), 04018013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000744](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000744)

Kasim, N., Zainal Abidin, N. A., Zainal, R., Sarpin, N., Abd Rahim, M. H. I., & Saikah, M. (2017). Best practices of Building Information Modelling (BIM) implementation in design phase for construction project. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012038>

Khasani, R. R., & Hidayat, A. (2018). Assessment Of Bim In High-Rise Building Construction In Indonesia. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 7(7). Retrieved from <http://www.ijstr.org/final-print/july2018/Assessment-Of-Bim-In-High-rise-Building-Construction-In-Indonesia.pdf>

Knight, K., & Fayek, A. R. (2000). A preliminary study of the factors affecting the cost escalation of construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 83(August 1998), 73–83.

Lee, X. S., Khamidi, M. F., See, Z. S., Lees, T. J., & Chai, C. (2016). Augmented reality for ndimensional building information modelling: Contextualization, Customization and Curation. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Virtual Systems and*

Multimedia, VSMM 2016. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2016.7863152>

Likhitrungsilp, V., Handayani, T. N., Ioannou, P. G., & Yabuki, N. (2018). A BIM-Enabled System for Evaluating Impacts of Construction Change Orders. *Construction Research Congress 2018*, (Sci 2002), 121.

Lopez, R., & Love, P. E. D. (2011). Design Error Costs in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(5), 585–593. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000454](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000454)

Lopez, R., & Love, P. E. D. (2012). Design Error Costs in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(May), 585–593. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000454](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000454).

Lopez, R., Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Davis, P. R. (2010). Design Error Classification , Causation , and Prevention in Construction Engineering. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24(August), 399–408.

Love, P. E. D., & Li, H. (2000). Quantifying the causes and costs of rework in construction Quantifying the causes and costs of rework in construction. *Construction Management and Economics*, (August 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1080/01446190050024897>

- Ma, G., Gu, L., & Li, N. (2014). Personality and occupational accidents: bar benders in Guangdong Province, Shenzhen, China. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7), 05014005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)
- Nývlt, V., & Prušková, K. (2017). Building Information Management as a Tool for Managing Knowledge throughout whole Building Life Cycle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042070>
- Orangi, A., Palaneeswaran, E., & Wilson, J. (2011). Procedia Engineering Exploring Delays in Victoria-Based Astralian Pipeline Projects. *Procedia Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.111>
- Ozturk, G. B., & Yitmen, I. (2019). Conceptual Model of Building Information Modelling Usage for Knowledge Management in Construction Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022043>
- Pourrostam, T., Ismail, A., & Mansournejad, M. (2011). Identification of Success Factors in Minimizing Delays on Construction Projects in IAU-Shoushtar-Iran. *Applied Mechanics and Materials*, 96, 2189–2193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.2189>
- Rahman, I. A., Ismail, I. B., & Jaber, M. M. (2018). Risk Assessment of Time and Cost Overrun Factors throughout Construction Project Lifecycle : Pilot Study. *International Journal of*

Engineering & Technology, 7, 717–723.

Rahman, I. A., Memon, A. H., Asmi, A., Azis, A., Abdullah, N. H., & Bakrie, U. (2013). Modeling Causes of Cost Overrun in Large Construction Projects with Partial Least Square-SEM Approach: Contractor's Perspective. *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(6), 1963–1972.

Rekola, M., Kojima, J., & Mäkeläinen, T. (2010). Towards integrated design and delivery solutions: Pinpointed challenges of process change. *Architectural Engineering and Design Management*, 6(SPECIAL ISSUE), 264–278. <https://doi.org/10.3763/aedm.2010.IDDS4>

Safapour, E., & Kermanshachi, S. (2019). Identifying Early Indicators of Manageable Rework Causes and Selecting Mitigating Best Practices for Construction. *Journal of Management in Engineering*, 35(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000669](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000669).

Shehu, Z., Endut, I. R., Akintoye, A., & Holt, G. D. (2014). Cost overrun in the Malaysian construction industry projects: A deeper insight. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1471–1480. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.04.004>

Shrestha, P. P., & Mani, N. (2013). Impact of Design Cost on Project Performance of Design-Bid-Build Road Projects. *Journal of Management in Engineering*, 30(3), 04014007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000220](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000220)

- Staiti, M., Othman, M., & Jaaron, A. (2016). Impact of Change Orders in Construction Sector in. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1690–1698.
- Tahir, M. M., & Haron, N. A. (2017). *Causes of Delay and Cost Overrun in Malaysian Construction Industry*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6>
- Ullah, K., Abdullah, A. H., Nagapan, S., Suhoo, S., & Khan, M. S. (2017). Theoretical framework of the causes of construction time and cost overruns Theoretical framework of the causes of construction time and cost overruns. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012032>
- Veronika, A., Riantini, L. S., & Firmansyah, B. A. (2008). Identification of the factors in corporate management that influence construction company ' s performance in Indonesia. *Proceedings of the 4th International Structural Engineering and Construction Conference, ISEC-4 - Innovations in Structural Engineering and Construction*.
- Wu, W., Mayo, G., McCuen, T. L., Issa, R. R. A., & Smith, D. K. (2018). Building Information Modeling Body of Knowledge. I: Background, Framework, and Initial Development. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8), 04018065. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001518](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001518)

Yap, H., Low, pak lian, & Wang, C. (2017). Rework in Malaysian building construction : impacts , causes and potential. *Journal of Engineering, Design and Technology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2017-0002%0A>

Zuppa, D., Issa, R. R. A., & Suermann, P. C. (2009). BIM's impact on the success measures of construction projects. In *Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering* (Vol. 346, pp. 503–512). [https://doi.org/10.1061/41052\(346\)50](https://doi.org/10.1061/41052(346)50)