

Salud estructural de edificios utilizando tecnología BIM: Revisión literaria

Civil Engineering

Structural health of buildings using BIM technology: Literature review.

Estefany R. Cisneros¹, Javier R. Gil¹, Sócrates M. Pérez¹

¹Universidad Señor de Sipán, Escuela de Ingeniería Civil- Chiclayo, Perú

rcisnerosestefa@crece.uss.edu.pe, rgiljavieromar@crece.uss.edu.pe, msocrates@crece.uss.edu.pe

Cisneros, E.R., Gil, J.R., Pérez, S.M. Salud estructural de edificios utilizando tecnología BIM: revision literaria. Ingeniería y Competitividad, 2023, 25(1); e-30111765. <https://doi.org/10.25100/iyct.v25i1.11765>

Recibido: 16 de agosto de 2022 - Aceptado: 31 de octubre de 2022

ABSTRACT

A literature review was conducted regarding the use of technology applying structural health monitoring and maintenance allowing researchers to visualize and document results using BIM technology as a powerful tool, with the objective of estimating tools that are widely used in the architecture, engineering and construction sector through wireless sensors and the use of 3D modeling. Due to the combination of the results of structural health monitoring (SHM) and BIM technology, 80 articles indexed in the database: Scopus, Ebsco, Scielo and Science Direct, from the years 2016 - 2021 were reviewed, the following keywords were used for the information search: Structural health and BIM technology, Structural Health in building and Bim, Properties of recycled concrete, Health and buildings, Building and bim technology, Structural health in buildings, structural health of buildings through bim. Subject area filters were used such as: Engineering, Engineering and Building. Concluding that the current knowledge how to integrate BIM and SHM allows an improvement during the life cycle in a building, using software in real projects simultaneously is the support to establish the situation, the capacity and to estimate the duration in the structure.

Keywords: buildings, BIM, structural health, 3D model, wireless sensors.



Este trabajo está licenciado bajo una Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento–NoComercial–CompartirIgual 4.0

RESUMEN

Se realizó una revisión literaria respecto al uso de la tecnología aplicando mantenimiento y supervisión de salud estructural permitiendo que, los investigadores puedan visualizar y documentar resultados utilizando tecnología BIM como herramienta potente, con el objetivo de estimar herramientas que se utilizan ampliamente en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción mediante sensores inalámbricos y el uso del modelado 3D. Debido a la combinación de los resultados de la vigilancia de salud estructural (SHM) y tecnología BIM, se revisaron 80 artículos indexados en la base de datos: Scopus, Ebsco, Scielo y Science Direct, a partir de los años 2016 – 2021, para la búsqueda de información se utilizaron las siguientes palabras clave: Structural health and BIM technology, Structural Health in building and Bim, Properties of recycled concrete, Health and buildings, Building and bim technology, Structural health in buildings, structural health of buildings through bim. Se usaron filtros de áreas temáticas tales como: Engineering, Engineering and Building. Concluyendo que el conocimiento actual como integrar BIM y SHM permite una mejora durante el ciclo de vida en un edificio, utilizando software en proyectos reales simultáneamente es el soporte para establecer la situación, la capacidad y estimar la duración en la estructura.

Palabras clave: edificaciones, BIM, salud estructural, modelo 3D, sensores inalámbricos.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de construcción modernos y las nuevas tecnologías continúan surgiendo, y las empresas de construcción de todo el mundo desean cada vez más aceptar nuevas ideas y se comprometen a adoptar nuevos métodos para mejorar las cosas (Chen, y otros, , 2021). Los métodos innovadores como la tecnología de la información (TI) que utiliza la industria de la construcción son una de las competencias más importantes en herramientas informáticas, como procedimientos de diseño y análisis estructural, planificación de recursos empresariales y procedimientos de gestión de datos; considerando la creciente complejidad de los proyectos de construcción en el diseño, licitación, construcción, mantenimiento, y las ventajas adicionales en el control de cambios (Hande , Gökhan , & Zeynep, 2016). El monitoreo de salud estructural (SHM) es un sistema que puede monitorear el movimiento estructural de un edificio durante cargas externas como terremotos (Ren, 2020). Las vibraciones del sistema de aislamiento sísmico de núcleo suspendido (CSI) se utiliza para la seguridad y protección del edificio, cuyo sistema de vigilancia de la salud estructural (SHM) detecta y registra movimiento sísmico (Nakamura & Okada, 2021). La vida eficaz de los edificios convencionales a gran escala por lo regular se decreta en cientos de años, mientras que la vida útil de los propios sensores del sistema de monitoreo de salud estructural (SHM) solo se puede mantener en más de diez

años o incluso menos, lo cual es muy importante y significativo que se identifique, detecte de manera oportuna y efectiva las fallas de los sensores en el sistema SHM del edificio (Yan, Zhang, Yan, Xu, & Zhang, 2020). La relación entre BIM y la ingeniería estructural ha despertado el interés de muchas personas porque proporciona una imagen del sistema de conocimiento como un campo inexplorado (Tatjana , Diana , M, Eugenio , & Edmundas , 2019). El SHM es uno de los medios efectivos para garantizar la confiabilidad del edificio. La tecnología BIM se utiliza cada vez más en el campo de la salud estructural, debido a su buena coordinación, simulación, optimización, visualización y dibujo, se utiliza cada vez más en el campo de la vigilancia de la salud estructural (Zhou, y otros, 2021). La salud y la seguridad es muy importante al proporcionar información preestablecido para todas las industrias relevantes, el objetivo es aplicar el método BIM, que debe precisar y estandarizar la información relacionada con la seguridad y salud ocupacional en todas las etapas del ciclo de vida del edificio (Hoeft & Trask , 2021). La ingeniería estructural y la tecnología de la construcción están experimentando un importante cambio de paradigma y desarrollo entre la conservación de energía, la salud y el costo de vida, como subtema de la supervisión del rendimiento de los edificios y el uso de energía, algunas posibilidades y eficiencias del uso de BIM en el contexto de edificios residenciales actuales y futuras, se centrará en las herramientas recientes de modelado y monitoreo de humedad y calor utilizadas para analizar la estructura saludable de los edificios (Chen, y otros, Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review, 2021). BIM especifica un método para integrar y conectar todos los datos relevantes relacionados con la construcción en un modelo de datos virtual, de todos los proyectos con BIM se relaciona en la economía y gestión de la construcción, promover la estandarización de los modelos de datos y el flujo de información correspondiente entre todos los participantes involucrados en el proyecto de la construcción (Liu J. , y otros, A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the Life cycle of buildings, 2021). (BIM) restaura, comparte y clasifica datos y proporcionan al entorno digital; el uso de SHM a BIM en el sistema de monitorización será un método eficaz para resolver el problema de gestión de datos y por tanto optimizar la economía del edificio (Cao, y otros, 2020). Los avances en la ciencia del monitoreo

y mantenimiento de la salud han promovido los daños y defectos de las estructuras existentes, la necesidad de expandir la tecnología de detección mediante el uso de sensores y la falta de herramientas de monitoreo (Panah & Kioumars, 2021). La supervisión del estado estructural es una tarea importante en la fase de construcción y mantenimiento, debido a que los sensores están ampliamente distribuidos en el espacio de edificios grandes y complejos, es difícil visualizar y localizar la fuente de peligro; para el monitoreo de la salud estructural del edificio se visualiza un marco de alerta temprana basado en una plataforma de sistema (BIM), está asociado al sensor, de modo que el área de monitorización corresponde al modelo y son visibles en la plataforma, el aprendizaje profundo de las cosas se utiliza en el monitoreo de la salud estructural para realizar el posicionamiento rápido del área de monitoreo correspondiente a la información de los datos (Hou, y otros, A BIM-based visual warning management system for structural health monitoring integrated with LSTM network, 2021). También se ha aplicado el modelo de información de construcción (BIM) para generar información estructural 3D detallada para su visualización, uno de los avances tecnológicos más importantes durante la Cuarta Revolución Industrial es la tecnología de realidad aumentada (AR) en la infraestructura civil, que puede evitar la intervención humana, mejorar la eficiencia y ahorrar presupuesto, ayudar a verificar diferencias, comunicación colaborativa y verificación de seguridad (Xu & Moreu , 2021). El método BIM y 3D integrado, reconoció varias áreas de aplicación, monitoreo del progreso de la construcción, control de calidad de componentes y seguridad en el sitio de construcción, monitoreo de salud estructural, alivio de desastres, modelado, gestión de energía y modelado de edificios existentes, que son aplicables a todo el ciclo de vida de un edificio (Liu J. , Xu , Hyypa , & Liang , A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the Life cycle of buildings, 2021). La integración del modelado de información de edificios (BIM) y la tecnología de escaneo láser 3D han utilizado estas técnicas para la documentación y restauración de estos edificios. Puede analizar diferentes parámetros que inciden en el comportamiento térmico de los edificios para determinar las estrategias y tecnologías de optimización energética más adecuadas, además, simula el desempeño estructural bajo diferentes tipos de acciones

(Marzouk , Metawie , ElSharkawy , Eid , & Hawas , 2019). La salud estructural (SHM) es una parte integral de las estructuras inteligentes, el término "estructura inteligente" se refiere a un edificio (o infraestructura) equipado con tecnología de sensores para monitorear y controlar la estructura en tiempo real a través de un proceso inteligente y en red, BIM incluye herramientas, procesos y tecnologías para registrar e intercambiar modelos digitales 3D de edificios e infraestructura civil, al vincular los elementos del sistema SHM (como los sensores) con fuentes externas (como los datos de los sensores almacenados en una base de datos), se puede utilizar para ver el estado de los elementos del edificio (Michael & Kay , 2018). A medida que los avances en la tecnología BIM han reducido los costos de fabricación e instalación, este tipo de inversiones se han vuelto más fáciles de justificar y se han desarrollado métodos para determinar su valor potencial (Juan M, y otros, 2017). Sin embargo, el modelado de información de construcción (BIM), demuestra la capacidad de las herramientas de desarrollo para mejorar los procedimientos, la seguridad y reducir el tiempo dedicado al modelado durante el diseño (Rodrigues, Antunes , & Matos, 2019). Monitorear la salud estructural de edificios patrimoniales es esencial para garantizar que las técnicas y materiales de restauración modernos continúen funcionando, además, el sistema SHM juega un papel clave para garantizar que los nuevos edificios funcionen como se espera en términos de eficiencia energética y durabilidad, con un enfoque en la aplicación de redes de sensores avanzadas y tecnologías de visualización de datos en edificios instrumentados, los kits de sensores instalados en todo el edificio consisten en sensores de flujo de calor integrados en una serie específica de sensores de temperatura lateral colocados a lo largo del material aislante (Hou, y otros, A BIM-based visual warning management system for structural health monitoring integrated with LSTM network, 2021). El establecimiento de un mecanismo para combinar sistemas BIM y SHM ha mejorado el flujo de datos e información. La gestión dinámica del seguimiento de la salud y el control de alerta temprana se pueden llevar a cabo en las estructuras de los edificios, y la información se puede intercambiar durante el proceso de seguimiento de la salud, mejorando efectivamente la seguridad y la eficiencia operativa de las estructuras de los edificios públicos (Hong, Lan , & Wang , 2020).

2. METODOLOGÍA

Las revisiones de fuentes bibliográficas cuentan con el apoyo de autores, investigadores y estudiosos de la disciplina, con resultados publicados en revistas científicas, tesis de pregrado y posgrado, entre otros; y actualizaciones y publicaciones en la web. La consulta de diferentes bibliografías permite al investigador tener una visión y un panorama amplio, es decir, puede abarcar y construir juicios, así como nuevas investigaciones sobre el tema estudiado. Se realizaron revisiones literarias a través de la web utilizando textos y palabras clave tanto en inglés como en español, por lo que se decidió buscar referencias en inglés, ya que existía una bibliografía más confiable y diversa en ese idioma.

En la presente revisión literaria se aplicaron 80 artículos indexados en las bases de datos Scopus, Ebsco, Scielo y Science Direct, los cuales están entre los años 2016 – 2021, estos fueron registrados en una bitácora de búsqueda, creando una hoja de cálculo los cuales se organizaron en un cuadro de detalle, como se denomina en la tabla 1, así en la base de datos “Scopus” se encontraron 114 artículos, después de aplicar los filtros se identificaron 51, de los cuales se seleccionaron 39. En la base de datos “Ebsco” se encontraron 27 artículos, después de aplicar los filtros se identificaron 10, de los cuales se seleccionaron 3. Asimismo, en la base de datos “Scielo” se encontraron 54 artículos, después de aplicar los filtros se identificaron 18, de los cuales se seleccionaron 10. Finalmente, de la base de datos “Science Direct” se encontraron 133,319 artículos, después de aplicar los filtros se identificaron 7,815, de los cuales se seleccionaron 28. Para la búsqueda de información se utilizaron las siguientes palabras clave: Structural health and BIM technology, Structural Health in building and BIM, Properties of recycled concrete, Health and buildings, Building and BIM technology, Structural health in buildings, structural health of buildings through BIM. Se usaron filtros de áreas temáticas tales como: Engineering, Engineering and Building para obtener información más detallada observar la tabla 2.

Tabla 1: Artículos distribuidos según la base de datos y año de publicación

Base de datos	Año de publicación						Total
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Scopus	2	3	5	9	6	14	39
Ebsco	-	-	-	-	2	1	3
Scielo	-	1	1	2	2	4	10
Science Direct	-	5	1	4	8	10	28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Número de artículos científicos y selección según su motor de búsqueda

Base de datos	Año de búsqueda	Palabras claves	Sin filtro	Filtros de área temática	Con filtro	Selección
Scopus	2016-2021	Structural health and BIM technology	62		29	24
		Structural Health in building and BIM	52	Engineering	22	15
Ebsco	2017-2021	Properties of recycled concrete	27		10	3
Scielo	2019	Health and buildings	3		1	1
	2017-2021	Health and buildings	43		14	5
Science Direct	2017-2021	Building and BIM technology	8	Engineering and Building	4	4
		Structural health in buildings	132,208		7,429	13
		structural health of buildings through BIM	1,111	Engineering	386	15

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Salud y seguridad estructural

El mejoramiento y el estudio de la salud estructural de ensayos destructivos y no destructivos obtiene información de la calidad del material (concreto) para evaluar la salud estructural del edificio haciendo uso del estudio bio-sísmico y el análisis dinámico incremental (Olivera López & Oyarzo Vera, 2020), los terremotos causan la reducción de la rigidez en los edificios debido a los daños en los elementos micro grietas en el concreto, es de suma importancia llevar a cabo SHM en edificios de gran escala y la aplicación de acelerógrafos que se encargan sobre los movimientos fuertes (Bulajić, Todorovska, Manić, & Trifunac, 2020). El monitoreo de la salud estructural (SHM) ha sido de mucha importancia para edificios estructurales ya que proporciona muchos datos en el ambiente operativo para dar soluciones a desastres ocasionados por fenómenos naturales (Wang, Xiao, Zhang, & Xiao, 2019), para las estructuras más duraderas y seguras en edificios de concreto, se evalúa materiales o elementos de la estructura que fueron dañados desde la matriz que se relacionan con alteraciones en las propiedades magnéticas estimables (Davis, Mirsayar, & Hartl, 2021). SHM ha permitido desarrollar estrategias para la supervisión de la calidad estructural y determinar los daños en la etapa inicial, tomaron en cuenta la naturaleza para algoritmos de optimización que traten de proteger el patrimonio y así poder solucionar las malas decisiones por el ser humano (Barontini, Masciotta, Ramos, Mendes, & Lourenço, 2017).

Para las estructuras de edificios, en el tiempo de vida que tenga se debe realizar un monitoreo a largo plazo mediante el uso de sensores para la seguridad estructural de los edificios (Kwan Oh, Kim, Kim, Park, & Adeli, 2017), en la industria de la construcción, un gran desarrollo global ha optado en las estructuras de edificios teniendo en cuenta el mantenimiento usando sensores del sistema SHM conservando un tiempo de vida de 10 años como máximo, lo cual se obtiene compactos dada la situación del edificio (Kai Yan, Yao Zhang, Yan Yan, Cheng Xu, & Shuai Zhang, 2020). En la SHM de edificios monumentales existen redes de sensores incorporados en el edificio que permite el diagnóstico de la estructura en el transcurso de los años en tiempo real donde se podrá detallar el

modelo numérico y los datos de algunos elementos limitados, definiendo las clases de parámetros mecánicos que llegan a ser sensibles por algún daño estructural (Ierimonti, Cavalagli, Venanzi, García Macías, & Ubertini, 2021). El monitoreo del sistema SHM constituye el mayor despliegue de sensores estructurales, muestra un gran potencial y puede proporcionar una referencia para los sistemas de control de salud a largo plazo (B, Q, & H, 2017). La tecnología de autodiagnóstico del sensor del sistema SHM de construcción basada en la optimización de la carga de comunicación propuesta, tiene una importancia práctica obvia y los resultados de medición reales están en línea con la situación actual (Pallarés, Michele Betti, Gianni , & Luis , 2021). La implementación de control vibraciones de SHM hace que sea edificios inteligentes, de esta manera se identifique los daños en las estructuras y la supresión de vibraciones (Jia He, LinXu, Sheng Zhan, & Qin Huang, 2017). SHM prevé un mecanismo de control de rendimiento, lo que significa que el sistema extendido de modelo semántico principalmente en la descripción de las especificaciones de los nodos de sensores, se divide en rendimiento, restricción, economía; el rendimiento está relacionado con la sensibilidad, resolución y rango lineal, Histéresis, precisión, repetibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta de frecuencia (Stalin P, Theresa , & Kay , 2019).

Para la SHM, el análisis dinámico a la estructura del edificio ante un sismo, se observa diferentes fenómenos como fluctuaciones y variaciones estacionales ocasionados por la temperatura (Tronci, De Angelis, Betti, & Altomare, 2020). En los edificios existen varias causas que llegan a dañarlo y una de esas es el fuego que hace que el concreto pierda su durabilidad y resistencia lo cual se plantea el estudio SHM mediante métodos y la extracción de núcleos del concreto para la evaluación de las propiedades mecánicas y de durabilidad (Aseem, Latif Baloch, Arsalan Khushnood, & Mushtaq, 2019). Los edificios estudian los aspectos estéticos, históricos y arquitectónicos, pero se toma en cuenta las fisuras para su debida renovación, deduciendo como altera la rigidez y el comportamiento estructural en los edificios (Orenday Tapia, Tapia Tovar, & Pacheco Martínez, 2019).

Para el SHM en edificios se realiza estudios previos donde se toma en cuenta medidor de humedad, la resistencia, el potenciómetro, análisis de ondas y la modificación por impactos ambientales. Algunas partes de la estructura son afectadas por la humedad, fallas y descomposiciones provenientes de las cargas extensas que llegan a la desolación en las áreas donde existe nudos y grietas (Madhoushi, Ebrahimi, & Omidvar, 2021). En los edificios también existe elasticidad no lineal donde se puede observar deformaciones, grietas, dislocaciones en la estructura, lo cual una de las formas ideales para realizar el monitoreo de la salud estructural en los edificios en su evolución es predecir el daño en el transcurso de los años y así tomar decisiones para la prevención (Astorga, Guéguen, & Kashima, 2017), las estructuras no lineales en edificios sobre SHM en tiempo real usan dinámica rápida y técnica de algoritmos que determine los valores de la rigidez y el amortiguamiento del modelo no lineal de 2.59% y el suelo del terreno en 2.76% dentro del tiempo establecido, el SHM brinda un buen potencial con respeto al servicio de la estructura y la seguridad (Nayerloo, Geoffrey Chase, & Mohammad Rabiepour, 2020).

La simulación masiva es un procedimiento que da resultado a diferente modelos y etapas que al usar estos resultados permiten identificar el estado de la estructura, lo cual permite que los ingenieros puedan optar decisiones precisas para el mejoramiento de la salud estructural de edificios (Trung , y otros, 2018), mejora el nivel de visualización de la información, al mismo tiempo, este método puede registrar información y enviar la referencia pertinente para realizar y compartir la información de alerta temprana de seguridad (Langni, y otros, 2021). La seguridad de la salud estructural no se puede minimizar el alcance de vigilar las condiciones estructurales de acceso restringido y entornos hostiles, que se puede prevenir, minimizar y / o racionalizar (O'Shea & Murphy, 2020). La seguridad y la salud proporcionan información por defecto a todas las industrias relevantes de la construcción, se deben identificar, definir y estandarizar la inquisición en cada etapa del ciclo de vida del edificio (Herrmann , y otros, 2020). La vigilancia de una estructura con el amparo de la tecnología de mensuración establecida se aprovecha en estos tiempos para las estructuras con un proceso de daños

percibidos y modelos de construcción, el balance de la información permite acceder términos computarizados sobre las propiedades, estado y el procedimiento moderno de la estructura examinada en la ingeniería civil (Robert , Hubert , Katharina Klemt, & Steffen , 2020). El estudio de paquete de ondas es una elección factible ya que elimina ruidos y fluctuaciones localizadas en los datos SHM (Baas, Riggio, & Barbosab, 2021). El SHM en tiempo real en edificios evalúa la seguridad y el estado que se encuentra el edificio, mediante el uso de la prueba de vibración determina la forma y la amortiguación de los modales en el monitoreo, puede reducir la identificación en el sistema (Seon Park & Kwan Oh, 2017).

BIM y otras tecnologías en las edificaciones

En la construcción se da una gestión en la etapa de vida del edificio donde hace uso de varias tecnologías y métodos informativos, lo cual se hizo el estudio BIM para un mejor análisis en el diseño detallado y del sistema estructural para que se logre la producción de prototipos, integración y la verificación (Li, y otros, 2021). Las edificaciones pasan por un proceso de evaluación de la sostenibilidad del edificio lo cual es irreconciliable con las constructoras debido a los plazos en los proyectos, al usar BIM (Carvalho, Bragança, & Mateus, Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment, 2021). Las construcciones se tienen claro en cómo influye en el medio ambiente, para las tipologías de edificios ambientales, por eso se valúa distintas soluciones para la construcción empleando la herramienta BIM tomando los algoritmos de aprendizaje, esto proporciona información de las variables para resolver el impacto ambiental en los edificios (Martínez Rocamora, Rivera Gómez, Galán Marín, & Marrero, 2021). Las tendencias futuras también se considera la mejora de los métodos y herramientas de conversión automática de fotogrametría en el modelo de parámetros BIM, reduciendo las inexactitudes y la simplificación rigurosa, para alertar a los expertos y usuarios sobre situaciones peligrosas y para las actividades de mitigación de riesgos (Silvana , Mariella , & Fabio , 2018). Los modelos de información juegan un papel importante en la interpretación de lo que se construye porque

promueve prácticas de ingeniería y datos de monitoreo. Sin embargo, es un reto penetrar o aprovechar completamente algunos datos científicos relacionados con la estructura y las propiedades de los materiales (De Amicis , y otros, 2019).

El modelado BIM es un aplicativo que permite mejorar y aumentar el uso de normas y estándares ya establecidos, mejora la calidad de proyectos avanzados y la consistencia. Es viable ya que reduce el tiempo de verificación lo cual genera ahorros. BIM es un sistema informático que permite el intercambio de información entre otros softwares, esto permitirá el desarrollo para muchas empresas (Heyde Fernandes, Torres Formoso, & Tzortzopoulos Fazenda, 2018). La razón principal es la necesidad de combinar BIM con diferentes tecnologías, lo que resulta en una falta de interfuncionamiento con varios estándares en competencia para la gestión de datos, y la falta de equipos de proyectos experimentados. Por tanto, es necesario que se practique con la labor del proceso de estandarización para mejorar el uso de la tecnología BIM y sus beneficios con la perspectiva de la seguridad del edificio (María D, Mónica , & María , 2018). BIM es una herramienta muy útil que se plantea mediante dibujos para realizar una gestión de los edificios digitalmente, pero a la vez es tedioso cuando se trata de imágenes al plasmarlo en la herramienta, para obtener las características de la imagen o dibujos de diferentes diseños se toma como apoyo la tecnología de fase de imágenes ya que permite recopilar información de los dibujos de elementos estructurales y es un método confiable (Zhao, Deng, & Lai, 2021). BIM es una herramienta manejable y valiosa porque facilita en la toma de decisiones en la ingeniería civil, permite gestionar los datos del edificio, evaluar los diseños con exactitud en el proceso (Caterino, Nuzzo, Ianniello, Varchetta, & Cosenza, 2021). En la industria de la construcción BIM ha alcanzado cosas positivas en su uso y seguirá revolucionando años tras años, es una herramienta multidisciplinaria que se incorpora en un solo modelado, algunas empresas están optando esta tecnología ya que permite reducir errores en los proyectos a diferencia de lo que se usaba tradicionalmente como el AutoCAD o el papel (Loyola & López, 2018). Durante décadas, los investigadores utilizan equipos de captura de la realidad, visión por computadora y algoritmos de

modelado 3D para automatizar parte de la creación BIM y la reconstrucción, utilizando tecnología como escáneres láser para edificios existentes, cámara de digitalización y alcance (Thomas & Fernanda, 2020). El diseño de edificios se solicita condiciones tanto térmicas como la calidad del aire mediante un análisis detallado, una de las dificultades es la disconformidad de datos, mediante el modelo 3D y como base el uso de BIM para que se evalúe el beneficio energético y el confort del edificio para resolver la interoperabilidad en los cambios de datos (Utkucu & Sözer, 2020). La importancia y utilidades del método BIM es la capacidad de integrar objetos paramétricos en el modelo 3D, lo que les permite relacionar e instruirse con el resto de componentes, y suministrar un modelo paramétrico que acceda únicamente las funciones que se deben adaptar (Liu J. , Xu, Hyypä, & Liang, A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the life cycle of buildings, 2021). Los proyectos de construcción globales en el ámbito de la gestión de la obra, se incluyen el modelo 3D, ya que requieren una planificación de la seguridad y la prevención de riesgos laborales (Rodrigues , Estrada , Antunes , & Swuste , 2018). BIM tiene la capacidad de interpretar más exigente en el control de documentos y concede una relación similar a la observación de proyectos en desarrollo de construcción, la dificultad de no finalizar la vigilancia se resuelve en tipos y cantidades de sensores con simulación 3D en proyectos de edificios (Liu , Yuan , Wang , Zhang , & Shi , 2021). El monitoreo y la gestión estructural visualiza en 3D, basados en los requisitos del sistema, los módulos funcionales, el marco de integración del sistema, propusieron un sistema de monitoreo de la salud estructural, basado en el desarrollo secundario de Revit, la construcción de la estructura de monitoreo se aplica a través del establecimiento de un mecanismo de fusión de datos de BIM, que puede mejorar el flujo de información de monitoreo durante el proceso de construcción (Shi , Han , Liu , & Zhang , 2019). El estudio de un modelado que se aplica en BIM se determina los costos de los residuos de construcción en edificaciones, detallando el tipo de material y las etapas de trabajo. El aporte importante es el uso de la plataforma Autodesk Revit para cuantificar la acumulación de datos de modelos digitales basadas en la información de proyectos de edificios para producir más estimaciones de los residuos con la finalidad evaluar la salud estructural (de Almeida

Oliveira, Furtado Maués, Neves Rosa, de Gois Santos, & de Melo Seixas, 2020). BIM arquitectónico y SHM se modelan en Autodesk Revit Structure y luego se exportan a ETABS para el análisis estructural, se determina también la ubicación ideal para instalar sensores SHM, el sensor de deformación se modela y se coloca en la posición designada en el modelo BIM y la herramienta de visualización externa, verifica que el sensor modelado y sus datos relacionados se monitorean de manera efectiva en tiempo real en el sistema para lograr un entorno inteligente (Liu J. , Xu, Hyypa, & Liang, A Survey of Applications with Combined BIM and 3D Laser Scanning in the Life Cycle of Buildings, 2021), En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo donde se muestra tecnologías en el método estructural en edificación.

BIM modela una plataforma con el propósito de que adquiera todo el ciclo de vida como información de sensores (en vivo) para que fortalezca, proceda y aumente la seguridad en operación de edificios (Panah & Kioumars, 2021). El criterio de los sensores en el modelo BIM se utiliza para determinar cuándo la posición de la estructura excede el umbral de deformación predefinido y el estado de los elementos se actualiza y resalta los datos de otros sensores (como acelerómetros o temperatura) que se pueden integrar de la misma manera y la toma de decisiones para monitorear el estado del edificio oculto en el módulo del edificio durante su longevidad (Mojtaba , Ashutosh , & Osama , 2019).

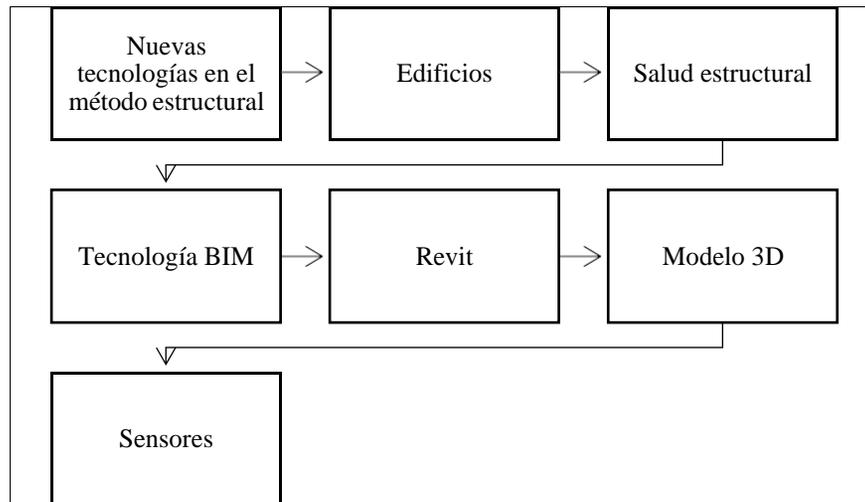
3.2. SHM y BIM

El sistema SHM mide el comportamiento estructural, por lo tanto, el modelo de análisis debe actualizarse con base en los datos de medición, estos problemas reducirán la posibilidad de interpretación física de los resultados del modelo (Tae , Sang , Sang I, & Sang, 2021) mediante BIM permite organizar y facilita el trabajo colaborativo de los proyectos de construcción teniendo conocimiento de cosas básicas como su concepto y las herramientas que se deben aplicar en diferentes plataformas, es fundamental para el monitoreo de la salud estructural, también existe deficiencia en tener conocimiento acerca de la ejecución de obras, pero no es complicado para el tema de la construcción ya que BIM contiene herramientas para el planteamiento de la construcción en edificios

u otros (Jobim, Stumpf, Edelweis, & Kern, 2017). La O&M (operaciones y mantenimiento de edificios) es un hábito en la actualidad donde BIM abarca de manera organizada y activa, ya que toma la importancia del mecanismo de transición para alcanzar un ambiente ya sea valioso, sencillo y garantizado a largo plazo, se requiere información de otros expertos y académicamente para mejorar el modelo (Lu, Chen, Lee, & Zhao, 2017). El análisis actual del edificio se afilió con BIM para un estudio bibliométrico y determinar el flujo de la obra y tener conocimiento del dilema interoperabilidad en el ciclo de vida del edificio (Jin, Zhong, Ma, Hashemi, & Ding, 2019).

BIM Comprende el modelo y las necesidades del usuario para respaldar la toma de decisiones en el diseño de procesos y la representación en el modelo, no solo depende de las necesidades individuales del usuario, sino que también depende de cómo algunos críticos definen los procesos y los diferentes tipos de necesidades evaluando el diseño de edificios sanitarios (Panah & Kioumars, Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review, 2021). El uso de BIM ha sido de suma ayuda en el rendimiento de los edificios y disminuye el efecto del medio ambiente para un buen futuro estructural, de esta manera permite distinguir y determinar los diseños en la primera etapa del proyecto y criterios de sostenibilidad (Carvalho, Bragança, & Mateus, Optimising building sustainability assessment using BIM, 2019). BIM es un gran beneficio en proyectos de construcción como la visualización, colaboración y la reducción en relación a la estimación de la cantidad, BIM permite solucionar debates en proyectos de construcción de terrenos no estudiados, si se implementa el BIM antes de la ejecución de algún proyecto constructivo hace que sea exitosa porque permite resolver problemas como disputas. El enfoque de BIM en la industria constructiva puede dar el inicio de nuevos estudios y aumentar beneficios como en la salud estructural (Araya, 2019). BIM se ha convertido en una poderosa herramienta de modelado para el diseño de construcción, en régimen de instalaciones y el análisis de vida útil de nuevas estructuras, se emplea para desarrollar herramientas integradas de visualización y monitoreo para promover SHM para estructuras actuales (Panah & Kioumars, Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A

systematic review, 2021). Una de las tecnologías o aplicaciones avanzadas para el futuro es BIM teniendo visión para campo constructivo, accede en la información para intercambiar y resumir en la etapa del proyecto de la construcción del edificio y la SHM (Huang, Ninić, & Zhang, 2020). Para establecer seguridad en proyectos de construcción en edificaciones ya planificados se emplea protocolo viable de tecnologías de realidad virtual como BIM, que permite las actividades administrativas y de esta manera se recopile datos conformes desde la tecnología BIM que se planifica dicho sitio, lo cual ha contribuido en decisiones con respecto al cronograma de construcción (Vito , Pietro , & Alessandro , 2021). El edificio compactado abarca la teoría de flexibilidad que alteran a la sostenibilidad en el diseño lo cual se orienta en BIM para aportar mejor conocimiento en la toma de decisiones específicas (Cavalliere, Dell'Osso, Favia, & Lovicario, 2019). BIM aprovecha datos SHM a lo largo del tiempo para facilitar la conservación y compensación de grandes estructuras, aunque es un desafío para los ingenieros rastrear la degradación gradual de la estructura desde la duración de vida, para analizar e interpretar gran cantidad de datos generados por la estructura monitoreada es una tarea larga y difícil (Chanakya , Ayan , Ehsan , & Scott , 2019). BIM perfecciona la fiabilidad, la solidez, se acopla las ventajas del monitoreo de la salud estructural, el sistema y desarrollo necesario debe precisar y establecer desde diferentes perspectivas, como agencias reguladoras, operadores de infraestructura y proveedores de servicios de monitoreo (Getuli, Capone, & Bruttini, 2021). BIM en las construcciones fuera de obra de los edificios no ha sido tan acogido a pesar de los resultados debido a la falta de conocimiento del tipo de construcción, ya que no informan el tipo de fabricación y componentes que se ha realizado (Abanda, M.Tah, & T.Cheung, 2017).



*Figura 1. Diagrama de flujo
Fuente: Propia*

4. CONCLUSIONES

El monitoreo de la salud de estructuras importantes y complejas generalmente precisa la muestra a gran escala de sensores para hacer que el edificio sea más indispensable, restablecer la aplicabilidad del modelo de evaluación a los ingenieros civiles y satisfacer las necesidades futuras, el modelado BIM está diseñado para evitar la pérdida de recursos y administrar con mayor precisión el tiempo de construcción estructural, o evitar costos innecesarios en futuras modificaciones. BIM permite una mejor gestión de datos durante el ciclo de vida de un edificio, utilizando software de modelado dinámico de edificios en dimensiones y en tiempo real. La tecnología recopila fielmente la información del edificio en forma digital para su posterior reconstrucción o mantenimiento.

Además, también se discuten dos métodos combinados de modelado 3D y BIM. Se basan en varias aplicaciones de tecnología combinada en la duración de vida de los edificios: monitoreo del progreso de la construcción, control de calidad de los miembros del edificio, seguridad, salud estructural, alivio de desastres y modelado de edificios existentes. Es preciso de desarrollar y adjuntar métodos computacionales y estrategias algorítmicas para aumentar la convicción del mantenimiento, la viabilidad y el proyecto de la construcción en un futuro.

5. REFERENCIAS

- Abanda, F. H., M.Tah, J. H., & T.Cheung, F. K. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*, 14, 89-102.
- Araya, F. (2019). State of the art of the use of BIM for the resolution of demands in construction projects. *Revista ingeniería de construcción*, 34(3), 299-306. doi:doi.org/10.4067/S0718-50732019000300299.
- Aseem, A., Latif Baloch, W., Arsalan Khushnood, R., & Mushtaq, A. (2019). Structural health assessment of fire damaged building using non-destructive testing and micro-graphical forensic analysis: A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 11, 00258. doi:doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00258
- Astorga, A., Guéguen, P., & Kashima, T. (2017). Nonlinear elasticity in buildings: a prospective way to monitor structural health. *Procedia Engineering*, 199, 2008-2013. doi:doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.328
- B, L., Q, Z., & H, Z. (2017). Structural health monitoring of a newly built high-piled wharf in a harbor with fiber Bragg grating sensor technology: Design and deployment. *Smart Structures and Systems*, 20(2), 163-173. doi:10.12989/sss.2017.20.2.163
- Baas, E. J., Riggio, M., & Barbosab, A. R. (2021). A methodological approach for structural health monitoring of mass-timber buildings under construction. *Construction and Building Materials*, 268, 121153. doi:doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121153
- Barontini, A., Masciotta, M. G., Ramos, L. F., Mendes, P. A., & Lourenço, P. B. (2017). An overview on nature-inspired optimization algorithms for Structural Health Monitoring of historical buildings. *Procedia Engineering*, 199, 3320-3325. doi:doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.439
- Bulajić, B. Đ., Todorovska, M. I., Manić, M. I., & Trifunac, M. D. (2020). Structural health monitoring study of the ZOIL building using earthquake records. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 133, 106105. doi:doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106105
- Cao, Y., Miraba, S., Rafiei, S., Ghabussi, A., Bokaei, F., Baharom, S., . . . Assilzadeh, H. (2020). Economic application of structural health monitoring and internet of things in efficiency of building information modeling. *Smart Structures and System*, 26(5), 559 - 573. doi:10.12989/sss.2020.26.5.559
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, 102, 170-182. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2021). Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment. *Computers in Industry*, 127, 103400. doi:doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400
- Caterino, N., Nuzzo, I., Ianniello, A., Varchetta, G., & Cosenza, E. (2021). A BIM-based decision-making framework for optimal seismic retrofit of existing buildings. *Engineering Structures*, 242(1), 112544. doi:doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112544

- Cavalliere, C., Dell'Osso, G. R., Favia, F., & Lovicario, M. (2019). BIM-based assessment metrics for the functional flexibility of building designs. *Automation in Construction*, 107, 102925. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102925
- Chanakya , B., Ayan , S., Ehsan , R., & Scott , P. (2019). Improved visualization of infrastructure monitoring data using building information modeling. *Structure and Infrastructure Engineering*, 15(9), 1247 - 1263.
- Chen, X., Chang Richards , A. Y., Pelosi , A., Jia , Y., Shen , X., Siddiqui , M., & Yang , N. (2021). Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(8), 0969-9988. doi:10.1108/ecam-02-2021-0172
- Chen, X., Chang Richards, A. Y., Pelosi, A., Jia, Y., Shen, X., Siddiqui, M. K., & Yang, N. (2021). Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(8), 0969-9988. doi:10.1108/ecam-02-2021-0172
- Davis, A. M., Mirsayar, M. M., & Hartl, D. J. (2021). A novel structural health monitoring approach in concrete structures using embedded magnetic shape memory alloy components. *Construction and Building Materials*, 311, 125212. doi:doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125212
- de Almeida Oliveira, F., Furtado Maués, L. M., Neves Rosa, C. C., de Gois Santos, D., & de Melo Seixas, R. (2020). Predicting waste generation in construction using BIM modeling. *Ambiente Construído*, 20(4), 157-176. doi:doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.063
- De Amicis , R., Riggio , M., Shahbaz Badr , A., Fick , J., Sanchez C, A., & Prather E, A. (2019). Cross-reality environments in smart buildings to advance STEM cyberlearning. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13(1), 331 - 348. doi:doi.org/10.1007/s12008-019-00546-x
- Getuli, V., Capone, P., & Bruttini, A. (2021). Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: an implementation protocol. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(2), 603 - 623. doi:10.1108/ECAM-11-2019-0647
- Hande , A., Gökhan , D., & Zeynep, I. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*, 161, 174 - 179. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.520
- Herrmann , R., Hille , F., Said , S., Sterthaus , J., Müller , K., Quercetti , T., . . . Baeßler , M. (2020). Implementing a structural health monitoring system using digital models of the bam large drop test facility in horstwalde. *Proceedings of the International Conference on Structural Dynamic , EUROLYN*, 1, 1293 - 1304. doi:10.47964/1120.9104.19686
- Heyde Fernandes, G. v., Torres Formoso, C., & Tzortzopoulos Fazenda, P. (2018). Method for automated verification of requirements in Social Housing developments. *Ambiente Construído*, 18(4), 259-278. doi:doi.org/10.1590/s1678-86212018000400304

- Hoefl, M., & Trask, C. (2021). Safety built right in: Exploring the occupational health and Safety Potential of BIM-based platforms throughout the building lifecycle. *Sustainability*, 14(10), 6104. doi:doi.org/10.3390/su14106104
- Hong, H., Lan, C., & Wang, L. (2020). Design of Dynamic Building Information System Based on Structural Health Monitoring Information System Based on Structural Health Monitoring Information. 11382. doi:10.1117/12.2558049
- Hou, G., Li, L., Xu, Z., Chen, Q., Liu, Y., & Qiu, B. (2021). A BIM-based visual warning management system for structural health monitoring integrated with LSTM network. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(8), 2779 - 2793. doi:10.1007/s12205-021-0565-0
- Hou, G., Li, L., Xu, Z., Chen, Q., Liu, Y., & Qiu, B. (2021). A BIM-based visual warning management system for structural health monitoring integrated with LSTM network. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(8), 2779 - 2793. doi:10.1007/s12205-021-0565-0
- Huang, M. Q., Ninić, J., & Zhang, Q. B. (2020). BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108, 103677. doi:doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677
- Ierimonti, L., Cavalagli, N., Venanzi, I., García Macías, E., & Ubertini, F. (2021). A transfer Bayesian learning methodology for structural health monitoring of monumental structures. *Engineering Structures*, 247, 113089. doi:doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113089
- Jia He, LinXu, Y., Sheng Zhan, & Qin Huang. (2017). Structural control and health monitoring of building structures with unknown ground excitations: Experimental investigation. *Journal of Sound and Vibration*, 390, 23-38. doi:doi.org/10.1016/j.jsv.2016.11.035
- Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., & Ding, L. (2019). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Automation in Construction*, 106, 102861. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102861
- Jobim, C., Stumpf, M., Edelweis, R., & Kern, A. (2017). Analysis of the implementation of BIM technology in project and construction offices in a Brazilian city in 2015. *Revista ingeniería de construcción*, 32(3), 185-194. doi:dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000300185
- Juan M, D., Liam J, B., Niamh, G., Ioannis, B., Mohammed Z, E., & Campbell, M. (2017). Management of structural monitoring data of bridges using BIM. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering*, 170(3), 204 - 218. doi:doi.org/10.1680/jbren.16.00013
- Kai Yan, Yao Zhang, Yan Yan, Cheng Xu, & Shuai Zhang. (2020). Fault diagnosis method of sensors in building structural health monitoring system based on communication load optimization. *Computer Communications*, 159, 310-316. doi:doi.org/10.1016/j.comcom.2020.05.026
- Kwan Oh, B., Kim, K. J., Kim, Y., Park, H. S., & Adeli, H. (2017). Evolutionary learning based sustainable strain sensing model for structural health monitoring of high-rise buildings. *Applied Soft Computing*, 58, 576-585. doi:doi.org/10.1016/j.asoc.2017.05.029
- Langni, D., Shijin, L., Jinchao, M., Lizhen, L., Mengjun, Z., Ling, L., & Zheng, Z. (2021). Visualization and monitoring information management of bridge structure health and safety

- early warning based on BIM. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(6), 427-438. doi:doi.org/10.1080/13467581.2020.1869013
- Li, L., Yuan, J., Tang, M., Xu, Z., Xu, W., & Cheng, Y. (2021). Developing a BIM-enabled building lifecycle management system for owners: Architecture and case scenario. *Automation in Construction*, 129, 103814. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103814
- Liu, J., Xu, D., Hyypä, J., & Liang, Y. (2021). A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the Life cycle of buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 5627 - 5637. doi:10.1109/JSTARS.2021.3068796
- Liu, Z., Yuan, C., Wang, Y., Zhang, A., & Shi, G. (2021). Basado en BIM inteligente vigilancia método por súper alto edificio con múltiples fuentes información. 47(4), 357 - 364.
- Liu, J., Xu, D., Hyypä, J., & Liang, Y. (2021). A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the life cycle of buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 5627 - 5637. doi:10.1109/JSTARS.2021.3068796
- Liu, J., Xu, D., Hyypä, J., & Liang, Y. (2021). A Survey of Applications with Combined BIM and 3D Laser Scanning in the Life Cycle of Buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 5627 - 5637. doi:10.1109/JSTARS.2021.3068796
- Liu, J., Xu, D., Hyypä, J., Liang, Y., Xu, D., Hyypä, J., & Liang, Y. (2021). A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the Life cycle of buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 5627 - 5637. doi:10.1109/JSTARS.2021.3068796
- Loyola, M., & López, F. (2018). An evaluation of the macro-scale adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013-2016. *Revista de la construcción*, 17(1), 158-171. doi:dx.doi.org/10.7764/rdlc.17.1.158.
- Lu, Q., Chen, L., Lee, S., & Zhao, X. (2017). Activity theory-based analysis of BIM implementation in building O&M and first response. *Automation in Construction*, 85, 317-332. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.017
- Madhoushi, M., Ebrahimi, S., & Omidvar, A. (2021). Structural health assessment of a historical building by using in situ stress wave NDT: a case study in Iran. *CERNE*, 27(2), 102535. doi:doi.org/10.1590/01047760202127012535
- María D, M., Mónica, L., & María, M. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety Science*, 101, 11 - 18. doi:doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.015
- Martínez Rocamora, A., Rivera Gómez, C., Galán Marín, C., & Marrero, M. (2021). Environmental benchmarking of building typologies through BIM-based combinatorial case studies. *Automation in Construction*, 132, 103980. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103980
- Marzouk, M., Metawie, M., ElSharkawy, M., Eid, A., & Hawas, S. (2019). Application of laser scanning technology in energy analysis and structural health monitoring of heritage

- buildings. *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, 21(1), 837. doi:10.1002/stc.1565
- Michael , T., & Kay , S. (2018). IFC Monitor – An IFC schema extension for modeling structural health monitoring systems. *Advanced Engineering Informatics*, 37, 54 - 65. doi:doi.org/10.1016/j.aei.2018.04.011
- Mojtaba , V., Ashutosh , B., & Osama , M. (2019). Development of a BIM-based data management system for structural health monitoring with application to modular buildings: Case study. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33(3). doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000826
- Nakamura, Y., & Okada, K. (2021). Effects and dynamic characteristics of the core-suspended isolation system assessed by long-term structural health monitoring. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 50, 2259-2276. doi:doi.org/10.1002/eqe.3437
- Nayerloo, M., Geoffrey Chase, J., & Mohammad Rabiepour, C. Z. (2020). Real-time structural health monitoring of nonlinear hysteretic structures using a fast and slow dynamics separation method. *IFAC Journal of Systems and Control*, 15, 100122. doi:doi.org/10.1016/j.ifacsc.2020.100122
- O’Shea, M., & Murphy, J. (2020). Design of a BIM integrated structural health monitoring system for a historic offshore lighthouse. *Buildings*, 10(7), 131. doi:doi.org/10.3390/buildings10070131
- Olivera López, J. J., & Oyarzo Vera, C. A. (2020). Structural diagnosis of a RC building based on its bio-seismic profile and an incremental dynamic analysis. *Obras y proyectos*(27), 95-106. doi:doi.org/10.4067/S0718-28132020000100095
- Orenday Tapia, E. E., Tapia Tovar, E., & Pacheco Martínez, J. (2019). Non-Destructive Interventions for the Diagnosis of the Structural Condition of Two Temples in Aguascalientes, Mexico. *Intervención (México DF)*, 10(19), 85-98. doi:doi.org/10.30763/intervencion.2019.19.211.
- Pallarés, F. J., Michele Betti, Gianni , B., & Luis , P. (2021). Structural health monitoring (SHM) and Nondestructive testing (NDT) of slender masonry structures: A practical review. *Construction and Building Materials*, 297, 123768. doi:doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123768
- Panah, R. S., & Kioumars, M. (2021). Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1 - 26. doi:10.3390/s21030837
- Panah, R. S., & Kioumars, M. (2021). Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1 - 26. doi:10.3390/s21030837
- Panah, R., & Kioumars, M. (2021). Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1 - 26. doi:10.3390/s21030837

- Panah, R., & Kioumars, M. (2021). Application of Building Information Modelling (BIM) in the Health Monitoring and Maintenance Process: A Systematic Review. *sensors*, 21(3), 1 - 26. doi:10.3390/s21030837
- Ren, X. (2020). Full-scale building structural health monitoring by shake table tests and extreme learning machine. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(4), 1939-1947. doi:10.1007/s10706-019-01140-4
- Robert, H., Hubert, N., Katharina Klemm, A., & Steffen, M. (2020). Konzept zur BIM-basierten Instandhaltung von Ingenieurbauwerken mit Monitoringssystemen. *Bautechnik*, 97(12), 826 - 835. doi:doi.org/10.1002/bate.202000095
- Rodrigues, F., Estrada, J., Antunes, F., & Swuste, P. (2018). Safety through design: A BIM-based framework. *Sustainable Civil Infrastructures*, 112 - 123. doi:10.1007/978-3-319-61645-2_9
- Rodrigues, F., Antunes, F., & Matos, R. (2019). Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM. *Construction Innovation*, 21(2), 244 - 258. doi:doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147
- Seon Park, H., & Kwan Oh, B. (2017). Real-time structural health monitoring of a supertall building under construction based on visual modal identification strategy. *Automation in Construction*, 85, 273-289. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.025
- Shi, Y., Han, P., Liu, J., & Zhang, Y. (2019). Design and application of structural health monitoring system based on BIM technology. *Progress in Steel Building Structures*, 21(2), 107 - 114.
- Silvana, B., Mariella, D., & Fabio, F. (2018). Historic building information modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. *Automation in Construction*, 86, 256-276. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.009
- Stalin P, I., Theresa, F., & Kay, S. (2019). A semantic model for wireless sensor networks in cognitive buildings. *Computing in Civil Engineering 2019: Smart Cities, Sustainability, and Resilience - Selected Papers from the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019*, 234 - 241. doi:10.1061/9780784482445.030
- Tae, H., Sang, H., Sang I, P., & Sang, H. (2021). Building information modeling-based bridge health monitoring for anomaly detection under complex loading conditions using artificial neural networks. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 11(5), 1301-1319. doi:doi.org/10.1007/s13349-021-00508-6
- Tatjana, V., Diana, K., M, R., Eugenio, P., & Edmundas, K. (2019). Building information modeling (BIM) for structural engineering: A bibliometric analysis of the literature. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1-19. doi:doi.org/10.1155/2019/5290690
- Thomas, C., & Fernanda, L. (2020). Automated digital modeling of existing buildings: A review of visual object recognition methods. *Automation in Construction*, 113(2), 103131. doi:10.1016/j.autcon.2020.103131
- Tronci, E. M., De Angelis, M., Betti, R., & Altomare, V. (2020). Vibration-based structural health monitoring of a RC-masonry tower equipped with non-conventional TMD. *Engineering Structures*, 224, 111212. doi:doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111212

- Trung , N., Luu, Al-Hakam , H., Polter , M., Scherer R, J., & Mansperger , T. (2018). A variation model method for real time system identification in bridge health monitoring. *IABSE Conference, Copenhagen 2018: Engineering the Past, to Meet the Needs of the Future - Report*, 360 - 366.
- Utkucu, D., & Sözer, H. (2020). Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. *Automation in Construction*, 116, 103225. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103225
- Vito , G., Pietro , C., & Alessandro , B. (2021). Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: an implementation protocol. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(2), 603 - 623. doi:10.1108/ECAM-11-2019-0647
- Wang, C., Xiao, J., Zhang, C., & Xiao, X. (2019). Structural health monitoring and performance analysis of a 12-story recycled aggregate concrete structure. *Engineering Structures*, 205, 110102. doi:doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110102
- Xu , J., & Moreu , F. (2021). A Review of augmented reality applications in civil infrastructure during the 4th industrial revolution. *Frontiers in Built Environment*, 7. doi:10.3389/fbuil.2021.640732
- Yan, K., Zhang, Y., Yan, Y., Xu, C., & Zhang, S. (2020). Fault diagnosis method of sensors in building structural health monitoring system based on communication load optimization. *Computer Communications*, 159, 310-316. doi:doi.org/10.1016/j.comcom.2020.05.026
- Zhao, Y., Deng, X., & Lai, H. (2021). Reconstructing BIM from 2D structural drawings for existing buildings. *Automation in Construction*, 128, 103750. doi:doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103750
- Zhou, M., Zhao, P., Ren, H., Shi, F., Feng, H., & Qin, L. (2021). A BIM based approach for structural health monitoring of bridges. *KSCCE Journal of Civil Engineering volume*, 26(1), 155–165. doi:10.1007/s12205-021-2040-3