



BOLETÍN TÉCNICO LanammeUCR

Volumen 1, N.º 3
Marzo, 2024

USO DE LA METODOLOGÍA BIM Y BrIM EN EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES

George Isaac Isaacs Aguilar

Asistente, Unidad de Puentes,
Programa de Ingeniería Estructural

Ing. Francisco Rodríguez Bardía

Unidad de Puentes,
Programa de Ingeniería Estructural



Introducción

Reseña histórica BIM

¿Qué es BIM?

El concepto BIM (*Building Information Modelling*, traducido como modelado de información de edificaciones) se refiere a una metodología de trabajo conformada por diferentes tecnologías y estándares que permiten el trabajo en un espacio virtual y de forma colaborativa en el desarrollo de proyectos en sus distintas etapas de vida, como su diseño, construcción (o demolición) y operación (ISO, 2018). En este sentido, las tecnologías permiten generar y gestionar información a partir de modelos durante todo el ciclo de vida del proyecto y permiten compartir esa información de forma estructurada entre todos los involucrados en el desarrollo del proyecto (CORFO, 2019). La metodología BIM incluye el uso de software para el desarrollo de modelos que contengan toda la información relacionada con un proyecto. En otras palabras, BIM pretende construir de forma digital una estructura con cierto nivel de detalle y así reemplazar sistemas tradicionales, como el uso de planos constructivos. (BIM Forum Chile, 2015)

Historia del BIM

Los inicios del BIM se remontan al año 1975, cuando Charles Eastman publicó un artículo llamado *The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design*, en el cual presentó un software llamado *Building Description System* (BDS). Este software permitía la creación de modelos mediante una interfaz gráfica y una base de datos organizada. Eastman concluyó que el BDS reducía considerablemente los costos de diseño. Sin embargo, fue el siguiente proyecto de Eastman, denominado GLIDE (*Graphical Language for Interactive Design*), el que exhibió casi todas las características de una plataforma moderna de BIM (Quirk, 2012).

El trabajo inicial de Eastman y una serie de avances en el área permitieron que, en 1984, Gábor Bojár creara ArchiCAD, un software que usaba tecnología similar al BDS. Sin embargo, este era un programa muy limitado que no podía ser usado a gran escala. Ante esto, en el año 2000, Leonid Raiz e Irwin Jungreis revolucionaron el mundo del BIM al crear una plataforma llamada Revit, la cual utilizaba un ambiente de programación visual para crear familias paramétricas y a la que se agregó un componente temporal que podía ser asociado con el modelo, aspecto representativo del BIM moderno. Más adelante, en el año 2002, Autodesk compró la compañía e inició la promoción del software, enfocándolo hacia un entorno colaborativo (Quirk, 2012).

Bridge Information Modelling (BrIM)

En contraste con las edificaciones, los proyectos de puentes son principalmente horizontales y, por su naturaleza, acarrear una serie de dificultades constructivas distintas (Tekla, 2022). Es por esta razón que nace el concepto BrIM, el cual es una extensión de la metodología BIM con un enfoque especializado hacia el desarrollo de proyectos de puentes. La metodología BrIM se basa en una representación completa de las características físicas y funcionales de un puente, con el desarrollo información para todas las etapas del ciclo vida de la estructura.

En 2020, el Departamento de Transporte de Nueva York lanzó su primer contrato basado en la metodología BrIM, el cual tenía un modelo tridimensional de un puente como elemento fundamental del proyecto. Este contrato se realizó con el objetivo de minimizar el uso de planos 2D y solicita que las empresas participantes usen un modelo 3D de todo el proyecto para manejar información sobre la topografía, carreteras, geotecnia y otros aspectos del puente. (Mabrich, 2020)

Puentes: un activo importante

Los puentes son estructuras que tienen un gran impacto sobre el desarrollo de un país o región, ya que permiten salvar el paso de una vía de tránsito u otras cargas móviles por diversos obstáculos para comunicar dos puntos geográficos de manera segura y eficiente. A lo largo de su vida de servicio,

los puentes sufren deterioro debido a su uso diario, a condiciones climáticas adversas y a eventos extremos, como sismos. La salida de operación de un puente trae consigo una serie de problemas para la sociedad, pues se limita el funcionamiento del sistema de transporte del cual forma parte y el tránsito puede verse obligado a tomar extensas rutas alternas que no necesariamente tienen la misma capacidad de flujo vehicular respecto a la vía de la cual el puente es parte (Barker & Puckett, 2013). Por lo tanto, un adecuado Sistema de Gestión de Puentes (SGP) es esencial para garantizar un control adecuado sobre las actividades de mantenimiento, y la metodología BRIM puede ser una potente herramienta para lograr los objetivos del SGP.

Sistemas de Gestión de Puentes (SGP) según el MP-2020

Definición

Los SGP se implementan en las organizaciones responsables de la administración de puentes para atender de forma efectiva los activos que están bajo su responsabilidad. Los SGP requieren del uso de herramientas como inspecciones para el registro de información sobre el estado actual de los puentes y sus propiedades, con el objetivo de poder contar con lo necesario para generar una priorización de atención de los puentes del inventario.

Componentes

Los SGP tienen una serie de componentes que ayudan en la toma de decisiones por parte de la administración. Entre estos se encuentran:

1. Involucramiento de la alta gerencia: la alta gerencia es la responsable de la toma de decisiones a nivel estratégico; su involucramiento hace más fácil, efectivo y permanente el proceso de implementación de un SGP. Además, es la encargada de la asignación de los recursos y fondos necesarios para el SGP.
2. Estructura organizacional: estructura jerárquica particular del SGP que permite realizar las actividades de gestión de manera ágil, facilitando la comunicación entre los involucrados.
3. Recolección de datos: este es un proceso sistemático y cíclico en un SGP, su objetivo final

es recolectar la información correcta para ser provista al usuario adecuado cuando se necesite.

4. Coordinación entre los responsables de las actividades de planificación: debe existir retroalimentación entre los responsables de estas actividades, las decisiones que surjan de esta retroalimentación se deben incorporar en las herramientas analíticas de optimización.
5. Coordinación entre los responsables de la ejecución y seguimiento de proyectos de puentes y los responsables de planificación de intervenciones: para la futura toma de decisiones, los responsables de la ejecución y seguimiento deben dar retroalimentación sobre sus actividades a los encargados de la planificación. A su vez, estos últimos deben dar recomendaciones sobre las actividades de ejecución y seguimiento al personal encargado de estas labores.
6. Priorización de intervenciones: se realiza con base en la información disponible en las bases de datos. Se trata de optimizar las intervenciones a nivel de red, buscando maximizar el beneficio y minimizar costos y riesgos.
7. Comunicación con audiencias externas: es parte de las prácticas de rendición de cuentas y transparencia dentro del SGP. Permite identificar necesidades, metas, objetivos y desempeño de la red de puentes.
8. Herramienta analítica: programas informáticos u hojas de cálculo que apoyan la gestión de datos, con el fin de generar información para la toma de decisiones.

Datos mínimos de un SGP

La base de datos de un SGP es un repositorio que contiene datos e información procesada donde se almacena el expediente de cada estructura con información actualizada y donde también se recopila y documentan registros históricos. La base de datos es la principal fuente para contar con una gestión de puentes efectiva, ya que brinda información a la herramienta analítica. Con los datos contenidos en este repositorio se pueden tomar decisiones costo-efectivas para las acciones sobre puentes. En la Figura 1 se muestran los datos mínimos que debe contener la base de datos de un SGP.



Figura 1. Datos mínimos de un SGP

Herramientas analíticas de un SGP

La implementación y uso de herramientas analíticas en un SGP se hace con el fin de almacenar, analizar y brindar acceso a la información para la toma de decisiones. La escogencia de esa herramienta debe estar acorde a las políticas, objetivos, tamaño y posibilidades de la organización. La herramienta debe ser capaz de integrar los mecanismos necesarios para cumplir de forma eficiente y adecuada las metas de un SGP.

La herramienta analítica está estrechamente ligada a una base de datos, según AASHTO (1993). Un SGP debe incluir una base de datos y una herramienta informática que apoye en las siguientes labores:

- Proveer análisis y resúmenes de los datos
- Utilizar modelos y algoritmos para hacer predicciones y recomendaciones
- Proveer los medios para considerar eficientemente políticas y programas alternativos
- Facilitar la recolección, el procesamiento y la actualización de los datos requeridos

SGP con metodología BrIM

Los SGP pueden apropiarse de los modelos BrIM para facilitar la visualización durante todo el ciclo de vida de un puente, desde su conceptualización hasta su demolición. Actualmente, los modelos BrIM han sido mejorados para incorporar más detalles, hasta el punto en que usualmente son llamados gemelos digitales (DTs por sus siglas en inglés). Cuando estos modelos se generan durante la etapa de diseño del puente, se pueden predecir y resolver desde antes muchos problemas de las etapas de operación y mantenimiento. La resolución de estos problemas conlleva a una reducción significativa de costos durante la etapa de operación de la estructura (Dayan, 2022).

También, dentro de un SGP, la recolección de datos es uno de sus componentes esenciales, actividad que puede complicarse por la gran cantidad de información que se maneja, razón por la que una correcta automatización y gestión de los datos es necesaria para crear un SGP práctico y organizado. De esta forma, la metodología BrIM puede jugar un rol relevante en la integración de datos dentro del SGP, lo que da lugar a una mayor eficiencia en cuanto al monitoreo de la condición, operación, mantenimiento y seguridad (Bryde et al., 2013).

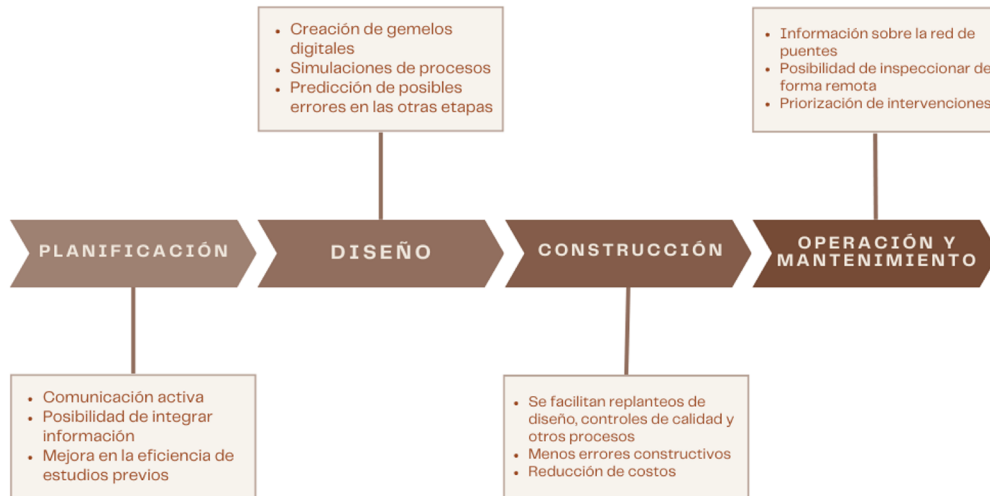


Figura 2. Beneficios de la implementación de modelos 3D y BrIM en el ciclo de vida de un puente.

En la figura 2 se muestran algunos beneficios de la metodología BrIM durante las etapas del ciclo de vida de puente.

Priorización de puentes y proceso de optimización de mantenimiento

Según Farrar & Worden (2006), la técnica de monitoreo de la salud estructural (SHM, por sus siglas en inglés) es un proceso que involucra la observación de un sistema estructural a través del tiempo mediante mediciones periódicas. De estas mediciones se extraen características sensibles a daños; el posterior análisis estadístico de estas mediciones permite determinar el estado actual del sistema de salud de la estructura. Dayan (2022) menciona que la información que se obtiene para un SGP puede ser usada para actualizar el estado de salud del puente, lo que da sitio a la optimización de su mantenimiento.

En su artículo, Dayan presenta un marco de trabajo que se puede seguir para realizar el proceso de optimización antes mencionado (ver Figura 3). Se parte con los datos del puente obtenidos a partir de diversas inspecciones, y luego, se construye o bien se actualiza un modelo de elemento finito (MEF) utilizando esos datos. Mediante el modelo generado, se analiza la capacidad de carga y el rendimiento del ciclo de vida de la estructura. Si aún

no se completa la vida útil de servicio de puente, se procede con el monitoreo de la vida estructural, donde se obtiene información relevante que permite actualizar el rendimiento del ciclo de vida. Una vez hecho el proceso anterior, se ejecuta la optimización de mantenimiento. Esto lleva a una actualización del modelo de elemento finito (MEF) y el proceso se repite hasta que concluye la vida de útil del puente.

En cuanto a la priorización de intervenciones basada en riesgos, se consideran una serie de criterios y procedimientos con el propósito de hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles para las inspecciones, ya que se busca enfocar los esfuerzos de inspección en las estructuras que más lo necesitan. Para ello se consideran aspectos como: tipo de estructura, edad, condición, importancia, ambiente, cargas y problemas previos (TRB, 2014).

Dayan plantea que los sistemas de monitoreo de puentes pueden ser usados para generar una advertencia de seguridad temprana ante condiciones climáticas severas, de forma tal que se pueda responder preventivamente ante huracanes o tormentas. Según Dayan, la adición de la información de las inspecciones a un modelo BrIM puede mejorar la toma de decisiones referidas al mantenimiento, ya que con modelos BrIM es posible visualizar de forma directa el estado actual de la estructura.

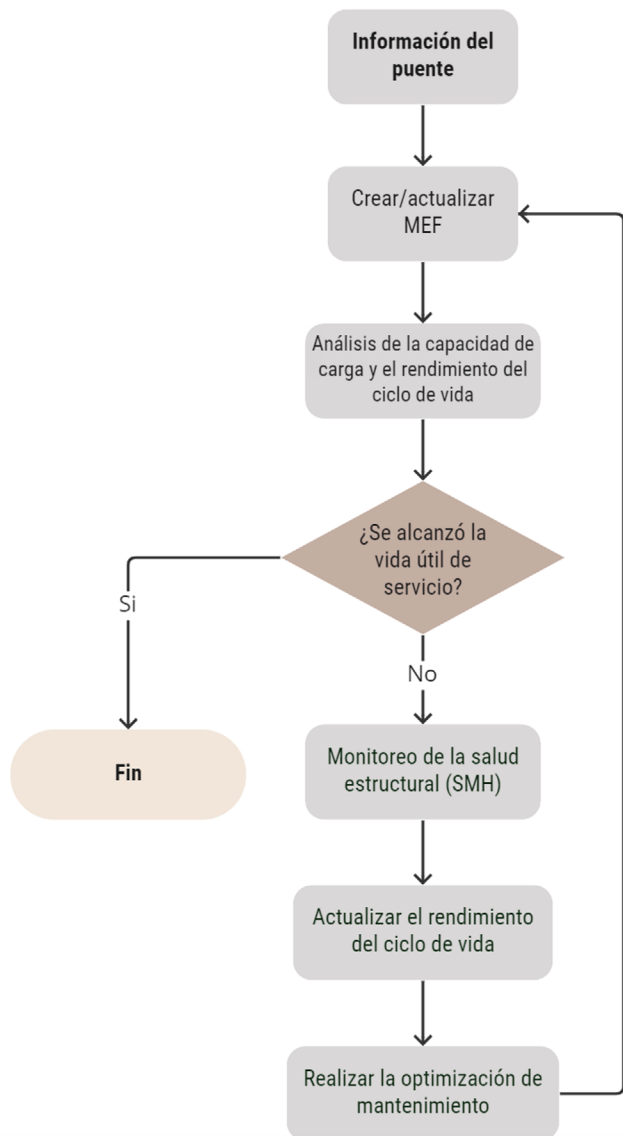


Figura 3. Marco de trabajo para el SGP.
Modificado de Dayan (2022)

Situación actual y retos futuros

El propósito de la gestión de puentes es monitorear un inventario de estas estructuras durante todo su ciclo de vida. Para mantener una verificación de salud a largo plazo se requiere de la inclusión de datos de entrada. Sin embargo, los costos de inspecciones visuales, riesgos de seguridad y desafíos ligados a la obtención de la información sobre un puente han inspirado a los encargados de su gestión a centrarse en la automatización mediante la implementación

de BrIM. Así, los SGP basados en BrIM se presentan como sistemas más eficientes que requieren menos intervención humana.

No obstante, la implementación de esta tecnología a los SGP aún cuenta con una gran serie de limitaciones. Según menciona Dayan (2022), dentro de los flujos de trabajo de los SGP, la optimización del mantenimiento se limita a una sola estructura, mientras que debería ser capaz de extenderse a todos los puentes que conforman la red del sistema.

En cuanto al modelado 3D y datos de inventario, se espera que las tecnologías en desarrollo permitan generar modelos cada vez más detallados; un modelo con mucha más información sobre las características del puente podría ayudar a la automatización de la recolección de datos, así como al monitoreo de su condición.

Respecto con la gestión de la construcción, gran parte de los estudios y proyectos se enfocan en el control de costos de una sola estructura, sin embargo, los proyectos de carreteras de gran escala usualmente incorporan varias estructuras, por lo que es necesario implementar controles de costos basados en toda la red.

También, es importante destacar que en el área de inspecciones también se cuenta con limitaciones, por ejemplo: la incapacidad de procesar imágenes de forma inmediata luego de la inspección, lo cual puede resultar en una falta de información o en una demora en la obtención de resultados. Además, aún no se ha logrado una captura de imágenes completamente automatizada.

En la predicción de la condición y priorización basada en riesgos también se tienen desafíos a superar. En los modelos 3D actuales basados en BIM aún no se logra incorporar la priorización de estructuras en la red, por lo que se espera que los futuros sistemas de priorización sí tomen en cuenta este aspecto. (Dayan, 2022)

Respecto al ámbito nacional, en Agüero y Villalobos (2019) se describe la necesidad de implementar un SGP en Costa Rica, dada la ausencia de un registro histórico del estado de la condición oficial del inventario de puentes y la falta de cálculo de la inversión necesaria para llevar ese inventario a un estado aceptable. Se enfatiza que, siendo Costa

Rica un país en vías de desarrollo, es fundamental administrar los limitados recursos de manera eficiente, lograr un nivel adecuado de servicio y seguridad para los usuarios.

La implementación de un sistema BrIM puede solventar muchos de los problemas del país en materia de gestión de puentes. Al usar esta tecnología, se incrementaría la eficiencia del proceso de diseño, así como su rapidez. Además, se tendría una reducción considerable en los errores de construcción y en los desperdicios asociados a esta etapa del proyecto. BrIM permitiría al SGP una administración más inteligente de sus activos, ya que se podrían desarrollar inspecciones basadas en el modelo 3D de la estructura, cuya condición podría ser monitoreada de forma constante con el fin de brindar mantenimiento.

Actualmente, en Costa Rica solo se cuenta con un proyecto piloto para la implementación de la metodología BrIM. Este se trata del Plan de Ejecución BIM para la carretera San Gerardo-Barranca, en la Ruta Nacional No. 1, donde se busca establecer estrategias y procesos generales aplicables a la ampliación y rehabilitación del tramo de carretera. El plan pretende indicar los flujos de trabajo de las partes involucradas durante todo el proceso constructivo, así como la tecnología que se utilizará en su desarrollo. El plan de ejecución BIM es un insumo del proyecto que contempla todo hasta la parte constructiva, sin embargo, se deja por fuera el mantenimiento y la puesta en operación.

Conclusiones

Los SGP pueden aprovechar los beneficios de los modelos derivados de la metodología BIM para mejorar la visualización y la planificación del ciclo de vida de un puente. La implementación de la tecnología BrIM y el uso de modelos puede mejorar la eficiencia y reducir los costos en los proyectos de infraestructura debido a la capacidad de anticipar y resolver errores durante las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento. A su vez, dan lugar a una gestión más práctica y organizada de la información del puente, lo que permite la integración de datos dentro del SGP, ayudando al monitoreo de la condición, operación, seguridad y mantenimiento de la estructura.

En general, mediante BrIM se pueden alcanzar las mejores estrategias y planes operacionales que se consideren óptimos por la organización encargada de la gestión. A su vez, se expresa que la adición de información a un modelo 3D basado en BIM puede mejorar la toma de decisiones referidas al mantenimiento, ya que es posible visualizar de forma directa el estado actual de la estructura. También, con base en esta información se puede predecir el deterioro y la priorización de intervenciones durante la etapa de conceptualización, en la que se podrían obtener alternativas optimizadas de diseño que reduzcan de forma considerable los costos de construcción.

A pesar de los avances tecnológicos en materia de BrIM, su aplicación a puentes aún cuenta con muchas limitaciones. Uno de los desafíos más comunes es la incapacidad de extender la metodología a una red completa de puentes, pues gran parte de los estudios y aplicaciones se limitan a analizar el impacto en una sola estructura, por lo que se espera que en el futuro se logre implementar BrIM a mayor escala. En adición, aún se cuentan con pocos proyectos piloto que tomen en cuenta esta tecnología para el desarrollo de nueva infraestructura. Actualmente, en Costa Rica solo se tiene un único proyecto, el cual consiste en la ampliación y rehabilitación de un tramo de la Ruta Nacional n.º 1, sin abarcar temas de operación y mantenimiento.

Referencias

- Aguero, P., & Villalobos, E. (2019). Gestión de puentes (Entrega I): Componentes básicos e implementación. *Programa de Ingeniería Estructural*, 4(1), ISSN: 2215-4566. https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1732/Boletin_Estructuras%20N1_Vol_4%20_2019.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Barker, R. M. y Puckett, J. A. (2013). *Design of Highway Bridges. An LRFD Approach (Third Edition)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- BIM Forum Chile. (2015, 28 abril). ¿Qué es BIM? – BIM Forum Chile. <https://bimforum.cl/2015/04/28/noticias-2/>

- Bryde, D., Broquetas, M., y Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971-980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- CORFO. (2021, 1 junio). *Plan BIM - Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de Información entre Solicitante y Proveedores*. Planbim. <https://planbim.cl/documentos/estandar-bim-para-proyectos-publicos/>
- Dayan, V., Edwards, D. J., y Hassanli, R. (2022). A Scoping Review of Information-Modeling Development in Bridge Management Systems. *Journal of the Construction Division and Management*, 148(9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002340](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002340)
- Farrar, C. R., & Worden, K. (2006). An introduction to structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851), 303-315. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1928>
- Frangopol, D. M., y Li, M. (2007). Bridge Network Maintenance Optimization Using Stochastic Dynamic Programming. *Journal of Structural Engineering-asce*, 133(12), 1772-1782. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2007\)133:12\(1772](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2007)133:12(1772)
- Gaitán Cardona, J. S., y Gómez Cabrera, A. (2014). Uso de la metodología BRIM (Bridge Information Modeling) como herramienta para la planificación de la construcción de un puente de concreto en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(2), 145. <https://doi.org/10.18359/rcin.398>
- ISO. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*. Online Browsing Platform ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-1:ed-1:v1:en>
- Lee, S., Kalos, N., y Shin, H. D. (2014). Non-destructive testing methods in the U.S. for bridge inspection and maintenance. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1322-1331. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0633-9>
- Mabrigh, A. (2020, 28 agosto). *Bridge Information Modeling (BrIM)*. Civil + Structural Engineer Magazine. <https://cseengineermag.com/bridge-information-modeling-brim/>
- Quirk, V. (2012, 7 diciembre). *A Brief History of BIM*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>
- Sadhu, A., Peplinski, J. E., Mohammadkhorasani, A., y Moreu, F. (2022). A Review of Data Management and Visualization Techniques for Structural Health Monitoring Using BIM and Virtual or Augmented Reality. *Journal of Structural Engineering-asce*, 149(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0003498](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0003498)
- Tekla. (2022, 11 noviembre). *Bridge Information Modeling (BrIM) brings bridge engineering to the modern era*. Trimble. <https://www.tekla.com/resources/articles/bridge-information-modeling-brim-brings-bridge-engineering-to-the-modern-era-2>
- TRB. (2014). *NCHRP Report 782: Proposed Guideline for Reliability-Based Bridge Inspection Practices*. Washington, DC: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. Disponible en: <https://www.trb.org/Publications/Blurbs/171448.aspx>
- Zollini, S., Alicandro, M., Dominici, D., Quaresima, R., y Giallonardo, M. (2020). UAV Photogrammetry for Concrete Bridge Inspection Using Object-Based Image Analysis (OBIA). *Remote Sensing*, 12(19), 3180. <https://doi.org/10.3390/rs12193180>

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



Revisor:

- Ing. Julian Trejos Villalobos
Coordinador a.i. del Programa de Ingeniería Estructural

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: MSc. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

USO DE LA METODOLOGÍA BIM Y BrIM EN EL DESARROLLO DE
SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES

Palabras clave: BrIM, Puentes, SGP, BIM, modelado.

☎ (506) 2511- 2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr