

Gemelos digitales para la administración de proyectos. Casos de estudio: trazo topográfico de la línea del cablebús en Uruapan, Michoacán, México y la revisión de la construcción de la estación Constituyentes del cablebús, Ciudad de México, México.

Digital twins for project management. Case studies: topographic survey of the cablebús line in Uruapan, Michoacán, Mexico, and the review of the construction of the Constituyentes station of the cablebús, Mexico City, Mexico.

Clementina Palomo¹

Artículos científicos

Citar: Palomo Beltran, C. (2026) Gemelos digitales para la administración de proyectos. Casos de estudio: trazo topográfico de la línea del cablebús en Uruapan, Michoacán, México y la revisión de la construcción de la estación Constituyentes del cablebús, Ciudad de México, México.. *Teks del Sud*, 7, pp. 73-86

Resumen

Las herramientas para la planeación, la gestión y la construcción en la rama del diseño han evolucionado conforme la tecnología avanza. Los aparatos como los escáneres láser y estaciones totales en la rama de la topografía son cada vez más precisos, pues trabajan con información satelital. El producto de los aparatos antes mencionados son las nubes de puntos consideradas también gemelos digitales. Las nubes de puntos son pertinentes para la administración de proyectos. El objetivo del artículo es explicar la importancia del uso de gemelos digitales en la gestión de proyectos. Se presentan dos metodologías aplicadas para el levantamiento de nubes de puntos georreferenciadas, la primera con estaciones totales TS16 y una antena Móvil RTK GNSS Leica GS18 y la segunda con escáner láser RTC360; ambas generan un gemelo digital. Se presentan como casos de estudio el trazo topográfico del Cablebús Uruapan, Michoacán, México y el escaneo de una estación tipo del Cablebús Constituyentes en Ciudad de México. Los resultados muestran la precisión buscada antes y después de la construcción de los proyectos mencionados; se destaca la posibilidad de utilizar gemelos digitales con la implementación de realidad mixta para las intervenciones, mantenimiento y control de proyectos.

Palabras clave: nubes de puntos, gemelos digitales, gestión de proyectos, realidad mixta.

Abstract

The tools for planning, management, and construction in the design field have involve alongside technological advancements, thereby enriching construction methodologies. Devices such as laser scanners and total stations are becoming increasingly precise as they utilize satellite data. The output generated by these devices is known as point clouds, or digital

¹ Sección de investigación de posgrado – Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
e-mail: palomo.clementina@gmail.com

twins, which play a significant role in project management. This article aims to elucidate the importance of using digital twins in project management. Two methodologies for creating georeferenced point clouds are discussed: the first employs TS16 total stations along with a Leica GS18GNSS RTK mobile antenna, while the second utilizes an RTC360 laser scanner; both approaches generate a digital twin. Case studies include the topographic survey of the Uruapan Cablebús in Mexico City. The results showcase the desired accuracy achieved before and after the construction of these projects, emphasizing the potential of digital twins when integrated with mixed reality for project interventions, maintenance, and control.

Keywords: point clouds, digital twins, project management and mixed reality.

Introducción

El espacio contenido en la arquitectura tiene diferentes áreas de exploración, de entre las cuales podemos hablar del fenómeno del uso del espacio y su modificación a través de metodologías tecnológicas sofisticadas. La búsqueda y exploración de herramientas y metodologías que mejoren el mantenimiento, la administración del espacio y las actividades involucradas para la modificación, adaptación o configuración de este han llevado a los grupos de interés en la industria de la construcción al uso y aplicación de tecnologías de última generación, como lo son el uso de gemelos digitales y la realidad mixta (RM).

Los gemelos digitales se definen como la representación detallada virtual georreferenciada (ubicación en coordenadas X, Y y Z en el espacio) de un objeto físico. Por otro lado, la realidad mixta es una interfaz de interacción computadora-usuario que consiste en la inmersión en entornos digitales complementados con la realidad física, es decir, permite la alineación de objetos reales y virtuales en el espacio y en tiempo real.

Como menciona Palomo (2015) "... la tecnología surge para satisfacer las necesidades del hombre...", dado que vivimos en un entorno que evoluciona a cada instante y la evolución de la tecnología afecta el ritmo en las actividades cotidianas. Por su parte, los involucrados en el diseño del espacio y en la tecnología deben tener una convergencia donde encuentren una propuesta en los procesos de diseño y construcción más precisos, para que resulten más eficientes.

En la actualidad la gestión de los proyectos arquitectónicos requiere una interoperabilidad entre todos los involucrados, por lo que el uso de gemelos digitales permite tener mayor control en el manejo de la información en cada fase del proyecto y desde diferentes áreas de diseño. Los gemelos digitales, como herramienta en la aplicación de metodologías de gestión de información y de procesos construidos, se vuelven aún más eficientes cuando se utiliza la RM.

Esta investigación pretende explicar la importancia del uso de gemelos digitales en el proceso de gestión de proyectos y la implementación de la realidad mixta como herramienta de monitoreo e intervención de espacios. Como caso de estudio se presenta una metodología utilizando tecnologías complementarias para el levantamiento de puntos topográficos en la comunidad de Uruapan, Michoacán, México como puntos de referencia para el Cablebús Uruapan y el levantamiento con escáner de una estación del Cablebús en Constituyentes, CDMX, México.

Marco teórico

Gestión de proyectos con nubes de puntos en México

El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (CNMH) y el Laboratorio de Imagen y Análisis Dimensional (LIAD), implementaron en 2009 el uso del escáner láser para mejorar el registro tridimensional de los monumentos históricos y arqueológicos (Mora, 2012).

Según Mora (2012), las primeras aplicaciones del uso de gemelos digitales en México se realizaron en la industria del petróleo, dadas las condiciones difíciles de acceso y altas temperaturas en las instalaciones de las refinerías; sin embargo, en Europa ya había una valoración de los resultados del escaneo y allí lo vieron como un área de oportunidad para proyectos de intervención, conservación e investigación, considerando la ventaja de registro idéntico al objeto arquitectónico. La potencialización de los resultados recae en las metodologías utilizadas para obtener resultados más precisos.

Los levantamientos realizados con escáner láser a edificios construidos o terrenos sin intervención son llamados modelos tridimensionales digitales y se componen de millones de puntos que están posicionados en coordenadas X, Y y Z. Al conjunto de todos estos puntos que componen el levantamiento se le llama nube de puntos y puede tener mayor densidad según la definición o precisión requerida, o bien según la tecnología ofrecida por los equipos de escaneo.

En México la metodología impartida por la Universidad Politécnica de Valencia fue documentada por el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio en el proyecto “Implementación de nuevos métodos de documentación y registro fotogramétrico digital para la protección y puesta en valor del patrimonio monumental mexicano” (Mora, 2012).

En 2014 Araceli Peralta registró el levantamiento arquitectónico del conjunto conventual de San Bernardino de Siena, Xochimilco, con la tecnología escáner láser 3D. La metodología de escaneo se realizó con un escáner láser P20 para el levantamiento topográfico y arquitectónico, mientras que la georreferenciación se realizó con una estación total TS-11 y una antena receptora Viva GS-14. El punto de partida de Peralta (2014) radicó en ajustarse a lo indicado por el Comité Internacional para la Documentación del Patrimonio Cultural, el cual solicita la documentación y almacenamiento del edificio a interve-

nir. Los hallazgos obtenidos durante el procesamiento fueron la detección de deterioros ocasionados por el paso del tiempo, los desastres naturales o la negligencia humana. La información le permitió dar soporte digital a los especialistas.

En 2019 Córdova documenta su trabajo con tecnología de escaneo láser, en Chalcatzingo. El trabajo de Córdova muestra las prácticas realizadas en el área de conservación del patrimonio arqueológico como edificios de difícil acceso para la sociedad.

Córdova (2019) amplía el uso de gemelos digitales en la investigación y actualización de la información que se conoce del asentamiento prehispánico. Entre las ventajas del uso de gemelos digitales está el registro inmediato para la conservación de los nuevos hallazgos en sitio. La mayor utilidad la reconoce cuando los datos y modelos derivados son ensamblados o vinculados con la información de diferentes áreas, ampliando el panorama del estudio.

Actualmente las empresas que se han actualizado en el uso de gemelos digitales y la gestión de proyectos en áreas de topografía, diseño, desarrollo y construcción de proyectos, así como control y mantenimiento de edificios, han visto beneficios significativos en la planeación y visualización, en tiempo real, de las intervenciones futuras.

El 9 de agosto de 2024 se realizó una entrevista al Ing. Abraham Alatríste, colaborador de la empresa CIBERNA², empresa de topografía y captura de la realidad en México. El Ing. Abraham Alatríste explicó que la idea de la captura de la realidad nació después del sismo de septiembre de 2017. En ese año creció también la demanda de datos estructurales precisos de los edificios afectados, ya que los especialistas no podían realizar la visita física, había mucho que revisar y la mayoría de los responsables se encontraban realizando el análisis de otros edificios, por lo que no daban abasto.

El levantamiento de los edificios afectados por el sismo a partir de la captura de la realidad, o bien su escaneo, permitió tener modelos idénticos para ser analizados a partir de una nube de puntos. Los resultados de la captura de la realidad se convirtieron en una herramienta para realizar un laboratorio virtual de dictaminación estructural para los directores responsables de obra y corresponsables de seguridad estructural; profesionistas que, además, en su mayoría tenían una edad avanzada que no les permitía un traslado fácil a diferentes puntos de la ciudad.

El escáner láser en México fue, hasta antes del sismo, una herramienta únicamente utilizada en el área de estudio de la topografía; el uso que se le daba era para la exploración en minas; la captura de la realidad se realizaba en edificios con valor histórico de acuerdo con el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), pero sólo se enfocaba en temas de conservación y documentación. Tras el sismo del 2017, se estimaron 3.000 edificios dañados en la CDMX: el INAH reportó 3.629 inmuebles históricos y zonas

² CIBERNA es empresa pionera en el uso de tecnologías de captura de la realidad. <https://www.ciberna.com.mx/>

arqueológicas en 11 entidades (INAH, 2022); esto sólo como dato para constatar que las instituciones no estaban preparadas, y como país el sismo superó la capacidad de respuesta a la demanda de estudiar, analizar y dictaminar los inmuebles afectados.

Dadas las circunstancias anteriores, el equipo de trabajo de CIBERNA vio la oportunidad de usar el escáner láser como una herramienta para poder levantar, estudiar y analizar los elementos estructurales de los inmuebles dañados; y con base en estos análisis los directores responsables de obra y los corresponsables de seguridad estructural, tomaran decisiones justificadas sobre metodologías de intervención en los inmuebles para mitigar el riesgo. Los entregables en el proceso de intervención se resumían en reportes técnicos que incluían análisis del desplome de columnas y desniveles en piso.

Con la tecnología ha evolucionado el valor de la captura de la realidad con escáner y en las metodologías actuales es parte de los procesos de monitoreo y planeación en proyectos de construcción. El uso del escáner láser en México en proyectos de construcción ya no es nuevo, pues resulta indispensable tanto en proyectos pequeños como en megaproyectos, como aeropuertos, plantas industriales, farmacéuticas y centros comerciales, o incluso en intervenciones en proyectos ya construidos.

Normatividad de la captura de la realidad y gemelos digitales en México

Una publicación relevante para la administración de proyectos con metodología BIM en México, fue la Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México (2019).

El documento fue publicado en 2019 por la Unidad de Inversiones de la Subsecretaría de Egresos de la Secretaría de Hacienda. Busca impulsar medidas orientadas a mejorar los procesos de desarrollo de la infraestructura pública (incluyendo una mejora en la eficiencia de la planeación), disminuir sobretiempos y sobrecostos, así como fortalecer la transparencia y la rendición de cuentas. Todo lo anterior se basa en tratados y acuerdos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030), la Declaración del Gobierno Abierto (Open Government) C1, el Plan de Gobierno Abierto-México, la Alianza para las Contrataciones Abiertas MX y en coordinación con el Reino Unido, el gobierno de México elaboró el Memorandum de Entendimiento para la Colaboración, documento que tiene por objetivo promover el intercambio de información y mejores prácticas sobre las estrategias para la implementación de BIM en México.

La Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción en México (MIC, 2019) determina las directrices para transitar del modelo tradicional de planear y construir obras públicas hacia un modelo basado en una metodología de trabajo colaborativo, que optimice los procesos y documente el ciclo de vida de los proyectos. Asimismo, incentiva el desarrollo de otros complementos para la metodología, desde la iniciativa privada, que promueven la estandarización y reutilización de la información.

Por su parte, BIM Forum publicó en diciembre 2020 el manual que describe las especificaciones en el nivel de desarrollo. Su nombre en inglés es: *Level of detail (LOD) Part I* y se usa para modelos de información de la construcción.

La definición del nivel de detalle durante la aplicación de la metodología BIM es una herramienta de referencia que especifica la calidad de los modelos de la información también llamados gemelos digitales. Los modelos de la información de construcción (BIM) y las características de los modelos según el LOD amplían el esquema desarrollado por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) para su Exposición BIM y Datos Digitales E202-2009, el cual fue actualizado para el Formulario de protocolo BIM del proyecto G202-20138 (un formulario de protocolo utilizado con el Documento AIA E203TM-2013 para regular el desarrollo, uso e intercambio de modelos de información de construcción), y para el AIAI (los documentos de práctica digital de 2013 proporcionan una explicación detallada de los documentos de práctica digital de 2013 sección por sección), al proporcionar definiciones e ilustraciones de elementos BIM de diferentes sistemas de construcción en diferentes etapas de su desarrollo y utilización en el proceso de diseño y construcción.

En julio de 2022, se publicó la “Guía de licitaciones públicas BIM en México”, un Plan BIM en México que, como grupo multidisciplinario, pretende unir al gobierno, universidades y empresas para mejorar los procesos hacia una ciudad inteligente, por lo que se presentó la guía como una herramienta para la adopción de la metodología BIM y para realizar la alineación de la infraestructura mexicana y el desarrollo sostenible, así como para asegurar la calidad de la información que se genera durante y después del desarrollo de un proyecto, asegurando la interoperabilidad entre el software y el resguardo seguro de la información y la disponibilidad de consulta. La guía expone las fases en que debe realizarse la implementación de la metodología BIM y cómo debe desarrollarse un plan de ejecución³ BIM para la presentación de un proyecto.

En la Guía de Licitaciones (2022) al igual que en la Guía de Sistemas de Clasificación (2022), se expone la importancia de un sistema de clasificación⁴ para el intercambio de información. Según Leo Van Berlo, director técnico de *buildingSMART International*, la importancia de utilizar un sistema de clasificación debe ser específica y estricta, ya que el uso colaborativo de la metodología BIM implica el intercambio de información durante todo el ciclo de vida del proyecto entre todos los interesados.

Cada herramienta BIM dispone de sus propios procesos para aplicar sistemas de clasificación existentes o crear y/o gestionar sistemas propios. Estos sistemas de clasificación pueden ser utilizados de forma nativa o definidos en la exportación al formato estándar

³ Documento clave que define los objetivos y requisitos para la implementación de la metodología BIM en un proyecto.

⁴ En entorno BIM, un sistema de clasificación trabaja estableciendo clases de objetos de una manera muy sencilla: Reagrupa elementos que presentan características o componentes similares.

IFC⁵. Un sistema de clasificación puede ser utilizado de diversas formas. Una de sus aplicaciones es estructurar contenedores de información (carpetas, ficheros y documentos) para gestionar la información del proyecto de una manera más ordenada y eficiente.

El 15 de febrero de 2024 se publicó la Norma Técnica que regula el Modelado de Información de la Construcción en proyectos de obra pública de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes en el Diario oficial de la federación. El Diario Oficial de la Federación define la metodología *Building Information Modelling* (BIM), (en español, Modelado de la Información de la Construcción) como una metodología que hace uso de sistemas de diseño y modelado asistido e incorpora procesos que permiten obtener una mayor eficiencia, eficacia, economía y transparencia en el ejercicio de los recursos públicos y privados destinados a la inversión de proyectos de infraestructura y demás activos productivos en cada fase del ciclo de inversión; desde la planeación hasta la formulación, diseño, construcción, ampliación y modificación, así como la operación y mantenimiento de inmuebles e infraestructura, incluyendo su equipamiento.

Metodología

Fase I. Uruapan. Levantamiento de puntos de referencia del proyecto del teleférico en desarrollo (Figura 1).



Figura 1.
Prueba de medición y levantamiento de nubes de puntos. Uruapan, Michoacán, México, agosto 2024.

Fuente: <https://www.3darchmexico.com/>

Objetivo. Corroborar la ubicación de coordenadas locales y UTM (Universal Transverse Mercator) de los puntos referencia del cablebús que se está construyendo en la localidad.

⁵ Son las iniciales de Industry Foundation Classes, traducido al castellano como Clases Fundamentales de la Industria.

Alcances. Se realizó un levantamiento de los puntos topográficos señalados en la Figura 2, como: Uruapan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, (equivalentes a los puntos señalados en sitio como: banco de nivel, 4044, 4045, 4132, 4019, 7001, 7002, 7003) en diferentes puntos de la localidad de Uruapan, Michoacán, México, utilizando equipo y software de la marca Leica con la aplicación del método diferencial con antenas GS 18, para obtener la mayor precisión posible.



Figura 2.
Trabajo de campo de 3D Arch.
Agosto de 2024.
Fuente. 3D Arch México.

Se eligió el sistema geodésico de referencia UTM zona 13, ITRF2008 época 2010.0 GRS80, sistema oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de tal forma que se realizó la transformación de la distancia geodésica a topográfica.

El utilizó el método diferencial para la toma de puntos. Este método se rige por el posicionamiento de una estación principal o base, la cual porta una antena Leica GS18 de referencia. La GS18 permanece en un solo sitio, mientras se posicionan los otros puntos que requieren ser medidos. Las técnicas de levantamiento del método diferencial se basan en la idea de que los errores sistemáticos en las medidas de la antena al satélite poseen una gran correlación espacial.

El equipo de trabajo para el levantamiento estuvo integrado por un ingeniero geomático, un topógrafo y un ayudante. El tiempo de ejecución del trabajo fue de tres días en campo y cinco de trabajo en gabinete para procesar los datos. El software de procesamiento utilizado para el trabajo de gabinete es LEICA INFINTI; el software permite el ajuste de las mediciones y la verificación del rango de error.

El levantamiento de puntos con antenas tiene soporte en tiempo real con la empresa proveedora de equipo ACTIVE CUSTOMER CARE y HXGN SMARTNE, servicios de posicionamiento por satélite.

Para la práctica de campo se utilizó, además de una estación base, otra antena Leica GS16, la cual se posicionó en los puntos elegidos del levantamiento para trabajar en red con la antena principal. La primera práctica tomó algo más de una hora y media ya que se requirió obtener la mayor cantidad de datos posibles y así lograr la precisión requerida por el cliente. Una vez que los datos de campo fueron obtenidos se realizó un post procesado, en el que se corrigieron y verificaron los datos obtenidos por las antenas.

Fase 2. Constituyentes. Levantamiento de nubes de puntos.

Objetivo. Obtener nubes de puntos del proyecto en desarrollo para la revisión de avances.

Alcances. Nube de puntos de la estación Constituyentes de la línea del cablebús para visualización del estado actual del inmueble.

Tipo de recorrido. Lineal (Figura 3).

Tiempo para la ejecución del levantamiento: un día de trabajo de campo y tres de procesamiento de datos.



Figura 3.
Recorrido de levantamiento
en campo. Agosto de 2024.
Fuente: <https://www.3darchmexico.com/>

Equipo de escaneo. Se utilizó un escáner láser RTC360 MCA Leica. El sistema de escaneo protagoniza el levantamiento de objetos físicos, la unidad trabaja con tecnología Waveform Digitizer (WFD) a una velocidad máxima de escaneo de 2.000.000 de puntos/segundo.

Los datos obtenidos se guardan en un dispositivo de almacenamiento USB intercambiable que después se transfiere a un software de procesamiento llamado Leica Cyclone y una vez procesado se generan diferentes entregables con variados formatos de intercambio (Figuras 4 y 5).

Resultados

Fase 1. Los informes se realizaron y rectificaron con la asistencia, en tiempo real, de un equipo de trabajo que se encuentra en la oficina de la MCA. Es un equipo de soporte (ver tabla 1).

	Proyectar Coordenada X	Proyectar Coordenada Y	Altura Orto métrica	Latitud WGS84 [°]	Longitud WGS84 [°]	Factor de escala combinado	Factor de escala de proyección
Banco de nivel	806895.4569	2150962.828	1731.0824	19° 25' 46.41" N	102° 04' 39.21" O	1.000493936	1.000764363
Referencia 4044	809586.786	2149969.07	1627.6619	19° 25' 12.61" N	102° 03' 07.57" O	1.000530736	1.000784891
Referencia 4045	811420.6516	2149895.674	1606.24100	19° 25' 09.20" N	102° 02' 04.78" O	1.000548197	1.000798981
Referencia 4019	812259.22350	2149515.44200	1604.79670	19°24'56.37972" N	102°01'36.29057" O	1.000554826	1.000798981
Referencia 4132	812406.0261	2149551.473	1605.0106	19° 24' 57.46" N	102° 01' 31.22" O	1.000555999	1.000806587
Referencia 7002	812710.4700	2147956.2004	1596.2815	19°24'05.46653" N	102°01'21.76098" O	1.000559758	1.000808962
Referencia 7003	812750.2233	2147726.043	1596.5017	19°23'57.96638" N	102°01'20.53596" O	1.000560126	1.000809326
Referencia 7001	812673.8286	2147554.447	1594.1899	19° 23' 52.39" N	102° 01' 23.23" O	1.000559788	1.000808661

Tabla 1.
Resultados. Coordenadas UTM topográficas.
Agosto de 2024.
Fuente: 3DArch México.

Después de obtener las coordenadas topográficas (locales), se hizo uso del factor de escala obtenido por el programa para la comprobación de los puntos. El error encontrado fue menor a 2mm. Se obtuvo una nube de puntos georreferenciada de acuerdo con los puntos obtenidos.

Fase 2. Las siguientes imágenes muestran el levantamiento de una de las estaciones del proyecto de cablebús ubicado en Constituyentes. Las imágenes son impresiones de pantalla visualizadas desde diferentes softwares. La Figura 4 fue realizada desde Cyclone 360 (Leica) y las Figura 5 desde Revit (Autodesk); todos programas de edición y gestión de la empresa Autodesk.

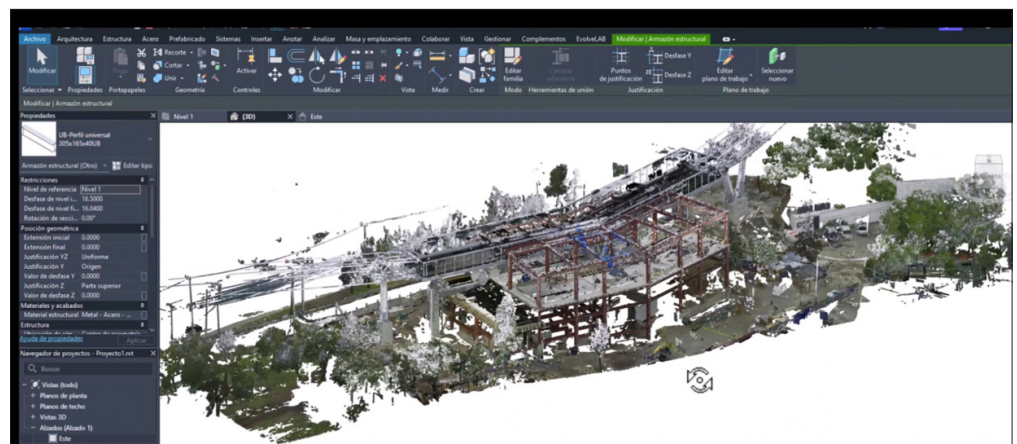
La Figura 5 nos permite la visualización del gemelo digital realizado con el software de gestión de proyectos Revit (Autodesk). Cabe mencionar que, cuando el modelo es manipulado desde Revit, es posible separar y clasificar secciones de las nubes de puntos para después convertirlas en elementos de un modelo tridimensional sólido. Por tanto, un gemelo digital realizado desde la nube de puntos georreferenciada, en palabras más sencillas, puede tener un gemelo digital sólido con los datos reales de georreferenciación.

Durante la fase de monitoreo y control del proyecto se realizan inspecciones, análisis y verificaciones de ubicación de elementos de construcción, sobre todo en edificaciones que requieren precisión en el posicionamiento de elementos estructurales, como lo es un proyecto de cablebús.

Figura 4.
Leica RTC 360.
Levantamiento de Nubes
de puntos de la estación del
cablebús Constituyentes.
Fuente 3DArch México.



Figura 5.
Visualización en software de
gestión de proyectos Revit.
Levantamiento de Nubes
de puntos de la estación del
cablebús Constituyentes.
Fuente 3DArch México.



Discusión

Fase 1. La relevancia del posicionamiento de la estación base alineada con las antenas de propiedad del INEGI establecidas en la República Mexicana en la zona de Guanajuato y Querétaro permitió la precisión de la obtención de las coordenadas geodésicas y topográficas (locales), así como los factores de escala. Sin embargo, es pertinente realizar pruebas previas al levantamiento final, ya que los levantamientos realizados en un horario de las 6:00 am a 1:00 pm fueron más exitosos. Existen factores climáticos determinantes para el éxito del levantamiento, consistentes en un cielo despejado y una temperatura aceptable entre los 27°C a 30°C para el rendimiento de la cuadrilla.

La nube de puntos es un producto que será comparado con un levantamiento de nube de puntos realizado una vez que la línea del cablebús sea construida, será una referencia para verificar la precisión de trazo y construcción.

El uso de gemelos digitales y la interfaz de RM permiten a los desarrolladores acercarse cada vez más a la perfección en la ejecución de los documentos para la construcción de un proyecto.

Fase 2. Manejar un modelo en diferentes softwares permite la interoperabilidad y el intercambio para la transferencia de datos y, en consecuencia, la visualización de estos en diferentes entornos virtuales, visualizadores o softwares de gestión de proyectos y edición de nubes de puntos.

Conclusiones

El artículo explica la importancia del uso de gemelos digitales antes, durante y al final de la construcción de un proyecto.

Los objetivos de los casos de estudio se cumplieron. Se obtuvieron coordenadas de referencia para futuras revisiones de precisión de trazo en los elementos de soporte en la construcción de la línea de transporte cablebús en Uruapan con un margen de error menor a 2mm. Se realizó el levantamiento de la estación de la línea del cablebús Constituyentes con un escáner láser que permitió el intercambio de datos (nubes de puntos) en diferentes interfaces, comprobando la eficiencia de lectura de los softwares de Autodesk (Revit, Recap y Autocad) y la interoperabilidad entre las diferentes disciplinas inmersas en el proceso de gestión de un proyecto con gemelos digitales.

Después de la entrevista realizada a la empresa CIBERNA y después del trabajo colaborativo con la empresa 3DArch México, se pudo constatar que, aunque se pretende implementar el uso de gemelos digitales para la gestión de proyectos con una interfaz con la RM, se requiere capacitación y sobre todo poner en práctica la tecnología al alcance en el país. Ambas compañías piensan que, en un futuro cercano, los gemelos digitales y la RM serán utilizados para la fase de seguimiento y control, siendo la RM un recurso para poder realizar una revisión comparativa en tiempo real de lo construido.

El uso de tecnologías, como lo es el uso de gemelos digitales y la RM, permiten a los desarrolladores acercarse cada vez más a la perfección en la ejecución de los documentos para la construcción de un proyecto. Todos los involucrados en el manejo y mantenimiento de un proyecto durante la fase de concepción, y en consecuencia en la fase de construcción y operación, pueden asegurar la revisión y control del objeto construido cuando el gemelo digital ha sido nutrido con información original y específica, pues se presenta la posibilidad de consultar en tiempo real y a detalle todas las características de forma y contenido de los elementos construidos.

Referencias

- BIM (2022). Guía de Sistemas de Clasificación cuando se utiliza BIM. Building Smart Spain.
- Córdova, M. (2019). El registro 3D y sus aportes a la conservación en Chalcatzingo. INAH Morelos.
- Chase, A., Chase, D. y Chase, A. (2017). LiDAR for Archaeological Research and the Study of Historical Landscapes. En *Sensing the Past*, pp. 89-100, editado por Nicola Masini y Francesco Soldovieri. Springer, Suiza.
- Diario Oficial de la Federación. (2024). Consultado en 31 de junio de 2024 en la web: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5716954&fecha=15/02/2024#gsc.tab=0
- Espinosa de los Monteros, R. (2015). Realidad aumentada: una nueva herramienta para la arquitectura. Tesis. Facultad de Arquitectura UNAM.
- INAH, (2022), Entra en su recta final la rehabilitación del patrimonio histórico afectado por los sismos de 2017. INAH, México. Recuperado de: <https://www.inah.gob.mx/boletines/entra-en-su-recta-final-la-rehabilitacion-del-patrimonio-historico-afectado-por-los-sismos-de-2017>.
- Level Of Development (LOD) Specification Part I & Commentary For Building Information Models and Dat. 2020. Committee Co-Chairs Jim Bedrick, FAIA, Will Ikerd, P.E., Jan Reinhardt. En la red: [archLOD Spec 2020 Part I 2020-12-31_231101_144213 \(1\).pdf](https://www.archlod.net/2020-12-31_231101_144213_1.pdf)
- Mora, A. (2012). El escáner láser, una herramienta tecnológica aplicada al patrimonio arquitectónico. Boletín de monumentos históricos / tercera época, núm. 24.
- Mora Flores, A. (2011). Tecnología escáner láser aplicada al estudio del patrimonio cultural edificado de México. Intervención. Revista internacional de conservación y restauración y museología 3:51-54.
- Palomo, C. (2015). De vivienda urbana a vivienda sustentable en la Ciudad de México. Tesis. Instituto Politécnico Nacional ESIA Tecamachalco. En línea.
- Peralta, A. (2014). Levantamiento arquitectónico del conjunto conventual de San Bernardino de Siena, Xochimilco, con la tecnología escáner láser 3D.
- Stott, R. (2014). Rem Koolhaas responde preguntas como parte de REM Kickstarter. Archdaily. México. En línea.

Otras fuentes:

BIMe Initiative publicada en la red en: <https://bimexcellence.org/resources/30series/30rin/>

BIM Project Execution Planning Guide, Penn State university. <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanning/>

BIM Project Execution Planning Guide versión 3.0. En la red: <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanning/back-matter/use-author-4d-modling/>

Guía de licitaciones públicas BIM en México. 2022. Plan BIM México. En la web: <https://www.planbimmexico.org/guialicitacionesbimmexico>

Industry Foundation Classes (IFC) según el estándar ISO 16739 publicado en la red <https://www.iso.org/standard/70303.html>

Norma Mexicana NMX-C-527-ONNCCE-2017. En la red: <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-c-527-1-onncce-2017/>

Manual BuildingSmart Alliance o el estándar ISO 29481 publicado en la red en: <https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/>

ISO 19650 parte 1 y 2 publicada en la red en <https://www.iso.org/standard/68078.html>

Level of Development (LOD), basadas en BIM Forum, que aparece en la red en: <https://bimforum.org/LOD>

Manual de uso, Versión 6.0. Español Leica RTC360/RTC360 LT. 2024. En la red: Leica Pegasus TRK Neo & Evo Data Sheet. Autonomous. Intelligent. Simplified. 2024. <https://leica-geosystems.com/es-mx/products/leica-pegasus-trk/product-overview/evo-mobile-mapping-system#>

MIC (2019). Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México. 2019. En la red: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/473961/Plan_estrategico_MIC.PDF