

## Modelo digital del campus Universidad de Sonora mediante fotogrametría con drones

MARCO ANTONIO RAMOS CORELLA<sup>1</sup>, DAVID ARTURO IBARRA DUARTE<sup>2</sup>, GERARDO RAMIREZ URIBE<sup>3</sup>, GEMA KARINA IBARRA TORUA<sup>4</sup>, ISRAEL EDUARDO MIRANDA TORRES<sup>5</sup>

### RESUMEN

***El objetivo de este trabajo fue proporcionar una perspectiva de los alcances que tiene la fotogrametría aérea para realizar diferentes actividades en la Ingeniería de la construcción en general. Asimismo, determinar si un dron comercial es capaz de realizar tareas que faciliten labores en algunos procesos de gestión administrativa en Universidad de Sonora con fines de logística, planificación, mantenimiento y registros de avance de obra dentro del campus. Se realizaron comparativas entre mediciones físicas de campo de manera tradicional y mediciones digitales en el modelo de nube de puntos 3D generado en el software. De esta comparativa se obtuvo, un valor promedio de 3.7 milímetros de variación por metro lineal.***

**Palabras clave:** Administración de la construcción, Fotogrametría aérea, Dron, Modelo digital

<sup>1</sup>Doctor en Ingeniería de Proyectos: medio ambiente, seguridad, calidad y comunicación, Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora, Sonora, México, [marco.ramos@unison.mx](mailto:marco.ramos@unison.mx), <https://orcid.org/0000-0002-2564-3307>.

<sup>2</sup>Maestro en Ingeniería Urbana, Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora, Sonora, México, [david.ibarradu@gmail.com](mailto:david.ibarradu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9635-7861>.

<sup>3</sup>Doctor en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica, Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora, Sonora, México, [gerardo.ramirez@unison.mx](mailto:gerardo.ramirez@unison.mx), <https://orcid.org/0000-0001-7036-764X>.

<sup>4</sup>Doctora en Ciencias, Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora, Sonora, México, [gema.ibarra@unison.mx](mailto:gema.ibarra@unison.mx), <https://orcid.org/0000-0001-6130-9640>.

<sup>5</sup>Maestro en Ingeniería Urbana, Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora, Sonora, México, [israeleduardo.mirand@unison.mx](mailto:israeleduardo.mirand@unison.mx), <https://orcid.org/0000-0003-3745-7365>.

**Autor de Correspondencia:** Marco Antonio Ramos Corella, [marco.ramos@unison.mx](mailto:marco.ramos@unison.mx)

**Recibido:** 14 / 11 / 2022

**Aceptado:** 07 / 02 / 2023

**Publicado:** 23 / 02 / 2023

**Cómo citar este artículo:**

Ramos Corella, M. A., Ibarra Duarte, D. A., Ramírez Uribe, G., Ibarra Torúa, G. K., & Miranda Torres, I. E. (2023). Modelo digital del campus Universidad de Sonora mediante fotogrametría con drones. *EPISTEMUS*, 17(34). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.263>

## Digital Model of the University of Sonora Campus through Photogrammetry with Drones

### ABSTRACT

***The objective of this study was to provide a perspective of the aerial photogrammetry's scope to carry out different activities in construction engineering in general. Additionally, to determine if a commercial drone is able to perform tasks that facilitate work in some administrative management processes at the University of Sonora for purposes of logistics, planning, maintenance, and work progress records inside the campus. Comparisons were made between physical field measurements in a traditional way, and digital measurements in the 3D point cloud model generated by the software. From this comparison, an average value of 3.7 millimeters of variation per linear meter was obtained.***

***Key words:*** Construction management, Aerial photogrammetry, Drone, Digital model





## INTRODUCCIÓN

### Productividad en la Ingeniería de la construcción

En un estudio elaborado por el McKinsey Global Institute acerca de los sectores económicos con mayor crecimiento en su productividad en las últimas décadas [1], se señala que, aunque el sector de la construcción es uno de los más grandes de la economía mundial, desde el año de 1945 el aumento de la productividad a penas se ha notado, cuando en industrias como la manufacturera o agricultura este incremento ha sido del 1 500 por ciento. En este informe, se agrega un gráfico en el que se muestra el crecimiento anual del valor agregado bruto real, por hora trabajada, por personas ocupadas, en el que aparece México como el país con mayor rezago en crecimiento en la productividad de esta industria entre todos los países analizados. Sin embargo, este instituto afirma que el uso de nuevas tecnologías puede contribuir a disminuir el rezago existente y cerrar la brecha entre estos países, sin incrementar los costos de manera considerable.

Uno de los mayores desafíos de la construcción es la entrega eficiente de los proyectos; ya que se realizan en entornos complejos y llenos de incertidumbre, por lo que es prudente promover soluciones innovadoras que coadyuven a superar los desafíos y a crear valor para los involucrados [2]. Es posible resolver muchos de estos problemas por medio de datos y evidencia obtenida de manera rápida, eficiente y segura, mediante el uso de drones. [3] Lo anterior, debido a que su uso disminuye el costo y el tiempo de las construcciones, además de incrementar la seguridad, productividad y brindar otros beneficios, por lo que el uso de vehículos aéreos no tripulados podría ser la solución a algunos de los grandes desafíos que enfrenta la industria [2]. Esta serie de beneficios se puede alcanzar ya que los drones tienen la ventaja de ser más rápidos que las personas, que pueden llegar a lugares inaccesibles y dado que se tiene la opción de



equiparlos con cámaras de video, sensores, radares, hardware de comunicación, etc., pueden transferir información en tiempo real a los encargados de administrar las obras [4].

A partir de la automatización del proceso con ayuda de los drones se aprecia una reducción en el esfuerzo requerido, comparado con los métodos tradicionales por lo que se mejoran las operaciones, la planificación y se pueden hacer ajustes o correcciones en el sitio de la obra [5]. Por beneficios como el anterior, [6] consideran que los drones inteligentes serán la próxima gran innovación y modificación en la industria de la construcción y que sus aplicaciones serán aún más amplias, sobre todo en el campo de infraestructura. [7] refuerzan esta idea y manifiestan que las aeronaves pilotadas a control remoto son una innovación tecnológica que va a revolucionar el mundo de la construcción ya que aceleran el progreso de los proyectos y contribuyen a incrementar la seguridad de las obras.

### **Tipos de drones**

Los drones se pueden clasificar en dos principales categorías: los aviones de ala fija y los aviones de ala giratoria o multirrotores [8]. Mediante el uso de un dron de ala fija se puede abarcar más territorio ya que presentan mayor autonomía de vuelo, pero para trabajos de carácter local se pueden utilizar plataformas de vuelo multirrotores [9]. Los drones de tipo multirrotores presentan las ventajas de bajo costo y alta maniobrabilidad [8], este tipo de aeronaves son las más adecuadas para desarrollar las actividades más requeridas como capturar imágenes y videos; además, tienen las ventajas de despegue y aterrizaje vertical, vuelo estacionario o a muy baja velocidad, gran maniobrabilidad, precisión de vuelo y pueden transportar cargas más voluminosas en relación con su tamaño en comparación con los aviones [10] por lo que tienen un gran potencial para facilitar el proceso de construcción de muchas formas [11].



## Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica de medición por coordenadas en tercera dimensión que, utiliza fotografías y puntos de referencia topográficos sobre el terreno como medio de medición. Si se trabaja con una foto es posible obtener información bidimensional, pero si se trabaja con dos o más fotos, y éstas cuentan con una zona de traslape, permite obtener visión estereoscópica o información tridimensional [12]. Anteriormente, las actividades de recolección de este tipo de información se realizaban mediante métodos de topografía clásica, que requiere mucho tiempo y presupuesto, y fotogrametría, que requiere grandes infraestructuras y es de disponibilidad selectiva; sin embargo, la evolución de la tecnología ha brindado soluciones como el uso de los drones cuyas características permiten cubrir las necesidades del control de obra pues, combinan las bondades de la topografía clásica y la fotogrametría, mientras reducen sus inconvenientes [13].

La fotogrametría con drones es una técnica de reconstrucción tridimensional basada en imágenes que se ha adoptado en diversas actividades de construcción [14]. Esta técnica permite medir sobre fotografías y con ello determinar las propiedades geométricas y situaciones espaciales de objetos [12], debido a que los datos obtenidos de imágenes de drones pueden usarse para elaborar un modelo digital 3D por medio de técnicas de visión fotogramétrica por computadora [15]. Para realizar esto, primeramente, se realiza un vuelo denominado fotogramétrico. Como resultado del vuelo se obtiene una nube densa de puntos, modelo digital del terreno y ortofoto [13]. Una vez tomada esta serie de fotografías con el dron y mediante los softwares de Diseño Asistido por Computadora (CAD) es posible crear un Modelo Digital del Terreno (DTM) a partir de la nube de



puntos, y con ellos crear una superficie para representar las curvas de nivel, modelo de elevaciones o modelo de pendientes [12].

En resumen, la fotogrametría permite, a partir de imágenes aéreas o terrestres 2D, reconstruir un modelo 3D en forma de “nube de puntos”, del cual es posible derivar medidas 3D exactas de elementos arquitectónicos [16]. Este proceso se puede realizar mediante el uso de drones para capturar imágenes o vistas aéreas, lo cual tiene la ventaja de una mayor resolución, rapidez y bajo costo [6], [8]. Lo anterior, ha desencadenado que la fotogrametría digital aérea con drones sea una de las principales técnicas para obtener información de estructuras tridimensionales a partir de modelos bidimensionales [17].

### **Estado del arte**

En 2018 se realizó una investigación sobre las aplicaciones de los drones multirrotores en la cual se analizaron sus beneficios y exploraron el potencial en el futuro de la industria de la construcción [11]. En dicho estudio se revisan y discuten algunos de los aspectos principales sobre la aplicación de esta tecnología en varias etapas del proyecto tales como: topografía, logística, proceso de construcción en el sitio, mantenimiento y demolición. Asimismo, se revelan que las principales contribuciones se dan en materia de seguridad laboral, así como una mayor rentabilidad y la reducción de las emisiones de carbono. Se concluye que su utilidad seguirá en aumento en la industria de la construcción en el futuro próximo.

Por otra parte, en un estudio realizado en el sitio arqueológico de Todos Santos en Ecuador [18], se utilizó la fotogrametría digital tridimensional para documentar los bienes patrimoniales. Este trabajo abarcó el levantamiento fotogramétrico, el uso de distintos softwares para procesar la información y finalmente la construcción del modelo 3D. Se concluye que, aunque el uso de esta



tecnología requiere dominio previo de diferentes medios de representación gráfica y uso de herramientas, a su vez abre posibilidades para la gestión y conservación del patrimonio cultural, y para procesos educativos y de difusión.

En 2019, se realizó un estudio para evaluar cómo se ejecuta el trabajo desde la perspectiva de la Ingeniería de Resiliencia [19]. Elaboraron una lista de verificación de elementos de seguridad con base en activos recolectados por drones en el sitio de trabajo. El objetivo era evaluar el cumplimiento de las normas de seguridad brasileñas mediante la lista de verificación elaborada e investigar cómo los drones pueden contribuir al sistema de gestión de la seguridad en la obra mediante un monitoreo del trabajo que se realiza cada día. Se encontró que el uso de recursos tecnológicos como fotografías y videos para analizar el trabajo real puede identificar los puntos en donde la práctica se aleja de los procedimientos establecidos y mejorar los protocolos de seguridad. Como conclusión agregan que los drones pueden ser utilizados para realizar inspecciones periódicas en materia de seguridad y proporcionar información que contribuya a tomar las mejores decisiones sobre todo en las tareas que implican un alto riesgo de sufrir accidentes.

Asimismo, en 2021 [8] desarrollaron un trabajo en el que se presenta cómo la tecnología de los drones puede ser usada para beneficiar el monitoreo de las construcciones urbanas durante su proceso de construcción y después de terminado. Se encontró que el uso de esta tecnología es cada vez más común en la industria de la construcción ya que facilita la verificación de los estándares de construcción. Concluyen que hay un incremento en la cantidad de investigaciones en las que se utilizan los drones y que será una tendencia, puesto que es fácil de usar, brinda accesibilidad a lugares inalcanzables para una persona y tiene bajos costos de operación.

## OBJETIVO

En este trabajo se planteó como objetivo elaborar un modelo digital de superficie del Campus Hermosillo, de la Universidad de Sonora por medio de fotogrametría aérea con drones; con la finalidad de proporcionar una perspectiva de los alcances que tiene esta herramienta para realizar diferentes tareas en la construcción en general. Además de determinar si un dron comercial es capaz de realizar actividades prácticas útiles en la Universidad de Sonora con fines de logística, planificación, mantenimiento y registros de avance de obra dentro del campus. Para comprobar este uso práctico se analizó la precisión del modelo digital obtenido por medio de mediciones reales en sitio para evaluar su fiabilidad y justificar su uso.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la construcción siempre tiene el objetivo de reducir el tiempo y costo de los proyectos, así como realizarlos con la mayor habilidad y seguridad [3], es decir, mejorar la productividad. Una fuerte debilidad es que, comúnmente, la recopilación de información se realiza de manera manual y como es un proceso difícil se hace cada semana, quincena, o mes; por lo que la información se tiene con retraso y esto dificulta la capacidad de los gerentes de monitorear los avances y compararlos con el cronograma, con los costos y otros indicadores de desempeño [5]. Esto retrasa la toma de decisiones, evita que en el caso de una eventualidad se reaccione rápidamente y provoca que el costo de las correcciones se incremente por el paso del tiempo.

Uno de los mejores caminos para mejorar la productividad en la construcción es infundir tecnología digital, nuevos materiales y automatización avanzada [1]. Actualmente, se puede ahorrar en gestión de la construcción al realizar actividades de recolección y obtención de resultados mediante el uso de drones, sin la necesidad de tener a un trabajador [8]; además se



agrega la ventaja de que se evita exponerlo a riesgos, sobre todo cuando las actividades se llevan a cabo en condiciones de trabajo difíciles. El uso de los drones puede reducir eficientemente el costo y el tiempo que se dedica a la inspección de los componentes, ya que tradicionalmente se realiza de manera manual y esto requiere el uso de mano de obra y tiempo, que se puede reducir si esta tecnología se utiliza [6].

## MÉTODO DE TRABAJO

### Descripción del caso de estudio

Para seleccionar el caso de estudio se analizaron dos aspectos principales: las características físicas de cada alternativa y sus posibles aportaciones sociales. Dentro de estas características fue importante verificar, el impacto que el desarrollo del proyecto tendría sobre el espacio aéreo de la zona de vuelo y asegurarse de que éste no se encuentre dentro del cerco de seguridad de vuelo en referencia a la norma NOM-107-SCT3-2019. Para la detección de la zona de seguridad, se hizo uso de la información proporcionada por DJI Technology Co., en su página de internet, donde aparece un mapa de geo-zona de seguridad de vuelo en el cual se pueden observar las zonas de riesgo de ocupación del espacio aéreo, mismas que no deben ser invadidas durante la realización del proyecto.

Como segundo aspecto de selección del caso de estudio se contemplaron instalaciones educativas, ya que se busca tener un beneficio social con un énfasis académico. Por tal motivo, se decidió seleccionar las instalaciones e infraestructura de la Universidad de Sonora Unidad Regional Centro, en la ciudad de Hermosillo.



## **Normatividad**

En México, la organización encargada de regular los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia en el espacio aéreo mexicano es la Dirección General de Aeronáutica Civil. Esta reglamentación se encuentra en la NOM-107-SCT3-2019, y las obligaciones a cumplir se dan en función a una clasificación del equipo realizada con base en sus características físicas, en particular el peso y el uso específico que se hará de la aeronave [20]. Esta clasificación por peso se establece en tres tipos: RPA (del Inglés Remotely Piloted Aircraft o Aeronave Pilotada a Distancia) Mini con peso máximo de despegue menor a dos kilogramos; RPA Pequeño con peso máximo de despegue entre los 2.001 y los 25 kg y RPA Grande con peso de despegue a partir de los 25.001. Cada una de las alternativas anteriores puede tener dos tipos de uso: recreativo, privado no comercial o Comercial, resultando un total de seis combinaciones [20]. El caso actual se clasifica como RPA pequeño de uso privado no comercial o comercial, y debe cumplir con los numerales 4.10, 4.11, 5.1, 5.2 y 8 que establecen, entre otras cosas: distancias mínimas de separación con aeródromos y helipuertos; que no se deben dejar caer objetos; no transportar materiales prohibidos o peligrosos, responsabilidad civil y respeto a otros reglamentos; así como, registro de la aeronave, altura máxima de vuelo y distancia máxima de operación. Con respecto al piloto, lo relacionado con seguridad y finalmente operaciones especiales como por ejemplo qué se debe hacer si se planea realizar vuelos nocturnos [20].

## **Diseño de la investigación**

El dron seleccionado para realizar este proyecto fue del modelo Phantom 4 Advanced de uso comercial fabricado en el año 2017 por DJI Technology Co., que cumple con las características técnicas para la elaboración de vuelos programados para fotogrametría. Tiene capacidad de



realizar vuelos de reconocimiento e inspección a una altura de 120 m, un rango de alcance horizontal aproximado de 2.5 Km dentro de la mancha urbana y 7 Km en campo abierto.

Para procesar e interpretar la información recabada por el dron se requirió acceso a una plataforma de fotogrametría. Para esto, se contactó a una empresa especializada en inspección aérea con drones, ubicada en el estado de Nuevo León llamada Global Scan México, quien permitió hacer uso de su plataforma para la elaboración de este proyecto con fines académicos. El software que se utilizó es Sitiescan de 3D Robotics.

Posteriormente, se procedió a la planeación y ejecución de vuelo tomando en cuenta factores técnicos del equipo, ambientales, accesibilidad, etc., para incrementar la precisión de la información recabada. Se obtuvo por medio de Google Earth una aproximación de la superficie del polígono de estudio y de su forma, con la finalidad de determinar puntos clave para la configuración de los vuelos, puntos de despegue y la cantidad de baterías necesarias para el mapeo. Con esta información se sectorizó en cuatro bloques el polígono como se muestra en la imagen 1. El criterio utilizado fue que las zonas mantuvieran extensiones de terreno al alcance de un vuelo para mantener tiempos de vuelo no mayores a las dos horas. También, se realizó una inspección física del sitio para observar la infraestructura existente y analizar posibles obstrucciones que pongan el riesgo la seguridad tanto de las instalaciones como del equipo.





**Imagen 1: Sectorización del polígono de estudio. Fuente: Elaboración propia.**

El siguiente paso fue la elaboración de los planes de vuelo y proceder a su ejecución. Considerando que para que un vuelo fotogramétrico sea óptimo en su procesamiento se recomienda un rango de traslape frontal y lateral que ronde del 60% al 70% [17]; para este caso se decidió considerar un traslape frontal del 70% y uno lateral del 65%.

Una vez realizados los vuelos se continuó con el procesamiento de datos, para lo cual se debe ingresar en el software la siguiente información: el sistema de coordenadas geográficas a utilizar, coordenadas de los puntos de control, densidad de la nube de puntos deseada, parámetros de la cámara y formatos de salida. La misma plataforma de fotogrametría muestra un reporte del vuelo realizado, en esta se observan ciertos parámetros de calibración de imagen, puntos de coincidencia, rangos de traslape, varianza de geolocalización, entre otras. Este procedimiento



tiene varios pasos de comprobación de metadatos que identifican a cada una de las 1,676 fotografías realizadas. Como resultado, se obtuvo el modelo 3D del campus en formato digital, parte del cual se puede observar en la Imagen 2.



**Imagen 2: Visualización del edificio de rectoría de la Universidad de Sonora a manera de nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.**

Finalmente, se propusieron algunas situaciones hipotéticas para conocer la precisión en las cuales se realizaron mediciones directamente en el modelo digital y posteriormente en campo con el método tradicional y se compararon tales resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para justificar el uso de un modelo digital como alternativa viable dentro del campus se hizo una comparativa entre los resultados de mediciones obtenidas de la forma tradicional y mediciones en el modelo digital. Éstas se realizaron tanto en vertical como en horizontal en distancias cortas y

largas. Como resultado de este ejercicio hipotético, se obtuvieron los datos que se muestran en las Tablas 1, 2 y 3.

**Tabla 1. Mediciones horizontales menores a 5 metros.**

| Lugar                               | Medición en el sitio (m) | Medición digital (m) | Variación (m) | Variación por metro (cm/m) | Promedio (cm/m) |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|----------------------------|-----------------|
| Estacionamiento multinivel          | 1.80                     | 1.79                 | 0.01          | 0.56                       | 0.28            |
| Cancha de basquetbol                | 3.57                     | 3.56                 | 0.01          | 0.28                       |                 |
| Estacionamiento centro de las artes | 4.84                     | 4.84                 | 0.00          | 0.00                       |                 |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2. Mediciones horizontales mayores a 30 metros.**

| Lugar                               | Medición en el sitio (m) | Medición digital (m) | Variación (m) | Variación por metro (cm/m) | Promedio (cm/m) |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|----------------------------|-----------------|
| Estacionamiento multinivel          | 56.22                    | 56.11                | 0.11          | 0.20                       | 0.32            |
| Campo de softball                   | 41.54                    | 41.38                | 0.16          | 0.39                       |                 |
| Estacionamiento centro de las artes | 30.00                    | 30.11                | 0.11          | 0.37                       |                 |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3. Mediciones verticales (alturas).**

| Lugar                      | Medición en el sitio (m) | Medición digital (m) | Variación (m) | Variación por metro (cm/m) | Promedio (cm/m) |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|----------------------------|-----------------|
| Gimnasio universitario     | 4.32                     | 4.32                 | 0.00          | 0.00                       | 0.47            |
| Gimnasio universitario     | 4.35                     | 4.33                 | 0.02          | 0.46                       |                 |
| Estacionamiento multinivel | 3.38                     | 3.36                 | 0.02          | 0.59                       |                 |
| Estacionamiento multinivel | 14.15                    | 14.09                | 0.06          | 0.42                       |                 |
| Edificio 3N                | 4.52                     | 4.48                 | 0.04          | 0.88                       |                 |

Fuente: elaboración propia.



Se puede observar que en el caso de las mediciones en horizontal se cuenta con un mejor desempeño, ya que la variación promedio es de menos de 3 milímetros por metro lineal medido. Respecto a las mediciones en vertical se presenta una variación un poco mayor al ser de 4.7 milímetros; se presume que este mayor margen de error es por la perspectiva de las fotografías tomadas por el dron. Sin embargo, se puede considerar que la diferencia entre las mediciones realizadas en el sitio de trabajo por el método tradicional y las mediciones hechas directamente en el modelo digital en la computadora, presentan poca variación. En este sentido, dependiendo del uso que se le vaya a dar a esa información puede llegar a ser despreciable; por ejemplo, si se desea obtener información de campo para cuantificación de estimaciones de avance de obra o mediciones previas para realizar presupuestos, un error de magnitud menor a los 5 milímetros por metro puede resultar despreciable.

## CONCLUSIONES

Se logró obtener un modelo digital 3D de la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora. En él se realizaron mediciones digitales que se compararon con mediciones de campo hechas de la forma tradicional. La variación entre estas mediciones fue en promedio de 3.77 milímetros por metro, que representa un margen de error de 0.377%. Dados los resultados anteriores, se considera que el modelo tiene un buen desempeño, ya que además de que estas mediciones se pueden tomar más rápido, se realizan desde la oficina sin la necesidad de transportarse al sitio, lo que en ocasiones puede ser complicado o causa de un accidente ocupacional. En el caso de utilizarse para estimaciones de avance de obra se podría programar un vuelo al final de cada jornada y supervisarse diariamente para tener un mejor control de la obra.



Se considera que la precisión del modelo puede mejorarse si se realizan vuelos que capturen imágenes de mayor resolución, en mayor cantidad, o a una altura de vuelo más baja. Una debilidad de esta investigación es el software, debido a que para realizar este trabajo se tuvo acceso gratuito gracias a la empresa Global Scan México; sin embargo, en caso de querer aplicar este instrumento institucionalmente se requiere de la búsqueda de opciones de software para su implementación.

## REFERENCIAS

- [1] McKinsey Global Institute, "Reinventing construction: a route to higher productivity," McKinsey & Company, 2017.
- [2] V. Charlesraj and N. Rakshith, "Stakeholder perspectives on the adoption of drones in construction projects," Kitakyushu, Japan, 2020. Doi: 10.22260/ISARC2020/0168.
- [3] C. Loveless, "Drones in Construction," Available at SSRN, pp. 1-30, 2017.
- [4] T. Umar, "Applications of drones for safety inspection in the Gulf Cooperation Council construction," Engineering, Construction and Architectural Management, 2020. Doi: 10.1108/ECAM-05-2020-0369.
- [5] D. Arba, "Using Unmanned Aerial Vehicles for Automated BIM-based Construction Progress & Reporting," PM World Jurnal, vol. 9, no. 8, pp. 1-15, 2020.



- [6] K. Korkmaz and S. Mohammed, "Evaluating the Use of Drones in the Area of Transportation / Construction," *Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research*, vol. 03, no. 01, pp. 1-4, 2020. Doi: 10.30564/jaeser.v3i1.1787.
- [7] H. Golizadeh, M. RezaHosseini, D. Edwards, S. Abrishami, N. Taghavi and S. Banihashemi, "Barriers to adoption of RAPs on construction projects: a task-technology fit perspective" *Construction Innovation*, vol. 19, no. 2, pp. 149-169, 2019. Doi: 10.1108/CI-09-2018-0074.
- [8] F. Canhete and R. Machado, "The use of drones in urban construction: literature review," *International Journal of Development Research*, vol. 10, no. 02, pp. 44388-44396, 2021. Doi: 10.37118/ijdr.20946.02.2021.
- [9] F. Mesas and A. García-Ferrer, "Aplicaciones Urbaníticas," in *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*, Madrid, 2015, pp. 211-219.
- [10] M. Oñate, "Tipología de aeronaves pilotadas por control remoto," in *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*, Madrid, 2015, pp. 49-57.
- [11] Y. Li and C. Liu, "Applications of multicopter drone technologies in construction management," *International Journal of Construction Management*, vol. 19, no. 5, pp. 401-412, 2018. Doi: 10.1080/15623599.2018.1452101
- [12] D. Saez and A. Beltrán, "Aplicaciones cartográficas," in *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*, Madrid, 2015, pp. 67-76.



- [13] Í. Campo, "Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos," in Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil, Madrid, 2015, pp. 149-160.
- [14] Y. Jiang and Y. Bai, "Determination of construction site elevations using drone technology," in Construction Research Congress, Tempe, Arizona, 2020. Doi: 10.1061/9780784482865.032
- [15] E. Ciampa, L. De Vito and M. Pecce, "Practical issues on the use of drones for construction inspections," Journal of Physics: Conference Series, pp. 1-11, 2019. Doi:10.1088/1742-6596/1249/1/012016
- [16] M. Mongelli, d. C. G. I. Roselli, M. Malena, A. Nacuzi and G. de Felice, "3D Photogrammetric Reconstruction by Drone Scanning for FE Analysis and Crack Pattern Mapping of the "Bridge of the Towers", Spoleto," Key Engineering Materials, vol. 747, pp. 423-430, 2017. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.747.423.
- [17] E. Tacuri, L. Lupercio, G. Lupercio and M. López, "Uso de imágenes de RPAS para generación de topografía a detalle," Revista Geoespacial, vol. 14, no. 1, pp. 32-42, 2017. Doi: 10.24133/geoespacial.v14i1.1594.
- [18] P. Aparicio, F. Espinoza-Figueroa, M. d. C. Aguirre, P. Mejía and C. Matovelle, "Fotogrametría digital para el levantamiento 3D del sitio arqueológico de Todos Santos, Cuenca (Ecuador)," Estoa, vol. 7, no. 13, pp. 25-35, 2018. Doi: 10.18537/est.v007.n013.a02.



[19] R. Melo and D. Costa, "Reducing the gap between work as done and work as imagined on construction safety supported by UAS," Kalmar, Sweden, 2019. Doi: 10.15626/rea8.02.

[20] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, Diario Oficial de la Federación, 2019.

**Cómo citar este artículo:**

Ramos Corella, M. A., Ibarra Duarte, D. A., Ramírez Uribe, G., Ibarra Torúa, G. K., & Miranda Torres, I. E. (2023). *Modelo digital del campus Universidad de Sonora mediante fotogrametría con drones. EPISTEMUS, 17(34).* <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.263>