

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

MÉTODO ALTERNATIVO PARA EL DIBUJO DE SECCIONES TRANSVERSALES MEDIANTE VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS

**AUTOMATED CROSS-SECTION DRAWING USING
VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS IN HIGHWAY
GEOMETRIC DESIGN**

Mario Iñaki De La Cruz Manilla

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Humberto Iván Navarro Gómez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Eber Pérez Isidro

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Cutberto Rodríguez Álvarez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v10i2.23634

Método Alternativo para el Dibujo de Secciones Transversales Mediante Visual Basic for Applications

Mario Iñaki De La Cruz Manilla¹de352235@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0009-0004-0186-2697>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma
México**Humberto Iván Navarro Gómez²**humberto_navarro@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma
México**Eber Pérez Isidro**eber_perez@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-8500-710X>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma
México**Cutberto Rodríguez Álvarez**profe_7479@uaeh.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-9225-8695>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma
México

RESUMEN

El presente estudio desarrolló y validó una herramienta de automatización para el dibujo de secciones transversales en proyectos de diseño geométrico de carreteras mediante la integración de Microsoft Excel, Visual Basic for Applications (*VBA*) y *AutoCAD*. El problema abordado fue la alta demanda de tiempo, la repetitividad operativa y la propensión al error del procedimiento manual empleado en contextos académicos y de oficina técnica con acceso limitado a software especializado. Metodológicamente, se diseñó un sistema modular que captura parámetros geométricos desde una hoja de cálculo, los procesa en *VBA* y genera una salida gráfica en un entorno *CAD* mediante objetos ActiveX. La evaluación se realizó mediante casos de prueba de secciones típicas y una comparación operativa frente al procedimiento manual y a soluciones comerciales de mayor costo. Los resultados mostraron que el método propuesto redujo significativamente el tiempo de elaboración, mejoró la repetibilidad del trazo y permitió parametrizar anchos, pendientes, taludes y demás variables geométricas sin rehacer el dibujo completo. Se concluye que la herramienta constituye una alternativa técnicamente viable, de bajo costo y con valor didáctico y profesional para apoyar la enseñanza y la práctica del diseño vial, aunque su alcance se concentra en el dibujo 2D y requiere futuras ampliaciones hacia el modelado tridimensional, el cálculo volumétrico y la interoperabilidad con entornos *BIM*.

Palabras clave: secciones transversales; automatización; *VBA*; *AutoCAD*; diseño geométrico de carreteras; digitalización aplicada

¹Autor principal:

² Correspondencia: humberto_navarro@uaeh.edu.mx

Automated Cross-Section Drawing Using Visual Basic for Applications in Highway Geometric Design

ABSTRACT

This study developed and validated an automation tool to draw cross sections for highway geometric design projects by integrating Microsoft Excel, Visual Basic for Applications (*VBA*), and AutoCAD. The problem addressed was the time-consuming, repetitive, and error-prone nature of manual drafting procedures, especially in academic environments and technical offices with limited access to specialized software. Methodologically, a modular system was designed with geometric parameter input from a spreadsheet, *VBA*-based processing, and CAD output via ActiveX objects. The evaluation used typical cross-section test cases and an operational comparison against manual procedures and higher-cost commercial solutions. Results showed that the proposed method significantly reduced drafting time, improved drawing repeatability, and enabled the parameterization of widths, slopes, side slopes, and related geometric variables without redrawing the entire section. It is concluded that the tool is a technically viable, low-cost alternative with both educational and professional value for supporting highway design practice, although its current scope remains focused on 2D drafting and should be expanded toward 3D modeling, volume computation, and *BIM* interoperability.

Keywords: cross sections; automation; VBA; AutoCAD; highway geometric design; applied digitalization

*Artículo recibido 28 febrero 2026
Aceptado para publicación: 28 marzo 2026*



INTRODUCCIÓN

El dibujo de secciones transversales constituye una actividad central en el diseño geométrico de carreteras, ya que permite representar la configuración de la vía en un plano perpendicular al eje del proyecto y, con ello, verificar anchos, pendientes, taludes, cunetas y elementos laterales asociados a la seguridad, la funcionalidad y la constructibilidad de la infraestructura. En la práctica tradicional, la elaboración de estas secciones exige interpretar información topográfica, trasladarla a un entorno de diseño asistido por computadora (CAD) y repetir manualmente operaciones geométricas, lo que incrementa el tiempo de ejecución, eleva la probabilidad de error y reduce la trazabilidad de los cambios cuando el proyecto requiere ajustes sucesivos.

En la literatura reciente, la digitalización de la infraestructura vial se ha consolidado como una línea estratégica de investigación y práctica profesional. Los estudios sobre la adopción de *Building Information Modeling (BIM)* en carreteras, así como los análisis bibliométricos y revisiones sistemáticas sobre las aplicaciones de *BIM* en infraestructura civil, muestran una transición sostenida desde representaciones bidimensionales aisladas hacia flujos de trabajo más interoperables, trazables y reutilizables a lo largo del ciclo de vida del activo (Castañeda et al., 2024; Nielsen et al., 2024; Li et al., 2024).

De manera complementaria, la investigación sobre gemelos digitales para el transporte confirma que la automatización del diseño y la coherencia de los datos son hoy requisitos previos para escalar hacia esquemas más avanzados de gestión digital (Yan et al., 2023; Wu et al., 2025).

Del mismo modo, la integración entre *BIM* y los sistemas de información geográfica (GIS), así como el desarrollo de plataformas digitales para el entorno construido, refuerzan la importancia de contar con procesos de modelado más consistentes, escalables y menos dependientes del trabajo repetitivo.

Esta tendencia se aprecia tanto en la modelación semántica del espacio vial como en los ecosistemas digitales orientados a la interoperabilidad, al mantenimiento y a la gestión de activos (Cepa et al., 2024; Beil & Kolbe, 2024; Berlato et al., 2025). Sin embargo, la transición hacia ecosistemas digitales avanzados no ocurre de forma homogénea.

En cursos de licenciatura, despachos pequeños, consultorías de alcance local y oficinas con restricciones presupuestales, el uso de plataformas especializadas como Civil 3D, InfraWorks o flujos *BIM* integrales



puede verse limitado por el licenciamiento, la capacitación, la infraestructura computacional o la madurez digital organizacional.

En este contexto, la automatización ligera mediante programación, scripting y vínculos entre aplicaciones de uso extendido conserva vigencia como ruta de innovación incremental, ya que permite reducir tiempos operativos y mejorar la repetibilidad sin exigir una transformación tecnológica completa desde el inicio (Le et al., 2024; Fan et al., 2024; Valdebenito & Forcael, 2025; Lee et al., 2025).

El problema de investigación se sitúa, por tanto, en la necesidad de contar con una herramienta accesible que automatice el dibujo de secciones transversales, reduzca la carga operativa del procedimiento manual y ofrezca una base metodológica replicable para la enseñanza y la práctica del diseño geométrico. El objetivo de este artículo fue diseñar, implementar y valorar un método alternativo para automatizar el dibujo de secciones transversales mediante Excel, Visual Basic for Applications (*VBA*) y AutoCAD, analizando su funcionamiento, su lógica modular, su relevancia técnica y su pertinencia en los procesos actuales de digitalización de la ingeniería vial.

La contribución del trabajo no radica únicamente en acelerar una tarea puntual, sino en formalizar un esquema de automatización reproducible que vincula programación, geometría y representación gráfica.

MARCO TEÓRICO

Desde la perspectiva del diseño geométrico, la sección transversal es un insumo fundamental para verificar la materialización de la plataforma de la vía, el ajuste al terreno natural y la coherencia entre la configuración proyectada y los criterios funcionales de la carretera. Aunque la representación bidimensional de secciones sigue siendo una práctica habitual, la literatura reciente muestra que el diseño vial evoluciona hacia esquemas más informacionales, donde *BIM*, GIS, modelos semánticos del espacio vial y gemelos digitales permiten gestionar mejor la relación entre geometría, atributos y ciclo de vida del activo (Castañeda et al., 2024; Nielsen et al., 2024; Li et al., 2024; Beil & Kolbe, 2024; Buuveibaatar et al., 2025).

En el ámbito específico de la infraestructura lineal, la investigación ha destacado que *BIM* no solo sirve para modelar objetos, sino también para articular usos concretos a lo largo de la planeación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento. Las revisiones recientes muestran que las aplicaciones

BIM en carretera e infraestructura civil han crecido rápidamente, con especial énfasis en la coordinación, la programación, el análisis constructivo y la gestión del activo (Castañeda et al., 2025; Li et al., 2024).

Asimismo, los trabajos sobre mantenimiento vial y pavimentos demuestran que el desarrollo de módulos y scripts específicos amplía las capacidades de los entornos de *Infrastructure Building Information Modeling (I-BIM)* para la evaluación, el mantenimiento y la sostenibilidad (Bosurgi et al., 2024; Oreto et al., 2023).

Otro eje teórico relevante es la interoperabilidad. La automatización útil en ingeniería civil no depende únicamente del modelado avanzado, sino también de la capacidad de vincular aplicaciones, intercambiar datos y mantener la consistencia entre plataformas.

La integración *BIM-GIS* para infraestructura existente, la conexión de herramientas BIM para la gestión de puentes y los procesos *CAD-to-BIM* muestran que los mayores avances ocurren cuando el flujo de información se organiza con reglas claras de entrada, transformación y salida (Cepa et al., 2024; Cavieres-Lagos et al., 2024; Lee et al., 2025; Singh et al., 2024).

Un tercer componente del marco conceptual corresponde al diseño paramétrico y a la programación aplicada. La literatura sobre visual programming, scripting e interfaces de programación de aplicaciones (API) en entornos *BIM* indica que el uso de reglas parametrizadas permite traducir variables geométricas en entidades gráficas o informacionales de manera repetible. Kossakowski (2023) y Yavan et al. (2024) muestran que la programación visual facilita la automatización de tareas de diseño y la evaluación de variantes, mientras que Wang y Lu (2024) y Singh et al. (2025) evidencian que los entornos *BIM* y *CAD* pueden ampliarse mediante scripting para reducir errores y acelerar la producción de modelos.

En el caso de los procesos apoyados en *CAD*, el valor de la automatización radica en resolver tareas acotadas pero recurrentes. La implementación de procedimientos automáticos en Civil 3D, plataformas *BIM* o entornos vinculados a hojas de cálculo ha mostrado beneficios en la precisión operativa, la trazabilidad y la reducción del tiempo, aunque dichos beneficios dependen del grado de parametrización y de la calidad de los datos de entrada (Rifai et al., 2024; Rashidi et al., 2024).



En la misma línea, los trabajos sobre generación automatizada de dibujos a partir de modelos *BIM* confirman que la conversión controlada entre datos geométricos y salidas gráficas sigue siendo un tema vigente y relevante para la digitalización de los procesos de diseño (Zhang et al., 2025).

METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque técnico-aplicado y descriptivo, orientado al diseño, la implementación y la validación funcional de una herramienta para automatizar el dibujo de secciones transversales. El desarrollo se estructuró en tres módulos: entrada de datos, procesamiento lógico y salida gráfica.

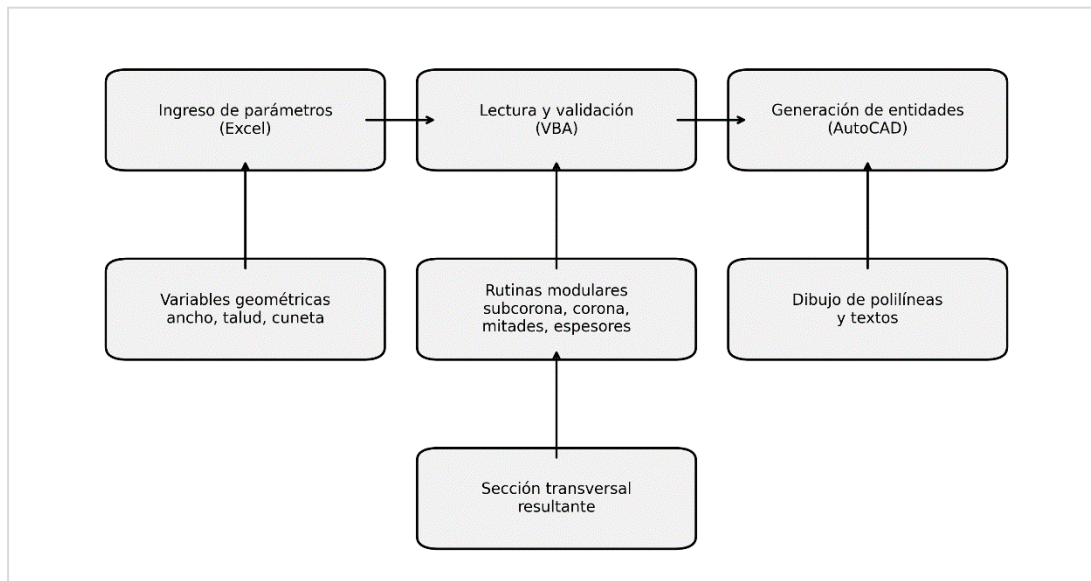
El módulo de entrada se implementó en una hoja de cálculo de Excel, donde se organizaron los parámetros geométricos de cada sección; el módulo de procesamiento se programó en *VBA* para capturar, ordenar y transformar los datos en coordenadas utilizables; y el módulo de salida se implementó en AutoCAD mediante objetos ActiveX para generar entidades gráficas en un entorno bidimensional (2D).

La lógica del sistema consistió en leer secuencialmente cada fila de la plantilla, identificar variables geométricas asociadas a la subcorona, pendientes, cunetas, taludes y demás componentes, transformar dichos valores en coordenadas relativas y emitir automáticamente el dibujo correspondiente en AutoCAD. Para la comunicación entre Excel y AutoCAD se empleó la automatización mediante Component Object Model (COM)/ActiveX, lo que permitió controlar el entorno CAD desde la macro sin intervención manual continua.

Esta estructura responde a una lógica de automatización paramétrica, donde el dato tabular funciona como entrada controlada y el dibujo CAD como salida reproducible. La secuencia operativa general del método y la relación entre sus módulos se sintetizan en la Figura 1.



Figura 1. Diagrama de flujo del método propuesto para automatizar el dibujo de secciones transversales en Excel, VBA y AutoCAD. Fuente: elaboración propia.



Desde la perspectiva de la ingeniería computacional aplicada, el método se clasifica como un sistema de automatización geométrica basado en scripting y reglas paramétricas. Su interés metodológico radica en hacer explícita la correspondencia entre variables geométricas y entidades gráficas, condición necesaria para estandarizar el proceso y facilitar su réplica o ampliación posteriores.

Este enfoque es consistente con desarrollos recientes que destacan el papel del scripting, la programación visual y la automatización incremental en flujos digitales de diseño para la construcción y la infraestructura (Kossakowski, 2023; Yavan et al., 2024; Fan et al., 2024; Valdebenito & Forcael, 2025). Para la validación se utilizaron casos de prueba representativos de secciones típicas empleadas en el diseño geométrico de carreteras. La comparación con el procedimiento manual atendió tres criterios operativos: tiempo de elaboración, repetibilidad del trazo y flexibilidad para modificar parámetros sin reconstruir completamente la sección.

El diseño de validación no pretendió constituir un experimento estadístico exhaustivo, sino una verificación funcional y comparativa del desempeño del sistema frente a una práctica convencional. Esta elección es congruente con estudios sobre automatización aplicada a la infraestructura, en los que la utilidad inicial de una herramienta se evalúa en función de su capacidad para reducir operaciones redundantes, facilitar ajustes y mantener la consistencia geométrica (Rifai et al., 2024; Rashidi et al., 2024; Lee et al., 2025).

En términos de reproducibilidad, el método requiere: a) una hoja base con parámetros geométricos organizados en filas y columnas; b) el código *VBA* alojado en el editor de macros de Excel; c) AutoCAD con capacidad de automatización mediante ActiveX; y d) una secuencia de ejecución definida para leer los datos, procesarlos y dibujar la sección.

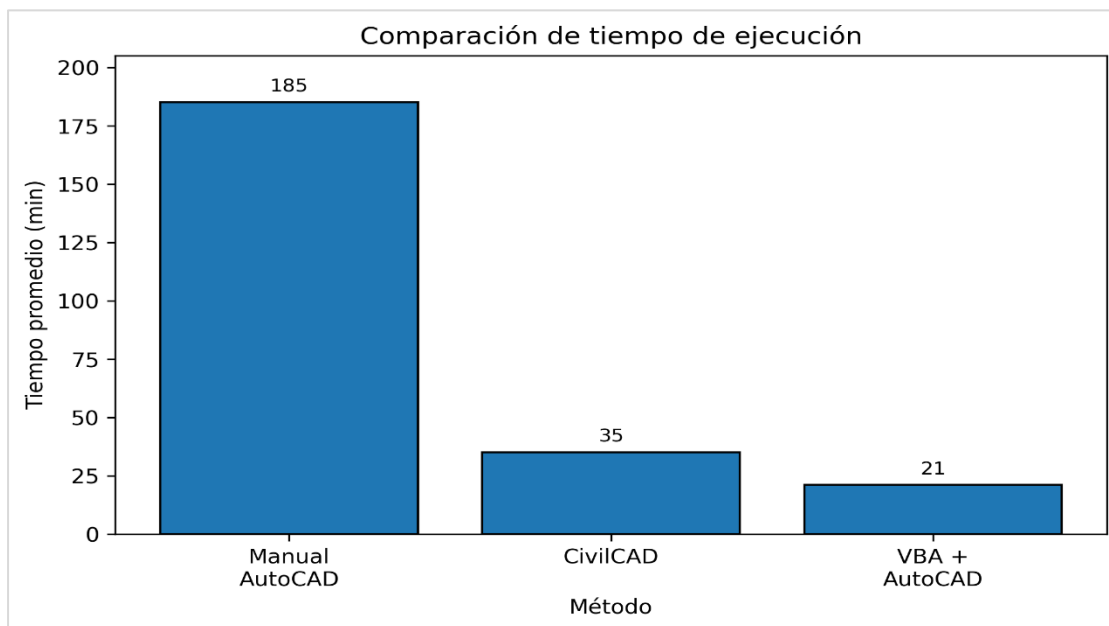
La decisión de no publicar íntegramente el código fuente en esta versión del manuscrito obedece a una delimitación editorial, no a una imposibilidad técnica; por ello, la plantilla de entrada, el script y los casos de prueba se declaran disponibles para revisión editorial o académica a solicitud del autor de correspondencia.

RESULTADOS

El sistema permitió automatizar el trazado de secciones transversales a partir de datos parametrizados en Excel, evitando la repetición manual de líneas, pendientes y elementos laterales en cada estación analizada. La principal mejora observada fue operativa: el tiempo requerido para generar secciones disminuyó de manera consistente en comparación con el procedimiento manual.

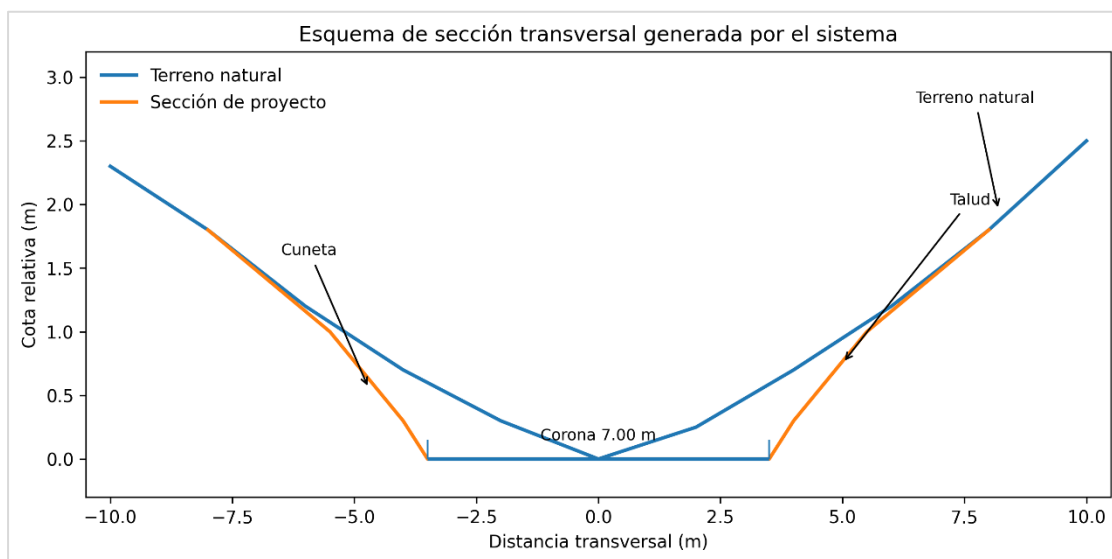
En los casos comparados, el procedimiento manual con AutoCAD requirió, en promedio, 185 minutos; el de CivilCAD, 35 minutos; y la alternativa desarrollada con *VBA* y AutoCAD, 21 minutos. La comparación operativa del tiempo de elaboración se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Comparación operativa del tiempo de elaboración entre el procedimiento manual, CivilCAD y el método automatizado. Fuente: elaboración propia.



Adicionalmente, el método mostró ventajas en la repetibilidad, ya que, una vez definido el algoritmo, las secciones se generaron con criterios geométricos uniformes y con menor riesgo de errores de digitación o de trazado. La estructura paramétrica también facilitó la edición: cambios en el ancho de la corona, pendientes, taludes o componentes laterales pudieron realizarse desde la hoja base sin rehacer por completo el dibujo en CAD. Un ejemplo esquemático de la salida geométrica obtenida por el sistema se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Esquema de una sección transversal obtenida mediante el método automatizado.



Fuente: elaboración propia.

Desde el punto de vista didáctico, la herramienta favoreció la comprensión del vínculo entre parámetros geométricos y la representación gráfica, al hacer explícita la relación entre variables, coordenadas y entidades de dibujo. En comparación con soluciones comerciales, el sistema no compite por amplitud funcional, pero sí ofrece una ruta de automatización accesible para usuarios que requieren rapidez, control y bajo costo en tareas acotadas de dibujo técnico.

Desde el punto de vista cuantitativo-operativo, aunque el estudio no se planteó como un experimento controlado, los resultados evidenciaron una mejora clara en la eficiencia del proceso, especialmente en escenarios en los que fue necesario generar múltiples secciones con variaciones paramétricas.

Este comportamiento es congruente con reportes recientes sobre la automatización de flujos de diseño y modelado, donde la reducción de operaciones repetitivas se traduce en mayor agilidad y menor exposición al error humano (Rifai et al., 2024; Wang & Lu, 2024; Singh et al., 2025).

DISCUSIÓN

Los hallazgos confirman que una solución ligera basada en *VBA* puede resolver una parte específica del flujo de trabajo de diseño geométrico con eficiencia razonable, especialmente en contextos donde el acceso a software especializado o a ecosistemas *BIM* completos es limitado.

Esto coincide con la literatura reciente sobre la digitalización incremental de infraestructura, que reconoce el valor de scripts, módulos personalizados y tecnologías complementarias para cerrar brechas operativas entre el trabajo manual y las plataformas de alta complejidad (Bosurgi et al., 2024; Castañeda et al., 2025; Fan et al., 2024).

A diferencia de *Civil 3D*, de entornos *BIM* integrados o de *gemelos digitales* de infraestructura, la herramienta aquí propuesta se concentra en una función específica: el dibujo de secciones transversales 2D a partir de parámetros controlados. Esa limitación es, al mismo tiempo, su fortaleza y su restricción. Es una fortaleza porque reduce barreras de entrada, simplifica la curva de aprendizaje y permite resolver una necesidad puntual con recursos disponibles; y es una restricción porque no incorpora modelado tridimensional, cálculo automático de volúmenes, sincronización *BIM-GIS* ni gestión avanzada del activo, capacidades que sí aparecen en desarrollos más amplios de gemelos digitales y plataformas interoperables (Yan et al., 2023; Yang et al., 2024; Wu et al., 2025; Buuveibaatar et al., 2025).

En términos de aporte científico-tecnológico, el estudio se inscribe en las investigaciones que articulan programación, parametrización e interoperabilidad básica para apoyar procesos de diseño. Su contribución no consiste en competir con plataformas consolidadas, sino en formalizar un método replicable que vincula una hoja de entrada, un algoritmo de transformación y una salida gráfica controlada.

Este tipo de avances incrementales ha sido señalado como necesario para acelerar la adopción de *BIM* e integrar progresivamente flujos *CAD* y *BIM*, así como la gestión de datos en infraestructura civil (Li et al., 2024; Nielsen et al., 2024; Singh et al., 2024; Lee et al., 2025).

Además, el enfoque propuesto tiene implicaciones formativas relevantes. La literatura sobre programación visual, automatización *BIM* y plataformas de diseño muestra que la alfabetización digital de los futuros ingenieros depende cada vez más de la capacidad para traducir reglas geométricas en procesos computacionales (Kossakowski, 2023; Yavan et al., 2024; Valdebenito & Forcael, 2025).



En ese sentido, la herramienta contribuye no solo a acelerar una tarea, sino también a fortalecer competencias de programación aplicada, de abstracción geométrica y de pensamiento paramétrico en la enseñanza de la ingeniería civil. Finalmente, la discusión debe reconocer una limitación metodológica importante: la validación realizada fue funcional y comparativa, pero no estadísticamente exhaustiva.

Por ello, futuras investigaciones deberán ampliar el banco de pruebas, medir tiempos por estación en distintos escenarios topográficos, incorporar métricas de error geométrico y explorar extensiones hacia *BIM*, *CAD-to-BIM*, gestión del mantenimiento y analítica avanzada, líneas que hoy concentran buena parte del desarrollo reciente en infraestructura digital (Cavieres-Lagos et al., 2024; Oreto et al., 2023; Berlato et al., 2025; Doan et al., 2025; Zhang et al., 2025).

CONCLUSIONES

El artículo demostró la viabilidad técnica de un método alternativo para automatizar el dibujo de secciones transversales mediante la integración de Excel, *VBA* y *AutoCAD*. La propuesta redujo la carga operativa del procedimiento manual, mejoró la repetibilidad del dibujo y permitió modificar los parámetros geométricos con mayor rapidez y control.

Su principal aporte radica en ofrecer una herramienta accesible y de bajo costo para contextos académicos y oficinas técnicas que no disponen de plataformas avanzadas de diseño vial. En ese sentido, el método tiene valor tecnológico, didáctico y operativo, y contribuye a reducir la brecha entre procedimientos manuales y ambientes de automatización más robustos.

No obstante, el sistema mantiene limitaciones claras: se orienta al dibujo 2D, no sustituye flujos *BIM* completos y requiere futuras ampliaciones para interoperar con el modelado tridimensional, el cálculo volumétrico, las bases de datos georreferenciadas y las plataformas de diseño vial de mayor alcance. En trabajos posteriores conviene profundizar en pruebas comparativas con tiempos medidos por estación, publicar el algoritmo en anexos reproducibles y ampliar la validación en escenarios topográficos más diversos.

Desde una perspectiva académica y profesional, el principal aporte del presente trabajo radica en la generación de una herramienta de automatización accesible que permite reducir la brecha tecnológica entre los métodos tradicionales y las plataformas avanzadas de diseño vial. Este tipo de soluciones contribuye a democratizar el acceso a herramientas digitales en ingeniería civil y aporta una base



metodológica que puede escalar a desarrollos más complejos, como la integración con modelos *BIM*, *digital twins*, análisis automatizado y flujos *CAD-to-BIM*.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses asociado al desarrollo, redacción y evaluación del presente manuscrito.

Disponibilidad de datos

La plantilla de entrada, el script en *VBA* y los casos de prueba empleados para la validación funcional pueden ponerse a disposición del editor y de los revisores a solicitud razonada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beil, C., & Kolbe, T. H. (2024). Applications for semantic 3D streetspace models and their requirements—A review and look at the road ahead. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(10), 363. <https://doi.org/10.3390/ijgi13100363>
- Berlato, M., Binni, L., Durmus, D., Gatto, C., Giusti, L., Massari, A., Toldo, B. M., Cascone, S., & Mirarchi, C. (2025). Digital platforms for the built environment: A systematic review across sectors and scales. *Buildings*, 15(14), 2432. <https://doi.org/10.3390/buildings15142432>
- Bosurgi, G., Pellegrino, O., Ruggeri, A., Rustica, N., & Sollazzo, G. (2024). Customized approaches for introducing road maintenance management in I-BIM environments. *Sustainability*, 16(15), 6530. <https://doi.org/10.3390/su16156530>
- Buuveibaatar, M., Shin, S., & Lee, W. (2025). Digital twin framework for road infrastructure management. *Applied Sciences*, 15(10), 5765. <https://doi.org/10.3390/app15105765>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Gómez-Cabrera, A., & Mejía, G. (2024). Building information modeling uses and complementary technologies in road projects: A systematic review. *Buildings*, 14(3), 563. <https://doi.org/10.3390/buildings14030563>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Gómez-Cabrera, A., & Mejía, G. (2025). BIM is used to mitigate deficiencies in road scheduling and planning. *Sustainability*, 17(6), 2729. <https://doi.org/10.3390/su17062729>



- Cavieres-Lagos, S., Muñoz La Rivera, F., Atencio, E., & Herrera, R. F. (2024). Integration of BIM tools for the facility management of railway bridges. *Applied Sciences*, *14*(14), 6209. <https://doi.org/10.3390/app14146209>
- Cepa, J. J., Fernández, Á., & de Soto, B. G. (2024). Integrating BIM and GIS into an existing infrastructure. *Applied Sciences*, *14*(23), 10962. <https://doi.org/10.3390/app142310962>
- Doan, D. T., Atencio, E., Muñoz La Rivera, F., & Alnajjar, O. (2025). A systematic literature review of building information modelling (BIM) and offsite construction (OSC) integration: Emerging technologies and future trends. *Applied Sciences*, *15*(18), 9981. <https://doi.org/10.3390/app15189981>
- Fan, J., Chen, L., & Chen, K. (2024). Digitalizing industrialized construction projects: The status quo and future developments. *Applied Sciences*, *14*(13), 5456. <https://doi.org/10.3390/app14135456>
- Kossakowski, P. G. (2023). Visual programming as modern and effective structural design technology—Analysis of opportunities, challenges, and future developments based on the use of Dynamo. *Applied Sciences*, *13*(16), 9298. <https://doi.org/10.3390/app13169298>
- Le, N., Tran, D., & Sturgill, R. (2024). Content analysis of three-dimensional model technologies and applications for construction: Current trends and future directions. *Sensors*, *24*(12), 3838. <https://doi.org/10.3390/s24123838>
- Lee, J., Lee, S., Kim, Y., & Moon, I.-Y. (2025). Design and validation of an integrated CAD-to-5D BIM process for underground utilities. *Buildings*, *15*(22), 4139. <https://doi.org/10.3390/buildings15224139>
- Li, Y., Li, Y., & Ding, Z. (2024). Building information modeling applications in civil infrastructure: A bibliometric analysis from 2020 to 2024. *Buildings*, *14*(11), 3431. <https://doi.org/10.3390/buildings14113431>
- Nielsen, O. A., Miceli, G., Jr., Ferreira F., A. d. S., & Pellanda, P. C. (2024). A review of global efforts in BIM adoption for road infrastructure. *Infrastructures*, *9*(8), 126. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9080126>
- Oreto, C., Biancardo, S. A., Abbondati, F., & Veropalumbo, R. (2023). Leveraging infrastructure BIM for life-cycle-based sustainable road pavement management. *Materials*, *16*(3), 1047.



<https://doi.org/10.3390/ma16031047>

Rashidi, A., Noorzai, E., & Golabchi, M. (2024). Applying building information modelling (BIM) technology in the pre-tender cost estimating process. *Buildings*, *14*(5), 1260.

<https://doi.org/10.3390/buildings14051260>

Rifai, A. I., Rahmawati, Y., & Nugroho, A. (2024). The implementation of AutoCAD Civil 3D for highway redesign. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1347*, 012060.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1347/1/012060>

Singh, T., Mahmoodian, M., & Wang, S. (2025). Advancing smart construction through BIM-enabled automation in reinforced concrete slab design. *Buildings*, *15*(3), 343.

<https://doi.org/10.3390/buildings15030343>

Singh, T., Sacks, R., & Brilakis, I. (2024). Enhancing open BIM interoperability: Automated model generation and exchange. *Buildings*, *14*(8), 2475. <https://doi.org/10.3390/buildings14082475>

Valdebenito, R., & Forcael, E. (2025). Integrating artificial intelligence and BIM in construction: Systematic review and quantitative comparative analysis. *Applied Sciences*, *15*(23), 12470.

<https://doi.org/10.3390/app152312470>

Wang, D., & Lu, H. (2024). Development of a BIM platform for the design of single-story steel structure factories. *Buildings*, *14*(3), 747. <https://doi.org/10.3390/buildings14030747>

Wu, D., Zhang, Y., Zhang, C., & Sha, A. (2025). Digital twin technology in transportation infrastructure: A comprehensive survey of current applications, challenges, and future directions. *Applied Sciences*, *15*(4), 1911.

<https://doi.org/10.3390/app15041911>

Yan, B., Wang, Z., Zhang, X., & Li, J. (2023). Digital twin in transportation infrastructure management: A systematic review. *Intelligent Transportation Infrastructure*, *2*, liad024.

<https://doi.org/10.1093/iti/liad024>

Yang, X., Yu, S., Wang, J., Chen, H., Huang, Y., Luo, Z., & Fu, L. (2024). Application of a digital twin for highway tunnels based on multi-sensor and information fusion. *Frontiers in Physics*, *12*,

1335494. <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1335494>



- Yavan, F., Maalek, R., & Toğan, V. (2024). Structural optimization of trusses in building information modeling (BIM) projects using visual programming, evolutionary algorithms, and life cycle assessment (LCA) tools. *Buildings*, 14(6), 1532. <https://doi.org/10.3390/buildings14061532>
- Zhang, C., Zhou, X., Xu, C., Wu, Z., Liu, J., & Qi, H. (2025). Automatic generation of precast concrete component fabrication drawings based on BIM and multi-agent reinforcement learning. *Buildings*, 15(2), 284. <https://doi.org/10.3390/buildings15020284>

