

# Optimización del diseño geométrico de la vía de acceso al antiguo espacio territorial de capacitación y reincorporación (AETCR) Tierra Grata usando modelos desarrollados en aplicaciones bajo metodología Building Information Modeling (BIM)

J. C. Galindo González<sup>3,\*</sup>, J. E. Orozco Ospino<sup>3</sup>, G. Cantillo Salas<sup>4</sup>, C. Gómez Brito<sup>4</sup>  
DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1991>

## Resumen

Los antiguos espacios territoriales de capacitación y reincorporación (AETCR) tienen en común que se ubican en zonas rurales que carecen de vías de acceso y servicios de saneamiento básico. Se consideró aquí analizar los estudios desarrollados y diseños propuestos por otros autores para la construcción del pavimento de la vía de acceso al AETCR Tierra Grata, ubicado en el municipio de La Paz (Cesar), con el fin de elaborar una propuesta de optimización del trazado del diseño geométrico inicial, desarrollando modelos en aplicaciones bajo metodología *Building Information Modeling* (BIM) que permitieron aplicar ajustes de parámetros adoptados en las iteraciones conducidas. Si bien la propuesta desarrollada resultó en el incremento en 120 m de la extensión del corredor vial, se validó la optimización del diseño geométrico mediante el análisis de la variación de cantidades con relación al diseño inicial. El volumen de material de corte de terreno y de los componentes de acero y concreto para obras de drenaje se redujeron 45 %, 57 % y 74 %, respectivamente. Las cantidades de curvas tanto verticales como horizontales resultantes, al igual que las señales de tránsito, no registraron cambios

---

<sup>3</sup> Grupo de Investigación e Innovación en Ingeniería Civil (GINC), Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, transv. 22 vis # 4-105, sector Callejas, Valledupar 200005, Colombia.

<sup>4</sup> Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.

\* [jgalindo22@areandina.edu.co](mailto:jgalindo22@areandina.edu.co)

significativos. Las variaciones obtenidas indican que la optimización alcanzada tuvo una incidencia entre media y alta.

**Palabras clave:** carretera, diseño por ordenador, infraestructura de transportes, optimización, transporte rural.

## Introducción

Mejorar la conectividad entre los centros poblados de mayor jerarquía con los ubicados en zonas rurales dispersas es una manera de integrar el territorio aportando significativamente al desarrollo de la población en sus dimensiones social, cultural, deportiva, educativa, económica y médica, entre muchas otras (ARN, 2020; Wilches *et al.*, 2020). La inversión en redes de infraestructuras viales terciarias es vital para el desarrollo de aquellas zonas y comunidades que históricamente han sufrido el conflicto armado en Colombia (PNUD, 2018). Con lo planteado se busca abordar una alternativa que se instituya como solución a problemas

de movilidad que históricamente ha registrado la población. Tal es el caso de la vereda Tierra Grata, ubicada a 13 km hacia al sureste de la cabecera municipal de La Paz, que actualmente cuenta con un acceso vial improvisado, cuyo trazado registra pendientes que alcanzan hasta 32%, donde solo es posible la circulación de vehículos 4 x 4 a bajas velocidades, lo que dificulta el libre tránsito de actores viales. En concordancia con lo expuesto y a partir de una solución previamente desarrollada para la vía de acceso al AETCR referido, se planteó en este estudio la aplicación de procedimientos técnicos conducentes a su optimización, buscando impactar positivamente el orden de magnitud de las cantidades de actividades ne-

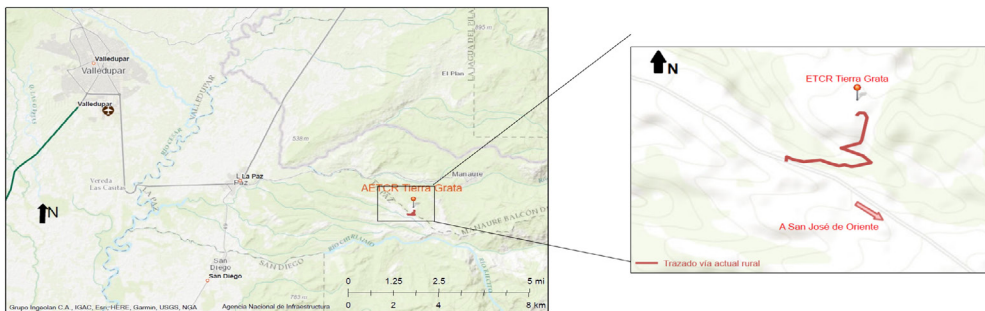


Figura 1. Mapa de ubicación AETCR Tierra Grata y trazado actual vía de acceso

Fuente: elaboración propia a partir de datos sistema de información geográfica Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) (2021).

cesarias para su ejecución, lo que supone racionalizar los costos de la subsecuente ejecución.

## Metodología

El alcance aplicativo y enfoque mixto dado al trabajo de investigación permitió establecer cuantitativamente variables derivadas de un análisis de datos, partiendo de los obtenidos en procedimientos de diseños previos que, al compararlo con los desarrollados en este, dieron cuenta del grado de optimización logrado. Se emplearon las herramientas computacionales AutoCAD Civil 3D e InfraWorks 360, que operan bajo metodología BIM, con el fin de desarrollar las propuestas del trazado del corredor vial

(alineamiento vertical y horizontal), incluyendo la rutina de programación del ensamblaje en AutoCAD Civil 3D (sección típica de estructura del pavimento), conforme a reportes aportados en otros estudios (Cheng *et al.*, 2016; Tang *et al.*, 2020; Vignali *et al.*, 2021), en los que recomiendan utilizar aplicaciones operantes bajo el ambiente BIM, como AutoCAD Civil 3D, InfraWorks 360, OpenRoad Designer y Bentley, algunas denotadas por Cheng *et al.* (2016) como *Civil Information Modelling* (CIM) o, según Vignali *et al.* (2021), *Infrastructures Building Information Modelling* (I-BIM). En todo caso, se condujeron ajustes mediante iteraciones a los modelos 3D desarrollados, buscando dar cum-

Tabla 1. Listado de componentes de diseño

| Componente                                      | Manuales, reglamentos o métodos  | Aplicación BIM                   |
|---|--|----------------------------------|
| Diseño geométrico de corredor vial              | Manual de diseño geométrico de carreteras (Invías, 2008)   | AutoCAD Civil 3D, InfraWorks 360 |
| Revisión de visibilidad en tramos críticos      | Manual de diseño geométrico de carreteras (Invías, 2008)   | InfraWorks 360                   |
| Revisión de pendientes longitudinales de la vía | Manual de diseño geométrico de carreteras (Invías, 2008)   | InfraWorks 360                   |
| Diseño estructural de batea                     | SAP2000, NSR-10 Reglamento colombiano de construcción sismorresistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) | Revit Structure                  |
| Revisión de señalización vial                   | Manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2015)   |                                  |
| Revisión de capacidad hidráulica de cunetas     | Manual de drenaje para carreteras (Invías, 2009)   |                                  |
| Revisión de inclinación taludes                 | Slide, NSR-10 Reglamento colombiano de construcción sismorresistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)   |                                  |

Fuente: elaboración propia.

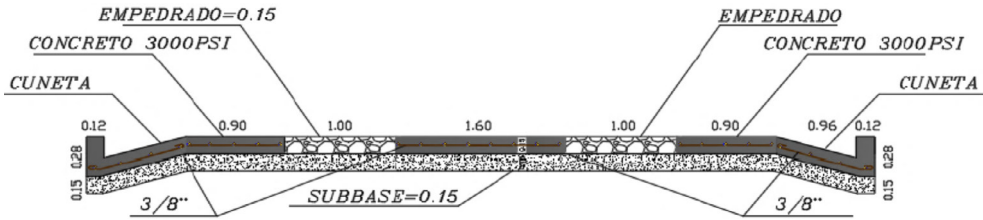


Figura 2. Sección de diseño estructura de placa huella

Fuente: propuesta por Alarcón y García (2018).

plimiento a parámetros técnicos aplicables para proyectar una vía segura.

En la tabla 1 se ordenan los manuales, reglamentos, métodos y aplicaciones de diseño empleados para desarrollar los componentes de la propuesta de diseño geométrico.

Después de conducir los chequeos y diseños derivados del trazado propuesto, la optimización del diseño geométrico se validó estableciendo la incidencia o significancia de variaciones, conforme a los siguientes rangos de porcentajes de reducción de cantidades: disminución en grado alto (para variaciones mayores al 67%), en grado medio (para variaciones situadas ente 34% y 66%) y en grado bajo (para variaciones comprendidas entre 0% y 33%). Dos elementos no fueron objeto de análisis, puesto que se consideró el uso y el propósito de conectar los mismos puntos con la vía (origen y destino). Uno correspondió a las características predominantes de la

subrasante, caracterizada con el estudio geotécnico realizado, y el otro fue la estructura del pavimento, debido a que las cargas de tránsito durante el periodo de diseño se mantienen. Por consiguiente, la sección típica de diseño (ensamblaje) propuesta en el diseño previo, tal como se muestra en la figura 2, fue el adoptado en las modelaciones.

## Resultados y discusión

La propuesta consiste en un trazado que se ajusta a las condiciones que hoy en día experimentan los usuarios de la vía, presentadas en la figura 3b. Para el abscisado del tramo vial, el punto de inicio (Pr 0+000) fue la derivación de la vía que conduce al corregimiento de San José de Oriente, y el final fue la entrada a la vereda Tierra Grata (Pr 0+990).

En la modelación inicial se utilizó el *software* AutoCAD Civil 3D, desarrollando las propuestas de los alineamientos horizontal y vertical, al tiempo que se ajustaron parámetros geométricos tales

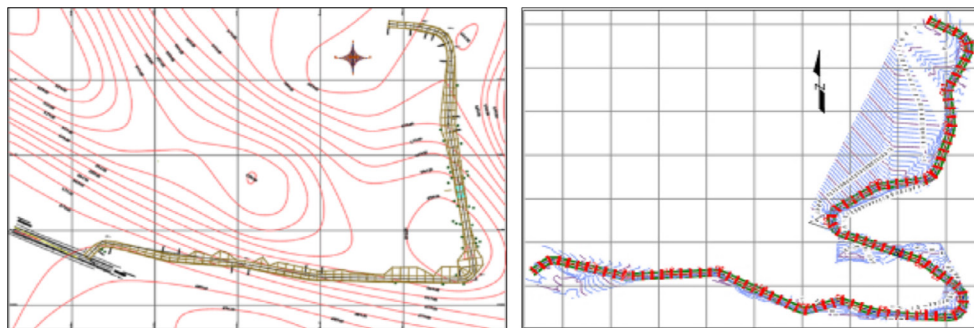


Figura 3. Esquema de trazados propuestos vistos en planta. Sin escala

a) Fuente: Alarcón y García (2018).

b) Fuente: elaboración propia.

como pendiente longitudinal y radios de curvas circulares simples, conforme a In-vías (2008). Para el cauce del arroyo El Pílon, mostrado en la vista de perfil en la figura 4a, Alarcón y García (2018) propusieron un paso a desnivel con una estructura de drenaje tipo *box coulvert*. En contraste con lo anotado, en este estudio se proyectó una batea en el Pr 0+570, la cual permite realizar pasos vehiculares a nivel con cuerpos de agua, sin incurrir en costos elevados para su construcción.

Desde la aplicación AutoCAD Civil 3D se exportó el modelo 3D a Infracore 360, en el que se realizaron iteraciones de las pendientes asignadas a tangentes del perfil, al tiempo que se parametrizaron radios de curvas circulares simples y se solventaban errores de visibilidad que reportaba la aplicación en algunos segmentos de la ruta, como se expone en las figuras 5b a 5e.

## Evaluación técnica

La propuesta de diseño se validó con la revisión de cinco aspectos de diseño listados en la tabla 2.

## Análisis de variación cantidades

La solución de diseño desarrollada, en comparación con la de Alarcón y García (2018), resultó en el incremento en 119,37 m del corredor vial, pasando de tener 870,63 a 990,00 m. Consecuentemente, los elementos geométricos (curvas), incluidas las del alineamiento horizontal y vertical, pasaron de 17 a 19 y las señales de tránsito se incrementaron en dos unidades, pasando de 57 a 59.

El cambio adoptado para la obra de drenaje referida (batea), resultó en la disminución de cuantías, tanto para el concreto como para el acero de refuerzo,

indicando los porcentajes que se muestran en la figura 6.

Para el caso del volumen de corte de terreno (remoción o excavación) se observó una disminución en los valores estimados del orden del 45%. En la alternativa propuesta se obtuvo volumen de relleno 8640,88 m<sup>3</sup> (el inicial-control-fue de 1493,80 m<sup>3</sup>), que resultó de ajustes conducidos mediante iteraciones en InfraWorks 360 de las pendientes de tangentes del perfil, obteniendo incremento de las elevaciones de la rasante en algunos sectores. Al comparar las magnitudes estimadas para la actividad de relleno (7147,80 m<sup>3</sup>) con la de excavación (14.673,09 m<sup>3</sup>), se observó que lo requerido para relleno puede suplirse con una fracción, aproximadamente del 49% del volumen resultante de excavaciones proyectadas.

## Conclusiones

La optimización del diseño geométrico se validó luego de realizar los chequeos y diseños que resultaron de la solución del trazado propuesto, lo cual no se limitó únicamente a considerar los componentes que se derivaron directamente de cambios aplicados al alineamiento horizontal y vertical de la vía, sino que también se extendió, sin limitarse a ello, a la disminución de cantidades de ítems de construcción significativos para proyectos de esta naturaleza. Considerando la relación establecida entre los aspectos mencionados y por el orden de magnitud de las variaciones de cantidades evaluadas, se establecieron optimizaciones en grado medio para el acero de refuerzo de obras de drenaje y volumen de corte de material necesario para implantar la sección de diseño en todo el corredor

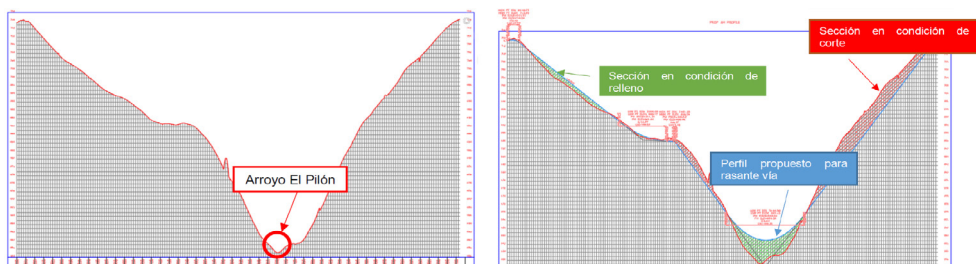


Figura 4. Vista diseño en perfil (alineamiento vertical) propuesto

a) Nota: vista modelo perfil de superficie terreno en AutoCAD Civil 3D.

b) Nota: vista modelo diseño alineamiento vertical en AutoCAD Civil 3D.

Fuente: propuesto por los autores.

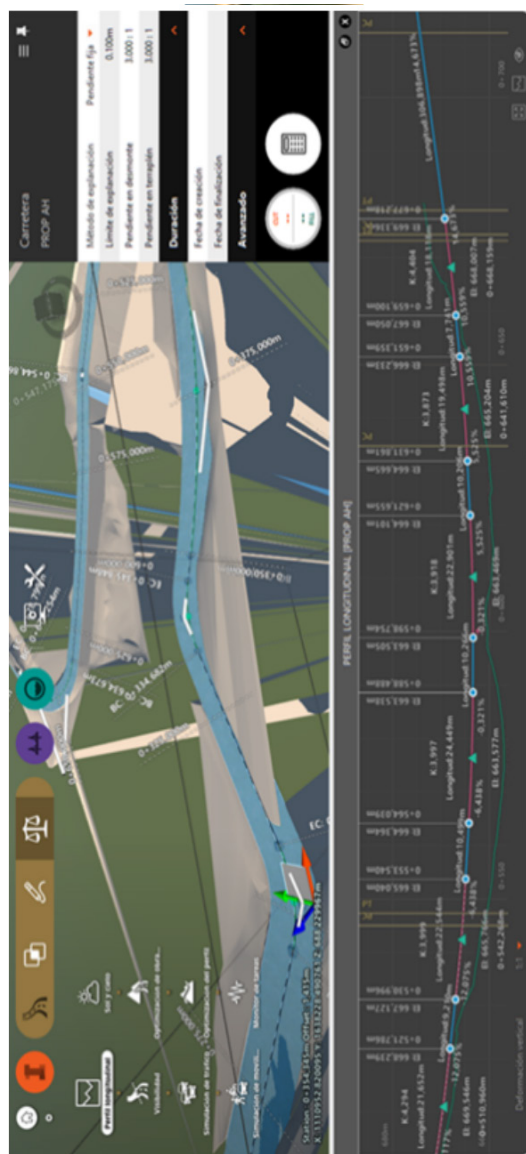
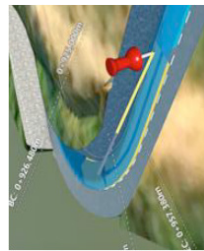
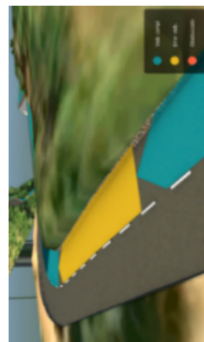
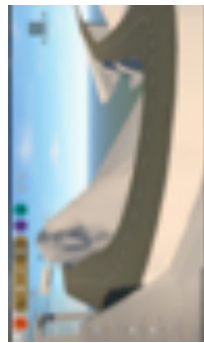


Figura 5. Vistas del modelo 3D del corredor vial en InfraWorks 360 - importado desde AutoCAD Civil 3D

a) Nota: modelo 3D y perfil longitudinal

Fuente: elaboración propia.



b) Nota: curva ubicada en Pr0+625 con observaciones de radio y pendiente.

c) Nota: curva del Pr 0+625 corregida.

d) Nota: error de visibilidad reportado en Pr 0+019.

e) Nota: reporte error de visibilidad hacia atrás en Pr 0+465.

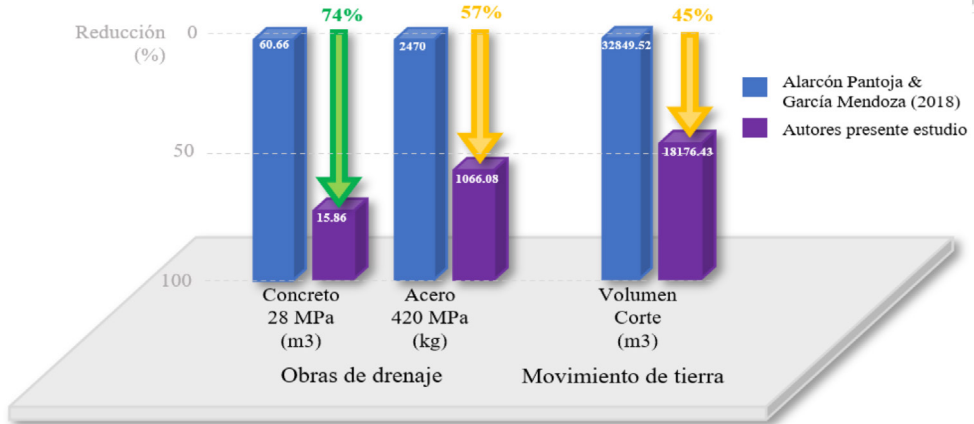


Figura 6. Variación de cantidades actividades analizadas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resultado de aspectos de diseño evaluados

| Aspecto  | Parámetro de evaluación                                     | Cumple |    | Resultados  |
|--|---|--------|----|---|
|  |   | Sí     | No |   |
| 1. Capacidad hidráulica de cunetas (Qhd) para que puedan conducir el caudal de áreas tributarias nuevas (Qatn) | $Qhd > Qatn$  | P      |    | Se adoptan las dimensiones de la cuneta que se considera en la sección de diseño establecida por Alarcón y García (2018).                                 |
| 2. Pendientes de taludes a cada lado de la sección típica de diseño, para cumplir factor de seguridad (FS)     | $FS > 1,05$   | P      |    | Se adoptan para taludes en condiciones de corte y de relleno a cada lado de la sección H:0.47 y V:1.0.  |
| 3. Pendientes longitudinales del perfil  | Pendiente tangentes < 16 %                                  | P      |    | Se adoptan las pendientes de tangentes del trazado vertical propuestos.   |
| 4. Visibilidad en tramos críticos  | Sin reporte de alertas de visualización                     | P      |    | Se adoptan las curvas y tangentes del trazado horizontal propuesto.   |
| 5. Señalización  | Elemento geométrico que tiene señales para operación segura | P      |    | Se actualizan las señales de tránsito preventivas, reglamentarias e informativas conforme a los propuestos para garantizar operación segura por usuarios. |

Fuente: elaboración propia.



vial. En el caso del concreto de obras de drenaje la optimización lograda fue en alto grado.

Incorporar en la formulación de proyectos viales obras de drenaje cuyo proceso constructivo se adapte mejor a vías terciarias con bajos volúmenes de tránsito, como son muchas de las existentes en las zonas rurales del país, así como el uso de aplicativos para desarrollar modelos que operan bajo ambiente de metodología BIM constituyen, por un lado, estrategias y, por otro, herramientas, con las cuales se debe contar para que los proyectos de ingeniería en gestación logren tanto la eficiencia como la eficacia de recursos de inversión desde su etapa de planeación.

## Referencias

- Alarcón Pantoja, L. R. y García Mendoza, A. (2018). *Estudios y diseño para la construcción y pavimentación de la vía intersección San José de Oriente- vereda Tierra Grata, municipio de La Paz, departamento del Cesar*. Fundación Universitaria del Área Andina.
- Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN). (2020). La reincorporación temprana. <http://www.reincorporacion.gov.co/es/reincorporacion/ruta-de-reincorporacion>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). NSR-10, Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente. Diario Oficial. <https://www.asosismica.org.co/producto/reglamento-colombiano-de-construccion-sismo-resistente-nsr-10/>
- Cheng, J. C. P., Lu, Q. y Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction*, 67, 31-47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006>
- Instituto Nacional de Vías (Invias). (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico>
- Instituto Nacional de Vías (Invias). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>
- Ministerio de Transporte. (2015). Manual de señalización vial. Resolución 1885 del 2015, 888 <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). ODS en Colombia: Los retos para 2030 (p. 74). <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/ods/ods-en-colombia--los-retos-para-2030.html>

- Tang, F., Ma, T., Zhang, J., Guan, Y. y Chen, L. (2020). Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM. *Automation in Construction*, 113, 103152. <https://doi.org/10.1016/j.aut-con.2020.103152>
- Vignali, V., Acerra, E. M., Lantieri, C., Di Vincenzo, F., Piacentini, G. y Pancaldi, S. (2021). Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. *Automation in Construction*, 128, 103752. <https://doi.org/10.1016/j.aut-con.2021.103752>
- Wilches, F. J., Burbano, J. L. A. y Sierra, E. E. C. (2020). Vehicle operating speeds in southwestern Colombia: An important database for the future implementation of optimization models for geometric design of roads in mountain topography. *Data in Brief*, 32, 106210. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106210>