

**Metodología para el Diseño Geométrico de Vías con el Uso de Building Information
Modeling**

Jefersson Alexander Rojas Pinilla

**Trabajo de Grado para Optar por el Título de
Ingeniero Civil**

**Director
Omar Giovanni Sánchez Rivera
Ingeniero Civil**

**Codirectora
Karen Milady Castañeda Parra
Ingeniera Civil**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga
2017**

Contenido

Introducción	11
1. Metodología	14
1.1 Topografía.....	14
1.2 Línea de ceros	16
1.3 Trazado del corredor vial	18
1.4 Control del diseño geométrico	20
1.4.1 Diseño en planta.....	21
1.4.2 Diseño en perfil.....	28
1.4.3 Sección transversal.....	34
1.4.4 Movimiento de tierras	42
1.4.5 Distancias de visibilidad	43
1.4.6 Optimización de perfil y de obra lineal.....	45
2. Resultados	46
2.1 Diseño en planta.....	48
2.2 Diseño en perfil.....	53
2.3 Sección transversal.....	56
2.4 Optimización de perfil y de obra lineal.....	57

3. Conclusiones	61
Referencias bibliográficas.....	62

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo que contiene el algoritmo para el diseño geométrico de vías usando BIM.	15
Figura 2. Terreno obtenido con el generador de modelos.....	16
Figura 3. Parcela.....	17
Figura 4. Línea de ceros.	18
Figura 5. Asignación inicial de velocidad.....	19
Figura 6. Trazado del corredor vial.....	20
Figura 7. Propiedades de la curva.	21
Figura 8. Asignación de peralte máximo.	24
Figura 9. Longitud de espirales.....	26
Figura 10. Zonas de transición del peralte.	27
Figura 11. Longitud de espirales.....	28
Figura 12. Visualización del perfil.....	29
Figura 13. Eliminar curva vertical.	30
Figura 14. Propiedades de la curva vertical.	32
Figura 15. Cambio de longitud de curva vertical.....	33
Figura 16. Acho y pendiente transversal del carril.	34
Figura 17. Componentes de carretera.....	35
Figura 18. Transición de elementos de carretera.....	36
Figura 19. Extender componente de carretera.....	37
Figura 20. Cuneta.	38

Figura 21. Explanación por anchura fija.	39
Figura 22. Explanación por pendiente fija.	39
Figura 23. División de explanación.	40
Figura 24. Transición de explanación.	41
Figura 25. Vista de sección transversal.	42
Figura 26. Cantidades de explanación.	43
Figura 27. Análisis de distancias de visibilidad.	44
Figura 28. Zonas de visibilidad.	44
Figura 29. Parámetros de entrada para optimización del perfil.	45
Figura 30. Parámetros de entrada para optimización de obra lineal.	46
Figura 31. Procesos identificados en el caso de estudio.	46
Figura 32. Productos del diseño geométrico de vías usando BIM.	47
Figura 33. Sección transversal final.	56
Figura 34. Cantidades totales de explanación.	57
Figura 35. Vista de la vía en perfil.	58
Figura 36. Diagrama de masas.	58
Figura 37. Vista en planta de la vía generada por el programa.	59
Figura 38. Vista en perfil de la vía generada por el programa.	59
Figura 39. Diagrama de masas de la vía generada por el programa.	59

Lista de tablas

Tabla 1. Características del caso de estudio.....	47
Tabla 2 Radios de curvatura mínimos.....	48
Tabla 3 Ángulos de deflexión, velocidades específicas (V_{CH}) y radios de curvatura.....	49
Tabla 4 Longitudes máximas y mínimas para las espirales de transición, según los criterios de diseño.	50
Tabla 5 Longitud máxima y mínima para las espirales de transición.	50
Tabla 6 Longitud mínima para tangentes con curvas circulares adyacentes de igual sentido. 51	
Tabla 7 Longitud mínima para tangentes con curvas circulares adyacentes de distinto sentido.	51
Tabla 8 Longitud mínima para tangentes con curvas espirales adyacentes de igual sentido... 52	
Tabla 9 Longitud y velocidad específica de las tangentes horizontales.....	52
Tabla 10 Cálculo de las zonas de transición del peralte.....	53
Tabla 11 Pendientes para el diseño de la rasante.	53
Tabla 12 V_{ETH} , longitud y pendiente de tangentes.	54
Tabla 13 Parámetros para el diseño de curvas verticales.	55
Tabla 14 Datos de curvas verticales del trazado.	55
Tabla 15 Propiedades de los elementos de la sección transversal.	56
Tabla 16 Videos acerca del diseño geométrico de carreteras usando BIM.....	60

Resumen

TÍTULO: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS
CON EL USO DE BUILDING INFORMATION MODELING*

AUTOR: JEFERSSON ALEXANDER ROJAS PINILLA**

PALABRAS CLAVE: BUILDING INFORMATION MODELING, BIM PARA
INFRAESTRUCTURA, DISEÑO GEOMÉTRICO DE
CARRETERAS.

DESCRIPCIÓN:

El sector de la infraestructura en Colombia usa los métodos tradicionales para el diseño y construcción, los cuales no son lo suficientemente eficientes, generando así un alto consumo de tiempo y recursos económicos durante la ejecución de los proyectos. Durante los últimos años, ha aumentado el uso de la metodología BIM en Colombia, pero únicamente en el sector de la construcción de edificaciones; en cambio, en el campo de la infraestructura del transporte, no se ha adoptado este método de trabajo, debido a la falta de investigación acerca del tema, lo cual no permite conocer los beneficios que ofrece. Building Information Modeling (BIM) es un entorno virtual de modelado que permite almacenar gran cantidad de información, que puede ser administrada en forma colaborativa por grupos de trabajo interdisciplinarios en un solo modelo tridimensional. Buscando la forma de cómo emplear la metodología BIM en proyectos de infraestructura en Colombia, se tomó como caso de estudio el diseño geométrico de una vía primaria, usando un programa de computación basado en la metodología BIM y siguiendo las indicaciones de la norma del INVIAS. Como resultado de este trabajo, se obtuvo una guía metodológica de cómo realizar el diseño geométrico de carreteras empleando el programa Autodesk Infracore 360, con el cual se pudo desarrollar completamente el caso de estudio, sin necesidad del uso de programas de diseño asistido por computadora (CAD).

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

Abstract

TITLE: METHODOLOGY FOR THE GEOMETRIC DESIGN OF ROADS WITH THE USE OF BUILDING INFORMATION MODELING*

AUTHOR: JEFERSSON ALEXANDER ROJAS PINILLA**

KEYWORDS: BUILDING INFORMATION MODELING, BIM FOR INFRASTRUCTURE, GEOMETRIC ROAD DESIGN.

DESCRIPTION:

The infrastructure sector in Colombia uses traditional methods for design and construction, which are not efficient enough, thus generating a high consumption of time and economic resources during the execution of projects. During the last years, the use of the BIM methodology in Colombia has increased, but only in the building construction sector; However, in the field of transport infrastructure, this method of work has not been adopted, due to the lack of research on the subject, which does not allow to know the benefits that it offers. Building Information Modeling (BIM) is a virtual modeling environment that allows a large amount of information to be stored, which can be managed collaboratively by interdisciplinary work groups in a single three-dimensional model. Looking at how to use the BIM methodology in infrastructure projects in Colombia, the geometric design of a primary road was taken as a case study using a computer program based on the BIM methodology and following the indications of the INVIAS standard. As a result of this work, a methodological guide was obtained on how to realize geometric road design using the Autodesk Infraworks 360 program, with which the case study could be fully developed without the need for computer aided design programs (CAD).

*Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

Introducción

Los proyectos de infraestructura de transporte, por lo general son complejos y requieren la participación de equipos de trabajo multidisciplinarios (Fanning et al., 2014), los cuales se encargan de realizar tareas como el cálculo de movimientos de tierra, la estimación de costos, tiempos de construcción, estructuras de drenaje, etc. Por lo general, estas tareas son complejas y requieren de bastante tiempo para su elaboración (Kim, Shen, Moon, Ju y Choi, 2016).

Los métodos tradicionales empleados para el desarrollo de los proyectos de infraestructura, no son lo suficientemente eficientes, debido a la poca colaboración y comunicación entre los equipos de trabajo encargados de diseñar y construir, lo cual ocasiona problemas que tienden a reducir la eficiencia en la ejecución de los proyectos, generando así un aumento considerable en: costos, tiempo e impacto ambiental (Blanco y Chen, 2014). Para superar la situación descrita, la industria de la construcción debe adaptarse al desarrollo constante de las tecnologías de la información (Becerik-Gerber y Kensek, 2010).

La metodología Building Information Modeling (BIM) ofrece una nueva forma de realizar los proyectos, que se basa en el uso de la tecnología para mejorar la productividad en los procesos de diseño y construcción (McCuen, Patrick C. Suermann y Krogulecki, 2011). La metodología BIM existe desde hace treinta (30) años aproximadamente, y se ha desarrollado principalmente en la industria de la arquitectura y la construcción de edificaciones (Sharples, 2009; Suermann y R. Raymond Issa, 2009; Omoregie y Turnbull, 2016). En países como: Noruega, Singapur, Canadá, Estados Unidos y el Reino Unido, ha aumentado el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial durante los últimos años (Omoregie y Turnbull, 2016; Bradley, Li, Lark y Dunn, 2016).

Actualmente, la agencia de autopistas de Inglaterra está usando BIM, con el fin de superar los inconvenientes que se presentan al emplear métodos tradicionales de trabajo, mejorando así los tiempos de entrega de proyectos de infraestructura y evitando que se presenten sobrecostos (Omoregie y Turnbull, 2016). También, con la implementación de BIM, el gobierno del reino unido busca reducir el costo de los proyectos del sector público en un 15-20% (Teall, 2014).

BIM no solo es una herramienta, sino que es una tecnología de modelado, hecha para facilitar el análisis, el manejo y la comunicación de la información contenida en un modelo (Shou, Wang, Wang y Chong, 2015); es un proceso que abarca todos los aspectos y disciplinas en un solo modelo virtual, el cual permite que todos los miembros del equipo de trabajo puedan colaborar de una forma más coordinada, esto gracias a las fortalezas en el ámbito de la comunicación proporcionadas por BIM (Sibert, 2013; Han y Golparvar-Fard, 2017; Lu y Li, 2011), poniéndola en ventaja respecto a los métodos de trabajo tradicionales (Azhar, 2011). La metodología BIM puede ayudar a disminuir los costos de diseño y construcción de los proyectos, esto es debido a las características que posee (Chong, Lopez, Wang, Wang y Zhao, 2016), entre las que cabe destacar, la capacidad de representar geoméricamente con una alta precisión todos los elementos de la infraestructura, contenidos en un medio de datos integrados (Marzouk y Abdel Aty, 2012).

Uno de los propósitos de la metodología BIM es simplificar procesos. Por ejemplo, para crear una vía en un programa de diseño asistido por computadora CAD, es necesario realizar tareas como: Trazado del eje en planta y en perfil, creación de la sección transversal y construcción del corredor vial, por lo tanto, se requiere un poco más de tiempo en comparación a un software BIM como Infracore 360, en el que se usan plantillas para el trazado de carreteras, con las que se puede crear en un solo paso, el corredor con su trazado en planta y en perfil con su respectiva sección transversal, permitiendo modificar todas sus dimensiones (Teall, 2014).

En Colombia, el uso de la metodología BIM en el sector de la construcción de edificaciones ha aumentado gradualmente en los últimos años. En cambio, en el campo de la infraestructura de transporte no se ha empezado a usar este método de trabajo, debido a la falta de investigación acerca del tema, lo cual impide conocer las ventajas que ofrece en comparación a los métodos de trabajo tradicionales.

Con el fin de investigar acerca del uso de la metodología BIM en el sector de la infraestructura de transporte, se toma como caso de estudio el diseño geométrico de una vía primaria en el software Autodesk Infracore 360, aplicándolo en el ambiente Colombiano, siguiendo las indicaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

En esta investigación se propone una metodología para el diseño geométrico de una carretera aplicando la metodología BIM, usando el programa Autodesk Infracore 360. También se exponen herramientas que facilitan las tareas y permiten generar varias propuestas de diseño en un menor tiempo. Toda la información acerca del diseño geométrico de carreteras consignada en este artículo, también se ilustra en un curso de diez (10) videos, los cuales se encuentran en la siguiente dirección Web: <https://www.youtube.com/channel/UCqd3tCreLCIVZY3gSrzzQqA>

1. Metodología

Para el desarrollo del diseño geométrico, se planteó una guía metodológica mediante un algoritmo, el cual se ha plasmado en un diagrama de flujo como se puede ver en la figura 1.

1.1 Topografía

La topografía se puede obtener mediante la importación de nubes de puntos o con la herramienta llamada generador de modelos de Infracore 360, con la que se pueden seleccionar áreas de terreno con una extensión de hasta 200 Km² con su respectiva imagen satelital. Como se puede ver en la figura 2, al cargar la superficie, también se insertan elementos como edificaciones en tres dimensiones, vías existentes, ríos y cuerpos de agua ubicados dentro de la zona seleccionada.

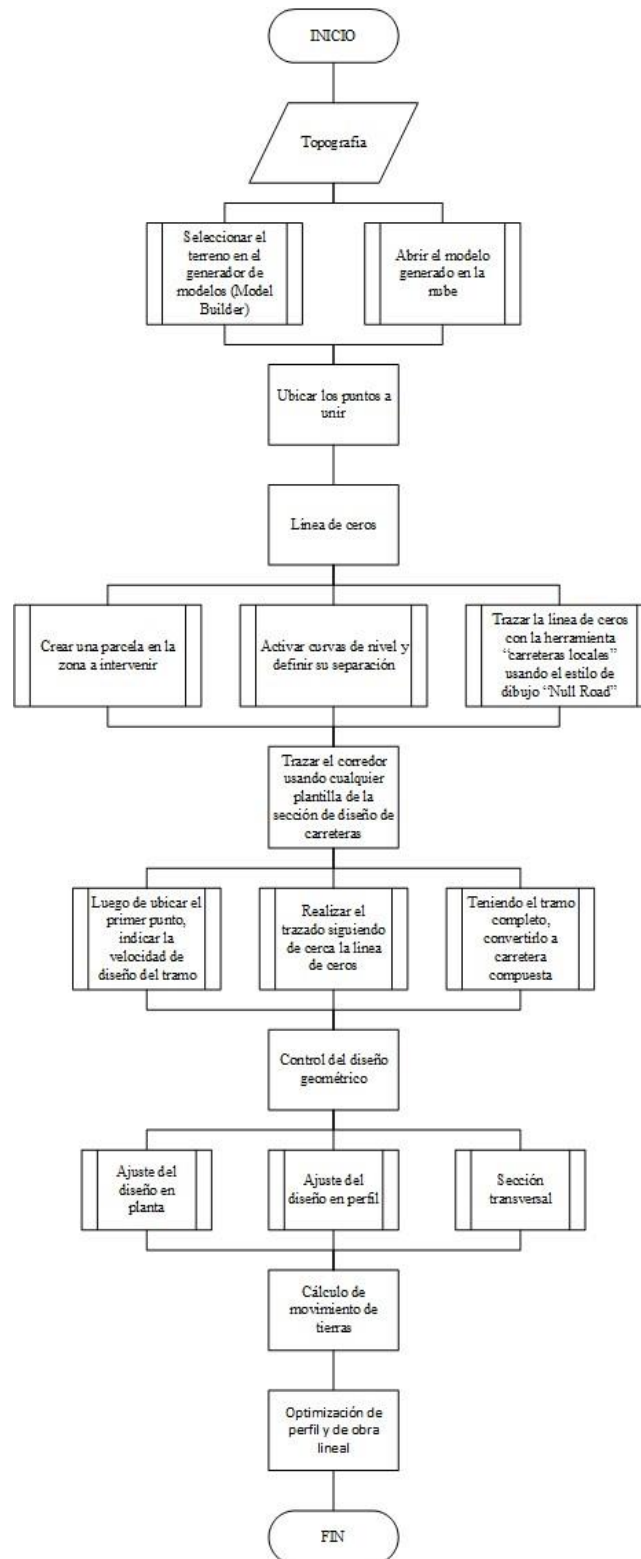


Figura 1. Diagrama de flujo que contiene el algoritmo para el diseño geométrico de vías usando BIM.



Figura 2. Terreno obtenido con el generador de modelos.

1.2 Línea de ceros

La línea de ceros, también conocida como línea de pendiente, es un trazado que permite disminuir considerablemente el movimiento de tierras si se hace que el eje de la carretera coincida con esta línea (Cárdenas grisales, 2013).

Para el trazado de la línea de ceros, primero se deben establecer los puntos a unir, los cuales se pueden identificar con marcadores, tal como se observa en la figura 3. Para poder ver las curvas de nivel del terreno en el que se trabajará, se utiliza la herramienta llamada parcelas, con la cual se puede delimitar el área de terreno a intervenir dibujando polígonos. Al momento de dibujar la parcela, se recomienda abarcar un área suficiente para poder realizar adecuadamente la línea de ceros.

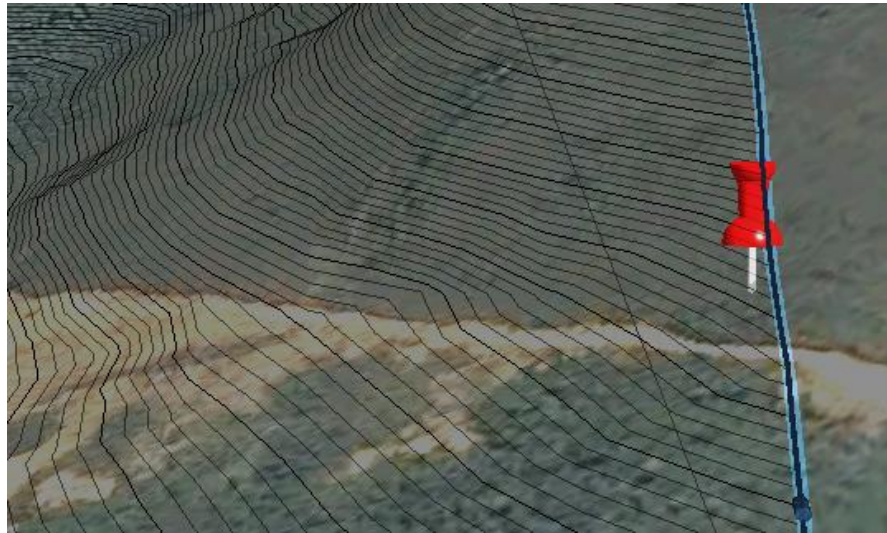


Figura 3. Parcela.

Para el trazado de la línea de ceros, se debe tener en cuenta la separación vertical entre curvas de nivel y la pendiente a la cual se trazará dicha línea. El procedimiento consiste en trazar líneas consecutivas de una misma longitud entre curvas de nivel. La longitud de la línea se calcula con la fórmula 1. Infracore 360 no ofrece una herramienta que permita trazar polilíneas, pero posee una plantilla de carretera que tiene un ancho de aproximadamente 10 cm, con la que se puede trazar la línea de ceros; esta plantilla se llama Null Road y se encuentra en la herramienta de carreteras locales. El estilo de esta plantilla se observa en la figura 4.

$$L = \frac{S}{P} \quad (1)$$

Donde:

L = Longitud de trazo entre curvas de nivel.

S = Separación vertical entre curvas de nivel.

P = Pendiente de la línea de ceros.

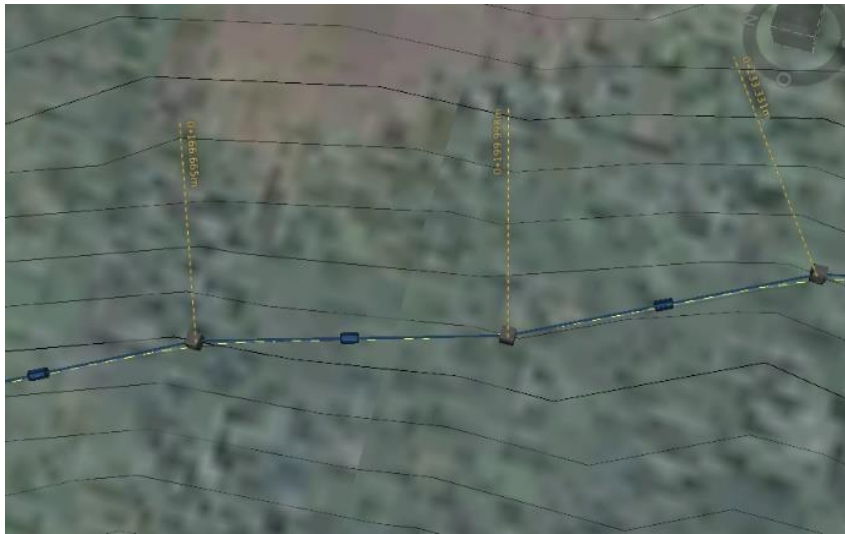


Figura 4. Línea de ceros.

1.3 Trazado del corredor vial

Teniendo la línea de ceros, se procede a dibujar el eje de la vía, ubicando los puntos de inflexión (PI). Primero, se selecciona el estilo deseado para el corredor y luego de indicar el primer punto del trazado del eje, se ingresa al programa la velocidad de diseño como se ve en la figura 5. Esto es para que el programa asigne el radio de curvatura mínimo para la carretera.

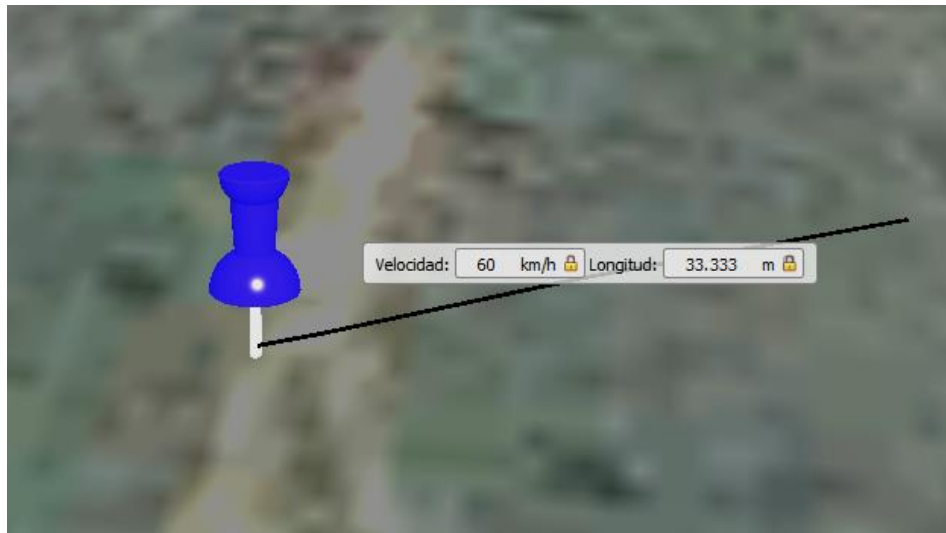


Figura 5. Asignación inicial de velocidad.

Los PI se ubican siguiendo la trayectoria de la línea de ceros, esto con el fin de evitar grandes movimientos de tierra. Durante el trazado del eje, es posible asignar curvas circulares simples o con espirales de transición; lo que se logra seleccionando la opción deseada en una lista desplegable, que se activa al oprimir el botón secundario del ratón. Al finalizar el dibujo del eje de la vía, se genera un corredor como el que se observa en la figura 6, que contiene las curvas en los PI, la sección transversal, los taludes, los terraplenes y la rasante. Para poder asignar el peralte y visualizar la sección transversal es necesario convertir el trazado a una carretera compuesta, para esto se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre este y escoger la opción convertir a carretera compuesta.

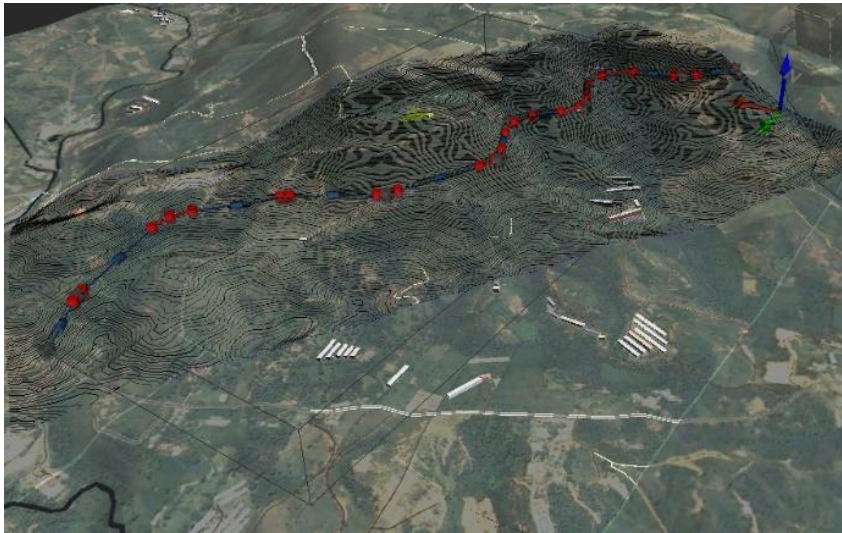


Figura 6. Trazado del corredor vial.

1.4 Control del diseño geométrico

Este control se realiza con el fin de generar un corredor en el que los vehículos puedan transitar de una forma cómoda y segura. Esto se hace modificando los elementos geométricos de la vía (Curvas horizontales y verticales, espirales de transición, peraltes, sección transversal, y tangentes horizontales y verticales) empleando un proceso iterativo, siguiendo las indicaciones de (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), hasta llegar a generar un trazado que sea seguro y que no presente un movimiento de tierras exagerado. A continuación, se explica cómo modificar los elementos de la carretera en Infracore 360 y cómo obtener la información suficiente en este software para desarrollar el control del diseño geométrico.

1.4.1 Diseño en planta.

1.4.1.1 Asignación de V_{CH} . Para la asignación de la velocidad específica a las curvas horizontales V_{CH} , se debe tener en cuenta parámetros como la velocidad de diseño del tramo homogéneo, el sentido en que se recorre la vía, la velocidad específica de la curva anterior, la longitud del segmento recto anterior y el ángulo de deflexión de la curva analizada (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). El proceso de asignación de la V_{CH} se debe realizar en ambos sentidos de circulación de la vía, siguiendo los pasos indicados en (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Para obtener los datos necesarios del alineamiento trazado en Infraworks 360, basta con seleccionar el elemento deseado y la información se observa automáticamente en el panel de herramientas que aparece en la parte derecha de la pantalla, tal como se ve en la figura 7.



Figura 7. Propiedades de la curva.

1.4.1.2 Asignación de V_{ETH} . Para asignar la velocidad específica de las tangentes horizontales (V_{ETH}), se compara la V_{CH} de las dos curvas ubicadas en los extremos de la tangente y se toma como V_{ETH} la mayor de las dos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

1.4.1.3 Vehículo de diseño. El vehículo de diseño se debe seleccionar de tal forma que se pueda representar con este, el tráfico proyectado en los estudios de tránsito (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Del vehículo de diseño dependen elementos como la calzada, las bermas, y los sobreanchos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se encuentran los tipos de vehículo de diseño, con sus respectivas dimensiones y trayectorias de giro para definir la magnitud de los sobreanchos en las curvas que sean necesarios.

1.4.1.4 Radio de curvatura. El radio de curvatura depende de factores como el peralte, el coeficiente de fricción transversal y la velocidad específica (V_{CH}). Para garantizar un recorrido seguro a lo largo de la curva, se debe tener en cuenta el radio de curvatura mínimo. El radio de curvatura mínimo se puede utilizar únicamente en casos extremos, donde no se pueda hacer uso de radios mayores (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se indica el coeficiente de fricción transversal máximo para distintos valores de velocidad específica (V_{CH}), así como el valor de radio de curvatura mínimo para diferentes velocidades, empleando peraltes máximos del 6 y 8%. Para modificar el radio de curvatura en Infracworks 360, se debe seleccionar la curva y posteriormente en el panel de herramientas, se ingresa valor del radio. En el caso de que sea necesario modificar los radios de las curvas horizontales, se debe realizar de nuevo la asignación de velocidad específica (V_{CH}), debido a que la longitud de las tangentes cambia.

1.4.1.5 Relación entre radios de curvas contiguas. Aquellas curvas que tengan tangentes con una longitud menor a 400m, son consideradas como dependientes (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). En una tabla presentada en (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), se indica el radio mínimo y máximo que puede tener la curva de salida de la tangente, teniendo en cuenta la velocidad específica (V_{CH}) y el radio de la curva de entrada.

1.4.1.6 Entretangencia mínima. Cuando se tienen curvas con espirales en distinto sentido, se puede prescindir de la tangente debido a que las espirales proporcionan una transición segura; si son curvas circulares en distinto sentido, la entretangencia debe satisfacer la longitud de transición de peralte y también tiene que ser mayor a la distancia recorrida por un vehículo, circulando a la menor de las velocidades específicas (V_{CH}) de las curvas extremas a la tangente durante un tiempo de 5 segundos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Si las curvas tienen espirales y son en igual sentido, la tangente no puede tener una longitud menor a la distancia recorrida por un vehículo a la velocidad específica de la tangente horizontal (V_{ETH}) durante un tiempo de 5 segundos; si las curvas son circulares en igual sentido, la longitud de la tangente no puede ser menor a la distancia recorrida por un vehículo a la velocidad específica de la tangente horizontal (V_{ETH}) durante un tiempo de 15 segundos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Si al hacer la revisión del trazado en Infracad 360 se encuentran tangentes que no cumplen, se procede a cambiar la ubicación de las curvas, arrastrando el PI con el cursor y en algunos casos, si es necesario, se elimina la curva; para esto, se debe oprimir el botón secundario del ratón sobre el PI y seleccionar la opción eliminar punto. Posterior a esta revisión de tangentes, se debe realizar

de nuevo la asignación de velocidad específica de las curvas horizontales (V_{CH}), ya que puede cambiar junto con el radio, debido a que la longitud de las tangentes se ha modificado.

1.4.1.7 Peralte. Para la asignación del peralte se debe tener en cuenta si la vía es primaria, secundaria o terciaria. Para carreteras primarias y secundarias, el peralte máximo es del 8%, el cual no presenta un riesgo para el tránsito a bajas velocidades de vehículos que tienen un centro de gravedad muy alto, los cuales podrían sufrir volcamiento (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Para carreteras terciarias se pueden usar peraltes de hasta el 6% (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). El procedimiento para crear el peralte en Infracworks 360 es el siguiente:

Primero se selecciona el alineamiento, luego se debe activar el botón de peralte ubicado en el panel de herramientas y posteriormente se ingresa el valor del peralte máximo como se puede ver en la figura 8.



Figura 8. Asignación de peralte máximo.

Infracworks 360 asigna el peralte máximo a todas las curvas si la velocidad de diseño es constante a lo largo del corredor. En el caso que existan tramos con velocidades de diseño

diferentes, Infracworks 360 ajusta el peralte para cada curva, teniendo en cuenta también la longitud de las tangentes.

1.4.1.8 Longitud de curvas espirales. Para garantizar una circulación segura, se debe tener en cuenta las longitudes máximas y mínimas que se les pueden asignar a las espirales de transición, las cuales se calculan mediante el parámetro de la Clotoide (A), teniendo en cuenta tres criterios relacionados con el tránsito seguro en la vía (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Las espirales de transición se pueden omitir únicamente cuando la curva tenga un radio superior a 1000m (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), se indica cómo calcular el parámetro de la Clotoide (A) para obtener la longitud mínima y máxima de la espiral.

Cuando se tengan curvas circulares en Infracworks 360 y se necesite agregar espirales de transición, se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre el PI de la curva y elegir la opción llamada convertir geometría, se puede cambiar a espiral-curva-espiral y viceversa. Para cambiar la longitud de las espirales, se debe seleccionar el alineamiento, luego escoger la curva a modificar; en el panel de herramientas se ingresa la longitud deseada tal como se ve en la figura 9, aplicándose automáticamente a las dos espirales de la curva.



Figura 9. Longitud de espirales.

1.4.1.9 Transición del peralte. La transición del peralte está compuesta por dos zonas: la primera es la distancia de aplanamiento (N) en la que el borde exterior de la calzada se eleva hasta estar a la misma altura del eje de la vía, en la segunda zona (L), la calzada alcanza el peralte máximo (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Para visualizar estas zonas de transición en Infracore 360, se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón y marcar la casilla llamada mostrar peralte. Infracore 360 permite identificar estas zonas mediante colores y las delimita con unas barras transversales de color azul tal como se observa en la figura 10; al seleccionar una barra de estas, se muestra la sección transversal en ese punto.



Figura 10. Zonas de transición del peralte.

En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se indica cómo calcular la longitud de transición del peralte para curvas circulares y curvas con espirales. Para curvas circulares, si hay suficiente entretangencia, la transición se debe generar en la tangente y cuando no hay suficiente espacio entre curvas, el peralte en el PC y/o PT tiene que estar entre el 60 y 80% del peralte máximo (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Para curvas con espirales de transición, si el terreno es ondulado, montañoso o escarpado, la zona de transición L debe extenderse a lo largo de la espiral y la longitud de aplanamiento N debe quedar en la tangente; para terrenos planos, y si se tienen espirales de gran longitud, la totalidad de la transición se debe desarrollar a lo largo de la espiral (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Infracore 360 calcula la longitud de transición automáticamente dependiendo de la velocidad específica (V_{CH}) y el peralte máximo. Para modificar la posición de la transición del peralte, primero se debe seleccionar el alineamiento y luego la curva; para modificar esto, se le indica al programa que tanto porcentaje de la transición se debe desarrollar en la tangente para el caso de

las curvas circulares y que tanto porcentaje de transición se debe desarrollar en la espiral para el caso de curvas de este tipo, tal como se ve en la figura 11.



Figura 11. Longitud de espirales.

1.4.2 Diseño en perfil.

1.4.2.1 Pendiente mínima de la tangente. La Pendiente de la rasante debe proporcionar una evacuación rápida del agua en la superficie de la calzada y cunetas; para cumplir esta función, el valor más adecuado de pendiente mínima es 0.5% y de 0.3% para terrenos muy planos (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Para observar el perfil del corredor primero se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre la vía y escoger la opción mostrar visualización del perfil.

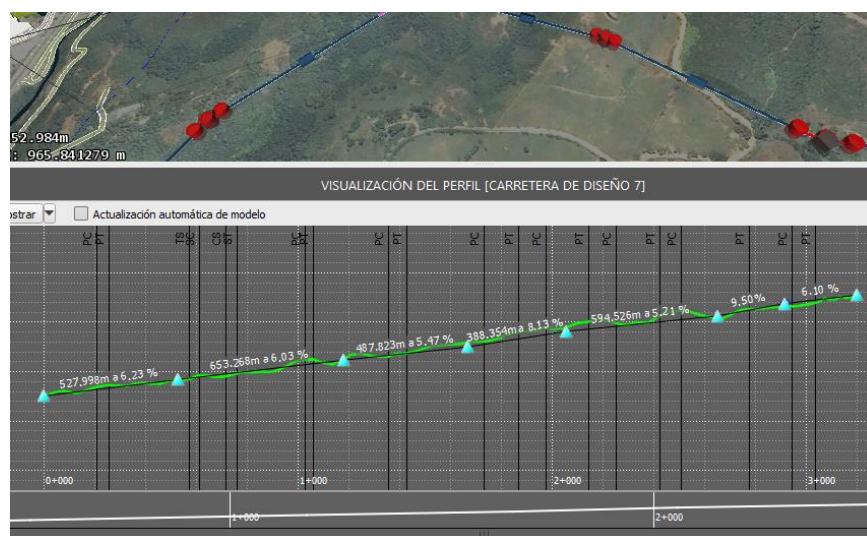


Figura 12. Visualización del perfil.

La ventana de visualización de perfil muestra la línea del terreno existente, la línea rasante con sus curvas verticales, la geometría horizontal (puntos de inicio y de fin de curvas circulares y espirales) y las redes de drenaje que contenga la carretera, tal como se observa en la figura 12. Al trazar el corredor en Infraworks 360, se genera automáticamente una línea rasante con varios puntos de inflexión vertical.

Para modificar la rasante se pueden eliminar los puntos de inflexión verticales (PIV) que no se necesiten o agregar en donde se deseen. Para eliminar los PIV, se debe oprimir el botón secundario del ratón sobre estos y seleccionar la opción suprimir VAV. Para agregar un PIV, se ubica el cursor en el lugar deseado y luego de oprimir el botón secundario del ratón, se debe seleccionar la opción añadir VAV. Para cambiar la posición de un PIV, se hace arrastrándolo con el cursor; al mismo tiempo que se modifica la posición del PIV, en las tangentes adyacentes se muestra cómo van cambiando sus longitudes y pendientes. Durante el proceso de ajustar las pendientes de la rasante, es mejor trabajar con los PIV sin curva vertical. Para eliminar la curva vertical en un PIV, se debe

oprimir el botón secundario del ratón sobre el punto y seleccionar la opción eliminar acuerdo vertical, tal como se observa en la figura 13.

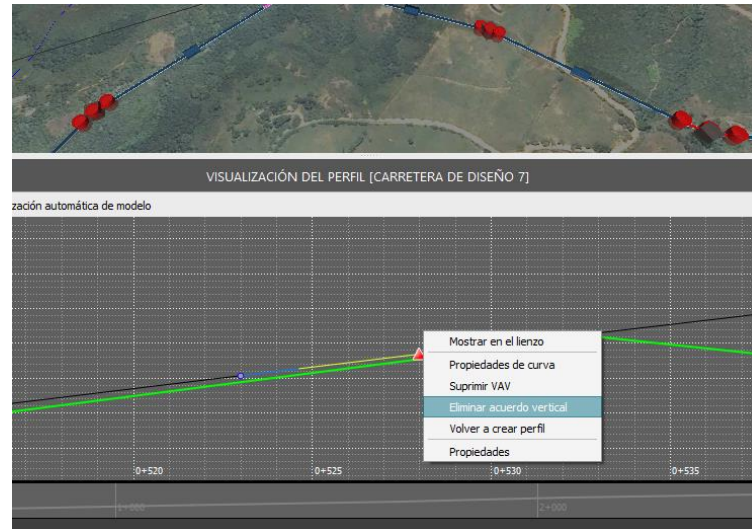


Figura 13. Eliminar curva vertical.

1.4.2.2 Pendiente máxima de la tangente. La pendiente máxima de una tangente vertical depende de la velocidad a la que circularán los vehículos, teniendo en cuenta si la vía está proyectada como primaria, secundaria o terciaria (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se indican los valores de pendiente media máxima del corredor según la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}) y la pendiente máxima que pueden tener una o varias tangentes verticales dentro de un tramo, teniendo en cuenta la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}).

1.4.2.3 Longitud mínima de la tangente vertical. En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se indica la longitud mínima de la tangente vertical para distintas velocidades específicas (V_{TV}).

1.4.2.4 Longitud máxima de la tangente vertical. La longitud máxima de una tangente vertical, la cual es llamada también como longitud crítica, se conoce como la máxima distancia con cierta pendiente constante en la cual un camión sufre una reducción en su velocidad de 25 Km/h (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Luego de la tangente de longitud crítica; para que el camión pueda recuperar la velocidad perdida, se recomienda emplear una tangente con pendiente del 1% y con una longitud igual o mayor a la de la tangente crítica (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se obtiene la longitud máxima de la tangente vertical mediante gráficas, dependiendo del tipo de camión de diseño.

Generalmente los vehículos livianos no ven muy afectada su velocidad por pendientes ascendentes inferiores al 7%. En cambio, los vehículos pesados sufren disminuciones considerables en su velocidad cuando transitan por rampas con pendientes ascendentes superiores al 3% (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Si el vehículo de diseño del corredor es un camión y por razones de fuerza mayor se necesita emplear una tangente con longitud superior a la crítica, es necesario añadir un carril de ascenso (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008); esto para el caso de vías bidireccionales de una calzada (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

1.4.2.5 Curvas verticales. En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se explica acerca de los tipos de curvas verticales y como calcular sus elementos geométricos. En el diseño de las curvas verticales se tienen en cuenta los siguientes criterios para obtener los valores de longitud máxima y mínima: Criterio de seguridad, criterio de operación y criterio de drenaje, los cuales se aplican dependiendo si se trata de una curva vertical cóncava o convexa (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Para realizar el diseño adecuado de las curvas verticales en Infracworks 360, se revisan parámetros como el valor K y la longitud de la curva, siguiendo las indicaciones de los criterios para el diseño de curvas verticales mencionados en (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Para observar las propiedades de una curva vertical en Infracworks 360 es necesario estar en la ventana de visualización del perfil, luego se debe oprimir el botón secundario del ratón sobre el PIV de la curva deseada y seleccionar la opción propiedades de curva. La información que Infracworks 360 suministra acerca de la curva vertical se puede ver en la figura 14.

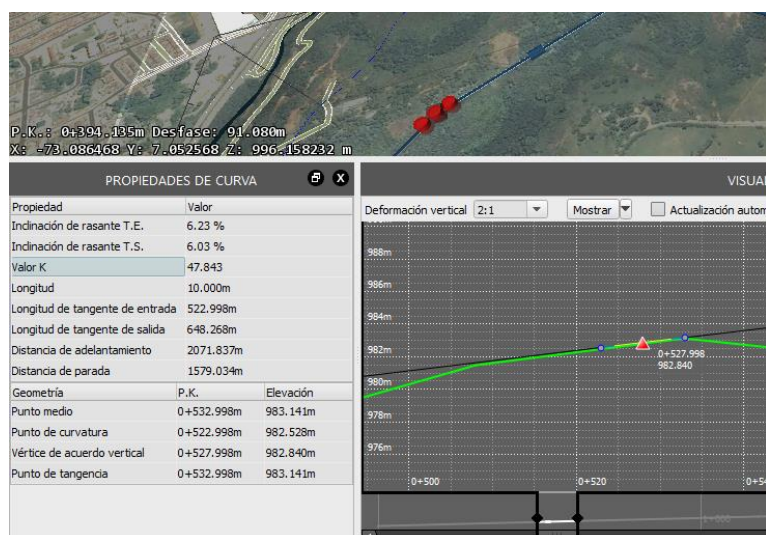


Figura 14. Propiedades de la curva vertical.

Para hacer que una curva cumpla con lo indicado por (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), se puede modificar la posición del PIV arrastrándolo con el cursor o cambiando la longitud de la curva. En el caso que el valor K de la curva esté cumpliendo los requerimientos de (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), pero si la curva no cumple con la longitud mínima, se puede modificar de la siguiente manera: En la ventana de visualización del perfil se debe oprimir el botón secundario del ratón sobre el PIV de la curva, luego seleccionar la opción mostrar en el lienzo; esto nos lleva a la curva vertical en el modelo, en la cual, los puntos de inicio y fin se simbolizan con cilindros de color amarillo y el PIV con un cubo de color gris. Para cambiar la longitud de la curva se debe oprimir el botón primario del ratón sobre el punto de inicio o fin y se le indica el valor deseado, tal como se puede ver en la figura 15.

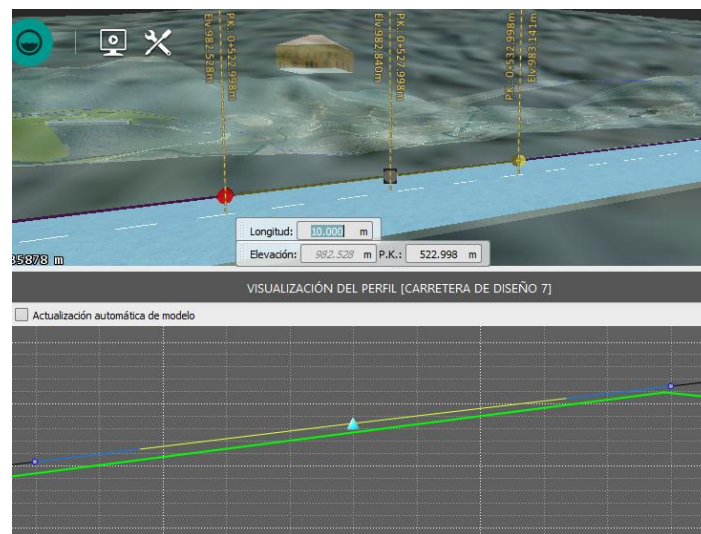


Figura 15. Cambio de longitud de curva vertical.

1.4.3 Sección transversal.

1.4.3.1 Calzada. En una tabla presentada en (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se muestran los valores recomendados de ancho de calzada, teniendo en cuenta factores como el tipo de terreno, la importancia de la vía y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}).

Para modificar el ancho de la calzada en Infracore 360 se debe realizar por carriles. Para esto primero se selecciona la vía, luego se escoge el carril deseado y en el panel de herramientas se ingresa el ancho y la pendiente transversal del carril (bombeo), tal como se observa en la figura 16.

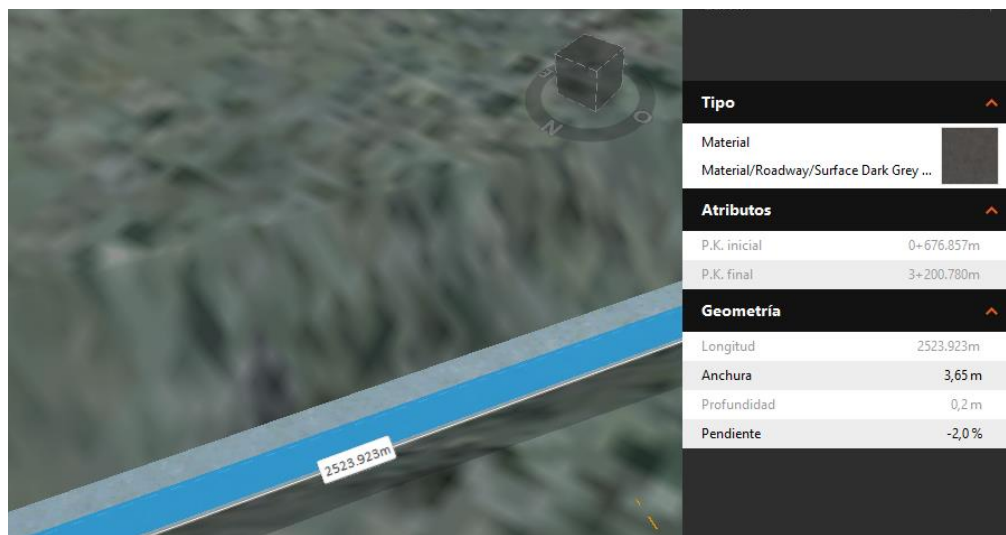


Figura 16. Ancho y pendiente transversal del carril.

1.4.3.2 Bermas. La berma se encuentra ubicada entre la calzada y la cuneta; su función es dar protección a la estructura del pavimento evitando la erosión y ofrece espacio para que los vehículos se puedan detener sin necesidad de generar obstrucción en la circulación de los demás (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) se presenta una tabla con los anchos de berma, que tiene en cuenta factores como la importancia de la vía, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo.

Para insertar una berma en Infraworks 360 se debe seleccionar el corredor, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre la vía y seleccionar la opción insertar componente de carretera. Como se puede ver en la figura 17, aparece un cuadro en el que hay varios componentes que se pueden insertar a la vía, como bermas, cunetas, carriles, barreras de concreto, andenes, etc. La berma es el elemento que aparece con el nombre Shoulder; se selecciona y posteriormente se le indica al programa en qué lugar se va a ubicar el elemento oprimiendo el botón primario del ratón.

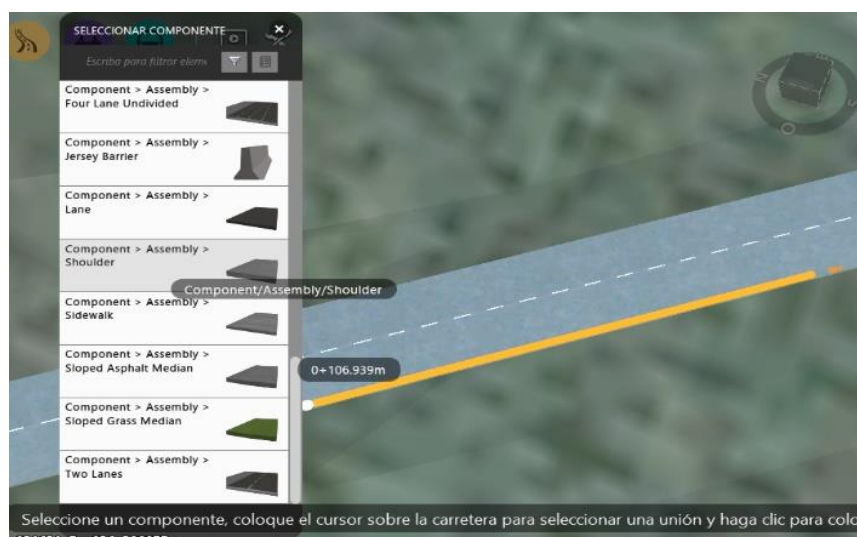


Figura 17. Componentes de carretera.

Como se ve en la figura 18, al seleccionar la berma aparece un punto intermedio, el cual delimita una sección del elemento en donde se presenta una reducción en el ancho de la berma. Esto es útil cuando se tiene una calzada de tres carriles y se quiere reducir en determinado tramo a dos carriles.

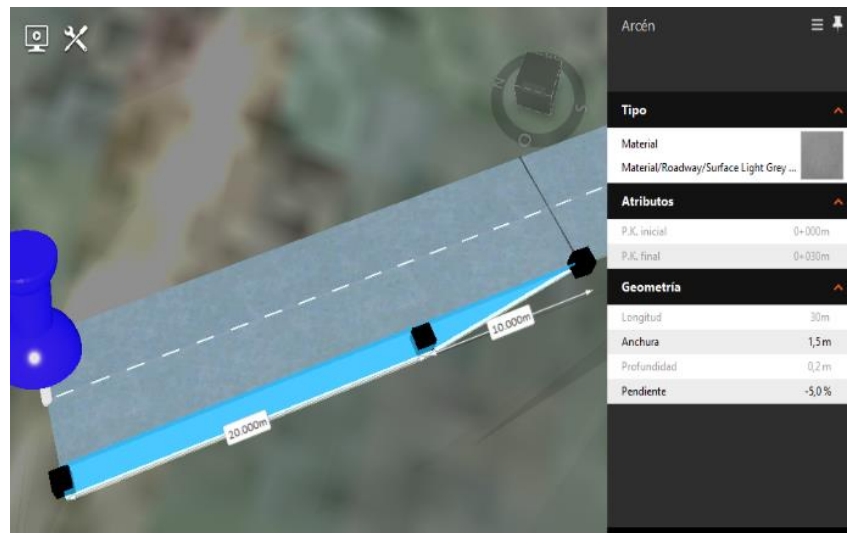


Figura 18. Transición de elementos de carretera.

Para eliminar esta transición, se debe oprimir el botón secundario del ratón sobre el punto intermedio y desmarcar la casilla de transición de salida.

Luego de tener una berma constante, se extiende hasta el final del corredor oprimiendo el botón primario del ratón en el punto final y en la lista desplegable que aparece, se selecciona la opción final de carretera, tal como se observa en la figura 19. En el panel de herramientas se puede modificar el ancho y la pendiente transversal de la berma.

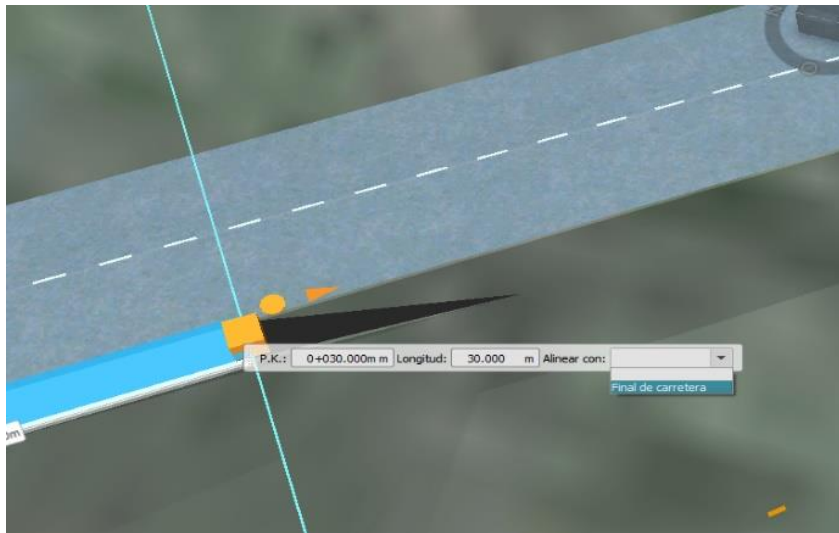


Figura 19. Extender componente de carretera.

1.4.3.3 Sobreancho. En (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008) están las indicaciones para saber que curvas requieren el sobreancho y como calcularlo. Para agregar el sobreancho a una curva en Infravorks 360 es similar al procedimiento para insertar las bermas, pero en el cuadro de estilos, se selecciona el elemento identificado con el nombre Lane y se ubica en la parte interna de la curva deseada. Posteriormente se selecciona el sobreancho y se ingresa el ancho, la pendiente transversal y el material del elemento si se requiere en el panel de herramientas. Siguiendo las indicaciones de (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), se ubican las transiciones del sobreancho y se les modifica la longitud.

1.4.3.4 Cunetas. Son canales que pueden tener o no revestimiento, los cuales recogen, y evacúan las aguas de escorrentía de la carretera (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). El procedimiento para insertar las cunetas es similar que el de las bermas. En el cuadro de estilos se selecciona el elemento llamado Curb y Gutter y se ubica en el lugar deseado. Luego se extiende hasta el final del trazado de la misma forma que las bermas. Al dibujar la cuneta se observa como en la figura 20.

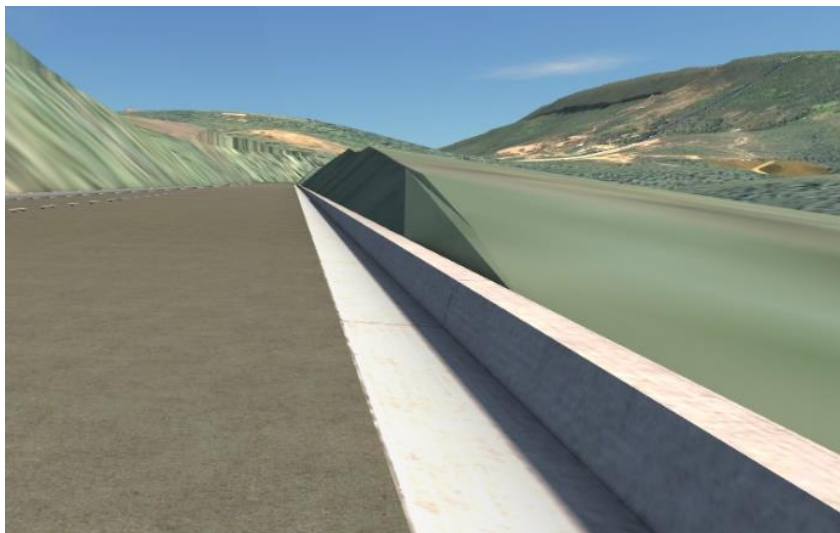


Figura 20. Cuneta.

1.4.3.5 Taludes. Infracore 360 ofrece dos métodos para realizar la explanación de la carretera. El primer método se llama anchura fija, en el que se ingresa el ancho de explanación y dependiendo de las pendientes que tenga el terreno, el programa ajusta los cortes de taludes y terraplenes tal como se observa en la figura 21.

El segundo método se llama pendiente fija, el cual permite ingresar el ancho de explanación, la pendiente de corte, la pendiente de relleno y el material de cobertura para taludes y terraplenes, tal como se observa en la figura 22. Para poder ver la pestaña de explanación en el panel de

herramientas, se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre este y marcar la opción mostrar explanación de carretera.

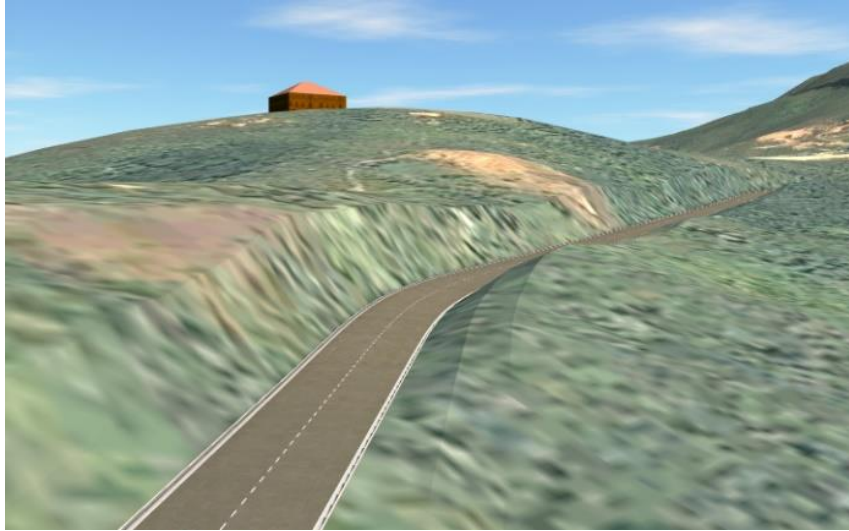


Figura 21. Explanación por anchura fija.

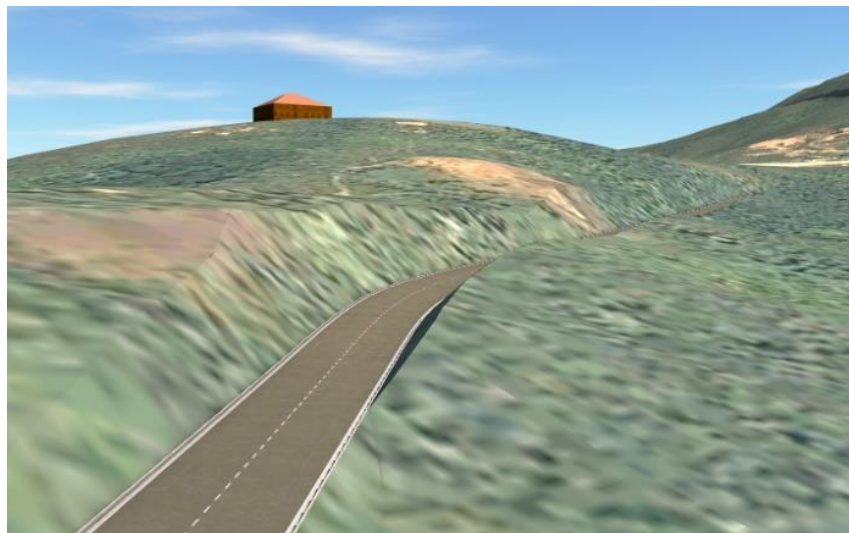


Figura 22. Explanación por pendiente fija.

El método de pendiente fija permite dividir la explanación como se desee a lo largo del trazado; además, ofrece la posibilidad de asignar pendientes y materiales diferentes para cada sección y crear transiciones entre estas. Para dividir la explanación se debe seleccionar el alineamiento, luego

elegir la explanación, oprimir el botón secundario del ratón sobre esta y escoger la opción dividir explanación; finalmente se ubica el punto donde se quiere dividir el elemento, tal como se observa en la figura 23 y se finaliza oprimiendo dos veces el botón primario del ratón.

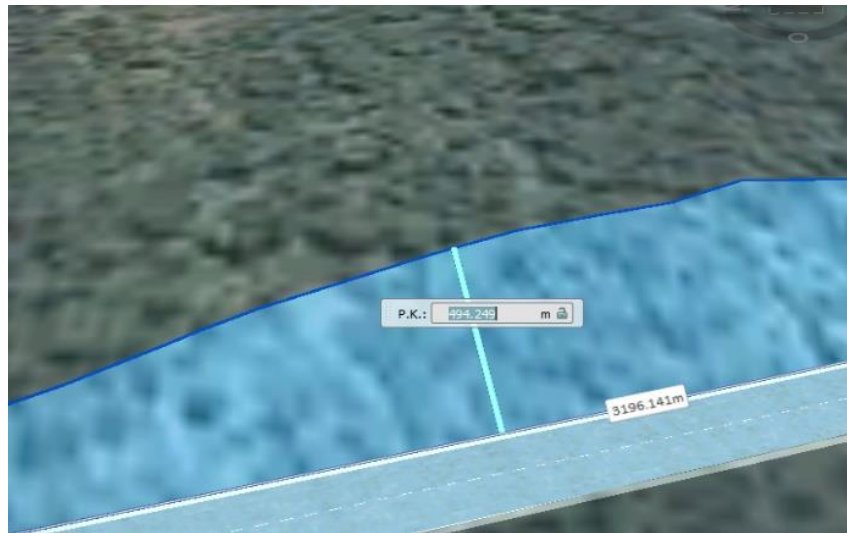


Figura 23. División de explanación.

Para crear una transición entre explanaciones con pendiente diferente, se selecciona uno de los dos cortes o rellenos y luego de oprimir el botón secundario del ratón sobre este, se selecciona la opción añadir transición y se ubica el punto final de la transición. En la figura 24 se observa una transición entre dos taludes con pendientes diferentes.

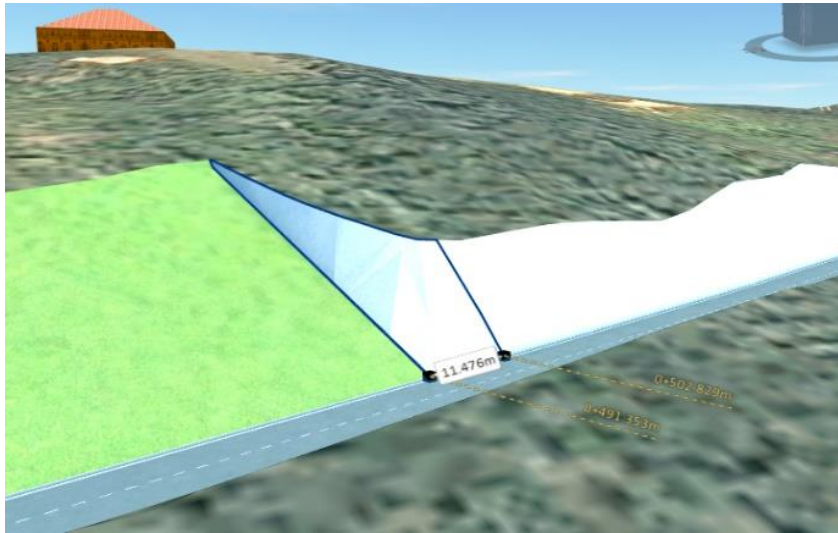


Figura 24. Transición de explanación.

Para observar la sección transversal a lo largo de la vía, se debe seleccionar el alineamiento, luego oprimir el botón secundario del ratón sobre este y seleccionar la opción mostrar vista de sección transversal; al mismo tiempo aparece una barra de color amarillo ubicada en posición perpendicular a la vía, que, al ser desplazada con el cursor, se va mostrando la sección transversal a lo largo de la vía. También permite ver las dimensiones y pendientes de los elementos y las áreas de corte y relleno, tal como se observa en la figura 25.

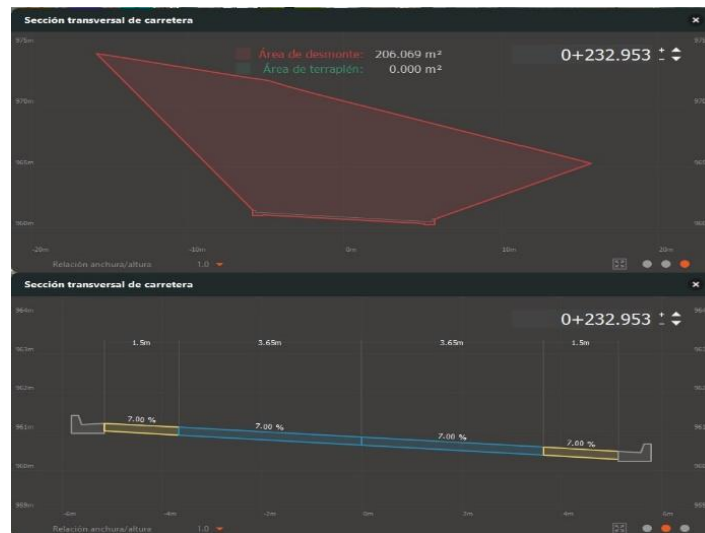


Figura 25. Vista de sección transversal.

1.4.4 Movimiento de tierras. Infracore 360 permite realizar cálculos de volúmenes de corte y relleno. Para esto se debe seleccionar el alineamiento; en la parte inferior del panel de herramientas aparece un botón blanco de forma circular, el cual, al ser seleccionado, calcula el volumen de corte, relleno y descubre unos botones adicionales, tal como se observa en la figura 26, con los que se puede generar un informe de explanación en un archivo CSV.

También se puede definir el intervalo de las abscisas para el informe, y se indica si se quiere obtener datos sobre explanación de intersecciones o glorietas.



Figura 26. Cantidades de explanación.

1.4.5 Distancias de visibilidad. Para garantizar una circulación segura y eficiente de los vehículos, se debe ofrecer una buena visibilidad a lo largo del trazado (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Infracore 360 ofrece una herramienta que permite realizar el análisis de las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento, teniendo en cuenta las interrupciones que se puedan generar en la línea visual de los conductores a causa de elementos como taludes, barreras metálicas, árboles, edificaciones y cualquier otro objeto que pueda estar cerca al corredor vial.

Para ejecutar esta herramienta se debe ir al botón con el nombre de revisar y modificar diseños de carretera y luego seleccionar la herramienta visibilidad. Posteriormente aparece una ventana en la cual, se pide al usuario seleccionar el corredor a analizar. Tal como se observa en la figura 27, se puede elegir entre un análisis de distancia de visibilidad de parada o de adelantamiento; también se puede escoger el sentido en que se va a analizar la vía y en caso de tener varios carriles por sentido se puede estudiar cada uno por separado.

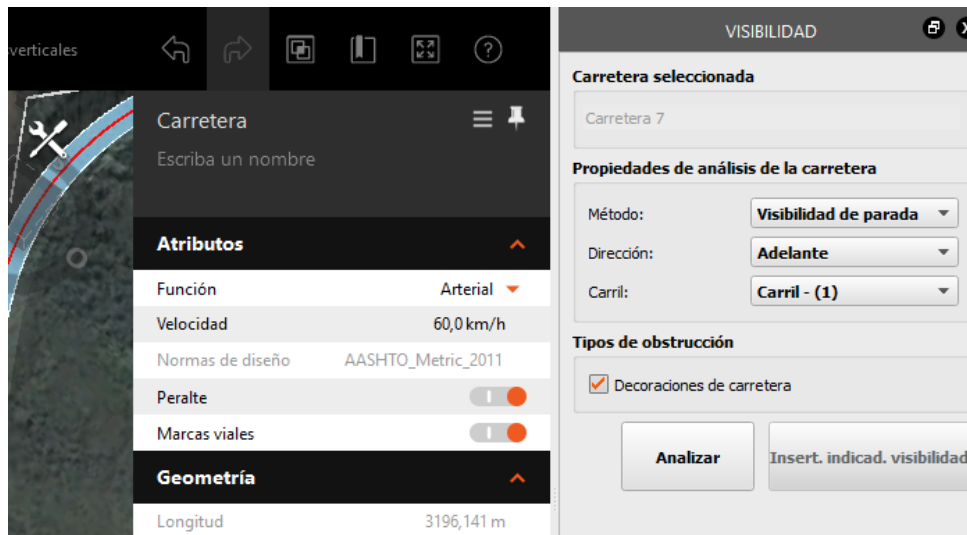


Figura 27. Análisis de distancias de visibilidad.

Al realizar cualquiera de los dos análisis, el programa muestra mediante colores las zonas con visibilidad completa, las zonas con error de visibilidad, las zonas o elementos que generan obstrucción visual y las zonas en las que se pueden generar accidentes a causa de las obstrucciones visuales, tal como se observa en la figura 28.

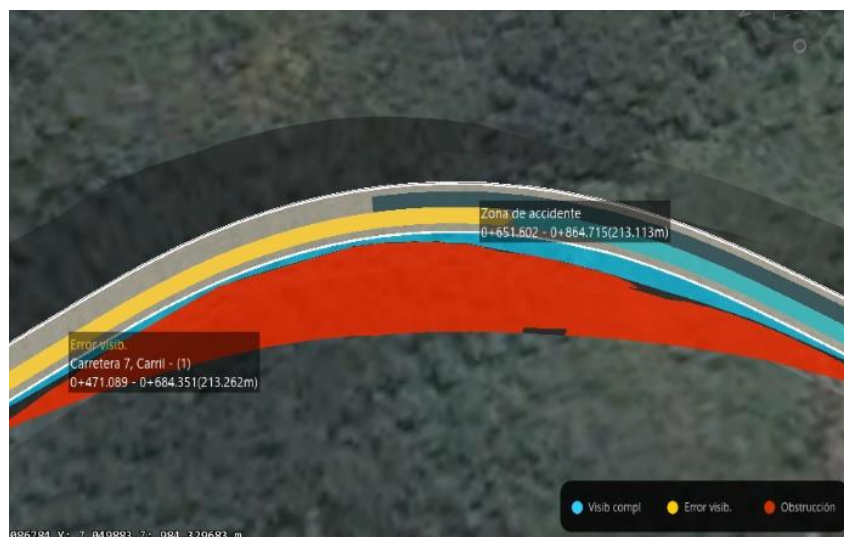


Figura 28. Zonas de visibilidad.

1.4.6 Optimización de perfil y de obra lineal. La herramienta llamada optimización del perfil, permite obtener un informe acerca de movimientos de tierra y costos de construcción de la vía diseñada; también puede generar una propuesta adicional del perfil de la vía con su respectivo informe, los cuales son generados en la nube. Para esto se indican parámetros como velocidad de diseño, pendiente máxima, espaciamiento mínimo entre curvas verticales, etc. Tal como se observa en la figura 29.

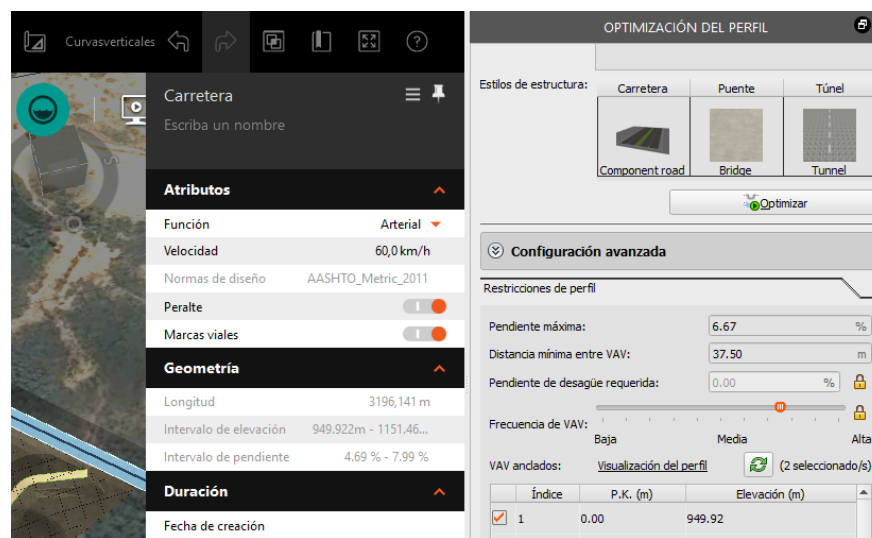


Figura 29. Parámetros de entrada para optimización del perfil.

La herramienta llamada optimización de obra lineal, permite crear una o varias propuestas adicionales para el trazado de una vía. Tal como se ve en la figura 30, se debe indicar al programa los puntos de inicio y de fin e ingresar parámetros como velocidad de diseño, pendiente máxima, radio de curvatura mínimo, etc. Esta herramienta también proporciona un informe acerca de los movimientos de tierra y los costos de construcción. Todo esto es generado en la nube.

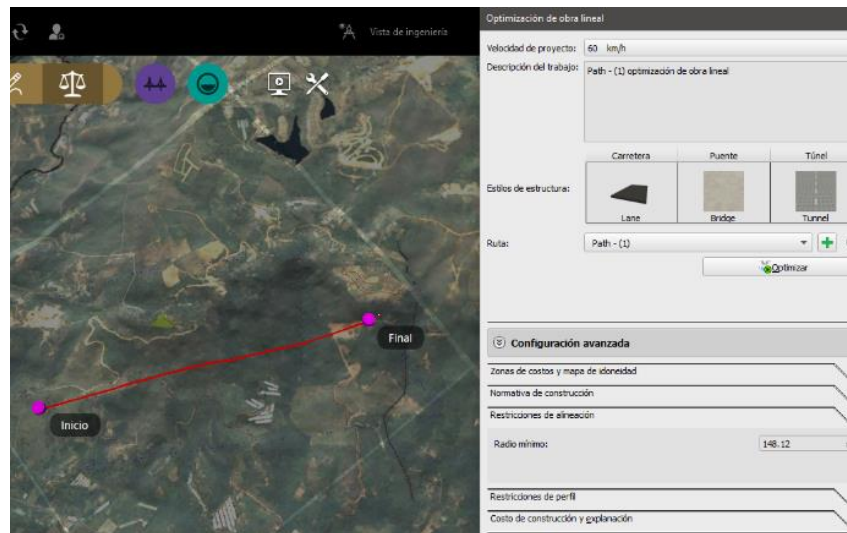


Figura 30. Parámetros de entrada para optimización de obra lineal.

2. Resultados

Durante el desarrollo del caso de estudio, se identificaron los procesos que se llevaron a cabo y los productos que estos generaron, los cuales se muestran en las figuras 31 y 32.



Figura 31. Procesos identificados en el caso de estudio.



Figura 32. Productos del diseño geométrico de vías usando BIM.

El diseño geométrico de la vía se desarrolló de acuerdo a las indicaciones de (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Las características del caso de estudio se presentan en la tabla 1.

Tabla 1.

Características del caso de estudio.

Área del terreno	200 Km ² Aprox.
Ubicación	Girón - Floridablanca
Tipo de terreno	Montañoso
Tipo de vía	Primaria
Vehículo de diseño	Vehículos livianos
Velocidad de diseño	60 Km/h
Pendiente	6%
Peralte máximo	7%

2.1 Diseño en planta

El corredor se dibujó siguiendo de cerca el trazado de la línea de ceros, buscando así, minimizar el movimiento de tierras.

Teniendo en cuenta el peralte máximo, se calculó el radio de curvatura mínimo para varias velocidades con la fórmula suministrada por (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Estos valores se presentan en la tabla 2.

Tabla 2
Radios de curvatura mínimos

V_{CH} (Km/h)	$R_{C \min}$ (m)	$R_{C \min}$ Redondeado (m)
50	75,71	76
60	118,11	118
70	175,38	175
80	239,97	240

El trazado inicial contaba con 13 curvas, de las cuales fue necesario eliminar 4 para cumplir con los requisitos de longitudes de entretangencia mínimas. La velocidad específica (V_{CH}) para todas las curvas es de 60 Km/h, debido a que todas las tangentes tienen longitudes menores a 400 m. En la tabla 3 se muestran los valores de velocidad específica (V_{CH}) y radio para cada curva.

Tabla 3
Ángulos de deflexión, velocidades específicas (V_{CH}) y radios de curvatura.

Curva	Δ	V_{CH} (Km/h)	R_C (m)
1	2,52°	60	135
2	43,76°	60	135
3	14,60°	60	135
4	12,55°	60	135
5	39,11°	60	135
6	52,70°	60	135
7	53,86°	60	135
8	93,99°	60	135
9	20,91°	60	135

A todas las curvas horizontales se les agregó espirales, con el fin de desarrollar una transición segura entre éstas y las tangentes. Para establecer la longitud de las espirales, se calculó la longitud máxima y mínima, usando las fórmulas establecidas por los tres criterios presentados en (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). Todos estos valores se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Longitudes máximas y mínimas para las espirales de transición, según los criterios de diseño.

Criterio I	$A_{\min} =$	66,40
	$L_{e_{\min}} (m) =$	32,66
Criterio II	$A_{\min} =$	75,82
	$L_{e_{\min}} (m) =$	42,58
Criterio III-1	$A_{\min} =$	61,99
	$L_{e_{\min}} (m) =$	28,46
Criterio III-2	$A_{\min} =$	43,69
	$L_{e_{\min}} (m) =$	14,14

Al comparar los resultados anteriores, se establecieron los valores máximo y mínimo para la longitud de las espirales, los cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Longitud máxima y mínima para las espirales de transición.

$L_{e_{\min}} (m) =$	43,00
$A_{\max} =$	148,50
$L_{e_{\max}} (m) =$	163,35

Para la revisión de las entretangencias, se calcularon las longitudes mínimas teniendo en cuenta el sentido de las curvas adyacentes a la tangente. Estos valores se muestran en las tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6

Longitud mínima para tangentes con curvas circulares adyacentes de igual sentido.

Curvas circulares de igual sentido	
t (s) =	15,00
V _{ETH} menor (Km/h) =	60,00
V _{ETH} menor (m/s) =	16,67
Distancia recorrida en 5 segundos (m) =	250,00

Tabla 7

Longitud mínima para tangentes con curvas circulares adyacentes de distinto sentido.

Curvas circulares de distinto sentido	
t (s) =	5,00
V _{CH} menor (Km/h) =	60,00
V _{CH} menor (m/s) =	16,67
Distancia recorrida en 5 segundos (m) =	83,33

Para tangentes con curvas espirales adyacentes de distinto sentido, no es necesario cumplir con una longitud mínima; incluso, se puede prescindir de la tangente (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Tabla 8

Longitud mínima para tangentes con curvas espirales adyacentes de igual sentido.

Curvas espirales de igual sentido	
t (s) =	5,00
V _{ETH} menor (Km/h) =	60,00
V _{ETH} menor (m/s) =	16,67
Distancia recorrida en 5 segundos (m) =	83,33

Como resultado del ajuste de entretangencias, teniendo en cuenta las longitudes mínimas mostradas en las tablas 6, 7 y 8, se obtuvieron 8 tangentes. La longitud y velocidad específica (V_{ETH}) de las tangentes horizontales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Longitud y velocidad específica de las tangentes horizontales.

Tangente horizontal	Longitud (m)	V _{ETH} (Km/h)	Sentido de curvas adyacentes
1	293,62	60	Igual
2	266,71	60	Igual
3	273,74	60	Diferente
4	259,12	60	Igual
5	67,10	60	Diferente
6	64,16	60	Diferente
7	43,64	60	Diferente
8	125,60	60	Diferente

El peralte máximo empleado es del 7%; en la tabla 10 se presentan los cálculos de las longitudes correspondientes a las zonas de transición de peralte, los cuales coinciden con las distancias de transición medidas en el modelo de Infracworks 360.

Tabla 10
Cálculo de las zonas de transición del peralte.

Δ_s (%) =	0,60
BN (%) =	2,00
e (%) =	7,00
a (m) =	3,65
L (m) =	42,58
N (m) =	12,17
L_T (m) =	54,75

2.2 Diseño en perfil

El ajuste de la línea rasante se realizó de acuerdo a las indicaciones de (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008). En la tabla 11, se indican los valores de pendiente que se tuvieron en cuenta para el diseño del trazado de la vía en perfil.

Tabla 11
Pendientes para el diseño de la rasante.

Pendiente mínima (%) =	0,5
Pendiente media máxima (%) =	7,0
Pendiente máxima (%) =	8,0

En la tabla 12, se muestran las tangentes verticales con sus respectivos valores de velocidad específica (V_{ETH}), longitud y pendiente.

Tabla 12
 V_{ETH} , longitud y pendiente de tangentes.

Tangente vertical	V_{ETH} (Km/h)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Pendiente media máxima (%)
1	60	515,00	4,69	
2	60	540,53	6,63	
3	60	767,10	7,93	6,44
4	60	861,13	4,94	
5	60	332,39	7,99	

Teniendo los puntos de inflexión verticales (PIV), se procedió a agregar las curvas verticales. Para el ajuste de las curvas verticales se tuvieron en cuenta los valores presentados en la tabla 13.

Tabla 13

Parámetros para el diseño de curvas verticales.

V_{CV} (Km/h) =	60
Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de operación (m) =	36
Kmin para curvas convexas =	11
Kmáx para curvas convexas =	50
Longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de operación (m) =	36
Kmin para curvas cóncavas =	18

En la tabla 14, se presentan las curvas verticales que se obtuvieron luego del ajuste, con su longitud, valor K y el tipo de curva.

Tabla 14

Datos de curvas verticales del trazado.

Curva vertical	Tipo de curva	Valor K	Longitud (m)
1	Cóncava	20,60	40
2	Cóncava	31,02	40
3	Convexa	13,34	40
4	Cóncava	19,66	60

2.3 Sección transversal

Teniendo en cuenta los parámetros indicados por (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008), se realizó el ajuste de ancho y pendiente transversal a los dos carriles de circulación, se añadieron las bermas con su respectivas dimensiones y las cunetas. Las características de los elementos de la sección transversal se presentan en la tabla 15.

Tabla 15
Propiedades de los elementos de la sección transversal.

Elemento	Ancho (m)	Pendiente transversal (%)
Carril	3,65	-2
Berma	1,50	-2
Cuneta	0,60	-6

En cuanto a la explanación, esta se realizó mediante el método de pendiente fija y se establecieron pendientes de corte y terraplén variables, dependiendo de cómo varían las condiciones del terreno a lo largo del corredor vial. También se añadieron texturas a los planos de corte y relleno, tal como se observa en la figura 33.



Figura 33. Sección transversal final.

Luego de ejecutar el cálculo de las cantidades de explanación, se obtuvieron los datos presentados en la figura 34.



Figura 34. Cantidades totales de explanación.

2.4 Optimización de perfil y de obra lineal

Al usar la herramienta de optimización de perfil, se le indicó al programa que no modificara la rasante, para obtener un informe acerca del perfil realizado durante el diseño.

Luego de los cálculos realizados en la nube de Autodesk, se generó un informe en el que presenta el perfil de la vía que se observa en la figura 35, en el cual propone algunos sitios para la extracción de material de relleno y otros sitios para el depósito de residuos. También muestra el diagrama de masas que se observa en la figura 36 e información acerca de costos de construcción.



Figura 35. Vista de la vía en perfil. Fuente: Informe de optimización de perfil generado por Autodesk Infracore 360.

3.1.1. Diagrama de masas para capa de estratos 1.

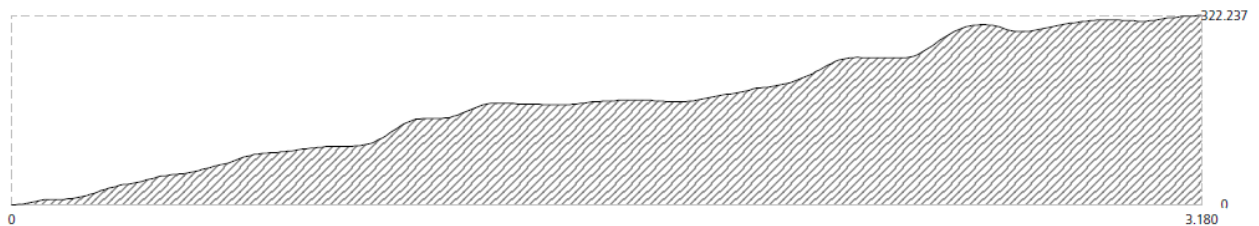


Figura 36. Diagrama de masas. Fuente: Informe de optimización de perfil generado por Autodesk Infracore 360.

Usando la herramienta llamada optimización de obra lineal, el programa generó una propuesta adicional para el corredor, con una longitud de 8,5 Km tal como se observa en la figura 37, para lo cual, se indicaron los puntos de inicio y de fin y se ingresaron parámetros de diseño como radios de curvatura mínimos, pendiente máxima, etc. También el programa generó el informe de la propuesta, el cual contiene el perfil de la vía, que se observa en la figura 38, el diagrama de masas que se observa en la figura 39 e información acerca de los costos de construcción.



Figura 37. Vista en planta de la vía generada por el programa.

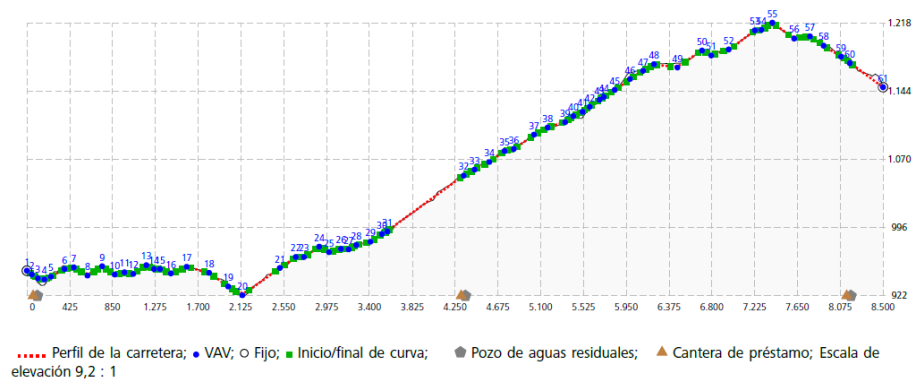


Figura 38. Vista en perfil de la vía generada por el programa. Fuente: Informe de optimización de obra lineal generado por Autodesk Inroadworks 360.

4.1.1. Diagrama de masas para capa de estratos 1.

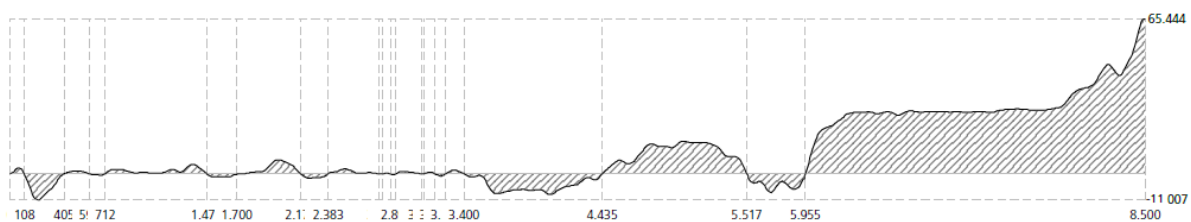


Figura 39. Diagrama de masas de la vía generada por el programa. Fuente: Informe de optimización de obra lineal generado por Autodesk Inroadworks 360.

Todo el procedimiento para el diseño geométrico de vías usando BIM, se encuentra en un curso de diez (10) videos, donde se explica paso a paso esta metodología, los cuales se pueden encontrar en la siguiente dirección Web: <https://www.youtube.com/channel/UCqd3tCreLCIVZY3gSrzzQqA>. El listado de videos con su respectiva duración se encuentra en la tabla 16.

Tabla 16
Videos acerca del diseño geométrico de carreteras usando BIM.

Tabla de videos		
Capítulo	Contenido	Duración
1	Importación de topografía	0:07:22
2	Línea de ceros	0:14:51
3	Trazado del eje de la vía	0:19:03
4	Asignación de velocidades, ajuste de curvas y entretangencias	0:34:51
5	Peralte y longitud de espirales	0:14:28
6	Diseño en perfil del eje de la vía	0:19:52
7	Sección transversal	0:15:53
8	Taludes y cálculo de cantidades de explanación	0:14:51
9	Distancias de visibilidad	0:11:38
10	Optimización de perfil y de obra lineal	0:32:29
	Duración total del curso	3:05:18

3. Conclusiones

La guía metodológica consignada en este documento expone el procedimiento para desarrollar el diseño geométrico de carreteras usando Infracore 360, el cual, es un software basado en la metodología BIM, que ofrece gran variedad de herramientas y muestra al usuario la suficiente información para llevar a cabo las tareas de diseño.

El material audiovisual generado a lo largo de esta investigación fortalece el aprendizaje de los lectores, permitiéndoles entender fácilmente la ejecución de los procesos e interpretar los datos contenidos en los productos. Este aprendizaje se facilita gracias a que el software cuenta con una interfaz gráfica sencilla y fácil de manejar, permitiendo al usuario adaptarse rápidamente a las herramientas que posee.

Las herramientas que ofrece Infracore 360 ayudan a que los procesos se simplifiquen, permitiendo hacer diseños de vías en menos tiempo en comparación a los programas CAD.

Herramientas como el generador de modelos (Model Builder), optimización de perfil y optimización de obra lineal, permiten realizar diseños preliminares de una forma más rápida, con la posibilidad de generar varias propuestas en un solo modelo 3D, lo cual es muy útil en la etapa de prefactibilidad de los proyectos.

El entorno virtual de Infracore 360 permite el almacenamiento y administración de gran cantidad de información en un solo modelo tridimensional.

Referencias bibliográficas

- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(Bazjanac 2006), 241–252.
- Becerik-Gerber, B. y Kensek, K. (2010). Building information modeling in architecture, engineering, and construction: Emerging research directions and trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(3), 139–147. [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000023](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000023)
- Blanco, F. G. B. y Chen, H. (2014). The Implementation of Building Information Modelling in the United Kingdom by the Transport Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 138(0), 510–520. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.232>
- Bradley, A., Li, H., Lark, R. y Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>
- Cárdenas grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (2nd ed.). Bogotá.
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X. y Zhao, Z. (2016). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects, 32(6), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460).
- Fanning, B., Clevenger, C. M., Ph, D., Asce, M., Ozbek, M. E., Ph, D., ... Asce, M. (2014). Implementing BIM on Infrastructure : Comparison of Two Bridge Construction Projects. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 20(4), 1–8.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000239](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000239).

Han, K. K. y Golparvar-Fard, M. (2017). Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study. *Automation in Construction*, 73, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.004>

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2008). *MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.*

Kim, H., Shen, Z., Moon, H., Ju, K. y Choi, W. (2016). Developing a 3D intelligent object model for the application of construction planning/simulation in a highway project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 538–548. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0463-4>

Lu, W. W. S. y Li, H. (2011). Building information modeling and changing construction practices. *Automation in Construction*, 20(2), 99–100. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.006>

Marzouk, M. y Abdel Aty, A. (2012). Maintaining Subways Infrastructures using BIM. *Construction Research Congress*, 2320–2328. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.233>

McCuen, T., Patrick C. Suermann y Krogulecki, M. J. (2011). Evaluating award-winning BIM projects using the national building information model standard capability maturity model. *Journal of Management in ...*, 28 No.2(April), 224–230. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000062](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000062).

Omoriegic, A. y Turnbull, D. E. (2016). Highway infrastructure and Building Information Modelling in UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1–13. <https://doi.org/10.1680/jmuen.15.00020>

Sharples, C. (2009). Unified frontiers: Reaching out with BIM. *Architectural Design*, 79(2), 42–47. <https://doi.org/10.1002/ad.849>

Shou, W., Wang, J., Wang, X. y Chong, H. Y. (2015). A Comparative Review of Building

Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 22(2), 291–308. <https://doi.org/10.1007/s11831-014-9125-9>

Sibert, B. (2013). Briefing : INNOVATION Using building information modelling on a highway project. *ICE Innovation*, 166(February 2013), 3727. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1680/cien.2013.166.1.9>

Suermann, P. C. y R. Raymond Issa, I. F. (2009). Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on Construction. *Building Construction, Doctor of*(July), 224. Retrieved from <http://purl.fcla.edu/fcla/etd/UFE0024253>

Teall, O. (2014). Building information modelling in the highways sector: major projects of the future. *Proceedings of the ICE - Management, Procurement and Law*, 167(3), 127–133. <https://doi.org/10.1680/mpal.13.00018>