

**BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BUILDING INFORMATION  
MODELING EN LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES EN LA  
PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES**

**ERIKA CAROLINA PATERNINA GRIMALDO  
MAUREN JOHANA CHAPARRO GALVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BUILDING INFORMATION  
MODELING EN LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES EN LA  
PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES**

**ERIKA CAROLINA PATERNINA GRIMALDO  
MAUREN JOHANA CHAPARRO GALVIS**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil**

**Directores:**

**OMAR GIOVANNY SANCHEZ RIVERA  
PhD. en Ingeniería - Gestión de Desarrollo Tecnológico**

**KAREN MILADY CASTAÑEDA PARRA  
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
1. MARCO TEÓRICO .....	15
1.1 INTERSECCIÓN VIAL .....	15
1.1.1 Procedimiento general para la planificación de una intersección vial .....	15
1.1.2 Dimensionamiento preliminar.....	16
1.2 BIM .....	16
1.2.1 BIM en la planificación de intersecciones viales .....	17
2. METODOLOGÍA .....	20
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE TRÁNSITO .....	22
2.3 MODELAMIENTO.....	25
2.3.1 Glorieta .....	26
2.3.2 Enlace tipo trébol .....	26
2.3.3 Intersección diamante divergente (DDI).....	28
2.4 SIMULACIÓN.....	29
2.4.1 Tiempo de tránsito .....	30
2.4.2 Origen y destino del vehículo.....	30
2.4.3 Tipo de vehículos.....	30
2.4.4 Tiempos de semaforización .....	31
2.4.5 Control de intersecciones – Señalización .....	31
3. RESULTADOS.....	33
3.1 CARACTERÍSTICAS DE BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES.....	33
3.2 INFORMACIÓN DE TRÁNSITO .....	37
3.3 PROPUESTAS Y VIABILIDAD .....	40

3.3.1 Glorieta .....	40
3.3.2 Enlace tipo trébol .....	41
3.3.3 Intercambiador diamante divergente.....	42
3.4 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES.....	44
3.5 COMPARACIÓN DEL MÉTODO BIM Y EL MÉTODO CAD EN LA PLANIFICACIÓN .....	46
4. CONCLUSIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de recolección de información .....	21
Figura 2. Evidencia de toma de datos.....	23
Figura 3. Evidencia de toma de datos.....	23
Figura 4. Evidencia de toma de datos.....	23
Figura 5. Mapa de estaciones de conteo .....	24
Figura 6. Formato de conteo.....	24
Figura 7. Glorieta .....	26
Figura 8. Trébol.....	27
Figura 9. Intersección diamante divergente I-44. Ruta 13 en Springfield, Missouri. .....	29
Figura 10. División de peticiones – Tipos de vehículos por porcentajes.....	30
Figura 11. Caracterización de tipo de vehículo .....	31
Figura 12. Señalización .....	32
Figura 13. Propuesta de glorieta desde Infracworks.....	40
Figura 14. Resultado de simulación de tránsito de propuesta glorieta.....	41
Figura 15. Propuesta de enlace tipo trébol desde Infracworks .....	42
Figura 16. Resultado de simulación de tránsito de propuesta enlace tipo trébol. ...	42
Figura 17. Propuesta de intersección diamante divergente desde Infracworks .....	43
Figura 18. Resultado de simulación de tránsito de propuesta intercambiador diamante divergente. ....	43
Figura 19. Comparación del método tradicional y el método BIM.....	50
Figura 20. Curva de esfuerzo Método tradicional vs Método BIM.....	51

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Porcentajes por tipo de vehículo para 15 minutos de tránsito .....	38

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Base de datos utilizada para documentación.....	20
Tabla 2. Palabras claves utilizadas para documentación. ....	21
Tabla 3. Tiempos de semaforización en luz verde.....	31
Tabla 4. Características de BIM que influyen en la toma de decisiones. ....	33
Tabla 5. Número de vehículos según origen-destino para 15 minutos de tránsito.	38
Tabla 6. Factores de equivalencia de tránsito. ....	39
Tabla 7. Número de vehículos equivalentes según origen-destino para 15 minutos de tránsito. ....	39
Tabla 8. Diferencias entre el método BIM y el método tradicional CAD en la planificación. ....	46

## RESUMEN

**TITULO:** BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BUILDING INFORMATION MODELING EN LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES

**AUTORES:** ERIKA CAROLINA PATERNINA GRIMALDO  
MAUREN JOHANA CHAPARRO GALVIS

**Palabras clave:** Building Information Modeling, planificación de intersecciones viales, infraestructura vial, simulación, tránsito.

El proceso tradicional de toma de decisiones en proyectos de infraestructura vial va centrado en el ser humano, pues posee limitaciones críticas en cuanto a la formación de un análisis de hipótesis por la incapacidad de incorporar adecuadamente datos en tiempo real, lo que puede proporcionar información valiosa. BIM brinda una serie de herramientas de tecnología de modelado y un conjunto asociado de procesos para producir, comunicar y analizar, logrando hacer frente a una gran variedad de conflictos en la planificación de proyectos de infraestructura. BIM representa una iniciativa bastante diferente si se trata de planificación, puede ser una tecnología explotada para mejorar los procesos de toma de decisiones si se entiende adecuadamente su manejo. El presente artículo, se enfoca en demostrar cómo BIM genera un impacto positivo en el proceso de toma de decisiones en la planificación de intersecciones viales a través del software Infracore, centralizándose en la creación de tres propuestas de enlaces viales y que, con sus representaciones digitales, permiten observar la viabilidad del proyecto basado en el modelamiento, visualización y simulación de diferentes propuestas de enlaces viales que brindarían solución a un caso real, más específicamente al congestionamiento de tránsito en la intersección de la carrera 27 con calle 56 en la ciudad de Bucaramanga. Más concretamente, el siguiente documento representa un conjunto de características que pueden ser vistas como ventajas en el proceso de toma de decisiones en el proceso de planificación a través de un prototipo modelado en un caso problema real vinculando diferentes parámetros para su credibilidad.

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPLEMENT BENEFITS OF BIM IN THE PROCESS OF DECISIONS CHOICES IN THE PLANNING OF VIALS INTERSECTIONS.

**AUTHORS:** ERIKA CAROLINA PATERNINA GRIMALDO  
MAUREN JOHANA CHAPARRO GALVIS

**Keywords:** Building Information Modeling, road intersection planning, infrastructure road, simulation, transit

The traditional process of decision making in road infrastructure projects is focused on the human being, because it has critical limitations in terms of the formation of a hypothesis analysis due to the inability to adequately incorporate data in real time, which can provide valuable information . BIM provides a series of modeling technology tools and an associated set of processes to produce, communicate and analyze, managing to deal with a wide variety of conflicts in the planning of infrastructure projects. BIM represents a quite different initiative if it is about planning, it can be an exploited technology to improve the decision-making processes if its management is properly understood. This article focuses on demonstrating how BIM generates a positive impact on the decision-making process in the planning of road intersections through Infraworks software, focusing on the creation of three proposals for road links and, with their digital representations , allow to observe the viability of the project based on the modeling, visualization and simulation of different proposals for road links that would provide a solution to a real case, more specifically to traffic congestion at the intersection of Carrera 27 and 56th Street in the city of Bucaramanga. More specifically, the following document represents a set of characteristics that can be seen as advantages in the process of decision making in the planning process through a prototype modeled in a real problem case linking different parameters for its credibility.

## INTRODUCCIÓN

Los incrementos de vehículos en ciudades colombianas mantienen constantes los problemas de movilidad, y la poca intervención de sistemas de planificación vial que den soluciones efectivas son escasas, generando así un aumento en la problemática. Caso específico es el de una intersección en la ciudad de Bucaramanga, en la que llega a ser tan ineficiente que tiene que ser intervenida manualmente por agentes de tránsito para que el congestionamiento no sea de tal magnitud que llegue a afectar parte importante del área metropolitana, apunta más a las falencias que tiene el método tradicional.

Frente a situaciones así se podrían observar dos interrogantes importantes; el primero, ¿Qué solución implementar para dar fin a un conflicto vial?, y el segundo, ¿Cómo predecir la efectividad de una solución en el proceso de planificación? Para hacer frente a esta situación, es necesario una gran variedad de datos de proyectos e información para apoyar la toma de decisiones eficientes y efectivas, la visualización, el modelado de la información y la simulación se han convertido en elementos críticos en el desarrollo de infraestructuras viales<sup>1</sup>.

La implementación de BIM en el proceso de toma de decisiones a la hora de planificar intersecciones viales, llega a ser el pilar para abordar un proyecto de infraestructura vial en este caso, ya que posee múltiples utilidades como coordinación e integración visual de los datos no gráficos en el modelo, enlazando la información recopilada en un enfoque de modelado BIM para el análisis de alternativas de la capacidad vehicular

---

<sup>1</sup> LEITE F. et al., "Visualization, Information Modeling, and Simulation: Grand Challenges in the Construction Industry," J. Comput. Civ. Eng., vol. 30, no. 6, p. 4016035, 2016

en intersecciones viales, generando así proyectos mucho más precisos y con garantía de soluciones óptimas<sup>2</sup>

En este trabajo de investigación se busca analizar el interrogante ¿BIM contribuye al mejoramiento del proceso de decisiones que se da en la planificación de intersecciones viales?, al cual se le dará respuesta mediante la creación de diferentes escenarios con la combinación de un modelo propuesto, simulación con información de tránsito real y la visualización, a través de tecnologías BIM, que proporcionará un medio de pronóstico proactivo para ayudar a planificar y supervisar el flujo de tráfico en cada propuesta y así exponer su viabilidad.

---

<sup>2</sup> BRADLEY A., LI H., LARK R., and DUNN S., "BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective," *Autom. Constr.*, vol. 71, pp. 139–152, 2016

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 INTERSECCIÓN VIAL

Dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran ya sea en un mismo nivel o bien en distintos, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellos circulan.

La solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados fundamentalmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las carreteras que se cruzan y a las condiciones del flujo vehicular. Como generalmente existen varias soluciones, los ingenieros deben proponer alternativas para ser evaluadas y con sus resultados seleccionar la más conveniente<sup>3</sup>.

**1.1.1 Procedimiento general para la planificación de una intersección vial** El enfoque general recomendado para atender el diseño geométrico de una intersección presenta una serie de actividades secuenciales, así:

- Estudio de tránsito de la intersección y análisis de la situación existente, utilizando, si se requieren, programas de computador apropiados.
- Formulación de alternativas de funcionamiento.
- Selección de la alternativa más conveniente.
- Diseño definitivo de la solución adoptada<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO, "Manual de Diseño Geométrico de Carreteras," p. 298, 2008

<sup>4</sup> *Ibíd.*

**1.1.2 Dimensionamiento preliminar** Para formular alternativas de solución se recomienda atender las siguientes actividades:

- Estudio de volúmenes de tránsito, cuyo propósito es estimar los volúmenes de tránsito futuros. Si la importancia de la intersección lo requiere se debe soportar el estudio de demanda con la aplicación de un Modelo de Transporte apropiado. Los volúmenes de diseño deben corresponder a los volúmenes máximos horarios<sup>5</sup>.
- Dependiendo de las categorías de las vías que se cruzan, del espaciamiento entre intersecciones, de la magnitud de los volúmenes de tránsito y de las condiciones topográficas se seleccionan los tipos de intersecciones más convenientes, que corresponden a las alternativas de solución<sup>6</sup>.
- Aplicación de una metodología que permita calificar las alternativas y seleccionar entre ellas la más conveniente<sup>7</sup>.

## **1.2 BIM**

El modelado de la información de la construcción (BIM) va más allá de la producción de modelos 3D generalmente en su filosofía y aplicaciones, no totalmente limitada a la visualización de una instalación. Comprende la creación y el uso adecuados de información digitalizada relacionada con el tiempo y los costos en todo el proyecto, así como en el mantenimiento del ciclo de vida de sus entregas<sup>8</sup>.

---

<sup>5</sup> *Ibíd.*

<sup>6</sup> *Ibíd.*

<sup>7</sup> *Ibíd.*

<sup>8</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., "Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 32, no. 6, pp. 1–13, 2015

El glosario del manual BIM<sup>9</sup> define BIM como "un verbo o frase adjetiva para describir las herramientas, procesos y tecnologías que son facilitadas por la documentación digital legible por una máquina sobre un edificio, su desempeño, su planificación, su construcción y más adelante su funcionamiento". Las herramientas de software de BIM se caracterizan por la capacidad de compilar modelos virtuales usando objetos paramétricos de lectura mecánica que exhiben conmensura de comportamiento con la necesidad de diseñar, analizar y probar un diseño<sup>10</sup>.

**1.2.1 BIM en la planificación de intersecciones viales** Los modelos BIM generados en base a los planos existentes del sitio y los planos construidos, si están disponibles, pueden ayudar a proporcionar información y coordenadas precisas para el emplazamiento. Los entornos virtuales creados en los modelos representarían en cambio una plataforma para la simulación y la planificación con el BIM y los algoritmos inteligentes, el diseño de un sitio puede organizarse y planificarse automáticamente mediante una cuidadosa participación de constructores en las primeras etapas antes de la construcción. A través del uso de la simulación en cuatro dimensiones (4D), a partir de modelos BIM, los usuarios pueden visualizar la progresión de la construcción a una escala de tiempo predeterminada<sup>11</sup>.

El uso de BIM en proyectos de infraestructura vial o ferroviaria para el diseño, la construcción y el mantenimiento serviría para crear, gestionar y mantener toda la información crítica relativa a un activo, como la información geoespacial, la representación gráfica de las redes de transporte, Recursos necesarios en el proyecto, etc. La correcta utilización de los datos BIM ayudará a lograr una solución

---

<sup>9</sup> EASTMAN C. M. and SACKS R., "Relative Productivity in the AEC Industries in the United States for On-Site and Off-Site Activities," J. Constr. Eng. Manag., vol. 134, no. 7, pp. 517–526, 2008

<sup>10</sup> SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction," ASCE J. Comput. Civ. Eng., vol. 136, no. September, pp. 968–980, 2010

<sup>11</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., Op. Cit.

de diseño generalmente rentable y mejorar la eficiencia en la comunicación entre los interesados del proyecto<sup>12</sup>.

En la Gestión del transporte, BIM es capaz de manejar grandes volúmenes de tráfico y sofisticadas redes de transporte. Puede proporcionar un medio de pronóstico proactivo para ayudar a planificar y supervisar el flujo de tráfico. Fundamentalmente, las aplicaciones del software BIM en proyectos de obras civiles serían bastante similares a las formas en que se utilizan en otros tipos de proyectos de construcción en términos de desarrollo del diseño y la planificación. Sin embargo, algunos programas BIM especializados están disponibles y aptos para proyectos de transporte, por ejemplo: De la Serie Autodesk Incorporated:

- AutoCAD Map 3D
- InfraWorks
- AutoCAD Civil 3D

Una de las fortalezas en la planificación de intersecciones viales que se encontró en el software Autodesk Infracworks, es una plataforma de planificación y diseño que permite a los ingenieros transmitir rápida y fácilmente la intención de diseño preliminar en un entorno contextual del mundo real, aumentando la participación de los interesados y la toma de decisiones en equipo, aprovechando la capacidad de generación de modelos 3D automatizada y rica, con tecnología basada en web y funcionalidad verticalmente especializada para proporcionar a los ingenieros de infraestructura la herramienta de diseño conceptual más atractiva de la industria<sup>13</sup>.

La implementación de BIM se reduce en participación de menos consultores, proveedores y comercios de diseño desde el punto de vista del diseño, ya que la infraestructura vial sería normalmente dirigida por una entidad de ingeniería civil y

---

<sup>12</sup> Ibíd.

<sup>13</sup> IMAGINIT “Autodesk InfraWorks.” [Online]. Available: <https://www.imaginit.com/software/autodesk-products/infracworks>

estructural más que por un arquitecto. Con el tiempo, los hallazgos contribuirán y ampliarán la comprensión de los usos actuales del BIM en proyectos de carreteras. También proporcionarán información sobre la adopción y el uso efectivo del BIM en otros proyectos de infraestructura que puedan ser adquiridos en el futuro por gobiernos de otros países<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., Op. Cit.

## 2. METODOLOGÍA

Durante la elaboración del trabajo de investigación, se optó por demostrar los beneficios que produce BIM en un proceso de planificación, por ello, se determinó cumplir con este objetivo a través de la experiencia mediante la creación de un prototipo con el cual se realizaron diferentes diseños de intersecciones viales que podrían llevar a una solución del congestionamiento en cierta área de estudio.

Para realizar la descripción de los métodos utilizados el desarrollo del trabajo de investigación, se dividió principalmente en cuatro partes: (1) Revisión bibliográfica, (2) recopilación de información de tránsito, (3) modelamiento y (4) simulación.

### 2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Al determinar qué factores de tecnologías BIM y de qué manera influyen en la planificación de proyectos de infraestructura vial, ha sido necesario tomar un conjunto de bases bibliográficas para realizar una previa documentación acerca de todas las características que poseen las tecnologías BIM, dentro de las cuales se han tomado las que se muestran en la tabla 1. Adicionalmente, utilizando palabras claves como se muestran en la tabla 2, fue posible concretar un poco más la búsqueda.

**Tabla 1. Base de datos utilizada para documentación.**

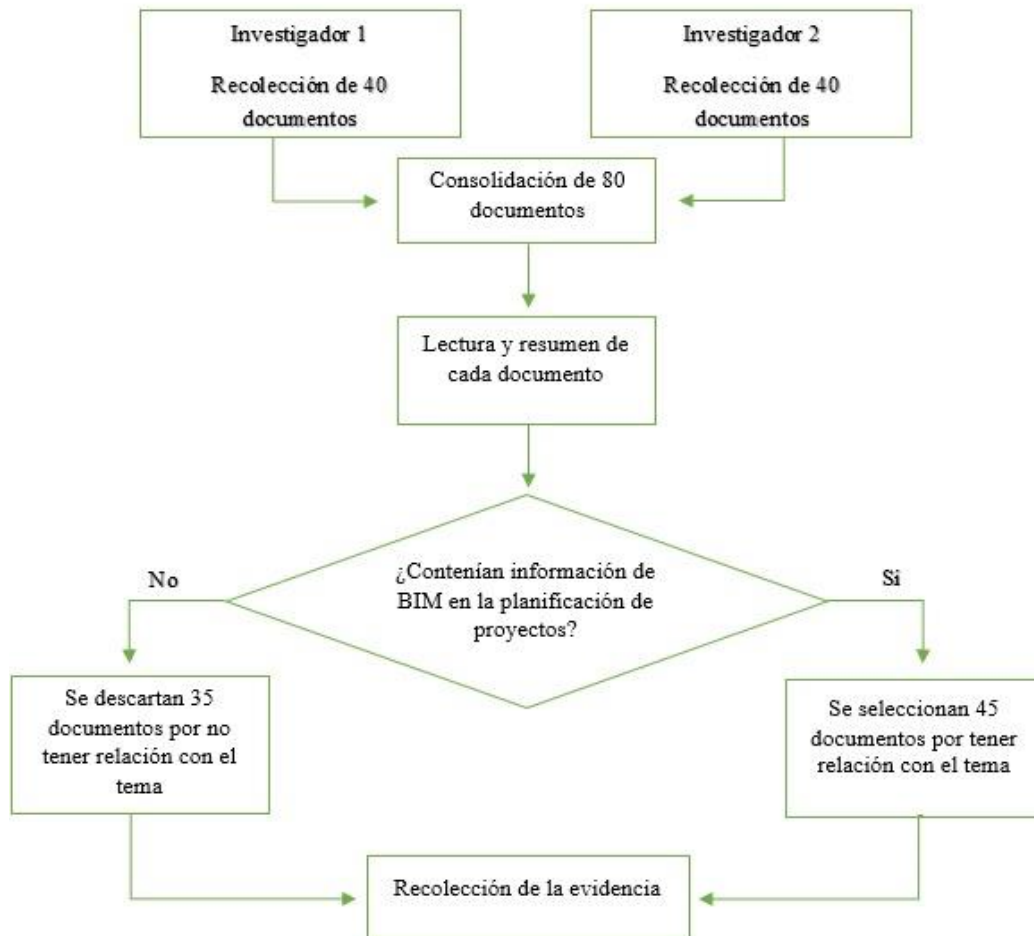
ID	Base de datos
1	American Society of Civil Engineers (ASCE)
2	ELSEVIER

**Tabla 2. Palabras claves utilizadas para documentación.**

ID	Palabra clave
1	BIM
2	Planificación de proyectos
3	Intersección vial
4	Tránsito

Con base en la búsqueda realizada de los documentos que se consideraron inicialmente relevantes para la investigación, se inició un proceso selección, destacando los documentos que mostraron relación con el tema a tratar. En la figura 1, se puede visualizar el proceso de una forma simplificada.

**Figura 1. Proceso de recolección de información**



A partir de los conocimientos adquiridos a través de la información analizada, se pudo establecer un punto de partida para dar inicio a la puesta en práctica de todas las características que posee BIM en la planificación, y de esta forma, hacer más satisfactoria la experiencia.

## **2.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE TRÁNSITO**

Con el fin de conseguir que el proceso del trabajo de investigación tenga mayor grado de predicción de viabilidad de las propuestas, se toma como primer parámetro la toma de información real de tránsito en la zona de estudio; esta zona corresponde a la intersección de la carrera 27 con calle 56 en la ciudad de Bucaramanga la cual se evidencia en la figura 2, donde esta primera fase se realiza a través de aforos los días 18, 21 y 23 del mes de Noviembre (sábado, martes y jueves correspondientemente), durante tres jornadas de conteo cada día, cada jornada con duración de dos horas, con la finalidad de conseguir los 15 minutos con el mayor flujo de tránsito.

En las figuras 3 y 4 se demuestra en lo que consistió la toma de datos, un trabajo de campo en el cual se contó con 10 aforadores por cada jornada de conteo, distribuidos en 4 estaciones como se muestra en la figura 5, y, para el cual se implementó un formato de conteo, como se muestra en la figura 6. En dicho formato se especificó tipo de vehículo, origen del vehículo, y, donde se tomó como destino del vehículo, la estación desde donde se realizaba el conteo. De esta forma, se consiguió conocer el viaje que realizaba cada uno de los vehículos para complementar de forma más específica la información que se introducirá en el software.

**Figura 2. Evidencia de toma de datos**



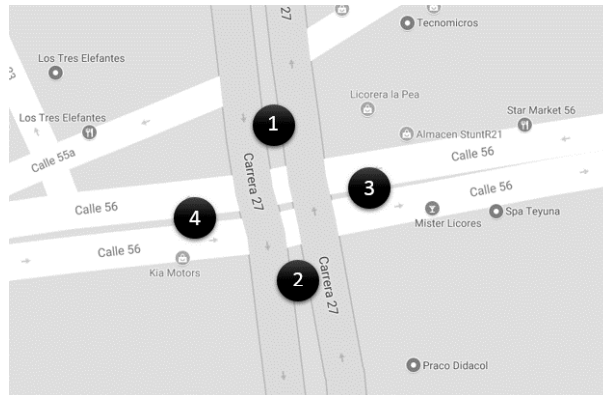
**Figura 3. Evidencia de toma de datos**



**Figura 4. Evidencia de toma de datos**



**Figura 5. Mapa de estaciones de conteo**



**Figura 6. Formato de conteo**

FECHA:		HORA DE INICIO:		ESTACIÓN:	
AFORADOR:		HORA FINAL:		CONDICIÓN CLIMÁTICA:	
VEHÍCULO	ORIGEN	TIEMPOS			
		0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
AUTO	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				
MOTO	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				
TAXI	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				
CAMIÓN	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				
BUS	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				
METROLINEA	Carrera 27 - Norte				
	Carrera 27 - Sur				
	Calle 56 - Este				
	Calle 56 - Oeste				

## 2.3 MODELAMIENTO

En esta etapa de la creación del prototipo, se implementó el software Infracore 360, de la serie Autodesk, que permite un diseño preliminar de cualquier proyecto de infraestructura vial en 3D, en la que permite y refleja un alto grado de detalle haciéndolo agradable visualmente y dejando una mejor percepción del mismo. Modelar en Infracore abarca una serie de herramientas que principalmente se enfoca en proyectos viales, con la capacidad de crear diseños o propuestas con medidas reales teniendo la peculiaridad de regirse por la AASHTO 2011. Cada propuesta tendrá detalles geométricos, de costos y viabilidad. Para esta investigación se han propuesto tres diferentes alternativas, que luego serían analizadas para definir su resultado como solución del congestionamiento que se presenta en dicha intersección.

El modelamiento empieza seleccionando un área de interés en un generador de modelos que toma información satelital de relieve, construcciones y carreteras, y a partir de allí se refleja datos aproximados de lo que existe dentro de la misma. La integración de emplazamientos y la topografía, representa un desarrollo peculiar para proyectos viales debido a la necesidad de información precisa de la localidad y los límites para el sitio de construcción<sup>15</sup>.

En el caso del trabajo de investigación desarrollado se ha tomado un área donde se encuentra localizada la intersección que permitió dar inicio al modelamiento con información geográfica real, sobre el cual principalmente se modeló la intersección original y se plantearon tres alternativas de intersecciones siendo como posibles soluciones sin implicar un diseño geométrico definido, solo para el estudio preliminar donde el objetivo es estudiar los diferentes tipos de propuestas que posteriormente

---

<sup>15</sup> Ibíd.

serían evaluadas frente al problema y de esa forma reflejar su viabilidad como una solución. Las propuestas planteadas fueron las siguientes:

- Glorieta
- Intersección tipo trébol
- Intersección diamante divergente

**2.3.1 Glorieta** Como se muestra en la figura 7, se trata de una solución a nivel de una intersección vial, que se caracteriza por que las vías a las cuales da fluidez se comunican mediante un anillo en el que la circulación se efectúa en un solo sentido y alrededor de una isla central. La operación de las glorietas se basa en respetar el derecho a la vía que tienen los vehículos que están dentro de ella. Los vehículos que van a ingresar deben esperar<sup>16</sup>.

**Figura 7. Glorieta**



**Fuente.** EXPERTO EN SINIESTROS Diferencias glorieta rotonda [en línea] disponible en: <http://www.expertoensiniestros.es/diferencias-glorieta-rotonda/>

**2.3.2 Enlace tipo trébol** En la figura 8 se refleja lo que se trata de un enlace de cuatro ramales con todos los cruces a distinto nivel que permite el cruce de dos vías. Realiza giros a la derecha de forma directa, utilizando lazos para los giros a

---

<sup>16</sup> URIBE S., "Manual de diseño Geometrico para Vías e Intersecciones Urbanas," Univ. los Andes, p. 12, 2013

izquierda, proporcionando una forma similar a la hoja de un trébol de cuatro hojas. Se utiliza cuando las dos vías que se cruzan forman un ángulo de aproximadamente 90° en dicha zona, requiriendo la construcción de una obra de paso (ya sea superior o inferior)<sup>17</sup>.

**Figura 8. Trébol**



**Fuente.** BEBEE Enlaces [en línea] disponible en: <https://www.bebee.com/producer/@nicolas-andres-freire-freire/enlaces>

Sus características son las siguientes:

- Simplicidad, ya que sólo necesita una única estructura auxiliar (paso superior ó paso inferior), utilizada tanto para el cruce a distinto nivel de las carreteras principales, como para realizar todos los movimientos necesarios en el enlace.
- Fácilmente interpretable por los conductores.
- Todos los movimientos se producen sin intersecciones a nivel.
- El enlace tiene una forma aproximadamente simétrica que proporciona tanto seguridad vial como facilidad en el diseño del mismo (al no tener que realizar diseños distintos en cada uno de los cuadrantes del nudo) [9].

---

<sup>17</sup> WIKIVIA “Enlace tipo trébol.” [en línea] disponible en: [http://wikivia.org/wikivia/index.php/Enlace\\_tipo\\_trébol](http://wikivia.org/wikivia/index.php/Enlace_tipo_trébol).

**2.3.3 Intersección diamante divergente (DDI)** El intercambiador diamante divergente (DDI, también conocido como diamante de doble cruce) es un nuevo diseño que es una variación del intercambio de diamante convencional. La principal diferencia entre un DDI y un intercambio convencional de diamantes es el cruce (o canalización) del tráfico en el cruce hacia el lado izquierdo entre los terminales de la rampa [10]. Este intercambiador es un novedoso tipo de intersección en el cual el flujo principal se eleva o se deprime, mientras que los sentidos de circulación de la vía secundaria se cruzan hacia el lado opuesto en un tramo seleccionado con el objetivo de permitir a los conductores realizar el giro izquierdo sin necesidad de esperar turnos, sin conflicto con el tráfico y acomodando el tráfico de forma segura y eficiente. Posteriormente los flujos se descruzan para regresar a las condiciones de circulación originales<sup>18</sup>.

Los DDI permiten una mejora significativa en cuanto a seguridad ya que los giros izquierdos se hacen de forma directa presentándose además una disminución en las fases semafóricas, respecto a una intersección común; adicionalmente se destaca que los DDI ocupan menos espacio en su implementación comparados con intersecciones a desnivel convencionales. Es importante mencionar que en Colombia no se tiene referencia de una intersección tipo DDI y las investigaciones sobre ellas se limitan a experiencias de otros países, los cuales no ofrecen comportamientos ni 38 condiciones similares a las encontradas en ámbitos urbanos locales<sup>19</sup>.

Como se refleja en la figura 9, esta dirige el tráfico mediante un cruce hacia el lado opuesto del camino entre la rampa terminal de la intersección, el cual se realiza

---

<sup>18</sup> FHWA J. M. J. B. W. Z. and M. Doctor, "Design At The Crossroads.", [en línea] disponible en: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/13julaug/01.cfm>

<sup>19</sup> Ibíd.

mediante señales que controlan los movimientos de los vehículos, permitiendo tanto el cruce a la derecha como a la izquierda, sin ningún tipo de problema<sup>20</sup>.

**Figura 9. Intersección diamante divergente I-44. Ruta 13 en Springfield, Missouri.**



**Fuente.** FHWA Interseccion diamante [en línea] disponible en:  
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/13julaug/01.cfm>

## 2.4 SIMULACIÓN

En el contexto de la construcción, la simulación puede ser una herramienta clave de apoyo a la toma de decisiones para el análisis cuantitativo de operaciones y procesos que tienen lugar durante el ciclo de vida del proyecto<sup>21</sup>.

Para predecir la factibilidad de una propuesta mediante la simulación de tráfico, Infracore no solo estima la cantidad de vehículos que transitan por la zona de estudio, sino que también es necesario sumar un conjunto de parámetros que le agregan veracidad a los resultados. Los parámetros tomados en cuenta para la simulación se ingresaron a partir de una ventana externa llamado *Panel Analista de*

---

<sup>20</sup> CARVAJAL JIMÉNEZ D. L. and ENSUNCHO CARABALLO M. M., “Estudio para el pre-diseño de una diverging diamond interchange para la intersección vial de la carrera 114 con calle 80 en la ciudad de Bogotá,” 2017

<sup>21</sup> LEITE F. et al., Op. Cit.

*Tráfico*, el cual permite analizar con detalle el comportamiento que interviene en el tránsito vehicular; estos parámetros se mencionan a continuación.

**2.4.1 Tiempo de tránsito** En este aspecto la simulación fue realizada en base a la toma de datos de tránsito, se consideraron todas las jornadas de conteo, y en la cual se determinó la jornada de mayor flujo vehicular, tomando en cuenta de aquellas dos horas, los 15 minutos que tuvieron el tránsito más alto.

**2.4.2 Origen y destino del vehículo** Este parámetro nos permite introducir los datos de flujo de tráfico recopilados en el conteo de flujo vehicular mediante una matriz origen destino que clasifica cada zona de petición y a su vez nos permite ingresar el número de vehículos, permitiendo así una simulación precisa.

**2.4.3 Tipo de vehículos** Infracworks permite definir los tipos de vehículos que circularán en la simulación, estimando cada tipo por porcentajes, color, tamaño, masa y dinámica. Fijar estos aspectos logra enriquecer la apreciación de la simulación exponiendo un comportamiento más realista, lo anterior fue establecido como de muestra en las figuras 10 y 11.

**Figura 10. División de peticiones – Tipos de vehículos por porcentajes**



División	101 Motocicleta	102 Auto	103 Taxi	104 Autobús	105 Metrolinea	106 Camión
Division	29.0	44.0	21.0	3.0	1.0	2.0

**Fuente:** Panel analista de tráfico – Infracworks 360.

**Figura 11. Caracterización de tipo de vehículo**



**Fuente:** Panel analista de tráfico - Infracore.

**2.4.4 Tiempos de semaforización** Para precisión de la simulación se ha tomado en consideración los tiempos de semaforización que allí están establecidos, quedando como se muestran en la tabla 3.

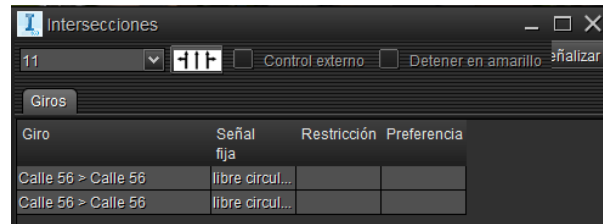
**Tabla 3. Tiempos de semaforización en luz verde.**

SENTIDO	TIEMPO [S]
Norte – Sur	60
Sur – Norte	60
Oriente – Occidente	45
Occidente - Oriente	45

**2.4.5 Control de intersecciones – Señalización** La correcta señalización de una intersección determina el buen funcionamiento de esta, dado que la animación tomará en cuenta los criterios que le sean asignados, en el trabajo de investigación se ha buscado conseguir una fluidez de tránsito asignando a cada intersección su correcta señalización tomando en cuenta la respectiva prioridad de acuerdo al Manual de Señalización Vial.

A través del panel que Infracore brinda, se establecieron las señales para cada tipo de intersección que contiene cada una de las propuestas, como se muestra en la figura 12, asignando así señales fijas como *ceder el paso*, *libre circulación* para las calles que tienen prioridad ó *señal de pare*.

**Figura 12. Señalización**



**Fuente:** Panel analista de tráfico – Infracworks

Con la fijación de todos estos parámetros, se logra visualizar el comportamiento de un mismo flujo vehicular con variación de parámetros que puedan alterar su comportamiento, donde al mismo tiempo se puede evaluar y analizar con diferentes propuestas de diseño. La simulación con tecnologías BIM permite una predicción temprana de conflictos, evitando retrasos y sobrecostos desde la fase de planeación de un proyecto de infraestructura vial.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES

A partir de la revisión bibliográfica y con la ayuda del manual de Infracore, en el desarrollo del proyecto, se identificaron una serie de características fundamentales que influyen en la toma de decisiones en la planificación de intersecciones viales como se muestra en la Tabla 4. Todos estos conjuntos de características están identificados según los elementos principales que conforman las tecnologías BIM, elementos con potentes herramientas con capacidad de análisis que facilita a los profesionales a agilizar cualquier etapa de un proyecto a partir de un diseño preliminar.

**Tabla 4. Características de BIM que influyen en la toma de decisiones.**

ID	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
1	MODELAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fomenta la integración de las partes interesadas en un proyecto para una colaboración más precisa y eficiente<sup>22</sup>.</li><li>• Fuentes de datos compartidas a lo largo del ciclo de vida del proyecto modelado<sup>23</sup></li><li>• Reflejo del comportamiento esperado de la instalación/infraestructura, especialmente comportamiento ocupante/usuario<sup>24</sup></li><li>• Generador de modelos rápidos a partir de información preexistente.</li></ul>

---

<sup>22</sup> Ibíd.

<sup>23</sup> Ibíd.

<sup>24</sup> Ibíd.

ID	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los entornos virtuales creados en los modelos BIM representarían una buena plataforma para la simulación y la planificación<sup>25</sup></li> <li>• Los diseñadores pueden manipular la geometría del diseño eficientemente aprovechando las relaciones paramétricas y la "inteligencia" conductual<sup>26</sup></li> <li>• Detección más rápida de errores 2D y omisiones en los dibujos de construcción<sup>27</sup></li> <li>• Permite almacenar un gran volumen de información de un proyecto de infraestructura vial en una única base de datos digital.</li> </ul>
2	SIMULACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Credibilidad por profesionales de la industria para la toma de decisiones<sup>28</sup>.</li> <li>• Verificación y validación de la salida de simulación<sup>29</sup>.</li> <li>• Evaluación temprana de conflictos.</li> <li>• Simular la secuencia constructiva.</li> <li>• Identificación y análisis de conflictos de diseño<sup>30</sup></li> <li>• Simular el tráfico en un nodo vial o en un área determinada de la ciudad con base en datos tomados en campo, y de este modo analizar propuestas de descongestiónamiento en zonas críticas de la ciudad<sup>31</sup></li> </ul>

<sup>25</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., Op. Cit.

<sup>26</sup> SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., Op. Cit.

<sup>27</sup> GIEL B. K., ISSA R. R. A., and ASCE F., "Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction," J. Comput. Civ. Eng., vol. 27, no. October, pp. 511–521, 2013

<sup>28</sup> LEITE F. et al. Op. Cit.

<sup>29</sup> Ibíd.

<sup>30</sup> MARTÍNEZ-ROJAS M., MARÍN N., and VILA M. A., "The Role of Information Technologies to Address Data Handling in Construction Project Management," J. Comput. Civ., vol. 30, no. 4, pp. 1–20, 2016

<sup>31</sup> FONG C., "Simulación de tráfico con Infracworks 360." [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/infracworks/learn-explore/caas/simplecontent/content/simulaci-C3-B3n-de-tr-C3-A1fico-con-infracworks-360.html>.

ID	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de aspectos de iluminación a través de la simulación de la luz del día, la luz del sol, sombra<sup>32</sup>.</li> <li>• Permite simulación de cuencas de captación, O.D.T y redes de drenaje.</li> <li>• Simulación de flujo peatonal.</li> </ul>
3	VISUALIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representación gráfica 3D de alternativas remotas.</li> <li>• Observación del comportamiento de diversas soluciones.</li> <li>• Las técnicas de visualización están creciendo y se han convertido en una parte esencial en muchas tareas, como las relacionadas con la seguridad, la planificación y el progreso, y el monitoreo de la calidad<sup>33</sup>.</li> <li>• Personalización de un proyecto de construcción.</li> <li>• Permite cambios simultáneos.</li> <li>• Organización y seguimiento del proyecto.</li> <li>• Análisis del flujo de tráfico<sup>34</sup></li> <li>• Proporciona la capacidad de hacer los diseños con cierto grado de realismo, haciendo los diseños más accesibles a los participantes del proyecto no técnico<sup>35</sup>.</li> <li>• Es la mejor visualización y facilidad de comunicación de información a terceros<sup>36</sup>.</li> </ul>
4	CONTROL DE COSTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A través de la estimación de recursos permite desarrollar el presupuesto.</li> </ul>

<sup>32</sup> BONENBERG W. and WEI X., "Green BIM in Sustainable Infrastructure," *Procedia Manuf.*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 1654–1659, 2015

<sup>33</sup> MARTÍNEZ-ROJAS M., MARÍN N., and VILA M. A., *Op.Cit.*

<sup>34</sup> CHENG J. C. P., LU Q., and DENG Y., "Analytical review and evaluation of civil information modeling," *Autom. Constr.*, vol. 67, pp. 31–47, 2016

<sup>35</sup> SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., *Op.Cit.*

<sup>36</sup> RAFIQ M. Y. and RUSTELL M. J., "Building Information Modeling Steered by Evolutionary Computing," vol. 28, no. 2000, pp. 1–11, 2014

ID	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al realizarse cambio en el modelo también actualizará la información del flujo de efectivo del proyecto en consecuencia<sup>37</sup></li> <li>• Menos consultores, proveedores y comercios de diseño<sup>38</sup></li> <li>• BIM se ha utilizado en la estimación de costos, Con la investigación que revela que es más eficiente que la estimación manual de costos y conduce a la reducción de costos del proyecto<sup>39</sup>.</li> <li>• Validar la planificación de tareas realizada.</li> <li>• Esta tecnología permite construir un edificio en un tiempo mucho menor que cuando se hacen los planos, así mismo planear el avance de obra de obra digital mitigando la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción<sup>40</sup>.</li> </ul>
5	GESTIÓN DE INFORMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interoperabilidad de la información entre programas BIM<sup>41</sup>.</li> <li>• El control de calidad otorga a diseñadores a través de herramientas que proporcionan advertencias y errores cuando se violen requisitos<sup>42</sup>.</li> <li>• Optimización de tiempo.</li> <li>• Uso de tecnologías de apoyo como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que terminan proporcionando coordenadas precisas para el emplazamiento<sup>43</sup>.</li> <li>• Apoya la toma de decisiones asegurando que la información precisa está siempre disponible en el</li> </ul>

<sup>37</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., Op. Cit.

<sup>38</sup> *Ibíd.*

<sup>39</sup> ABANDA F. H., KAMSU-FOGUEM B., and TAH J. H. M., "Full Length Article: BIM - New Rules of Measurement ontology for construction cost estimation," Eng. Sci. Technol. an Int. J., 2017

<sup>40</sup> VELÁSQUEZ U., "BIM, programa de construcción que disminuiría costos hasta en 40%." [Online]. Available: <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/422569-bim-programa-construccion-que-disminuiria-costos-4/>.

<sup>41</sup> LEITE F. et al. Op. Cit.

<sup>42</sup> SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., Op. Cit.

<sup>43</sup> CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., Op. Cit.

ID	ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
		<p data-bbox="773 275 1461 348">momento adecuado en el formato correcto a la persona adecuada <sup>44 45 46 47 48 49</sup> .</p> <ul data-bbox="727 359 1461 646" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="727 359 1461 432">• Estudiar el proyecto en un instante de tiempo planificado<sup>50</sup>.</li> <li data-bbox="727 443 1461 646">• Un servidor BIM, permite a varios diseñadores trabajar en el mismo modelo, en el cual pueden acceder desde cualquier lugar del mundo, lo que permite un mayor grado de colaboración interdisciplinaria<sup>51 52</sup></li> </ul>

### 3.2 INFORMACIÓN DE TRÁNSITO

Mediante la realización de aforos vehiculares se recolectaron los datos de tránsito para medir la factibilidad de las propuestas, en el cual se seleccionaron los datos que mostraron los más altos flujos vehiculares. La información seleccionada corresponde al día martes en la jornada de 6:30 am a 8:30 am, donde se tomaron los 15 minutos de mayor flujo, y, en el cual se clasificó la información según el origen y destino del vehículo, y también por tipo de vehículo que transitaron por la intersección. Los resultados que se obtuvieron se reflejan en la tabla 5 y la gráfica 1.

<sup>44</sup> CHENG J. C. P., LU Q., and DENG Y., Op. Cit.

<sup>45</sup> CHEN K., LU W., PENG Y., ROWLINSON S., and HUANG G. Q., "Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 33, no. 6, pp. 1405–1416, 2015

<sup>46</sup> BRADLEY A., LI H., LARK R., and DUNN S., Op. Cit.

<sup>47</sup> CHONG H., FAN S., SUTRISNA M., HSIEH S., and TSAI C., "Preliminary Contractual Framework for BIM-Enabled Projects," *J. Constr. Eng. Manag.*, 2017

<sup>48</sup> SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., Op. Cit.

<sup>49</sup> MARTÍNEZ-ROJAS M., MARÍN N., and VILA M. A., Op. Cit.

<sup>50</sup> *Ibíd.*

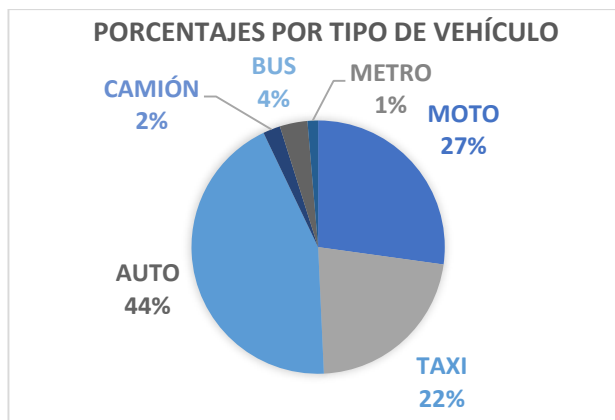
<sup>51</sup> RAFIQ M. Y. and RUSTELL M. J.,

<sup>52</sup> EL-DIRABY T., KRIJNEN T., and PAPAGELIS M., "BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings," *Autom. Constr.*, vol. 82, no. September 2016, pp. 59–74, 2017.

**Tabla 5. Número de vehículos según origen-destino para 15 minutos de tránsito.**

<b>ORIGEN DESTINO</b>	<b>TOTAL VEHÍCULOS</b>
NORTE - SUR	<b>813</b>
NORTE - OCCIDENTE	<b>77</b>
OCCIDENTE - SUR	<b>18</b>
ORIENTE - OCCIDENTE	<b>323</b>
SUR - NORTE	<b>1223</b>
SUR - ORIENTE	<b>15</b>
ORIENTE - NORTE	<b>397</b>
OCCIDENTE - ORIENTE	<b>187</b>

**Gráfica 1. Porcentajes por tipo de vehículo para 15 minutos de tránsito**



Los datos recolectados, corresponden a un total de 3053 vehículos en un lapso de 15 minutos, pero adicionalmente se refleja que la mitad del tránsito corresponde a motocicletas. Es necesario notar que, a la hora de introducir los datos de tránsito para la simulación, se tomó la decisión de manejar los datos como vehículos equivalentes, esto fue dado a el número masivo de motocicletas que se presentó, puesto que el vehículo patrón que se refleja en la simulación del modelo es un automóvil. En la tabla 6, se muestran los factores de equivalencia que se tomaron

para pasar los datos a vehículos equivalentes, estos factores fueron tomados en base a un trabajo de investigación de la Universidad Nacional<sup>53</sup>.

**Tabla 6. Factores de equivalencia de tránsito.**

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>FACTOR DE EQUIVALENCIA</b>
<b>Moto</b>	0.43
<b>Auto</b>	1.00
<b>Taxi</b>	1.00
<b>Camión</b>	1.61
<b>Bus</b>	1.61
<b>Metro</b>	1.74

**Fuente.** Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín, Universidad Nacional

Haciendo uso de los datos de la tabla anterior, los datos que se utilizaron para la simulación del proyecto de investigación quedaron como se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7. Número de vehículos equivalentes según origen-destino para 15 minutos de tránsito.**

<b>ORIGEN DESTINO</b>	<b>TOTAL</b>
NORTE - SUR	643
NORTE - OCCIDENTE	60
OCCIDENTE - SUR	16
ORIENTE - OCCIDENTE	266
SUR - NORTE	895
SUR - ORIENTE	10
ORIENTE - NORTE	218
OCCIDENTE - ORIENTE	141

<sup>53</sup> YARCE MARÍN Y. G., "Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín," p. 110, 2015

### 3.3 PROPUESTAS Y VIABILIDAD

En el trabajo de investigación, cada propuesta creada aparte de buscar mitigar el congestionamiento vehicular, eliminar semáforos y dar solución al problema, también busca evidenciar la facilidad de edición que posee BIM para crear diferentes alternativas sobre un mismo proyecto de infraestructura vial y analizar su efectividad como solución sin necesidad de generar costos. A continuación, se expondrán cada una de las propuestas creadas, las cuales no están comprometidas a un diseño geométrico específico, solo a diseños preliminares de prueba, y, en las cuales se analizó el comportamiento que mostraron con respecto a la información de tránsito obtenida.

**3.3.1 Glorieta** Crear esta propuesta, la que se muestra en la figura 13, implicaba un diseño simple y común, donde se busca crear una mejor movilidad en la zona de estudio sin implicar semáforos y dando paso a los giros a la izquierda, sin embargo, al establecer la simulación, se observó casi de inmediato que esta alternativa no podría ser considerada dado al alto flujo que transita en la carrera 27.

**Figura 13. Propuesta de glorieta desde Infracworks**



En la figura 14, se muestra el resultado de la simulación, la cual reflejó un congestionamiento sobre todo en el sentido Sur-Norte, y la frecuente imposibilidad de los vehículos de la calle 56 por ingresar a la intersección. Ante lo visualizado, se concluye que no es una opción favorable.

**Figura 14. Resultado de simulación de tránsito de propuesta glorieta.**



**3.3.2 Enlace tipo trébol** En la figura 15, se expone la elaboración de este enlace, y, en base a la delimitación de espacio, requirió de la demolición de algunas construcciones que allí existen. Este modelo consiste en un diseño a desnivel, con un puente sobre la calle 56, permitiendo acceso directo entre los sentidos oriente-occidente y norte-sur. Sumado a lo anterior, la intersección permite todos los giros posibles sin la necesidad de semaforización.

**Figura 15. Propuesta de enlace tipo trébol desde Infraworks**



Con el ingreso de los datos de tránsito, el resultado de la simulación, como se muestra en la figura 16, evidenció que, aunque no llegaba a generar embotellamiento, el intercambiador mostraba estar al límite, impidiendo que, en años futuros, tenga la misma efectividad. Por tanto, por tratarse de la planeación de un enlace que genere solución y brinde eficiencia, se recomendaría evaluar la posibilidad de otra solución o la modificación del diseño.

**Figura 16. Resultado de simulación de tránsito de propuesta enlace tipo trébol.**



**3.3.3 Intercambiador diamante divergente** Esta propuesta consiste en un diseño mucho más complejo, en la figura 17, se puede apreciar el enlace entre los dos sentidos de la calle 56 que se enlazan para darle facilidad a los giros a la izquierda.

Adicionalmente, por la alta demanda de la carrera 27, se diseñó un túnel para un acceso directo, y unos enlaces en ambos sentidos para acceder a la calle 56.

**Figura 17. Propuesta de intersección diamante divergente desde Infraworks**



Realizando el análisis del comportamiento del tránsito con respecto al modelo, a pesar de su compleja estructuración, el escenario que ha mostrado es el de un tránsito con muy buena movilidad, fluido y sin retrasos, como se muestra en la figura 18. Al analizar esta última propuesta, se refleja la viabilidad de implementarla como una solución al conflicto actual, y aún con proyección a años futuros, resulta ser favorable.

**Figura 18. Resultado de simulación de tránsito de propuesta intercambiador diamante divergente.**



### 3.4 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES

De acuerdo con el desarrollo del proyecto de investigación se encontraron una serie de beneficios que ayudan en la fase de planificación de intersecciones viales, los cuales generan un enriquecimiento en la eficacia de la etapa de planeación de un proyecto de infraestructura vial. A continuación, se muestran los beneficios más significativos:

- *El modelamiento de carreteras o de intersecciones* sobre información existente de relieve, carreteras y/o espacio en cualquier área de interés, permite construir en un entorno virtual ayudando a la rentabilización de la inversión del proyecto.
- *La simulación* es uno de los beneficios más atractivos, pues este permite tener una prevención temprana de puntos que puedan ocasionar conflictos viales ante cualquier diseño de infraestructura vial.
- *La colaboración basada en el modelado a tiempo real* otorga la interoperabilidad entre diferentes disciplinas de un mismo proyecto, no hay necesidad de repetir trabajos del mismo proyecto. Esto indica que la herramienta de creación BIM debería cubrir completamente el flujo de trabajo, sin tener que estar cambiando de herramienta y/o de flujos de trabajo en mitad del proyecto.
- *La visualización 3D* ayuda a tomar la decisión de diferentes diseños mediante la comparación de diferentes alternativas, reflejando en cada una de estas un nivel alto de detalle, apuntando a vender la mejor propuesta desde el punto de vista arquitectónico.

- *La integración de diseños 2D a 3D* permite traer un diseño geométrico de planos CAD a un modelo en tres dimensiones, y dado a que las diversas vistas se crean a partir de un modelo único, hay una reducción significativa de diseño.
- *El control de costos* se mantiene en cada una de las fases del proyecto, ya que BIM permite conocer el presupuesto estimado en cada una de las fases mientras este se ejecuta.
- *La gestión de datos* es una característica que otorga ver información que no se ve en los planos, por ejemplo, la cuantificación de material tanto para el proyecto completo, como para una parte específica.
- *La gestión de transporte* es capaz de manejar altos volúmenes de tránsito como un medio de pronóstico proactivo para ayudar a planificar.
- *La integración de BIM con SIG*, mediante coordenadas y topografía de la zona de interés, ayuda a llevar a cabo la necesidad de llevar de forma precisa los límites para el sitio de construcción.
- *La simulación de la luz y la sombra* es un elemento que permite sacar beneficio energético de la luz solar.
- *La simulación del proceso constructivo* de un puente o un intercambiador vial, por ejemplo, permitiría llevar un control de tiempo que se ajuste a la realidad conduciendo a una buena planificación.
- *La sostenibilidad* hoy día es un complemento esencial en un proyecto de infraestructura y BIM permite que esto sea posible desde su planificación, aplicándolo desde sus materiales o también con la creación de sistemas hidráulicos que almacenen agua en temporadas de alta precipitación.

### 3.5 COMPARACIÓN DEL MÉTODO BIM Y EL MÉTODO CAD EN LA PLANIFICACIÓN

En la etapa de planificación de un proyecto de infraestructura vial, por lo general lleva al método tradicional, en el que, si a diseño se refiere, consiste a la realización de documentación gráfica que reúne un conjunto de líneas y trazos con mediciones. A continuación, se presenta la tabla 8, donde se reflejan las diferencias de diferentes elementos que abarcan un proyecto en su etapa de planificación.

**Tabla 8. Diferencias entre el método BIM y el método tradicional CAD en la planificación.**

ID	ELEMENTO	MÉTODO	
		BIM	CAD
1	MODELAMIENTO	Creación de un entorno virtual en tres dimensiones a partir de información existente real de espacios y pendientes.	Diseño en dos dimensiones.
2	PREDICCIÓN DE VIABILIDAD	Simulación del tránsito de un diseño vial frente a la cualquier zona de estudio con la incorporación de diferentes parámetros.	Maneja un análisis de información a partir de hipótesis de acuerdo a precedentes.
3	VISUALIZACIÓN	Representaciones gráficas 3D a través de animaciones de cualquier diseño preliminar con el entorno existente con efectos visuales realistas.	Representación 2D como planos, secciones y elevaciones.
4	COSTOS	Cuantificación inmediata de materiales de cualquier elemento del proyecto.	Cuantificación manual y lenta que implica un análisis riguroso para evitar errores.

ID	ELEMENTO	MÉTODO	
		BIM	CAD
5	COLABORACIÓN	Interoperabilidad de la información entre las diferentes disciplinas interesadas en el mismo proyecto.	Trabajo en cadena; se necesita la finalización del trabajo de uno de los campos de un proyecto, para continuar con otra.
6	ENTORNO SOSTENIBLE	Analiza una construcción verde y la simulación de la luz del día y la sombra, buscando la eficiencia energética y la sostenibilidad de los materiales.	-
7	DOCUMENTACIÓN	Optimización de tiempo. Desde un mismo archivo de consigue de manera inmediata cualquier parte del proyecto.	Proceso laborioso. Múltiples archivos de un mismo proyecto
8	NORMATIVIDAD	Controla el diseño bajo normatividad actualizada según el lugar donde se vaya a construir el proyecto.	Controla el diseño bajo normatividad actualizada según el lugar donde se vaya a construir el proyecto.
9	SEGURIDAD	Permite a un diseñador examinar fácilmente áreas con fallas de seguridad o de ataque y mejorarlos, mejorando así la seguridad general de la instalación.	-

Con los elementos principales de la tabla anterior, se puede aducir lo siguiente:

- *Modelamiento:* Mientras que en el caso del método tradicional consiste en una pila de planos de diseños basados en trazos y líneas, en el caso del método BIM se basan en un mismo modelo en 3D, el cual tiene la capacidad de conservar su

diseño estructural, geométrico e hidráulico en un mismo archivo guardado en la nube.

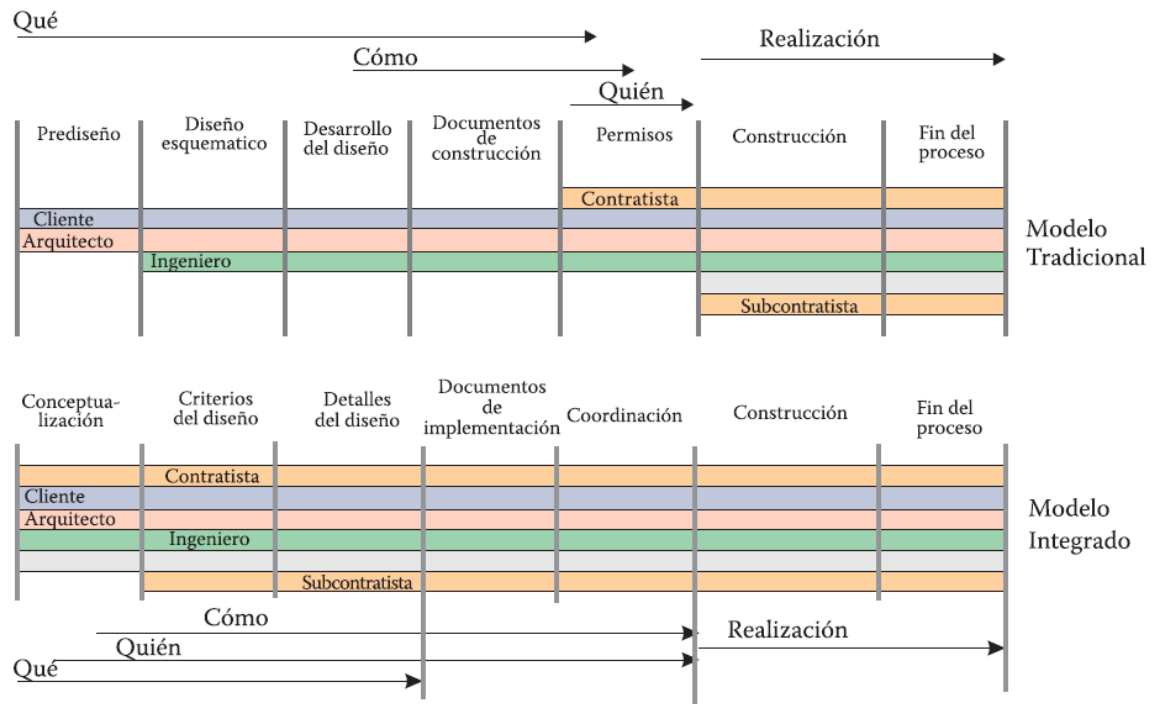
- *Predicción de viabilidad:* En el caso del método tradicional, predecir la eficiencia de un diseño vial, consiste en un trabajo a base de hipótesis basada en la percepción del ser humano. Caso contrario para el método que implementa BIM, pues éste, a partir de su tecnología permite crear una simulación del tránsito que pasa por el diseño y de esta forma crear una predicción certera de su comportamiento.
- *Visualización:* Este elemento, en el caso CAD, se resume básicamente a diferentes planos de un mismo diseño y, además, se requiere imaginar el modelo completo. No es el caso de BIM, pues gracias a su visualización 3D, se puede apreciar un modelo completo del diseño desde cualquier vista, en cualquier entorno.
- *Costos:* Para el método tradicional, determinar el costo de un proyecto de infraestructura vial implica determinar las cantidades de material de manera manual y exhaustiva, además de que, si existe uno de los frecuentes errores en la planificación, esto generaría un sobre costo. Con BIM, la estimación de costos de material se determina de manera inmediata, pues almacena información de forma automática.
- *Colaboración:* En el método tradicional, la colaboración entre disciplinas consiste en un trabajo independiente de cada diseñador, pues si se genera un cambio para uno de los diseños, llevará a crear errores en otros. Mientras tanto con BIM, el trabajo entre las diferentes disciplinas que trabajan para un mismo proyecto permite trabajar de manera simultánea gracias al entorno virtual.

- *Entorno sostenible:* Para el caso del método tradicional aplica si se considera como un proyecto externo, en el caso del método BIM, gracias a la simulación de la luz del sol, brinda la capacidad de buscar la eficiencia de energía.
- *Documentación:* En el método tradicional, la información se recopila a través del trabajo de los diferentes diseñadores, logrando formar una pila de documentos y planos que en muchos casos no tienen completa coordinación. En el caso de BIM, permite que todos trabajen en el mismo archivo en la nube, se guarda un solo archivo con toda la información, y de la cual se puede exportar los datos requeridos.
- *Normatividad:* Para ambos métodos de planificación, se cuenta con la incorporación de normatividad que busca la legalidad de los diseños.
- *Seguridad:* El método tradicional no cuenta con control de seguridad. El método BIM, permite evaluar las diferentes opciones que generen mayor seguridad vial a través de la señalización, además, permite visualizar si existe necesidad de introducir otros controles de seguridad adicionales desde la etapa de planificación.

Adicional a lo anterior, en la figura 19, se puede apreciar de qué forma y en qué momentos entra la participación de los diferentes colaboradores en ambas metodologías, reflejando que, a comparación del método tradicional, en el caso de BIM la colaboración es conjunta y simultánea casi que en todo el tiempo que lleva un proyecto.

Los modelos de ejecución de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la construcción de edificaciones. La elección del modelo depende del propietario del proyecto y los entes que conocen lo que se ejecutará en la obra<sup>54</sup>.

**Figura 19. Comparación del método tradicional y el método BIM**



**Fuente.** Filosofía *Lean Construction* para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual

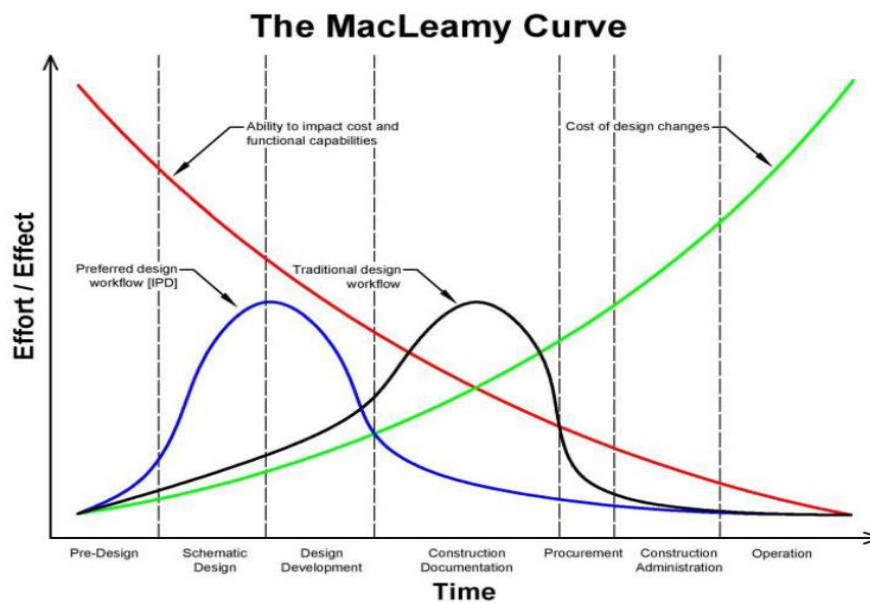
En la figura 20 se representa un diagrama con lo que se representa una curva de esfuerzo, donde se ha demostrado que el método BIM es bastante eficaz para impulsar la adopción temprana, se necesita más hechos para alentar a los inversores del sector privado a impulsar la adopción generalizada de BIM en toda la industria<sup>55</sup>.

<sup>54</sup> DÍAZ H. P., GIOVANNY O., RIVERA S., ALBERTO J., and GUERRA G., "Resumen Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review," *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1, pp. 1794–4953, 2014.

<sup>55</sup> WALASEK D. and BARSZCZ A., "Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]," *Procedia Eng.*, vol. 172, pp. 1227–1234, 2017

De acuerdo a MacLeamy, el mayor potencial económico está asociado con la fase de operación y administración de la instalación. Existe una multitud de varias áreas desde las cuales los administradores de instalaciones pueden obtener beneficios del modelo BIM, incluyen gestión del espacio, sistemas de construcción, mantenimiento de equipos, control del consumo de energía, seguridad, equipamiento, etc.<sup>56</sup>

**Figura 20. Curva de esfuerzo Método tradicional vs Método BIM**



Fuente. Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]

Se puede observar que la implementación del método BIM puede llevar a una serie de ventajas, como la reducción de tiempo, reducción de costo y aumento de eficiencia. Elegir el método que se desee implementar en un proyecto podría definir el ritmo en el que se trabajará.

<sup>56</sup> Ibíd.

#### **4. CONCLUSIONES**

Con la experiencia obtenida en el recorrido del desarrollo del trabajo de investigación, se logró constatar que la contribución de BIM beneficia considerablemente la toma de decisiones en la etapa de planificación, logrando reducir la cantidad de tiempo, que, por ejemplo, lleva planificar por el método tradicional. Gracias a su plataforma virtual, consigue una mayor colaboración entre las diferentes disciplinas que trabajan en el mismo proyecto, al mismo tiempo que evalúan diferentes propuestas para que la solución sea efectiva, logrando así mayor rendimiento y eficiencia frente al proceso de escoger la mejor solución para cualquier problemática vial.

Elaborar diseños de intercambiadores o enlaces viales con tecnología BIM ayuda a dimensionar la necesidad de implementar este método en Latinoamérica, pues resulta imprescindible buscar alternativas que permitan la evolución en la etapa de planificación de infraestructuras, que, en los últimos años, han reflejado catastróficas consecuencias en Colombia.

A través del prototipo diseñado para el trabajo de investigación, se logró observar muchas de las capacidades de los alcances que tiene BIM, la facilidad de edición, por ejemplo, permitió la creación de tres sugerencias que diseños preliminares para hacer frente a un conflicto de tránsito; su disposición de espacios dispuso medir una aproximación de la cantidad de construcciones que tendrían que demolerse. Además, la ligereza para construir vías a desnivel como es el caso del trébol proporciona más permisividad para cualquier diseño vial.

En un caso inicial, se tuvo la percepción que el enlace tipo trébol podría fácilmente dar fin al congestionamiento vial que se estaba analizando, sin embargo, por medio

de la simulación se determinó que, aunque con el tránsito trabajado no se generó trancón, en años futuros no tendría la capacidad de soportarlo.

En el caso del intercambiador diamante divergente, un sistema de enlace vial que no tiene registro en Colombia, con un diseño preliminar y teniendo los conocimientos básicos del funcionamiento de esta, se observó un resultado con altas aspiraciones de viabilidad, incluso para años futuros.

A partir de los resultados de la creación del prototipo en el desarrollo del trabajo de investigación, se demuestra que, si los profesionales en el campo tomaran la decisión de implementar este método, podría considerarse la creación de soluciones como el intercambiador diamante divergente, sin el riesgo a construir un proyecto de infraestructura vial que no sea funcional.

## BIBLIOGRAFÍA

ABANDA F. H., KAMSU-FOGUEM B., and TAH J. H. M., “Full Length Article: BIM - New Rules of Measurement ontology for construction cost estimation,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, 2017

BONENBERG W. and WEI X., “Green BIM in Sustainable Infrastructure,” *Procedia Manuf.*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 1654–1659, 2015

BRADLEY A., LI H., LARK R., and DUNN S., “BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective,” *Autom. Constr.*, vol. 71, pp. 139–152, 2016

CARVAJAL JIMÉNEZ D. L. and ENSUNCHO CARABALLO M. M., “Estudio para el pre-diseño de una diverging diamond interchange para la intersección vial de la carrera 114 con calle 80 en la ciudad de Bogotá,” 2017

CHEN K., LU W., PENG Y., ROWLINSON S., and HUANG G. Q., “Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework,” *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 33, no. 6, pp. 1405–1416, 2015

CHENG J. C. P., LU Q., and DENG Y., “Analytical review and evaluation of civil information modeling,” *Autom. Constr.*, vol. 67, pp. 31–47, 2016

CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., “Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 32, no. 6, pp. 1–13, 2015

CHONG H., FAN S., SUTRISNA M., HSIEH S., and TSAI C., “Preliminary Contractual Framework for BIM-Enabled Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, 2017

DÍAZ H. P., GIOVANNY O., RIVERA S., ALBERTO J., and GUERRA G., “Resumen Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review,” *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1, pp. 1794–4953, 2014.

EASTMAN C. M. and SACKS R., “Relative Productivity in the AEC Industries in the United States for On-Site and Off-Site Activities,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 134, no. 7, pp. 517–526, 2008

EL-DIRABY T., KRIJNEN T., and PAPAGELIS M., “BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings,” *Autom. Constr.*, vol. 82, no. September 2016, pp. 59–74, 2017.

FHWA J. M. J. B. W. Z. and M. Doctor, “Design At The Crossroads.”, [en línea] disponible en: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/13julaug/01.cfm>

FONG C., “Simulación de tráfico con Infracworks 360.” [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/infracworks/learn-explore/caas/simplecontent/content/simulaci-C3-B3n-de-tr-C3-A1fico-con-infracworks-360.html>.

GIEL B. K., ISSA R. R. A., and ASCE F., “Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction,” *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 27, no. October, pp. 511–521, 2013

IMAGINIT “Autodesk InfraWorks.” [Online]. Available: <https://www.imaginit.com/software/autodesk-products/infracworks>

LEITE F. et al., “Visualization, Information Modeling, and Simulation: Grand Challenges in the Construction Industry,” J. Comput. Civ. Eng., vol. 30, no. 6, p. 4016035, 2016

MARTÍNEZ-ROJAS M., MARÍN N., and VILA M. A., “The Role of Information Technologies to Address Data Handling in Construction Project Management,” J. Comput. Civ., vol. 30, no. 4, pp. 1–20, 2016

MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO, “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras,” p. 298, 2008

RAFIQ M. Y. and RUSTELL M. J., “Building Information Modeling Steered by Evolutionary Computing,” vol. 28, no. 2000, pp. 1–11, 2014

SACKS R., KOSKELA L., DAVE B. A., and OWEN R., “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction,” ASCE J. Comput. Civ. Eng., vol. 136, no. September, pp. 968–980, 2010

URIBE S., “Manual de diseño Geometrico para Vías e Intersecciones Urbanas,” Univ. los Andes, p. 12, 2013

VELÁSQUEZ U., “BIM, programa de construcción que disminuiría costos hasta en 40%.” [Online]. Available: <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/422569-bim-programa-construccion-que-disminuiria-costos-4/>.

WALASEK D. and BARSZCZ A., “Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI],” Procedia Eng., vol. 172, pp. 1227–1234, 2017

WIKIVIA “Enlace tipo trébol.” [en línea] disponible en:  
[http://wikivia.org/wikivia/index.php/Enlace\\_tipo\\_trébol](http://wikivia.org/wikivia/index.php/Enlace_tipo_trébol).

YARCE MARÍN Y. G., “Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín,” p. 110, 2015