



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL



# **METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS DE SEGURIDAD VIAL BASADOS EN MICROSIMULACIÓN DE CONFLICTOS DE TRÁFICO – ESTUDIO DE CASO: CARRIL PREFERENCIAL PARA BUSES DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SITP) EN BOGOTÁ**

**Paula Fonseca Agudelo, Julián Otero Niño, Sebastián Cabrera Pinzón, Alejandro Gómez Mosquera, Luis David López Buitrago, Miguel Ospina Serrano, Julián Sandoval Ávila, Liliana Lyons Barrera, Lenin A. Bulla Cruz, Jhon González Mendoza, Juan Heredia Castiblanco**

**Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

Con base en un caso de estudio, se realizó una propuesta metodológica para la toma de información de campo requerida para estudios de seguridad vial basados en microsimulación de conflictos de tráfico. El corredor de la Carrera Séptima entre calles 39 y 45, en Bogotá, fue seleccionado teniendo en cuenta que: [1] éste es el lugar con mayor número de muertes por accidentes de tráfico en la ciudad, y [2] cuenta con un carril preferencial, no exclusivo, para autobuses de transporte público. Bajo la hipótesis de que este carril no se está utilizando de manera segura, la metodología propuesta para la evaluación de seguridad vial utiliza los fundamentos de la Técnica Sueca de Conflictos de Tráfico (TSCT) para determinar las variables a medir en campo. Una vez validada esta metodología en el lugar de estudio, se espera que sea aplicada en diferentes lugares de la ciudad, en infraestructura existente o en proyectos en fase de diseño, susceptibles de simulación. Para aplicar la TSCT se requiere una planificación muy detallada de la toma de información que servirá como base para la construcción de los modelos de simulación: para el estudio de los conflictos se utilizan modelos de microsimulación de tráfico que, una vez calibrados, representarán las condiciones de operación del lugar. Para estimar las medidas sustitutas de seguridad vial, que caracterizan los conflictos y definen su severidad, se utilizan los archivos de

trayectorias generados por los modelos de simulación; dichos archivos se procesan posteriormente en el modelo *Surrogate Safety Assessment Model* (SSAM).

**Palabras clave:** seguridad vial; técnica sueca de conflictos de tráfico; transporte público

### **Abstract**

*Based on a case of study, a methodological proposal is made for the collection of field information required for road safety studies based on microsimulation of traffic conflicts. The transport corridor of Seventh Avenue between streets 39 and 45, in Bogotá, was selected taking into account: [1] this is the place with the highest number of deaths due to traffic accidents in the city, and [2] has a preferential, non-exclusive lane for public transport buses. Under the hypothesis that this lane is not being used safely, the methodology proposed for the road safety assessment uses the basics of the Swedish Traffic Conflict Technique (STCT) to determine the variables to be measured in the field. Once this methodology has been validated in the place of study, it is expected that it could be applied in different places of the city, in the existing infrastructure and/or in projects in the designing phase, susceptible to simulation. To apply the STCT requires a very detailed planning of the collection of information that will serve as the basis for the construction of the simulation models: for the study of the conflicts, traffic microsimulation models are used that, once calibrated, will represent the conditions of operation of the place. To estimate the surrogate measures of road safety, which characterize the conflicts and define their severity, the trajectory files generated by the simulation models are used; these files are subsequently processed in the Surrogate Safety Assessment Model (SSAM).*

**Keywords:** road safety; swedish traffic conflict technique; public transport

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Organización Mundial de la Salud ha catalogado los accidentes de tránsito como la novena causa que más genera muertes en el mundo, con 1.2 millones de personas al año, siendo la primera causa de muerte para los individuos entre los 15 y 29 años (OMS, 2015). En Colombia, más de 7.000 personas al año pierden la vida por siniestros viales y en el año 2016 más de 45.000 personas resultaron lesionadas por accidentes de tránsito (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2016).

Teniendo en cuenta las cifras anteriores y dentro del proceso actual de intervención del Estado, en su propósito de disminuir las tasas de morbimortalidad en seguridad vial, se han definido dos frentes de trabajo: las auditorías en seguridad vial y la toma de medidas correctivas cuando hay ocurrencia de siniestros viales. Estas metodologías de estudio tienen limitaciones; en el caso de los estudios correctivos se presentan sesgos en cuanto a la información mediante la que se determina el riesgo, ya sea por estar incompleta o inexistente o, en el caso de las auditorías en seguridad vial, las valoraciones pueden ser subjetivas al no estar asociadas a medidas cuantitativas del comportamiento vehicular y de la infraestructura (Bulla-Cruz y Lyons, 2015). La Técnica Sueca de

Conflictos de Tráfico (TSCT), surge como un complemento a dichos métodos buscando evaluar la seguridad vial de forma preventiva y cualitativa.

Con el propósito de evaluar la seguridad vial en corredores urbanos a través de la TSCT, se eligió un importante corredor de transporte en Bogotá como lo es la Carrera Séptima, realizando el estudio entre las calles 39 y 45. Este tramo que fue seleccionado de acuerdo con los siguientes criterios: [1] éste es el lugar con mayor número de muertes por accidentes de tránsito en la ciudad, según datos oficiales, y [2] cuenta con un carril preferencial (no exclusivo) para autobuses de transporte público.

El proyecto incluyó el diagnóstico y cuantificación del estado actual de las condiciones de movilidad y de seguridad vial del tramo antes definido, por efecto de la operación del carril preferencial para autobuses del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), tomando como sitios de estudio una intersección de prioridad (regulada por señal de pare o ceda el paso), una intersección semaforizada y un punto de parada del SITP, dado que en estos lugares se ha evidenciado la mayor actividad conflictiva del tramo en estudio. Bajo la hipótesis de que este carril no se está utilizando de la manera esperada, la investigación busca en etapas siguientes proponer contramedidas de ingeniería para reducir el número y severidad de los conflictos analizados. Una vez validada esta metodología en el lugar de estudio, se espera que sea aplicada en diferentes lugares de la ciudad, en futuros proyectos.

## **2. MÉTODOS**

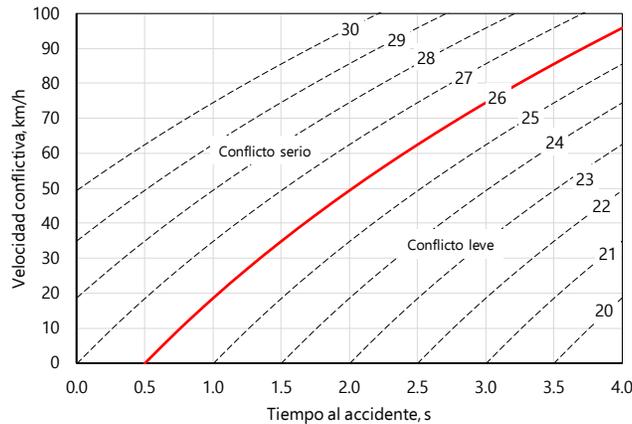
A continuación, se describen los principales elementos de la TSCT, los métodos requeridos para establecer las variables de investigación, así como la metodología para la recolección de la información que se debe tomar en campo.

### **a) La Técnica Sueca de Conflictos de Tráfico**

El conflicto de tráfico se define como un incidente en el que, si dos usuarios viales mantienen su velocidad y trayectoria constantes, el choque entre éstos será inminente. A partir de este concepto, se establecen diferentes variables físicas, que son indicadores de lo cerca que estuvo de ocurrir un choque, así como de la severidad del conflicto, las cuales se conocen como medidas sustitutas de seguridad. Para evitar el choque, es necesario que al menos uno de los dos usuarios viales realice una acción evasiva. El usuario que primero realice dicha acción es llamado el “usuario relevante” (Laureshyn, 2017). La severidad del conflicto se define mediante dos medidas sustitutas, Tiempo al accidente (TA) y velocidad conflictiva (VC).

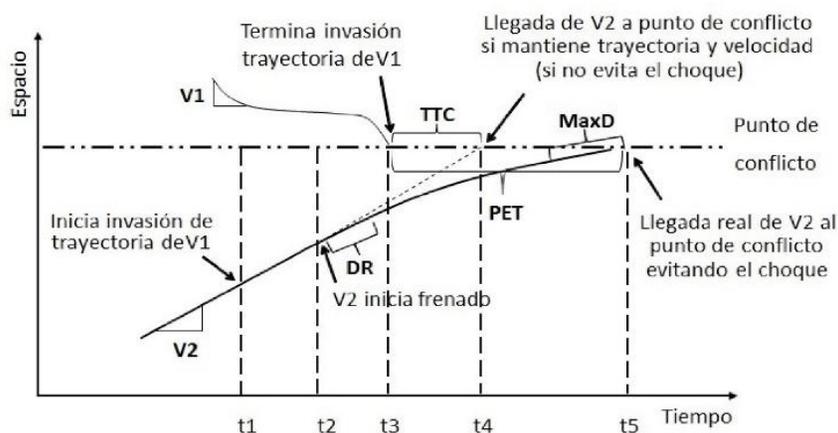
En la Figura 1 se presenta el diagrama utilizado para distinguir entre conflictos serios y leves. Los conflictos con nivel de severidad 26, o superior. Esta información se recolectó en campo, por medio de la observación recurrente de videos. Dicha observación permite identificar eventos que pueden ser considerados como conflictos; éstos se analizaron de acuerdo con la TSCT, para estimar su severidad y, de acuerdo con ésta, decidir si hacen parte de la evaluación de la seguridad.

Figura 1. Diagrama para la estimación de la severidad de un conflicto.  
Fuente: Hydén (1987).



En el mismo sentido, por medio del uso combinado del software de simulación VISSIM y el modelo *Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)*, cuyos fundamentos se describen más adelante, fue posible identificar conflictos de tráfico simulados. El estudio de campo, bajo la TSCT, proporciona la cantidad y tipología de conflictos observados, lo que conlleva a que parte del alcance de la investigación se enfoque en cómo generar y validar un modelo de simulación que represente, de la mejor forma posible, la operación del tránsito y de conflictos. En la Figura 2, se aprecia la representación gráfica de un conflicto de tráfico, del que se derivan otras medidas sustitutas que se pueden obtener por medio de simulación, tales como: Tiempo a la colisión (TTC), Tiempo posterior a la invasión de la trayectoria (PET), Desaceleración inicial (DR), Máxima tasa de desaceleración (MaxD), Máxima velocidad (MaxS) y Diferencia de velocidad (DeltaS), cuya definición es presentada por Gettman y Head (2003). Estas variables son reportadas por SSAM y su validez depende de la calibración del modelo de simulación, tanto por parámetros del tráfico como por conflictos.

Figura 2. Diagrama tiempo-espacio para la representación de un conflicto de tráfico y algunas medidas sustitutas.  
Fuente: Elaboración propia a partir de Hydén (1987).



## **b) Lugar de estudio**

El tramo en estudio, del corredor de la Carrera Séptima, se encuentra ubicado al oriente de Bogotá. El sector se encuentra consolidado urbanísticamente y en éste se mezclan diferentes usos del suelo que lo constituyen como alto generador y atractor de viajes en la ciudad. El tramo, comprendido entre las Calles 39 y 45, presenta altas tasas de accidentalidad y cuenta con un carril preferencial para autobuses del SITP en la figura 3 se observa el lugar de estudio.

Figura 3. Lugar de estudio de conflictos de tráfico sobre la Carrera Séptima-Bogotá.

Fuente: Guía para toma de información de campo en estudios de seguridad vial basados en microsimulación de conflictos de tráfico (2017). SIMUN



## **c) Uso de software VISSIM y SSAM**

Para el estudio de los conflictos de las etapas siguientes, se utilizó el modelo de microsimulación de tráfico PTV-VISSIM (PTV AG, 2012), que permite modelar, con alta flexibilidad y realismo, el comportamiento de diferentes actores viales. Una vez calibrado representó las condiciones de operación vehicular en el corredor de estudio.

VISSIM generó los archivos de trayectorias requeridos para estimar el número y tipo de conflictos simulados y sus medidas sustitutas; estos archivos se procesaron posteriormente en SSAM, que es un modelo experimental desarrollado por la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA). Luego de un proceso de calibración, consistente en comparar la cantidad de conflictos observados y simulados, fue posible caracterizar la severidad de dichos eventos por medio de la magnitud de sus medidas sustitutas.

## **d) Caracterización de los conflictos de tráfico en campo**

La validez de las evaluaciones de seguridad realizadas, en infraestructura existente, se soporta en la calibración de los modelos por medio de parámetros medidos en campo y aquellos que pueden ser obtenidos de la simulación. Un parámetro fundamental es el número de conflictos que habitualmente no se registra para propósitos de estudios de tránsito, pero que debe realizarse para estudios de seguridad vial. En la propuesta metodológica de este proyecto, se realizará la comparación de los conflictos observados sobre video con los simulados por el modelo.

### **3. TOMA DE INFORMACIÓN DE CAMPO**

Una vez se definieron las etapas de la metodología para realizar el estudio de seguridad vial, basado en microsimulación de conflictos de tráfico, se definieron las siguientes etapas de investigación para obtener los datos en campo:

#### **a) Determinación de variables a medir en campo**

Las variables, requeridas y estimadas, fueron las siguientes:

*Físicas:* las mediciones físicas principales en campo incluyeron: estado de la malla vial; caracterización geométrica; número y ancho de carriles y calzadas; sección transversal de los segmentos de vía; geometría de intersecciones; ubicación de paraderos de transporte público; detalles de carriles exclusivos (bus, bicicletas, troncales, etc.); pendientes pronunciadas; señalización horizontal y vertical; velocidades reglamentarias y, giros permitidos en intersecciones.

*Operacionales:* Las variables operacionales medidas fueron: velocidades; fases semafóricas; longitudes de cola; volúmenes vehiculares y su composición; brechas críticas y demoras.

*Comportamentales:* Se presentaron dos tipos de variables: las primeras relacionadas con el comportamiento del conductor, como el seguimiento de vehículos, cambio de carril y movimiento lateral; éstas son necesarias para la construcción y validación del modelo en VISSIM. Las segundas, corresponden a las medidas sustitutas, bajo la TSCT: Tiempo al accidente (TA) y la Velocidad conflictiva (VC), para cada conflicto observado.

#### **b) Planeación de la toma de información**

Se debe tener en cuenta que, para esta investigación, se tomaron datos provenientes de archivos de video y otra información directamente en el sitio. Para la identificación de conflictos y la medición de variables operacionales se realizó la grabación por medio de cámaras de video durante dos días típicos, en una misma semana, considerada con operación normal y un día atípico (sábado o domingo). La grabación se realizó entre las 5:00 y las 20:00 horas. Simultáneamente, se midieron las variables físicas definidas en el numeral anterior.

Para la identificación de los puntos de ubicación de las cámaras de video se tuvieron en cuenta cuatro aspectos principales: la percepción de la cantidad de conflictos, la posibilidad de obtener permisos para hacer tomas de video, los obstáculos que podían impedir la observación y el ángulo de filmación más indicado que evite la superposición de vehículos.

### **4. MICROSIMULACIÓN**

Una vez se obtiene la información necesaria, se realiza en proceso de simulación con el objetivo de representar las condiciones de tránsito y de comportamiento, observados en campo, para

realizar la evaluación de la seguridad vial del corredor (Huang, 2013). Donde se realizaron los siguientes pasos:

- a) Se determinó la hora de mayor número de conflictos para determinar la hora de modelación y a su vez se hizo la identificación de los conflictos mediante observación de los videos donde también se aprecia la operación en áreas de conflicto de transporte público: las cuales son carril preferencial y paradas de autobús.
- b) Se desarrolló el modelo y se identificaron las variables tránsito necesarias para la construcción de este en el programa de microsimulación VISSIM con los insumos básicos necesarios para una representación cercana del lugar de estudio.
- c) La calibración del modelo se realizó en tres etapas: la inclusión de variables de comportamiento, la calibración de tránsito y la calibración de conflictos. A continuación, se presenta la descripción de estas etapas, las cuales tienen como propósito la evaluación de seguridad vial por medio de conflictos.

#### **4.3.1 Variables de comportamiento**

La calibración inicial del modelo se realizó mediante variables de comportamiento contempladas en modelo matemático Wiedemann 74, empleado para zonas urbanas en VISSIM, dicho comportamiento corresponde al seguimiento entre vehículos, comportamiento lateral y cambio de carril. Adicionalmente, es posible calibrar parámetros como la distancia de visibilidad, la desaceleración máxima, la posición deseada dentro del flujo vehicular, las distancias laterales, entre otros.

#### **d) Calibración de variables de tránsito**

El segundo nivel de calibración consiste en la validación del modelo por medio de la comparación de variables de tránsito observadas y simuladas. Generalmente, se comparan volúmenes y velocidades, para asegurarse de que el modelo de simulación representa correctamente el número de vehículos que circulan por la red y su velocidad (Huang, 2013). Los volúmenes se comparan mediante el GEH estadístico y regresiones lineales. Por su parte, las velocidades se evalúan por medio del error cuadrático medio (RMSE) y pruebas estadísticas de comparación de estadísticos descriptivos. Durante la calibración, son utilizadas dos variables adicionales para darle mayor precisión al modelo de simulación, estas corresponden a las demoras, discriminadas por tipología vehicular (automóviles, motocicletas, taxis, buses y camiones), y a las longitudes de cola; estas variables se comparan mediante el error cuadrático medio (RMSE).

#### **e) Calibración de conflictos**

Finalizado el segundo nivel de calibración, se extraen los archivos de trayectorias de VISSIM, para ser utilizados en SSAM. El proceso cuenta con dos etapas (Huang, 2013); la primera corresponde a la comparación del número de conflictos observados vs. simulados, validada mediante la

medición del error porcentual de la media absoluta (MAPE). La segunda etapa consiste en una comparación del número de conflictos por tipo: alcance ( $0^\circ$  a  $45^\circ$ ), lateral ( $45^\circ$  a  $135^\circ$ ) y frontal ( $135^\circ$  a  $180^\circ$ ), con el objetivo de dar una mayor precisión a la evaluación de seguridad vial.

## **5. CONCLUSIONES**

La TSCT, si bien se encuentra en etapa experimental y de validación, ha tenido un desarrollo continuo que se ha potenciado con el surgimiento de modelos computacionales que permiten el análisis de grandes cantidades de información que difícilmente se podrían registrar a partir de estudios de campo.

Para aplicar la TSCT se requiere una planificación muy detallada de la toma de información que servirá de base para la construcción de los modelos de simulación. La metodología propuesta, para la obtención de esta información, permitirá el análisis de la seguridad vial desde un enfoque preventivo, como instrumento de evaluación en los puntos de estudio definidos.

Si bien, la TSCT ofrece una metodología para la identificación, en campo, de conflictos serios y leves, la construcción de modelos que simulen, con la mayor precisión posible, los conflictos observados en campo, permitirá la generación de nuevos modelos, con propuestas de contramedidas de ingeniería, para lograr una operación más segura, a partir de la validación del modelo base.

La simulación de conflictos de tráfico es un campo de investigación incipiente, por lo que es importante descubrir cómo vincular, de forma cada vez más precisa, las observaciones de campo con las simulaciones. Por lo anterior, la obtención de los parámetros físicos, operacionales y comportamentales requeridos para la calibración de los modelos de microsimulación de tráfico y de conflictos, permitirá validar esta metodología para ser aplicada en estudios con enfoque preventivo y correctivo.

## **6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bulla-Cruz, L. y Lyons, L., 2015. Estado del arte en la evaluación de la seguridad vial por medio de conflictos de tráfico: aplicación al estudio de caso de una glorieta en Bogotá. Bogotá: Tercer Encuentro de Investigación Sobre Seguridad Vial - Ministerio de Transporte y Observatorio Nacional de Seguridad Vial, p. 18.
- Bulla-Cruz, L., Lyons, L. & Darghan, E., 2017. Comparative safety assessment of a turbo-roundabout and a conventional two-lane roundabout using VISSIM and SSAM: a multivariate exact logistic regression approach. IATTS Research, in review, p.18.
- Gettman, D. & Head, L., 2003. Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models. Transportation Research Record, 1840, pp.104-115.
- Huang, F., Liu, P., Yu, H., & Wang, W. (2013). Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. Accident Analysis and Prevention (50), 1014-1024.

- Hydén, C., 1987. The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish traffic conflict technique, Bulletin 70, Lund.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2016. Forensis: Datos para la vida, p. 441.
- Laureshyn, A. et al., 2017. Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. Accident Analysis and Prevention, 105, pp.11–20.
- Organización Mundial de la Salud, 2015. Informe Sobre la Situación Mundial de la Seguridad Vial.
- PTV AG, 2012. VISSIM 5.40 User Manual P. P. T. V. AG, ed., Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr AG.
- Semillero de Investigación de Infraestructura y Movilidad de la Universidad Nacional de Colombia-SIMUN, 2017. Guía para toma de información de campo en estudios de seguridad vial basados en microsimulación de conflictos de tráfico (por publicar).
- SIMUN-Translogyt (2018). Metodología para estudios de seguridad vial basados en microsimulación de conflictos de tráfico – Estudio de caso: carril preferencial para buses del sistema integrado de transporte público (SITP) en Bogotá. En Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano (CLATPU).

## **Sobre los autores**

- **Paula Fonseca Agudelo:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [pdfonsecaa@unal.edu.co](mailto:pdfonsecaa@unal.edu.co).
- **Julián Otero Niño:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [jdoton@unal.edu.co](mailto:jdoton@unal.edu.co).
- **Sebastián Cabrera Pinzón:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [secabrerapi@unal.edu.co](mailto:secabrerapi@unal.edu.co).
- **Alejandro Gómez Mosquera:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [alegomezmos@unal.edu.co](mailto:alegomezmos@unal.edu.co).
- **Luis David López Buitrago:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [ldlopezb@unal.edu.co](mailto:ldlopezb@unal.edu.co).
- **Miguel Ospina Serrano:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [maospinas@unal.edu.co](mailto:maospinas@unal.edu.co).
- **Julián Sandoval Ávila:** Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [fjsandovala@unal.co](mailto:fjsandovala@unal.co).
- **Juan Heredia Castiblanco:** Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [jdherediac@unal.edu.co](mailto:jdherediac@unal.edu.co).
- **Liliana Lyons Barrera:** Ingeniera Civil, Maestría en Ingeniería de Transporte. Universidad Nacional Autónoma de México- UNAM. Doctorado en Ingeniería de Sistemas-Transporte. Universidad Nacional Autónoma de México- UNAM. Profesora Asociada-Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Coordinadora Semillero de Investigación SIMUN. [llyonsb@unal.edu.co](mailto:llyonsb@unal.edu.co).

- **Lenin A. Bulla Cruz:** Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería de Transporte. Universidad Nacional. Maestría en Ingeniería Civil- Infraestructura Vial. Universidad de los Andes. Candidato a Doctor-Doctorado en Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Profesor Auxiliar-Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN [labullac@unal.edu.co](mailto:labullac@unal.edu.co).
- **Jhon González Mendoza:** Ingeniero Civil Universidad Nacional de Colombia. Estudiante de Maestría en Ingeniería-Transporte. Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Semillero de Investigación SIMUN. [jagonzalezmen@unal.edu.co](mailto:jagonzalezmen@unal.edu.co).

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)