

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA-LanammeUCR

Volumen 14, N.º 1, Febrero 2023

Análisis de conflictos viales de forma semiautomatizada en intersecciones de Montes de Oca y Curridabat

Ing. Javier Zamora Rojas

✉ javier.zamorarojas@ucr.ac.cr

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT), PITRA

Brandon Adonay Cordero Redondo

✉ brandon.cordero@ucr.ac.cr

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT), PITRA

1. Introducción

En Costa Rica, cada año ocurren gran cantidad de accidentes de tránsito que, como consecuencia, conllevan un número elevado de personas fallecidas y con lesiones, en muchos casos discapacitantes. Los análisis de accidentabilidad vial siguen siendo utilizados en muchos países para proponer mejoras en la infraestructura vial y tomar otras medidas a nivel de control en carretera, gestión de velocidades, educación vial, entre otras; no obstante, estos análisis corresponden a un abordaje reactivo; es decir, las acciones se toman posterior a un número determinado de accidentes ocurridos. Es así como surgen los análisis de conflictos viales bajo un enfoque preventivo, que busca identificar mejoras en la infraestructura vial de previo a la ocurrencia de los accidentes. (Soto y Zamora, 2021)

Por lo tanto, los análisis de conflictos viales se basan en la identificación y análisis de las situaciones viales llamadas cuasiaccidentes; es decir, eventos que suceden producto de las interacciones entre usuarios viales, pero que no resultan en una colisión o accidente. Algunos de estos accidentes se logran evitar a partir de acciones evasivas de uno o varios de los usuarios, o bien, por otros motivos; sin embargo, son eventos que estuvieron próximos a desencadenar un accidente. Para ello, a nivel internacional se han desarrollado muchas metodologías para identificar los conflictos viales o cuasiaccidentes, para posteriormente analizarlos y llegar a medidas correctivas de la infraestructura vial. (Soto y Zamora, 2021)

Entre las metodologías más conocidas a nivel mundial están la sueca y la holandesa, que datan de los años 1970 y 1980. Ellas se basan en el concepto de severidad del evento, el cual considera el riesgo de ocurrencia del accidente y el riesgo de lesiones producto de dicho accidente. (Johnsson, Laureshyn y De Ceunynck, 2018)

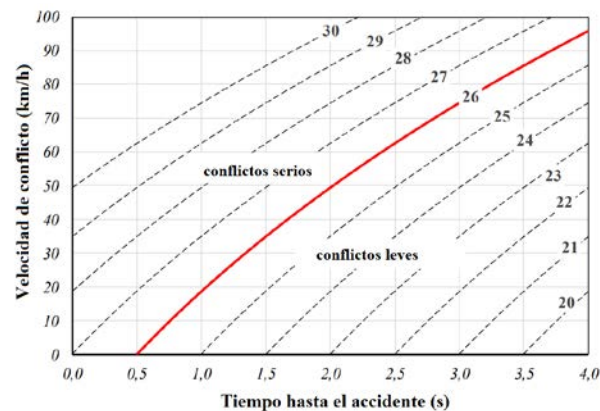
Con el fin de explorar los análisis de conflicto en Costa Rica, entre el año 2020 y 2021 se desarrolló el Trabajo Final de Graduación bajo el título *Análisis de interacciones y conflictos viales de forma semiautomatizada en intersecciones de Montes de Oca y Curridabat* (Soto y Zamora, 2021). Por ello, en el presente boletín se describen los principales resultados obtenidos en relación con los conflictos viales en dos intersecciones urbanas.

Para el desarrollo del Trabajo Final de Graduación (Soto y Zamora, 2021), se tomó como punto de partida la técnica sueca de conflictos de tráfico, que establece que el proceso de tráfico puede analizarse como una serie de eventos elementales, donde estos difieren tanto en severidad como en frecuencia. La severidad considera las consecuencias producto de una colisión, sin embargo, este concepto no es del todo aplicable cuando la situación de colisión no llega a producirse, por lo que se utiliza el concepto de gravedad que hace algunas consideraciones subjetivas para lograr categorizar la severidad de un conflicto. El uso que se le da a la palabra gravedad en este contexto es para referirse al momento en que una de las personas usuarias de la vía comienza una acción evasiva. (Laureshyn y Várhelyi, 2018)

Para clasificar la gravedad de un conflicto se hace uso de dos indicadores: El primero es el **tiempo hasta el accidente** (TA), que es el lapso faltante para que ocurra la colisión si el usuario o los usuarios viales continuaran sus respectivas velocidades y trayectorias, y se calcula a partir del momento en que algún usuario realiza alguna maniobra evasiva que evita el accidente. El segundo concepto es la **velocidad de conflicto** (CS), que es el valor de velocidad cuando la persona usuaria comienza la acción evasiva.

A partir de lo definido anteriormente es posible clasificar la severidad de un conflicto con el siguiente diagrama de la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de clasificación de severidad del conflicto



Nota: Modificado a partir de Laureshyn y Varhelyi (2018); a su vez adaptado de Hyden (1987).

2. Metodología

Las técnicas de análisis de conflicto surgieron inicialmente de forma manual, a partir de observadores entrenados. Posteriormente, tras la innovación tecnológica, surgió la forma semiautomatizada, a partir de videos grabados. Por último, surgieron las metodologías completamente automatizadas, a partir de complejos algoritmos de análisis de videos. (Afghari, Ismail, Saunier, Sharma y Miranda-Moreno, 2014)

Para el caso de estudio en Costa Rica, se escogieron dos intersecciones urbanas, una en el cantón de Montes de Oca y otra en el cantón de Curridabat. Ambas intersecciones reúnen características similares: son de 4 accesos, están reguladas por señales de ALTO sobre la vía secundaria, se permiten todos los movimientos, y su tráfico vehicular también es similar, de aproximadamente 9 500 vehículos por día. Estas intersecciones se observan en vista aérea en la Figura 2.

Figura 2. Intersecciones urbanas escogidas para análisis de conflictos viales (Curridabat a la izquierda y Montes de Oca a la derecha)



Nota: Tomado de Soto y Zamora, 2021.

Para este proyecto se escogió la técnica semiautomatizada y se colocaron 3 cámaras viales de marca COUNTcam en cada intersección. A partir de las visitas de campo y de los videos es fundamental documentar la siguiente información: hora, lugar, condiciones climáticas, categoría de las personas usuarias de la carretera, tipos de acciones evasivas, estimación de las velocidades de conflicto y estimación de las distancias hasta el punto de colisión. Además, es importante describir cada conflicto vial a través de un boceto representativo del evento, el registro de otras personas usuarias de la carretera y la ubicación exacta del punto de observación. En cuanto al uso de cámaras de video, se recomienda colocarlas a una altura suficiente que no omita secciones importantes del sitio de observación, ni que permita que vehículos pesados puedan bloquear la visibilidad. La Figura 3 muestra un ejemplo de conflictos viales en Curridabat y Montes de Oca a partir de una de las cámaras viales colocadas en cada intersección, donde además se aprecia el ángulo de visión de cada una.

Figura 3. Conflictos viales registrados en cámaras viales colocadas en a) Curridabat y en b) Montes de Oca.



Nota: Tomado de Soto y Zamora, 2021.

Para el caso de una intersección de cuatro accesos regulada por ALTO sobre la vía secundaria, es necesario realizar un registro de las posibles maniobras y, por ende, de los posibles conflictos más comunes que puedan darse según las condiciones del sitio de estudio. Seguidamente se resumen los tipos de conflicto vial identificados (Soto y Zamora, 2021) para este proyecto:

- Conflictos por movimientos en una misma dirección sobre la vía principal: por movimiento directo, giro derecho, giro izquierdo o por adelantamiento o cambio de carril
- Conflictos por movimiento directo de vehículo desde acceso secundario frente a vehículo en vía principal
- Conflictos por giro derecho de vehículo desde acceso secundario frente a vehículo en vía principal
- Conflictos por giro izquierdo de vehículo desde acceso secundario frente a vehículo en vía principal
- Conflictos por giros opuestos (derecha-izquierda) desde accesos secundarios (con ALTO)
- Conflictos por giros opuestos (derecha-izquierda) desde accesos principales
- Conflictos por giro izquierdo de vehículo desde vía principal frente a vehículo en vía principal en sentido opuesto
- Conflictos por giro izquierdo de vehículo desde acceso secundario frente a vehículo en acceso secundario opuesto
- Conflictos por invasión parcial de carril por giro derecho desde accesos principales o secundarios
- Conflictos peatonales con senda peatonal
- Conflictos peatonales sin senda peatonal
- Conflictos ciclistas debido a rebase por la izquierda de vehículo a la persona ciclista
- Conflictos ciclistas debido a rebase por la derecha por parte de la persona ciclista
- Conflictos secundarios con terceros usuarios en la vía (ejemplo: un tercer vehículo implicado)

Es importante aclarar que los conflictos ciclistas también pueden darse bajo esta misma tipología, debido a que en muchos casos se comportan en la vía similar a los vehículos automotores, con algunas trayectorias o maniobras diferentes.

En cuanto a las estimaciones de los indicadores de la metodología sueca (Kraay et al., 2013), se utiliza la siguiente ecuación para el tiempo hasta el accidente (TA):

$$TA = 3,6 \cdot \frac{d}{v}, s \quad (1)$$

Donde:

TA es el tiempo hasta el accidente, medido en segundos

d es la distancia proyectada al punto de colisión, medida en metros

v es la velocidad del conflicto, medida en km/h

En cuanto a la velocidad de conflicto, esta se puede obtener a partir de la siguiente ecuación (Kraay et al., 2013):

$$v = 3,6 \cdot \frac{d(p_1, p_2)}{(t_2 - t_1)}, km/h \quad (2)$$

Donde:

v es la velocidad de conflicto, medida en km/h

$d(p_1, p_2)$ es la distancia entre dos puntos determinados, medida en metros

$t_2 - t_1$ es el lapso de tiempo, medido en segundos, del punto 2 con respecto al punto 1

3. Resultados

A partir de visitas de campo, se realizó un diagnóstico general del estado de la infraestructura vial y entorno en ambas intersecciones, lo cual permite realizar un análisis más detallado de los conflictos viales. A manera de resumen, la demarcación horizontal en la intersección de Curridabat era casi imperceptible, mientras que en la de Montes de Oca se encontraba en un buen estado, incluyendo la demarcación de un paso peatonal en uno de los accesos secundarios. Ambas intersecciones contaban con señalización vertical adecuada y en buen estado. La mayor parte de las interacciones registradas se dieron entre vehículos; sin embargo, se registraron algunas con ciclistas y peatones.

La intersección de Curridabat es en gran parte simétrica y plana, a diferencia de la intersección de Montes de Oca, donde el ancho de los carriles es variable y cuenta con curvaturas horizontales. Sumado a esto, el acceso norte de esta intersección presenta una pendiente de aproximadamente del 7 %. El área de la intersección de Curridabat es de 744,85 m² y cuenta con aceras en todos los accesos, mientras que la intersección de Montes de Oca es de mayor tamaño con 919,84 m² y cuenta con aceras en todos los accesos, a excepción de un tramo de aproximadamente 28 m en el sector noreste.

En la intersección de Curridabat se analizaron 47 horas y 20 minutos de videos por cada cámara. Se contabilizaron los volúmenes vehiculares y peatonales en este periodo, y se generaron los respectivos gráficos de flujos. Durante el periodo de análisis ocurrió un choque trasero, lo cual alteró las condiciones de la intersección por un lapso corto, pero que generó conflictos adicionales. Dejando de lado estos conflictos producto del choque, se registraron 23 conflictos en total, lo cual se detalla en la Tabla 1. De este total, un 73,9 % fue entre automóviles, un 13,0 % involucró motocicletas y un 8,7 % involucró camiones. Además, de estos conflictos, 78,3 % fueron leves y 21,7 % fueron serios.

Por su parte, la intersección de Montes de Oca fue analizada en un total de 26 horas y 46 minutos. El tiempo fue menor debido a fallas en las baterías de las cámaras. Se registró un total de 7 conflictos, de los cuales un 71,4 % ocurrió entre automóviles y únicamente un conflicto involucró a una motocicleta. Del total de conflictos, un 42,9 % fueron leves y un 57,1 % fueron serios (Tabla 1).

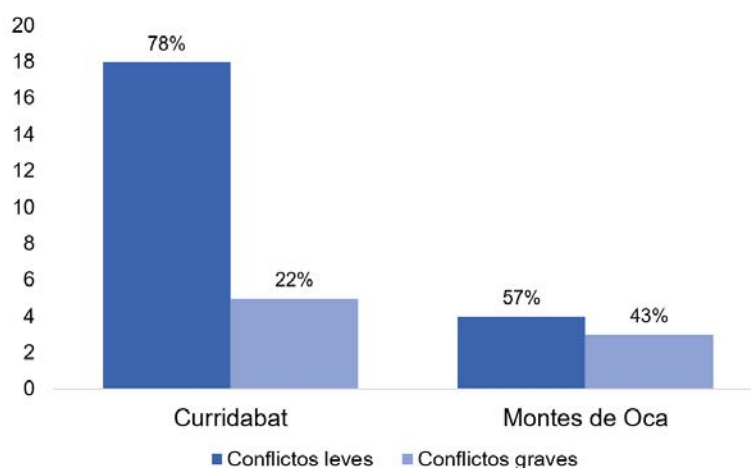
Tabla 1. Resumen de conflictos en las intersecciones de Curridabat y Montes de Oca

Parámetro	Curridabat	Montes de Oca
Periodo de tiempo de estudio (horas)	47,33	26
Tiempo efectivo de estudio (horas)	33	19
Total de conflictos	23	7
Total de conflictos leves	18	4
Total de conflictos graves	5	3

Nota: Elaboración propia a partir de Soto y Zamora, 2021.

La Figura 4 muestra el resumen de los conflictos viales en Curridabat y Montes de Oca porcentualmente. En el caso de Curridabat el 78 % fueron conflictos leves y un 22 % graves; mientras que en Montes de Oca un 57 % fueron leves y un 43 % graves.

Figura 4. Resumen de conflictos viales en las intersecciones de Curridabat y Montes de Oca



Nota: Elaboración propia a partir de Soto y Zamora, 2021.

Dadas las similitudes entre ambas intersecciones en cuanto a sus características geométricas y operativas, se realizó un análisis comparativo directo entre ellas, por lo que se estableció un mismo periodo de 24 horas continuas. Los resultados de esta comparativa se registran en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparativa de conflictos en las intersecciones de Curridabat y Montes de Oca en un periodo de 24 horas.

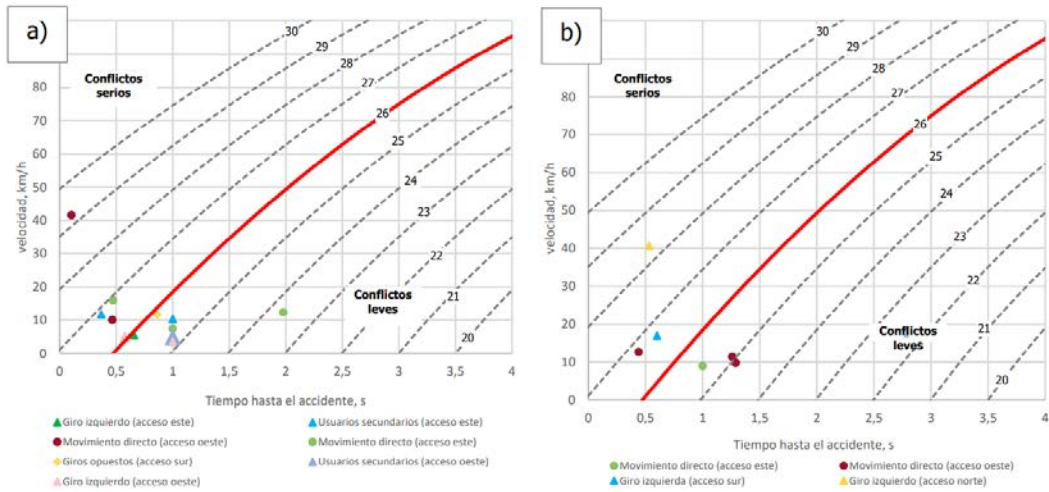
	Curridabat	Montes de Oca
Área de intersección	744,8 m ²	919,8 m ²
Tránsito Promedio Diario (vpd)	9514 vpd	9510 vpd
Flujo peatonal total en 24 horas	1210	527
Flujo ciclista total en 24 horas	194	230
Visibilidad	Buena	Regular-mala
Total de conflictos	12	6
Conflictos serios	33,3 %	50 %
Maniobra más conflictiva	Movimiento directo desde la vía secundaria con señal "ALTO" 41,7 % del total	Movimiento directo desde la vía secundaria con señal "ALTO" 66,7 % del total
Velocidad promedio de conflictos serios	21,7 km/h	23,5 km/h
Velocidad promedio de conflictos leves	7,6 km/h	10,1 km/h
Conflictos por tipos de usuarios		
Entre automóviles	50 %	83,3 %
Con motocicleta	25 %	16,7 %
Con camión o buseta	25 %	NA

Nota: Elaboración propia a partir de Soto y Zamora, 2021.

Como se observa en la Tabla 2, en este periodo de 24 horas hubo 12 conflictos en Curridabat, de los cuales sólo una tercera parte fueron graves, mientras que en Montes de Oca hubo 6 conflictos, de los cuales la mitad fueron graves. En ambos casos la maniobra más conflictiva corresponde al movimiento directo desde la vía secundaria, la cual está regulada con señal de "ALTO". Las velocidades calculadas no superan los 24 km/h, lo cual incide en la severidad de los conflictos.

La clasificación de severidad según el tipo de conflicto se muestra en los siguientes diagramas de la Figura 5, a partir de la metodología sueca en donde se relaciona la velocidad del conflicto y el tiempo hasta el accidente, en donde la curva con el valor 26 establece el límite entre conflictos serios y leves.

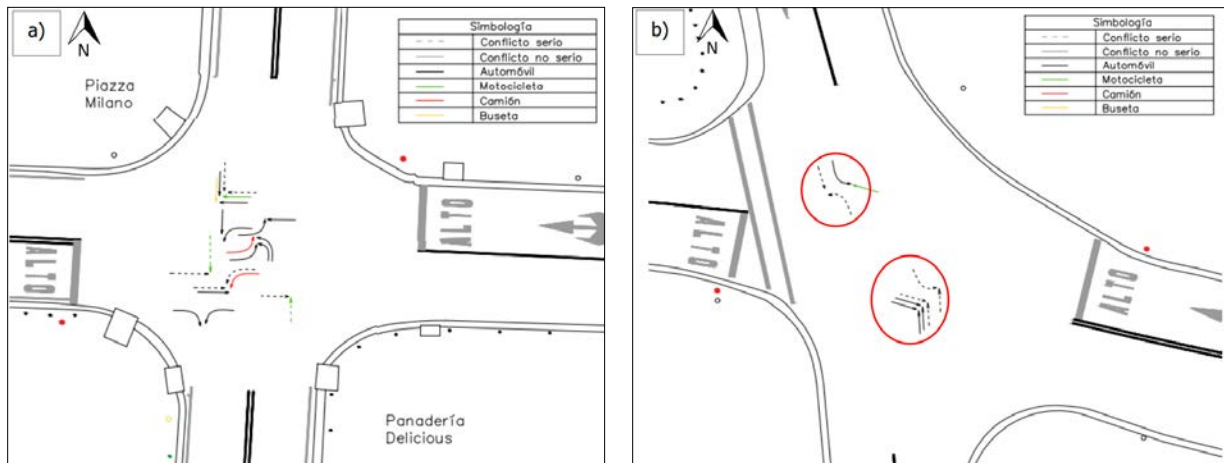
Figura 5. Diagramas comparativos de tipos y severidad de conflictos en a) Curridabat y b) Montes de Oca



Nota: Tomado de Soto y Zamora, 2021.

Finalmente, la Figura 6 muestra la representación esquemática de cada uno de los conflictos en Curridabat y Montes de Oca, indicando si es leve o serio, y los tipos de vehículos implicados.

Figura 6. Ubicación y severidad de conflictos viales en a) Curridabat y b) Montes de Oca



Nota: Tomado de Soto y Zamora, 2021.

Además de los conflictos viales, también se analizó para este periodo de 24 horas las maniobras y conflictos potenciales para entender las dinámicas generadoras, tanto de los conflictos como de los posibles accidentes. Por ejemplo, se registraron en Curridabat 22 conflictos potenciales, de los cuales un 27,3 % involucró peatones, mientras que ninguno de los 16 conflictos potenciales de Montes de Oca involucró peatones, a pesar de que se registró un flujo peatonal de 527 personas. A nivel de interacciones viales, se registraron cerca de 130 para Curridabat y 330 para Montes de Oca, lo cual puede involucrar maniobras permitidas o no permitidas. En el estudio de Soto y Zamora (2021) se puede ver el detalle de este análisis.

4. Conclusiones

El trabajo final de graduación del cual se derivó la presente publicación, brindó un primer acercamiento al análisis de conflictos viales, con el fin de validar preliminarmente su aplicabilidad en intersecciones urbanas en Costa Rica a partir de metodologías internacionales. Se tomó como punto de partida la metodología sueca, con parámetros establecidos tales como el tiempo hasta el accidente y la velocidad del conflicto.

Por lo tanto, se planteó un primer análisis en dos intersecciones urbanas de cuatro accesos en San José, una en Curridabat y otra en Montes de Oca, con características geométricas y operativas similares, de tal manera que se pudiera realizar un análisis comparativo entre ellas. Para el estudio, se optó por una metodología semiautomatizada, es decir, a partir del análisis de videos con la ayuda de tres cámaras viales instaladas en cada una de las intersecciones.

En Curridabat se analizaron 47 horas de video, para un total de 23 conflictos: 73,9 % entre automóviles, 13,0 % involucrando motocicletas y 8,7 % involucrando camiones. A nivel de severidad, 78,3 % fueron clasificados como leves y 21,7 % como serios o graves. Por otra parte, en Montes de Oca se analizaron 26 horas de video, para un total de 7 conflictos: 71,4 % entre automóviles y un único conflicto que involucró motocicletas. En cuanto a severidad, un 57 % fueron leves y un 43 % graves.

Dadas las condiciones de las intersecciones, las personas usuarias de la intersección de Montes de Oca poseen menor visibilidad para ejecutar maniobras que las de la intersección de Curridabat; esto debido a la configuración geométrica de la intersección de Montes de Oca, principalmente la pendiente en el acceso norte y la curvatura horizontal presentada en los accesos este y oeste. Además, se reportaron velocidades conflictivas más altas en Montes de Oca que en Curridabat. Sin embargo, la intersección de Montes de Oca registró menos conflictos, lo cual se atribuye en parte a los tipos más frecuentes de maniobras registradas.

En términos generales, la maniobra que mayor cantidad de conflictos generó en ambas intersecciones fue la de movimiento directo desde la vía secundaria (regulada con "ALTO"); seguido de los giros izquierdos desde la vía secundaria. Esto, a su vez, es congruente con las tendencias de ocurrencia de accidentes de tránsito en las intersecciones reguladas con "ALTO".

A pesar de no haberse detallado en esta publicación, también se analizaron conflictos potenciales e interacciones viales en ambas intersecciones. A partir del análisis, en términos generales se puede afirmar que la intersección de Curridabat cuenta con características operativas más conflictivas, esto debido a su mayor número de conflictos viales y conflictos potenciales; sin embargo, la intersección de Montes de Oca presentó un porcentaje más alto de conflictos graves. Por ello, se recomienda aumentar el periodo de análisis de ambas intersecciones, con el fin de poder contar con una mayor cantidad de datos de conflictos, y así poder confirmar o reconsiderar las conclusiones aquí expuestas.

Se recomienda que la técnica de análisis de conflictos se continúe explorando en Costa Rica, para lo cual se debe ir abarcando diferentes escenarios viales, sobre todo el caso de intersecciones controladas por "ALTO" en la vía secundaria, bajo diferentes condiciones de tránsito, de usuarios viales, de geometría y de infraestructura disponible. Con base en esos estudios se podrá validar la metodología propuesta en este proyecto, o incluso probar otras metodologías propuestas por otros países, de tal manera que se pueda optar por una técnica que se apegue lo más posible al contexto costarricense.

5. Referencias

- Afghari, A.P., Ismail, K., Saunier, N., Sharma, A. y Miranda-Moreno, L. (2014). *Pedestrian-cyclist Interactions at Bus Stops along Segregated Bike Paths: A Case Study of Montreal*. Trabajo presentado en 93rd Annual Meeting of Transportation Research Board.
- Johnsson, C., Laureshyn, A. y De Ceunynck, T. (2018) *In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators*. *Transport Reviews*, 38:6, 765-785, doi: 10.1080/01441647.2018.1442888
- Kraay, J.H., van der Horst, A.R.A. y Oppe, S. (2013). *Manual for conflict observation technique DOCTOR (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research)*. SWOV.
- Laureshyn, A. y Várhelyi, A. (2018). *The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer´s manual*. Lund University.
- Soto, A. y Zamora, J. (2021). *Análisis de interacciones y conflictos viales de forma semiautomatizada en intersecciones de Montes de Oca y Curridabat*. Trabajo final de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.
Coordinadora General - Programa de Infraestructura del Transporte

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Javier Zamora Rojas, M.Sc.
Coordinador USVT

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc.
Coordinadora UNAT

Unidad de Investigación en Infraestructura del Transporte (UIIT)

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.
Coordinadora UIIT

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes Jiménez, M.Sc.
Coordinador UGERVN

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Erick Acosta Hernández
Coordinador UGM

Comité Editorial 2023:

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA.
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc., Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: Licda. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Análisis de conflictos viales de forma semiautomatizada en intersecciones de Montes de Oca y Curridabat

Palabras clave: seguridad vial, conflictos viales, análisis de conflictos, cuasiaccidentes

(506) 2511-2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr