

## RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO TIPO VEHÍCULO – PEATÓN

### ANALYTICAL RECONSTRUCTION OF TRAFFIC ACCIDENTS VEHICLE-PEDESTRIAN TYPE

Esp.Malka Irina Cabellos<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación GIFEAH  
Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, [micabellosm@ufpso.edu.co](mailto:micabellosm@ufpso.edu.co)

**Fecha de recepción:** 02-01-2014

**Fecha de aprobación:** 20-11-2014

**Resumen:** Ante un accidente de tránsito, la primera pregunta se orienta a cuáles pudieron ser las posibles causas, y estas son innumerables, si se tiene en cuenta que intervienen en su ocurrencia factores de tipo humano. Este tipo de accidente involucra el contacto directo de una o varias personas con uno o varios vehículos en movimiento, este contacto puede darse con la parte frontal, lateral o posterior del vehículo. Las estadísticas colombianas son muy dicientes en el reporte de homicidios y lesiones personales culposas en accidentes de tránsito, estas se ubican como la tercera causa regular de muerte de los colombianos, situación que cobra cada vez mayor importancia, debido a que los procesos penales, civiles y administrativos que median estos delitos, requieren de una prueba pericial que sea objetiva, transparente y determinante en la toma de decisiones judiciales; para tal fin es de gran importancia realizar un estudio del estado del arte en lo referente a la reconstrucción analítica de estos tipos de accidentes de tránsito, ya que para ello se hace necesario considerar evidencia objetiva clasificada como: croquis, valoración de lesiones personales, protocolo de necropsia, daños del vehículo, acta de levantamiento.

**Palabras clave:** evidencia, objetiva, peatón, reconstrucción, vehículo..

**Abstract:** In the face of a traffic accident the first question is oriented to which could have been the possible causes and these are innumerable, if it is taken into account that intervenes in its occurrence factors of human type. This type of accident involves the direct contact of one or numerous people with one or various vehicles in movement, this contact can happen with the front, side or posterior side from the vehicle. Colombian statistics are very significant in the homicide report and culpable personal injuries in traffic accidents, these are located as the third regular cause of death of Colombian citizens, situation that takes more importance every time, because penal, civil and administrative processes which mediate these felonies, require of a qualified test that can be objective, transparent and determinant in the judicial decisions making; for such purpose is vital to develop a research of the state of the art in reference to the analytical reconstruction of these types of traffic accidents, because in order to do so it is necessary to

consider objective evidence classified as: croquis, personal injuries assessment, necropsy protocol, vehicle damages, removal of the corpse.

**Keywords:** evidence, objectively, pedestrian, reconstruction, vehicle.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los costos económicos de las lesiones causadas por accidentes de tránsito en carreteras se calculan en 518 mil millones de dólares por año. En los países en desarrollo, los costos se estiman en 100 mil millones de dólares. En el continente americano, casi 130.000 personas mueren anualmente en las autopistas y carreteras, más de 44.500 muertes ocurren en los Estados Unidos, en donde los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte entre los hispanos menores de 34 años de edad. Según estadísticas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), para el continente americano, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, cada año se pierden casi 1,24 millones de vidas a consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y a su vez una proporción de estos padecen alguna forma de discapacidad. Más del 76% de estas muertes, es decir, 98.213 casos, ocurrieron en las carreteras de Estados Unidos, Brasil, México y Colombia; los países más poblados de la región.

La tasa de muertos y lesionados por 100.000 habitantes, es el indicador epidemiológico que nos permite comparar y seguir con precisión la tendencia y evolución de un evento que afecta la salud, se ubica en 12.8 muertes por 100.000 habitantes y 103 lesionados por 100.000 habitantes, cifras que demuestran la estacionalidad el fenómeno y plantea interrogantes sobre el impacto de las campañas de prevención. Estas estadísticas reportadas por el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses

permiten calcular que en Colombia ocurre un promedio de quince (15) muertes y ciento veinticinco (125) lesiones cada día y una muerte y cinco lesiones cada hora.

Las estadísticas en accidentes de tránsito han llevado a la necesidad de establecer normas de tránsito teniendo en cuenta el crecimiento del índice de accidentalidad y la gravedad de los mismos. Otros factores influyentes son la velocidad, potencia e incremento del parque automotor que han ido aumentando la siniestralidad en los hechos viales. Por esto, las muertes por accidentes de tránsito se hicieron más comunes y la impunidad pasó a ser parte fundamental de las estadísticas de accidentalidad vial. En este sentido, los casos judiciales se han aumentado en función de establecer culpabilidades para poder sancionar al responsable e indemnizar a la víctima o a sus familiares, en caso de haber fallecido en un accidente vehicular. Las versiones de las víctimas, imputados y de los testigos eran la evidencia, pero por ser subjetiva no daba un aporte conciso al caso, ante este panorama la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito se presentó como una alternativa en el esclarecimiento de la investigación en accidentes de tránsito, inicialmente implementada por Estados Unidos y Alemania, luego extendida poco a poco por el resto del mundo. Frente a este panorama, la reconstrucción de accidentes de tránsito se presentó como una alternativa en el esclarecimiento de los hechos, obteniendo como resultado de la investigación, una secuencia objetiva en las fases de la colisión en el hecho vial.

Según datos reportados por Medicina Legal es posible analizar muertes y lesionados en accidentes de tránsito según clase de accidente, según condición de la víctima y vehículo involucrado, entre otros factores.

Los métodos usados son varios, desde la misma experimentación, pasando por técnicas computarizadas de simulación, hasta las más complejas reconstrucciones teóricas. Dentro de los procedimientos teóricos se tiene como base teórica la mecánica clásica, a través de la cual la cinemática y dinámica translacional permite desarrollar modelos teóricos que describan cada una de las fases de la colisión.

Cuando hablamos de accidentes de tránsito, nos referimos a todo tipo de interacción nociva que existe entre un vehículo y un ser vivo. Si hacemos referencia únicamente a accidentes de tránsito terrestres, se puede hacer una clasificación sencilla basada en el tipo de colisión; de esta forma tenemos accidentes que involucran la colisión directa del vehículo con algún cuerpo; ya sea este un ser humano (peatón), una barrera rígida, un semoviente (animal) u otro vehículo y accidentes que involucran colisión indirecta; que contempla los demás casos, tales como volcamiento, caídas de ocupantes, rodamientos, deslizamientos, etc.

Es por ello, que el presente trabajo analiza colisiones de tipo vehículo – vehículo o vehículo – peatón, en donde se describe como frente a las altas tasas de accidentes de tránsito, el físico tiene la capacidad científica para aportar un elemento de prueba valioso en la investigación de los hechos ocurridos en un accidente. En el proceso de investigación lo importante es reunir y analizar los parámetros que indican los elementos involucrados en la causa del accidente, obteniendo así la reconstrucción de la situación dada en el momento del

accidente y no con la revisión de la versión subjetiva de las partes.

## 2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación proporciona herramientas para el análisis y la reconstrucción analítica de los accidentes de tránsito; siendo esta una causa considerable de mortalidad. El tipo de investigación es descriptiva con un enfoque cuantitativo con el cual se explican los modelos teóricos que permiten encontrar los parámetros físicos presentes en la colisión.

El objeto de estudio en el presente documento son los accidentes de tránsito donde se evidencia una colisión frontal vehículo – peatón; para que se describa el modelo teórico que aplica a este tipo de hecho vial.

Según datos reportados por Medicina Legal (Ruiz, 2008) es posible analizar muertes y lesionados en accidente de tránsito según clase de accidente, según condición de la víctima y vehículo involucrado, entre otros factores; Específicamente en el departamento Norte de Santander en los últimos años se reportan 229 muertos y 1.141 lesionados por año. Específicamente en el municipio de Ocaña se reportan 19 muertos y 173 lesionados (Forenses). Debido a estas cifras importantes es pertinente analizar la importancia de reconstruir un accidente de tránsito que ocurre en la región. Para el proceso de reconstrucción de los hechos ocurridos en un accidente vial se hace necesario conocer:

Daños en el Vehículo

Información de la escena (croquis)

Lesiones Personales

Leyes Físicas

## Dinámica del Vehículo

Para la reconstrucción analítica de un accidente de tránsito, en una colisión vehículo – peatón es necesario considerar evidencia objetiva clasificada como: croquis, valoración de lesiones personales, protocolo de necropsia, daños del vehículo, acta de levantamiento. Con el propósito de poder determinar la secuencia de eventos antes y durante el accidente.

En este sentido, el proceso de reconstrucción de accidentes de tránsito inicia una vez se clasifique el tipo de colisión y se cuente con la evidencia objetiva.

De acuerdo a la revisión del estado del arte, la investigación ha permitido que se describa a continuación las técnicas que se pueden emplear en el tipo de accidente en mención.

A continuación se explican los procedimientos teóricos de acuerdo a la categoría del accidente.

### Colisión Vehículo – Peatón

En la reconstrucción de este tipo de accidente se emplea la mecánica clásica como herramienta básica, ya que permite describir por medio de un sistema analítico cada una de las fases presentes en la colisión vehículo - peatón, encontrando así la reconstrucción analítica de dicha colisión.

En la formulación de los modelos teóricos se emplea la física aplicada y se espera que los resultados arrojados estén dentro del rango experimental. Para este modelo físico se considera un vehículo ligero (automóvil) realizando un proceso de desaceleración, en el momento en que dicho vehículo percibe una persona adulta que cruza la calle, la golpea con la parte frontal (la defensa) del vehículo por debajo de su centro de masa (CM); en dicho proceso de desaceleración el vehículo se desliza en el momento de la

colisión con una velocidad conocida como Velocidad de Impacto (Simms, Wood, & Walsh, 2004)

El análisis físico parte de la descripción de las zonas de impacto, lanzamiento y de arrastre durante la colisión (Limpert, 1999). Si se cuenta con la distancia de lanzamiento del peatón a partir del análisis de croquis realizados por quienes cumplen funciones de policía judicial se puede encontrar la velocidad de impacto con la ecuación citada a continuación:

$$V_{\text{imp}} = \mu_v g t_c + \mu_p g \sqrt{\left(t_c + \sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^2 - \frac{\mu_v t_c^2 + \frac{2d_T}{\mu_p}}{\mu_p}} - \mu_p g \left(t_c + \sqrt{\frac{2h}{g}}\right) \quad (1)$$

La ecuación (1) permite encontrar un rango para la velocidad de impacto, cuando se conoce además, la altura del peatón (h), y rangos para los coeficientes de fricción, llantas – piso y peatón –piso (Cabellos Martinez, Rojas, & Fuentes, 2009).

Para el tipo de accidente que se ha descrito, lo primero que se desea conocer es la desaceleración que experimentó el vehículo en el proceso de frenada, esta se calcula realizando un análisis dinámico al fenómeno físico planteado, en donde se tiene que la fuerza de fricción en las llantas del vehículo está dada por:

$$F_{fv} = \mu_v N \quad (2)$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción llantas - piso,  $N$  es la fuerza normal.

El diagrama de fuerzas permite analizar que la fuerza normal es igual a la fuerza debida a la gravedad,

$$N = m_v g \quad (3)$$

En (1) se encuentra que la fuerza de fricción en las llantas del vehículo puede expresarse como:

$$F_{fv} = \mu_v m_v g \quad (4)$$

Por otro lado, dicha fuerza de fricción puede ser expresada según la segunda ley de Newton en términos de la aceleración del vehículo, así:

$$F_{fv} = m_v a_v \quad (5)$$

Donde  $m_v$  es la masa del vehículo y  $a_v$  es la magnitud de la desaceleración en el vehículo. Ahora, igualando (4) y (5) se obtiene una expresión que permite analizar la desaceleración en el vehículo:

$$a_v = \mu_v g \quad (6)$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento llantas; y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

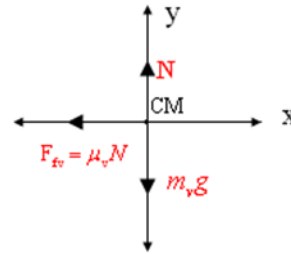
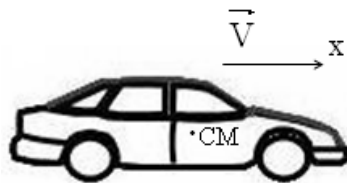


Figura 2. Diagrama de fuerza del vehículo

Durante esta trayectoria el vehículo describe un movimiento desacelerado, en concordancia con los parámetros físicos registrados por el croquis elaborado por la autoridad competente.

Cuando en la reconstrucción analítica del accidente es posible determinar la velocidad de frenado, la velocidad de impacto y la distancia de frenado en el vehículo (Martínez, 1995), a partir de la siguiente expresión se determina la aceleración del vehículo en el proceso de frenado:

$$a_v = \frac{v_f^2 - v_{imp}^2}{2d} \quad (7)$$

Una vez conocida la aceleración en el proceso de desaceleración se aplica la Segunda ley de Newton, citada a continuación:  $F_v = m_v a_v \quad (8)$

Donde  $F_v$  es la fuerza en el vehículo.

Si los datos no son suficientes para encontrar la aceleración del vehículo a partir de la reconstrucción analítica, es posible encontrar la fuerza en el vehículo ( $F_v$ ) analizando el momento de torsión en un vehículo que realiza un número específico de revoluciones por minuto (rpm), a partir de la siguiente expresión:

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{f} \quad (9)$$

$$f = \frac{T}{r} \quad (10)$$

Donde  $f$  es la fuerza en el vehículo,  $T$  es el momento de torsión máximo y  $r$  es el radio de la llanta del vehículo.

Es de anotar que el torque máximo, se

analiza de acuerdo a la dinámica y las especificaciones dadas por el vehículo involucrado en el hecho.

A través de este modelo teórico se pueden analizar los parámetros físicos evidenciados en el peritazgo del accidente.

Para la realización de cálculos específicos de parámetros físicos la colisión, de acuerdo a un modelo que toma como base para la determinación de las velocidades antes, durante y después de la colisión, las deformaciones presentes en el vehículo implicados en el accidente, deformaciones que son la base para determinar la energía de absorción mediante la utilización de integrales dobles como instrumento en el cálculo del área de deformación presente en el vehículo.

La metodología en el desarrollo del modelo teórico para encontrar la energía de dispersión en la deformación del vehículo se plantea por el análisis matemático partiendo de las ecuaciones cambellianas (Enciso). Dicha energía se encuentra a partir de métodos numéricos para la realización de los respectivos cálculos. Una vez conocida la energía de dispersión ( $E_d$ ), se encuentra la energía absorbida ( $E_t$ ):

$$E_t = E_d + \frac{1}{2} M \cdot (b_0)^2 \quad (11)$$

Al establecer la energía absorbida se puede deducir la velocidad de impacto (Enciso) a partir de la siguiente expresión:

$$V = \sqrt{\frac{2Et}{M}} \quad (12)$$

Dentro de los métodos usados para la reconstrucción de Accidentes de Tránsito, están las técnicas experimentales, que se utilizan básicamente para representar el accidente real y poder medir allí parámetros determinante en cada tipo de accidente, inicialmente los experimentos se enfocaron a medir distancias de lanzamiento, huellas de frenado, lesiones principales y demás generalidades influyentes, hoy podemos decir que estos estudios son cada vez más especializados, ya que están enfocados a la prevención de lesiones fatales en peatones y al desarrollo de construcciones geométricas en los vehículos, de tal forma que se minimicen las lesiones fatales (Becerril Nieto, 2010). Las escuelas alemanas por ejemplo, utilizan análisis experimentales muy específicos para determinar la severidad de cada uno de los golpes en las personas involucradas en un accidente, ya sea ocupante o peatón. Los datos obtenidos permiten hacer diseño de exteriores e interiores en los vehículos que garanticen seguridad a todos los actores del tránsito. Un experimento de colisión vehículo peatón de tipo frontal, se desarrolla usando un modelo de dummies que permite simular la colisión con el vehículo (Condés Novillo, 2005). El estudio experimental dio paso a la simulación por computador que se ha tomado el campo de la reconstrucción de accidentes, debido a que permite una ilustración muy sencilla en términos de costos, comparada con la experimental; sin embargo, todos los parámetros que las técnicas de simulación utilizan son tomados

de datos experimentales y de resultados teóricos de la física aplicada.

### 3. RESULTADOS

La prueba distancia de lanzamiento es un método de gran aplicabilidad para la reconstrucción analítica del accidente vehículo – peatón ya que el análisis empleado por este, permite desglosar en detalle la secuencia del accidente usando parámetros físicos medibles.

Cada tipo de accidente puede ser modelado por un esquema teórico dentro de las leyes físicas, en unos casos, aplicando cinemática traslacional, en otros, rotación considerando únicamente el centro de masa del vehículo y la energía de rotación y traslación adquirida por el trabajo de rozamiento y conservación de la cantidad de movimiento.

Para conocer la velocidad de impacto, se estudia la energía absorbida en el trabajo de deformación que depende de la dureza del material del cual está fabricado el vehículo, zona de impacto; estas variables se expresan en función directa del área del daño. Es importante resaltar que existen sistemas de cómputo precisos que permiten estimar el área dañada en la estructura del automóvil. Un ejemplo de ello, es usar las integrales como instrumentos de cómputo para calcular el área de deformación.

Una vez conocida la velocidad de impacto en la colisión, es posible analizar la deformación correspondiente en el vehículo para cada velocidad. Para los datos que se obtienen en el estudio de casos cuando la deformación de la estructura del vehículo es constante los resultados en el análisis numérico, se pueden evidenciar en un gráfico de las deformaciones de los vehículos con respecto a la velocidad de impacto obtenida.

Además, se observan claramente las diferentes formas en que se pueden describir las curvas de deformación presentes en la estructura del vehículo las cuales permiten evidenciar claramente la zona de impacto en la misma.

Con base a las ecuaciones cambellianas se pueden desarrollar modelos físicos para la determinación de la velocidad de impacto en una colisión frontal permitiendo al investigador ajustar cualquier grado de función matemática para analizar las zonas de impacto en el vehículo.

### 4. CONCLUSIONES

La reconstrucción eficiente de un accidente de tránsito tipo vehículo – peatón para un caso frontal es una labor que no solamente depende de la validación de la prueba que se utilice, ya que debe tenerse en cuenta que la secuencia lógica de pasos a seguir para saber la conveniencia o no del método a utilizar es quizás una labor que puede tomar más tiempo que la misma aplicación de la prueba, ya que no es suficiente en algunos casos conocer la distancia de lanzamiento sino que se debe analizar en conjunto esta evidencia con otras igualmente importantes como: los puntos de impacto en el peatón (Ashton, 1989) y el vehículo, daños en el mismo, lesiones de la o las víctimas y la huella de frenada; si se cuenta con la información completa de los elementos probatorios que se relacionan con el caso es posible reconstruir la escena del accidente.

### 5. FINANCIACIÓN

La presente investigación fue desarrollada gracias al rubro asignado por la División de investigación y extensión de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, lo cual

permitió realizar los análisis respectivos en el procesamiento de los datos en el proceso de reconstrucción de accidentes de tránsito.

Perez, D. I. (2009). Simulación de un Choque frontal de un vehículo automóvil

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Ashton, S. (1989). Pedestrian Accident Investigation and Reconstruction . IPTM.

Becerril Nieto, D. (2010). Estudio del impacto de un vehículo sobre señales de tráfico mediante LS-Dyna. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

Cabellos Martinez, M. I., Rojas, J. W., & Fuentes, J. (2009). Validación de la prueba distancia de lanzamiento para la reconstrucción analítica de la colisión automóvil- peatón. Ingenio, 27-32.

Condés Novillo, J. (2005). Simulación de ensayos de choque en vehículos: validación de un modelo de dummy en 2 dimensiones. Madrid: Universidad Carlos III.

Enciso, G. Reconstrucción Virtual de Accidentes- Reconstrucción Virtual de Hechos Criminizables. Catamarca: Instituto de Cs. Criminalísticas y Criminología.

Forenses. Datos para la vida. Casos y tasas de accidentes de tránsito, según departamento y municipio.

Limpert, R. (1999). Motor Vehicle Accident Reconstruction and cause analysis, Matthew Ben- der and company,.

Martínez, L. (1995). Pedestrian Accident Reconstruction: Review and Update.