

ANÁLISIS FÍSICO Y MATEMÁTICO DE UN INFORME DE ACCIDENTE DE TRÁNSITO

Physical and mathematician analysis of a traffic collision report

RESUMEN

Se estudia un informe de tránsito, donde el manejo inadecuado de las pruebas no permite reconstruir científicamente el accidente analizado.

PALABRAS CLAVES: Accidente de tránsito, cinemática, dinámica, huella de frenado, metrología.

ABSTRACT

A traffic report is studied, where the inadequate handling of the tests doesn't allow to reconstruct the analyzed accident scientifically.

KEYWORDS: *traffic collision, kinematic, dynamic, skidmark, metrology.*

ESTEBAN URRUTIA BERMÚDEZ

Físico.

Laboratorio de Investigación Científica.

Cuerpo Técnico de Investigación C.T.I.

Fiscalía General de la Nación.

esteban.urrutia@fiscalia.gov.co

1. INTRODUCCIÓN

Un acercamiento inicial al concepto de *metrología* se puede encontrar en el origen o etimología de la palabra: del griego *μετρον* que traduce medida y *λογος*, que es equivalente a tratado o estudio. El procedimiento de cómo medir para obtener resultados reproducibles es supremamente importante y de hecho existen instrucciones adecuadas sobre cómo hacerlo, qué instrumentos emplear y en qué unidades expresar las magnitudes cuantificadas. [4] y [6].

Teniendo en cuenta todo ello, se puede decir que la forma adecuada de medir (entendida como el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar el valor de una magnitud) debe ser acorde con las siguientes pautas:

1. Decidir *qué* se va a medir, cualificar o cuantificar.
2. Seleccionar *la unidad* a usar, de acuerdo, preferiblemente, al Sistema Internacional de Unidades.
3. Utilizar *un instrumento* de medición, metrológicamente apropiado. (demostrable a través de los resultados de un certificado de calibración con trazabilidad a patrones primarios).
4. Aplicar *un procedimiento* adecuado, acordado y validado.

En el caso de accidentes de tránsito, donde se analizan huellas de frenado, de acuerdo con el principio de conservación de la energía, la disminución súbita de energía cinética, ocasionada por el sistema de frenos al bloquear la rotación de las llantas, y teniendo en cuenta la

fricción entre los neumáticos y el pavimento, se produce un desgaste drástico en la superficie de los neumáticos, y, como consecuencia, la huella de frenado, siendo esta la variable que se debe analizar cualitativamente y cuantificar de forma adecuada, para, a partir de un modelo fisicomatemático, realizar una reconstrucción lo más cercana a la realidad de los hechos. [1], [2], [3] y [9].

2. CONTENIDO

2.1. ASPECTOS FÍSICOS Y MATEMÁTICOS

En el estudio del movimiento desde la cinemática y bajo condiciones ideales, la velocidad constante equivale a la relación entre la distancia y el tiempo y se expresa como

$$v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (1)$$

mientras que la velocidad promedio en cualquier intervalo corresponde a la media aritmética, esto es

$$\bar{v} = \frac{v_f + v_i}{2} \quad (2)$$

Igualando (1) y (2) se tiene que

$$\left(\frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \right) = \left(\frac{v_f + v_i}{2} \right) \quad (3)$$

De forma similar, la relación entre el cambio de velocidad y el tiempo, corresponde a la aceleración (desaceleración, en este caso) y equivale a

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (4)$$

Despejando t_f e igualando las ecuaciones (3) y (4) se tiene

$$\frac{v_f - v_i + at_i}{a} = \frac{2(x_f - x_i) + (v_f t_i + v_i t_i)}{v_f + v_i} \quad (5)$$

y algebraicamente

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ax_f - 2ax_i \quad (6)$$

Bajo condiciones reales, siempre que se encuentran dos objetos en contacto y uno de ellos se mueve en relación con el otro, la fuerza de rozamiento (F_r), o fuerza de fricción cinética actúa en sentido contrario al movimiento, siendo esta característica la que hace que los cuerpos en movimiento, en ausencia de fuerzas externas, se detengan. [8] y [18].

Ésta fuerza es directamente proporcional a la fuerza normal, N , que ejerce la superficie y al coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción cinético, μ_k , el cual se obtiene a partir del estudio de la composición fisicoquímica de las superficies en contacto y su estado al momento del accidente. Esta relación se expresa como

$$F_r = \mu_k N \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la segunda ley de Newton, la ecuación (7) se transforma en

$$ma_r = \mu_k mg \quad (8)$$

de la cual se deduce que la aceleración producida por la fuerza de la fricción o rozamiento es equivalente a

$$a_r = \mu_k g \quad (9)$$

sustituyendo esta igualdad en (6)

$$v_f^2 - v_i^2 = 2\mu_k gx_f - 2\mu_k gx_i \quad (10)$$

cuya expresión simplificada para este caso, en la medida que la distancia entre los cuerpos tiende a cero y suponiendo que al final de la huella de frenado el automóvil se detiene, se deduce que la fórmula para la estimación de velocidad inicial equivale a

$$v_i = \sqrt{2(\mu_k gx_i)} \quad (11)$$

Una deducción similar se obtiene teniendo en cuenta que la magnitud del trabajo (W) realizado por la fuerza de fricción cinética (F_r), para detener el automóvil, es equivalente al cambio de energía cinética (ΔE_c) durante el proceso de frenado. [9], [11], [12], [14] y [15].

A continuación se relaciona, la parte gráfica (croquis) del informe de accidente de tránsito A00406559, donde se muestra el estado final de los automóviles, ocurrido el 31 de Agosto de 2008, sobre la avenida El Dorado con carrera 57, vías pavimentadas y secas (consideradas sin ningún tipo de inclinación representativa), con las respectivas medidas tomadas por la autoridad competente, perteneciente a la Policía Metropolitana de Bogotá, Dirección de Tránsito y Transporte:

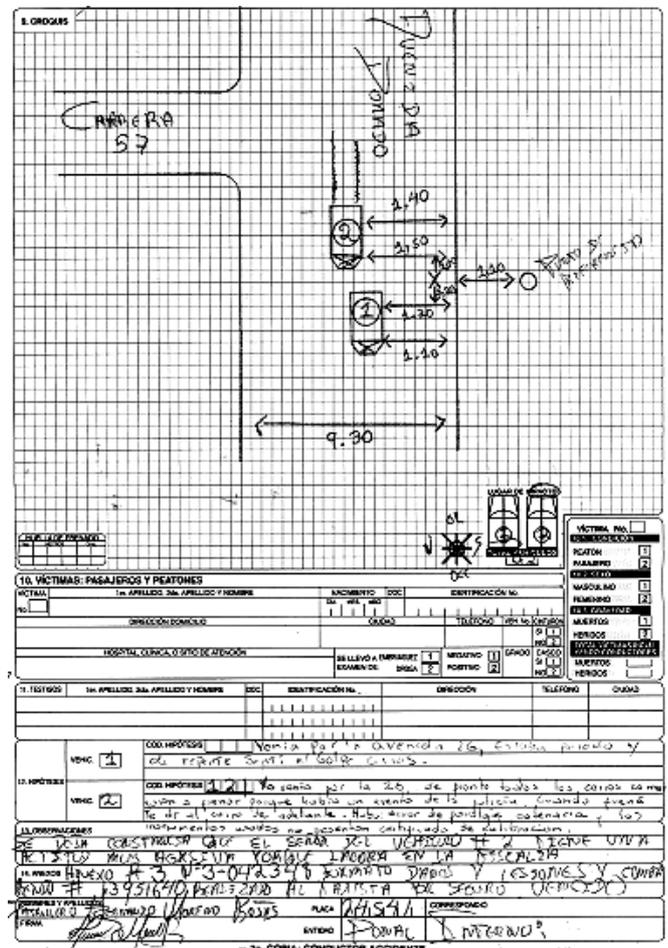


IMAGEN 1. Parte gráfica o croquis del informe de tránsito A00406559. [5]

Es importante resaltar que son dos variables a considerar en este análisis: el coeficiente de fricción cinético, μ_k , el cual se obtiene a partir del estudio de la composición

fisicoquímica de las superficies en contacto y su estado al momento del accidente, junto con el examen de la huella de frenado (x_i), impresa por los neumáticos de automóvil sobre el pavimento, debido al desgaste producido por el calor, como consecuencia de la fricción o roce entre las superficies. La tercer variable, g , equivale a una constante cuyo valor se encuentra consignado en textos científicos o puede estimarse experimentalmente. [8].

Un estudio y/o elección inadecuada de estos factores, ocasionará inevitablemente que el modelo físico-matemático de la representación del accidente de tránsito, no refleje la realidad de los hechos. [10], [16] y [17].

De acuerdo con el croquis se observa que las medidas de la posición final del automóvil 2, indican una rotación respecto del eje de la trayectoria previa al impacto ó rototraslación, (posiblemente evitando la colisión), mientras que para el automóvil 1, sucede una situación análoga, consecuencia del impacto, lo cual se detalla, resaltando esa parte de informe

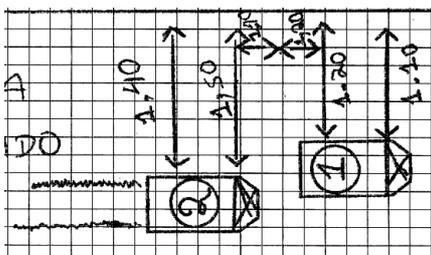


IMAGEN 2. Detalle de Informe de tránsito A00406559, donde se ilustra la ubicación final de los automóviles.

Una vez efectuado el croquis, lo pertinente es realizar un análisis físico, con el objetivo de encontrar las condiciones iniciales de los objetos. Para el caso de la velocidad probable que presentaba el automóvil 2 previo a la aplicación de los frenos a fin de evitar la colisión, bajo condiciones ideales, se debe tener en cuenta la ecuación (11).

Para ello, se requiere conocer o determinar, el coeficiente de fricción cinético, μ , que actúa entre los objetos en contacto (los neumáticos y el pavimento), la constante de la aceleración de la gravedad g , por experimentación y/o por información consignada en tablas y la longitud de la huella de frenado, x_i , que sólo puede obtenerse a partir del informe de tránsito, dado que, para diferentes longitudes de huella de frenado, necesariamente ha de diferir los resultados para la velocidad inicial.

Existe referencia bibliográfica donde la ecuación (11) es transformada en la ecuación

$$v_i = \sqrt{2(\mu g x_i C)} \quad (12)$$

en la cual la letra C , corresponde a un factor equivalente a la pérdida de energía cinética, que se da antes que los neumáticos impriman su marca sobre la superficie, pavimento en este caso. De la misma manera, la ecuación (11), puede contener otros coeficientes y/o variables, dependiendo de las particularidades de cada accidente de tránsito que se estudie (ángulo de rototraslación, descomposición vectorial de variables, entre otras). [11], [13], [14] y [15].

Con respecto a la longitud de la huella de frenado x_i , de acuerdo con el croquis, se asume el siguiente valor

| HUELLA DE FRENADO | | |
|-------------------|--------|------|
| No. | METROS | Cms. |
| | | |
| | | |
| | | |

IMAGEN 3. Detalle del Informe de tránsito A00406559, longitud de la huella de frenado.

De acuerdo con la imagen 3, se obvió registrar la longitud (x_i), haciendo imposible el cálculo de la velocidad del vehículo en el momento de la aplicación de los frenos.

Teniendo en cuenta esta falencia en el informe, no es posible establecer, más allá del subjetivo sentido común, alguna variable (velocidad de los automóviles antes del impacto, tiempo de frenado, entre otras) que permita reconstruir los hechos, debido a que en la medida en que se considere un modelo matemático con condiciones reales o ideales, las ecuaciones no tienen solución.

2.2. ASPECTOS METROLÓGICOS.

La metrología, entendida como la ciencia de las mediciones, se encuentra dividida en varias ramas, siendo una de ellas la metrología legal, consistente en la totalidad de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente.[4]

En el momento de realizar una diligencia de orden judicial, la autoridad competente, debe tener presente que una de las premisas sobre la cual debe actuar radica en recaudar elementos que permitan determinar la ocurrencia de una conducta punible y la responsabilidad de los autores o partícipes, es decir, debe garantizar que el método, procedimiento o técnica a emplear para la recolección de pruebas y/o toma mediciones, sea objetivo y adecuado, de manera tal que genere confianza en las partes involucradas. [7]

En la parte final del informe de tránsito se observa la siguiente anotación:

Hubo error de paralaje, catenaria y los instrumentos usados no presentan certificados de calibración.

IMAGEN 4. Detalles del Informe de tránsito A00406559.

En la imagen 4 se lee “Hubo error de paralaje, catenaria y los instrumentos usados no presentan certificado de calibración”. Esto indica que, no se tuvo en cuenta aspectos básicos de metrología concernientes a la idoneidad de los equipos empleados para la labor de fijación de la escena del choque. Como consecuencia, se desprende que, no sólo para este caso, sino para cualquiera que implique el empleo de un método de medición, se debe garantizar la idoneidad, no solo de la forma de medir, sino la pericia de quien realiza la medición, además del estado y pertinencia metrológica del instrumento o instrumentos empleados.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los procedimientos, métodos y/o técnicas de medición deben ser entendidos por quienes los aplican y en esa medida, validados, esto es, se deben tener elementos de juicio con los cuales certificar, la existencia de evidencia objetiva que pruebe que un sistema de medición y análisis, satisface una serie de requisitos específicos, para garantizar su reproducibilidad.

A través del artículo se examinó, desde la cinemática y dinámica, bajo condiciones ideales, un informe de accidente de tránsito, en el cual los requerimientos mínimos para la reconstrucción fisicomatemática, no son obtenidos por el responsable de ésta labor, al punto que se mencionan fallas en la recolección de pruebas y toma de datos, lo cual quedó plasmado como una observación de uno de los intervinientes.

Con base en ello se desprende que, en la reconstrucción, no sólo de un accidente de tránsito, sino de cualquier proceso que implique la recolección de elementos materiales probatorios, se requiere de la implementación ó aplicación adecuada, en caso que exista, de un sistema de gestión de calidad fundamentado en el ciclo Deming ó PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), símil del método científico, basado en la pericia, conocimiento, entendimiento y uso de métodos y técnicas adecuadas de medición, registro y control, a fin de reducir la probabilidad de cometer errores.

Con cariño para Lilo y Tol.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] F. Cervantes, *Los accidentes de tránsito*. Editorial Porrúa, 2005, p. 132 y siguientes.

- [2] H. Carballo, *Pericias técnico – mecánicas*. Ediciones La Rocca. 2002, p. 125 y siguientes.
- [3] J. Hernández. “*Los accidentes de tráfico*”. México, 2005, p. 204 y siguientes.
- [4] J. Pellecer. *Metrología para no metrólogos*, OEA, 2002, p. 4 y siguientes.
- [5] Policía Metropolitana de Bogotá, Dirección de Tránsito y Transporte. Informe Policial de Accidente de Tránsito No. A00406559. 2008.
- [6] Vocabulario Internacional de Metrología (VIM). Conceptos fundamentales, generales y términos asociados, JCGM 200:2008. www.simetrologia.org.br/voca_int_metro.pdf.
- [7] Consejo Nacional de Policía Judicial, *Manual Único de Policía Judicial*. Imprenta Nacional de Colombia. 2006, p. 23.
- [8] P. Hewitt, *Física conceptual*, Editorial Pearson, 2007, p. 74 y siguientes.
- [9] H. Carballo, “Introducción a la mecánica forense y la accidentología vial”. Argentina, 2006, p. 61 y siguientes.
- [10] J. Montiel, *Criminalística I*, Limusa Noriega Editores, 2007, p. 247 y siguientes.
- [11] V. Irureta, *Accidentología vial y pericia*, Ediciones La Rocca, 2003, p. 79 y siguientes.
- [12] C. Guzmán, *Manual de criminalística*, Ediciones La Rocca, 2006, p. 139 y siguientes.
- [13] M. Hiemer, *Model based detection and reconstruction of road traffic accidents*. Universitätsverlag Karlsruhe, 2004, p. 164 y siguientes.
- [14] A. Bolívar et al, *Modelos físicos aplicados en el análisis de accidentes de tránsito*. Revista Colombiana de Física. Vol. 38. No. 4, 2006, Universidad del Valle, p. 1375 y siguientes.
- [15] L. García et al, *formulación matemática de algunos modelos físicos utilizados en la reconstrucción de un evento de tránsito y las consideraciones para su implementación*, Revista Scientia et Technica, Año XV. No. 43, Diciembre de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira, p. 199 y siguientes.
- [16] J. Fuentes et al, *aproximación a un modelo de rodadura complementario en la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito vehículo-peatón*. Revista Científica Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Vol. 20 No. 3, 2008, p. 57 y siguientes.
- [17] M. Hurtado et al, *Huellas de frenado irregulares, importancia en el análisis y resultados de un accidente vehicular*. Revista Forensis, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2006, p. 317 y siguientes.
- [18] R. Feynman et al, *Física I: mecánica, radiación y calor*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1971, sección 12-1 y siguientes.