

MATEMÁTICA DE UN ACCIDENTE

DE TRÁNSITO EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN



ING. GUSTAVO LÓPEZ FUERTES

- Ingeniero Estadístico
- Docente Investigador ITSPN

RESUMEN:

El temario de la Física matemática está estrechamente ligado con el estudio de diferentes procesos físicos, entre ellos podemos mencionar los fenómenos que estudian en la teoría de la elasticidad; los problemas matemáticos que surgen aquí contienen muchos elementos comunes y forman el objeto de la Física matemática. El método de investigación que caracteriza a esta rama de la ciencia es matemático en su esencia. Con procesos analíticos descriptivos se logra inferir ya sea las leyes y magnitudes físicas en los sucesos de tránsito -Modelización matemática-, que por lo general los procedimientos analíticos empleados para inferir magnitudes físicas en los eventos de tránsito -modelos físicos-, son siempre construcciones teóricas que permiten abordar el problema. Estos modelos pueden ser mejorados al considerar variables que antes fueron descartadas, teniendo especial cuidado en los límites de aplicabilidad para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos

ABSTRACT:

The agenda of mathematical physics is closely linked to the study of different physical processes, among them we can mention the phenomena they study in the theory of elasticity, mathematical problems that arise here contain many common elements and form the subject of mathematical physics. The research method that characterizes this branch of science is mathematical in essence.

With analytical descriptive processes it achieves to infer whether the laws and physical quantities in the events of transit (Mathematical modeling), which generally the analytical procedures used to infer physical quantities in the transit events (physical models), they are always theoretical constructions which permit approach the problem.

Those models can be better if we consider indicators discarded before, taking in count about applicability boundaries to interpret correctly the results obtained.

Palabras clave:

Ecuaciones Cambelianas, energía, cinética, deformación, estructural.

INTRODUCCIÓN

La accidentalidad o accidentalidad vial. La Organización Mundial de la Salud (OMS), asocia a la accidentalidad como una causa de mortandad y un problema de salud mundial. Ya sea por los muertos y las personas que quedan en condición de discapacidad, puede considerarse como una epidemia.

Cada incidente representa pérdidas materiales en los daños a los individuos y/o vehículos involucrados, como también los costos de la infraestructura vial; si cuantificamos el tiempo debido a la interrupción obligada tendrá un costo muy elevado para la sociedad.

Para realizar análisis forense de los incidentes de tránsito, se debe tener en cuenta varios factores como: informe policial, informe de experticia técnica de vehículos, el patrón de daños en vehículos, de lesiones a ocupantes y peatones, coeficientes de fricción y arrearde de vías, reconstrucción analítica del incidente usando los recursos de los que dispongan los entes encargados de la investigación, análisis fotogrametría; y, una especial atención al análisis de deformaciones presentes en el vehículo o los vehículos.

La importancia de esta investigación se debe a la necesidad de crear un modelo matemático que sea usado por el perito policial para analizar la absorción de energías mecánicas, las que ayudarán a determinar las velocidades presentes en la colisión de vehículos, obteniendo así una herramienta que se pueda usar con las variables presentes en un incidente de tránsito, en el que los expertos forenses puedan desarrollar y clasificar los eventos que producen los incidentes de tránsito de tipo vehículo-vehículo, vehículo-peatón.

El conocer la energía que “pierde o gana” en una deformación de materiales proporciona un soporte físico-matemático, con la posibilidad de detectar errores en la apreciación del investigador forense, el que acude a reportes gráficos e infografías, el de mantener un alto nivel de investigación científica, acorde con el avance de la tecnología.

Un incidente de tránsito es un fenómeno físico que puede ser estudiado aplicando dinámica de cuerpos (leyes de Newton), deformaciones (módulos de Young), dinámica de resortes (Ley de Hook).

DESARROLLO-RESULTADOS

Como todo fenómeno físico -un incidente de tránsito también lo es- de la observación, la cotidianidad y la duplicación de su ocurrencia, surge la inquietud de conocer la velocidad con la que colisionan los vehículos, tomando como base los estudios físicos de Newton -tres leyes-, módulo de Young, ley de Hook -estudio de resortes-, entre otros.

En la siguiente tabla tenemos los valores típicos de Módulo de Young y el límite de elasticidad de los materiales más usados frecuentemente en la construcción de vehículos:

Material	Módulo de Young N/m ²	Límite de elasticidad N/m ²
Aluminio	7x10 ¹⁰	1.3x10 ⁸
Hierro fundido	9x10 ¹⁰	1,7x10 ⁸
Cobre	10x10 ¹⁰	1,6x10 ⁸
Acero	20x10 ¹⁰	2,5x10 ⁸

Tabla 1. Valores típicos de Módulo de Young y límites de elasticidad estos tienen las unidades en el sistema internacional N/m 2.

Cuando se realiza un análisis de un incidente de tránsito, se toma en cuenta los diferentes factores tales como: análisis de experticia técnica a vehículos, lesión a peatones, patrón de daños en el vehículo, coeficientes de fricción de elasticidad, la reconstrucción técnica del incidente utilizando la información que se puede recabar, con lo que se generará modelos matemáticos presentes en el vehículo.

En este análisis se toma como base la determinación de las velocidades: antes, durante y después de la colisión. Las deformaciones que se presenten en los vehículos permitirán determinar la energía de absorción mediante la utilización de métodos numéricos para determinar áreas donde exista la deformación presente en el vehículo.

Los primeros análisis pertinentes en deformaciones de la estructura del vehículo que estuvo presente un incidente de tránsito, fueron llevados a cabo por el Dr. Campbell en los años 70 del siglo pasado, quien logro establecer una relación proporcional entre la velocidad de impacto y la profundidad de la deformación. El Dr. Campbell estableció empíricamente fenómenos claramente diferenciados como son la deformación elástica y plástica, la deformación plástica es mayor a la deformación elástica y empíricamente se demuestra que las cargas de tensión son proporcionales a la deformación que se generan en el fenómeno. (G. Enciso).

Campbell asume que existe una relación lineal entre la velocidad en la colisión y la deformación medible en los vehículos y existe un valor umbral hasta el cual no se produce deformación permanente.

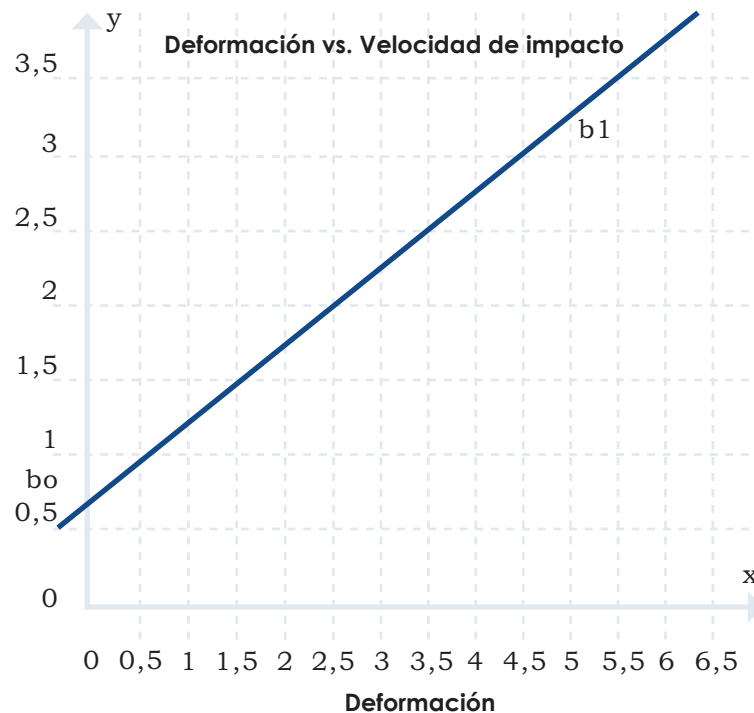


Fig. 1. Relación directa entre la deformación y velocidad de impacto.

El análisis de las deformaciones se basa en la hipótesis que asume que la energía cinética en la colisión es igual a la energía de la deformación estructural del vehículo o vehículos implicados.

El comportamiento de la estructura de los vehículos al estar involucrados en un accidente de tránsito depende de la deformación plástica -se presenta una deformación permanente- en la actuación eficiente de los mecanismos de amortiguación de la colisión -límite elástico-. Una de las ventajas de realizar un análisis de deformación se basa en la mayor facilidad de medir los datos de las deformaciones permanentes en los vehículos que debe obtener datos fiables de la escena del accidente, en especial si la reconstrucción se realiza tiempo después de los hechos.

Las ecuaciones Cambelianas, usadas con frecuencia en el estudio de impactos de vehículos con barreras rígidas, se las puede usar en los casos vehículo-vehículo o vehículo-peatón, ya que no se toma en cuenta las propiedades físicas del objeto o de los objetos que se encuentren involucrados en el incidente, por tal razón las ecuaciones Cambelianas pueden ser tomadas como referencia para las pruebas de colisiones entre vehícu-

lo-vehículo, vehículo-peatón, que serán tomadas en cuenta para la presente investigación, y que pretende determinar la velocidad de impacto en incidentes que involucren vehículo y peatón.

La metodología de ENCISO usa análisis matemático, iniciando con las ecuaciones de Campbell:

$$V_{(x)} = b_0 + b_1 \cdot X \quad (1)$$

$$\left(\frac{F}{W}\right)_{(x)} = A + B \cdot X \quad (2)$$

Entendiéndose por $V_{(x)}$ la velocidad de impacto del vehículo en función de la profundidad (x) de la deformación.

b_0 : es la velocidad de impacto sin deformación permanente.

b_1 : El valor de la pendiente de la función empírica.

F/W : es la fuerza de carga por unidad de ancho de deformación.

A : es la máxima fuerza de carga por unidad de ancho de deformación que el vehículo puede recibir sin deformación permanente.

B : es una constante de dureza de la estructura, depende de cada vehículo y de la zona de impacto sobre la estructura del vehículo. (G. Enciso).

Para hacer uso de las Ecuaciones Cambelianas, se debe considerar la zona de deformación del vehículo en constante:

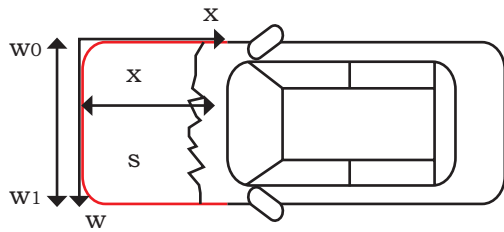


Fig. 2. Diversas aplicaciones de integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo. Tomado de Gustavo Enciso. Instituto de Cs Criminalísticas y Criminología. Universidad Nacional del Nordeste-U.N.N.E

Tenemos la ecuación

$$Ed = \int_0^x \frac{F}{W} (x) dx \quad (3)$$

$$Ed = \int_0^x (A+BX) dx + \frac{1}{2} M (b_0^2) \quad (4)$$

En la ecuación se evidencia la utilización del término sumando $\frac{1}{2}M(b_0^2)$, representa la energía elástica del vehículo, es decir la compresión sin daño permanente.

En el caso que la profundidad de la deformación no sea constante respecto al ancho, realizando el cálculo de la energía absorbida de la deformación (plástica) si $x=f(W)$ es una función lineal:

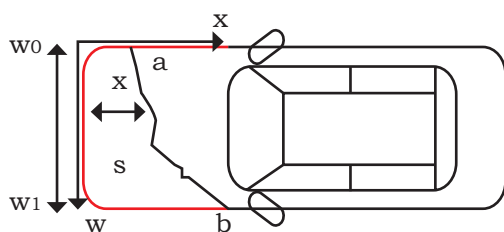


Fig. 3. Fuente. Gustavo Enciso, Instituto de Cs Criminalísticas y Criminología, Universidad Nacional del Nordeste- U.N.N.E

$$x = f(W) = \left[\frac{b-a}{W_1 - W_0} \right] \cdot W \quad (5)$$

En el caso a, debe tener la unidad en metro, como W y b también tiene las unidades de longitud, el ángulo de inclinación de la función es adimensional.

El ángulo de inclinación de la pendiente de la ecuación (4), quedando que la energía total absorbida en la superficie "S", se determinará como sigue:

$$Ed = \int_{W_0}^{W_1} \int_0^{a+mW} \frac{F}{W} (X) dx dW \quad (6)$$

Sustituimos la ecuación (5) en la ecuación (2), tendremos que:

$$Ed = \int_{W_0}^{W_1} (A+BX) dx dW \quad (7)$$

Aplicando métodos numéricos para la resolución de esta ecuación, se obtiene que la energía de dispersión es:

$$Ed = AaW + \frac{1}{2} AaW^2 + \frac{1}{2} BcW + \frac{1}{2} BcmW^2 + \frac{1}{6} Bm^2W^3 \quad (8)$$

La energía total absorbida queda de la forma siguiente

$$E = Ed + \frac{1}{2} M (b_0^2) \quad (9)$$

En el caso de que la estructura del vehículo se deforme de tal forma que se asemeja a una parábola.

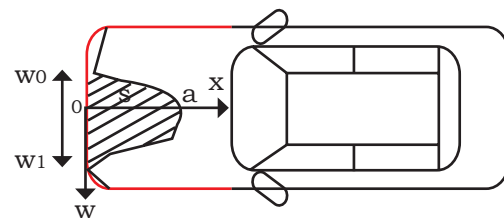


Fig. 4 Fuente. Gustavo Enciso, Instituto de Cs Criminalísticas y Criminología, Universidad Nacional del Nordeste- U.N.N.E

La función de la ecuación $x=f(W)$, tenemos que la ecuación queda de la forma.

$$X = f(W) = -bW^2 + a \quad (10)$$

Usando sustitución, se tiene que la ecuación:

$$Ed = \int_{W_0}^{W_1} \int_0^{-bW+a} (A+BX) dx dW \quad (11)$$

En el estudio de accidentabilidad, el cálculo de la energía de dispersión en los casos en el que se encuentran involucrados vehículo-vehículo, o vehículo-peatón, se puede dar uso a programas computacionales que ayudan en la modelización matemática como puede ser el Matlab, como ya se determinó la energía de dispersión. Se determina que la energía absorbida (E)

$$E = Ed + \frac{1}{2} M (b_0^2) \quad (12)$$

Al determinar la energía absorbida, se determina la velocidad de impacto: (G. Enciso) como sigue:

$$E = \sqrt{\frac{2E}{M}} \quad (13)$$

CONCLUSIONES

Los procedimientos, métodos y/o técnicas de medición deben ser entendidos por quienes los aplican y en esa medida, validados; esto es, se debe 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 fisico-matemática no son obtenidos por el responsable de esta 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 o 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 este modelo se pretende ilustrar la importancia de entender el modelo físico planteado, qué significan las variables, el rango de valor de los parámetros utilizados y cuáles son los límites de aplicación de las ecuaciones.

Con el hecho de conocer las ecuaciones, no se tiene la solución del problema, es necesario conocer las condiciones de implantación de estas

para poder interpretar correctamente los resultados que se obtengan; y además, conocer de manera general los modelos físicos que soportan los diferentes métodos de cálculo de velocidad de un vehículo que colisiona, en base a las deformaciones que se presentan.

FUENTES DE CONSULTA

- Alba, Juan J., Iglesias, Alberto, 2012. La biomecánica del Impacto Aplicada al Accidente de Tráfico, Universidad de Zaragoza.
- Carballo, Hugo A. 2006, Introducción a la Mecánica Forense y la Accidentología.
- Cabellos, M.I., Pérez, E.E. 2012, Energía de Absorción para Calcular La Velocidad de Impacto en Accidentes de Tránsito. Universidad Francisco de Paula Santander.
- García, Miguel A., Romero, Fernando M., Oliveros, José J.,(2011), Matemáticas y sus Aplicaciones I, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Dirección de Fomento Editorial
- García g. Lady J., Rivera Jorge H.. 2009, Formulación Matemática de algunos Modelos Físicos Utilizados en la Reconstrucción de un Evento de Tránsito y las Consideraciones Para su implementación, Grupo de Investigación en Ingeniería Física.
- Irurita A., 2011, Embestimiento a peatones, Ediciones La Roca.
- J. Pellecer. Metrología para no metrologos, OEA, 2002.
- P. Hewitt, Física conceptual, Editorial Pearson, 2007.
- Santos, David, E., 2013, Propuesta de un Modelo para peritaje de un siniestro de vehiculos livianos. Universidad politécnica Salesiana.
- Yadeta, Dabela; Muraspahic, Sanin, (2013), Signal Analysis, Modeling and Simulation of Vehicle Crash Dynamics, Department of Engineering Faculty of Technology and Science University of Agder.
- Zajackowski, Raúl E., 2010, Accidentología Vial, Ediciones Argentinas Rosyuna.
- Pineda, D. D. (abril de 2010). Maestría en Comunicación. Recuperado el 15 de septiembre de 2016, de Tecnologías de la Información y Comunicación en el desempeño profesional del gerente educativo: <https://www.youtube.com/watch?v=cQHkDCaa5A-c&index=38&list=PLtUprbCEtrHkzCxIG2Wx-gYeQFCVwa9-Ut>
- Pineda, D. D. (abril de 2010). Maestría en Comunicación. Recuperado el 15 de septiembre de 2016, de Tecnologías de la Información y Comunicación en el desempeño profesional del gerente educativo: <https://www.youtube.com/watch?v=cQHkDCaa5A-c&index=38&list=PLtUprbCEtrHkzCxIG2Wx-gYeQFCVwa9-Ut>