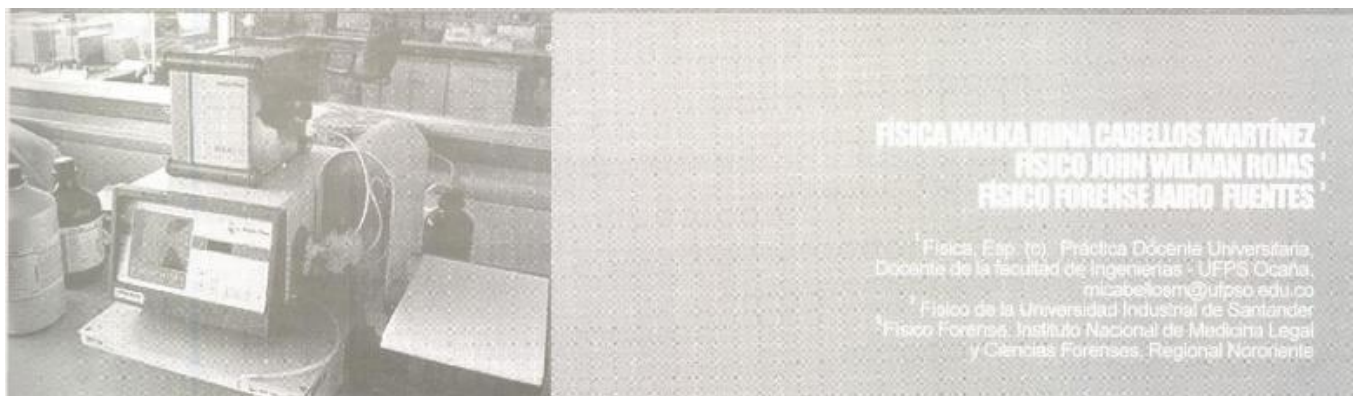


VALIDACIÓN DE LA PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO PARA LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE LA COLISIÓN AUTOMÓVIL – PEATÓN



ABSTRACT

The analytic reconstruction of transit accidents, vehicle - pedestrian, for the frontal case, require a detailed study of all parameters that affect the event. The study could be done applying a method or test that use the distance which the pedestrian is thrown, to determine the speed impact range, knowing the approximate values for the friction coefficient between ground and pedestrian, friction coefficient the vehicles tires and ground and the contact time of the pedestrian with the hood.

Nevertheless, the limits and the reliability of this method in the solution of a real case are not known with accuracy. In this case, the throw distance was validating using the Colombian technical standards NTC - ISO - IEC - 17025.

The validation technique used was the comparison with experimental references, so, at the end, is developed a logic sequence for the appropriate use of this test in forensic physics lab.

KEYWORDS

Collision, method, pedestrian, reconstruction, Technique, throw distance.

PALABRAS CLAVES

Colisión, distancia de lanzamiento, peatón, prueba, reconstrucción, técnica

RESUMEN

La reconstrucción analítica de accidentes de tránsito vehículo- peatón, para el caso frontal, requiere de un estudio detallado de todos los parámetros que tienen incidencia en el evento. Dicho estudio se puede realizar aplicando un método o prueba que utiliza la distancia a la cual es lanzado el peatón, con el fin de determinar un rango para la velocidad de impacto. Esto, claro está, conociendo valores aproximados para el

coeficiente de fricción entre el piso y el peatón, coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo con el piso y el tiempo de contacto del peatón con el capó.

Sin embargo, no se conocen con exactitud los límites y la fiabilidad de este método en la resolución de un caso real. En este trabajo, se válida la prueba distancia de lanzamiento, empleando la norma técnica Colombiana NTC - ISO - IEC 17025.

La técnica de validación que se utilizó fue la de comparación con referencias experimentales, de tal forma que al final se desarrolla una secuencia lógica para el uso adecuado de esta prueba en un laboratorio de física forense.

INTRODUCCIÓN

En la investigación de accidentes de tránsito, los métodos usados son varios, desde la misma experimentación, pasando por técnicas computarizadas de simulación, hasta las más complejas reconstrucciones teóricas. Este campo se ha venido nutriendo de información, proveniente de los laboratorios especializados en colisiones.

Las técnicas experimentales se utilizan básicamente para representar el accidente real y poder medir allí parámetros determinantes 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. 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 diseños 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 cadáver o dummy que se sostiene por una grúa. Éste se pone en la trayectoria del vehículo que ha sido acelerado controladamente y que, metros antes de hacer contacto con el cuerpo, es frenado de emergencia (bloqueo de llantas) hasta colisionar con el peatón a una velocidad de impacto que es medida por mecanismos de láser. Toda la escena es filmada por potentes cámaras para diferentes velocidades de impacto, de allí se obtienen relaciones empíricas para su uso en casos reales.

El estudio experimental dió 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 utiliza, son tomados de datos experimentales y de resultados teóricos de la física aplicada.

Los métodos teóricos son la síntesis de concordancia entre las leyes físicas y los resultados de las pruebas de laboratorio, los desarrollos han sido diversos [1] y cada modelo busca estar en los rangos de los datos experimentales. Por tal razón, en este trabajo se pretende utilizar los datos empíricos reportados en la literatura, para verificar la fiabilidad de un método que utiliza la cinemática traslacional para conocer la velocidad a la cual un vehículo impacta con su parte frontal a un peatón adulto. Todo esto teniendo, como dato principal, la distancia a la cual es lanzado.

Este trabajo es desarrollado por los autores para el laboratorio de física del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de la Regional Nororiental, el cual empezó a realizar reconstrucciones analíticas de accidentes de tránsito en el año de 1995 y que desde el año 1999 ha

venido implementando métodos o modelos utilizados por escuelas reconstruccionistas internacionales, especialmente de Alemania

DESARROLLO

Metodología: estudio de la aplicabilidad de la prueba

Al realizar un estudio detallado de la prueba distancia de lanzamiento es posible determinar un rango de aplicabilidad de dicha prueba, al compararla con patrones de referencia o materiales de referencia experimental. Es decir, este rango se establece teniendo en cuenta resultados empíricos y teóricos.

Los resultados empíricos empleados, han sido desarrollados por instituciones con alta calidad y competitividad tales como: Volkswagen A.G, Institute of Automotive Engineering, Technical University Berlín, Institute of Legal Medicine, Medical University Hannover Department of Pathology, University Clinic Charlottenburg, Free University Berlín, Laboratory of Impacts, ONSER, Laboratory of Anatomy, UER Saints Peres, Paris, University of Birmingham, Daimler Benz; los cadáveres de prueba a cargo del Laboratory of Physiology and Biomechanics Peugeot S.A./Renault. Este macro proyecto es el pilar del trabajo, tomándose como referencia para la comparación y verificación de la eficiencia de la prueba distancia de lanzamiento.

Las razones por las que se escogió esta publicación [2], tienen que ver con la disponibilidad bibliográfica de experimentos tan detalladamente desarrollados, así como del gran número de casos que aborda. Además, actualmente el acceso a experimentos desarrollados con cadáveres es muy complicado debido a que las legislaciones de muchos países ven antihumanas estas prácticas. Sin embargo, se hizo una breve comparación con artículos más recientes [3] con el fin de verificar la veracidad de las pruebas reportadas. Además de estas razones se encontró que los modelos de los vehículos empleados en estos experimentos son muy similares a los que actualmente transitan por las calles de Colombia.

Prueba de Distancia de Lanzamiento

Cuando ocurre un accidente frontal de tipo vehículo - peatón, el análisis de lo ocurrido puede desarrollarse aplicando una prueba que tiene como fundamento el modelo físico descrito en la revista XVIII No 1 del INMLCF (págs. 21 - 32). En las expresiones descritas en las ecuaciones (6),(7) y (8), se encuentra la siguiente relación entre la velocidad de impacto y la distancia de lanzamiento:

$$V_{imp} = \mu_c g_c + \mu_p g \sqrt{\left(t_c + \sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^2 - \frac{\mu_c t_c^2 + 2d_f}{\mu_p} - \mu_p g \left(t_c + \sqrt{\frac{2h}{g}}\right)}$$

La aplicación de esta prueba consiste en determinar un rango para la velocidad de impacto [4] a partir de esta ecuación, conociendo la distancia de lanzamiento del peatón (d_f), la altura del peatón (h) y rangos para los coeficientes de fricción, llantas - piso (μ_c) y peatón - piso (μ_p) tiempo de contacto del peatón y el vehículo (t_c)

Utilizando la ecuación, se puede establecer el rango para la velocidad de impacto de un vehículo en función de la distancia de lanzamiento, teniendo en cuenta que los valores varían dependiendo de cada caso sometido a análisis, es decir, para conocer la velocidad del vehículo es necesario saber estos parámetros, o por lo menos el rango en el que se encuentran.

Debido a que en la práctica, conocer valores exactos de estos parámetros para cada situación es un trabajo muy complicado, algunas instituciones se han dado a la tarea de realizar experimentos

controlados para establecer los rangos más comunes de dichos parámetros y poder así utilizarlos en la aplicación de la prueba.

Para la validación de esta prueba se emplearon los siguientes rangos:

$$\begin{aligned} \mu_v &: (0.4 - 0.8) \\ \mu_p &: (0.6 - 1) \\ t_c &: (0.4 - 0.8) \text{ (s)} \\ h &: (0.84 - 1.12) \text{ (m)} \end{aligned}$$

donde μ_v y t_c se tomaron de referencias especializadas; para μ_p se tuvo en cuenta el rango utilizado por el Instituto

Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y para h se consideró un rango para la altura promedio de un adulto (1.5 m - 2m).

Una vez establecidos los rangos para estos parámetros, con la ayuda de un software especializado en cálculos matemáticos (Mathemática 5.2), se utilizó la ecuación (1) y se generó, una gráfica de la velocidad de impacto

versus la distancia de lanzamiento (figura 1), para cada combinación, de todos los posibles valores que pueden

tomar los parámetros, tomando pasos de 0.1 para μ_v , 0.1s para t_c y 0.01m para h .

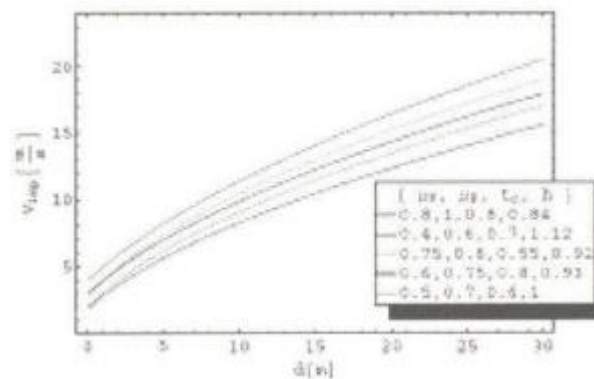


Figura 1. Gráficas de velocidad de impacto versus la distancia de lanzamiento

En esta gráfica, se muestran algunas de las curvas obtenidas para el anterior procedimiento. Como puede verse, todas ellas siguen un mismo comportamiento creciente, suave y monótono, de tal forma que el conjunto de parámetros que describan la gráfica con mayor área bajo la curva, serán los que determinen la curva máxima y, de igual forma, el conjunto de parámetros que describan la gráfica con menor área bajo su curva serán los que determinen la curva mínima.

Dicha área se calculó integrando cada una de las curvas entre 0 y 30m ya que no se reportan valores experimentales para distancias superiores de treinta metros.

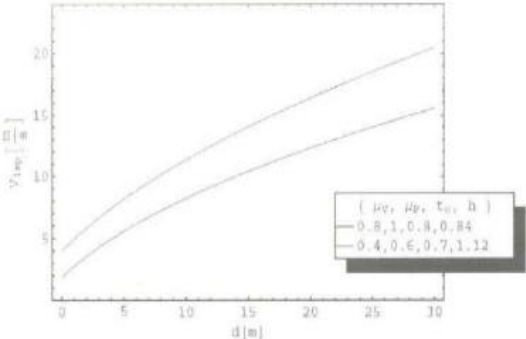


Figura 2. Curvas máxima y mínima de los datos teóricos

En esta gráfica se muestran las curvas máxima y mínima permitidas por el conjunto de parámetros.

Tales parámetros para la curva máxima son:

$\mu'' = 0.8$, $J_i P = 0.1$ $le = 0.8s$ y $h = 0.84m$; para la curva mínima:

$j.t. = 0.4$, $J_i P = 0.6$, $le = 0.7,7s$ y $h = 1.12m$.

Por otro lado, se tienen los datos experimentales tomados de diferentes referencias consignadas en [2].

De tal forma que se presenta la siguiente tabla:

| Datos experimentales para Dummy y Cadáver | | | |
|---|----------------|---------------|----------------|
| Datos Dummy | | Datos Cadáver | |
| $dy(m)$ | $V_{imp}(m/s)$ | $dy(m)$ | $V_{imp}(m/s)$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 9.69 | 8.5 | 9.58 |
| 9.8 | 9.72 | 15.0 | 11.89 |
| 13.5 | 11 | 10.2 | 12.22 |
| 11.2 | 11.03 | 11.5 | 11.14 |
| 11.8 | 11.03 | 11.8 | 11.03 |
| 14.7 | 12.56 | 9.8 | 11.47 |
| 10.6 | 11.14 | 9.2 | 11.17 |
| 15.2 | 13.25 | 8.8 | 11.33 |
| 17.9 | 13.31 | 22.5 | 13.25 |
| 16.0 | 13.28 | 17.4 | 13.06 |
| 15.9 | 13.33 | 12.8 | 12.53 |
| 20.5 | 13.5 | 12.2 | 8.83 |
| 21.0 | 13.89 | 11.9 | 9.06 |
| 18.4 | 13.64 | 26.6 | 15.56 |
| 18.1 | 13.11 | 29.5 | 15.42 |
| 16.3 | 13.25 | 25.5 | 15.44 |
| 14.8 | 12.94 | 23.6 | 15.69 |
| 23.4 | 15.22 | 25.6 | 15.67 |
| 25.7 | 15.89 | * | * |
| 24.4 | 15.44 | * | * |
| 26.2 | 15.53 | * | * |
| 24.0 | 15.97 | * | * |
| 27.0 | 15.97 | * | * |

Tabla 1. Datos experimentales. Fuente: Journal No 34 de 1982. Unfall – aund Sicherheitsforschung Strabenverdehr del capitulo 5, páginas 75-135

Los datos consignados en la tabla 1 fueron ajustados por medio de una regresión cuadrática, obteniéndose las curvas de velocidad de impacto en función de la distancia de lanzamiento que se presentan en las figuras 3 y 4 , respectivamente.

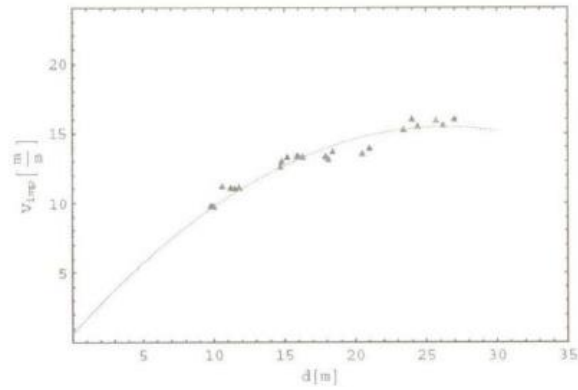


Figura 3. Ajuste cuadrático para los datos experimentales con dummies

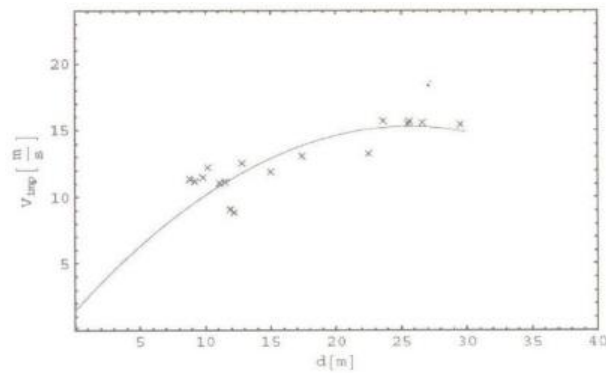


Figura 4. Ajuste cuadrático para los datos experimentales con cadáveres

La superposición de las gráficas mostradas en las figuras 3 y 4 permiten ver la similitud de los resultados en los experimentos con dummy y cadáver como se muestra en la figura 5.

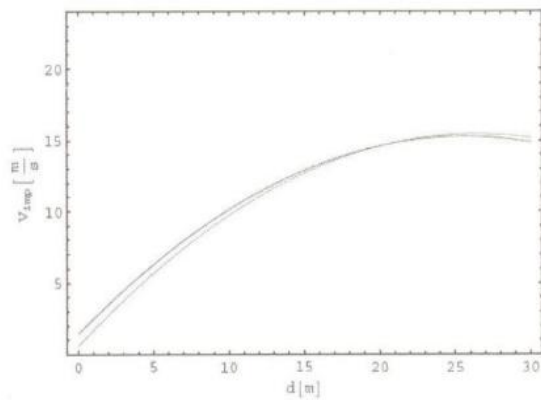


Figura 5. Superposición de gráficas en las figuras 3 y 4

Si se comparan los resultados empíricos y las curvas resultantes del análisis teórico (ver figura 3), puede observarse que todos los datos de las pruebas con dummies, se encuentran dentro del rango determinado teóricamente; además, se observa claramente que trece de los diecinueve datos de las pruebas con cadáveres, se encuentran dentro de dicho rango. Esto concuerda con las apreciaciones hechas por los analistas de los experimentos, los cuales encontraron mayor similitud al accidente real, en el caso en que las pruebas fueron desarrolladas con dummies [2] Por tal motivo, en adelante los análisis utilizan únicamente estos datos.

Con el fin de determinar el rango en el que el método distancia de lanzamiento se ajusta más a los datos experimentales, se superpusieron las gráficas en las figuras 2 y 3 que se muestran en la figura 7.

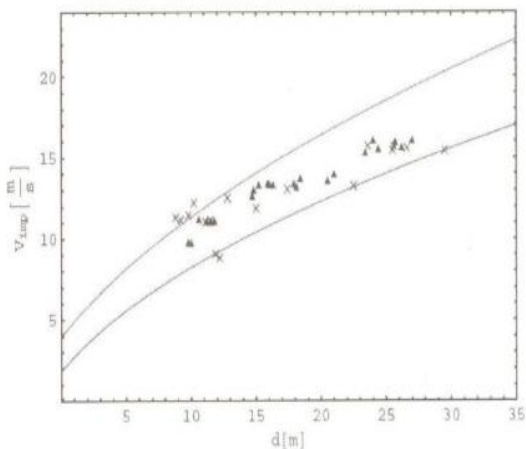


Figura 6. Comparación de los resultados empíricos y teóricos

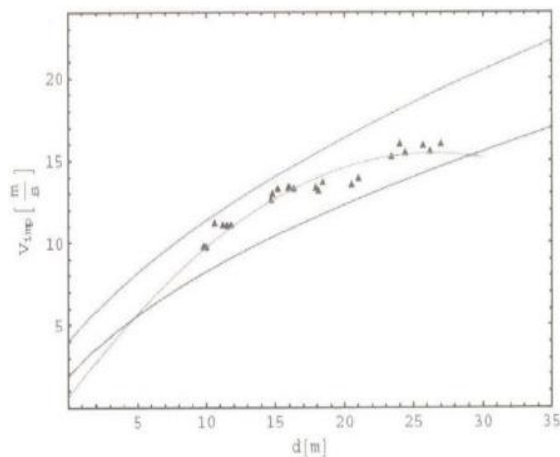


Figura 7. Superposición de gráficas en las figuras 2 y 3.

Como se posee la ecuación para cada una de estas curvas, entonces se hallaron analíticamente las coordenadas del punto de corte entre ellas, dando como resultado las coordenadas (4.68, 5.4) y (29.12, 15.3). Dichos puntos de corte definen el rango de distancias de lanzamiento, en el cual la prueba es más confiable, ya que es justamente allí donde coinciden los datos experimentales con el rango teórico. De modo que la prueba es más eficiente para el rango de distancias de lanzamiento comprendido entre 4.68 y 29.12 metros

Con el fin de definir, en términos exactos, la variación del rango de velocidades de impacto, en función de la distancia de lanzamiento, se restó la curva mínima de la máxima y la resultante se muestra en la figura 8.

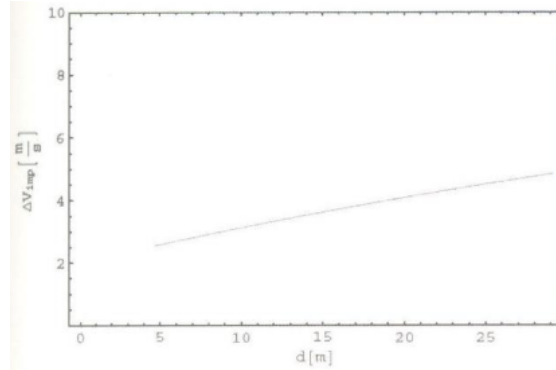


Figura 8. Resta entre la curva máxima y mínima

La gráfica tiene como ecuación:

$$\Delta V_{imp} = 3.53 + 9.81 \left(-1.21 + \sqrt{0.96 + 0.2d_l} \right) - 5.89 \left(-1.18 \sqrt{1.06 + 0.34d_l} \right)$$

Esta ecuación, permite conocer la variación del rango de velocidades, sabiendo la distancia de lanzamiento. De esta forma, el rango máximo de variación de la velocidad equivale a 17 Km/h y el mínimo a 9 Km/h. Si se desea conocer la distancia de lanzamiento que corresponde a un rango de variación de velocidad de 15 Km/h (4.17 mis), se reemplaza este valor en la ecuación (15) y se obtiene una distancia de lanzamiento correspondiente a 21.03 metros.

Esta es la distancia máxima para la cual la prueba, además de ser aplicable, cumple con las especificaciones del INMLCF en lo referente a las necesidades del cliente, las cuales se asumieron como que en ningún momento el rango de variación de la velocidad de impacto no puede superar los 15 km/h.

RESULTADOS

Se estableció el rango de variación de velocidades para cualquier distancia que se encuentre dentro del intervalo de fiabilidad; este rango crece a medida que aumenta el valor de la distancia de lanzamiento; esto ocasiona que dicha variación pueda ser de 17 Km/h en el caso menos fiable.

Se encontró una ecuación que permite hallar el rango máximo de variación de velocidad que puede contener el resultado de un análisis para una distancia de lanzamiento específica. Esto como una medida de fiabilidad previa a la aplicación de la prueba.

Teniendo en cuenta que, para el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, la importancia práctica de la validación es mostrar resultados que satisfagan las necesidades del cliente, en este caso la administración de justicia, se logró determinar el intervalo de mayor fiabilidad de aplicación de la prueba, el cual está en el rango de distancias de lanzamiento de 4.68 a 29.12 metros.

Sin embargo, el rango para la distancia de lanzamiento que satisface las necesidades del cliente se encuentra en el intervalo de 4.68 a 21.03 metros.

Se demostró que la prueba distancia de lanzamiento, de conformidad con la norma técnica Colombiana NTC - ISO - IEC 17025, es aplicable, ya que permite dar resultados que se ajustan en gran medida a las necesidades básicas que debe suplir el INMLCF en lo referente a este tipo de investigaciones.



CONCLUSIONES

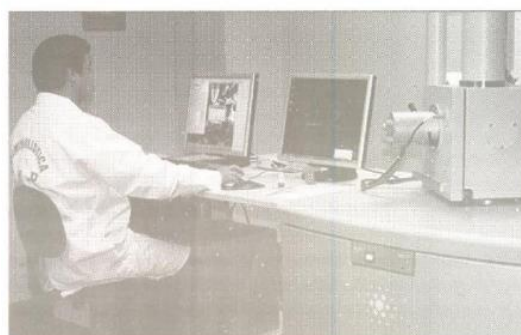
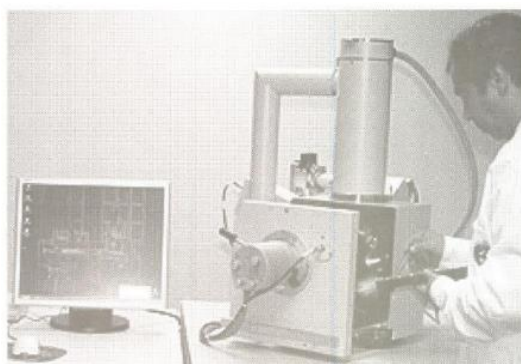
La reconstrucción analítica de accidentes de tránsito tipo vehículo peatón es un campo muy desarrollado de la física forense en algunos países, debido a que han visto la necesidad de investigar a fondo acerca de este tema, con el fin de construir vehículos más seguros y dictámenes más confiables en el campo judicial.

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 esta permite desglosar en detalle la secuencia del accidente, usando parámetros físicos medibles.

La validación de pruebas, además de ser un requisito para cumplir con la norma técnica colombiana NTC - ISO - 17025, es una estrategia completa que permite medir la fiabilidad de los métodos empleados por los laboratorios de ensayo y/o calibración.

La validación de la prueba distancia de lanzamiento permitió comprender de mejor forma el uso de esta para obtener la reconstrucción analítica de un accidente tipo vehículo - peatón, y así brindar a la sociedad una respuesta concreta en lo que se refiere a conocer la reconstrucción del hecho.

Con este tipo de trabajos de investigación en accidentes de tránsito se fortalece la incursión de entes privados tal como lo fundamenta el nuevo sistema penal acusatorio, específicamente. Dando cumplimiento al artículo 204 de su código de procedimiento penal.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Depriester J, Perrin C, Serre T., Chalandon S, Comparison of Several Methods For Real Pedestrian Accident Reconstruction, Criminal Research Institute of the French National Gendarmerie. French: National Institute for Transport and Safety Research (INRETS) Paper s.a. Number 05-0333. s.a
- [2] Lenz K, Appel H, Tarriere C. Cesari Unfall – und Sicherheitsforschung Strabenverkehr (1982) – Hel 34 Join Biomechanical Research Project KOB. Bundesanstalt fur Strabenwesen. Bereich Unfallforschung Bruher Strabe 1 Koln 51 Cap 5, Pag. 75-135. ISSN 0341 - 5732
- [3] Eubanks J, Haight W. Pedestrian Involved Trafic Collision Reconstruction Methodology, SAE 921591 s.e 2001
- [4] Simms C, Wood D, Walsh D. Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance, Department of Mechanical Engineering, I J Crash. 2004