

APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA SOLIDWORKS PARA LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE UN ACCIDENTE DE TRÁNSITO TIPO: COLISIÓN FRONTAL VEHÍCULO – PEATÓN

APPLICATION OF SOLIDWORKS ANALYTICAL TOOLS FOR RECONSTRUCTION OF TRANSIT ACCIDENTS TYPE: COLLISION FRONTAL VEHÍCULO - PEDESTRIAN

MSc. (C) Malka Irina Cabellos Martínez ^a, Ing Eduar Ernesto Pérez Rojas^b, MSc. (C) Gustavo Guerrero Gómez ^c

^a**Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.** Facultad Ingenierías. Grupo de Investigación INGAP. Sede Algodonal, Vereda el Rhin. Ocaña. Norte de Santander. Colombia.
Tel. 57 3183361152 micabellosm@ufpso.edu.co

^b**Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña** Facultad Ingenierías. Grupo de Investigación INGAP. Sede Algodonal, Vereda el Rhin. Ocaña. Norte de Santander. Colombia
Tel. 57 3183881498. ceperezr@ufpso.edu.co

^c**Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.** Facultad Ingenierías. Grupo de Investigación GITYD. Sede Algodonal, Vereda el Rhin. Ocaña. Norte de Santander. Colombia.
Tel. 57 3017344919. gguerrerog@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 13-05-2016

Fecha de aprobación: 03-12-2016

Resumen: el presente trabajo permite intuir los ilimitados alcances de la aplicación de la física en el ámbito forense, para introducir en el análisis de la investigación de un siniestro vial, técnicas computarizadas de simulación que se derivan de un riguroso estudio del siniestro concreto, para obtener detalles específicos en lo referente a los parámetros físicos del vehículo y del peatón involucrados en el accidente tales como: velocidad, aceleración, energía cinética y el desplazamiento. La reconstrucción del accidente vehículo - peatón, para el caso frontal, requiere de un análisis detallado de todos los parámetros que tienen incidencia en el evento, dicho análisis se muestra a través de una simulación virtual realizada en solidwork 2014 en donde estas simulaciones no sustituyen a las pruebas físicas de choque, pero en ella se evalúa con más precisión la dinámica del vehículo y la del peatón con respecto a su centro de masa. A través de esta herramienta se analizan gráficos en el tiempo correspondiente a velocidad, aceleración, desplazamiento y energía cinética que permite confrontar los daños en el vehículo y las lesiones en el peatón con su comportamiento dinámico, además la simulación virtual permite

profundizar en el grado de deformidad de la estructura del automóvil y como afecta éste sobre la aparición de lesiones en los peatones, además sí constituyen la única opción práctica para probar el gran conjunto de evaluaciones de comportamiento frente a seguridad que se necesitan.

Palabras clave: modelo simulación, desplazamiento, energía, aceleración, velocidad, colisión, reconstrucción, peatón.

Abstract: This paper gives some idea of the unlimited scope of application of physics in the forensic field, to introduce into the analysis of road casualty investigation, computer simulation techniques that are derived from a rigorous study of the particular incident for details specific regard to the physical parameters of the vehicle and pedestrian involved in the accident such as: speed, acceleration, kinetic energy and displacement. The reconstruction of the accident vehicle - pedestrian, for the frontal case, requires a detailed analysis of all parameters that impact the event, this analysis shows through a virtual simulation conducted in 2014 solidwork where these simulations do not replace physical evidence of shock, but it more accurately assesses the dynamics of vehicle and pedestrian with respect to its center of mass. through this tool-analyzed time graphics for speed, acceleration, displacement and kinetic energy that allows confronta-tion in the vehicle damage and injuries in the pedestrian with the dynamic behavior, as well as per-virtual simulation further allows the degree of deformity of the car structure and how it affects the appearance of pedestrian injury, also is the only practical option to test the large set of assessments to address behaviors that need security.

Keywords: simulation, displacement, energy, acceleration, velocity, colition, reconstruction, pedestrian.

1. INTRODUCCIÓN

La actualidad las muertes por accidentes de tránsito se han hecho más comunes y la impunidad pasó a ser parte fundamental de las estadísticas de accidentología vial. Las legislaciones han incluido en sus códigos penales, sanciones a los responsables de las lesiones, muertes y perjuicios ocasionados por accidente de tránsito. Los casos judiciales se incrementaron en gran medida, buscando 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

testigos eran la única evidencia, que por ser subjetiva no daba un aporte conciso al caso. Ante este panorama, la reconstrucción analítica se presentó como un alternativa en el esclarecimiento de la investigación de accidentes de tránsito.

Según Fuentes, J. L., Rojas Reina, J. W., & Cabellos Martínez, M. I. (2008) cuando ocurre un accidente de tránsito en el que se producen lesiones y/o muertes en personas, la En reconstrucción del accidente sigue siendo una de las pruebas más objetivas a la hora de aclarar los hechos, esto ha obligado a que se desarrolle ampliamente esta rama

de la mecánica clásica, colocando como expositor principal a Alemania seguido de Estados Unidos, luego extendida poco a poco por el resto del mundo. En la actualidad, las estadísticas mundiales manifiestan que aproximadamente el noventa por ciento de todos los accidentes de tráfico tienen origen en factores humanos. 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, en el año 2002 se registraron 128.908 muertes en choques de tránsito en el continente. Más del 76 por ciento 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.

Según Ruiz, P. (2008) 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, ambiental o vehicular. De acuerdo a estadísticas reportadas por la Organización Mundial de la Salud, O.M.S. más de 1.2 millones de personas mueren en las autopistas y carreteras del mundo cada

año, afectan a todos los grupos de edad, pero de forma más destacada a los jóvenes: son la primera causa de mortalidad a nivel mundial en la franja de 15 a 29 años. Aunque en muchos países de ingresos altos las tasas de mortalidad por accidentes de tránsito se han estabilizado o han disminuido en los últimos decenios, los datos disponibles llevan a pensar que en la mayoría de las regiones del mundo están aumentando de resultas del rápido incremento de la motorización y de la insuficiencia de las actividades de prevención. Se ha estimado que, a menos que se tomen medidas inmediatas, las muertes en carretera aumentarán hasta convertirse en la quinta causa de muerte para 2030, con unos 2,4 millones de defunciones anuales.

Según datos reportados por el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses de acuerdo a casos y tasas de accidentes de tránsito, según departamento y municipio (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”

La reconstrucción de accidentes de tránsito es un campo muy estudiado a nivel mundial, los métodos usados son varios, desde la misma experimentación, pasando por técnicas computarizadas de simulación, hasta las más complejas reconstrucciones teóricas. Estos métodos se desarrollan con

base en la información proveniente de los laboratorios especializados en colisiones. El análisis físico y matemático de un Accidente de Tránsito requiere de estudios teóricos que pueden ser apoyados con herramientas computarizadas que permitan facilitar la búsqueda y cálculo de los parámetros físicos involucrados. La presente investigación describe la utilidad del diseño asistido por computador (CAD) y los elementos finitos asistidos por computador (CAE) en el proceso de Reconstrucción de Accidentes de Tránsito.

En el proceso de Reconstrucción de Accidentes de Tránsito es fundamental proporcionar parámetros fundamentales involucrados como daños en el Vehículo, información de la escena (croquis), lesiones personales, dinámica del Vehículo, Software para la simulación virtual del accidente. Dentro del análisis de leyes físicas que explican la colisión se describen magnitudes como la velocidad del impacto de las partes involucradas, energía de absorción, entre otros; es decir se requiere hacer un análisis dinámico de las variables involucradas en el hecho.

Para lograr lo anterior, se requiere la documentación del lugar de los hechos, tales como documentación fotográfica y/o video gráfica, fijación topográfica y de huellas. Además, una vez proporcionadas las lesiones personales y los daños del vehículo se inicia el proceso de reconstrucción articulando la información entregada con las leyes físicas, la dinámica del vehículo involucrado y las técnicas computarizadas. Contar con herramientas tales como CAD (Dibujo Asistido por Computador) y CAE (Elemento Finitos Asistido por Computador), permite dinamizar y realizar de manera más efectiva el proceso de

reconstrucción ya que un software como solidwork, proporciona el análisis dinámico de variables, análisis de deformaciones en el vehículo involucrado.

Según Illescas, P. (2009) la Reconstrucción Analítica básicamente consiste en la experimentación con dummies de características similares a los humanos y vehículos de la época a los cuales se les somete a diversas pruebas controladas de colisión mutua, que al ser llamados y analizados de forma minuciosa, permiten identificar los diversos parámetros involucrados en un accidente real y así establecer las expresiones y coeficientes físicos que intervienen en los casos reales.

2. METODOLOGÍA

Para la presente investigación se plantea un análisis comparativo de un modelo físico por método de elementos finitos de un análisis dinámico mediante SOLIDWORK 2014, que permite reconstruir las fases de un accidente de tránsito vehículo – peatón, proporcionando a partir de la simulación virtual, la información de las velocidades, aceleraciones y energía cinética del vehículo y del peatón teniendo como parámetro el modelo teórico desarrollado para la comprensión del accidente.

La figura 1 muestra las diferentes imágenes que se obtienen de la simulación realizada con la herramienta para la comprensión de la secuencia en la que se desarrolló la escena en el hecho.



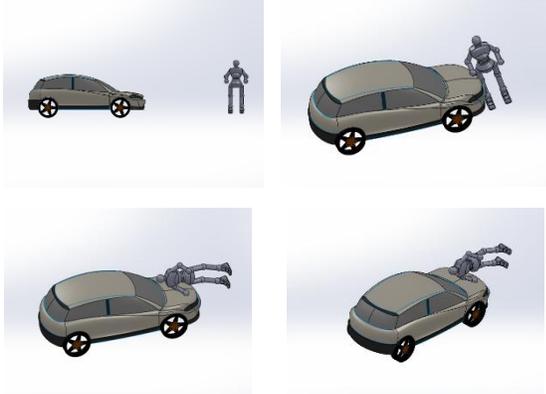


Figura 1. Imágenes suministradas de la simulación del Accidente de Tránsito por la herramienta Solidwork 2014.

Fuente. Investigadores del proyecto

Para describir las fases del accidente en la herramienta Solidwork 2014 es necesario conocer los siguientes parámetros físicos, que son el resultado del análisis teórico realizado por el reconstruccionista del accidente:

De acuerdo a lo estipulado por Damask, A. C. (1987) los componentes actuantes de tiempo de contacto es por un tiempo medio de 0.4s – 0.8s entre el vehículo y el peatón. En la simulación de la fase de contacto, se indica en la herramienta solidwork su valor. Además, se elige tipo de material para el Dummy y el vehículo en la herramienta, en este caso: Aluminio 1060 para el vehículo y para el dummy plástico/pc alta viscosidad.

Como complemento al registro de datos, se suministra la altura al centro de masa y la masa del peatón.

Por último, se digita en la herramienta el valor de la fuerza en el vehículo. Para digitar en Solidwork la magnitud de la Fuerza en el vehículo (F_v), se requiere aplicar un modelo

físico descrito a continuación que explica el análisis dinámico enmarcado dentro de la mecánica clásica para la reconstrucción analítica del accidente, como herramienta básica, ya que permite describir por medio de un sistema analítico cada una de las fases presentes en la colisión vehículo – peatón.

Para este modelo físico según Limpert, (1999) 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 desplaza en el momento de la colisión con una velocidad conocida como Velocidad de Impacto (V_{imp}). Según Martínez, H. M., & Landinez Tellez, D. A. (2006) la velocidad de impacto de un vehículo a un peatón se encuentra a partir de la distancia de lanzamiento que recorre el peatón desde el momento del impacto hasta que el se detiene.

Otros modelos físicos para velocidades de impacto como el descrito por Enciso, G. A. (2000) define que una vez conocida la velocidad de impacto en la colisión, es posible analizar la deformación correspondiente en el vehículo para cada velocidad.

Para el tipo de accidente que se ha descrito, se desea conocer es la desaceleración que experimentó el vehículo en el proceso de frenada, esta se calcula a continuación:

Según Rojas Reina, J. W., & Cabellos Martínez, M. I. (2006) la figura 2 muestra el diagrama de fuerzas en el vehículo durante el proceso de frenado. Realizando un análisis dinámico al fenómeno físico planteado, se tiene que la fuerza de fricción en las llantas del vehículo está dada por:

$$F_{fv} = \mu_v N \quad (1)$$

donde μ_v 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,

$$N = m_v g \quad (2)$$

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

$$F_{fv} = \mu_v m_v g \quad (3)$$

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

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

donde m_v es la masa del vehículo y a_v es la magnitud de la desaceleración en el vehículo:

Ahora, igualando (3) y (4) se obtiene una expresión que permite analizar la desaceleración en el vehículo:

$$a_v = \mu_v g \quad (5)$$

Donde μ_v es el coeficiente de rozamiento llantas; y g es la aceleración de la gravedad.

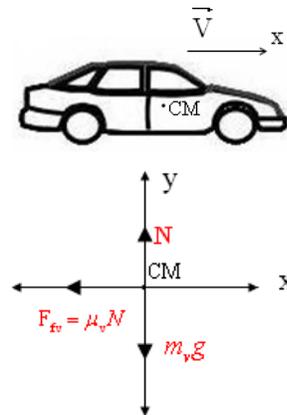


Figura 2. Diagrama de fuerzas en el vehículo

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, a partir de la siguiente expresión se determina la aceleración del vehículo en el proceso de frenado:

$$a_v = \frac{v_f^2 - v_{imp}^2}{2d} \quad (6)$$

Una vez conocida la aceleración en el proceso de desaceleración se aplica la Segunda ley de Newton, citada a continuación: $F_v = m_v a_v \quad (7)$

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 máximo en un vehículo que realiza un número específico de revoluciones por minuto (rpm), a partir de la siguiente expresión:

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{f} \quad (8)$$

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

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.

La herramienta Solidwork proporciona la simulación a la colisión, pero el software muestra datos importantes en lo referente al vehículo y al peatón.

A continuación, se describe el análisis gráfico que permite realizar solidwork para un accidente de tránsito descrito de la siguiente forma: Un automóvil se desplazaba por una vía y el peatón lo hacía aproximadamente transversal a la vía en sentido oriente – occidente produciéndose la colisión en cierto lugar de la calzada.

La reconstrucción analítica realizada para un accidente de esta clase puede mostrar por ejemplo los siguientes resultados:

Velocidad de impacto 50km/h Velocidad al inicio del proceso frenada 115km/h Distancia recorrida desde el inicio de la huella hasta que se presentó la colisión 49m

Masa promedio para un vehículo tipo ligero 1000kg

Al reemplazar estos datos en las ecuaciones (6) y (7) se obtiene que la fuerza del vehículo para esta colisión es de 8443,97N.

Al ingresar estos datos a solidwork 2014 y considerando un peatón de altura 169 cm se obtienen el análisis dinámico para la colisión a través de las gráficas de desplazamiento, velocidad, aceleración y energía cinética para el peatón y las gráficas de desplazamiento y energía cinética para el vehículo.

Para el peatón como se observa en las figuras 3 y 4 la herramienta proporciona un rango para el desplazamiento del peatón ubicando su origen en el punto de impacto hasta 15.68 m.

Y un rango en la variación de la velocidad del peatón con respecto a su centro de masa para las zonas de contacto, lanzamiento y arrastre en el peatón, con una velocidad máxima de 28.48m/s, en consecuencia la energía máxima en el peatón con respecto a su centro de masa es de 0.17J.

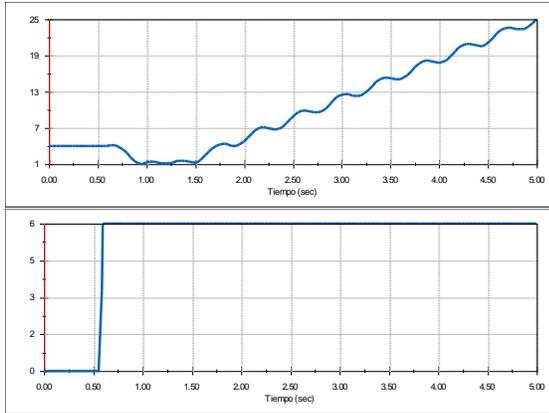


Figura 3. Desplazamiento y Velocidad del centro de masa del peatón con respecto al tiempo.

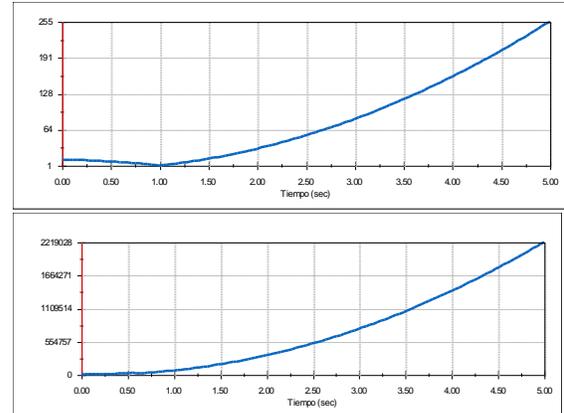


Figura 5. Desplazamiento y Energía Cinética del vehículo con respecto al tiempo.

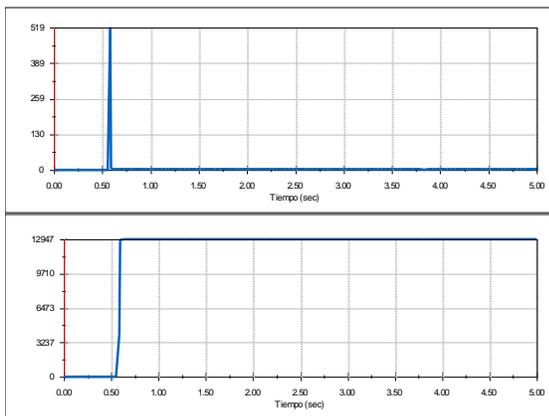


Figura 4. Aceleración y Energía Cinética del peatón con respecto a su centro de masa.

Las gráficas mostradas en la figura 5 permiten analizar el movimiento desacelerado del vehículo durante el proceso de frenado ya que el desplazamiento del vehículo en la medida en que el tiempo transcurre, varía en el rango desde 0 m ubicado en el inicio de frenado hasta 46.62m.

Además se observa que la energía cinética del vehículo cambia en función del tiempo con un comportamiento cuadrático con un valor máximo de 68673kJ.

3. RESULTADOS

Se estableció que al realizar la simulación de un choque frontal vehículo - peatón con el software solidwork 2014 se recogen multitud de datos que, posteriormente, se valoran para establecer el alcance de los cálculos realizados en la reconstrucción analítica del accidente, teniendo en cuenta la correlación con los daños en el vehículo y las lesiones en el peatón.

Además, la herramienta permite realizar la reconstrucción de la colisión vehículo – peatón a través de una simulación virtual, con los parámetros de cómo se mueven los cuerpos, ya sean estos movimientos variado o no, resulta de máxima importancia en el momento de la animación de los elementos dibujados en escena, pues si lo que se quiere es reproducir virtualmente el hecho, necesariamente este debe confeccionárselo con la realidad del movimiento con que fue desarrollado.

Los parámetros físicos proporcionados en la herramienta tales como desplazamiento, velocidad, aceleración, energía cinética en tiempos específicos permite minimizar los errores cometidos a la hora de realizar la reconstrucción analítica; ya que es de suma importancia analizar las curvas a la hora de evaluar la veracidad y coherencia del accidente, del mismo modo la herramienta permite analizar el movimiento, al tratarse de un móvil, las gráficas explican el comportamiento dinámico del cuerpo a lo largo del tiempo y se puede observar que este representa el movimiento rectilíneo desacelerado del objeto. Así como también permite profundizar en el análisis de la dinámica del peatón en las fases de la colisión, zona de contacto, lanzamiento y arrastre.

La tarea de Reconstrucción concluye, cuando se procesa cada imagen vectorial, con sus respectivas propiedades y respectivas posiciones, en un rango de tiempo seleccionado, con una determinada longitud; donde se reproduce la dinámica de los hechos investigados previamente. Pero realizar esta última tarea, requiere de un estudio preliminar de definición en tiempo y espacio, de cada objeto que se infiere estuvo en movimiento en la consumación del hecho. Lo que implica conocer la dinámica de los mismos, para solo después de esto, distribuir en el espacio y tiempo todos y cada uno de los objetos relevantes del hecho.

Las técnicas de Reconstrucción Virtual, aplicadas a la investigación de siniestros viales, según Enciso (2000) constituyen

“en la actualidad una de las herramientas tecnológicas más importantes dentro de las ciencias forenses y de la Accidentología. Y esto debido a que justamente, por medio de ésta tecnología es posible recrear ante los ojos, el medio perceptivo más importante, distintas inferencias de cómo se sucedieron los acontecimientos del siniestro que está siendo investigado”.

4. CONCLUSIONES

Se establece que al realizar la simulación de un choque empleando herramientas computarizadas, se recogen multitud de datos que, posteriormente, se valoran para establecer el alcance de los cálculos realizados en la reconstrucción analítica del accidente, a partir del análisis de relación que se aplica a los daños en el vehículo y las lesiones en el peatón.

Los resultados de los cómputos esperados se realizaron enmarcados en dar al reconstructor, a través del uso de la herramienta Solidwork, la posibilidad de calcular parámetros físicos concretos en el proceso de reconstrucción de un accidente de tránsito, tales como: análisis croquis, de energía, deformaciones, velocidad, aceleración y distancias recorridas de los elementos involucrados en la escena.

BIBLIOGRAFÍA

Damask, A. C. (1987). *Forensic Physics of vehicle Accidents* . Physics

Today.

Enciso, G. A. (2000). *Reconstrucción Virtual de Accidentes (Re. V. A. T) - Reconstrucción Virtual de Hechos Criminizables*. Catamarca: Universidad Nacional del Nordeste (U.N.N.E).

Fuentes, J. L., Cabellos Martínez, M. I., & Rojas Reina, J. W. (2008). Validación de la prueba distancia de lanzamiento para la Reconstrucción analítica de la colisión automóvil - peatón. *Ingenio*.

Illescas, P. (2009). *Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera*. Madrid, España: Universidad Carlos III De Madrid Escuela Politecnica Superior Departamento De Ingeniería Mecánica.

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

Martínez, H. M., & Landinez Tellez, D. A. (2006). Determinación de la velocidad de colisión de un vehículo a un peatón a partir de la distancia de lanzamiento del peatón. *Revista de la sociedad Colombiana de Física*, 2 (38), 878 -881.

Rojas Reina, J. W., & Cabellos Martínez, M. I. (2006). *Validación de la prueba: distancia de lanzamiento para la reconstrucción analítica vehículo - peatón*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Ruiz, P. (2008). *Forensis- Datos para la Vida*. Bogota : Instituto Nacional de Medicina Legal y ciencias Forenses. entro de referencia Nacional sobre violencia.