



Revista de Ciencias Forenses de Honduras

ISSN: 2412-8058

ISSN: 2413-1067

revistacienciasforenseshnd@gmail.com

Dirección de Medicina Forense de Honduras  
Honduras

Torres Zúniga, Vicente

Video-análisis por software-libre para obtener la velocidad de un automotor al impactar a un peatón

Revista de Ciencias Forenses de Honduras, vol. Vol. 3, núm. 1, 2017, -Junio, pp. 10-18

Dirección de Medicina Forense de Honduras

Honduras

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

# Video-análisis por software-libre para obtener la velocidad de un automotor al impactar a un peatón

## Video-analysis via freeware to obtain the impact speed in a vehicle-pedestrian collision

Dr. Vicente Torres-Zúniga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura de Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México

Correspondencia a: [vicentz@gmail.com](mailto:vicentz@gmail.com)

### REFERENCIA

Torres-Zúniga V. Video análisis por software libre para obtener la velocidad de un automotor al impactar a un peatón. Rev. cienc. forenses Honduras. 2016; 2(2): 10-8.

### El autor declara que no hay conflicto de intereses.

Este trabajo recibió financiamiento de la Universidad Nacional Autónoma de México mediante el proyecto UNAM-PAPIME-PE107216, se agradece el financiamiento.

**RECIBIDO:** Marzo 2017

**ACEPTADO:** Abril 2017

### RESUMEN

Actualmente se encuentran disponibles en internet una serie de herramientas digitales cómodas y de sencilla adquisición que permiten realizar análisis de muy alta calidad y confiabilidad, en relación a los métodos de análisis tradicionales o más difundidos en la literatura estándar, programas de cómputo para obtener parámetros y hasta realizar reconstrucciones virtuales. Sin embargo, tales herramientas requieren de mayor difusión entre la comunidad científico-forense, por lo que proponemos la utilización de *Tracker* –un software-libre, robusto y multiplataforma como herramienta para analizar videograbaciones de interés forense, en particular en hechos de tránsito. Para ello nos

apoyamos en el estudio de una videograbación que muestra el atropellamiento de un peatón, quien es lanzado después de rodar sobre el cofre y parabrisas del vehículo. Explicamos cada una de las etapas del análisis hasta obtener la velocidad de impacto del vehículo: ~54 km/hr. Contrastamos esta información con un modelo virtual y con cinco ecuaciones teóricas, obteniendo una alta concordancia entre las cotas calculadas. Con el aumento cotidiano de videograbaciones y la popularización de los medios para observarlas, este software representa una herramienta adecuada para calcular parámetros físicos, pues permite la contrastación y el desarrollo de teorías en casos forenses particulares.

### PALABRAS CLAVE

Hechos de tránsito, Software libre, Peatón, Física, Cálculo de velocidad, Video-Análisis, *Tracker*.

### ABSTRACT

This is a propose to apply *Tracker* -a freeware, robust and cross-plataform software- as a tool to analyze video recordings of forensic interest, particularly in vehicle crash investigations. For this, we studied a videotape that shows a pedestrian hit by a car. The victim was thrown after rolling on the car-hood and car-windshield. Each analysis stage is shown until obtaining the impact speed of the vehicle: ~ 54 km / hr. We contrast this information with a virtual model and with five theoretical

equations. A high concordance between the calculated figures and the measured datum was obtained. With the daily increase of video recordings and the popularization of the means to observe them, this software represents an adequate tool to calculate physical parameters, as it allows the contrast and the development of theories in particular forensic cases.

#### KEYWORD

Motor vehicle accidents, Free software, Pedestrian, Physics, Velocity calculation, video analysis, *Tracker*.

#### INTRODUCCIÓN

El aumento de videocámaras de vigilancia en la vía pública es una tendencia internacional<sup>1-3</sup>. La presencia de estos dispositivos conlleva un efecto colateral: la fijación de eventos de índole forense, como es el caso de hechos de tránsito. Este elemento está aunado a otra tendencia contemporánea, una creciente disponibilidad de videograbaciones por internet. La conjunción de estos fenómenos representa una oportunidad para obtener datos de interés criminalístico; que se pueden contrastar ante teorías previas y aportar en el proceso de obtención de información para mejorar análisis inductivos.

Existen varios ejemplos de videograbaciones históricas (públicamente disponibles) de temática forense. Algunos casos icónicos son: la caída del puente de Tacoma Narrows en EEUU (1940)<sup>4</sup>, el magnicidio de J.F. Kennedy en EEUU (1963)<sup>5</sup>, la muerte de Teresa Rodríguez en Argentina (1997)<sup>6</sup>, la caída del WTC en EEUU (2001)<sup>7</sup>. Originalmente, estos films estaban restringidos para los medios de comunicación o algún gobierno, y se estudiaban mediante procesos híper-especializados y sofisticados. Ahora estos materiales multimedia pueden ser analizados con herramientas digitales cómodas y de sencilla adquisición; algunas se encuentran disponibles por Internet, facilitando el análisis de todos estos videos. Sin embargo, tales herramientas requieren más difusión entre la comunidad científico-forense.

La pericial de hechos de tránsito es una de las especialidades más beneficiada del video análisis. De hecho, en el contexto global, las heridas producidas en hechos de tránsito son la primera causa de muerte entre jóvenes de 15 a 29 años<sup>8</sup>. En Latinoamérica existe información puntual sobre su relevancia. Por ejemplo: en República Dominicana, se estima que por cada 100,000 habitantes, 29.3 morirán a causa de un hecho de tránsito; mientras que en Brasil serán 23.4, en Bolivia: 23.2; El Salvador: 21.1, Paraguay: 20.7, Ecuador: 20.1, Guatemala: 19, Honduras: 17.4, México: 12.3, solo por mencionar algunos países. Ante tal panorama, la reconstrucción mecánica de hechos de tránsito es un tema forense contemporáneo y trascendental; donde obtener la velocidad del impacto es crucial para desarrollar una reconstrucción verosímil. Si bien existen programas de reconstrucción virtual, y fórmulas empíricas para estimar la velocidad en la colisión a partir de mediciones del lugar de la investigación, nos encontramos en un momento de transición, donde se puede utilizar videos para obtener directamente la velocidad de impacto.

Este trabajo ejemplifica la utilización de un software-libre para calcular la velocidad de impacto en un hecho de tránsito fijado en video. Mostramos como obtener la velocidad de un vehículo al golpear a un peatón, y contrastamos esta información por otros medios: la literatura estándar, la reconstrucción virtual y el cálculo por medio de fórmulas empíricas.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

##### Video-análisis

Con la intención de que los ciudadanos cooperaran en las investigaciones de un hecho de tránsito, la policía de Sussex, al sur de Inglaterra, compartió públicamente un video que muestra un automóvil Fiat-500 arrollando a un peatón<sup>9</sup>. La videograbación corresponde a un circuito de televisión cerrado (por sus siglas en inglés: CCTV). De acuerdo con los datos de la policía, los hechos acontecieron en Montague

Place en Kemptown área de Brighton; el video registra la hora alrededor de las 15:34 hrs, con fecha de 14 de enero del 2016.

La videograbación es adecuada para realizar un análisis de la velocidad y aceleración del vehículo, pues su traslación se aproxima a una línea recta, paralela al plano de la cámara. Sin embargo, las imágenes requieren previas correcciones de campo, perspectiva y la localización de patrones métricos. Entonces, con el propósito de comenzar el análisis de las imágenes, descargamos el video a una computadora personal, empleando el sitio de internet SaveFrom<sup>10</sup>. Para analizar el video utilizamos el software de distribución libre: *Tracker*<sup>11</sup>, el cual fue programado en el lenguaje JAVA, lo que le permite ejecutarse en toda clase de computadoras (indistintamente si cuentan con sistema operativo *Windows, Linux o MacOS*). *Tracker* fue inicialmente diseñado como un programa para complementar la didáctica experimental en las asignaturas de física mecánica; pues cuenta con funciones y controles para registrar manual o automáticamente el movimiento de píxeles asociados a secciones de masas puntuales y extendidas. La flexibilidad del programa le permite realizar correcciones de videos con bajo contraste, efectos de perspectiva, y distorsiones de campo, como los que generalmente, producen las lentes de cámaras de vigilancia. Incluso se pueden realizar correcciones en situaciones donde la cámara muestra movimientos y efectos de zoom. En la literatura sobre didáctica de la física se ha sugerido utilizar *Tracker* para analizar videograbaciones con cercanía al objeto de estudio forense, como puede ser la trayectoria de un proyectil sometido al arrastre de un fluido<sup>12</sup>, entre otros ejemplos. Sin embargo, siempre se ha propuesto el uso de este software desde el punto de vista puramente educativo. En este trabajo, planteamos que esta herramienta es adecuada también desde la perspectiva forense.

Después de cargar el video en el programa *Tracker*, realizamos las siguientes acciones, las

cuales también documentamos en un video disponible en Internet<sup>13</sup>:

1) Demarcación de los cuadros de interés. Seleccionamos las imágenes que abarcan entre un momento antes del contacto vehículo-peatón hasta cuando sale de escena el vehículo; esto dentro del intervalo de *frames*: 963-1064.

2) Corrección de la distorsión radial. Se determinó que el efecto de distorsión de la lente es "tipo barril", abarca 130 grados y cubre un 50% del campo. Así, después de aplicar la función inversa de la distorsión, la imagen del dintel de la puerta se transformó de una curva a una recta vertical.

3) Corrección del efecto de perspectiva. Con el propósito de obtener una vista donde el movimiento del vehículo sea perpendicular al plano de la cámara, se marcaron las esquinas de un cuadrilátero, utilizando los dos extremos formados por la línea de circulación vial y limitados (visualmente) por el dintel de la puerta; así como los dos extremos definidos por la marquesina del edificio frente a la cámara, también son limitados por el dintel de la puerta. Arquitectónicamente, supusimos que estas dos líneas son paralelas, en aprox. 10 m. Para nuestro estudio esta distancia de trabajo es adecuada. Además, el impacto entre vehículo-peatón sucede sobre la línea vial. En resumen, durante el contacto, la colisión del auto-peatón es paralela al plano de la cámara. La **figura 1(A)** muestra la imagen original sin corrección radial y de perspectiva, mientras que la **figura 1(B)** el efecto de los dos filtros.

4) Colocación del eje coordenado. Marcamos como punto de origen la esquina inferior derecha, sobre la línea blanca de circulación. De modo que el eje-y es paralelo a una orilla de la puerta, y el eje-x se encuentra contenido en el plano de la corrección de perspectiva. Debido a que la cámara de circuito cerrado es fija, las correcciones de posición de ejes coordenados o zoom fueron innecesarias.



**Figura 1:** (A) Imagen original sin correcciones de campo ni perspectiva. (B) Imagen morfológicamente corregida. La circunferencia (en color verde) marca el área transformada por efecto de campo; mientras que el perímetro del rectángulo (en color rojo) delimita el área rectificada por la perspectiva.

5) Ajuste del tiempo del video. Originalmente, la secuencia de *frames* es más lenta en el CCTV que en el multimedia digital compartido por la policía. El análisis se realizó cada dos cuadros del video. Es decir, el tiempo inicial entre cuadros era de 0.033 s, se corrigió a 0.066 s. Esta acción evitó registrar datos sin traslación pixelar.

6) Determinación de testigos métricos. Ante la falta de patrones formales que permitan transformar el número de píxeles a unidades métricas, se procedió a localizar en el video objetos con tamaños estándar. En este caso, se utilizó la longitud del vehículo Fiat-500 para realizar la calibración: 3.546 m. Pues estos vehículos son un producto de fabricación en serie, con precisión superior al centímetro<sup>14</sup>. Durante el video, el vehículo se encuentra en posición cuasi-paralela por lo cual se utilizó como testigo métrico. Con el propósito de verificar la conveniencia de esta vara de calibración, se midió la estatura del peatón.

Marcando la altura desde la cabeza hasta la punta del talón –con la pierna en posición recta, se obtuvo una longitud de 1.9 m. La **figura 2** muestra la escena donde se determinó la estatura del peatón, también exhibe el patrón métrico (sin vehículo). Finalmente, por medio de una comunicación personal con la policía de

Sussex, comparamos que el registro oficial y nuestra medida son congruentes en 95%.

7) Adquisición de datos. Manualmente se registraron los datos del vehículo en movimiento, marcando la esquina entre el parabrisas y el auto. Obteniendo seis datos de posición en función del tiempo.

Después de este proceso, los datos recabados pueden ser analizados y comparados con un marco teórico de hechos de tránsito.

#### Reconstrucción virtual

Con el fin de reproducir virtual y cualitativamente el hecho de tránsito, utilizamos el software: *VirtualCrash-315*. Al programa introdujimos valores geométricos como la estatura del peatón y el modelo del automóvil. Sin embargo, otros parámetros se estimaron, como la masa de los cuerpos, por ejemplo.

Montando los objetos en las posiciones iniciales, ajustamos la velocidad del peatón a 0 km/hr, mientras que la vehicular alcanzó los 54 km/hr. No obstante, para el objetivo del presente artículo, solo utilizamos esta información como un medio cualitativo para observar la mecánica del atropellamiento.



**Figura 2.** Escena donde se midió la estatura del peatón. Se muestra la vara de calibración (sin vehículo) y la cinta de medición en color azul.

### Cotejo teórico-analítico

En una trayectoria puramente parabólica, el centro de masa de un cuerpo requiere una velocidad inicial mínima  $V_{min}$  para poder alcanzar una distancia  $X$ , desde una altura  $Y$ , su relación matemática se puede escribir como<sup>16</sup>:

$$v_{min}(X, Y) = \sqrt{g(Y + \sqrt{X^2 + Y^2})}. \quad 1$$

Efectivamente, la relación no descarta la existencia de velocidades iniciales superiores a  $V_{min}$ , con los mismos valores de  $X, Y$ . Sin embargo, se establece la cota mínima para alcanzar tales dimensiones. Por otro lado, en la literatura se pueden encontrar variadas propuestas de ecuaciones para determinar la velocidad de impacto de un vehículo  $V_t$ . Lamentablemente, tales planteamientos son ecuaciones empíricas con parámetros numéricos solo aplicables a casos muy específicos; o bien, son teorizaciones donde al menos una variable resulta inconmensurable del análisis del lugar de investigación. Generalizando, estas ecuaciones suelen presentarse con la siguiente forma:

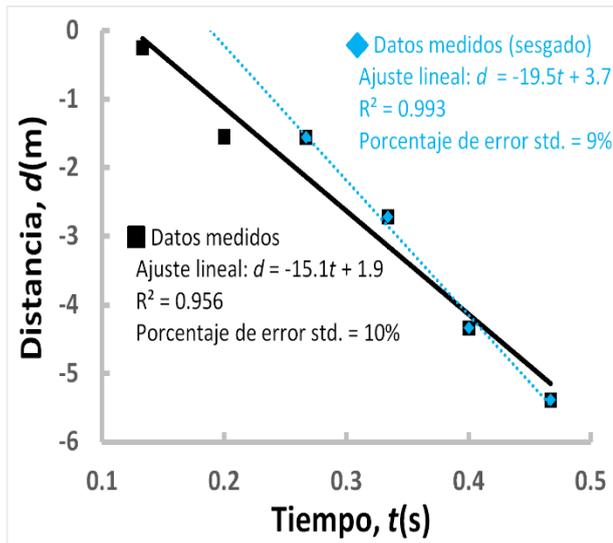
$$V_t(X) = A(X + B)^C + D \quad 2$$

donde  $X$  es la longitud entre el punto de impacto y el punto donde finalmente se localizó el cuerpo; mientras que  $A, B, C$  y  $D$  son parámetros numéricos. En el fondo, estas propuestas consideran que el impacto sucedió sobre el centro de masa del cuerpo, al perderse el contacto vehículo-cuerpo, presenta una trayectoria parabólica, con rebotes y fricción cinética (deslizamiento) entre superficies. Sin embargo, toda esa información se encuentra latente en la ecuación 2. Para este trabajo realizamos una comparación con la información del video con las ecuaciones de velocidad máxima de impacto de Wood<sup>17</sup>, Torr<sup>17</sup>, Lie<sup>18</sup> y Harpel<sup>19</sup>.

### **RESULTADOS**

En la **figura 3** se muestra la gráfica de *Distancia vs. Tiempo* con los seis datos obtenidos del movimiento del vehículo video grabado. Estos datos fueron adecuados para realizar un ajuste lineal, pues presentan una alta correlación (cercana al valor ideal: uno) y baja desviación estándar (alrededor del 10%). Con todo, si se eliminan los dos datos más desviados del ajuste preliminar, encontramos

una ligera mejoría en la correlación, y en la desviación estándar. Descartar más datos para obtener un ajuste más representativo sería estadísticamente inadecuado.



**Figura 3.** Ajustes lineales (método de mínimos cuadrados) de los datos medidos en video. La pendiente del modelo lineal con seis datos es menos pronunciada que al utilizar solamente cuatro puntos. De modo que la velocidad, que representa la pendiente mínima calculada es de aprox.  $V_m = 54.4$  km/hr.

Debido a que los datos  $d/t$  se ajustan adecuadamente por una línea recta, podemos teóricamente interpretar que la pendiente representa a la velocidad en un movimiento rectilíneo uniforme. Es decir, con base a las mediciones, descartamos la presencia de aceleración durante el movimiento en el intervalo de 0.4 s. De este modo, encontramos que el intervalo de velocidad del vehículo se encuentra entre 15.1-19.6 m/s con un error máximo del 10%. Es decir. La velocidad medida mínima del vehículo es:

$$V_m = 54.4 \text{ km/hr.}$$

#### Comparación virtual

La **figura 4** exhibe dos capturas de pantalla del programa *VirtualCrash-3* donde se realizó la reconstrucción virtual. En la **figura 4(A)** se muestran las tres vistas (una de perspectiva, una lateral y una cenital) al momento del contacto vehículo-peatón. Complementando,

a un tiempo posterior de la figura previa, la **figura 4(B)** presenta al peatón sobre el cofre y parabrisas. Este resultado lo consideramos únicamente cualitativo, su propósito es observar congruencia con el video mostrado. Más aún, en la literatura se afirma que efectos como el fijado en el video, ocurren a velocidades superiores a 50 km/hr.<sup>20</sup> Por tanto, encontramos congruencia entre estas dos fuentes de información (virtual y de literatura básica) con la medición.

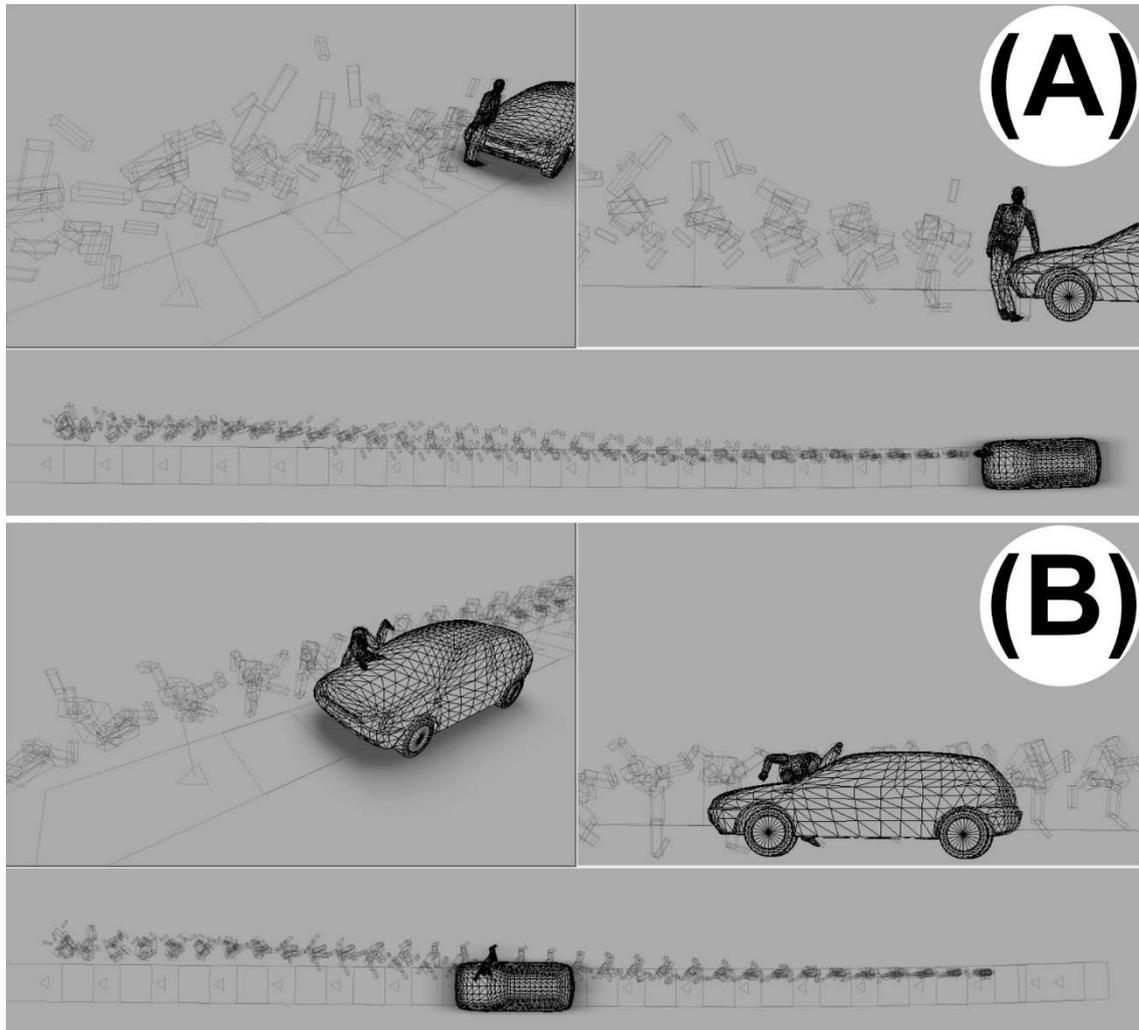
#### Cotejo teórico analítico

Utilizando la ecuación 1, con las medidas de  $(X, Y) = (10.75, 1)$  m (obtenidas por la policía de Sussex); calculamos que la velocidad mínima para alcanzar tales dimensiones es: 39 km/hr. Comparando la medición en el video entre este cálculo encontramos que hay una congruencia de 72%. La baja congruencia se debe a que el modelo de la ecuación 1 es muy simple y solo considera la velocidad mínima que físicamente se requiere para alcanzar tales dimensiones,  $V_{min}$  no es la velocidad de impacto, puede ser aceptable el valor, pero el modelo puramente parabólico desprecia muchas variables y condiciones iniciales importantes en una proyección por atropellamiento. Por su parte, utilizando las ecuaciones de Wood, Torr, Lie y Harpel encontramos que la máxima congruencia es de 92%. El **cuadro 1** muestra los valores de los parámetros de las ecuaciones empleadas, la velocidad teórica calculada  $V_t$  y la comparación:  $100 \times V_t / V_m$ .

#### **DISCUSION**

Se debe enfatizar que en un proceso judicial los análisis periciales se realizan utilizando datos emanados directamente de las fuentes primarias. Difícilmente un video descargado del Internet se convertirá en prueba válida. No obstante, tal formato multimedia representa una oportunidad para desarrollar habilidades, probar herramientas y métodos novedosos de investigación, que en su momento se pueden requerir para un caso formal.

**Figura 4.** Capturas de pantalla del programa: VirtualCrash-3; que muestran una alta congruencia entre la reconstrucción virtual y la mecánica observada en el video.



**Cuadro 1.** Comparación porcentual entre la velocidad de impacto predicha por ecuaciones empíricas y la velocidad medida por video análisis.

Autor	Parámetros numéricos del modelo				$V_t$ (km/hr)	$(V_t/V_m)\%$
	A	B	C	D		
Wood <sup>17</sup>	17.64	-1.2	0.46	0	50	92
Torr <sup>17</sup>	9.84	0	0.57	5.6	44	80
Lie <sup>18</sup>	12.3	0	0.57	0	47	87
Harpel <sup>19</sup>	12.7	0	0.5	-2.6	39	72

Los parámetros numéricos A, B, C, D fueron obtenidos de la respectiva fuente, pero han perdido interpretación física.

En tal sentido, es importante seguir el adecuado proceso para preservar la cadena de custodia. *Tracker*, siendo un software estable y robusto permite realizar una adecuada documentación en el video análisis. Por ejemplo, cuenta con filtros reversibles y con bitácoras para transparentar el video-estudio. Más aún, por ser un software-libre, supera cualquier controversia sobre derechos de autor. Así, este programa es una opción válida y efectiva para estudios forenses.

Por la tendencia actual, se espera que cada vez sean más los videos aptos para realizar estudios similares al aquí presentado. Sin embargo, la obtención de datos (como el longitudinal) es dependiente de ciertas condiciones en las escenas (como la localización de testigos métricos). Por ejemplo, la utilización de un vehículo como testigo métrico es adecuado; pues se supone que estos productos se fabrican en serie con estándares internacionales, con confiabilidad superior al 1 cm de longitud. Con todo, se debe contar con una vista longitudinal del vehículo, asegurada por la corrección del filtro de perspectiva. Por lo anterior, resulta imperativo encontrar información adicional sobre la pertinencia de la medición longitudinal. En nuestro caso, la medición de la altura del peatón nos brindó una confirmación independiente y aceptable. De hecho, la estatura de la persona no la consideramos como un resultado de este trabajo, más bien forma parte del proceso de validación del uso del testigo métrico utilizado.

A partir del acondicionamiento morfológico y temporal en el video, obtuvimos seis datos para calcular la velocidad de impacto  $V_m$ . En nuestro caso, esta cantidad representó suficiente información para obtener una velocidad significativa; pues la correlación es alta y la dispersión de datos es pequeña. Más aún, encontramos congruencia entre las etapas y tipo de atropellamiento observado en el video: la medición y la literatura básica. Adicionalmente, en el programa de simulación VirtualCrash-3 cualitativamente reconstruimos el fenómeno con alta congruencia. Por otro

lado, realizamos una contrastación más profunda de la medición con ecuaciones empíricas. La ecuación 1 describe la velocidad inicial que se requiere para alcanzar una distancia desde cierta altura, sin especificar la velocidad de impacto. Por ello, presenta una baja congruencia con la medición  $V_m$ , mientras que las ecuaciones que siguen el modelo de la ecuación 2 han dejado latentes muchos parámetros: efectos de torca en el impacto, masa de los cuerpos, fricción entre superficies, entre otras. Es decir, las ecuaciones utilizadas en este trabajo están sobre-simplificadas pues solo consideran a  $X$  como una variable. Si para nuestro análisis esto es aceptable, en un caso real se debe contar con más datos para utilizar modelos más realistas. Ahora, la comparación entre las cuatro ecuaciones muestra el valor mínimo de 71%, tres de ellas superan el 81%. De modo que encontramos congruencia aceptable con estos modelos.

### CONCLUSIONES

Hemos detallado las etapas para utilizar *Tracker* en el estudio de un video con contexto forense. En particular para medir la velocidad de impacto entre vehículo-peatón, fijado por una cámara de circuito cerrado y obtenido por Internet. Mostramos cómo emplear los filtros, la localización de testigos métricos y la obtención de datos para determinar que  $V_m = 54.4$  km/hr. Esta medición es congruente con la información en la literatura estándar, con una reconstrucción virtual, y contrastada aceptablemente frente a cuatro ecuaciones empíricas, que solo toman en cuenta la distancia que el cuerpo recorrió después del impacto. Futuros trabajos deben mostrar otros contextos forenses sobre la pertinencia de esta herramienta, aclarando su sistematización operativa; de modo que se delimite su aplicabilidad y utilidad en la reconstrucción de hechos mecánicos. Es decir, estas mediciones en video formaran parte de un proceso inductivo para adquirir información sobre la mecánica de hechos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Díez JL, Cerezo AI. La prevención de la delincuencia callejera mediante videocámaras. Regulación jurídica y eficacia. *Polít crim.* 2009; 4(7): 171-196.
2. Espinola D. La video vigilancia en el discurso modernizador de la seguridad. *AçãoMidiática.* 2013; (6).
3. Arteaga N. Regulación de la videovigilancia en México. *Gestión de la ciudadanía y acceso a la ciudad.* Espiral (Guadalaj.). 2016; 23(66):193-238.
4. Olson J, Doescher R. The Tacoma Narrows Bridge collapse on film and video. *The Physics Teacher.* 2015; 53(8):461-465.
5. Alvarez L. A physicist examines the Kennedy assassination film. *Am J Physics.* 1976; 44(9): 813-827.
6. Pregliasco R, Martinez E. Gunshot location through recorded sound: a preliminary report. *J Forensic Sci.* 2002; 47(6), 1309-1318.
7. Torres-Zúñiga V, Bañuelos-Muñeton JG. Modelos físicos y numéricos para la reconstrucción de hechos en ciencia forense: derrumbe de edificios. *Latin American Physics Education.* En prensa s.f.
8. World Health Organization. Global status report on road safety 2015. [Internet]. Washington D.C.: WHO; 2015. [Consultado el 21 de octubre de 2016]. Disponible en: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/)
9. Sussex Police. Were you in the area of Brighton hit and run? [Internet]. [Consultado el 15 de febrero de 2016]. Disponible en: <https://sussex.police.uk/media-centre/third-person-arrested-in-connection-with-brighton-hit-and-run/>
10. Savefrom.net. El programa de descarga de YouTube gratuito más rápido. [Intenet]. Virginia: S.n; 2008. [Consultado el 15 de febrero de 2016] Disponible en: <http://es.savefrom.net/1-how-to-download-youtube-video.html>
11. Brown D, editor. Tracker, video analysis and modeling tool. [Internet] 2017. [Consultado el 13 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://physlets.org/tracker/>
12. Azevedo L, dos Anjos P, Trindade N, Benedita L. A bullet fired in dry water: an investigative activity to learn hydrodynamics concepts. *Physics Education.* 2016; 52(1).
13. Torres V. Aplicación de Tracker para medir la velocidad de un auto al colisionar con un peatón. [Video Internet] 2016. [Consultado el 12 de enero 2017]. Disponible en: <https://youtu.be/VOUTztOfRQ8>
14. FIAT 500. Fiat 500 all eyes on me. [Internet]. Fiat; s.f. [Consultado el 23 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.fiat.co.uk/fiat500/500>
15. Virtual Crash.[Internet]. S.n.t. [Consultado el 23 de agosto 2016]. Disponible en: <http://www.vcrash3.com/new/>
16. Torres-Zúñiga V. Medición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Iter Criminis.* En prensa s.f.
17. Cheng YK, Wong KH, Cheok NT, Yui YT, Tai WW, Chi H. Validation of pedestrian throw equations by video footage of real life pedestrian/vehicle collisions. *Forensic Sci Inter.* 2015; 257: 409–412.
18. Tie-fang Z. Yuan-xin C, Li-xuan Z. A Simple Method for Evaluating the Impact Velocity in Vehicle-Pedestrian accidents. *CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal,* 2251-2256.
19. Murrieta M, Carreras J. Investigación y reconstrucción de atropellamientos o atropellos. Aspectos criminológicos en materia de seguridad vial [Internet]. 2014 [Consultado el 3 de abril de 2016]; 1-37. Disponible en: <http://criminologos.eu/criminologiavial/author/mariomurrieta/>
20. Vargas Alvarado E. *Traumatología Forense.* México: Trillas; 2012. P. 179