

MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE AUTOMOTOR DURANTE IMPACTOS Y LANZAMIENTO DE PEATONES MEDIANTE VIDEO-ANÁLISIS

MEASUREMENT OF AUTOMOBILE SPEED IN IMPACTS AND LAUNCH OF PEDESTRIANS VIA VIDEO-ANALYSIS

Torres-Zúñiga V.^{1(*)}
Licenciatura en Ciencia Forense.
Facultad de Medicina.
Universidad Autónoma de México.
Ciudad de México.
México.

Correspondencia: vicentz@gmail.com

Resumen: mediante software libre analizamos una película (difundida por Internet) que muestra a un vehículo arrollando peatones sobre el puente Westminster, en Londres. Después de acondicionar la perspectiva y contraste de los fotogramas, empleamos parte de la estructura arquitectónica del puente para definir un testigo métrico. El programa nos permitió monitorear al automotor para registrar sus coordenadas espaciales en función del tiempo; mediante un ajuste lineal medimos la rapidez durante los impactos: 50.08 km/h con un error relativo de 19.2%. En el mismo film se observa un objeto en caída libre, desde el puente hasta el río Támesis, se infiere que se trata de una persona previamente impactada. Del análisis obtenido encontramos que el centro de masa del cuerpo alcanzó hasta 5 m de altura y al momento de la colisión, al menos, adquirió una velocidad de 32 km/h con un error relativo de 7.3%. La información obtenida es coherente con la literatura especializada, pero discrepa de los datos periodísticos. Hasta donde sabemos, este es el primer reporte que utiliza tanto un medio y herramientas al alcance público para plantear a detalle los alcances cuantitativos del video análisis para estudiar un hecho de tránsito que involucra el atropellamiento de múltiples transeúntes.

Palabras clave: atropellamiento, video análisis, velocidad.

Abstract: via free-software we analyzed a movie (broadcast on Internet) that shows a vehicle crashing rolling pedestrians over the Westminster Bridge in London. Conditioning the perspective and contrast of the frames, we used part of the bridge's architectural structure to define a metric scale. The program allowed to monitor the vehicle to mark its spatial coordinates as a function of time; by means of a linear regression, we measured the speed during the impacts: 50.08 km/h, with a relative error of 19.2%. In the same film an object in free fall was observed, from the bridge to the river Thames, it is inferred that it is a person previously impacted. The analysis obtained shows that the body's center of mass reached up to 5 m in height and at the time of the collision, at least, it acquired a speed of 32 km/h, with a relative error of 7.3%. The information is consistent with the specialized literature, but disagrees with the journalistic data. As far as we know, this is the first report that uses both a means and tools available to the public to put into detail the quantitative scope of the video analysis to study a transit event that involves the collision of multiple pedestrians.

Key words: run over, video analysis, speed

INTRODUCCIÓN

Pese a las regulaciones modernas en los códigos y leyes de tránsito que intentan prevenir los percances de tránsito, tal pericial sigue siendo una de las más requeridas en centros urbanos. A escala global, las heridas producidas por colisión,

¹ (*)Este trabajo ha recibido el apoyo económico por una entidad pública, la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante el proyecto: UNAM-PAPIME-PE107216

atropellamiento o contacto donde están involucrados vehículos terrestres son la primera causa de muerte entre jóvenes entre los 15 y 29 años [1, 2]. En Brasil, por cada 100,000 habitantes, 23.4 morirán a causa de un hecho de tránsito, mientras que en Argentina 13.6, México 12.3, EEUU 10.6 y España 3.7, solo por mencionar algunos países [2]. En tal contexto, la determinación de la velocidad de los vehículos al momento de impactar es crucial para la reconstrucción de la mecánica-de-hechos. Mediante la observación y medición de efectos, como son las huellas de llantas en pavimento, es posible una estimación de rapidez de un auto [3]. Sin embargo, en aras de alcanzar un dictamen más robusto y de mayor credibilidad se deben identificar otros indicios que permitan enriquecer las conclusiones periciales. Una opción es el video análisis de las cámaras de seguridad situadas en vía pública.

La instalación de cámaras de seguridad en vías públicas y sobre vehículos es una tendencia mundial [4]. Su presencia permite también la fijación de eventos de índole forense, como puede ser una colisión entre vehículos. En la literatura se puede encontrar ejemplos de estudios de filmaciones de eventos de interés forense general; por ejemplo, el film del asesinato del J.F. Kennedy en 1963 o la caída de *World Trade Center* en el año 2001 [5-6]. Sin embargo, aún es escasa la literatura que relata el análisis de películas para dar cuenta de un atropellamiento peatonal. Ahora nos encontramos en un momento coyuntural; por un lado, han emergido en Internet herramientas de adquisición accesible y cómodas para realizar análisis de multimedia; aunque tales tecnologías requieren más difusión entre los especialistas forenses. Por el otro, proliferan en Internet sitios-web que exhiben *films* que muestran atropellamientos, colisiones y otros eventos de interés para el perito de hechos de tránsito. Así, en este trabajo, detallamos la utilización de software libre y los alcances del video digital para calcular la velocidad de impacto de un automotor contra peatones sobre el pavimento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Alrededor de las 14:40 horas del 22 de marzo de 2017, sobre el puente de Westminster en Londres, en Inglaterra, un hombre comenzó una carrera –en un automóvil marca Hyundai modelo Tucson– sobre el pavimento, arrollando a más de 44 transeúntes hasta estrellar su vehículo contra las rejas que rodean al parlamento inglés [7]. En este acto, calificado de terrorista, el auto-4x4 lanzó a varios metros a las personas arrolladas, una de ellas cayó al río Támesis. A partir de tales efectos, la prensa inglesa informó que la policía estimaba que la velocidad del automotor fue de 122 km/h [8]. Una cámara de seguridad pública registró el paso del vehículo sobre el puente, donde también se aprecia la caída de un objeto al río; sus imágenes fueron transmitidas por los medios de comunicación digitales, incluyendo Internet [9]. Tal video es el objeto de estudio de este opúsculo.

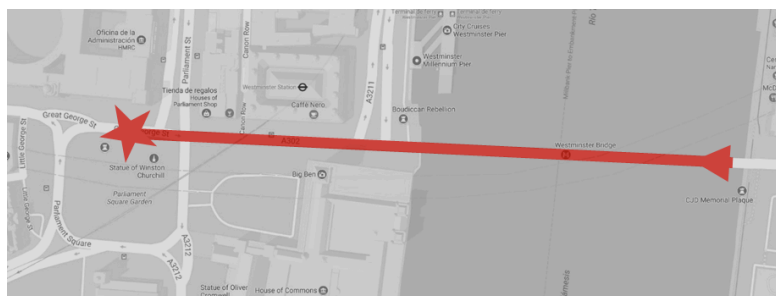


Figura 1. Mapa de la ruta entre el puente Westminster y el perímetro del parlamento inglés que siguió el Hyundai-Tucson 22 de marzo de 2017.

La videograbación es adecuada para realizar un proceso que permita obtener la velocidad, pues su traslación es muy cercana a una línea recta paralela al plano longitudinal de las paredes del puente. Sin embargo, las escenas requieren corrección por efecto de perspectiva, además de la localización de testigos métricos.

Así, con el propósito de iniciar el estudio de la escena, descargamos el video (formato: mp4) a una computadora personal, utilizando el sitio de Internet *SaveFrom*. Para analizar el film utilizamos el programa de distribución libre: *Tracker-physics*, el cual es multi-plataforma; lo que implica que se puede operar en cualquier ordenador [10]. *Tracker* fue diseñado como un software para complementar las actividades didácticas del laboratorio de física mecánica. Cuenta con funciones para registrar manual o automáticamente las variaciones pixelares que refieren al movimiento de los objetos de masa puntual o extendida. La flexibilidad del programa le permite realizar correcciones de contraste y perspectiva. De tal modo, el software es popular en universidades y entidades educativas. En este trabajo planteamos que este programa también es conveniente para área forense, tanto en el entrenamiento como en la investigación pericial.

Después de abrir la película en el programa *Tracker*, realizamos las siguientes acciones.

- 1) **Demarcamos los cuadros de interés.** Seleccionamos 45 imágenes (que representan un tiempo de 1.72 s) donde se muestra el vehículo viajando sobre el puente, en el intervalo de fotogramas: 467-512.
- 2) **Corrección del efecto de perspectiva y contraste.** Con el propósito de obtener una vista donde el movimiento vehicular sea paralelo al plano del sensor de la cámara, nos apoyamos en las características arquitectónicas del puente Westminster. Marcamos las esquinas de un cuadrilátero, compuesto de dos líneas verticales paralelas (marcadas sobre las columnas de los arcos), una línea sobre el nivel del agua, y una lineal sobre el nivel de la barda del puente. La trayectoria del auto es cercana al plano formado por la pared del puente. Mediante la “función de brillo” del programa se ajustó el contraste a 63% y el brillo a 44%. Correcciones de zoom o distorsiones de campo fueron innecesarias por las características de la escena. En la Fig. 1 (A) se muestra un fotograma sin la acción de los filtros; en Fig. 1 (B) se presenta el mismo fotograma mostrando los efectos de las correcciones de perspectiva y contraste.
- 3) **Determinación de testigos métricos.** Ante la falta de patrones estandarizados que permitan transformar el número de píxeles a unidades métricas, se deben localizar en las imágenes objetos de tamaño conocido. Como puede ser la arquitectura del puente, el cual cuenta con 250 m de longitud, donde se distribuyen siete arcos [11]. De tal modo, entre dos arcos hay una separación de 71.4 m. Debido a que el video se aprecian claramente las delimitaciones entre dos arcos centrales: esta distancia horizontal la utilizamos como testigo métrico.
- 4) **Colocación del eje coordenado.** Marcamos como punto de origen la esquina superior derecha sobre la barda del puente. De modo que el eje- x es paralelo al nivel del agua.
- 5) **Registro del movimiento del automotor.** Manualmente registramos las coordenadas asociadas a los píxeles que representa el desplazamiento del vehículo, y después los correspondientes píxeles de la persona que cae al río.



Figura 2. (A) Imagen original sin correcciones de contraste ni perspectiva. **(B)** Imagen corregida a modo que se observa el puente desde una perspectiva paralela al plano de la cámara y con un contraste para seguir a un vehículo.

2.1 Análisis de la incertidumbre

Los desplazamientos entre píxeles son transformados a unidades métricas mediante la relación lineal entre la posición de los píxeles px_0 donde se demarca el testigo métrico longitudinal L_0 . De tal modo, el módulo de la velocidad en movimiento rectilíneo uniforme $v = \Delta L / \Delta t$ (donde ΔL es el cambio de la distancia recorrida y Δt el cambio temporal) se puede escribir en función de la diferencia de píxeles Δpx :

$$v = \frac{L_0}{px_0} \frac{\Delta px}{\Delta t} \quad (1)$$

De acuerdo con la teoría de propagación de incertidumbres [12], el error-relativo asociado al cálculo de la velocidad descrito por la Ec. 1 es la suma de los errores relativos de las componentes; es decir:

$$\frac{\partial v}{|v|} = \frac{\partial L_0}{|L_0|} + \frac{\partial px_0}{|px_0|} + \frac{\partial \Delta px}{|\Delta px|} + \frac{\partial \Delta t}{|\Delta t|}, \quad (2)$$

donde δv representa el símbolo para el error asociado a la variable v , los corchetes $|v|$ representan el valor absoluto de la cantidad v . Por su parte v es la velocidad calculada, L_0 es la longitud del testigo métrico, px_0 es la cantidad de píxeles abarcados por el testigo métrico; Δpx_0 es la variación entre píxeles entre dos cuadros de imagen y Δt es la variación temporal entre dos fotogramas. El error relativo de la velocidad v , según la Ec. 2, disminuirá el error si el testigo métrico presenta muchas cifras significativas, si éste abarca una gran longitud en la imagen; más aún, si el desplazamiento entre fotogramas es grande y si el tiempo entre ellos es breve. Tales características son determinantes para nuestro estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rapidez del automotor

La Fig. 3 muestra 24 datos medidos a través del video análisis –suficientes estadísticamente para realizar un ajuste lineal por el método de mínimos cuadrados. De la operación, obtuvimos un factor de correlación superior a $R^2 = 0.99$. Así, tal ajuste fue adecuado desde el punto de vista matemático. De este conjunto de

datos, fueron inobservables tendencias de aceleración en el intervalo estudiado. En la misma figura se muestra la ecuación lineal obtenida ($d = mt + b$), de ella podemos interpretar físicamente que la variable independiente b representa la distancia horizontal inicial donde $t = 0$; pero esta depende es dependiente del sitio donde se coloca el eje coordenado; por lo que su información es poco significativa al extrapolar datos. En contraste, el parámetro m se puede interpretar como el módulo de la velocidad lineal del vehículo, tal que $v = 14.1$ m/s; es decir: 50.8 km/h; y su valor es independiente de donde se coloque el eje coordenado. Utilizando los datos que maximicen la incertidumbre, sustituyendo los valores en la Ec. 2, encontramos que el error relativo es igual a:

$$100 \times \left(\frac{\partial v}{|v|} \right) = 100 \times \left(\frac{0.05}{71.4} + \frac{0.5}{744} + \frac{1}{6} + \frac{0.001}{0.040} \right) = 19.2\%.$$

Así, la incertidumbre muestra un valor de 10.08 Km/h. En otras palabras, la rapidez de impacto se desarrolla en el intervalo entre 41 y 61 km/h.

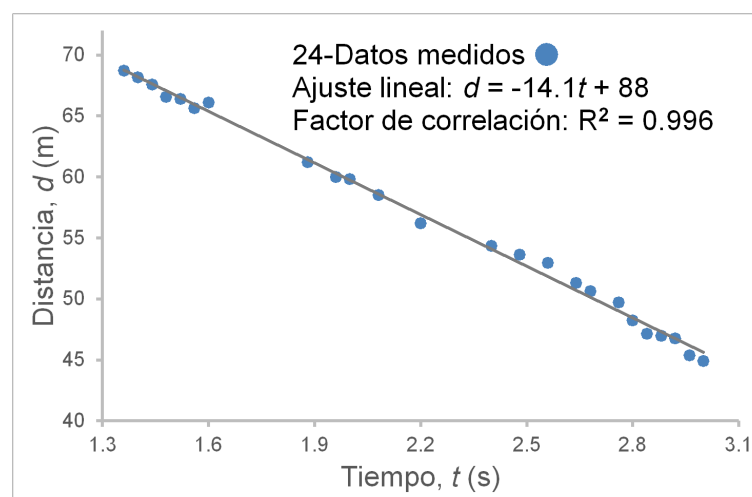


Figura 3. Datos medidos del video análisis y su ajuste lineal. Se observa que el ajuste cuenta con un alto factor de correlación, lo que valida el uso del modelo lineal

La rapidez que medimos es 59% menor que la reportada por la prensa. Algunos investigadores consideran que durante dos colisiones consecutivas (entre vehículo y peatón) se reduce la velocidad de impacto en hasta un 80% [13]; aunque en tales casos no se pretendía realizar tales atropellamientos, como si es este caso. Más aún, en una comparación entre video análisis y de marcas de pavimento, de estas últimas se puede obtener una sobreestimación en la velocidad de impacto [13]. Adicionalmente, en literatura reciente se han reportado modelos reduccionistas y empírico-matemáticos de la probabilidad de riesgo de muerte P en función de la velocidad v [14], que se puede expresar como:

$$P(v) = 1 - e^{\left(-e^{(-5.7389 + 0.001096 v^2)}\right)}. \quad (3)$$

Así, una velocidad de impacto de 122 km/h presenta una probabilidad muy alta, cercana al 100%. No obstante, el porcentaje de decesos entre los 49 atropellados en el evento del puente de Westminster fue de 9%. Si bien conjeturamos que los servicios de emergencia inglesas fueron altamente efectivos en la atención de las víctimas atropelladas, es notable la discrepancia entre lo observado en este caso y lo predicho por la Ec. 3. También se puede suponer que la velocidad reportada por los medios de comunicación es errónea, y que su valor es inferior. En el caso de una velocidad de impacto de 50.8 km/h y con una cota máxima de 60.8 km/h presentan valores porcentuales de probabilidad de riesgo de muerte entre: 5.4% y 17.3%. Tal intervalo porcentual contienen, de modo cercano, el porcentaje de descensos del evento del 22-mar-17. Es decir, se observa más coherencia entre la predicción de la Ec. 3 y la medición de la velocidad por medio de video análisis que en el reporte de prensa.

Análisis de la caída de cuerpo desde el puente.

La Fig. 4 muestra siete datos medidos en el filme, que estrictamente son insuficientes para realizar un ajuste por mínimos cuadrados, pero tratamos de ajustarlos a un polinomio de grado dos. De la operación, obtuvimos un factor de correlación de $R^2 = 0.988$; por lo que consideramos que el ajuste es razonable. La misma figura también presenta la ecuación parabólica de la distancia recorrida d en función del tiempo t ; es decir: $d = at^2 + bt + c$, donde podemos realizar las interpretaciones físicas de los parámetros: $a = g/2$ (tal que la aceleración en caída libre es $g = 9.8 \text{ m/s}^2$), $b = v_{0y}$ es la velocidad inicial sobre el eje- y , y c representaría el parámetro independiente del tiempo, que de acuerdo con la conveniente posición del eje coordenado sobre la barda del puente, nos puede indicar la altura del centro de masa del cuerpo al comenzar su caída libre. No obstante, la ecuación de ajuste presenta una aceleración ligeramente menor a la estándar. Si realizamos la corrección de un factor de 1.13, obtenemos la ecuación corregida: $d' = 4.9t^2 + 8.8t - 5.3$. Entonces, la velocidad inicial vertical se estima en 8.8 m/s ($\sim 32 \text{ km/h}$) y el centro de masa alcanzó 5.3 m de altura. Considerando la Ec. 3 para calcular la incertidumbre relativa, obtenemos un valor porcentual de:

$$100 \times \left(\frac{\partial v}{|v|} \right) = 100 \times \left(\frac{0.05}{71.4} + \frac{0.5}{744} + \frac{1}{21} + \frac{0.001}{0.040} \right) = 7.3\%$$

Lo que implica un valor de incertidumbre de 0.64 m/s, por lo que la velocidad de lanzamiento comprende entre 29.7 y 34.3 km/h.

En una pericial de video análisis se debe procurar el acceso al medio original, el generado por la cámara fuente, para obtener información de los metadatos y asegurar otros elementos de la cadena de custodia. Si bien este trabajo plantea el uso de películas para el entrenamiento y aplicación profesional, se requiere la retroalimentación de otros indicios y periciales. De otro modo, la información obtenida es parcial,

incompleta y no-concluyente. Por la reserva de la carpeta de investigación en Inglaterra, por el momento, otros datos de interés forense nos fueron inaccesibles.

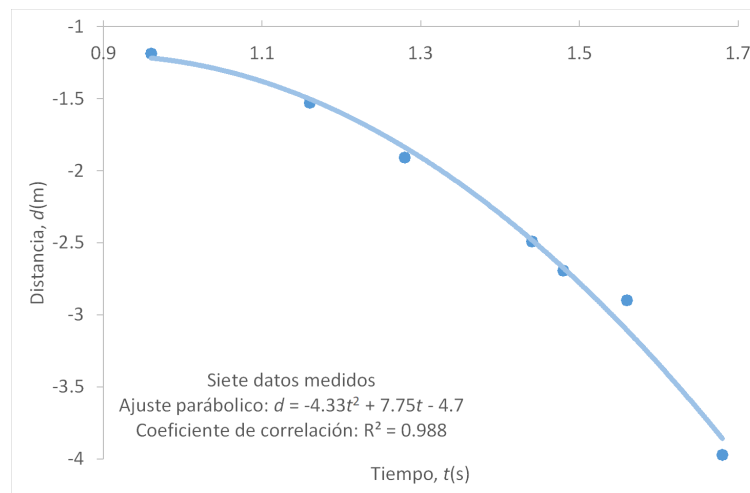


Figura 4. Datos medidos del video análisis y su ajuste lineal. Se observa que el ajuste cuentan con un alto factor de correlación, lo que valida el uso del modelo lineal

CONCLUSIONES

Utilizamos software libre para analizar el movimiento de un vehículo fijando en video y difundido por Internet. La perspectiva y el contraste fueron adecuados para el estudio, se localizó un testigo métrico con base en la estructura arquitectónica observada en la escena; estas acciones permitieron identificar el desplazamiento de un vehículo en función del número de fotogramas. Por medio de una conversión lineal relacionamos el número de píxeles con la longitud y la frecuencia de captura de fotogramas con el tiempo, graficamos el desplazamiento contra el tiempo, y mediante un ajuste lineal obtuvimos el módulo de la velocidad del vehículo: 50.08 ± 10.08 km/h. Esta velocidad es coherente con la literatura consultada, en particular la referida al modelo de porcentaje de descensos provocados, pero nuestro cálculo dista del valor reportado por la prensa.

En la misma película se observa un objeto en caída libre, que se supone es una mujer cayendo desde el puente hasta el río Támesis. Los datos obtenidos fueron ajustados a una parábola, de su interpretación física obtuvimos la velocidad mínima inicial de lanzamiento: 32 ± 3.85 km/h, alcanzando una altura de aprox. 5 m.

El análisis de filmaciones, como el aquí presentado, por medio de software libre representa un herramienta novedosa que complementa la investigación forense; sus alcances son dependientes de la calidad de las imágenes y los elementos contextuales que presenta; de modo que es clara la traza entre sus premisas y conclusiones, por lo que se puede presentar con alta credibilidad técnica ante la corte.

REFERENCIAS

- 1) Página web: World Health Organization. (2016). Global status report on road safety 2015. Obtenido de http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/
- 2) Donald E. Struble, Automotive Accident Reconstruction: Practices and Principles, CRC Press, 2017.
- 3) Botello, N. A. Regulación de la videovigilancia en México. Gestión de la ciudadanía y acceso a la ciudad. Espiral (Guadalaj.) 2016, 23(66), 193-238.5
- 4) Torres-Zúñiga V., Bañuelos-Muñeton J. G. Modelos físicos y numéricos para la reconstrucción de hechos en ciencia forense: derrumbe de edificios. Latin American Physics Education. (EN PRENSA).
- 5) Alvarez L. A physicist examines the Kennedy assassination film. American Journal of Physics, 1976, 44(9), 813-827.

- 6) Página web: the telegraph, generado: 26/3/2017, obtenido: 28/09/2017.
<http://www.telegraph.co.uk/news/2017/03/22/westminster-terror-attack-everything-know-far/>
- 7) Página web: Mirror, generado: 27/3/2017, obtenido: 28/09/2017. <http://www.mirror.co.uk/news/uk-news/london-terrorist-reached-speeds-76mph-10110364>
- 8) Canal de Youtube: TimesLIVE, Video emerges showing moment of London attack, pedestrian jumps off bridge, generado: 22/3/2017, obtenido: 28/09/2017 https://www.youtube.com/watch?v=fIUydtVZ_zg
- 9) Brown D. (s.f.). Tracker, video analysis and modeling tool. Obtenido de la página web: <http://physlets.org/tracker/>
- 10) Página web: Structurae, revisado 10/11/2017 <https://structurae.net/structures/westminster-bridge-1862>
- 11) John R. Taylor. An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements, ed. 2, Ed. University Science Books, 1997.
- 12) Cheng, Y.-K., Wong, K.-H., Tam, C.-N., et. al. Validation of pedestrian throw equations by video footage of real life pedestrian/vehicle collisions. Forensic Science International. 2015, 257, pp. 409-412
- 13) Martin, J.-L., Wu, D. Pedestrian fatality and impact speed squared: Cloglog modeling from French national data, Traffic Injury Prevention, 2017, in press.