

INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO EN ATROPELLOS

ÍNDICE

1. ABSTRACT	5
2. EL ATROPELLO COMO ACCIDENTE DE TRÁFICO	7
3. EL ESCENARIO DEL ATROPELLO	9
4. LA RECONSTRUCCIÓN DE UN ATROPELLO	10
4.1. FASE DE PERCEPCIÓN	10
4.2. FASE DE DECISIÓN	11
4.3. FASE DE CONFLICTO	12
5. LA BIOMECÁNICA DE UN ATROPELLO	14
5.1. GRAVEDAD DEL ATROPELLO VS VELOCIDAD	16
6. PROTECCIÓN AL PEATÓN: INFLUENCIA EN LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES	17
7. CONCLUSIONES	19

Por José Antonio Maurenza Román.

Responsable del área de Reconstrucción de accidentes de tráfico en CESVIMAP.

1. ABSTRACT

Atropellar, según la tercera acepción de la Real Academia Española, RAE, es -referido a un vehículo-: *alcanzar violentamente a personas o animales, chocando con ellos y ocasionándoles, por lo general, daños*.

Un accidente de circulación entre un vehículo y una persona -con riesgo de lesiones graves- varía según diferentes factores que pueden depender del vehículo -velocidad, diseño, etc.- o del peatón -edad, dolencias previas, etc.-.

Este trabajo proporciona un análisis detallado de los atropellos como accidentes de tráfico, destacando la vulnerabilidad de los peatones en las ciudades y vías interurbanas. Según cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 1,2 millones de personas mueren anualmente debido a accidentes de tráfico y alrededor de 270.000 de estas muertes son causadas por atropellos.

Este paper estudia, asimismo, la evolución de los atropellos en relación con la tipología de los vehículos implicados, destacando un aumento en la implicación de vehículos de movilidad personal (VMP) y de bicicletas eléctricas en estos accidentes.

Se aborda la secuencia de eventos por los que transita la reconstrucción de un atropello, desde la percepción y la decisión hasta el conflicto, detallando los factores que pueden influir en estas fases, como la velocidad del vehículo, la capacidad de reacción del conductor y la velocidad del peatón.

El estudio contempla la biomecánica de un atropello, describiendo los tres diferentes impactos que concurren durante un accidente: el impacto del vehículo, el impacto corporal externo y el impacto corporal interno.

Finalmente, se tratan sistemas de seguridad pasiva para peatones, como la traviesa inferior de peatones, el sistema de capó activo y el airbag para peatones. Estos elementos están diseñados para reducir las lesiones del peatón en caso de atropello. Su efectividad puede variar dependiendo de la velocidad y del tipo de vehículo. No afectan a la reconstrucción de accidentes.

To run over, according to the third definition of the Royal Spanish Academy, RAE, -referring to a vehicle- is *“to violently hit people or animals, colliding with them and generally causing damage”*. A traffic accident between a vehicle and a person -with risk of serious injuries- varies according to different factors that may depend on the vehicle -speed, design, etc.- or on the pedestrian -age, previous ailments etc.-.

This paper provides a detailed analysis of traffic collisions as road traffic accidents, highlighting the vulnerability of pedestrians in cities and on interurban roads. According to figures from the World Health Organization (WHO), more than 1.2 million people die annually due to road traffic accidents, and about 270,000 of these deaths are due to collisions with pedestrians.

Our paper also analyses the evolution of road crashes in relation to the type of vehicles involved, highlighting an increase in the involvement of personal mobility vehicles (PMVs) and electric bicycles in these accidents.

The sequence of events that transpire in the reconstruction of a pedestrian accident is discussed, from perception and decision to conflict. Factors that can influence these phases, such as vehicle speed, driver reaction ability, and pedestrian speed, are detailed.

The study also addresses the biomechanics of a pedestrian accident, describing the three different impacts that occur during an accident: the vehicle impact, the external body impact, and the internal body impact.

Finally, passive safety systems for pedestrians, such as the lower pedestrian crossbeam, the active bonnet system, and the pedestrian airbag, are discussed. These elements are designed to reduce pedestrian injuries in the event of a collision. Their effectiveness may vary depending on vehicle speed and vehicle type. They do not affect accident reconstruction.

2. EL ATROPELLO COMO ACCIDENTE DE TRÁFICO

La confluencia de un gran número de vehículos en las ciudades convierte al peatón en vulnerable; también en las vías interurbanas, donde se producen gran cantidad de atropellos, que pueden ser ocasionados por imprudencias.

Según el “[Informe sobre la situación mundial de la Seguridad Vial](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries)” de la Organización Mundial de la Salud, OMS, todos los años más de 1,2 millones de personas fallecen como consecuencia de accidentes en las vías de tránsito. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

Según la [OMS](#), el 53% de las víctimas mortales de accidentes de tránsito son usuarios vulnerables de la vía pública, con estos porcentajes: peatones (23%); conductores de vehículos de dos y tres ruedas, como motocicletas (21%); ciclistas (6%); y usuarios de dispositivos de micromovilidad, como los patinetes eléctricos (3%).

En 2023, en Madrid capital el número de atropellos alcanzó la cifra de 1.408, frente a un total de 20.668 siniestros. Es decir, los atropellos supusieron el 6,81% de los accidentes de esta gran urbe (Tabla 1).



Tabla 1: Atropellos anuales en Madrid (2019-2023)

Fuente: <https://visualizadatos.madrid.es/pages/accidentes-de-traffic>

Analizando más allá de los datos globales anuales, podemos extrapolar la evolución de los atropellos por el número y la tipología de los vehículos implicados.

El principal análisis y el más influyente para los reconstructores de accidentes de tráfico es la **tipología de los vehículos**. En 2019 cuatro vehículos de movilidad personal (VMP) o de movilidad urbana, VMU, (0,24 % del total) se vieron implicados en un atropello; en 2023, este número se multiplicó por 16, hasta los 65 vehículos (4,5 % del total).

En 2019 ninguna bicicleta eléctrica se vio implicada en accidentes. Paulatinamente, el uso de estos vehículos ha ido aumentando hasta alcanzar las 10 bicicletas eléctricas implicadas en un accidente en 2023.

Las nuevas formas de movilidad en las ciudades hacen que disminuya el uso de turismos frente a otros tipos de vehículos. Estos, en caso de participar en un atropello, no se rigen por los mismos criterios de estudio que los turismos (Tabla 2).

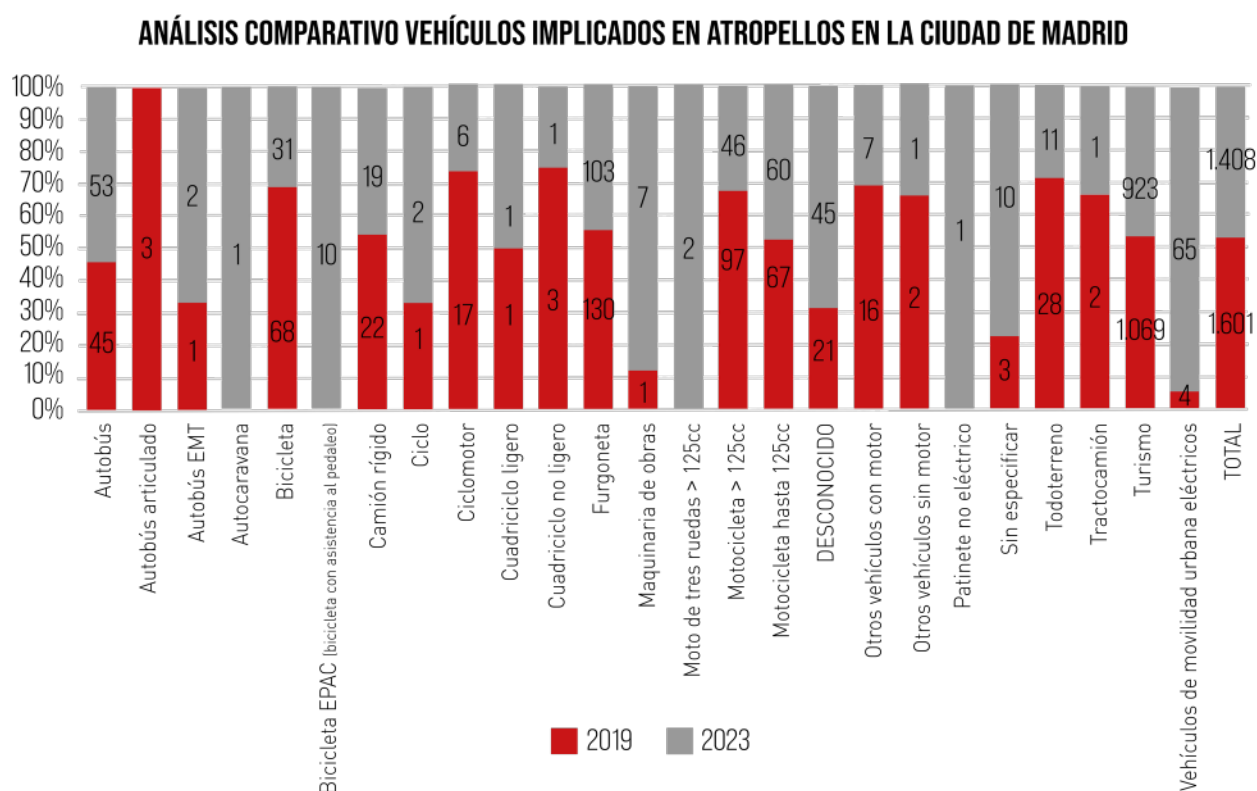


Tabla 2: Análisis comparativo de los vehículos implicados en atropellos en la ciudad de Madrid

Analizando el porcentaje de peatones implicados en un atropello, respecto de las lesiones que sufren, el número de fallecidos y de lesionados de gravedad es muy alto, en comparación con los ocurridos en otra tipología de siniestros.

Si nos centramos en las lesiones resulta fundamental determinar la responsabilidad o la existencia de concurrencia, de forma que el profesional encargado de la reconstrucción pueda aportar a las partes la forma de ocurrencia y las conclusiones de forma clara.

3. EL ESCENARIO DEL ATROPELLO

El análisis de un atropello por parte del reconstructor viene determinado, en gran medida, por el conocimiento del lugar y de las circunstancias en las que se ha producido. Obviamente, mantener las posiciones de los vehículos o de las personas atropelladas para su estudio resulta casi imposible; son alteradas por el tráfico, la vía o, simplemente, para proteger a las personas atropelladas.

¿Quién llega primero a un atropello? Por regla general, los Cuerpos de Seguridad del Estado o los servicios sanitarios son los primeros en acudir al lugar del atropello. Sin embargo, y dependiendo de su localización, en muchas ocasiones se producen alteraciones del escenario por parte de testigos o viandantes que intervienen en el lugar.

Los agentes tienen dificultades al elaborar el atestado y deben recurrir al análisis de las huellas y vestigios para determinar el punto de conflicto, es decir, dónde se produjo el atropello, y las posiciones finales de las personas atropelladas y de los vehículos.

Varias son las fuentes de información que ayudarán a la reproducción del escenario:

- **Huellas en el pavimento:** Huellas de frenada, de arrastre, etc., fundamentales para el análisis posterior del siniestro. La longitud de estas huellas, su comienzo y su final servirán al reconstructor para conocer si el conductor del vehículo reaccionó y de qué forma, pudiendo determinar si el atropello era evitable o no (podría indicar que el conductor no prestaba la adecuada atención a la conducción).
- **Restos de los vehículos:** La acumulación de restos del vehículo implicado en un lugar concreto ayuda a determinar el punto de conflicto del siniestro; también, la existencia de cristales, restos de plásticos o fluidos.
- **Huellas biológicas:** La presencia de sangre y de cabellos en la calzada o en elementos de la carrocería sirven para determinar los puntos de contacto del peatón con la carrocería del vehículo o con otras partes, así como su posición final, en caso de ser desplazado.
- **Declaraciones de los testigos:** La identificación de los testigos y de las primeras personas que llegaron al lugar del siniestro es importante para analizar la forma de ocurrencia. Ellos relatarán la fase semafórica en la que se encontraba este elemento en el momento del atropello, la velocidad relativa a la que cruzó el peatón, si el vehículo circulaba a una excesiva velocidad, etc. Estos datos deben considerarse y, en la medida de lo posible, comprobarse, especialmente ante relatos contradictorios.

4. LA RECONSTRUCCIÓN DE UN ATROPELLO

En la reconstrucción de un atropello es fundamental analizar las secuencias conjunta e individualizada para cada unidad del siniestro, personas y vehículos implicados. En definitiva, se examinará el siniestro definiendo el momento crítico del atropello y los momentos previos y posteriores a ese instante.

En el transcurso de un atropello, como en cualquier accidente, se producen diferentes fases:

4.1. FASE DE PERCEPCIÓN

Comienza en el punto de percepción posible y finaliza en el momento en el que se produce la reacción y, por lo tanto, la toma de la decisión.

En esta primera fase se marca la percepción del conductor con respecto al peatón, es decir, el instante en el que el conductor toma conocimiento de la presencia del peatón y del riesgo que supone.

Por otro lado, el peatón también vive un momento en el que percibe la presencia del vehículo, identificando el riesgo.

Si esta fase no existe, o se produce en un punto cercano al de conflicto, la fase de decisión se verá limitada, así como la posibilidad de evitar el atropello o de minimizar sus consecuencias.

Durante el tiempo de reacción del conductor el vehículo sigue avanzando y el peatón continúa en movimiento. Si en una vía urbana el vehículo circula a 50 km/h y el tiempo de reacción de su conductor es de 1,5 segundos, el vehículo recorrerá una distancia de 20 metros en esa fracción de tiempo. Por su parte, si el peatón camina a una velocidad de 5,4 km/h, con un tiempo de reacción de 1,4 segundos, habrá recorrido en 1,5 segundos una distancia de 2,1 m.

En la imagen se aprecia cómo, en ese tiempo, el peatón, con apenas una zancada, se sitúa en el centro de la calzada. Evidentemente este tiempo aumenta en condiciones de oscuridad, de mayor edad o con la merma de las facultades psicofísicas del conductor (Ilustración 1).



Ilustración 1: Distancia que recorre el peatón en un tiempo determinado

4.2. FASE DE DECISIÓN

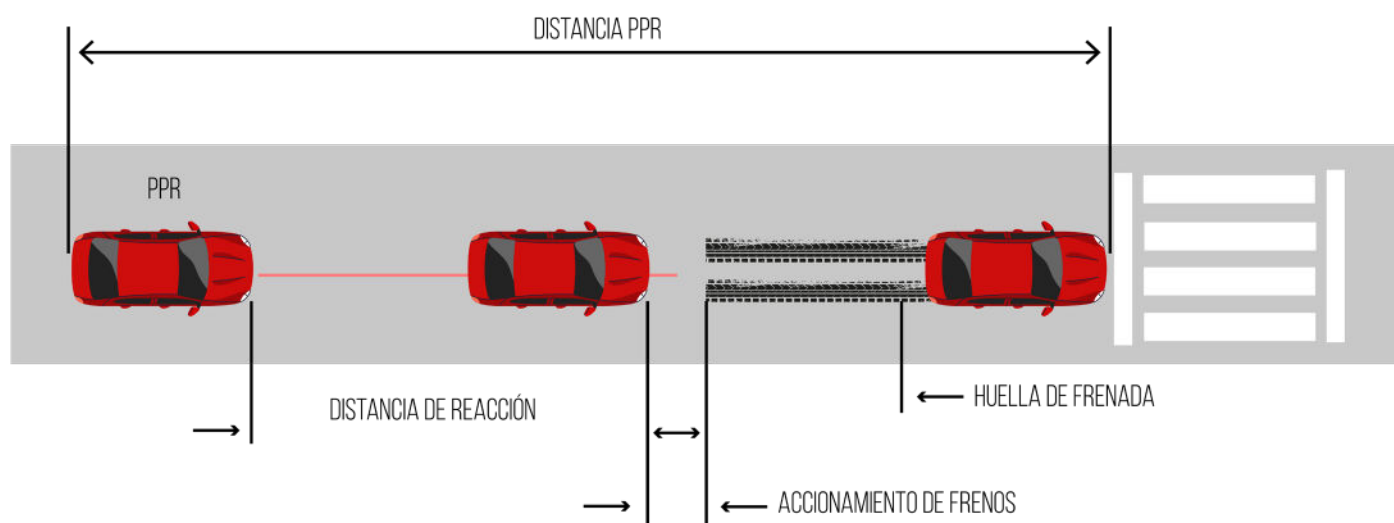
Una vez se produce la percepción real, comienza la fase de decisión. Es el momento en que se establece la reacción del conductor, frenando o realizando una maniobra evasiva.

Es en esta fase cuando entra en juego el tiempo de reacción, es decir, el tiempo que transcurre desde que el conductor relaciona la situación, la comprende e inicia la toma de decisiones para minimizar las consecuencias. El tiempo de reacción está relacionado con la edad, el estado físico, psíquico, la existencia o no de alcoholemia, drogas, etc.

Estas reacciones oscilan desde girar bruscamente el vehículo -llegando a perder su control-, al accionamiento del sistema de frenado, lo más habitual. Se identifica este accionamiento mediante la existencia de huellas de frenada, ya sean de forma continua o discontinua.

El reconstructor debe identificar los sistemas de seguridad que equipa el vehículo, como ABS, EBD, etc. Su presencia puede ser importante para que se hayan marcado o no las huellas, así como para determinar la efectividad del frenado.

En el caso de la frenada es necesario considerar no sólo el tiempo efectivo de frenada, sino también el tiempo que transcurre desde que el conductor del vehículo pisa el pedal del freno hasta que el sistema de frenado actúa. Este tiempo es de 0,25 segundos (Ilustración 2).



$$S_{PPR} = S_{reacción} + S_{accionamiento} + S_{frenada}$$

Ilustración 2

Por tanto, el Punto de Percepción Real (PPR) se calcula a partir de la distancia de frenado y de la velocidad de circulación, junto con la distancia de huella de frenada. De esta forma, podemos saber cuándo se percató realmente el conductor del peligro.

Comparando esta distancia con el trayecto necesario para frenar podremos discernir si el atropello era o no evitable, y alegar, en su caso, una falta de atención en la conducción.

3.3. FASE DE CONFLICTO

Es la culminación del accidente. Comprende el último periodo de evolución de éste, en el que se produce contacto entre el peatón y el vehículo, con la consecuente transmisión de energía entre ambos y la aparición de lesiones en el peatón y daños en el vehículo. Su localización estará en función de la velocidad a la que se desplace el vehículo, de la misma forma que la gravedad de las lesiones.

Todos estos datos serán relevantes en la investigación del atropello, actuando de dos maneras diferentes en función de que se conozca o no la distancia de proyección del peatón.

- **Sí se conoce la distancia de proyección del peatón:** En este caso, uno de los métodos más utilizados es el de Appel-Searle (obtenido con la ayuda de ensayos de campo con dummies, cámaras de alta velocidad y sobre diversos vehículos). Podemos obtener la velocidad mínima de circulación del vehículo implicado con esta expresión:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times \mu \times (distancia\ proyección - \mu \times h)}{1 + \mu^2}}$$

Evidentemente, son condiciones ideales, por lo que es necesario considerar, además:

- El efecto de la pendiente.
- La posibilidad de que el móvil no se deslice (es decir, que ruede).
- La relación entre la velocidad de proyección y la velocidad del vehículo (Ilustración 3).

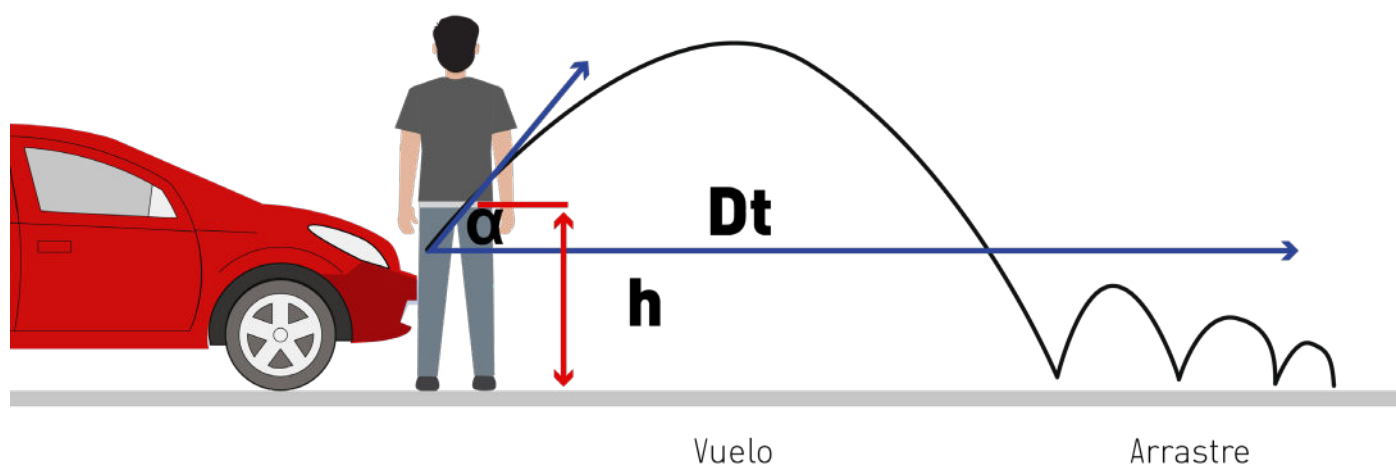


Ilustración 3: Relación entre la velocidad de proyección y la velocidad del vehículo, según el método Appel-Searle.

Pendiente θ =ángulo de la vía con la referencia horizontal

$$v = \sqrt{\frac{2 \times (\mu \times \cos\theta + \text{sen}\theta \times g \times \text{distancia proyección} - \mu \times h)}{\cos\alpha + \mu \times \text{sen}\alpha}}$$

Cuando el móvil no se desliza, sino que rueda, la velocidad será inferior. Para ello se utilizan una serie de coeficientes de disminución, en función del coeficiente de rozamiento, obteniéndose dichos valores de la experimentación con dummies antropomorfos.

- **No se conoce la distancia de proyección del peatón:** El análisis, en este caso, se basará en los daños que presenta el vehículo y su correspondencia con las velocidades necesarias para causarlos (Ilustración 4).

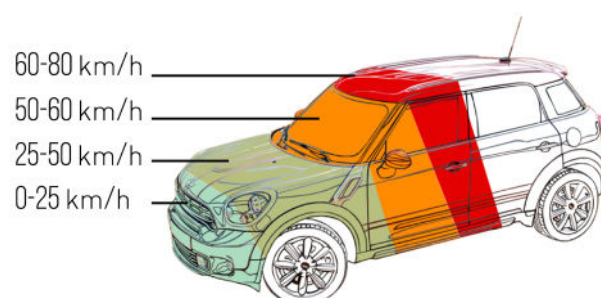


Ilustración 4: Daños en el vehículo que atropella, en función de la velocidad.

5. LA BIOMECÁNICA DE UN ATROPELLO

La biomecánica aplica las leyes de la mecánica a la estructura y a los movimientos de los seres vivos; en el caso que nos ocupa, al peatón.

Como en todo accidente, en un atropello se producen tres impactos diferentes, que resumimos a continuación (Tabla 3).

PRIMER IMPACTO	El vehículo impacta contra un objeto; en este caso, el peatón.
SEGUNDO IMPACTO	Corporal externo: el cuerpo humano golpea contra un elemento del vehículo (luna parabrisas, capó, espejos, etc.).
TERCER IMPACTO	Corporal interno: impacto de los órganos internos contra otras estructuras del cuerpo (óseas).

Tabla 3: Impactos en un accidente

A partir del estudio detallado de cada uno de estos impactos, se procederá al análisis del movimiento del cuerpo durante el atropello, así como de los daños sufridos por el vehículo y su relación con las características específicas del siniestro.

En el caso más habitual el peatón, en movimiento, impacta con la parte frontal del vehículo. En función de la dinámica del vehículo se produce una forma concreta de proyección / lanzamiento del peatón. Es en la colisión, por tanto, donde se establece la fase de “aceleración” del peatón, proyectándolo hacia adelante o elevándolo por encima del vehículo, hasta incluso caer por detrás de éste.

Cuando la velocidad de impacto desarrollada se sitúa en torno a 50 km/h el peatón no es sobrepasado por el vehículo, mientras el vehículo sigue con su trayectoria. Al impactar con el vehículo, con la inercia de éste, se produce un segundo contacto -con el capó o con la luna parabrisas-. Mientras tanto, el vehículo frena y el peatón es lanzado hacia adelante (Ilustración 5).

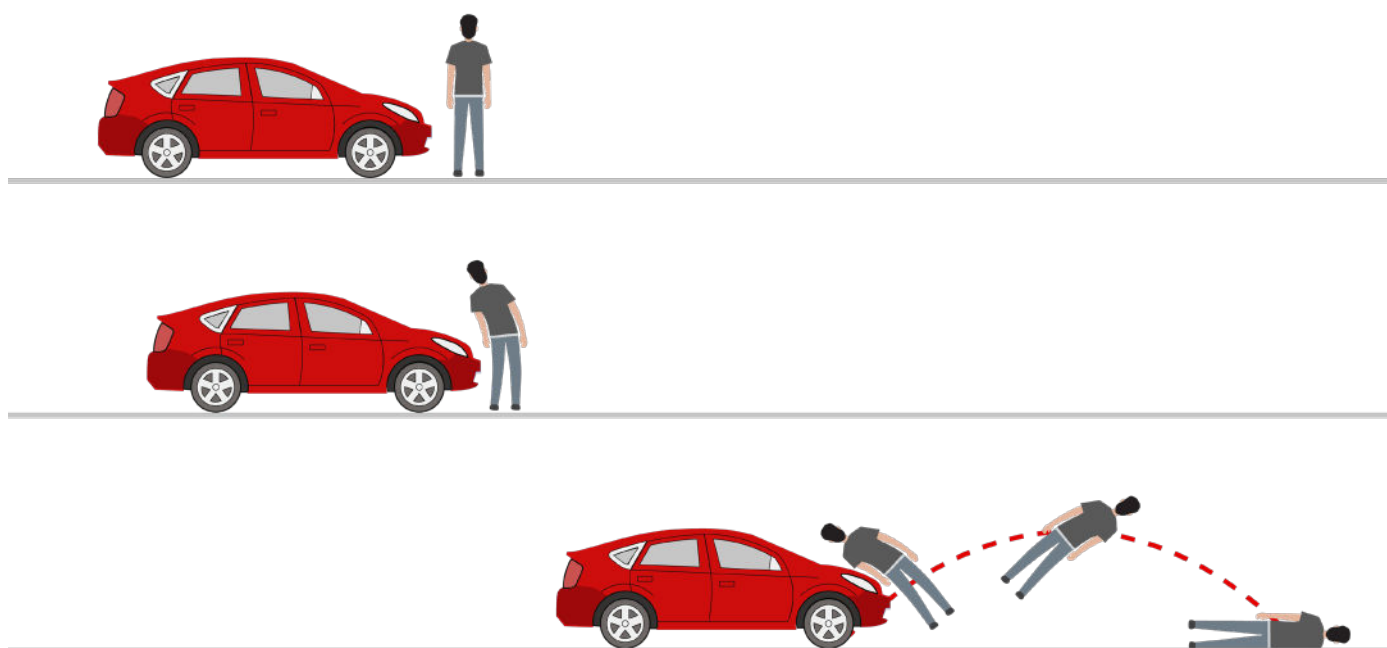


Ilustración 5: Proyección del peatón

En el caso de alta velocidad el peatón golpea el techo o el portón trasero y, posteriormente, puede caer por detrás del vehículo. Generalmente, en este tipo de accidentes aparece el factor “despiste”, al no existir maniobra de frenado o evasiva previa al contacto.

Ante atropellos con cierta lateralidad el peatón saldrá despedido hacia el lateral del vehículo, con cierta elevación, en función de la velocidad. Si fueran furgonetas o autobuses el peatón es golpeado por encima de su centro de gravedad y se lanza proyectado hacia adelante. Dependiendo de la velocidad puede haber sólo un impacto contra el vehículo (Ilustración 6).

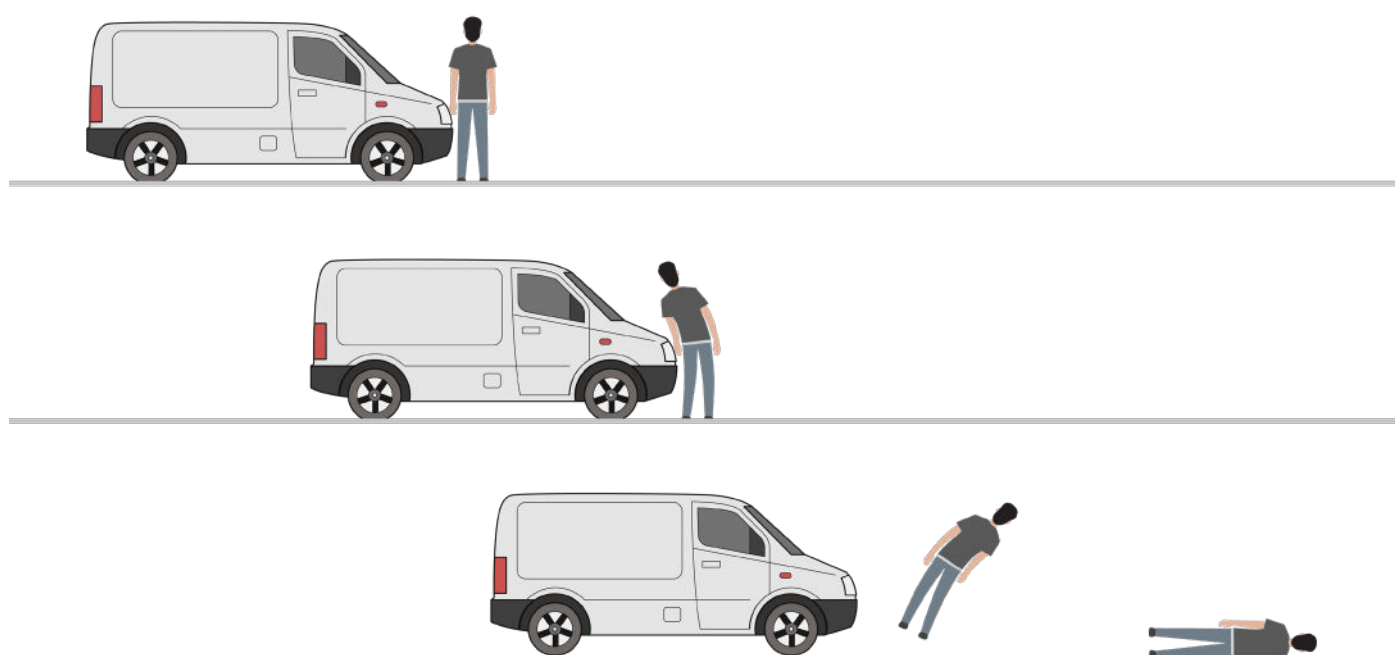


Ilustración 6: Secuencia de atropello de una furgoneta

5.1. GRAVEDAD DEL ATROPELLO VERSUS VELOCIDAD

La gravedad de las lesiones sufridas por el peatón es directamente proporcional a la velocidad a la que circula el vehículo, según afirmación en reiteradas ocasiones de la DGT y la OMS.

La probabilidad de un peatón de morir en un accidente crece según la velocidad a la que se produce el impacto con un vehículo. De esta forma, en un atropello a 30 km/h la probabilidad de heridas mortales es del 5 por ciento, con un índice de supervivencia del 90 por ciento de los peatones. La probabilidad de muerte crece hasta el 45 por ciento ascendiendo la velocidad del vehículo a solo 40 km/h de velocidad; y supera el 80 por ciento a partir de una velocidad de impacto superior a los 60 km/h (Ilustración 7).

LESIVIDAD EN PERSONAS ATROPELLADAS

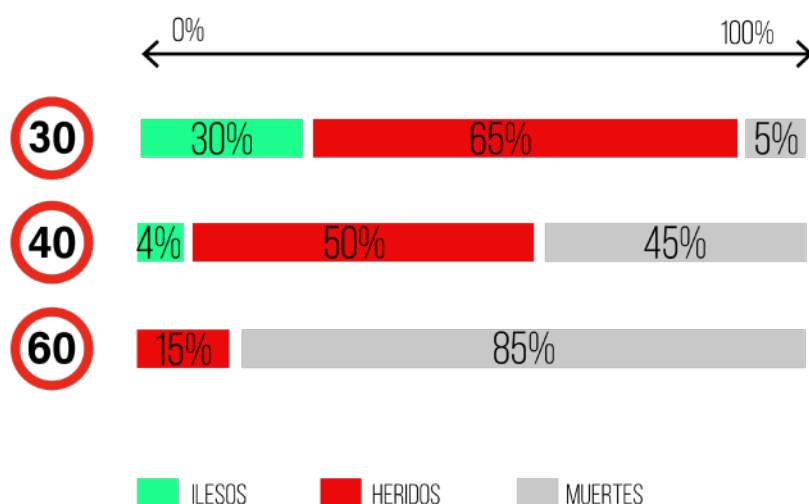


Ilustración 7: Lesividad en personas atropelladas relacionada con la velocidad

De esta manera, se puede establecer una relación entre los daños en el vehículo y la lesividad, concluyendo que, aquellos casos en los que aparecen daños en la luna del vehículo o en el propio techo, por regla general implica mayor gravedad de las lesiones (Ilustración 8).



Ilustración 8: Estado del vehículo tras un atropello a alta velocidad

6. PROTECCIÓN AL PEATÓN: INFLUENCIA EN LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Los elementos de seguridad pasiva para peatones fueron diseñados para vías urbanas, en las que la velocidad máxima de circulación, según el artículo 50 del Reglamento General de Circulación, modificación de 2021, es de 50 km/h. A partir de 60 km/h, el peatón es proyectado hacia la parte trasera del turismo, por lo que estos elementos no tendrían efectividad.

Los sistemas de seguridad pasiva que han incorporado los fabricantes de vehículos para reducir las lesiones del peatón, en caso de atropello, son:

- **Travesía inferior de peatones**

Su función principal es la de evitar que el peatón sea arrollado al producirse un atropello. Con esta configuración, el viandante es atraído hacia determinadas zonas del vehículo, para impactar contra ellas, diseñadas para absorber parte de la energía del impacto, como el capó.

- **Sistema de capó activo y zonas de deformación programadas**

Los capós están dotados de zonas de deformación programada de forma que absorba la energía del impacto, evitando el contacto directo entre el peatón y el motor -parte rígida del vehículo-. El objetivo del sistema de capó activo reduce la gravedad de las lesiones del peatón atropellado siempre que el impacto oscile a una velocidad entre 30 y 55 km/h.

Está diseñado, principalmente, para turismos, no para vehículos de mayor tamaño, ya que en estos casos se produciría una proyección del peatón, tal y como hemos informado anteriormente.

- **Airbag para peatones:**

Este sistema de seguridad funciona de manera similar al capó activo; en este caso, además de elevar la altura del capó se despliega un airbag para peatones.

Además de los fabricantes de vehículos, otros organismos, como Euro NCAP, evalúan la lesividad de los vehículos hacia los peatones en caso de atropello. El reconstructor tendrá información de estos sistemas y de su nivel de protección para ayudarle en sus reconstrucciones.

CESVIMAP verifica mediante diversas pruebas el comportamiento de los distintos sistemas de ayuda a la conducción, así como de aquéllos que puedan influir en la reducción de la siniestralidad y contribuir a minimizar las lesiones, en caso de accidente.

Los sistemas de asistencia a la frenada o de detección de peatones ayudan a minimizar el riesgo de atropello, dado que su función es agilizar la reacción del conductor y la actuación de los sistemas de frenado. Desde el punto de vista técnico, los sistemas de protección del peatón no tienen ninguna influencia en el cálculo de la reconstrucción del accidente; sin embargo, los daños sobre los peatones sí se ven reducidos.

7. CONCLUSIONES

Influencia de la velocidad en la gravedad de las lesiones: La gravedad de las lesiones sufridas por el peatón es proporcional a la velocidad a la que circula el vehículo. Según la DGT y la OMS, la probabilidad de un peatón de morir en un accidente crece con la velocidad a la que se produce el impacto con un vehículo. Por ejemplo, en un atropello a 30 km/h la probabilidad de heridas mortales es del 5 por ciento, con un índice de supervivencia del 90 por ciento de los peatones. Esta probabilidad de muerte crece hasta el 45 por ciento, a 40 km/h de velocidad, y supera el 80 por ciento, a partir de una velocidad de impacto que exceda los 60 km/h.

Influencia de los sistemas de protección al peatón en la reconstrucción de accidentes: Los sistemas de seguridad pasiva para peatones han sido diseñados para vías urbanas, en las que la velocidad máxima de circulación es de 50 km/h. A partir de 60 km/h, el peatón es proyectado hacia la parte trasera del turismo, por lo que estos sistemas no tienen efectividad. Sin embargo, los daños sobre los peatones sí se ven reducidos gracias a ellos. Desde el punto de vista técnico, los sistemas de protección del peatón no tienen ninguna influencia en el cálculo de la reconstrucción.

Importancia de la biomecánica en la reconstrucción de atropellos: La biomecánica, que aplica las leyes de la mecánica a la estructura y a los movimientos de los seres vivos, es fundamental en la reconstrucción de un atropello. En este tipo de accidente se producen tres impactos diferentes: el del vehículo cuando impacta contra un objeto (en este caso, el peatón), el corporal externo (cuando el cuerpo humano golpea con un elemento del vehículo), y el corporal interno (el impacto de los órganos internos contra otras estructuras del cuerpo).

El estudio de cada uno de estos impactos es crucial para el análisis del movimiento del cuerpo en el atropello, de los daños en el vehículo y su relación con las características del siniestro.

