

Es un caso más real. También son aplicables las mismas fórmulas de conservación de la cantidad de movimiento, pero hay que variar la de conservación de la energía mecánica.

**Energía cinética inicial = Energía cinética final +
Energía de deformación**

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2 + E_{\text{def}}$$

En este libro, se explica un método para calcular las energías de deformación de un vehículo (capítulo 9).

6.2. Aplicación de los fundamentos físicos

Una vez analizados los fundamentos físicos que se van a necesitar para la resolución de las reconstrucciones, se procederá a aplicarlos a los casos reales que se pueden plantear.

6.2.1. Cálculo de la energía cinética

Todo objeto (vehículo) en movimiento posee una energía cinética, que será:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Siendo:

m = Masa del vehículo (kg)

v = Velocidad, en m/s

E_c = Energía cinética, en julios

Para calcular la energía cinética de un coche que circula a 80 km/h y cuya masa es de 1.000 kg, procedemos de la manera que se indica a continuación.

Lo primero que se ha de hacer es transformar las unidades a un mismo sistema. Recordemos en este punto que, para pasar de km/h a m/s, hay que dividir entre 3,6, mientras que para efectuar el cambio de unidades inverso habrá que multiplicar. Es decir, 1 m/s = 3,6 km/h.

Así, 80 km/h = 22,22 m/s

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.000 \text{ kg} \cdot (22,22 \text{ m/s})^2 = 246.864 \text{ Julios}$$

6.2.2. Cálculo de la energía de rozamiento

El efecto de frenada consiste, por tanto, en transformar la energía cinética del vehículo en movimiento en calor, debido al rozamiento mutuo entre los elementos de frenado (zapatas de frenado y tambor; pastillas de freno con su disco y neumático deslizando sobre el asfalto).

Por lo tanto, cuando un cuerpo (coche) sufre un frenazo y bloquea las ruedas, la energía que se disipa en la frenada es proporcional al rozamiento del neumático con el asfalto, al peso del vehículo y a la longitud de la frenada.

$$E_{roz} = \mu \cdot N \cdot l$$

Siendo:

μ = Coeficiente de rozamiento entre neumático y asfalto.

N = Normal (en un plano horizontal, la componente Normal es igual al peso).

l = Longitud de la huella de frenada.

A continuación, se presenta una tabla de coeficientes de rozamiento entre diferentes superficies asfálticas y neumático.

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO (μ)			
Terreno	Estado del terreno	Neumáticos	
		Nuevos	Viejos
Hormigón	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto grueso	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto normal	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Barro		0,2	0,1
Hielo		0,1	0,1

Ejemplo:

Vamos a calcular la energía de rozamiento disipada por un vehículo de 1.000 kg de masa, que deja una huella de frenada de 40 metros.

Pavimento en buen estado y seco: $\mu = 0,8$

$$E_{roz} = \mu \cdot N \cdot l = 0,8 \cdot 1.000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 40 \text{ m} = 313.600 \text{ Julios}$$

Si se conoce la energía de rozamiento disipada en los 40 metros de frenada, sin colisionar contra ningún obstáculo, se podrá calcular

la velocidad que llevaba este vehículo en el momento de bloqueo de las ruedas. Esto es así porque toda la energía cinética que poseía el vehículo la ha disipado en forma de energía de rozamiento aplicando la siguiente fórmula y despejando v:

$$E_{ROZ} = E_C$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 313.600 \text{ Julios}$$

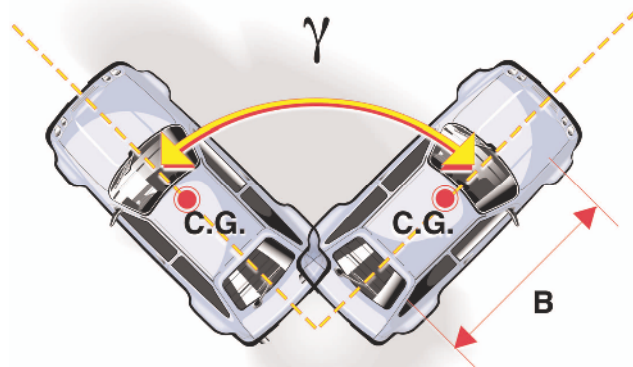
$$V = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 313.600}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 313.600}{1.000}} = 25,04 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$$

También se podrá calcular la energía de rozamiento disipada por efecto del giro de un vehículo. La energía disipada en el giro será:

$$E_G = \mu \cdot N \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2}$$

Siendo:

- μ = Coeficiente de rozamiento
- N = Componente normal del peso
- γ = Ángulo girado en radianes
- $B/2$ = Semibatalla del vehículo



C.G.: Centro de gravedad

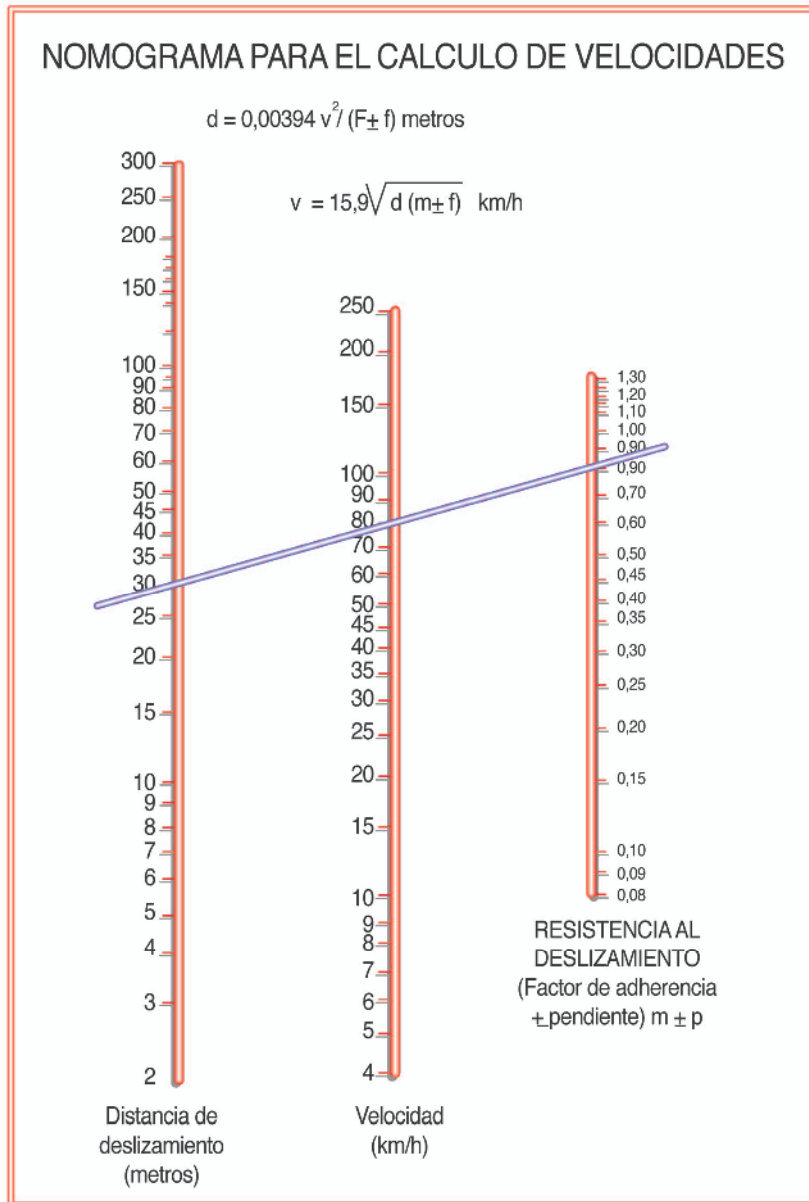
• **Nomograma para el cálculo de velocidades**

Una forma rápida de poder determinar la velocidad de un vehículo a partir de una huella de frenada, siempre y cuando no hubiese colisionado contra otro vehículo u obstáculo, sería mediante un nomograma de velocidades.

La forma de proceder es la siguiente:

En la columna de la izquierda se presentan las longitudes de deslizamiento, es decir, las longitudes de la huella de frenada en metros y, en la columna de la derecha, los coeficientes de rozamiento.

Para determinar la velocidad, se deberá tomar, en la columna de la izquierda, la longitud de la huella de frenada y, en la de la derecha, el coeficiente de rozamiento, en función del estado del terreno. Si se unen ambos puntos, esta línea cortará la columna central, obteniéndose la velocidad de circulación al comenzar a frenar.



Nomograma para el cálculo de velocidades a partir de la huella de frenado y del coeficiente de rozamiento.

6.2.3. Cálculo de la velocidad en las curvas (peraltes)

Al tomar una curva, el vehículo se ve sometido a una fuerza centrífuga (F_c) horizontal y otra vertical, correspondiente a su peso (P).

La tercera consideración importante es el estado de conservación del vehículo y su edad, influyendo notablemente factores como:

- Pérdidas de fluidos.
- Estado del cableado eléctrico.
- Sistemas de protección.
- Daños anteriores al incendio.

Otro factor significativo es el tipo de materiales con los que se ha construido el vehículo o que transportaba en el momento del incendio:

- Recubrimientos interiores.
- Materiales inflamables.
- Carga peligrosa.

La conjunción de todos estos factores va a constituir la ecuación que cuantifica el riesgo de incendio en un vehículo a motor.

7.4.1. Naturaleza de los incendios de los vehículos a motor

En primer lugar, el incendio puede producirse en el propio vehículo o alcanzarlo, habiéndose originado en el exterior.



Vehículo quemado con origen en el propio vehículo.

En ambos casos, el vehículo se incendiará, ocasionando su más que probable pérdida total. En este trabajo nos ocuparemos del primer supuesto, en el que el origen del fuego se localiza en el propio vehículo, independientemente de que se produzca antes o posteriormente a un accidente de circulación.

La forma de propagación de un fuego es la misma, independientemente de que se trate o no de un vehículo, por lo que necesitará, además, combustibles, fuentes de calor y comburentes.

Tradicionalmente, la naturaleza de los incendios en vehículos se ha achacado a temas eléctricos, sin que ello reste importancia a los producidos por ignición de combustibles líquidos o gaseosos o, incluso, a aquellos ocasionados por alguna fuente de calor puntual.

7.4.2. Combustibles

Todos los vehículos disponen de un motor térmico, que necesita combustible para producir energía. Pero, además del propio combustible del motor, en el vehículo existe un gran número de materiales combustibles, cuya participación en un incendio puede resultar decisiva.



Interior de cuero.

Según cómo se comporten en la evolución del incendio, habrá que diferenciar entre combustibles primarios y secundarios.

Los **combustibles primarios** desempeñan el papel de elemento oxidante en la reacción química o en el proceso térmico que origina un incendio.

Es el combustible que se encuentra en el foco del incendio y que lo provoca.

El combustible secundario alimenta y hace evolucionar y crecer el incendio, una vez producido. Como **combustibles secundarios** van a actuar todos aquellos materiales que pueden arder, no sólo aquellos en los que se originó el incendio.

En un vehículo se pueden encontrar tres tipos de combustible: líquidos, gaseosos y sólidos.

- **Combustibles líquidos**

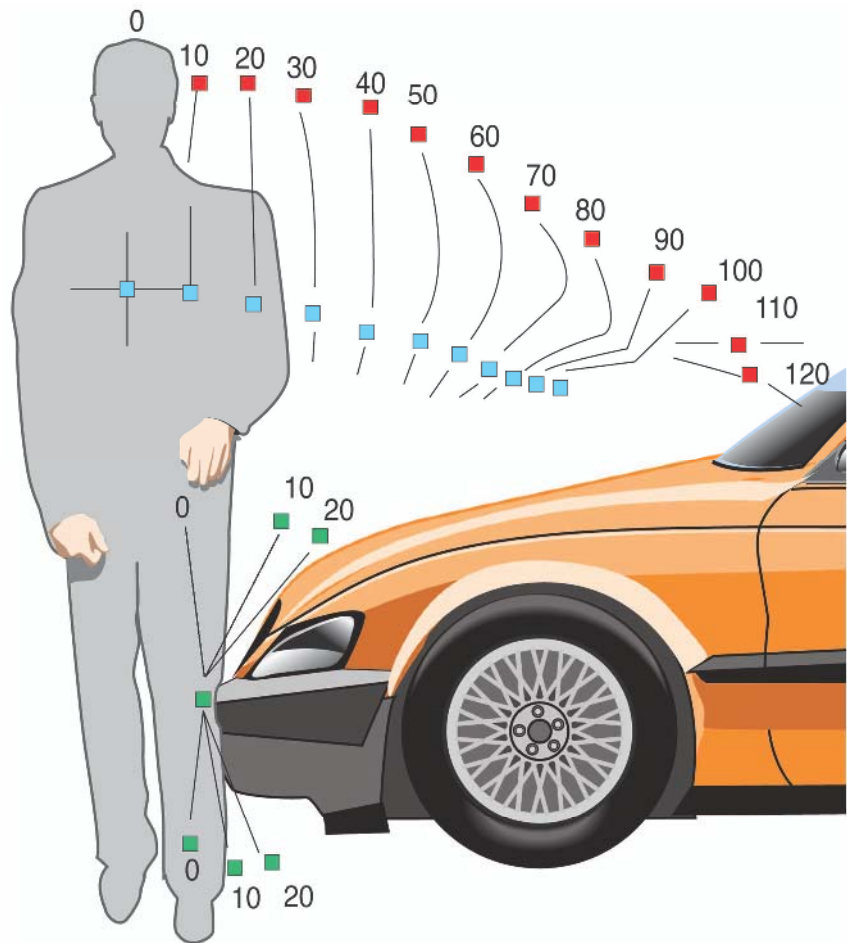
Existe un número muy elevado de combustibles líquidos en un vehículo; combinados con una fuente de calor pueden producir un incendio. En cualquier caso, aunque no ocasionen directamente el incendio, con toda seguridad intervendrán en su evolución.

Para que se produzca la combustión es necesario que el líquido se gasifique. Por lo tanto, el peligro de ignición es mayor en aquellos líquidos cuya ebullición sea más rápida o a menor temperatura.

Los líquidos inflamables más comunes en los vehículos son la gasolina, el gasóleo, el líquido de frenos, el aceite del motor y del cambio, etc.



Depósito de gasolina.



Tiempo que transcurre desde el encuentro hasta que se produce la caída sobre el capó. Fuente: SAE.

marcha, el cuerpo del atropellado se moverá de la siguiente forma:

- En el caso de velocidad baja, el cuerpo se deslizará desde el parabrisas o capó al suelo. Si la velocidad es moderada, será catapultado, proyectado desde el parabrisas.
- Si la velocidad es grande, será proyectado por encima del parabrisas, sobre el techo y por detrás del coche.

DESPUES DEL ATROPELLO

- Si el cuerpo permanece atrapado entre el parabrisas y el capó, la velocidad con que se mueven es la misma o muy parecida.
- Si el cuerpo no es atrapado, el peatón sale a un lado u otro del coche, ya que el vidrio de la luna es convexo; al separarse el peatón, tomará otra dirección.
- Si el cuerpo es proyectado por encima del parabrisas o del techo, probablemente no adquirirá la misma velocidad que el coche.

En el caso de que el coche disminuya su velocidad por el uso de los frenos, lo hará a un promedio aproximado de

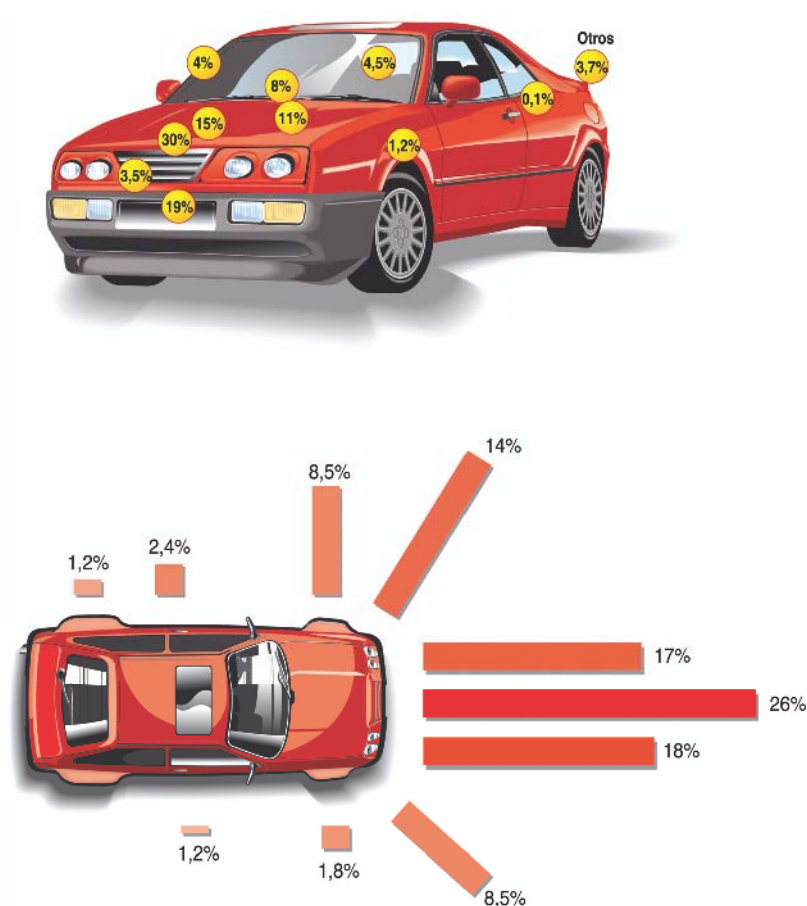
6,7 m/s² (en asfalto seco). En caso de que el coche sea frenado por el cuerpo, la deceleración del coche oscila alrededor de 2,9 m/s², modificando ligeramente la dirección del turismo al existir un deslizamiento de la rueda. En tal caso, existirán restos biológicos y ropa en la carrocería o desparramados por el suelo.

- **Arrastre.** Movimiento del peatón por el firme, el suelo, debido al impulso a que es sometido.

8.2. Estudios estadísticos sobre atropellos

Según un estudio realizado por Euro NCAP, en colaboración con varias asociaciones europeas de consumidores, a velocidades inferiores a 32 km/h sólo fallece uno de cada diez peatones, pero a velocidades superiores a 64 km/h son nueve de cada diez los que mueren.

Los puntos de impacto del peatón sobre el vehículo más frecuentes se muestran en las figuras siguientes:



Los accidentes con resultado de muerte por golpes en la cabeza han de producirse a más de 30 km/h.

Un vehículo no voltea al peatón con velocidades inferiores a 30 km/h. El volteo es total, en adultos, si la velocidad es superior a 40 km/h. A partir de 35 km/h, la cabeza del peatón rompe el cristal del parabrisas.

El cuadro adjunto muestra una estadística de la velocidad del vehículo relacionada con la trayectoria del peatón.

TRAYECTORIA	VELOCIDAD
Transporte sobre el capó	20 km/h
Proyección hacia adelante	20 km/h
Caída sobre el capó	40 km/h
Volteo por el techo	60 km/h
Volteo con proyección	60 km/h

En concreto, un estudio del Instituto de Tráfico de Illinois (USA) ha establecido las siguientes conclusiones:

- Si un vehículo circula a menos de 40 km/h, aparecen daños en el frente (capó, rejilla, faros, paragolpes, etc.), y la posición final del peatón se ubica por delante del vehículo.
- Si circula entre 40 y 60 km/h, los daños del vehículo se presentan en el frente (capó, rejilla, faros, paragolpes, parabrisas, etc.), y el peatón queda por delante del vehículo.
- Si circula a más de 60 km/h, los daños se localizan en el frente del vehículo, parabrisas y techo, y la posición final del peatón queda por detrás del vehículo.

Todos estos datos ofrecidos se deben considerar siempre de una manera orientativa, nunca matemática, y teniendo también en cuenta que estas consideraciones están realizadas para atropellos a personas adultas por vehículos de frente bajo (tipo turismo) y no de frente recto (furgonetas, camiones, etc.).

8.3. Denominación de los atropellos

En términos generales, pueden diferenciarse cinco tipos de atropellos, según la trayectoria del cuerpo y la velocidad de desplazamiento de los vehículos.

- 1.º Transporte sobre el vehículo.
- 2.º Proyección.

- 3.º Volteo.
- 4.º Levantamiento hacia el techo.
- 5.º Impulso mortal.

TRANSPORTE

Este tipo de atropellos es muy frecuente y, generalmente, se produce cuando el vehículo está frenando. En esta situación, el peatón es golpeado con la parte frontal en la zona superior del muslo, entrando en contacto con el capó. La distancia de transporte depende de la geometría del frente, de la concavidad de la luna parabrisas y de la altura de la persona atropellada. Esta distancia finaliza instantes después de que el vehículo comience a frenar o porque el cuerpo se desliza sobre el capó hasta llegar al lateral, donde cae al suelo. Después de producirse la separación de ambos, el peatón se ve sometido a rodadura y arrastre por el suelo, en mayor o menor medida según la velocidad del vehículo.

La velocidad media de estas colisiones es de 30 km/h. El contacto de la cara contra la luna parabrisas no suele ocurrir por debajo de 40 km/h.

