

# Fuerzas en equilibrio y en movimiento: estática, dinámica y seguridad vial

*Un semáforo colgado sobre un cruce no se mueve, y un coche que frena ante ese semáforo recorre todavía decenas de metros antes de detenerse. Las mismas tres leyes de Newton explican las dos situaciones. Esta unidad las aplica a estructuras que deben quedarse quietas y a vehículos que deben pararse a tiempo.*

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria

Material en revisión por el autor. Si ves un error, [avísanos](#).



Duración: 9 sesiones · Saberes: E.2, E.3 · Criterios: 2.3, 4.1, 4.2 ·

Requisitos previos: unidad 1 (cifras significativas y el valor de  $g$  medido con el péndulo), unidad 5 (energía cinética) y unidad 14 (peso,  $P = m g$ , y origen eléctrico de las fuerzas de contacto). No se presupone Física y Química de 1.º.



La unidad 14 explicó de dónde salen las fuerzas: cuatro interacciones fundamentales, de las que en la vida diaria solo se notan la gravitatoria y la electromagnética. Esta unidad deja a un lado el origen y se pregunta por el efecto: qué le pasa a un cuerpo cuando sobre él actúan varias fuerzas a la vez.



§ 1

# Describir el movimiento

---

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



# Posición, velocidad y aceleración

Para describir un movimiento rectilíneo basta una coordenada  $x$ , medida desde un origen. La velocidad indica cuánto cambia la posición por unidad de tiempo (en  $\text{m/s}$ ) y la aceleración, cuánto cambia la velocidad por unidad de tiempo (en  $\text{m/s}^2$ ). Las dos tienen sentido: en esta unidad, positivo en el sentido del movimiento.



Una aceleración de sentido contrario a la velocidad hace que el cuerpo frene, y se llama a veces deceleración. En carretera la velocidad se da en km/h. Como  $1 \text{ km/h} = 1000 \text{ m} / 3600 \text{ s}$ , para pasar a m/s se divide entre 3,6: 90 km/h son 25 m/s, y 120 km/h son 33,3 m/s.



§ 2

# Las leyes de Newton

---

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



# Primera ley: la inercia

Un cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza, o sobre el que las fuerzas se compensan, sigue en reposo o se mueve en línea recta con velocidad constante. Esta propiedad de mantener su estado de movimiento se llama inercia, y su medida es la masa.



# Tres ideas previas que las leyes de Newton desmienten

«Si un cuerpo se mueve, alguna fuerza lo empuja en el sentido del movimiento». No: la fuerza neta determina la aceleración, no la velocidad. Una nave en el espacio con los motores apagados sigue moviéndose indefinidamente. Si la velocidad es constante, la fuerza neta es cero. «Acción y reacción se anulan, así que nada debería moverse».



# Movimiento en una curva

Para que un cuerpo describa una circunferencia de radio  $r$  con rapidez  $v$ , la fuerza neta debe apuntar hacia el centro y valer  $m v^2/r$  (la fuerza centrípeta que la unidad 14 aplicaba a las órbitas). En una curva plana, esa fuerza solo puede darla el rozamiento entre los neumáticos y el asfalto, que como mucho vale  $\mu m g$ .



# Émilie du Châtelet y la traducción francesa de los Principia

La velocidad máxima a la que se puede tomar la curva sin derrapar es  $v_{\text{máx}} = \sqrt{\mu g r}$  La masa se simplifica: un camión y una moto tienen el mismo límite si sus neumáticos agarran igual. En la curva el neumático no desliza, así que actúa el rozamiento estático;



§ 3

# El rozamiento

---

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



# Rozamiento estático y dinámico

Cuando una superficie se apoya sobre otra, el contacto produce dos fuerzas: la normal  $N$ , perpendicular a la superficie, y el rozamiento, paralelo a ella y opuesto al deslizamiento (o a la tendencia a deslizar). Como recordó la unidad 14, las dos tienen origen eléctrico.



§ 4

# Estática: estructuras en equilibrio

---

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



# Las condiciones de equilibrio

Un cuerpo está en equilibrio estático si está en reposo y sigue en reposo. Para un cuerpo que se puede tratar como un punto, basta que la fuerza neta sea cero:  $\Sigma F = 0$ , es decir,  $\Sigma F_x = 0$  y  $\Sigma F_y = 0$  Para un cuerpo extenso, como una viga o una puerta, además no debe girar.



La capacidad de una fuerza para hacer girar un cuerpo alrededor de un punto se mide con su momento:  $M = F \cdot d$ , donde  $d$  es la distancia perpendicular del punto a la línea de acción de la fuerza (en N m). La segunda condición de equilibrio es que la suma de momentos respecto a cualquier punto sea cero:  $\Sigma M = 0$ .



# Equilibrio no significa ausencia de fuerzas

Un cuerpo en equilibrio puede soportar fuerzas enormes; lo que es nulo es su suma (y la suma de sus momentos). Equilibrio significa aceleración cero, no velocidad cero: un coche a velocidad constante en una recta también está en equilibrio de fuerzas.



## 15.1 • Un semáforo colgado de un cable

Enunciado Un semáforo de 15,0 kg cuelga del punto medio de un cable sujeto a dos postes a la misma altura. Cada mitad del cable forma un ángulo de  $20,0^\circ$  con la horizontal. a) Calcula la tensión de cada mitad del cable. b) ¿Por qué no se puede tensar el cable hasta dejarlo horizontal?

Dato:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

1. Cuerpo aislado: el punto del cable del que cuelga el semáforo. Sobre él actúan el peso del semáforo,  $P = m g = 15,0 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 147 \text{ N}$ , vertical hacia abajo, y las dos tensiones  $T$ , cada una dirigida a lo largo de su mitad de cable, a  $20,0^\circ$  por encima de la horizontal.
2. Eje x:  $T \cos 20,0^\circ - T \cos 20,0^\circ = 0$ . Se cumple siempre: por simetría, las dos tensiones son iguales. Cada una tiene una componente horizontal de  $T \cos 20,0^\circ$ .
3. Eje y:  $2 T \sin 20,0^\circ - m g = 0$ , así que  $T = m g / (2 \sin 20,0^\circ) = 147,15 \text{ N} / (2 \times 0,3420) = 215 \text{ N}$ .
4. Componente horizontal:  $T \cos 20,0^\circ = 215 \text{ N} \times 0,9397 = 202 \text{ N}$ . Es lo que cada poste soporta tirando hacia el semáforo.
5. Cable horizontal: si el ángulo tiende a  $0^\circ$ ,  $\sin \theta$  tiende a 0 y  $T = m g / (2 \sin \theta)$  crece sin límite. Con  $5^\circ$  ya serían 844 N. Ningún cable real lo aguanta: siempre debe combarse un poco.



# Equilibrio en la naturaleza y en la técnica

Ingeniería: puentes colgantes, grúas, tirantes de una pérgola o andamios se calculan con  $\Sigma F = 0$  y  $\Sigma M = 0$  aplicadas a cada nudo y a cada barra. Biología: el antebrazo funciona como una palanca con el apoyo en el codo.



§ 5

# Dinámica aplicada: la seguridad vial

---

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



# La distancia de detención

Desde que un conductor percibe un peligro hasta que el coche se para, el vehículo recorre la distancia de detención, suma de dos tramos: Distancia de reacción: mientras el conductor percibe, decide y lleva el pie al freno, el coche sigue a velocidad constante (MRU):  $d_r = v \cdot t_r$ .



Distancia de frenado: con el freno pisado, el coche decelera (MRUA) hasta pararse:  $d_f = v^2 / (2 a)$ . Si los neumáticos agarran con un coeficiente  $\mu$ , la deceleración máxima es  $a = \mu g$ . Con las ruedas bloqueadas actúa el coeficiente dinámico; el ABS evita el bloqueo y se acerca al estático, algo mayor.



## 15.2 · ¿Cuánto necesita un coche para detenerse?

Enunciado Un turismo circula a 90 km/h por una carretera llana y seca. Las luces de freno del coche de delante se encienden y el conductor reacciona en 1,25 s. Después frena con una deceleración constante correspondiente a  $\mu = 0,70$ . a) Calcula la distancia de reacción, la de frenado y la de detención.

1. Velocidad en el SI:  $v = 90 \text{ km/h} / 3,6 = 25,0 \text{ m/s}$ .
2. Distancia de reacción (MRU):  $d_r = v t_r = 25,0 \text{ m/s} \times 1,25 \text{ s} = 31,25 \text{ m} \approx 31 \text{ m}$ .
3. Deceleración en seco:  $a = \mu g = 0,70 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 6,87 \text{ m/s}^2$ .
4. Distancia de frenado en seco (MRUA):  $d_f = v^2 / (2 a) = (25,0 \text{ m/s})^2 / (2 \times 6,87 \text{ m/s}^2) = 625 / 13,73 \text{ m} = 46 \text{ m}$ . Tarda  $t = v / a = 3,6 \text{ s}$  en pararse.
5. Distancia de detención en seco:  $31,25 \text{ m} + 45,5 \text{ m} = 76,8 \text{ m} \approx 77 \text{ m}$ .
6. Calzada mojada:  $a = 0,50 \times 9,81 = 4,91 \text{ m/s}^2$ ;  $d_f = 625 / 9,81 \text{ m} = 64 \text{ m}$ ; distancia de detención =  $31,25 + 63,7 = 95 \text{ m}$ . La reacción no cambia; el frenado aumenta un 40 %.



# Qué dice la física sobre las normas de tráfico

La velocidad pesa al cuadrado. A 120 km/h, con los datos del ejercicio 15.2 en seco, la distancia de detención es  $42\text{ m} + 81\text{ m} = 123\text{ m}$ , frente a 77 m a 90 km/h: un 33 % más de velocidad, un 60 % más de distancia.

*Hasta aquí la teoría*

Continúa en el libro de la unidad.