

La velocidad terminal de gotas y granizos

José Miguel Viñas

Artículo publicado originalmente como una entrada en www.tiempo.com



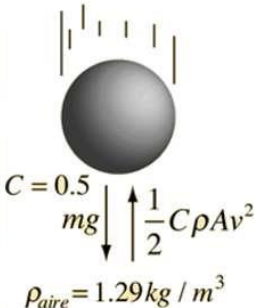
Salpicaduras generadas por el impacto de las gotas de lluvia en un fuerte chaparrón.

Para conocer a qué velocidad impacta una gota de lluvia o un granizo contra el suelo, debemos de analizar qué fuerzas actúan sobre ese par de hidrometeoros durante su caída por la atmósfera. Antes de iniciarse la precipitación, en el interior de las nubes van formándose multitud de pequeñas gotas de agua y minúsculos granizos, sin tamaño aún suficiente para iniciar su caída, ya que las corrientes de aire ascendentes compensan con creces el peso que tiene cada uno de esos pequeños elementos flotantes. Las cosas comienzan a cambiar cuando las gotas o los granizos adquieren un tamaño tal que su peso consigue vencer a la fuerza de sustentación que hasta ese momento los mantenía ahí arriba.

Pensando, en primer lugar, en la caída de una gota de agua, la fuerza de la gravedad tira en todo momento de ella hacia abajo, pero a lo largo del descenso va adquiriendo importancia una fuerza en sentido contrario –hacia arriba–, debida a la fricción de la gota con el aire. Esta fuerza es directamente proporcional a la superficie de la gota y, en consecuencia, a su tamaño. La velocidad de caída es menor en el caso de las gotas pequeñas que de las grandes, pero contrariamente a lo que puede pensarse a primera vista, la velocidad de una gota de llovizna o de lluvia no aumenta indefinidamente en su caída, sino que alcanza una velocidad máxima que viene dictada por el equilibrio entre las dos fuerzas contrapuestas mencionadas, que se conoce como velocidad límite o terminal.

Terminal Velocity of Different-Size Particles Involved in Condensation and Precipitation Processes			
TERMINAL VELOCITY			
Diameter (μm)	m/sec	ft/sec	Type of Particle
0.2	0.0000001	0.0000003	Condensation nuclei
20	0.01	0.03	Typical cloud droplet
100	0.27	0.9	Large cloud droplet
200	0.70	2.3	Large cloud droplet or drizzle
1000	4.0	13.1	Small raindrop
2000	6.5	21.4	Typical raindrop
5000	9.0	29.5	Large raindrop

© 2007 Thomson Higher Education

$$v_{\text{límite}} = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho_{\text{aire}}A}}$$


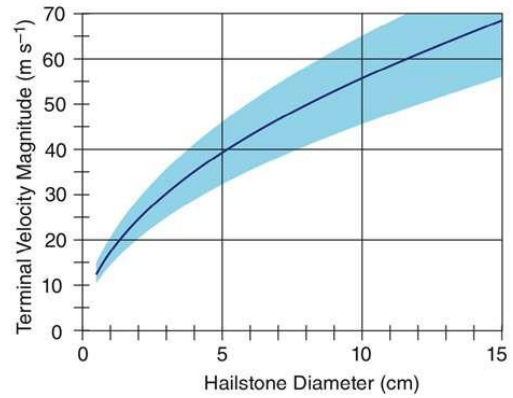
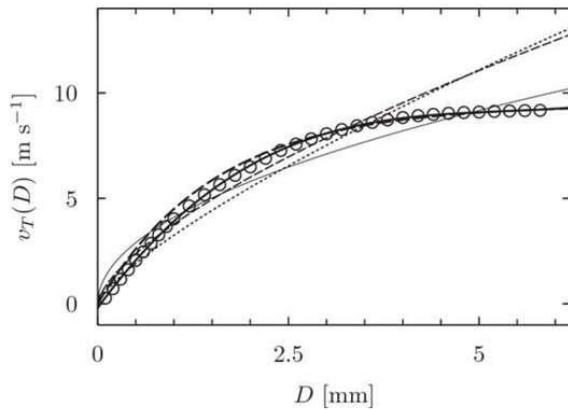
$C = 0.5$

$\rho_{\text{aire}} = 1.29 \text{ kg} / \text{m}^3$

Izquierda: Tabla con los valores de la velocidad terminal de núcleos de condensación, gotitas de nube y gotas de lluvia de diferentes diámetros. Derecha: Esquema de las dos fuerzas que actúan en la caída de una gota de agua o granizo en la atmósfera y ecuación de la velocidad límite o terminal.

La velocidad terminal es mayor cuanto mayor lo sea el del elemento precipitante. Tal y como podemos ver en la tabla que acompaña estas líneas, mientras que para una gotita grande nube o de llovizna (diámetro de 0,2 mm [200 μm]) dicha velocidad es de 0,7 m/s, en el caso de una gota de lluvia de tamaño típico (diámetro de 2 mm [2000 μm]), la velocidad terminal asciende a 6,5 m/s, y si lo que cae es una gota de lluvia grande (diámetro de 5 mm [5000 μm]), lo hará a 9 m/s, lo que aproximadamente son 32 km/h.

Si bien en el rango de tamaños más pequeños (desde las gotitas de nube hasta las gotas de lluvia de menor calibre) la velocidad terminal va aumentando linealmente con el diámetro, una vez que las gotas de lluvia alcanzan un tamaño intermedio (que podemos fijar en los 3 mm de diámetro), dicha velocidad de caída sigue aumentando pero a menor ritmo, tendiendo a mantenerse en torno a los 9 m/s para un amplio rango de tamaños. Dicha circunstancia queda bien reflejada en la gráfica de la izquierda de las dos que aparecen en la siguiente figura, donde se observa cómo la mayor parte de las curvas estimadas por los distintos autores tienden asintóticamente a ese valor cuando las gotas de lluvia alcanzan unos 3 mm de diámetro.



Curvas de la velocidad terminal de las gotas de lluvia (izquierda) y el granizo (derecha).

Los granizos también alcanzan una velocidad terminal en su caída, pero, a diferencia de lo que ocurre con las gotas, dicha velocidad no tiende a alcanzar un determinado valor a partir de un tamaño determinado de granizo, sino que –tal y como se puede comprobar al observar las curvas de la figura anexa– aumenta progresivamente a medida que aumenta el tamaño de los granizos. Si pensamos en granizos perfectamente esféricos y para un coeficiente de arrastre $C=0,5$ (valor teórico considerado para el cálculo de la fuerza de rozamiento de una gota o granizo cayendo libremente por el aire), mientras que un granizo de 0,5 cm de diámetro llega al suelo a unos 50 km/h, uno de 2 cm roza los 100 y si pensamos en uno de 4 cm (igual que una pelota de ping pong), su velocidad límite alcanza los 130 km/h. A la vista de estos datos, empieza a ser peligroso para nuestra integridad física exponerse al impacto de granizos de gran calibre.