

Resistencia del aire en caída libre · Pablo Cassinello Espinosa

Si no influye el rozamiento con el aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración en la superficie terrestre ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Cuando sí influye, se ralentiza la caída que incluso puede llegar a ser con velocidad uniforme. En este trabajo se analiza de qué depende la resistencia del aire y se realiza un estudio práctico para comprobar que es proporcional a la velocidad de caída al cuadrado. Utilizamos objetos ligeros que alcanzan fácil y rápidamente la velocidad terminal de caída. Se calcula esta velocidad uniforme y se ve cómo influye en la fuerza de resistencia del aire.

Caída con aceleración

Cuando un cuerpo cae, está actuando la fuerza peso, vertical hacia el suelo. Pero también, actúa una fuerza vertical en sentido contrario debido al rozamiento con el aire. Si se evita esta resistencia o este rozamiento no es significativo, todos los cuerpos caen con la aceleración de la gravedad (g). El valor de la gravedad (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$) es el mismo independientemente de la masa. Pero intuitivamente se piensa que los cuerpos más pesados caen con mayor aceleración que los ligeros. Muchos alumnos así lo creen. Por eso es conveniente y didáctico realizar alguna demostración en clase para mostrar que cuerpos de distinta masa tardan lo mismo en caer. Como ejemplo, puede dejarse caer desde la misma altura una bola de petanca y otra de tenis. La primera pesa por encima de trece veces más que la otra, pero llegan al suelo a la vez. Esto sólo es válido, si caen desde poca altura (por ejemplo, tres metros) porque la influencia del rozamiento del aire es muy pequeña, si los cuerpos, como en este caso, no son ligeros. Para despejar cualquier duda entre el alumnado puede grabarse a cámara lenta y mostrarse.¹



Figura 1. Bolas de distinta masa cayendo a la vez. Fuente: El autor.

Ahora bien, si los objetos caen desde cierta altura la resistencia del aire ya no es insignificante (porque depende de la velocidad de caída al cuadrado, como se comprobará más adelante). En el caso de la bola de petanca y tenis, ya no llegan al unísono. Puede ser igual el rozamiento con el aire, pero aun así, cae antes la más pesada porque proporcionalmente influye más en el cuerpo que pesa poco. Fue Galileo quien descubrió la ley de caída de todos los cuerpos que caen con cualquier aceleración si no interviene significativamente la resistencia del aire. Ya sea caída libre vertical o caída por una rampa. Descubrió que el espacio es proporcional al tiempo al cuadrado siguiendo la ley de caída relacionada con los números impares: ² si para un tiempo t el espacio recorrido es s , en el siguiente tiempo t el avance es $3s$, en el siguiente será $5s$... Impresiona que fue capaz de hallarla utilizando relojes de arena y agua. Esta deducción, utilizando el método científico supuso un cambio radical respecto de la concepción predominante de la caída desde Aristóteles. Para ilustrarla, se aconseja realizar una práctica de caída de una bola por una rampa en el laboratorio.³ Además de ser una práctica instructiva, es un buen ejemplo de movimiento acelerado y se puede comprobar esta ley de caída de Galileo.

Caída con movimiento uniforme

Cuando la altura de la caída es considerable, muchos cuerpos alcanzan velocidad terminal uniforme. Al principio, caen con aceleración, pero llega un momento en que la fuerza de resistencia del aire aumenta lo suficiente para provocar la caída con velocidad constante. Por ejemplo, un especialista cayendo desde un avión la alcanza a unos 200 km/h . Mas moderada es la velocidad constante terminal de una pelota de golf: 158 km/h y una de béisbol (155 km/h).⁴ En la caída de un cuerpo ligero se alcanza la velocidad constante enseguida, incluso desde poca altura porque la resistencia del aire presenta un valor que es un porcentaje significativo del valor del peso, llegando a ser igual al mismo cuando el cuerpo cae con velocidad terminal constante. Es interesante y didáctico mostrar a los alumnos un ejemplo de caída con movimiento terminal uniforme.⁵ Puede realizarse fácil y rápidamente utilizando un cono de papel o ciertos filtros de café.⁴ Para realizar conos para la experiencia (Fig. 2), se necesitan círculos de papel con el mismo radio. En nuestro caso, se ha escogido 10 cm . Desde el centro se traza un radio cualquiera. A un ángulo determinado se dibuja otro radio. Se da un corte a uno de los radios y se desplaza este radio montándolo encima del otro. Finalmente, se pone un poco de celofán por fuera.⁵ Para hacer más evidente la velocidad uniforme terminal, además del cono se deja caer al mismo tiempo y desde la misma altura una pelota pequeña que sí cae todo el tiempo con aceleración y también se pueden dejar caer dos conos a la vez que llegan al unísono al suelo, para comprobar que este movimiento uniforme responde a unas causas reproducibles y no es por casualidad.⁵



Figura 2. Conos de papel para la experiencia. Fuente: El autor.

Resistencia del aire en la caída libre

La resistencia del aire (R) es una fuerza vertical en sentido contrario al peso. Su expresión es: $R = \frac{1}{2} C \rho A v^2$, donde C es el coeficiente de arrastre, una constante adimensional de valor empírico que depende básicamente de la forma del cuerpo (para cuerpos esféricos su valor es $0,5$); ρ es la densidad del aire; A es el área efectiva (no el área total del cuerpo, sino la que es afectada directamente por el aire), esto es, el área de la sección transversal del objeto en movimiento medido en un plano perpendicular a su velocidad.⁴ Si por ejemplo, se deja caer desde una gran altura una pelota grande y otra pequeña del mismo peso se observa que llega al suelo antes la pelota pequeña porque tiene un área menor y, por tanto, hay menor resistencia del aire.



Figura 3. Cono cayendo delante de las medidas de altura. Fuente: El autor.

Resulta didáctico constatar la influencia del área efectiva en la experiencia de caída uniforme de conos de papel. Cuando ésta es mayor (menor ángulo en la realización del cono) el cono cae más lentamente. Finalmente, en la fórmula de la resistencia aparece la velocidad (v) al cuadrado. En el siguiente apartado se desarrolla una propuesta práctica en la que se investiga precisamente esta relación entre la velocidad de caída y la resistencia del aire. Para evitar la influencia del área se dejan caer conos iguales con la misma superficie. Aunque variemos el número de conos que se precipitan desde la misma altura, el área es la misma porque al poner unos conos dentro de los otros no cambia al área efectiva que es afectada por el aire exterior.

El cálculo de la resistencia del aire (R) en la caída, según la fórmula ya expuesta, puede ser complicado, pero es sencillo cuando se alcanza velocidad terminal uniforme. En este caso, esta fuerza es igual al peso del cuerpo, cumpliéndose por tanto, esta ecuación: $R = mg$.

Influencia de la velocidad de caída en la resistencia del aire

Para realizar el estudio, no podemos utilizar un objeto como una pluma o una hoja de papel porque no caen de forma regular. Lo hacen caóticamente, pero hemos comprobado que un cono de papel cae de forma regular y, analizando pormenorizadamente, se observa que lo hace finalmente con velocidad uniforme. El estudio se va a hacer utilizando cuatro conos de papel iguales. Se realizan a partir de círculos de papel de 10 cm de radio. El ángulo escogido para confeccionarlos, según las instrucciones ya expuestas, es de 120 grados. Primeramente, se deja caer solo uno. A continuación, se duplica la masa de caída poniendo un cono dentro de otro. Luego se utilizan tres y finalmente cuatro. Cuando en la caída alcanzan la velocidad terminal uniforme, la resistencia del aire es igual al peso. $R = mg$. Así que es fácil calcular su valor, en cada caso. Hay que tener en cuenta que el área es la misma en los cuatro casos, pues se trata del área efectiva que coincide con solo el área del cono inferior. También es constante la densidad del aire, así que la fórmula de la resistencia del aire se simplifica:

$$R = \frac{1}{2} C \rho A v^2 = \text{Constante} \cdot v^2$$

Para conseguir con certeza velocidad uniforme, dejamos caer los conos desde una considerable altura, casi tres metros, por lo que el experimentador tiene que subirse a una mesa o una silla. Para calcular la velocidad terminal de caída se ha medido en todos los casos el tiempo desde la misma posición (altura de 1,4 metros). No se utiliza una mayor, para asegurarnos que en todos los casos en la caída desde casi tres metros se manifiesta ya, al paso por una altura de 1,4 metros, velocidad terminal uniforme. Se ha grabado primero la precipitación de un cono y analizándolo a cámara lenta se ha medido el tiempo en caer sólo en el tramo final desde 1,4 m de altura. A continuación, se realizan dos grabaciones más con sólo un cono y se hallan también, ralentizando a cámara lenta, los tiempos correspondientes. Se procede igual con dos conos (doble de masa), a continuación con tres y finalmente con cuatro.⁶ En la siguiente tabla se recogen los tiempos medios encontrados para cada caso. También se ha calculado la velocidad terminal, simplemente dividiendo la altura (1,4 m) entre el tiempo medio correspondiente. Igualmente, en la tabla se recoge el valor de esta velocidad al cuadrado.

Número de conos	Masa (g)	Tiempo medio de caída a 1,4 m. (s)	Velocidad terminal (m/s)	Velocidad terminal ² (m/s) ²
1	2,7	0,72	1,95	3,8
2	5,4	0,52	2,7	7,3
3	8,1	0,42	3,3	10,9
4	10,8	0,37	3,75	14

Tabla 1. Valores obtenidos dependiendo del número de conos en la caída.

En la Figura 4 se representa la resistencia del aire dependiendo de la velocidad terminal de caída. Se constata que no hay una dependencia lineal entre la velocidad y la resistencia. Si se representa, en cambio, la velocidad terminal al cuadrado frente a la resistencia del aire, sí que obtenemos una línea recta. Se comprueba así en el laboratorio que la velocidad de caída influye considerablemente en la resistencia del aire. Se constata de este modo que la resistencia es función de la velocidad de caída del cuerpo al cuadrado. Sin duda, una experiencia didáctica de gran valor para el aprendizaje significativo de la física.

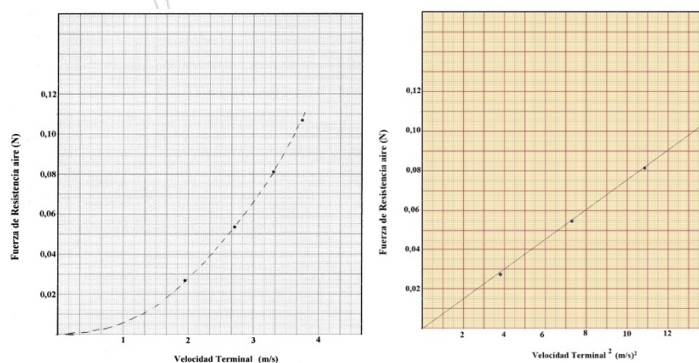


Figura 4. Dependencia de la resistencia con la velocidad terminal. Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

1. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Objetos de distinta masa caen a la vez https://youtube.com/shorts/97w6jL_Xlf8?feature=share (Última consulta 29/3/2026).
2. Drake S. (1989). *History of free fall* Ed. Wall and Thompson, 1.
3. Camarero, Ana; Cassinello, P.; Ruano, M.; Somolinos, C.; Valdés, D. (2022). Aceleración de la gravedad. Demostraciones y prácticas en el aula. *Revista Alambique*, 109 , pp. 15-22.
4. Jewett, J.; Serway, R. (2018) *Physics for scientists and engineers*. Editorial Caengage Learning, pp. 150-153.
5. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Ejemplo sencillo de velocidad terminal uniforme <https://youtube.com/shorts/mheY7EXwGrs?feature=share> (Última consulta: 29/3/2026).
6. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Tiempos de caída de conos <https://youtube.com/shorts/-mNXu4Nw1WQ?feature=share> (Última consulta: 29/3/2026).



Pablo Cassinello Espinosa
GEDH, RSEF-RSEQ
DEDF, RSEF
pbccassi@gmail.com