

100

Simple + física



Por el humo se sabe dónde esta el fuego

(5 - 9 marzo 2007)

Cuando el aire está en reposo, el penacho de humo de una chimenea, una hoguera, un cigarrillo, una vela, etc. asciende suavemente siguiendo una línea vertical al principio, pero a partir de cierta altura comienza formar remolinos.

¿A qué se debe que el penacho de humo cambie su forma a partir de una determinada altura?



AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.fcu.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

Resp.: El humo está formado por partículas procedentes de la combustión¹ que son arrastradas por el aire caliente. De acuerdo con el principio de Arquímedes, este aire caliente asciende porque es menos denso que el aire de su entorno.

En general, el movimiento de los fluidos se divide en dos grandes regímenes. En el *régimen laminar* el fluido se mueve de modo que las capas adyacentes deslizan ordenadamente unas junto a las otras, sin llegar a mezclarse; normalmente, este régimen tiene lugar cuando el fluido se mueve lentamente. En el *régimen turbulento* el fluido se mueve de forma que sus diferentes capas se mezclan entre sí de una forma caótica e impredecible, formándose torbellinos; este régimen suele tener lugar cuando el fluido excede cierta velocidad crítica y/o se encuentra con obstáculos de dimensiones apreciables en comparación con las dimensiones de la conducción.²

En el caso que nos ocupa, la parte inferior del penacho de humo se mueve en régimen laminar, mientras que la parte superior lo hace en régimen turbulento. Este cambio de régimen se debe a que el movimiento del humo es acelerado (tal como se discute en el siguiente párrafo); su velocidad aumenta progresivamente con la altura, hasta que alcanza un valor crítico en el que se produce la transición del régimen laminar al turbulento.

La aceleración a con que se mueve una masa m_c de aire caliente se obtiene aplicando la segunda ley de Newton: $m_c a = E - P$, donde E y P representan el empuje y el peso, respectivamente; estas fuerzas se pueden escribir $E = V \rho g$ y $P = V \rho_c g$, donde g es la aceleración de la gravedad terrestre, V es el volumen de la masa de aire en movimiento, y ρ_c y ρ son, respectivamente, las densidades del aire caliente y del "normal". Realizando las correspondientes sustituciones en la segunda ley de Newton, se obtiene que el aire caliente asciende con una aceleración $a = g(\rho/\rho_c - 1)$. Por lo tanto, la velocidad del penacho de humo va aumentando a medida que asciende.³

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...): La época más excitante, satisfactoria y estimulante para vivir es aquella en la que pasemos de la ignorancia al conocimiento de estas cuestiones fundamentales, la época en que comencemos maravillándonos y terminemos por comprender. [Carl Sagan, *El cerebro de Broca* (1978)]

¹ Una mala combustión, ciertamente.

² La transición entre los regímenes laminar y turbulento viene determinada por el número de Reynolds, que es una magnitud adimensional definida como $Re = v \rho D / \eta$, donde v , ρ y η representan la velocidad, la densidad y la viscosidad, respectivamente del fluido; D es una dimensión característica de un obstáculo o de la conducción por la que se mueve el fluido. La principal variable que afecta al valor de Re en el penacho de humo es su velocidad.

³ El aire caliente se enfría al ascender y su densidad aumenta, hasta igualarse a la del aire de su entorno. Aunque la aceleración no sea constante, no afecta al razonamiento de esta cuestión.