

## Fórmula para averiguar la influencia de la altitud

Una compleja fórmula permite cuantificar la mayor velocidad de la bola en una ciudad en altura, con respecto a otra al nivel del mar. Tomando un saque a 200 km/h en Sevilla (7 metros de altitud), la sede de la final de la Davis de 2004, se obtiene un aumento de la velocidad en Madrid (650 metros) del 1%, es decir 202 km/h. A mayor altitud, mayor penetrabilidad del aire, por lo que la velocidad es mayor. No obstante, los datos son significativos a partir de los 1.500 metros.

### 1 Evolución en el tiempo de la velocidad de la pelota

Velocidad  $\frac{dv}{dt}$  = Fuerza de resistencia  $-F_D$  = Coeficiente de resistencia  $\frac{C_D}{2}$  Área frontal de la pelota  $A_F$  Densidad del aire  $\rho$   $v^2$

Masa de la pelota  $m$  Tiempo  $dt$   $\Delta^2$  Diámetro

### 2 Determinación de la densidad del aire $\rho$

Distancia  $\frac{dx}{dt} = v$  Al dividir obtenemos  $m \frac{dv}{dt} = -\frac{C_D}{2} A_F \rho v$

Lo cual puede integrarse con condicional  $v=v_i$  en  $t=0$  para dar  $\frac{v}{v_i} = e^{-\frac{C_D}{2} \frac{A_F \rho}{m} x}$

### 3 Conclusión

Para la misma velocidad inicial (inmediatamente tras el impacto de la raqueta), la velocidad a una misma distancia ( $x$ ) será diferente en Madrid y Sevilla porque  $\rho$  es diferente.

En Madrid

$$\frac{V_M}{V_i} = e^{-\frac{C_D}{2} \frac{A_F \rho_M}{m} x}$$

En Sevilla

$$\frac{V_B}{V_i} = e^{-\frac{C_D}{2} \frac{A_F \rho_B}{m} x}$$

Dividiendo obtendríamos

$$\frac{V_M}{V_B} = e^{-\frac{C_D}{2} \frac{A_F (\rho_S - \rho_B)}{m} x} \approx 1\%$$

$$C_D \approx 0,4 \quad \rho_M - \rho_B \approx 0,05 \text{ kg/m}^3 \quad A_F \approx 35 \text{ cm}^2 \quad x = 15 \text{ m} \quad m = 0,058 \text{ kg}$$

FUENTE: Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid.