



Estudio del comportamiento aerodinámico de una pelota de tenis en el túnel de viento de la NASA. NASA

# COPA DAVIS > LA ESCUADRA ESPAÑOLA SE ALÍA CON LOS ELEMENTOS

FINAL DE LA COPA DAVIS 2004. AL SERVICIO, ANDY RODDICK. LA ARMADA (TENÍSTICA) ESPAÑOLA, AL RESTO. EL OBJETIVO: RESTARLE VELOCIDAD AL SAQUE DEL NORTEAMERICANO, QUE OSTENTA EL RÉCORD DEL CIRCUITO CON UN GOLPE DE 249,4 KM/H, Y AL DE SUS COMPATRIOTAS, QUE NO LE ANDAN MUY A LA ZAGA. PARA CONSEGUIRLO, ESPAÑA HA ESCOGIDO UNA SEDE DONDE SE DAN LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS MÁS RALENTIZADORAS. TEXTO **MARÍA ARES ESPÍÑERA**

**> UNA ATMÓSFERA ESPECIAL** Del 3 al 5 de diciembre, España y Estados Unidos disputarán la final de la Copa Davis con Sevilla como sede. Una polémica elección que, según explicó en su momento Juan Avendaño, portavoz del grupo Técnico de la Federación Española de Tenis, atendió exclusivamente a criterios científicos y, más en concreto, a la diferencia de altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentran las que eran las dos sedes favoritas: Sevilla, a 7 metros sobre el nivel del mar, frente a los 600 metros de Madrid, ya que “el aire pesa y, cuanto más cerca de la Tierra estemos, soportaremos más peso; cuanto más altitud haya, menos moléculas habrá en el aire, y esa menor cantidad hace que la bola vaya más rápida”.

Aunque el argumento es correcto, se agradecería una explicación un poco más precisa. Vamos con ella. La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo y, en el caso de un fluido de una composición “constante”, como el aire, representa el número de moléculas presentes en un determinado volumen. Dicha magnitud varía con la altitud de tal manera que (si se mantie-

nen el resto de condiciones fijas) disminuye conforme aumenta aquella y, al revés, es mayor cuanto más próximos al nivel del mar nos encontremos. Una variación causada por dos factores: la presión atmosférica y la atracción gravitatoria. La presión atmosférica se define como el peso que ejerce una columna de aire imaginaria sobre un metro cuadrado de superficie. Cuanto mayor sea la altura de dicha columna, algo que sucede conforme descendemos al nivel del mar, mayor será la presión y más comprimidas estarán las moléculas. Por el contrario, cuanto más alto estemos, menor será la altura de la “etérea” columna sobre la capa de aire superficial y menor la presión que soporten sus moléculas, con lo que no estarán tan apretadas.

Por otro lado, está la atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre cualquier cuerpo (incluidas cada una de las moléculas del aire), que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro de la Tierra. O, dicho de otro modo, que es más intensa cuanto menos distancia nos separe del núcleo terrestre. Así, las moléculas del aire situadas al nivel del mar soportan un mayor ti-

rón gravitacional que sus vecinas del “ático”, lo que, de nuevo, es obligado a permanecer más juntas.

Y ¿qué relación hay entre la densidad y el tenis? Las moléculas del aire son diminutos obstáculos con los que se va a encontrar la pelota de tenis en su avance y que, al colisionar con ella, la van a ralentizar. A más densidad, mayor número de moléculas se oponen al paso de la bola y más velocidad le restan. Una situación comparable a cómo afecta a la velocidad a la que circulamos que el tráfico sea fluido (baja densidad de coches) o que haya un atasco (densidad de coches elevada).

**A FAVOR O EN CONTRA** Pero, además de la altitud sobre el nivel del mar, otros factores “atmosféricos” influyen en la densidad del aire y, por tanto, en la velocidad de la pelota: las condiciones climáticas, la temperatura y la humedad.

Hace un par de párrafos hemos visto cómo la presión atmosférica varía en función de la altitud y cómo ello determina la densidad del aire. Pero la presión también puede variar “en el plano horizontal” dependiendo de las condiciones climáticas. Es decir, que la presión que soportan dos re-

giones situadas a la misma altura sobre el nivel del mar será distinta, y por consiguiente la densidad del aire también lo será, en función de la presencia de borrascas (bajas presiones) o anticiclones (altas presiones). Las primeras hacen que la densidad del aire en la superficie sea menor y, las segundas, que aumente.

La temperatura ejerce sobre la densidad una influencia cuantitativamente tan notable como la altitud. Cuanto menor es la temperatura, mayor es la densidad del aire debido a que cada molécula dispone de menos energía, vibra menos y, por tanto, pone menos impedimentos a que haya otras moléculas en sus proximidades.

El grado de humedad también afecta a la densidad del aire. Cuanto mayor sea la humedad, menos denso será el aire. Desde la perspectiva de la densidad, por tanto, lo ideal sería una atmósfera seca, más densa. Y sin embargo, Avendaño, en su científica rueda de prensa, señaló la humedad como una de “las condiciones ideales”. La explicación es que el efecto de ésta sobre la densidad es mucho menos importante que el de la altitud o la temperatura. Y, por el contrario, una hu-

medad elevada contribuye a ralentizar la velocidad de la bola por otras vías. Posiblemente la más sorprendente es la que tiene que ver con la pelusilla o fieltro que la recubre. Estas fibras absorben humedad y se hinchan, aumentando la superficie de la pelota y, en consecuencia, las colisiones con las moléculas de aire. Esta misma capacidad de absorción es la responsable del efecto negativo que una elevada humedad produce sobre el cordaje de las raquetas. Finalmente, al condensar tanto sobre la pelota como sobre la propia pista, la humedad va a contribuir a aumentar la fricción entre ambas en el momento del bote, favoreciendo su adherencia, lo que ralentizará aún más la velocidad de la bola una vez haya rebotado.

En resumen, que puestos a hilar muy fino se debería haber escogido una sede situada al nivel del mar, que estuviese bajo los efectos de un anticiclón, con temperatura “gélida” y humedad elevada. ¿Quién sabe dónde?

#### MÁS INFORMACIÓN

[www.tennisserver.com/set/set-archive.html](http://www.tennisserver.com/set/set-archive.html)  
[wings.avkids.com/Tennis/index.html](http://wings.avkids.com/Tennis/index.html)  
[www.bbc.co.uk/science/hottopics/tennis/](http://www.bbc.co.uk/science/hottopics/tennis/)

# LA ELECCIÓN DE PISTA, UNA CUESTIÓN NADA SUPERFICIAL

**TRES OPCIONES** El factor más determinante a la hora de ralentizar el servicio rival es la elección de la superficie sobre la que se va a jugar. Según el material con que esté fabricada, puede ser lenta, rápida o media, algo que se manifiesta una vez que la pelota ha botado. Las pistas rápidas se caracterizan por que la pelota se desliza sobre su superficie, lo que provoca que salga despedida con un ángulo bajo y a gran velocidad. Las lentas, por una fricción mucho mayor entre la bola y la superficie, lo que se traduce, además de en la pérdida, debido al rozamiento, de parte de la energía que traía la pelota, en que la bola rebota con un ángulo mucho más abierto. Este bote es

más alto y menos profundo permite al jugador disponer de un mayor tiempo de reacción (ya que la bola tarda más tiempo en alcanzar su posición) y golpear la bola a una mayor altura. Por descontado, la final de la Copa Davis se va a jugar sobre tierra batida que, además de ser la superficie favorita de los tenistas españoles, es la más lenta.

Para cuantificar la velocidad de una pista, la Física recurre a dos parámetros: los coeficientes de restitución y fricción. El primero relaciona los componentes verticales de la velocidad de la bola antes y después de impactar con el suelo. Su valor indica qué altura alcanzará la bola tras el bote. El segundo coeficiente, el de fric-



Lentas, rápidas o medias. REUTERS

ción, hace lo propio con las componentes horizontales de la velocidad. Cuanto mayor es el valor de ambos coeficientes, más lenta resulta la pista.

Y aunque antes se ha dicho que el efecto de la pista sobre la velocidad de la bola comienza a manifestarse una vez que ha botado, eso no es del todo cierto. En muchas ocasiones, la elección de la superficie de juego afecta a la velocidad antes incluso de que el sacador golpee la pelota, ya que condiciona su forma de servir. Al golpear la pelota, la energía suministrada se reparte en desplazarla y en hacerla rotar, es decir, darle efecto. En superficies rápidas se suele optar por invertir toda la energía en un servicio lo

más potente posible, mientras que en tierra batida se suele sacrificar parte de la velocidad de traslación a cambio de dotar a la bola de una mayor velocidad de rotación. El resultado es una bola más lenta pero más angulada, que persigue sacar al rival de la pista; el bote y dirección dependen del sentido de la rotación que se imprime a la bola. Si a la pelota se le imprime un giro hacia delante, es decir, se la hace girar en el mismo sentido que su trayectoria (saque liftado) el bote es más alto pero pierde menos velocidad, con lo que resulta un golpe muy profundo. Y si se la hace girar en el sentido opuesto al de avance (saque cortado), el bote resulta más bajo a costa de sacrificar velocidad.

## La fórmula anti - Roddick

Batir a Andy Roddick, máximo "sacador" del tenis profesional actual, no es tarea fácil. Al temple y buen juego de nuestros tenistas se le puede añadir un poco de Física básica.

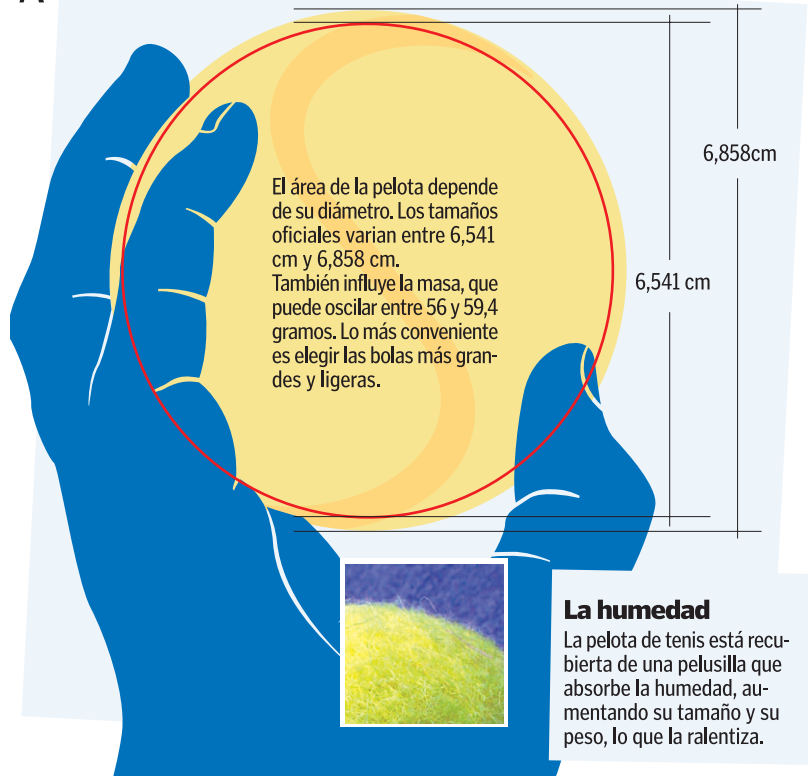
El truco consiste en aumentar la fuerza de resistencia que debe vencer la pelota, para que ésta pierda velocidad y sea más fácil devolver el potentísimo saque.

$$F_R = \frac{1}{2} C_R A \rho v^2$$

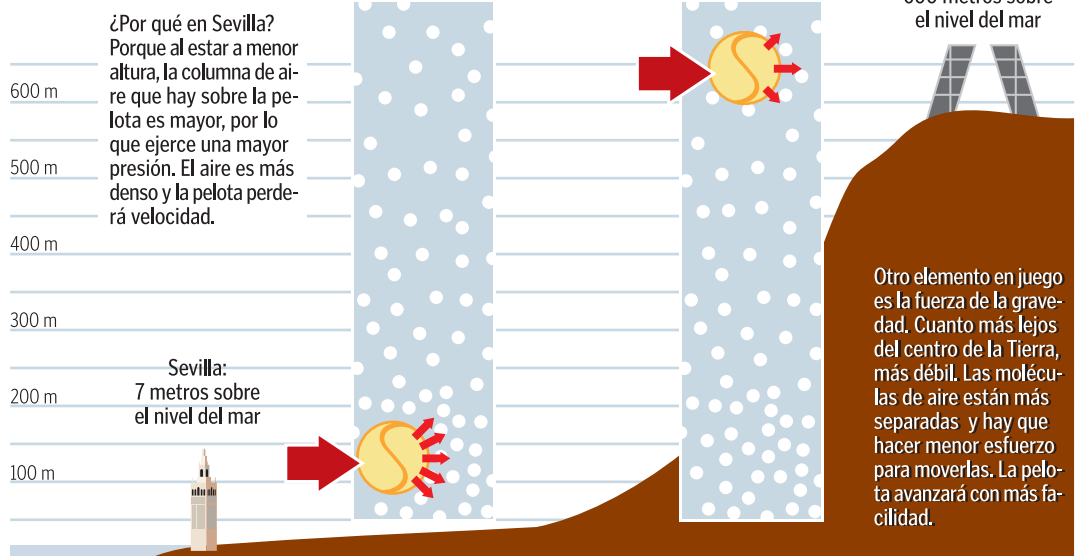
Fuerza de resistencia
Área de la pelota
Velocidad

Coeficiente de resistencia
Densidad del aire

## A La pelota



## d Altura y presión atmosférica

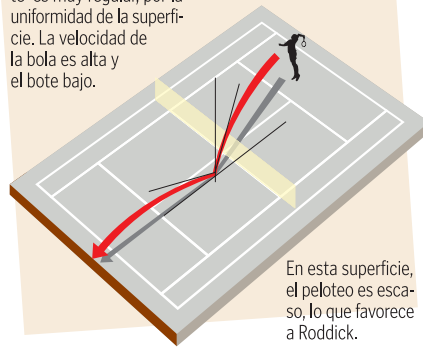


## La pista

Sin duda es el factor más determinante a la hora de ralentizar el servicio del rival, y no sólo por el modo de rebotar la pelota, también porque condiciona la forma de jugar.

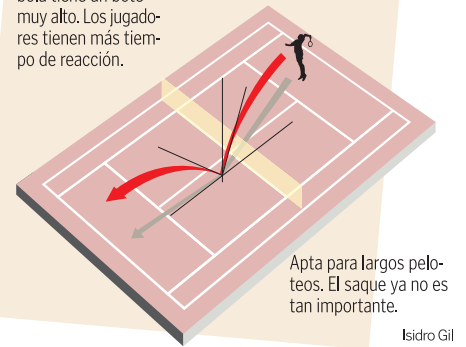
### Cemento

En una pista rápida, el bote es muy regular, por la uniformidad de la superficie. La velocidad de la bola es alta y el bote bajo.



### Tierra batida

En una pista lenta, la bola tiene un bote muy alto. Los jugadores tienen más tiempo de reacción.



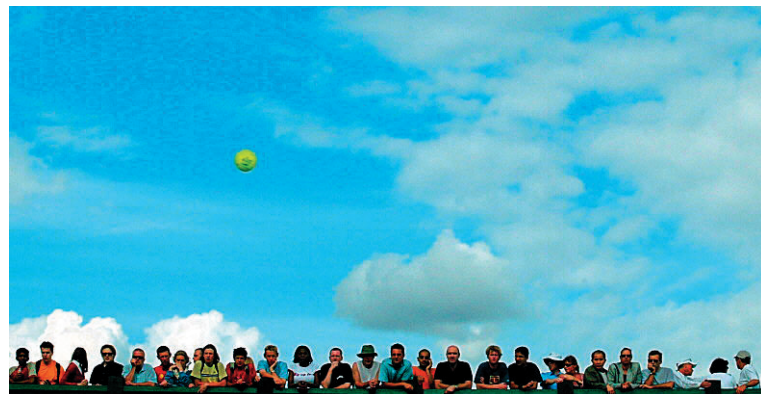
# MATEMÁTICAS CONTRA EL RIVAL

**MÁXIMA RESISTENCIA** Aparte de jugar con los elementos atmosféricos, ¿existe alguna otra forma de restar velocidad al servicio del temido Andy Roddick? La respuesta está escrita en el viento, aunque no como una canción de Bob Dylan, sino en forma de ecuación matemática, la que representa la resistencia (desde el punto de vista de la Física, una fuerza) que ofrece un cuerpo a moverse a través de un fluido, en este caso el aire:

$$F_R = 1/2 \cdot C_R \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Donde  $C_R$  es el coeficiente de resistencia.  $A$  es el área de la pelota.  $v$ , la velocidad a la que viaja la pelota. Y  $\rho$ , como seguramente ya sospecha, la densidad del aire.

Dicha resistencia actúa en sentido contrario al desplazamiento del cuerpo en cuestión, en este caso, la pelota, por lo que cuanto mayor sea su valor, más lento será el servicio de Roddick. Y su valor será tanto mayor cuanto más grandes se consiga que sean los valores de cada uno de los términos que componen la ecuación (dejando al margen la velocidad



El área de la pelota y su velocidad, dos factores decisivos. AFP

de la bola, que eso corre a cuenta del músculo del jugador norteamericano).

Una vez que ya hemos hablado largo y tendido sobre las condiciones que favorecen que la densidad del aire sea elevada, veamos qué podemos hacer para "engordar" los otros dos factores: el área de la pelota y su velocidad.

**CUESTIÓN DE PELOTAS** El área de una esfera sólo depende de su diámetro, con lo que la forma de poten-

ciar el factor  $A$  pasa por escoger las bolas reglamentarias de mayor diámetro. Las medidas admitidas en la actualidad presentan un rango para el diámetro de 6,541-6,858 centímetros y de 56-59,4 gramos para la masa. La mención a la masa tiene su razón de ser ya que, aunque no aparece en nuestra fórmula, sí que influye en el resultado final. No conviene pasar por alto que nuestra (fuerza de) resistencia se opone a la fuerza del servicio de Roddick y

que, desde el punto de vista físico, una fuerza es el producto de la masa del objeto por la aceleración que se le imprime ( $F = m \cdot a$ ). Las mejores pelotas serán aquellas que optimicen la relación diámetro/masa.

**VISITA AL TÚNEL DEL VIENTO** El valor del coeficiente de resistencia ( $C_R$ ) no es una constante, sino que depende de la viscosidad del medio y de la velocidad, la forma y la rugosidad de la superficie de la bola; y se determina mediante mediciones efectuadas en túneles del viento bajo distintas condiciones dadas. Así, se ha comprobado que cuando un balón o una pelota viaja a suficiente velocidad, el valor de dicho coeficiente se reduce drásticamente debido al cambio que se produce en la forma en que la pelota y el aire se relacionan (técnicamente, el flujo de aire alrededor de la pelota pasa de laminar a turbulento), lo que implica que la resistencia que ofrece el aire al avance de la pelota desciende de forma apreciable. Mal asunto.

**VENTAJA PARA ESPAÑA** Pero, por fortuna para los intereses hispanos, a diferencia de la mayoría de las pelotas empleadas en otros deportes, las de tenis no experimentan este brusco descenso en el valor del coeficiente de resistencia, que se mantiene prácticamente constante frente a un aumento de la velocidad (dentro de los márgenes a los que son capaces de lanzarlas los tenistas).

El motivo es que, en el caso de las pelotas de tenis, el factor que más influye en el valor del coeficiente de resistencia es la textura de su superficie. O, para ser más exactos, la longitud de las fibras que la recubren y que hacen que el aire circule a través de ellas como si lo hiciese por una superficie porosa. En definitiva, que las pelotas "lanudas" presentan un coeficiente de resistencia más elevado. Ésa es la razón de que, conforme esta pelusilla se va gastando durante el transcurso del partido, la bola alcance mayores velocidades. Menos mal que cada nueve juegos se estrenan bolas nuevas...