

## B.2.2 Mecánica de fluidos

### Comprensiones del programa de estudios

B.2.2.1 La trayectoria de un proyectil a través del aire está determinada por diferentes factores y fuerzas.

B.2.2.2 Las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, la presión del aire, el viento, la salinidad del agua y la altitud afectan las fuerzas externas que actúan sobre un objeto.

B.2.2.3 Las fuerzas de flotabilidad, fricción y resistencia que actúan sobre un cuerpo cuando se mueve a través de un fluido (aire o agua) tienen un efecto medible en su trayectoria. Un proyectil que viaja a través de un fluido puede verse afectado por el principio de Bernoulli, el ángulo de ataque y el efecto Magnus.

### Introducción

Los seres humanos y los objetos que se desplazan a través de un fluido, ya sea gas o líquido, experimentan fuerzas externas que resisten su movimiento. Es importante que conozcamos la dirección de las fuerzas de resistencia externas, su magnitud y cómo las condiciones ambientales pueden afectarlas. Dichas fuerzas se aplican cuando los objetos están en vuelo (por ejemplo, al bucear) o en movimiento en contacto con el suelo (como al andar en bicicleta).

Las unidades de fuerza están en Newtons (N).



Figura 1 Un ciclista y un buceador experimentando fuerzas de resistencia externas

### Movimiento de proyectil

Un proyectil se refiere al movimiento de un objeto que ha sido proyectado al aire o dejado caer y donde las únicas fuerzas que actúan sobre él son la gravedad y la resistencia del aire.

Cuando la influencia de la resistencia del aire es insignificante y la única fuerza que actúa es la gravedad, el componente horizontal de la velocidad permanece constante y solo cambia el componente vertical de la velocidad (Figura 2).

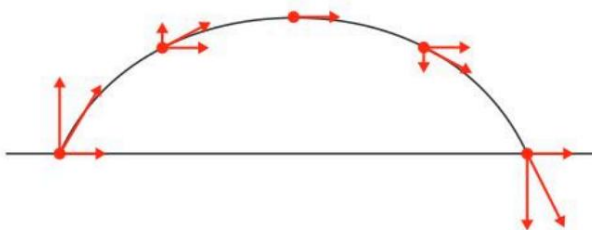


Figura 2 Movimiento de proyectil cuando la influencia de la resistencia del aire es despreciable

En el deporte, existen numerosos casos en los que se proyectan objetos o el cuerpo humano en el aire. Un balón de fútbol en vuelo, una pelota de golf en vuelo o una pelota de voleibol en vuelo son todos proyectiles. De manera similar, el cuerpo humano en salto de longitud o incluso al correr (durante la fase de vuelo) es un proyectil (Figura 3).

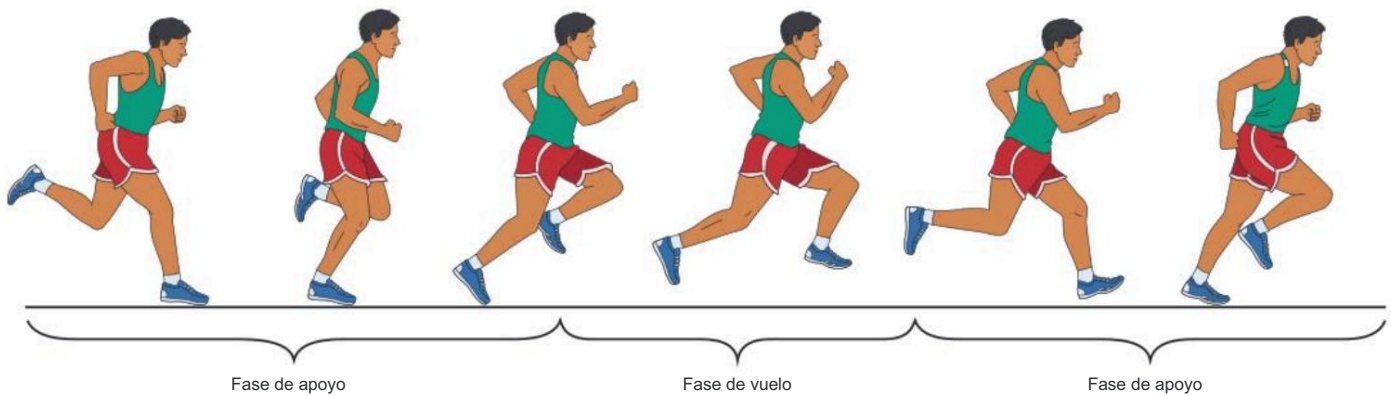


Figura 3 El cuerpo es un proyectil durante la fase de vuelo de la carrera.

La trayectoria del proyectil y la distancia total recorrida (alcance) dependen de:

- condiciones iniciales de proyección
- gravedad
- resistencia del aire.

Las condiciones iniciales de proyección incluyen:

- velocidad inicial
- ángulo de proyección
- altura de liberación.

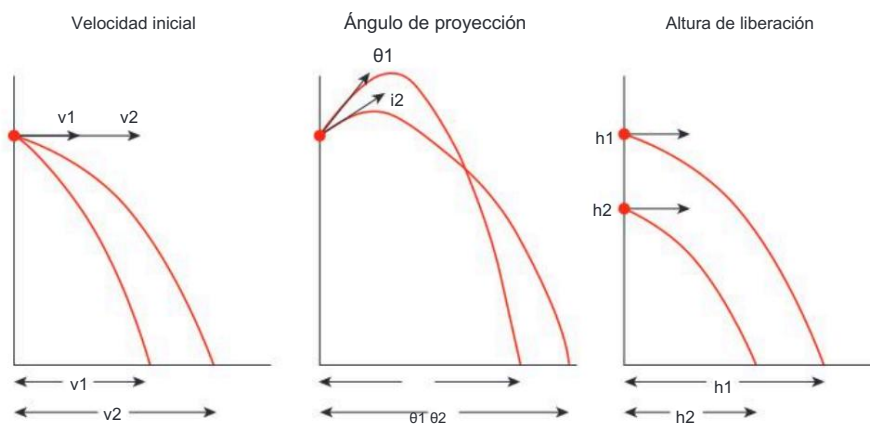


Figura 4 Condiciones iniciales del proyectil que afectan la trayectoria de vuelo, incluyendo la altura máxima y el alcance.  $v$  = velocidad inicial;  $\theta$  = ángulo de liberación;  $h$  = altura de liberación

## Velocidad inicial

La trayectoria de vuelo de un proyectil se ve afectada principalmente por la velocidad inicial. El alcance del proyectil está relacionado con el cuadrado de la velocidad inicial. Por lo tanto, un pequeño aumento de la velocidad inicial aumentará considerablemente el alcance.

### Ángulo de proyección El ángulo

de proyección es más significativo para la altura máxima del vuelo (por ejemplo, para realizar un saque de voleibol sobre la red) y para la precisión (por ejemplo, en un tiro libre de baloncesto).

El ángulo de proyección también afecta significativamente el alcance. Cuando la altura de proyección es la misma que la altura de aterrizaje, un ángulo de proyección igual a  $45^\circ$  maximizará el alcance. Pero si la altura de aterrizaje del proyectil es mayor que la altura de proyección, el ángulo de lanzamiento óptimo es mayor a  $45^\circ$  (Figura 5).

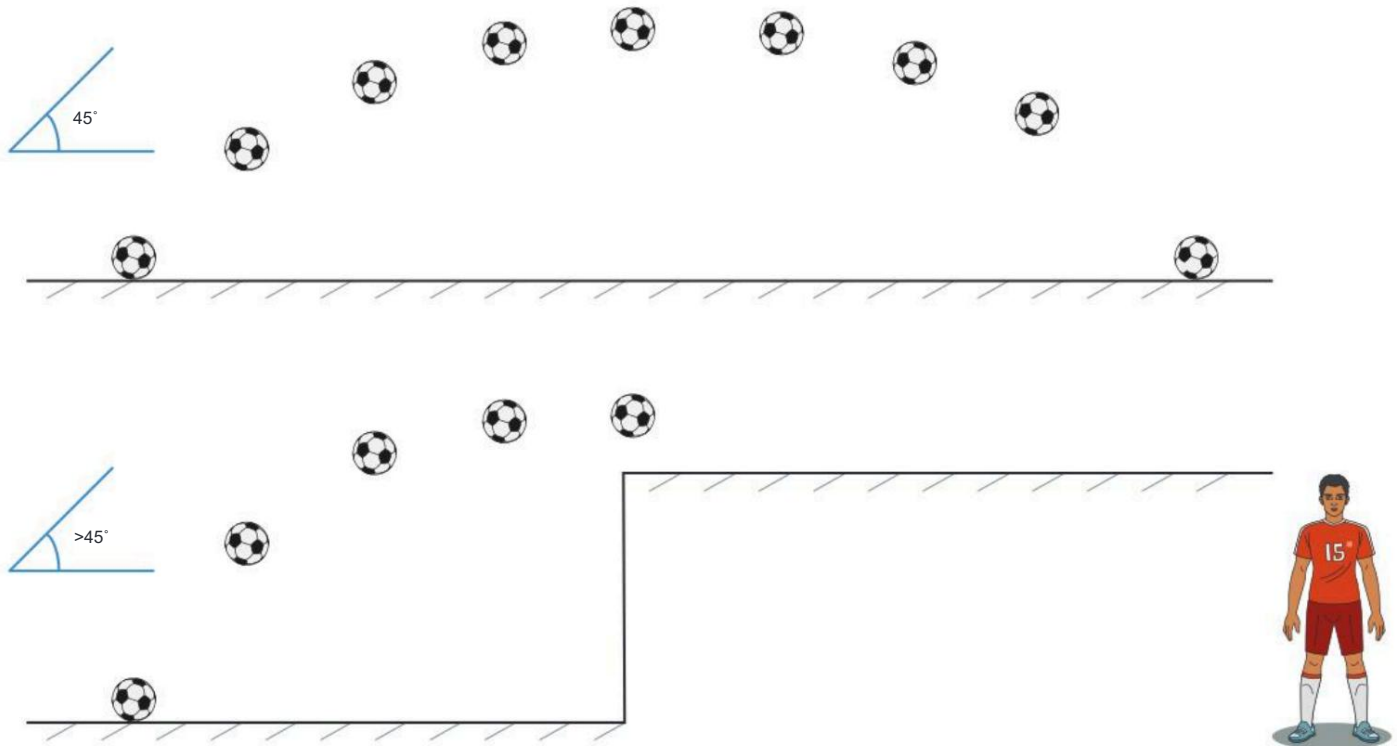


Figura 5 El ángulo de liberación óptimo depende de la altura de proyección y de la altura de aterrizaje.

### Altura de liberación

La altura de proyección también afecta el alcance del proyectil: cuanto mayor sea la altura de proyección, mayor será el alcance (Figura 4). La altura de proyección puede ser importante para vencer a un oponente (por ejemplo, en un tiro en salto de baloncesto o en un remate de voleibol) o para maximizar el rango de valores posibles para la velocidad o el ángulo iniciales.

### Ángulo óptimo de proyección

Para lograr el máximo alcance, el ángulo de proyección óptimo depende de la velocidad inicial y, lo que es más importante, de la altura de proyección.

- Si la altura de proyección está por encima del área de aterrizaje o del objetivo (por ejemplo, en lanzamiento de bala), el ángulo de proyección óptimo es inferior a  $45^\circ$ .
- Si la altura de proyección está por debajo del área de aterrizaje o del objetivo (por ejemplo, en un tiro libre de baloncesto), el ángulo de proyección óptimo es superior a  $45^\circ$ .

- Si la altura de proyección es la misma que la altura de aterrizaje (por ejemplo, una portería)  
En el fútbol (patada de campo), el ángulo óptimo es de 45°.

Sin embargo, estos ángulos óptimos dependen del tamaño de la resistencia del aire en vuelo.  
así como otros factores complejos como la fuerza y la velocidad de la contracción.  
de los músculos humanos. Por eso los saltadores de longitud despegan a 18°–27°, en lugar de 45°.  
La Tabla 1 muestra ángulos de proyección típicos para actividades deportivas comunes.

▼ Tabla 1

Acción	Velocidad inicial (ms <sup>-1</sup> )	Ángulo típico de proyección (°)	Comentarios
despegue de salto de longitud	10–11	18–27	Los músculos de las piernas no son lo suficientemente fuertes ni lo suficientemente rápidos para producir 45° sin perder velocidad
salto de altura lanzamiento	4–5	40–48	una velocidad menor, por lo que los saltadores tienen un ángulo de proyección más alto
de peso	11–15	35–42	inferior a 45° ya que la altura de proyección está por encima del área de aterrizaje
tiro libre de baloncesto	7,0–7,5	50–60	Depende de la altura de proyección; por encima de 45° también es alto. Los atletas están por debajo de la altura del aro de baloncesto.
primer servicio de tenis	50–60	–3 a –15	Los ángulos son negativos cuando la pelota se lanza hacia la cancha.
recorrido de golf	70–90	10–20	El ángulo es bajo porque el efecto retroceso hace que una fuerza ligera se haga La pelota permanece en el aire por más tiempo.

## Centro de masa

El centro de masa es el punto matemático alrededor del cual se mueve la masa de un cuerpo.  
o el objeto está distribuido uniformemente. El centro de masa depende de la distribución de  
El material de un cuerpo u objeto. Esto se verá afectado por la densidad del cuerpo o  
objeto y también por su forma.



Figura 6 El centro de masa es importante que lo tenga en cuenta un saltador de altura.

Como el centro de masa es un punto matemático imaginario, no es necesario se encuentran dentro del material del cuerpo u objeto. Por ejemplo, el centro de masa de Un bumerán está en el espacio entre los brazos y no en el material. cuerpo humano, esto también puede ser cierto, particularmente en acciones deportivas como el alto saltar o dar salto con pértiga al superar la barra.

Conocer la posición del centro de masa es importante por tres razones.

- Determina la estabilidad de posiciones estáticas. Si la proyección vertical de un La línea que desciende desde el centro de masa se encuentra dentro de la base de apoyo (por ejemplo, ejemplo, entre los pies cuando está de pie), entonces la posición del cuerpo o el objeto es estable y, si es perturbado por una fuerza externa, volverá a su estado original. Posición original. Este es el principio que sustenta muchas actividades de equilibrio.
- Es el eje de todas las rotaciones libres del cuerpo u objeto en el aire, por ejemplo, salto mortal en el buceo.
- El centro de masa actúa como punto de referencia al considerar el conjunto. Traslación de un cuerpo o de un objeto. Por ejemplo, al realizar el salto de longitud en atletismo, la trayectoria del centro de masas durante el despegue, el vuelo y el aterrizaje es crucial para comprender la distancia saltada (Figura 7).

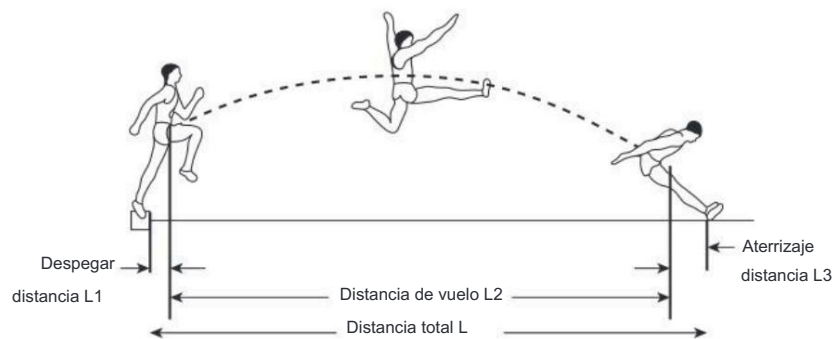


Figura 7 Componentes del centro de masa en el salto de longitud

Hay et al. (1986) midieron las distancias de las fases L1, L2, L3 de saltos de longitud mediante cuatro Atletas.

▼ Tabla 2 Distancias de las fases de cuatro saltos de longitud

Atleta	Distancia de despegue (m)			Distancia total saltada (m)
	L1	L2	L3	
1	0,46	7,77	0,56	8,79
2	0,37	7.80	0,22	8.39
3	0,53	7,50	0,32	8.35
4	0,25	7.45	0,36	8.06



## Medición

El centro de masa se puede medir de varias maneras (por ejemplo, cálculos A partir de posiciones y masas segmentarias, tablero de reacción, suspensión de un objeto. o modelo). Probablemente solo se pueda medir con una precisión de 1 a 2 milímetros. Para el cuerpo humano, debido a errores introducidos por la respiración, la circulación sanguínea. e imprecisiones en las densidades y posiciones de los segmentos.

## Modos de pensamiento

Una vez que el cuerpo humano ha sido lanzado al aire, el atleta no puede cambiar la trayectoria del vuelo. La figura 8 muestra la trayectoria del centro de masas. Los puntos verdes indican la ubicación del centro de masas durante el salto; al conectar los puntos podemos trazar la trayectoria del proyectil. En este caso, la fuerza aplicada es la gravedad y la resistencia del aire se considera despreciable.

Durante el vuelo, el atleta puede mover los diferentes segmentos del cuerpo humano, como los brazos o las piernas, o incluso cambiar la inclinación del tronco. Sin embargo, la trayectoria del centro de masas no se verá afectada.

¿Por qué las acciones posteriores al despegue no afectan la trayectoria del vuelo?

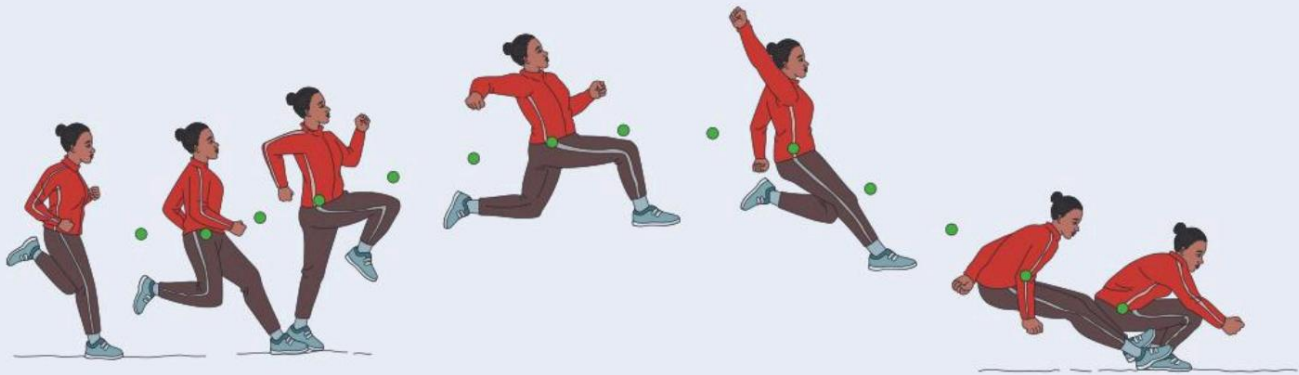


Figura 8 Trayectoria del proyectil desde el centro de masas del cuerpo.

## Resistencia del aire

Tanto la trayectoria general como el alcance del proyectil se ven afectados por la resistencia del aire. En particular, la relación entre el peso y la resistencia del aire influye en la trayectoria de vuelo del objeto.

Los objetos que se mueven más rápido experimentan más resistencia del aire, lo que significa que la resistencia del aire es un factor más importante para los proyectiles que se mueven rápidamente que para los proyectiles que se mueven lentamente.

- Para objetos que se mueven lentamente, la magnitud de la resistencia del aire es pequeña en comparación con la fuerza de gravedad que actúa sobre el objeto, por lo que el objeto sigue una trayectoria de vuelo típica de un proyectil.
- Para objetos que se mueven rápidamente, la resistencia del aire es mayor y la trayectoria del vuelo se ve afectada; una mayor resistencia del aire provocará una desaceleración más rápida.

Por ejemplo, en bádminton, el volante se mueve a altas velocidades, alcanzando un máximo de  $117 \text{ ms}^{-1}$  (o  $421,2 \text{ kmh}^{-1}$ ). Debido a la alta resistencia del aire en comparación con su peso, el volante desacelerará rápidamente. La forma de la trayectoria del proyectil se ve afectada y no es simétrica (Figura 9).

La figura 9 muestra los resultados de un experimento para medir las trayectorias de los proyectiles de dos tipos diferentes de volantes fabricados con distintos materiales (Darbois Texier et al., 2012). La diferencia en las trayectorias de los proyectiles se debe principalmente a las diferentes masas de los volantes. El volante de plumas tiene menos masa que el volante sintético, por lo que el efecto de la resistencia del aire es mayor.

El gráfico incluye tanto las trayectorias de los proyectiles registradas durante el experimento (plástica experimental; pluma experimental) como las trayectorias de los proyectiles teóricas propuestas por el modelo de los investigadores (plástica numérica; pluma numérica).



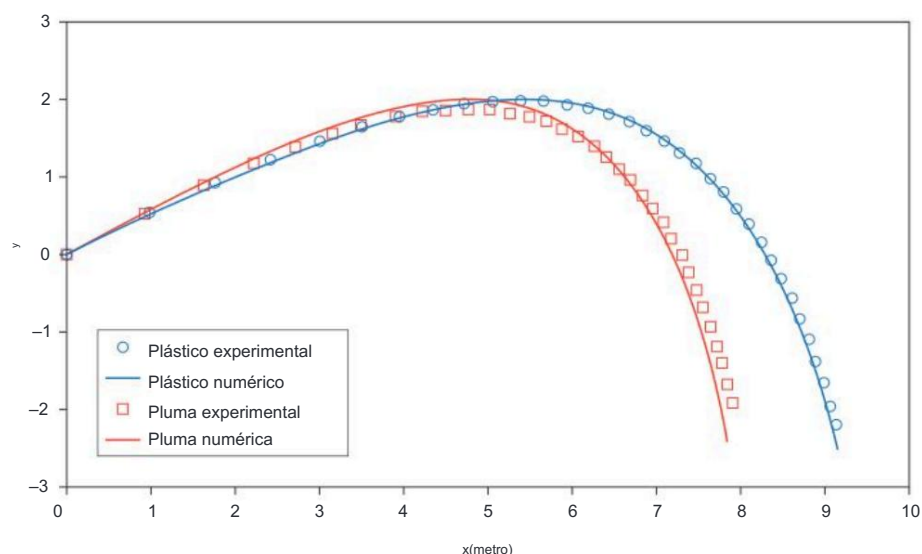


Figura 9 Trayectorias de proyectiles de volantes de plumas y sintéticos que ilustran el mayor efecto de la resistencia del aire sobre un objeto más ligero.



### Pregunta de enlace

¿Cómo pueden los gráficos proporcionar evidencia de errores sistemáticos y aleatorios?

(NOS, Herramienta 3, Indagación 3)

Considerar:

- cómo los gráficos ayudan a visualizar el sesgo consistente o la desviación de lo esperado patrón
- cómo los gráficos muestran puntos de datos dispersos que no siguen un patrón o tendencia específicos.

## El efecto de las condiciones ambientales

Las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad, el viento, la presión del aire, la salinidad del agua y la altitud, afectan las fuerzas que actúan sobre un objeto.

Por ejemplo, la temperatura afecta la densidad del aire y del agua (Figura 10). Pero, considerando que solo hay una pequeña variación en los valores de densidad cuando la temperatura oscila entre 0 y 30 °C (temperaturas en las que los atletas suelen actuar), el efecto sobre las fuerzas será mínimo.

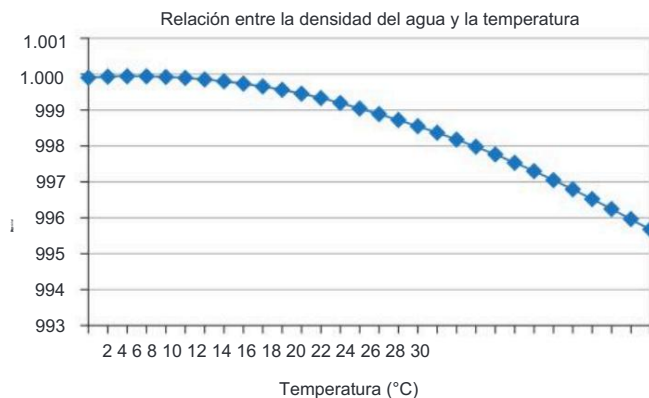
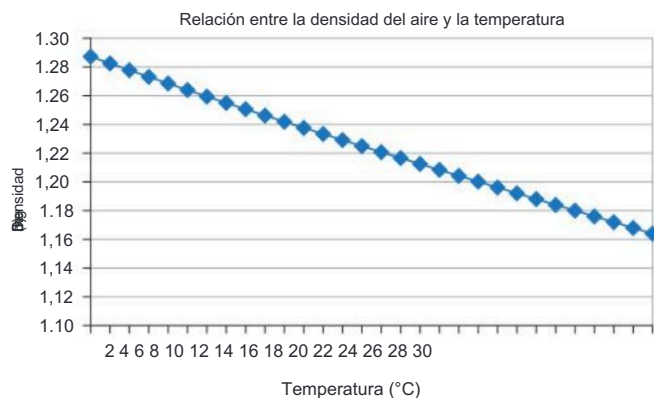


Figura 10 Efecto de la temperatura sobre la densidad del fluido (aire y agua)

Sin embargo, la velocidad del viento afecta significativamente las fuerzas del fluido y es un factor importante a considerar para muchos deportes.

La figura 11 muestra la diferencia de velocidad relativa según el ciclista vaya en la misma dirección o en la contraria al viento. La velocidad relativa tiene en cuenta el movimiento del cuerpo con respecto al fluido. Se puede calcular restando el vector de la velocidad del fluido a la velocidad del objeto.

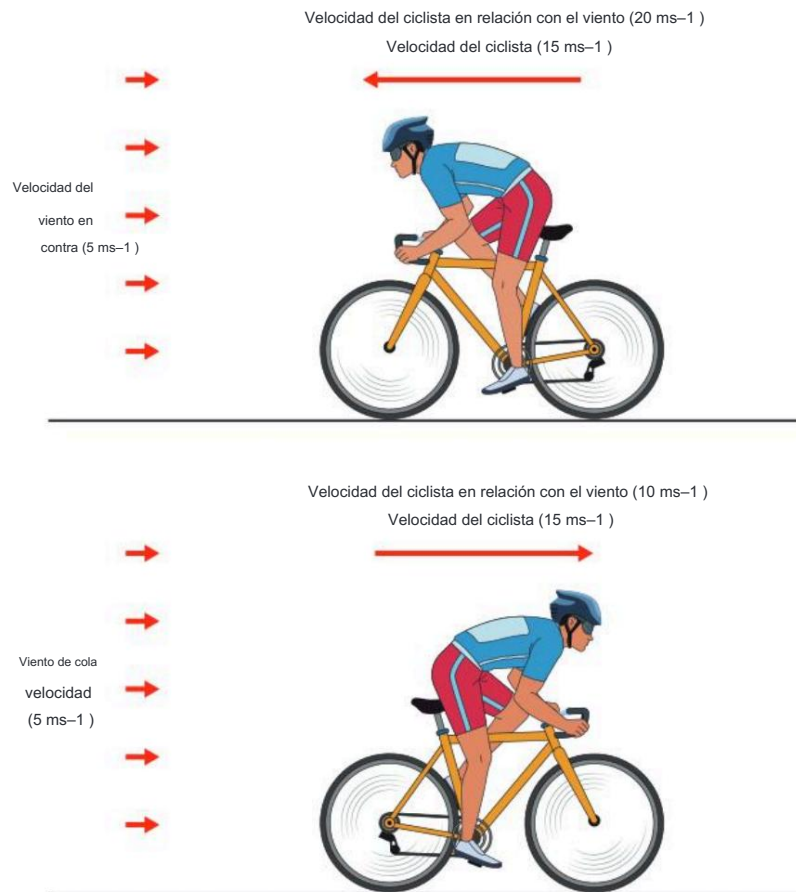


Figura 11 Velocidad relativa de un ciclista con viento en contra o con viento a favor

### Reflexiones de pensamiento

En los deportes, el atleta, el lugar y cualquier pieza del equipamiento deportivo se ven afectados por principios físicos, como las fuerzas aerodinámicas. El movimiento de un proyectil se ve influido por la densidad del aire. Por lo tanto, en los deportes que requieren precisión, exactitud y posición del proyectil, como los deportes con pelota, los deportes que implican lanzamientos o el salto de esquí, las habilidades pueden verse afectadas negativamente por un cambio en la densidad del aire. Considere la trayectoria de una pelota de fútbol y cómo podría variar dependiendo de la densidad del aire a diferentes altitudes. Recuerde que, a medida que aumenta la altitud, la densidad del aire disminuye.

- Sugerir cómo la variación en las trayectorias del balón de fútbol a diferentes altitudes podría afectar las habilidades de anticipación de un jugador de fútbol.
- ¿Cómo podrían las variaciones en las características de vuelo del balón influir en la estrategia de tiro libre cuando se juega a mayores altitudes?





## Experimentos

La humedad puede afectar el movimiento de los proyectiles en los deportes, en particular en los deportes al aire libre, donde el proyectil (por ejemplo, un balón de fútbol que se lanza alto al área de penalti tras un tiro de esquina) se ve afectado por el aire. La humedad afecta la densidad del aire, lo que, a su vez, afecta la fuerza de arrastre que actúa sobre el proyectil. A medida que aumenta la humedad, la densidad del aire disminuye, lo que puede hacer que el proyectil experimente menos arrastre y viaje más lejos. Por lo tanto, la humedad puede afectar el movimiento del proyectil en los deportes al afectar la densidad del aire.

¿Qué variables controlarías al realizar un estudio para investigar el efecto de la humedad en el vuelo de una pelota de béisbol?

## Ideas de pensamiento

La relación entre la presión del aire y la distancia recorrida por un proyectil es inversamente proporcional. Esto significa que, a medida que aumenta la presión del aire, la distancia que recorre un proyectil disminuye, y viceversa.

En algunos deportes, la presión del aire en una pelota determina cuánto rebota. Por ejemplo, la presión del aire en una pelota de baloncesto determina cuánto rebota durante el drible o cuando golpea el tablero o el aro después de un intento de tiro. Los jugadores de baloncesto prefieren una presión de aire constante

presión en el baloncesto para ayudar a mantener el control al driblar y la precisión en sus tiros y pases.

- ¿Por qué un golfista podría considerar la presión del aire cuando...  
¿Ajustando sus tiros para lograr una distancia y precisión óptimas?
- ¿Por qué un entrenador de tenis podría utilizar pelotas de tenis con una presión de aire más baja cuando entrena a principiantes?
- ¿Por qué un lanzador olímpico de disco o jabalina podría...  
¿Prefieres competir en días con baja presión atmosférica cuando intentas batir un récord mundial?

## Ideas de investigación

El agua salada constituye la mayor parte del agua del planeta. El Servicio Geológico de Estados Unidos estima que más del 96 % del agua de la Tierra es agua salada (oceánica). La salinidad del agua puede afectar el rendimiento en la natación. Cuanto mayor sea el contenido de sal del agua, más flotabilidad tendrá. Uno de los cuerpos de agua más salados del planeta es el Mar Muerto, que tiene una salinidad de alrededor del 34 %, en comparación con la salinidad promedio del 3,5 % del océano (casi 10 veces más salina). Para muchos nadadores, especialmente aquellos que están aprendiendo a nadar y que pueden tener dificultades para encontrar la solución adecuada,

Posición corporal: los cuerpos de agua con mayor salinidad pueden hacer que nadar sea más fácil. Esto se debe a que si un nadador no tiene que esforzarse tanto para mantenerse a flote, puede poner más energía en avanzar más rápido. En cambio, el agua dulce carece de la alta salinidad de los océanos y los mares, lo que requiere que los nadadores se esfuercen más para mantener una buena alineación corporal y una posición elevada en el agua.

Investigue cuál es el nivel de salinidad óptimo para la natación competitiva y por qué.

## Flotabilidad La

flotabilidad es una fuerza que actúa verticalmente sobre objetos sumergidos total o parcialmente en un fluido (Figura 12). Según el principio de Arquímedes, la magnitud de la fuerza de flotabilidad es igual al peso del volumen del fluido desplazado por el objeto. El peso del fluido desplazado depende de:

- la densidad del fluido
- el volumen de líquido desplazado.

Para que un objeto flote, la fuerza de flotabilidad debe ser mayor o igual al peso del objeto.

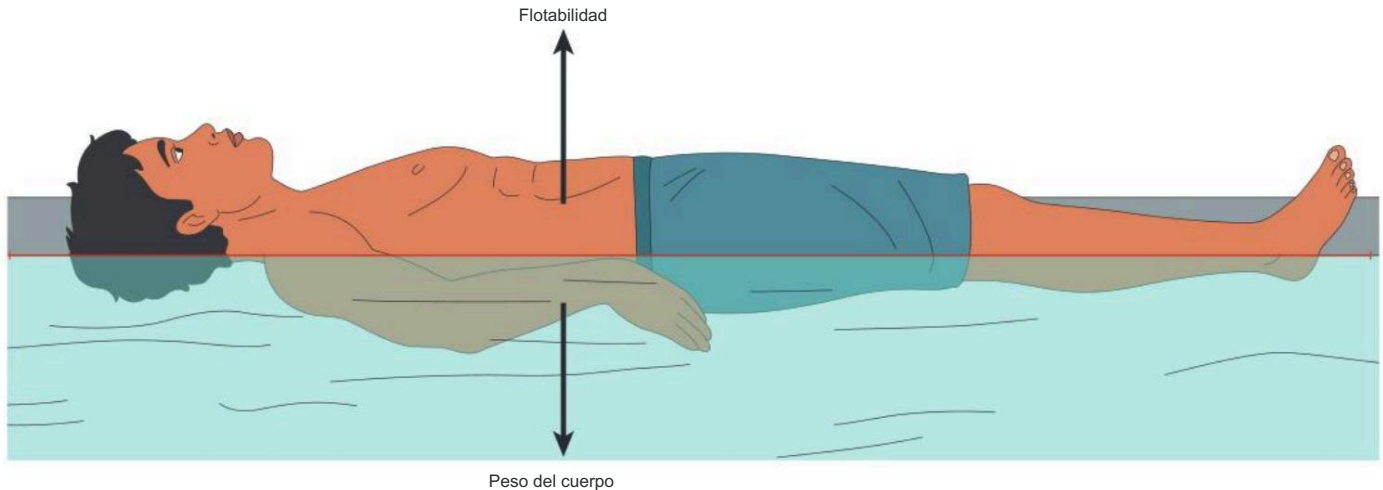


Figura 12 Flotabilidad

### Fuerza de arrastre

Cuando un cuerpo u objeto se mueve, se mueve a través de un medio resistivo, por ejemplo:

- aire (como el movimiento de un proyectil)
- agua (como la natación).

Se deben tener en cuenta los efectos del medio sobre el movimiento del objeto. Tanto el aire como el agua son fluidos. Los mismos principios se aplican al movimiento a través de cualquiera de los dos medios.

Cuando un cuerpo u objeto se mueve a través de un fluido, experimenta una fuerza en la dirección opuesta a su movimiento. Esta fuerza se llama resistencia o arrastre del aire (o del agua). La fuerza se opone a la dirección del movimiento porque el movimiento del objeto intenta separar las moléculas del fluido. Las fuerzas entre las moléculas se resisten y aplican una fuerza al objeto.

Existen varios tipos diferentes de arrastre, incluido el arrastre de superficie, el arrastre de forma y el arrastre de olas.

#### Arrastre superficial El

arrastre superficial (también conocido como arrastre por fricción o arrastre superficial) es causado por la interacción entre la superficie del cuerpo u objeto y las moléculas del fluido. Este tipo de arrastre se ve afectado por:

- la velocidad del objeto en relación con el fluido (un objeto que se mueve más rápido tiene que separar más moléculas por segundo)
- la superficie del cuerpo u objeto (un objeto más grande estará en contacto con más Moléculas fluidas)
- la naturaleza de la superficie del cuerpo u objeto (una superficie más lisa separará las moléculas más fácilmente)
- la densidad del fluido (los fluidos más densos tienen más moléculas para separar).

En el punto donde la superficie del objeto se encuentra con el fluido, la velocidad de las partículas del fluido se vuelve igual a la velocidad del objeto. A medida que aumenta la distancia desde la superficie, la velocidad del flujo aumenta hasta alcanzar la velocidad de flujo libre (velocidad del fluido no afectada por la interacción).

Esta capa de fluido que experimenta un cambio de velocidad debido a su proximidad al objeto se llama capa límite (Figura 13).

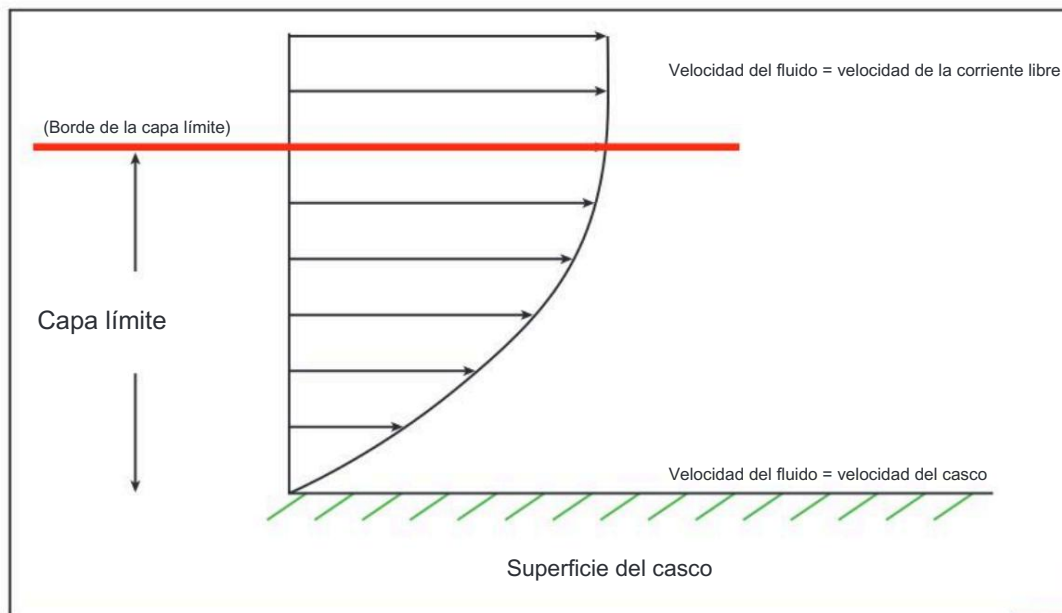


Figura 13 Perfil de velocidad del flujo de fluido en la capa límite



Los nadadores intentan minimizar la fricción de la superficie minimizando el efecto de fricción que su piel tiene sobre las partículas de agua a medida que se mueven en el agua. Esto se puede lograr mejorando la suavidad de la superficie de su cuerpo, eliminando el vello de la piel o ajustando la tensión de su ropa (Figura 14).



Figura 14 Traje de baño diseñado para minimizar la resistencia de la superficie.

#### Arrastre de forma

El arrastre de forma (también conocido como arrastre de presión) ocurre cuando un objeto se mueve a través de un fluido. A medida que un objeto se mueve a través de un fluido, las partículas de fluido son empujadas hacia los lados del objeto y siguen su curvatura. Sin embargo, el fluido no permanece adherido a la superficie durante toda la longitud del objeto y se separa. Una vez que la capa límite se ha separado de la superficie, se forma un torbellino circular, que conduce a un área de baja presión en la parte trasera del objeto, a veces llamada "estela". Esto causa una diferencia de presión entre la parte delantera y la trasera del objeto (Figura 15).

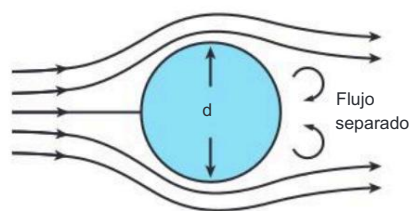
El tamaño del flujo separado es mayor cuando la separación de la capa límite se produce más cerca del frente del objeto. La distancia entre el frente del objeto y la ubicación donde se produce el punto de separación (y, por lo tanto, la cantidad de arrastre de forma) se ve afectada por:

- el área frontal del cuerpo o del objeto (un área frontal más grande tiene que separar más moléculas)
- la forma del objeto o cuerpo (una forma aerodinámica)  
Por ejemplo, una pelota de rugby o una pelota de fútbol americano que se desplaza de lado a lado experimenta menos resistencia que una pelota esférica, ya que las moléculas del fluido se separan más fácilmente por el extremo puntiagudo de la pelota de rugby)
- la velocidad relativa al fluido del cuerpo u objeto.

La resistencia de forma está muy relacionada con la velocidad. A medida que aumenta la velocidad relativa al fluido del objeto, aumenta la resistencia de forma. Esto se debe a que el espesor de la capa límite se reduce y el punto de separación se produce más cerca del frente del objeto.

La resistencia de forma también aumenta cuando el área frontal de un objeto es mayor, por ejemplo, cuando un nadador no está eficientemente aerodinámico en relación con la dirección de deslizamiento (Figura 16).

Esfera



Objeto aerodinámico

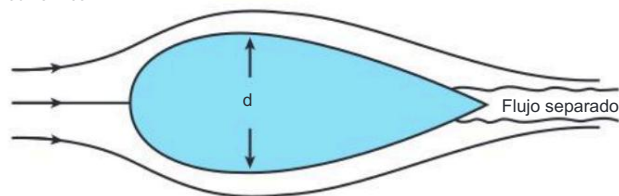


Figura 15 Separación de la capa límite

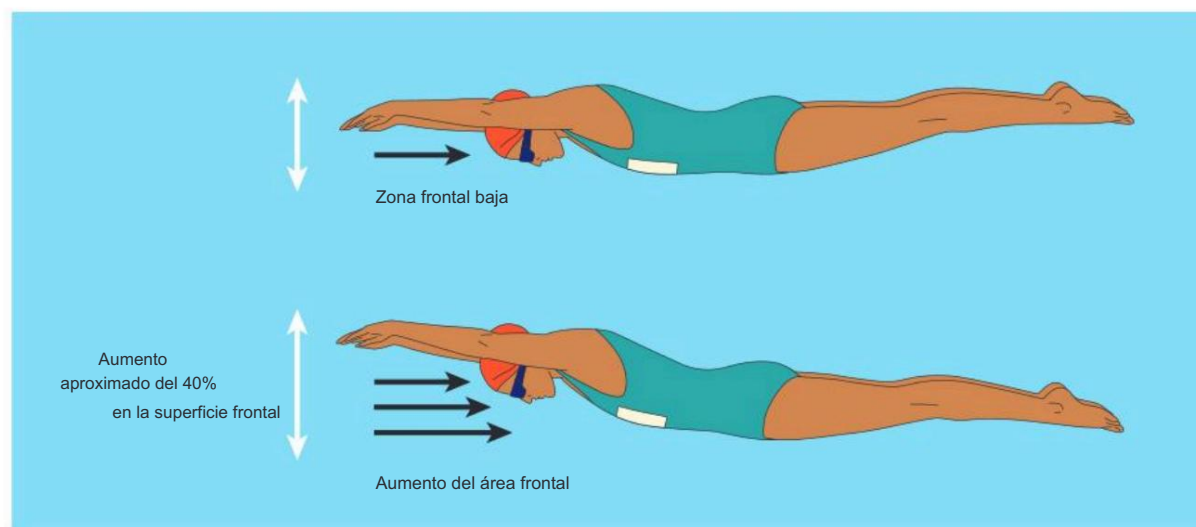


Figura 16 La superficie frontal aumenta significativamente cuando el nadador no está hidrodinámico de manera eficiente.



### Actividad 1

En la fase de planeo de las salidas y los virajes, los nadadores adoptan una posición aerodinámica (Figura 17). El ángulo que forma el cuerpo del nadador con la dirección de la marcha se denomina ángulo de ataque. Se calcula midiendo el ángulo que forma la cuerda que une la muñeca con los centros articulares del tobillo y la horizontal.

Un aumento del ángulo de ataque afecta la superficie frontal del nadador. Se espera que este cambio afecte la magnitud de las fuerzas de resistencia experimentadas.



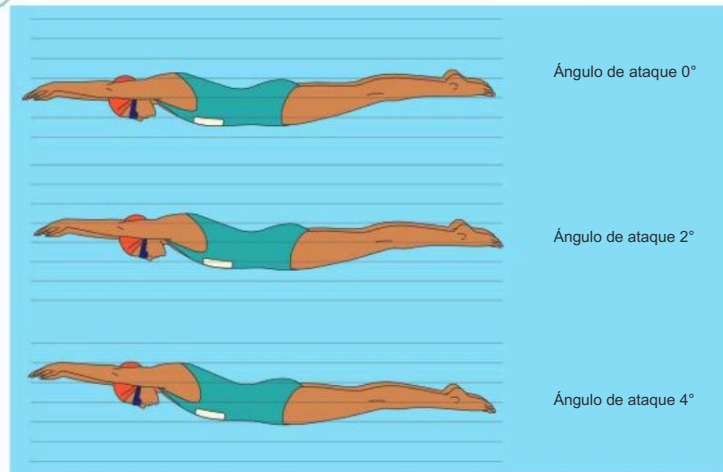


Figura 17 Ángulo de ataque

La siguiente ecuación se puede utilizar para calcular la resistencia:

$$F_{\text{arrastrar}} = \frac{1}{2} C_d A \rho v^2$$

Donde  $C_d$  es el coeficiente de arrastre (una variable afectada por la forma y la rugosidad de la superficie del cuerpo u objeto),  $A$  es el área frontal proyectada del cuerpo u objeto,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $v$  es la velocidad relativa del objeto en movimiento (es decir, la velocidad del objeto en relación con el fluido).

Utilizando los datos del área de superficie frontal de la Figura 18, calcule la fuerza de arrastre experimentada cuando el nadador se desliza bajo el agua en un ángulo de ataque igual a 0°, 2° y 4°.

Suponga que la velocidad de deslizamiento ( $v$ ) es 2 ms<sup>-1</sup>, La densidad del agua ( $\rho$ ) es 996,53 kg m<sup>-3</sup> y el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) es 0,278.

$$F_{\text{arrastrar}} = \frac{1}{2} C_d A \rho v^2$$

Área de la superficie frontal del nadador al deslizarse bajo el agua

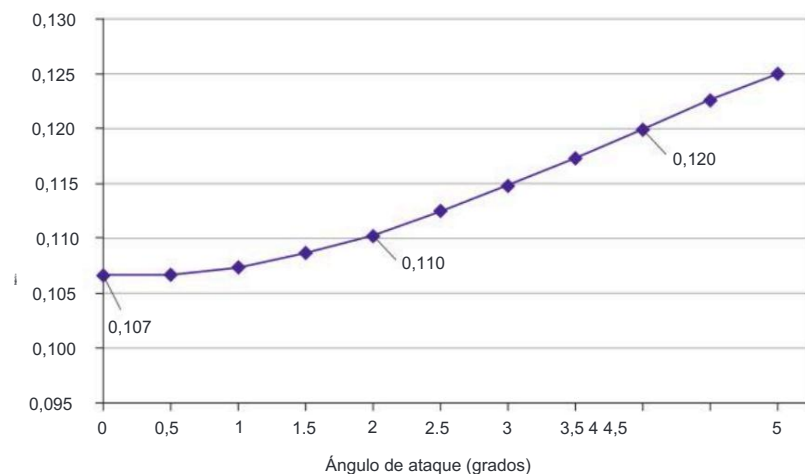


Figura 18 Área de la superficie frontal del nadador cuando se desliza bajo el agua

Se han logrado récords mundiales al minimizar la superficie frontal expuesta al flujo. En 2015, el equipo de Aerovelo alcanzó la velocidad más alta para un vehículo impulsado por humanos ( $114,17 \text{ km h}^{-1}$ ) en una bicicleta diseñada para tener un área frontal mínima (Figura 19).



Figura 19 Aerovelo (2015) alcanzó una velocidad máxima de  $114,17 \text{ km h}^{-1}$

### Arrastre de olas

La resistencia de las olas es la fuerza opuesta que ejerce el objeto que forma las olas en el líquido. Esto es especialmente importante en el movimiento en el agua, como al nadar, navegar en canoa, remar o navegar.

Cuando un nadador se acerca a la superficie del agua, el nivel del líquido aumenta y comienzan a formarse olas. A continuación, el nivel del agua desciende en un intento de volver al equilibrio como resultado de las fuerzas gravitacionales que en este caso actúan como fuerza restauradora. De esta manera, se forman una serie de olas. Debido a este mecanismo, la energía se transfiere del atleta al agua y, en consecuencia, la velocidad del atleta disminuye. Parte de la energía cinética del atleta se pierde al desplazar el agua y, en consecuencia, se forman las olas.

A medida que aumenta la velocidad de natación, aumenta el tamaño de las olas formadas (tanto en términos de longitud de onda como de amplitud de onda). Para los nadadores de competición, la velocidad de natación más eficiente es aquella que genera olas con una longitud de onda igual a la longitud de su cuerpo. Esto se conoce como "velocidad de casco". Cualquier aumento adicional en la velocidad dará como resultado que el nadador quede atrapado en el espacio intermedio entre las crestas de las olas.

La resistencia de las olas también está relacionada con la profundidad de la natación. Nadar por debajo de la superficie del agua disminuye la resistencia de las olas. Por lo tanto, para mejorar el rendimiento, los atletas nadan bajo el agua durante la distancia máxima permitida después del inicio de la carrera y después de los giros.



### Arrastre: resumen El

arrastre es la fuerza o fuerzas que actúan para oponerse al movimiento de un objeto a través de un medio fluido como el aire o el agua. El arrastre total que actúa sobre un objeto puede considerarse como la suma de las contribuciones del arrastre de superficie, forma y onda.

$$F_{\text{total}} = F_{\text{superficie}} + F_{\text{forma}} + F_{\text{onda}}$$

### Flujos laminares y turbulentos

El flujo de fluido en la capa límite puede ser laminar o turbulento dependiendo del tamaño, la forma y la velocidad del objeto, así como de la densidad y la viscosidad del fluido.

Normalmente, las capas límite tienen todas las moléculas moviéndose en la misma dirección y se denominan capas límite laminares. Sin embargo, si el cuerpo u objeto se mueve muy rápido o si la superficie es lo suficientemente rugosa, las moléculas de las capas límite se mezclan. Entonces se denominan turbulentas.

Paradójicamente, un flujo turbulento provoca una resistencia superficial menor de la esperada, por lo que el cuerpo u objeto no se frena tanto. Los experimentos demostraron que animales como los delfines, que alcanzan altas velocidades en el agua, pueden mantener una capa límite turbulenta completamente adherida.

Se ha descubierto que una capa límite turbulenta retrasa la separación del flujo y, en consecuencia, reduce la resistencia de forma, independientemente de que se trate de un delfín o de un ser humano. Por eso las pelotas de golf tienen hoyuelos: hacen que las capas límite sean turbulentas, por lo que la pelota no se frena tanto y viaja más lejos.

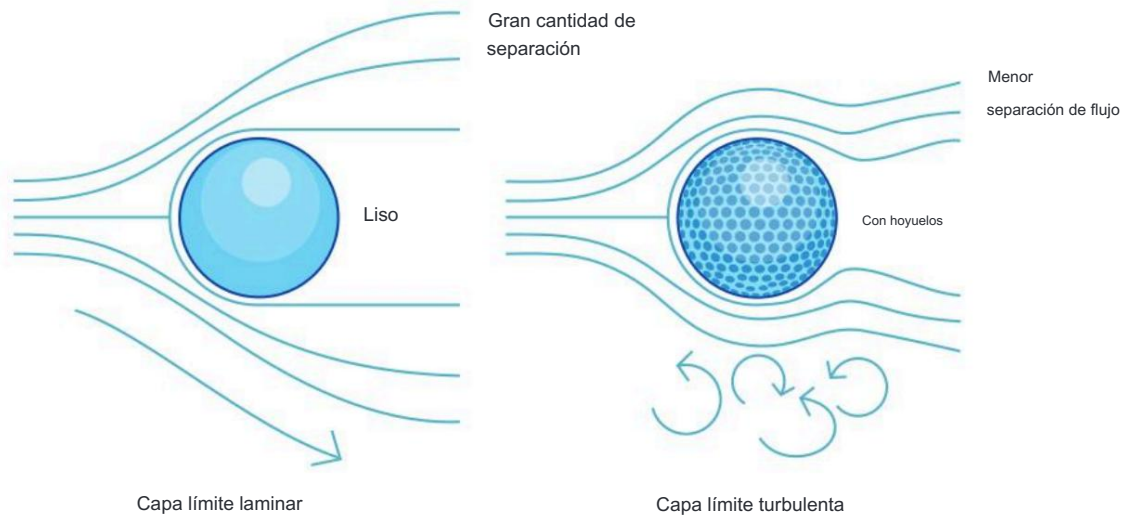


Figura 20 Flujo laminar y turbulento alrededor de una pelota lisa y una pelota de golf con hoyuelos

Dado que el tamaño de la estela está directamente relacionado con la cantidad de resistencia de forma (y, por lo tanto, el rendimiento de deslizamiento), es beneficioso para un nadador mantener una capa límite turbulenta (y no separada) a lo largo de su cuerpo.

La reducción en la resistencia de forma parece compensar cualquier aumento en la resistencia de superficie.

Para encontrar soluciones que ayuden a los nadadores a disminuir la resistencia de forma y mejorar el rendimiento, los científicos deportivos han realizado esfuerzos para inducir turbulencia en la capa límite.

Los investigadores añadieron turbuladores (cables enrollados alrededor de la circunferencia del cuerpo) a la superficie de un traje de baño de cuerpo entero. Descubrieron que la resistencia aerodinámica disminuía entre un 13% y un 16% cuando se utilizaban tres turbuladores (Figura 21). Las empresas utilizaron estos hallazgos de la investigación para sacar al mercado un revolucionario traje de baño de cuerpo entero que podría ayudar a los nadadores a mejorar su rendimiento. Se han hecho intentos similares con equipos utilizados en otros deportes, como los hoyuelos de las pelotas de golf (Figura 20).



Figura 21 Turbuladores añadidos a la superficie de un traje de baño



## Impacto global de la ciencia

Los bañadores, gorros y gafas de natación de alta tecnología permitieron mejorar los tiempos de natación y batir numerosos récords mundiales. ¿Consideraría que el uso de equipos innovadores es una ventaja injusta?

Tenga en cuenta que muchos atletas tienen contratos vinculantes con empresas de ropa deportiva y no pueden utilizar productos lanzados por empresas de terceros.

### Efecto de los marcapasos sobre la resistencia

Los atletas que viajan en grupo experimentan una menor resistencia al avance cuando se ubican detrás de los atletas que van en cabeza, lo que se conoce como "arrastre". Las investigaciones han demostrado una reducción de la resistencia al avance de más del 25 % en el caso de un ciclista que va detrás.

Este efecto se utilizó cuando Eliud Kipchoge completó una maratón en menos de dos horas mientras corría detrás de un grupo de corredores (Figura 22a). De manera similar, Denise Mueller-Korenek logró un récord de velocidad al pedalear detrás de un vehículo motorizado con una gran área frontal (Figura 22b).



a



b

Figura 22 a Eliud Kipchoge completó una maratón en menos de dos horas mientras corría detrás de un grupo de marcapasos en formación. b Denise Mueller-Korenek alcanzó una velocidad de  $296,01 \text{ kmh}^{-1}$  mientras pedaleaba detrás de un vehículo motorizado.



## Experimentos

¿Cuál es la mejor posición cuando se participa en una carrera de larga distancia con un grupo de "marcadores de ritmo"? ¿En la parte de atrás de seis "marcadores de ritmo" en una formación 1-2-3, como lo hizo Eliud Kipchoge (Figura 22a), o una estrategia alternativa como "en línea", donde se coloca segundo, tercero o cuarto detrás de un grupo de "marcadores de ritmo", como se muestra en la Figura 23?



Figura 23 Marcadores de "dibujo en línea"

Considere cómo podría investigar esta cuestión. Incluya qué otras variables deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, diferencias antropométricas u otros factores externos (como las condiciones climáticas, el equipamiento deportivo, la superficie o la altitud).

## Fuerza de li

Cuando un fluido se mueve (o un cuerpo u objeto se mueve a través de él), la presión que ejerce se reduce a medida que aumenta su velocidad. Esto se conoce como el principio de Bernoulli, en honor al científico holandés-suizo Daniel Bernoulli. El principio establece que la presión ejercida por un fluido es inversamente proporcional a su velocidad. Cuando se aplica a un cuerpo u objeto, esto significa que un flujo de fluido más rápido reduce la presión sobre el cuerpo u objeto. Si hay un flujo de velocidad desigual en cada lado del cuerpo u objeto, entonces habrá una presión desigual en ambos lados. Esto significa que el cuerpo u objeto se moverá de una presión alta a una presión baja, cambiando así su movimiento.

### Término clave

Fuerza de li: Fuerza que actúa perpendicularmente a la dirección de movimiento de un objeto cuando viaja a través de un fluido.

Este principio explica cómo se genera la fuerza de la luz y cómo pueden volar los aviones.

La fuerza de li es una fuerza que actúa en ángulo recto con respecto a la dirección del movimiento. Si un objeto o cuerpo experimenta una fuerza de li, se elevará o permanecerá en el aire durante más tiempo que si no hubiera fuerza de li. Si experimenta una fuerza de li negativa, caerá más rápido que si no hubiera fuerza.

La vida se genera en objetos asimétricos; por ejemplo, en el ala de un avión. El ala tiene una forma diferente en sus superficies superior e inferior, lo que genera diferencias de presión por encima y por debajo de ella. Como el ala está diseñada para acelerar el flujo sobre la superficie superior, el resultado es una presión menor por encima del ala y una presión mayor por debajo de ella, lo que fuerza al ala (y al avión) a ascender. El mismo efecto ocurre con las velas de un barco, pero como la vela es vertical (en lugar de horizontal), la fuerza se dirige hacia los lados y hacia adelante.

### Punto clave

El principio de Bernoulli establece que la presión ejercida por un fluido es inversamente proporcional a su velocidad.

También es posible ganar fuerza de lixiviación si un objeto se inclina hacia arriba o hacia abajo en relación con su movimiento a través del fluido. En tales casos, el flujo de aire sigue caminos diferentes en cada lado del objeto, lo que da como resultado una mayor velocidad del fluido en un lado del objeto y una menor velocidad del fluido en el otro lado. Del principio de Bernoulli sabemos que la presión ejercida por un fluido es inversamente proporcional a su velocidad. Esto significa que, a medida que un fluido se mueve más rápido, produce menos presión (y a medida que un fluido se mueve más lento, produce mayor presión). Esta diferencia de presión genera una fuerza de lixiviación hacia el área de baja presión. Por ejemplo, una jabalina suele llegar más lejos si se inclina ligeramente hacia arriba en relación con su movimiento (aunque esto se complica por el efecto del viento).

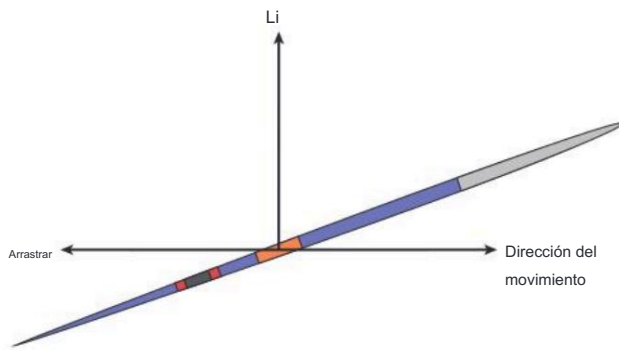


Figura 24 La sustentación actúa perpendicularmente a la dirección del movimiento.



## Actividad 2

La siguiente ecuación se puede utilizar para calcular  $L_i$  :

$$\text{Elevación} = \frac{1}{2} C_d A \rho v^2$$

donde  $C_d$  es el coeficiente de fluidez,  $A$  es el área frontal proyectada del cuerpo u objeto,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $v$  es la velocidad relativa del objeto en movimiento (es decir, la velocidad del objeto en relación con el fluido).

La figura 25 muestra el coeficiente de  $L_i$  de la fuerza de  $L_i$  que actúa sobre una jabalina que se desplaza a una velocidad de  $25 \text{ m s}^{-1}$ . Las mediciones se tomaron con el uso de un túnel de viento mientras el ángulo de ataque oscilaba entre  $0^\circ$  y  $15^\circ$ .

1. Calcular la fuerza de  $L_i$  cuando el ángulo de ataque es igual a  $10^\circ$  y el frente La superficie es de  $0,00845 \text{ m}^2$ . Suponga que la densidad del aire es igual a  $1,225 \text{ kg m}^{-3}$  y la velocidad de la jabalina es de  $25 \text{ m s}^{-1}$ .
2. Explica por qué la fuerza de  $L_i$  es igual a cero cuando la jabalina está alineada horizontalmente (el ángulo de ataque es igual a  $0^\circ$ ).

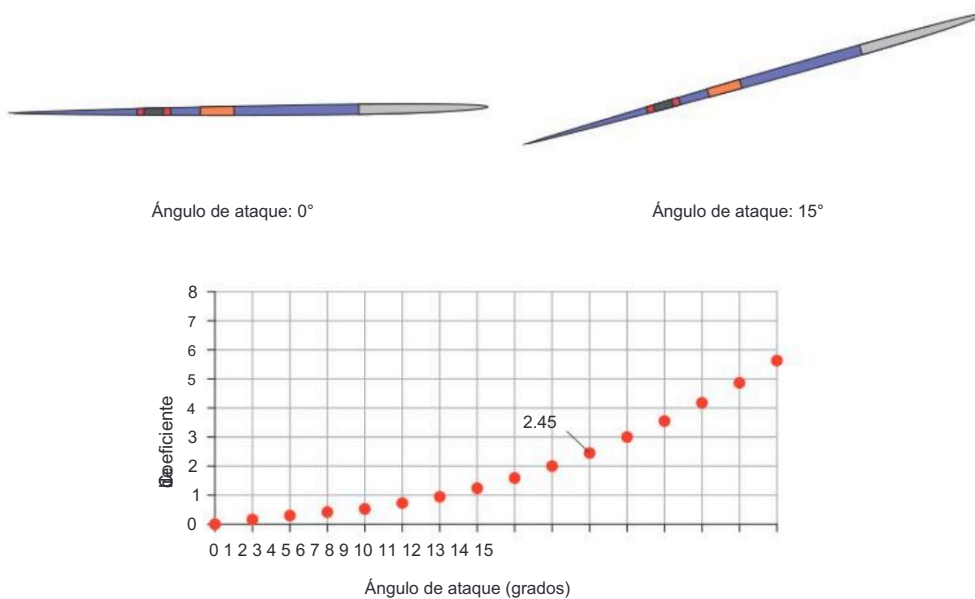


Figura 25 Coeficiente de  $L_i$  para una jabalina que viaja a  $25 \text{ m s}^{-1}$  según el ángulo de ataque



### Actividad 3

#### Principio de Bernoulli: pruébelo usted mismo

Para demostrar el principio de Bernoulli que genera la fuerza de sustentación de las alas de los aviones, simplemente se necesita una hoja de papel tamaño A4 o carta.

Sujeta el papel suavemente con el dedo índice y el pulgar de cada mano por ambos lados cortos, a unos 3 cm de uno de los lados largos. Luego, sujeta el lado largo aproximadamente 1 cm por debajo del labio inferior y deja que el papel cuelgue.

Ahora, sopla con fuerza hacia abajo y hacia adelante sobre la curva del papel que cuelga. Deberías notar que el extremo suelto del papel se levanta cuando soplas sobre él (puede que necesites algo de práctica para hacerlo bien).

Como se ha aumentado la velocidad del flujo de aire sobre la parte superior del papel, la presión disminuye de acuerdo con el principio de Bernoulli. El extremo suelto del papel se mueve hacia arriba, desde la presión más alta que se encuentra debajo del papel hacia la presión más baja que se encuentra encima.

### fuerza magnus

Cuando un cuerpo u objeto gira mientras se mueve por el aire (por ejemplo, una pelota que gira), el aire es arrastrado por la rotación de la pelota. Esto provoca un aumento de la velocidad en un lado del objeto y una disminución de la velocidad en el otro. Por lo tanto, según el principio de Bernoulli, hay presiones desiguales sobre la pelota y la pelota se desvía de su movimiento. La fuerza de elevación causada por esta diferencia de presión (debida a la rotación) se llama fuerza de Magnus.

Si el eje de rotación (spin) es horizontal y forma un ángulo recto con la dirección de desplazamiento, esto provocará un efecto retroceso o topspin y la pelota se moverá hacia arriba o hacia abajo. Sin embargo, si el eje de rotación (giro) es vertical y forma un ángulo recto con respecto a la dirección de desplazamiento, esto creará un efecto lateral y la pelota se desviará hacia la izquierda o hacia la derecha. El eje de rotación puede estar en una dirección más compleja y, por lo tanto, el efecto puede ser una combinación de efecto superior y efecto lateral o efecto trasero y efecto lateral.

Los palos de golf están diseñados para generar un efecto de retroceso en la bola durante el impacto. En el vuelo posterior de la bola, este efecto de retroceso mantendrá la bola en el aire durante más tiempo y, por lo tanto, el alcance será mayor. El efecto de retroceso no es necesario durante el golf (excepto posiblemente durante el putt), ya que esto haría que la bola caiga más rápido y, por lo tanto, disminuiría la distancia recorrida. Las caras en ángulo de los palos de golf y las ranuras de la superficie significan que la bola gana efecto de retroceso cuando entra en contacto con el palo y, por lo tanto, logra un vuelo más largo. En otros deportes, como el tenis y el tenis de mesa, el efecto de retroceso o de retroceso se puede aplicar a la bola según la trayectoria de la raqueta y el ángulo con el que la cara entra en contacto con la bola.

Por lo tanto, cuando un objeto gira mientras viaja a través de un fluido, las partículas del fluido son arrastradas por el objeto giratorio. Como consecuencia, la velocidad del fluido aumenta en un lado del objeto y disminuye en el otro. Esta diferencia en la velocidad del fluido dará lugar a una diferencia de presión entre los dos lados del objeto y a la generación de fuerza de lixiviación en la dirección de baja presión (Figura 26).



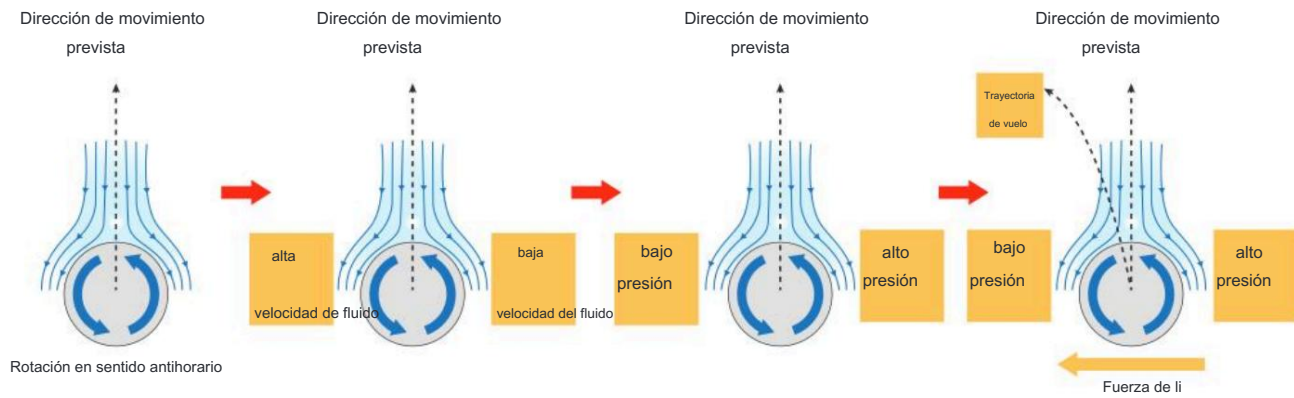


Figura 26 Fuerza de sustentación debido al giro (efecto Magnus)

Los jugadores de fútbol expertos pueden usar el efecto para desviar la trayectoria de vuelo de la pelota y marcar con un tiro libre o un tiro de esquina.

### idades de pensamiento

El espectacular tiro libre de Marta Cox en el Mundial Femenino 2023

En el fútbol, cuando se concede un tiro libre directo, los jugadores suelen intentar marcar un gol. Por lo general, el equipo defensivo coloca una pared para "cubrir" una zona de la portería y evitar que el jugador que realiza el tiro marque allí. Sin embargo, algunas jugadoras, como la panameña Marta Cox, han perfeccionado la habilidad de hacer girar el balón alrededor o por encima de la pared para golpear zonas de la portería que no están cubiertas por el portero. Para ello, el pateador debe crear una rotación del balón en el impacto para que la fuerza Magnus doble su vuelo.

Marta Cox tuvo éxito en la Copa Mundial Femenina de 2023 porque puede generar efectos laterales y efectos superiores, de modo que la pelota no solo se desvía hacia los lados en el vuelo, sino que también se "hunde" y, por lo tanto, se aleja del alcance de la portera. Su tiro libre para Panamá (su primer gol en la Copa Mundial Femenina) contra Francia en la Copa Mundial de 2023 mostró las habilidades de Cox en su máximo esplendor.



Figura 27 Marta Cox





## Actividad 4

En grupos pequeños, analice lo siguiente y prepárese para explicar por qué existe una respuesta grupal acordada.

- Si se reduce la resistencia sobre el cuerpo del atleta o el equipo en deportes como La natación, el ciclismo y el esquí permiten alcanzar velocidades más rápidas y mejores resultados. ¿Esto crea un campo de juego desigual si algunos atletas o equipos tienen acceso a tecnologías avanzadas que otros no tienen?
- ¿La búsqueda de reducir la ligereza y la resistencia en los deportes creará una "carrera tecnológica"? ¿Dónde se centra más el foco en la tecnología que en las habilidades y capacidades de los atletas?
- ¿Manipular el entorno y el objeto en movimiento de manera que proporcione ventajas significativas tiene implicaciones éticas en relación con la igualdad de oportunidades y el espíritu de competencia leal?
- ¿Se superan los límites de los equipos, del medio ambiente y de los seres humanos?  
¿Puede la capacidad de generar problemas de seguridad en los deportes de alta velocidad?
- ¿Es necesario que los organismos deportivos y las autoridades reguladoras establezcan reglas y estándares que regulen el uso de técnicas de manipulación de peso y resistencia para garantizar que los deportes sigan siendo justos y seguros para todos los participantes?
- ¿Es importante lograr el equilibrio adecuado entre los avances tecnológicos que manipulan el entorno y/o el objeto en movimiento y el mantenimiento de la integridad del deporte para garantizar un campo de juego seguro y equitativo y un entorno deportivo positivo?



## Impacto global de la ciencia

La resistencia aerodinámica es la fuerza de resistencia más alta en el ciclismo, en particular cuando se viaja a altas velocidades (a velocidades superiores a 30 km/h, aproximadamente el 80 % de la resistencia total se atribuye a la resistencia aerodinámica). Los ciclistas de ruta intentan reducir la resistencia aerodinámica y mejorar el rendimiento optimizando su posición y el equipo que utilizan, como el casco.

Los túneles de viento (Figura 28), grandes estructuras que permiten controlar la dirección y la velocidad del flujo de aire, se utilizan para probar la interacción entre los objetos y el fluido y pueden utilizarse para evaluar la magnitud de la resistencia aerodinámica al andar en bicicleta en varias posiciones. Las fuerzas se miden colocando la bicicleta en una balanza de fuerzas (Figura 29).

¿Puede considerarse una ventaja injusta el acceso y uso de túneles de viento para identificar posiciones aerodinámicas óptimas para ciclistas de ruta de élite?



Figura 28 Instalaciones del túnel de viento para ciclismo (centro de ingeniería deportiva de Silverstone)



Figura 29 Bicicleta unida a la balanza de fuerzas



### Pregunta de enlace

¿Cómo se pueden utilizar la fricción y la resistencia para mejorar el entrenamiento? (A.1.3)

Considerar:

- entrenamiento de resistencia en agua o arena
- Entrenamiento de velocidad y agilidad con bandas de resistencia y dispositivos similares a paracaídas.
- bandas de resistencia y desarrollo de la técnica
- prevención de lesiones y rehabilitación
- reducir la tensión en las articulaciones (como ejercicios de bajo impacto en una piscina).

### Pregunta de practica

Describe cómo un saltador de longitud puede manipular los factores que afectan el movimiento del proyectil (4 puntos) para aumentar la distancia saltada durante una competencia.

# Resumen

- La trayectoria del proyectil y la distancia total

El recorrido depende de las condiciones iniciales de proyección, de la gravedad y de la resistencia del aire.

- Cuando un cuerpo se mueve a través de un medio fluido experimenta fuerzas resistivas.

- El arrastre superficial es el resultado de la interacción entre un fluido y la superficie de un objeto y las partículas de fluido. El arrastre de forma es causado por la separación de la capa límite que genera una presión diferencial entre la parte delantera y trasera del objeto. El arrastre de olas es causado por la formación de olas en la superficie del agua.

- Las fuerzas de Lift son causadas por la forma de un objeto y su orientación respecto al aire y/o el giro que se le imparte.

- Cuando un objeto está girando mientras viaja a través de un fluido: las partículas de fluido son arrastradas por el objeto giratorio. Como consecuencia, la velocidad del fluido aumenta en un lado del objeto y disminuye en el otro. Esta diferencia en la velocidad del fluido provocará una diferencia de presión entre los dos lados del objeto y la generación de fuerza de Magnus en la dirección de baja presión.

## Comprueba tu comprensión

Después de leer este capítulo, usted debería poder:

- identificar los factores que afectan el movimiento del proyectil
- identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo a medida que se mueve a través de un fluido
- explicar las diferencias entre el arrastre de superficie y la forma Arrastre y arrastre de ondas
- definir fuerza vital
- explicar el efecto del principio de Bernoulli
- describir el ángulo de ataque y destacar su importancia
- explicar el efecto Magnus.

# Preguntas de autoaprendizaje

1. Resume los tres factores que determinan el movimiento de un objeto cuando está lanzado al aire.
2. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre un cuerpo mientras se mueve a través de un fluido?
3. ¿Cuáles son las direcciones de la resistencia y la fuerza de arrastre?
4. Explique cómo los siguientes factores afectan la fuerza de arrastre sobre un objeto que se mueve en el aire:
  - la forma
  - o zona frontal
  - o velocidad del objeto
  - o densidad del aire.
5. Describe la capa límite.

un hi



## Pregunta basada en datos

El término "drag" describe la táctica de realizar un modo de actividad en una posición protegida. Un estudio investigó los cambios en el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca en triatletas durante una carrera de 5 km en tres pruebas, simulando un componente (carrera de 5 km) o dos componentes (bicicleta de 20 km, carrera de 5 km) de un triatlón de recorrido corto (750 m de natación, bicicleta de 20 km, carrera de 5 km), con una semana de diferencia.

• Carrera de 5 km (es decir, sin nadar ni andar en bicicleta) =

5Run • Carrera de 5 km después de ir detrás de otro ciclista (es decir, sin nadar y después de ir detrás durante la etapa de ciclismo) = 5RunD

• Carrera de 5 km después de andar en bicicleta con otros (es decir, sin nadar y después sin arrastrarse durante la etapa de ciclismo) = 5RunND

Las respuestas medias ( $\pm$ DE) del consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca en cada kilómetro de carrera se muestran en la Figura 30.

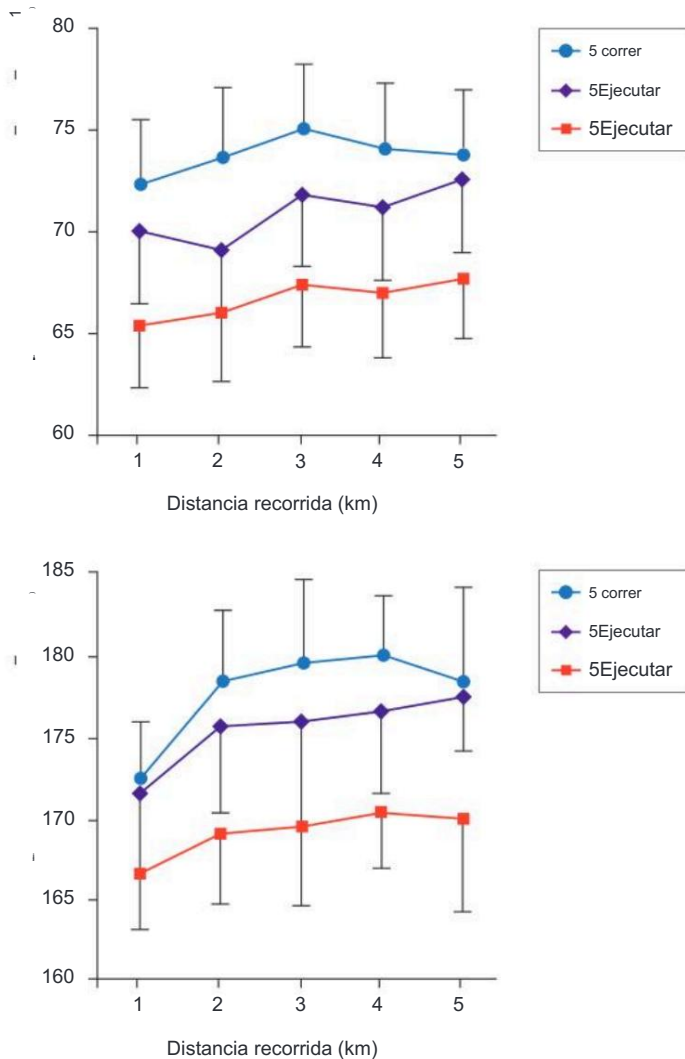


Figura 30 Cambios en el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca en triatletas durante una carrera de 5 km; adaptado de Brisswalter y Hausswirth (2008)

1. Identifique qué prueba tuvo la frecuencia cardíaca más baja a 3 km. (1 punto)
2. Calcular la diferencia en el consumo de oxígeno a 1 km entre las pruebas con y sin arrastre durante el  
Etapa de ciclismo. (2 puntos)
3. Compare el consumo de oxígeno y las respuestas de la frecuencia cardíaca entre 4 km y 5 km para las tres pruebas. (4 puntos)