



# **FUNDAMENTOS AERODINAMICOS E HIDRODINAMICOS DEL DESPLAZAMIENTO DETRAS DE UN Oponente: "El caso de la ola en Piragüismo"**

Autor: Oscar GARCIA BUSTO

## **RESUMEN**

El desplazamiento detrás de un oponente es una solución técnico-táctica empleada en determinados deportes (ciclismo, piragüismo, natación, en lugares abiertos y algunos deportes de motor) como forma de economía de esfuerzo.

Algunos animales practican formas de avance en grupo que permiten una economía de esfuerzo en base a las leyes de la dinámica de fluidos. Así lo hacen los peces cuando nadan en bancos o los pájaros cuando vuelan en bandadas.

La dinámica de fluidos (hidrodinámica y aerodinámica) explica los principios que rigen el avance de los cuerpos en un fluido (aire o agua). Además del "efecto pantalla" que protege del viento, existen otros elementos como la capa límite y la estela, derivados de las distintas resistencias que afectan al deportista que va por delante. En piragüismo además intervienen las olas.

"Ir a rueda" en ciclismo puede suponer una disminución de hasta un 40% de la resistencia aerodinámica, lo que se traduce en una disminución de un 30% en la potencia mecánica externa.

"Chupar ola" en piragüismo produce importantes disminuciones en cuanto a la frecuencia cardíaca, concentración de ácido láctico y frecuencia de paladas.

## **INTRODUCCION**

Existen determinados deportes (ciclismo, piragüismo y natación) en cuyas modalidades de fondo tiene especial importancia un elemento técnico-táctico basado en el

aprovechamiento de las resistencias hidrodinámicas y aerodinámicas (según el caso) que afectan a un deportista por parte de otro que transita inmediatamente y a escasa distancia por detrás y que le permite avanzar más cómodamente. También en algunos deportes de motor se pone de manifiesto este hecho.

Tradicionalmente las investigaciones en dinámica de fluidos aplicada al deporte han estado orientadas al estudio de las fuerzas que se oponen al avance de un cuerpo (material o humano) en un fluido (aire o agua), es decir al estudio de las resistencias, dejando de lado los efectos positivos que estas resistencias pudieran tener sobre el avance de un segundo cuerpo, como sucede en los deportes anteriormente nombrados.

Chupar rueda en ciclismo, ir a ola en piragüismo, seguir la aspiración o el rebufo en motociclismo y automovilismo o coger los pies en natación (referido a las pruebas en lugares abiertos como es el caso de las travesías y de la natación dentro del triathlon) son habilidades técnico-tácticas habitualmente puestas en práctica por los deportistas en las pruebas en las que el reglamento las permite.

La evidencia puede hacernos pensar que toda la ventaja se deriva de la protección de los efectos del viento, pero aunque este factor es muy importante, no debemos despreciar otros principios de la dinámica de fluidos que contribuyen también al arrastre y la consiguiente descarga energética del deportista que va detrás.

En la búsqueda de soluciones que disminuyan el esfuerzo cuando se avanza colectivamente, algunos animales, adelantándose al hombre, han desarrollado formaciones basadas en los principios de la dinámica de fluidos. Esto es fácilmente reconocible en los peces cuando nadan en

bancos o en los pájaros cuando vuelan en bandadas.

### **AERODINÁMICA E HIDRODINÁMICA. SU IMPORTANCIA EN CADA DEPORTE.**

La hidrodinámica y la aerodinámica (ambas componen la dinámica de fluidos) dan respuesta a las leyes que rigen los comportamientos de un cuerpo moviéndose en un fluido. Tanto el aire como el agua son fluidos (uno se manifiesta en estado gaseoso y el otro en estado líquido) por tanto, los principios que se aplican en el avance de una piragua o un nadador en el agua, son similares a los que se producen en el avance de un ciclista o un piloto y su máquina rodeados de aire; simplemente cambia el fluido en el que se desarrolla la acción.

El ciclista en su avance debe vencer la resistencia aerodinámica, además de la resistencia a la rodadura producida por la fricción del neumático en el suelo y de escasa importancia frente a la aerodinámica cuando avanza a gran velocidad.

Dentro de la resistencia aerodinámica la más importante es la resistencia frontal producida por el impacto de la superficie del cuerpo (bicicleta y ciclista) con el fluido. Esta resistencia aumenta al cuadrado con respecto a la velocidad y dadas las altas velocidades que se consiguen es la más importante.

El ciclista que "va a rueda" busca el "efecto pantalla" del ciclista que lleva por delante, pedaleando entonces contra una menor resistencia frontal, sin embargo también se beneficia de la resistencia de fricción y de la resistencia de presión de la forma que más adelante se describirá en relación a la piragua.

En el motociclismo y en el automovilismo los principios apuntados son los mismos, pero debido a las altísimas velocidades de desplazamiento, los efectos son aún más importantes. Es fácilmente apreciable cómo en un grupo de motociclistas cuando uno de ellos pierde el contacto con el que le antecede, en poco tiempo la separación se hace muy grande, como consecuencia de la desaparición de los beneficios aerodinámicos de los que estaba disfrutando.

El piragüista por su parte se mueve en las dos manifestaciones del fluido, sin embargo la resistencia aerodinámica (creada por la superficie no sumergida de la piragua y por el propio palista y su pala) es poco importante comparada con la resistencia del agua cuya densidad es 832 veces mayor que la del aire. A esto se suma la menor velocidad de la piragua en comparación con la bicicleta lo que provoca un fluido de aire en contra inferior y en cualquier caso los piragüistas mantienen entre sí una distancia mayor que los ciclistas cuando se intentan aprovechar de la ola y de la rueda respecti-

vamente.

Es por tanto la resistencia hidrodinámica la que realmente afecta al piragüismo y al mismo tiempo beneficia al palista que va a ola.

En la natación los factores influyente son los mismos que en la piragua, pero debido a que la velocidad del nadador es muy baja, el efecto de arrastre también es escaso, no obstante en los triatlones y travesías, los nadadores "cogen los pies" del participante que les precede buscando esos efectos;

### **EL CASO DE LA OLA EN PIRAGÜISMO**

El concepto de "ir a ola" en piragüismo se refiere a la habilidad técnico-táctica que permite navegar con menor esfuerzo a igual velocidad situándose detrás de otra piragua que antecede.

La resistencia hidrodinámica que como vimos es la más importante en piragüismo se puede descomponer en tres: **resistencia de fricción, resistencia de presión y resistencia de oleaje.**

El término en sí "ir a ola" puede inducir a pensar que son simplemente las olas generadas por el piragüista que marca (resistencia de oleaje) lo que produce la ventaja, pero un análisis en profundidad nos revela que también interviene la resistencia de fricción por medio de la capa límite y la resistencia de presión que da lugar a la estela; factores estos dos comunes a la aerodinámica y que aparecen por tanto en el ciclismo y en el atletismo.

A continuación se analiza la contribución de cada resistencia al avance de la piragua que "va a ola":

a) **Resistencia de fricción:** también se conoce como resistencia de rozamiento o resistencia viscosa. Se debe a la viscosidad de los fluidos propiedad que tienen de ofrecer resistencia a la separación de sus moléculas.

Esta propiedad del agua es la causante de la capa límite (figura 1).

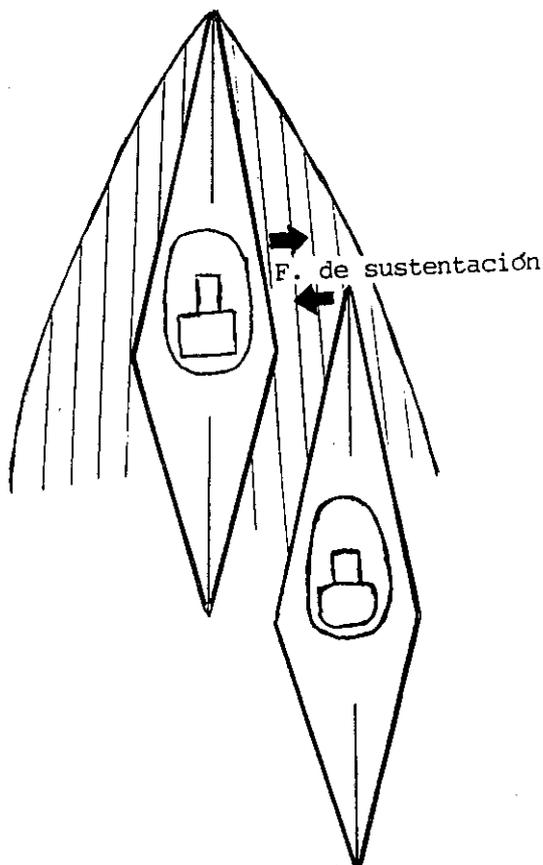
La capa límite fue definida en 1904 por L. Prandtl como la región comprendida entre la capa de fluido adherida al casco y cuya velocidad es la de la embarcación, hasta la capa cuya velocidad ha perdido el 99% de esa velocidad y que prácticamente ya no está afectada por el avance de la embarcación.

**FIGURA 1:** Capa límite producida por la resistencia de fricción. Fuerza de sustentación que tiende a aproximar las piraguas.

FIGURA 1

## CAPA LIMITE

R. de fricción



\* La capa límite es la región donde los efectos de la viscosidad del fluido causados por el movimiento de la embarcación están presentes. Estos efectos son en definitiva el arrastre de una masa de agua contenida dentro de la capa límite. Ello supone una importante resistencia al avance que en piragüismo según Toro y Haught (1985) alcanza valores entre el 75 y el 80% de la resistencia total, pero al mismo tiempo la capa límite supone para el piragüista que va a ola, palear en un agua que ya está en movimiento en la dirección del avance.

El flujo dentro de la capa límite adquiere dos formas que van a condicionar el espesor de esta masa de agua en movimiento: en los puntos próximos a la proa, la capa límite es laminar (capas de agua paralelas, no entremezcladas que se mueven en una misma dirección); a medida que el agua se mueve alejándose de la proa, las fuerzas de rozamiento disipan cada vez más la energía de la corriente de agua, haciendo que el espesor de la capa

límite aumente y sufra perturbaciones de tipo ondulatorio, lo que provoca una destrucción de la corriente laminar, que hasta ahora pasa a ser turbulenta, (las moléculas de agua se mueven de forma caótica pasando de una capa a otra). El mayor espesor de la capa límite turbulenta y el estado caótico de sus moléculas provocan una mayor resistencia de fricción.

\* La determinación del tipo de flujo, se realiza mediante el número de Reynolds, que se utiliza a su vez para predecir la resistencia de fricción. El número de Reynolds depende entre otras cosas de la velocidad y si ésta aumenta, el punto de transición laminar turbulento se adelanta, lo que supone una mayor resistencia para el piragüista que marca, pero también una capa límite mayor para el palista que "va a ola".

Dentro de la capa límite se produce la fuerza de sustentación (figura 1) que explicará la tendencia a acercarse que tienen las piraguas cuando una va a ola de otra. La fuerza de sustentación se origina como consecuencia de una diferencia de presiones entre zonas de un perfil (la piragua) a causa de una diferente velocidad de circulación de flujo en ellas. En las zonas donde el flujo circula a mayor velocidad (capa límite), se crea una zona de bajas presiones (Bernouilli), produciéndose una fuerza que tiende a desplazar el cuerpo hacia ese lugar (Aguado, 1993). La dirección de esta fuerza es perpendicular al avance, de modo que, cuando un piragüista se mueve en la capa límite de otro, la tendencia de su piragua es a acercarse a la otra, algo fácilmente corregible en el kayak con el timón y algo más complicado en la canoa mediante el repaleo.

b) **Resistencia de presión:** se produce como consecuencia del desprendimiento de la capa límite. Dentro de la capa límite, las moléculas a medida que se alejan del borde de ataque (proa) pierden velocidad hasta un punto donde la velocidad es cero. En este punto se produce el desprendimiento de la capa límite y se conoce también como zona de presión estática.

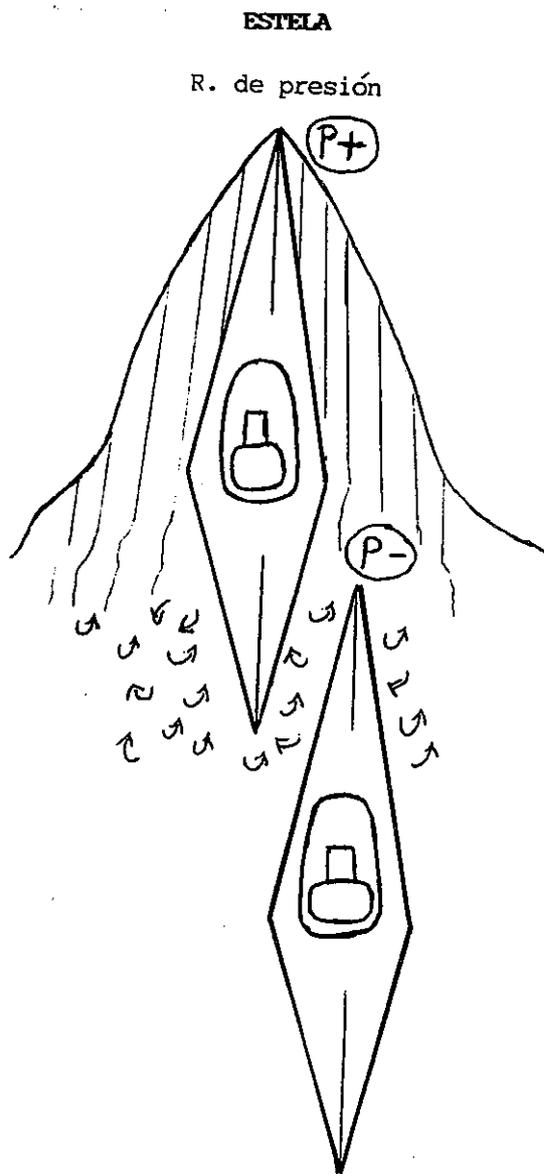
Por delante de él la presión es positiva y por detrás de él las presiones serán negativas, dando lugar a la resistencia de presión o de forma. Este gradiente de presiones desfavorables forma una zona de torbellinos o vórtices que se conoce como estela y también como rebufo.

Próximo capítulo:

- FUNDAMENTOS AERODINÁMICOS E HIDRODINÁMICOS DEL DESPLAZAMIENTO DETRÁS DE UN Oponente: "El caso de la ola en Piragüismo" (continuación).



**FIGURA 2:** Estela producida por la resistencia de presión (separación de la capa límite).



El tamaño de la estela está estrechamente relacionado con el tipo de flujo. Puesto que la estela se forma por el desprendimiento de la capa límite, este desprendimiento se produce prematuramente en el flujo laminar dando lugar a una estela de mayor tamaño. En el flujo

turbulento, las partículas de agua tienen mayor movimiento, con lo que el desprendimiento se produce más atrás que en el laminar, puesto que el desprendimiento de la capa límite, como ya dijimos, se producía cuando la velocidad de las partículas era cero. El resultado es una estela de menor tamaño que en el flujo laminar.

Así pues tenemos que desde el punto de vista de la resistencia de presión o formación de la estela, es preferible una capa límite turbulenta; sin embargo ésta aumenta en gran medida la resistencia de fricción que como vimos es la más importante en piragüismo, por lo que los esfuerzos deben ir encaminados a disminuir esta resistencia aunque ello provoque mayores estelas.

Por otro lado Carmona (1987) afirma que otro modo de retrasar la separación de la capa límite y disminuir por tanto la resistencia debida a la estela, es hacer que los cuerpos sean lo más esbeltos posibles, con lo que se hace que el gradiente de presión no tenga un valor elevado. En este sentido, las piraguas (kayaks y canoas) son embarcaciones bastante esbeltas, aunque la forma de la popa rompe esa esbeltez induciendo a la separación temprana de la capa límite y a la formación de la estela.

c) **Resistencia al oleaje:** cuando un cuerpo se mueve en la superficie de un líquido, el aumento del componente de presión proa-popa produce cambios en el nivel del fluido-circundante, es decir, olas. Estos cambios en el nivel viajan a la misma velocidad que el cuerpo.

Es importante señalar que las olas se forman en la superficie y que un submarino no forma olas y sin embargo las presiones a las que está sometido son las mismas. Del mismo modo, los nadadores producen olas al nadar pero cuando bucean, en las salidas y en los giros, no las producen y avanzan contra una menor resistencia.

Dos son los tipos de ola que produce una piragua:

- \* Una de proa, que se produce por la resistencia frontal y se prolonga por todo el lateral a la piragua, y
- \* otra de popa, que diverge desde el final de la piragua. Ambas olas tienen un componente divergente y un componente transversal.

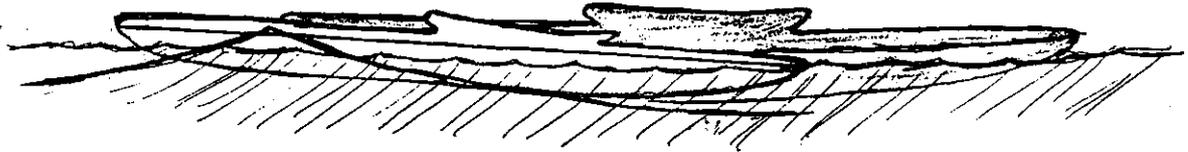
El piragüista que va a ola colocará su popa en la cresta de la ola de forma que eleve su popa y la piragua se mueva en un plano inclinado con más presión en la popa y menos presión en la proa, lo que supondrá un paleo contra una menor resistencia frontal (figura 3).

**FIGURA 3:** Ola producida por la resistencia de oleaje. La ola actúa elevando la popa de la embarcación y hundiendo la proa como consecuencia.

FIGURA 3

## OLA

R.de oleaje



## ¿CUAL ES EL VALOR DE ESA VENTAJA?

En primer lugar hay que señalar que, además de la descarga energética que puede suponer para el deportista desde el punto de vista fisiológico, hay que tener en cuenta otro beneficio que es el psicológico, en el sentido de poder avanzar a la par de otro deportista teóricamente superior o de beneficiarse de un ritmo ya establecido por el deportista que va delante.

No existen cuantificaciones de la ventaja fisiológica en relación con la técnica de coger los pies en natación, de la misma forma que no se conocen las posibilidades de un coche o una moto rodando en el rebufo del vehículo que le antecede en comparación con el avance en solitario; sin embargo sí existen datos reveladores de la importancia de esta habilidad en relación con el ciclismo y el piragüismo.

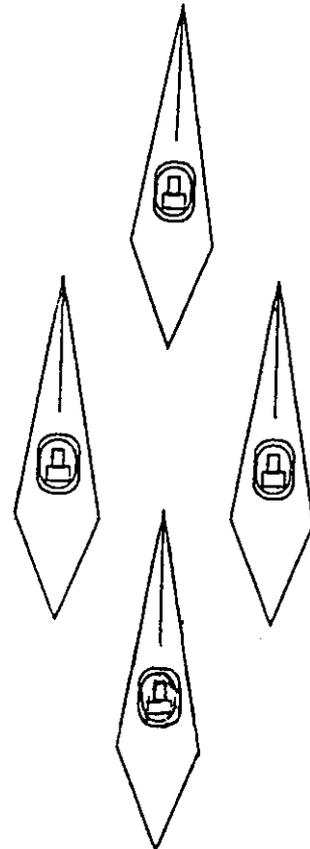
En relación al **ciclismo**, de las dos resistencias que afectan al ciclista (resistencia a la rodadura y resistencia aerodinámica) la resistencia aerodinámica supone el 90% del total a velocidades elevadas (Gorrotxategi, Aranzabal 1991). Según estos autores el hecho de ir a rueda puede suponer la disminución de esta resistencia hasta un 40%. Ello supone una disminución de la potencia externa de hasta un 30% con respecto al ciclista que antecede.

En el **piragüismo** se ha cuantificado la ventaja del paleo en la ola en un grupo de cuatro piragüistas del equipo nacional (García 1995).

En este estudio se ha observado una reducción de la frecuencia cardiaca de un 8% en la ola lateral (ola de proa) y de un 14% en la ola de popa (ola que se ve reforzada por las laterales de las dos piraguas que van a ola del marca) (figura 4). La concentración de ácido láctico experimenta una espectacular disminución del 50% en las olas laterales y del 56% en la ola de popa. El factor mecánico de la frecuencia de paladas también presenta una disminución aunque escasa (6%) en todos los puestos.

En resumen, estos datos demuestran la importancia que el desplazamiento detrás de un oponente tiene en el ciclismo y en el piragüismo desde el punto de vista de la reducción del esfuerzo.

**FIGURA 4:** Formación de cuatro piraguas en grupo. Uno marca, dos van a las olas laterales derecha e izquierda y el cuarto se beneficia de la ola de popa del marca y de las dos laterales.



**BIBLIOGRAFIA**

- \* Aguado, X. "Eficacia y Técnica Deportiva". Publicaciones Inde. Barcelona. 1993.
- \* García, O. "Cuantificaciones fisiológicas de la ventaja que supone palear a ola en kayak". Trabajo no publicado I.N.E.F. Castilla y León. 1995.
- \* Gillmer and Johnson "Introduction to naval architecture". Ed.FN Spow. Londres. 1982.
- \* Gorrotxategi y Aranzabal, P. "Consideraciones sobre la participación metabólica en el rendimiento del ciclismo en ruta". I Congreso Internacional sobre Ciencia y Técnica en el ciclismo. Pág. 4-18. Torremolinos. 1991.
- \* Haught "Bolletin Technique". N° 54 FFCK. Pág. 19-21.
- \* Harvard "Resistance and propulsion of ship". Willey Interscience. 1983.
- \* Isidoro, A. "Aerodinámica y Actuaciones del Avión. Editorial Paraninfo. Madrid. 1987.
- \* Kalide "Introducción a la Hidrodinámica Técnica". Ediciones Urmo. Bilbao. 1969.
- \* Sánchez, J. y Magaz, S. "La técnica" Piragüismo I. COE Madrid. 1993.
- \* Streeter y Wylie "Mecánica de Fluidos". Editorial Mc Graw-Hill. México. 1979.
- \* Toro, A. "Hidrodinámica en Piragüismo". Cabier Technique, n° 4. Pág. 230-232 FFCK. 1985.

---

Próximo capítulo:

- SLALOM, REFLEXIONES TECNICAS