

# BAÑADORES DE ÚLTIMA GENERACIÓN, ¿DISMINUYEN LA RESISTENCIA HIDRODINÁMICA?

Salvador Llana Belloch<sup>1</sup>, Pedro Pérez Soriano<sup>2</sup>, Victor Tella Muñoz<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Departamento de Educación Física y Deportiva. Universitat de València.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Fundación-Agrupación Edetania.

## RESUMEN

En el presente estudio se examina el efecto que la profundidad y los bañadores tienen sobre la resistencia pasiva en natación. En el estudio han participado 17 nadadores de categoría juvenil de clubes de Colonia (RFA). Se realizaron dos tipos de tests: de deslizamiento y de arrastre. Los tests se llevaron a cabo a dos profundidades: superficie y subacuático. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el efecto de los bañadores, para ninguna de las dos constantes calculadas ("D" para los arrastres y "d" para los deslizamientos) ni en superficie ni subacuático. Los resultados tampoco mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el efecto de dichos bañadores en función del género de los nadadores. El efecto de la profundidad en la resistencia fue constatado tanto en los arrastres ( $p < 0.01$ ) como en los deslizamientos ( $p < 0.01$ ).

**Palabras claves.** Natación, resistencia pasiva, bañadores, profundidad.

## INTRODUCCIÓN

Durante el nado, el cuerpo de los nadadores desplaza el agua que se encuentra en su camino. Entonces, el nadador experimenta una fuerza, denominada resistencia hidrodinámica, que se opone a su avance. Dado que el nado se realiza en una situación de "ingravidez hidrostática", la mayor parte del trabajo mecánico realizado por los nadadores está dirigido a superar dicha resistencia.

Cuando un cuerpo muy hidrodinámico se mueve a baja velocidad, la capa límite se desplaza suavemente sobre la superficie, formándose muy poca turbulencia. Tal y como la velocidad aumenta, la capa límite se hace más delgada, apareciendo puntos de ruptura y turbulencia. En los puntos de ruptura de la capa límite, aparecen zonas de baja presión. Esto crea un gradiente de presión entre la parte delantera del nadador (alta presión) y la parte trasera (baja presión), que disminuyen su velocidad de nado. Esta resistencia al avance es conocida como resistencia de forma o presión. Numerosos estudios (Karpovich, 1933; Clarys, 1978; Miyashita & Tsunoda, 1978) muestran que, para una velocidad determinada, las dimensiones y posición de los segmentos corporales son los principales factores que determinan este tipo de resistencia.

Al mismo tiempo, tal y como la velocidad aumenta, el nadador genera un sistema de olas que se desplaza a su misma velocidad. La distancia entre la cresta anterior y la posterior de dicho sistema de olas aumenta tal y como aumenta la velocidad de nado. A velocidades máximas, la distancia entre crestas alcanza la talla del nadador, de manera que éste, se ve atrapado en un "agujero" generado por él mismo. Esta es la velocidad límite o "hull speed" (Miller, 1975) que depende, fundamentalmente, de la talla del nadador. La resistencia debida a este oleaje es proporcional al cubo de la velocidad, de manera que a velocidades superiores a 1'6 m/s se convierte en la principal resistencia que debe afrontar el nadador (Rushall y cols. 1994).

Existe un tercer tipo de resistencia al avance: la resistencia debida a la fricción. Debido a la viscosidad del agua, las capas de agua inmediatamente en contacto con el nadador, son frenadas por las capas de agua adyacentes. En general, las superficies lisas generan menos turbulencia que las superficies rugosas y, por ello, durante años, los nadadores se han depilado con antelación a las grandes competiciones con el propósito de mejorar su rendimiento al disminuir la fricción con el agua.

Desde hace tiempo (Nachtigall, 1981; Anderson y cols. 2001) se sabe que la piel de determinados peces está equipada con surcos microscópicos denominados “ribblets”, que ayudan a disminuir la turbulencia en la capa límite y, consecuentemente, la resistencia por fricción. En la década de 1980, en el Langley Research Center de la NASA, se desarrolló un proyecto de I+D sobre este tipo de piel. En 1987, el yate “Barras y estrellas” se sirvió de esta tecnología para vencer en la Copa América (Takagi & Sanders, 2000). Una década después, la tecnología estaba lista para ser usada en trajes de natación. Sin embargo, y a pesar de la gran competencia comercial, son pocos los estudios publicados, y los existentes (Benjanuvattra y cols. 2002; Toussaint 2002) presentan resultados contradictorios. El propósito del presente estudio fue determinar si los “bañadores de última generación” disminuyen la resistencia hidrodinámica en comparación con los “bañadores tradicionales”.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

En el estudio participaron 17 nadadores de categoría juvenil: 10 féminas y 7 varones. Cada nadador realizó el experimento, en posición ventral y de mínima resistencia, cuatro veces:

- con su bañador tradicional en la superficie
- con su bañador tradicional subacuático
- con su bañador de última generación en la superficie
- con su bañador de última generación subacuático

Se llevaron a cabo dos tipos de experimentos:

- 1) Test de deslizamiento: los test de deslizamiento son ampliamente usados para medir el tiempo en recorrer los 7'5 m desde la pared tras el viraje (Sanders, 2002). Se realizan en la posición de mínima resistencia con el objeto de minimizar las fuerzas de rozamiento (Küchler y cols. 2002). Dos factores influyen en el resultado de este test: la fuerza aplicada contra la pared y la resistencia ofrecida por el agua. Con el objeto de separar los efectos de estos factores, se utilizó el test de deslizamiento modificado por Klauck (1982).

En este test, se mide el tiempo empleado en recorrer dos distancias idénticas tras la impulsión en la pared. Dichos valores se introducen en una ecuación diferencial que permite conocer la velocidad al inicio del deslizamiento y calcula un parámetro (“d”) que caracteriza la resistencia ofrecida por el agua.

Cada nadador repitió el test cinco veces en las dos condiciones de bañador (tradicional y especial) y en las dos condiciones de profundidad (superficie y subacuático).

- 2) Test de resistencia pasiva. Los arrastres se llevaron a cabo mediante un sistema de poleas y lastres (Klauck, 1999). Este instrumental consta de dos ruedas concéntricas (ratio de diámetros 1:10) fijadas a un eje de movimiento común cuyo movimiento puede ser producido al tirar manualmente (diámetro mayor) o al dejar caer una masa (diámetro menor) de 100 Kg. Los test se realizaron en la piscina de 50 m de la Deutsche Sporthochschule de Colonia (RFA). Cuando el nadador se encuentra en la salida, se suelta el freno y la masa desciende por la acción de la gravedad, entonces el nadador es acelerado hasta alcanzar una velocidad constante. En estas condiciones, las fuerzas propulsivas son iguales a las de resistencia, con lo que se puede calcular la constante de resistencia (D) según la ecuación:

$$D = F/v^2$$

## **RESULTADOS**

El ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) en la constante “d” entre los bañadores de última generación y los tradicionales, ni en los deslizamientos en superficie ni en los subacuáticos (tabla 1). Tampoco se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ )

entre géneros (tabla 2). Si que se encontraron diferencias ( $p < 0.01$ ) en función de la profundidad (tabla 3).

	"d"			
	Superficie		Subacuático	
	Bañador tradicional	Bañador última generación	Bañador tradicional	Bañador última generación
Media	0.292	0.274	0.166	0.180
S.D.	0.012	0.012	0.015	0.015
p	0.2988		0.5285	

Tabla 1: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad y tipo de bañador.

	"d"			
	Superficie		Subacuático	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Media	0.284	0.281	0.190	0.157
S.D.	0.013	0.011	0.016	0.013
p	0.8692		0.1291	

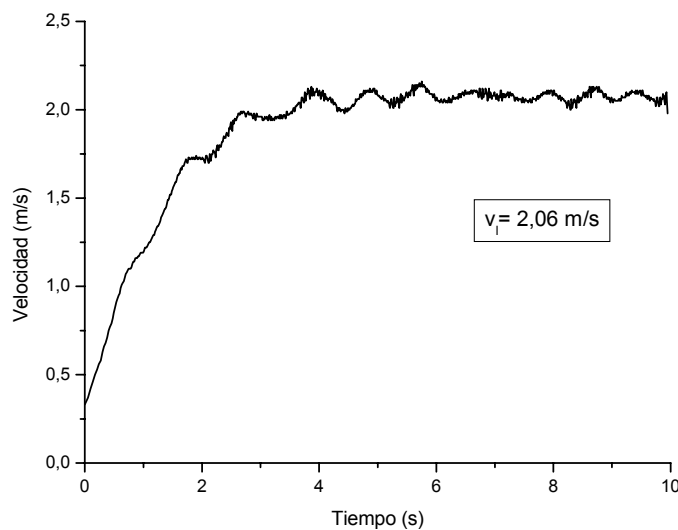
Tabla 2: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad y género.

	"d"	
	Superficie	Subacuático
Media	0.170	0.283
S.D.	0.009	0.009
p	< 0.01	

Tabla 3: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad.

Respecto a los test de resistencia pasiva, las gráficas obtenidas mostraron un patrón repetitivo tal y como indica la figura 1. El final de la curva muestra una velocidad constante, lo que indica un equilibrio de fuerzas y, por consiguiente, la existencia de un flujo estacionario que permite calcular la constante de resistencia (D).

Figura 1: Gráfica típica de velocidad/tiempo para los arrastres.



El ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) en la constante "D" entre los bañadores de última generación y los tradicionales, en las dos condiciones de profundidad (tabla 4). Tampoco se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ ) entre géneros (tabla 5). Si que se encontraron diferencias ( $p < 0.01$ ) en función de la profundidad (tabla 6).

	"D"			
	Superficie		Subacuático	
	Bañador tradicional	Bañador especial	Bañador tradicional	Bañador especial
Media	23.113	24.003	20.158	20.950
S.D.	0.717	0.683	0.636	0.652
p	0.3865		0.4011	

Tabla 4: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad y tipo de bañador.

	"D"			
	Superficie		Subacuático	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Media	23.660	23.660	21.212	19.896
S.D.	0.657	0.657	0.702	0.579
p	0.8415		0.1595	

Tabla 5: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad y género.

	"D"	
	Superficie	Subacuático
Media	23.586	20.399
S.D.	0.462	0.462
p	< 0.01	

Tabla 6: Valores medios, desviación estándar y nivel de significación según profundidad.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos no muestran efectos positivos en resistencia pasiva (arrastres y deslizamientos) de los bañadores de última generación con respecto a los bañadores tradicionales, tanto en la superficie como subacuático. Tampoco se ha encontrado un efecto diferente en función del género. Estos resultados son coincidentes a los presentados por Toussaint (2002) quien estudió el efecto en resistencia activa. Esta coincidencia en resultados es especialmente relevante debido a que el instrumental de medida utilizado (MAD system) y el nivel de los nadadores (13 nadadores holandeses de elite) es diferente al del presente estudio. No obstante, en el citado estudio, solamente se analizó su efecto en superficie.

Estos resultados contrastan con los de Benjanuvatra y cols (2002). En su estudio, utilizaron un sistema de poleas con un motor que permite arrastrar a los nadadores a velocidades prefijadas, registrándose la resistencia con una célula de carga uniaxial (Lyttle y cols. 1998). Participaron 9 nadadores australianos de nivel nacional. Sus resultados mostraron diferencias a favor de los bañadores de última generación en el rango de velocidades de 1'6 m/s a 2'8 m/s, tanto en superficie como a 0'4 m de profundidad que no han sido constatados ni en el presente estudio ni en el de Toussaint (2002).

Un aspecto importante a destacar, es la gran variedad intra e interindividual mostrada en el presente estudio. Los motivos no están claros, sin embargo, podría ser debido al grupo de nadadores analizado: en periodos de crecimiento, un bañador correctamente ajustado a

principio de temporada puede no estarlo al final de la misma. Consecuentemente, la resistencia se verá afectada, con independencia del tipo de bañador utilizado.

Por otro lado, las diferencias encontradas según la profundidad apoyan los resultados de los estudios de Hertel (1966) según los cuales un cuerpo cilíndrico registra su máximo nivel de resistencia en la superficie, y mínimos a partir de una profundidad equivalente a un ratio profundidad/longitud de 0.2-0.4. Del mismo modo, Lyttle y cols (1998 y 2000) indican que la resistencia pasiva experimentada por los nadadores es máxima en la superficie, y mínima a partir de una profundidad de 0.4m.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, E.J., McGillis, W.R. & Grosenbaugh (2001) The boundary layer of swimmig fish. *The Journal of Experimental Biology* 204, 81-102.
- Benjanuvatra, N., Dawson, G., Blanksby, B.A. & Elliot (2002) Comparison of buoyancy, passive and net active drag forces between Fastskin™ and standard swimsuits. *Journal of Science and Medicine in Sport* 5 (2): 115-123.
- Karpovich, P.V. (1933) Water resistance in swimming. *Research Quarterly*, 4; 21-28.
- Clarys, J.P. (1978) Human morphology and hydrodynamics. En: Terauds & Bedingfield (Eds.) *Bimechanics IV*, pp.187-196. University Park Press.
- Hertel, H. (1966) *Structure-Form-Movement*. New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Klauck, J. (1982) Ein Verfahren zur Bestimmung kinematischer Bewegungsmerkmale von Schwimmern in der Gleitphase (A method to determine kinematic motion parameters of swimmers during gliding phases). *Kreiter, C./K. Willimczik (Red.): 3. Sportwissenschaftlicher Hochschultag '80*, S.38 – 47.
- Klauck, J. (1999) Man's water resistance in accelerated motion: An experimental evaluation of the added mass concept. En Keskinen, Komi & Hollander (Eds.) *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. University of Jyväskylä (Finland)
- Kuchler, J. (2002) Ergebnisse einer Analyse des Mehrkampf Wettbewerbs bei den Deutschen Jahrgangsmeisterschaften im Schwimmen 2001. (Results of an analysis of a multidisciplinary contest during the age-championships 2001). *Leistungssport* 4 / 02 , S.49 – 56.
- Lyttle, A.D., Blanksby, B.A., Elliot, B.C. & Lloyd, D.G. (1998) The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide. *Journal of Swimming Research*. 13, 15-22.
- Lyttle, A.D., Blanksby, B.A., Elliot, B.C. & Lloyd, D.G. (2000) Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sport Sciences*, 18, 801-807.
- Miyashita, M. & Tsunoda, T. (1978) Water resistance in relation to body size. En: Eriksson & Furberg (Eds.), *Swimming Medicine IV*, pp.395-401. University Park Press. Baltimore.
- Miller, D. (1975) *Biomechanics of swimming*. En: Willmore & Keogh (Eds.) *Exercise and Sport Sciences Reviews*. New York: Academic Press.
- Nachtigall, W. (1981) *Hydromechanics and Biology*. *Biophysics of Structure and Mechanism* 8: 1-22.
- Rushall, B.S., Springings, E.J., Holt, L.E. & Chappaert, J.M. (1994) A re-evaluation of forces in swimming. *Journal of Swimming Research* 10: 6-30.
- Sanders, R. (2002) New analysis procedures for giving feedback to swimming coaches and swimmers. *Applied Proceedings -Swimming- del XX<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sport*. 1-5 de Julio. Cáceres (España)
- Takagi, H. & Sanders, R (2000) Hydrodynamics makes a splash. *Physics Word*. Sep. 39-43.
- Toussaint, H.M. (2002) The Fast-Skin™ "Body" suit: hip, hype, but does it reduce drag during front crawl swimming? *Applied Proceedings -Swimming- del XX<sup>th</sup> International Symposium on Biomechanics in Sport*. 1-5 de Julio. Cáceres (España)