



Instituto Bilingüe de la  
Comunidad de Madrid

INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA BILÍNGÜE  
**I.E.S. JUAN GRIS**

CONSEJERIA DE EDUCACION,  
JUVENTUD Y DEPORTE



**Comunidad de Madrid**

# **B** IOMECAÍNICA DE LA NATACIÓIN



**Autor:** María Pardo Díaz

**Coordinador:** Gregorio Rosa Palacios

**Centro:** IES Juan Gris



# BIOMECÁNICA DE LA NATACIÓN

Este trabajo ha sido realizado en el programa del  
Bachillerato de investigación del IES. Juan Gris  
Móstoles (Madrid), febrero de 2016.



Biomecánica de la natación por María Pardo Díaz se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## ÍNDICE

---

<b>1.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>0</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>CONCEPTOS TEÓRICOS</b>	
	<b>3.1. TIPOS DE RESISTENCIA EN LA NATACIÓN.....</b>	<b>3</b>
	<b>3.2. LEYES DE NEWTON APLICADAS A LA NATACIÓN..</b>	<b>7</b>
	<b>3.3. EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES.....</b>	<b>9</b>
	<b>3.4. ECUACIÓN DE BERNOULLI.....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
<b>6.</b>	<b>BIOMECÁNICA APLICADA A LA NATACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>8.</b>	<b>PROPUESTA DE MEJORA.....</b>	<b>73</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>75</b>



## 1. AGRADECIMIENTOS

Agradecer al club deportivo de natación de Móstoles por ofrecerme la gran oportunidad que me han dado al dejarme utilizar sus instalaciones para poder realizar dicho proyecto y poder contar con la ayuda de nadadores de élite especializados en este deporte, la natación. También me gustaría retribuir este trabajo a Gregorio Rosa Palacios, por guiarme y aconsejarme a lo largo de todo el proceso.





## 2. INTRODUCCIÓN

La natación es un deporte que puede ser practicado por personas de cualquier edad, ya que dentro del agua se reduce la tensión de las articulaciones y los huesos.

Un claro ejemplo de esto es, que en la carrera, se ejerce mucha tensión sobre las rodillas y los tobillos, debido a nuestro propio peso y a la fuerza de la gravedad, pero en el agua esto no sucede ya que estamos en un fluido con mayor densidad en la que la fuerza de la gravedad es menor.

Algunos de los beneficios de la natación son que al necesitar más concentración y coordinación para realizar el trabajo aumenta nuestra capacidad motriz, al igual que nuestra memoria. Nos hace estar más alerta, tener más equilibrio y tener un tiempo de reacción más rápido y eficiente. Al nadar no solo se relajan los músculos del cuerpo sino que también se relaja la mente, por lo que disminuye el estrés.

En cuanto a los beneficios relacionados con la salud y el cuerpo humano son que la calidad de vida de las personas, que practican la natación, mejora. La natación permite a las personas retrasar la etapa del envejecimiento y las heridas se curan con más rapidez. Al realizar este deporte se quema un gran número de calorías ya que en el agua los músculos trabajan de cinco a seis veces más que en tierra firme y gracias a esto se aumenta la masa muscular y mejora la silueta. Tu cuerpo se hace más resistente ya que la natación también aumenta el grosor de los huesos. Este deporte permite ejercitar las articulaciones, por lo que aumenta la elasticidad y el rango de movilidad de la persona. También mejora la circulación y favorece la actividad del sistema cardiorrespiratorio.

La natación ha tenido un gran auge en los últimos años gracias a nadadoras de élite como Melani Costa y Mireia Belmonte. Esta última compitió en 6 pruebas en el campeonato mundial de natación de 2013, donde obtuvo una medalla de bronce en la prueba de 200 metros estilos y dos medallas de plata en las pruebas, 200 metros mariposa y 400 metros estilos. Por otro lado Melani Costa, quien también participó en este campeonato logrando una medalla de plata en la prueba de 400 metros libres. Estas nadadoras, a diferencia de otros, realizan una técnica óptima. Gracias a esto son capaces de conseguir los resultados mencionados además de gozar de una salud y capacidad física excelente brindada por el ejercicio de este deporte día a día.

### 3. CONCEPTOS TEÓRICOS

#### 3.1 TIPOS DE RESISTENCIA EN LA NATACIÓN

El ser humano no está diseñado para la locomoción en el medio acuoso y se debe a las características propias del agua: un fluido denso y viscoso, en el que resulta difícil aplicar fuerzas propulsivas y donde las fuerzas de resistencia están muy presentes. Para poder entender la locomoción humana en el medio acuático, es necesario conocer las fuerzas a las que se somete un cuerpo cuando es introducido en agua.

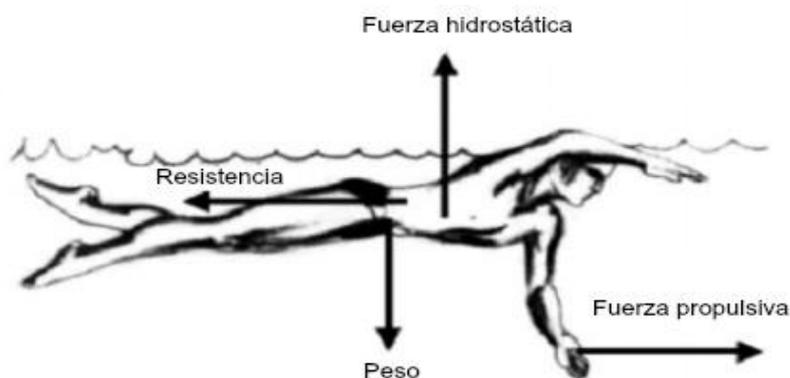


Figura 1: Muestra las diferentes fuerzas que actúan sobre un cuerpo que se encuentra sumergido en un fluido<sup>1</sup>.

Las cuatro fuerzas, como bien muestra la Figura1 son: la fuerza peso y el empuje hidrostático, que determinan la flotabilidad del nadador, y las fuerzas de propulsión y de resistencia, que influyen en la velocidad que lleva el nadador.

<sup>1</sup> Llana S.; *El análisis biomecánico en la natación*; Disponible en <[http://www.notinat.com.es/docs/analisis\\_biomecanico\\_en\\_natacion.pdf](http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf)>

Durante el nado, el cuerpo de los nadadores desplaza el agua que se encuentra en su camino. Entonces, el nadador sufre una fuerza, denominada resistencia hidrodinámica, que se opone a su avance. Debido a que las fuerzas peso y de flotación son similares, el nado se realiza en una situación de ingravidez hidrostática. Esto significa que en la gran mayoría de los casos hay que utilizar la fuerza propulsora para vencer la resistencia del agua y no para aumentar la flotación.

El nadador se enfrenta a tres tipos de resistencia mientras se encuentre dentro del agua.

### 3.1.1 La resistencia por fricción:

La resistencia por fricción va unida a la noción de **capa límite** (valor de la resistencia de rozamiento del cuerpo)

Cuando el cuerpo del nadador se desplaza en un fluido, las moléculas de fluido más próximas al cuerpo se adhieren a éste, y su velocidad es nula. Pero cuando se aleja de la pared, la velocidad aumenta y a una determinada distancia alcanza la velocidad del fluido en la corriente exterior del cuerpo. La fina capa de fluido en la que la velocidad es creciente se llama **capa límite**. Como dos capas enormemente próximas de fluido tienen velocidades diferentes, dan lugar a fuerzas de viscosidad.

Según Hay<sup>2</sup>, *“es poco creíble que la resistencia de rozamiento sobre un nadador sea lo suficientemente grande para ser de cierta importancia”*. Entonces, ¿por qué los nadadores se depilan?, ¿por qué utilizan fast (bañadores con un tejido liso, sin pliegues ni espacios)? Aunque la afirmación de Hay es verdadera y la resistencia de rozamiento es despreciable, se considera que gracias a la reducción de la resistencia, un nadador puede llegar a ganar una centésima de segundo, que desde el punto de vista de un nadador puede suponer la victoria.

---

<sup>2</sup> Hay. Resistencia por fricción; Disponible en <<http://books.google.es/>>

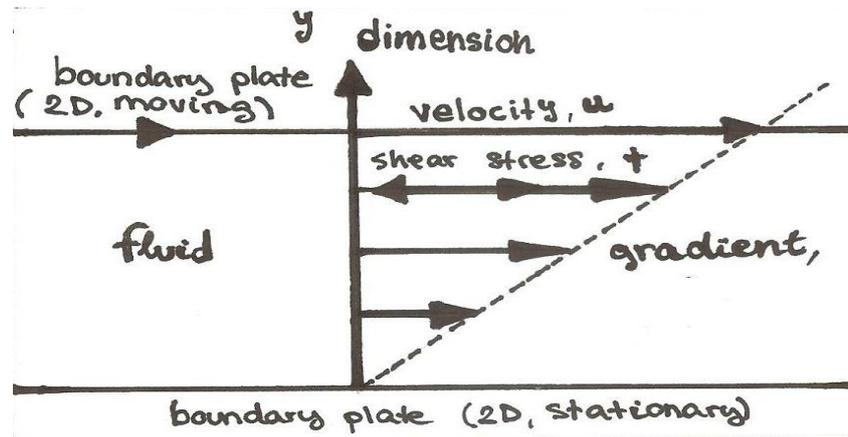


Figura 1: la resistencia al avance de una placa horizontal sobre la superficie de un fluido.

### 3.1.2 La resistencia de presión o de forma

Se refiere a las distintas resistencias que aparecen cuando un cuerpo se mueve. Aparece asociado a grandes movimientos verticales o laterales que aumentan la superficie anterior del cuerpo (Donde hay mayor presión). Del mismo modo aumentan las resistencias frontales, así como las superficies posteriores del cuerpo (Donde hay menor presión). Todo esto afecta a la resistencia de succión posterior.

Maglischo en 1987<sup>3</sup> dictó que “Esta resistencia se denomina resistencia de forma porque depende de la forma del cuerpo del nadador en el curso de su desplazamiento en el agua”

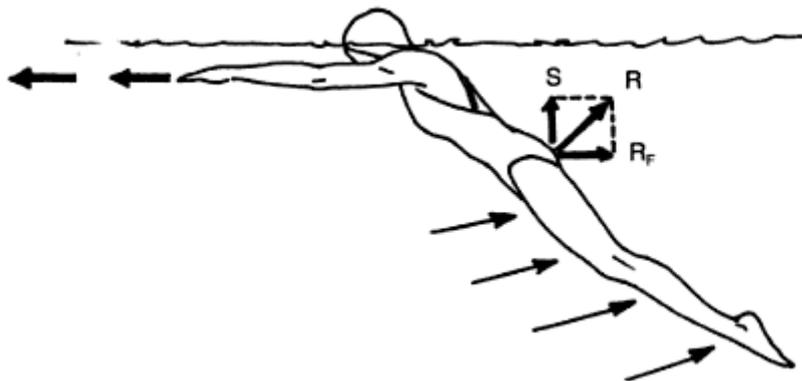


Figura 2: Nos indica la resistencia con que se encuentra un cuerpo propulsado horizontalmente hacia delante. Esta resistencia (R) se ejerce perpendicularmente a la superficie del cuerpo. Es la resultante de dos fuerzas, la de la sustentación (S) y la de la resistencia frontal ( $R_f$ ). Disponible en <http://books.google.es/>.

<sup>3</sup> Maglischo, 1987. Resistencia de presión o de forma; Disponible en <<http://books.google.es/>>

### 3.1.3 La resistencia por olas:

Cuando un cuerpo se desplaza en la superficie de un fluido, se crea una zona de turbulencia que provoca olas entre las que destacan, por ser las más importantes, la ola frontal, por delante del cuerpo, y la ola de cola, por detrás.

La resistencia depende de la velocidad del nadador y de la forma de su cuerpo, sin embargo, en este caso estará relacionada con los movimientos realizados junto a la superficie del agua.

Las olas y las turbulencias del agua crean una zona de alta presión que tiene un efecto de freno en la progresión del nadador. El aumento de la resistencia es proporcional al cubo de la velocidad del nadador.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g+L}} \quad [1]$$

Las olas y turbulencias pueden ser reducidas gracias a la ayuda de corcheras, pero la eficacia propulsiva está limitada por olas debidas a una mala posición o a una mala salida.

Los movimientos de abajo a arriba y de arriba a abajo son los que más llevan a generar olas, en especial cuando son realizados cerca de la superficie del agua. Mayormente cuando se hace una entrada o salida del agua.



Figura 3: Representa la distancia que existe entre el punto final e inicial del sistema de olas, a una velocidad media de nado. Disponible en <http://www.rendimientodeportivo.com/web/N002/Artic010.htm>

### 3.2 LEYES DE NEWTON APLICADAS A LA NATACIÓN

Las tres leyes de Newton son fundamentales para poder explicar el movimiento de un nadador.

#### La primera ley de Newton o ley de inercia, explica que:

Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o la resultante de las que actúan es igual a 0, el cuerpo mantiene el estado de reposo o el estado de movimiento rectilíneo uniforme.

La **inercia** nos indica que un cuerpo no puede modificar su estado de reposo o de movimiento por sí mismo.

#### La segunda ley de Newton o principio fundamental:

Si sobre un cuerpo actúan fuerzas y la resultante es distinta de 0. El cuerpo modifica su estado de reposo o de movimiento



Figura 4: Se aplica la segunda ley de Newton a dos cuerpos de distintas masas.

$$\overline{\Sigma F} = m \times \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$$

Ecuaciones vectoriales:  $\Sigma F_x = m \times a_x$

$$\Sigma F_y = m \times a_y$$

$$\Sigma F_z = m \times a_z$$

**La tercera ley de Newton o principio de acción y reacción:**

Si dos cuerpos interactúan, uno de ellos ejerce una fuerza sobre el otro llamada acción, este segundo ejerce sobre el primero una fuerza de reacción

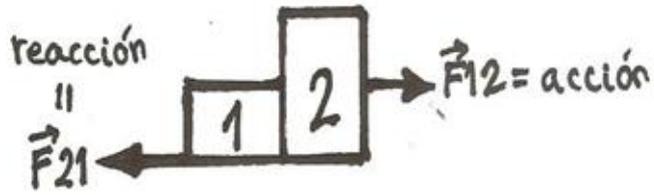


Figura.6: El cuerpo 1 y 2 están interactuando. El cuerpo 1 ejerce una fuerza llamada acción sobre el cuerpo 2, y el cuerpo 2 ejerce una fuerza sobre 1 llamada reacción.

### 3.3 EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

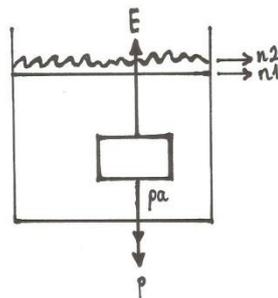


Figura 7: Un cuerpo introducido en un fluido sufre una fuerza llamada empuje en el sentido opuesto al peso.

#### Propiedades:

1. El volumen del fluido desalojado (diferencia entre  $n1$  y  $n2$  de agua) es igual al volumen del cuerpo sumergido.

$$V_{FDES} = V_{CSUM}$$

#### 2. Concepto de fluido

Un fluido adopta la forma del recipiente que lo contiene, esto es debido a que las moléculas de los fluidos no están resistentemente unidas, como ocurre con los sólidos. Por lo tanto los fluidos son tanto gases como líquidos.

- Al introducir el cuerpo se produce una fuerza: **Empuje** (fuerza vertical y hacia arriba)

→ El valor del empuje ( $E$ ) es igual al peso del fluido desalojado ( $P_f$ )

$$E = pf \text{ desalojado}$$

- El cuerpo también es afectado por otra fuerza: El peso ( $P$ ), debido a la fuerza de la gravedad.

3. Entonces tenemos dos fuerzas en la misma dirección pero en distinto sentido.

- Hay tres posibilidades:

a. **Si se hunde:** la fuerza del peso es mayor a la del empuje, si las restamos obtenemos una fuerza resultante: **Peso aparente**

$$PA = P - E$$

b. **Si flota:** la fuerza del empuje es mayor que la del peso.

c. **Ni se hunde, ni flota:** el peso es igual al empuje.

### 3.4 ECUACIÓN DE BERNOULLI

La **ecuación de Bernoulli** relaciona la **presión, elevación (altura) y velocidad** de un fluido incompresible en flujo estacionario. Resulta de las leyes de Newton y se deduce fácilmente aplicando el teorema trabajo-energía a una porción de fluido.

La **ecuación Bernoulli** tiene la siguiente forma:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

- **P**: Es la presión estática a la que está sometido el fluido, debido a las moléculas que lo rodean
- **$\rho$** : Densidad del fluido
- **v**: velocidad de flujo del fluido
- **g**: valor de la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$  en la superficie de la Tierra)
- **h**: Altura sobre un nivel de referencia.

La **ecuación de Bernoulli** se aplica en la dinámica de fluidos.

Para llegar a esta ecuación es necesario hacer ciertas suposiciones que nos limitan el nivel de aplicabilidad:

- El fluido se mueve en un régimen estacionario, es decir, la velocidad del flujo no varía con el tiempo.
- Se desprecia la viscosidad del fluido
- Se considera que el líquido está bajo la acción del campo gravitatorio únicamente.

**Consecuencias:**

- **Efecto Bernoulli:** en el caso de que el fluido fluya en horizontal un aumento de la velocidad del flujo implica que la presión estática decrecerá.

Consideramos que un cuerpo se mantiene en reposo en la superficie del agua. Sabemos que el centro de gravedad de un cuerpo se encuentra a una distancia cercana al ombligo y el centro de flotabilidad se haya a una distancia cercana al esternón, por lo que la zona superior del cuerpo, al tener mayor flotabilidad, se haya más cerca de la superficie que la zona inferior (el cuerpo asemeja el ala de un avión). Cuando este cuerpo en reposo comienza a avanzar, aumentado así su velocidad, se ejerce una presión estática mayor en la parte inferior y hace que el cuerpo se eleve, manteniéndolo en una posición casi horizontal próxima a la superficie.

- **Tubo de Venturi:** El caudal se define como el producto de la sección por la que fluye el fluido y la velocidad a la que fluye.

Un tubo de Venturi es una cavidad de sección  $S_1$  por la que fluye un fluido y que en una parte se estrecha, teniendo ahora una sección  $S_2 > S_1$ . Como el caudal se conserva entonces tenemos que  $v_2 > v_1$ . Por tanto:

$$P_1 + pgh_1 + \frac{1}{2}pv_1^2 = P_2 + pgh_2 + \frac{1}{2}pv_2^2$$

Si el tubo es horizontal entonces,  $h_1 = h_2$  y con la condición anterior de las velocidades vemos que, necesariamente,  $P_1 > P_2$ . Es decir, un estrechamiento en un tubo horizontal implica que la presión estática del líquido disminuye en el estrechamiento.

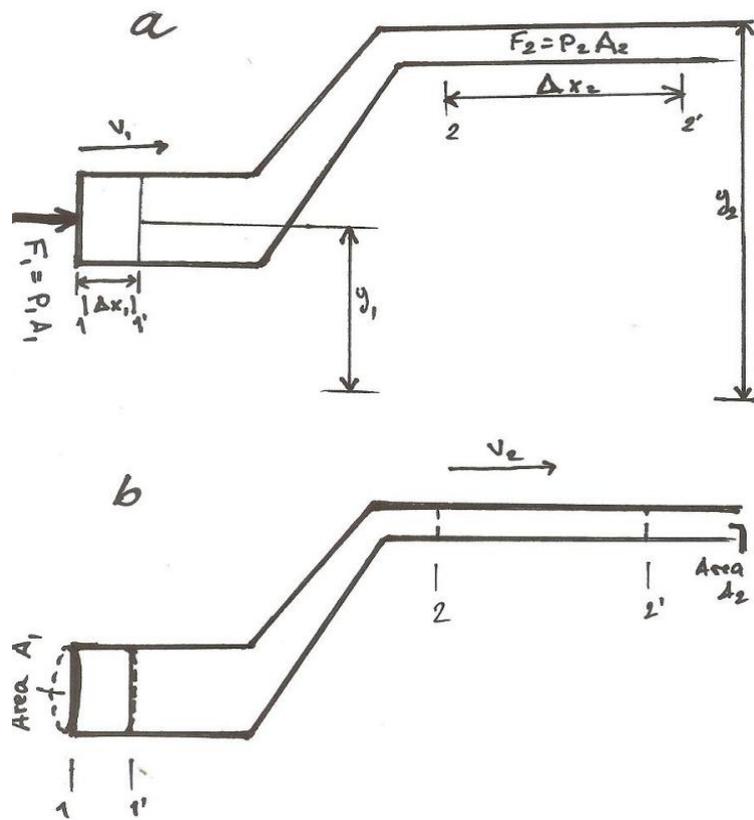


Figura 8: Fluido que circula por una tubería que varía tanto de altura como de sección recta. El trabajo total realizado por las fuerzas  $F_1 = P_1A_1$  y  $F_2 = P_2A_2$  tienen como efecto la elevación de la parte de fluido sombreada en verde oscuro desde la altura  $y_1$  a la  $y_2$  y la variación de su velocidad de  $v_1$  a  $v_2$ .



#### 4 OBJETIVO

En este trabajo se estudia la biomecánica asociada a la natación mediante el estudio de vídeos e imágenes de diferentes nadadores. Se han utilizado los resultados para la mejora del estilo de estos deportistas.





## **5 METODOLOGÍA**

- 5.1 A partir de imágenes de diferentes nadadores se aplican las leyes físicas expuestas previamente y se comprobará la veracidad de la tabla de criterios y errores [1].
- 5.2 En base a los resultados del punto anterior se definirá la técnica más eficaz para el nadador.
- 5.3 Análisis del nadador de estudio y detección de posibles errores de estilo.
- 5.4 Propuestas de mejora.



## 6. BIOMECÁNICA APLICADA A LA NATACIÓN

Nadar parece algo natural para la mayoría de las personas, pero lo cierto es que implica diferentes acciones que la Física estudia, y a esto se le denomina la biomecánica de la natación.

¿Y qué es la **biomecánica deportiva**? Es la ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen.

Para los entrenadores es de vital importancia conocer la biomecánica del deporte que enseñe, pues, trabajan en el máximo rendimiento y éste depende de la precisión en los detalles. Pero en este caso para el atleta también es útil, pues, cuando posee un conocimiento claro de los detalles y las causas que pueden mejorar o empeorar su movimiento, puede mejorar su técnica. El aprendizaje de la técnica será más rápido si el atleta establece una relación entre la causa y el efecto de un movimiento. Por esto mismo la biomecánica es un instrumento que un atleta puede usar para su propio beneficio, puesto que su conocimiento puede ayudar a mejorar su técnica.

Klaus Reischle hace un estudio muy completo de la biomecánica de la natación<sup>4</sup>. En este libro, de amplia difusión entre los entrenadores de natación se pueden encontrar algunos de los principios que utilizaremos en este trabajo

**La biomecánica aplicada a la natación estudia la física de los movimientos que hace el nadador en el agua.**

---

<sup>4</sup> Reischle K. *Biomecánica de la natación*: Año de publicación 1993, ed. Gymnos e ISBN 84-8013-002-4

Reischle cita a Erich von Holst para definir la biomecánica como *“el movimiento realizado con una mecánica completamente adaptada al medio o moverse con la mejor economía con el mejor grado de influencia, es al mismo tiempo un movimiento que satisface sobre todo al sentido estético; esto es una regla genérica que es válida tanto para el aparato motor vivo, como desde el punto de vista técnico”*.

El concepto técnico de la natación es el resultado de las observaciones, discusiones, investigaciones biomecánicas y de interpretaciones de la teoría. Se pueden elaborar, a partir de las variaciones técnicas observadas en nadadores de élite y los valores de medida obtenidos con métodos biomecánicos, por ejemplo: recorridos acuáticos, análisis de la trayectoria de agarre, etc. Con todo esto se pueden determinar las características técnicas para conseguir un nado más eficaz y rápido.

En las siguientes páginas se expondrán algunos de los principios aplicados de la biomecánica de la natación enfocados a la corrección de los errores y la ejecución correcta de las diversas técnicas que configuran el estilo correcto de natación:

- Criterios globales de ejecución y errores frecuentes.
- Criterios para la enseñanza y el aprendizaje
- Tabla de criterios y errores: crol
- Gráfica de las fases del movimiento: crol
- Viraje: crol
- Fuerzas que actúan en un nadador en función de las partes del cuerpo
- Traslación del centro de masas debido a la posición corporal
- Giro alrededor del eje trasversal

### **Criterios globales de ejecución y errores frecuentes**

- Posición Corporal: Para que la resistencia al avance sea menor, el cuerpo debe estar próximo a la superficie.
- Recorrido acuático y recobro: En la entrada al agua y en la salida, se realizará un movimiento circular paralelo a la pared lateral de la piscina (recobro). En el crol el brazo derecho e izquierdo, ejecutan este movimiento alternativamente.
- Batida: Las piernas baten más o menos extendidas hacia abajo, arriba, abajo... (crol: alternativamente).
- Respiración: En crol la cara se mantienen en el agua (al principio solamente cada tres o cinco brazadas).
- Flexión activa: La rodilla se flexiona para reducir el esfuerzo a realizar. se pueden alcanzar  $120^\circ$ , se pueden superar en un movimiento balístico (talón al glúteo) con la cadera en extensión. Con la cadera en flexión, la flexión activa alcanza  $140^\circ$ .
- Flexión pasiva: se alcanzan los  $160^\circ$ .

Errores en la ejecución que deben ser corregidos:

Crol:

- La cara no se mantiene en el agua: cuando la cabeza entra y sale del agua crea una serie de turbulencias que hacen que la resistencia sea mayor.
- El recobro de los brazos se realiza en el agua.
- Flexión activa en la articulación de las rodillas.

### **Criterios para la enseñanza y el aprendizaje**

El objetivo es conseguir el dominio de:

- La dirección deseada y de las variaciones de dirección con la brazada y la batida
- Las variaciones de velocidad deseadas con la brazada y la batida, que hagan posible una propulsión eficaz mediante movimientos parciales (brazada y batida)
- El acoplamiento temporal deseado: brazos/piernas; brazo izquierdo/brazo derecho; brazada/inspiración y espiración; brazada/giro alrededor del eje longitudinal del cuerpo.

El acoplamiento temporal es efectivo cuando se cumplen las siguientes reglas, aunque siempre depende del estilo correspondiente a cada nadador:

- Las acciones propulsoras no pueden ser contrarrestadas por las acciones de frenado de otras partes del cuerpo (por ejemplo: el recobro de las piernas en braza no puede darse hasta que no haya finalizado la fase de tirón).
- Se deben compensar aquellas acciones que modifiquen la posición poco resistente al avance del cuerpo (por ejemplo: acoplar el empuje de las manos en mariposa con la segunda batida).
- Tiene que darse el acoplamiento de movimientos segmentarios que aumentan la propulsión (por ejemplo: la entrada de los brazos en el agua en mariposa se acopla con la primera batida propulsora).
- La propulsión tiene que ser continua (por ejemplo: acoplamiento temporal del brazo izquierdo con el brazo derecho y acoplamiento temporal de las brazadas con las batidas).
- Los “movimientos auxiliares” (giro alrededor del eje longitudinal del cuerpo, movimientos de la cabeza, movimientos del tronco) tienen que apoyar los movimientos parciales que impulsan al cuerpo.

El estudio se centrará especialmente, en uno de los cuatro estilos (mariposa, espalda, braza y crol) existentes en el ámbito de la natación: El estilo de nado libre o también denominado “crol”, es el estilo más frecuente de los cuatros.

**Tabla de Criterios y errores: crol**

<b>Movimientos parciales/fases/componentes técnicos /acoplamiento del movimiento.</b>	<b>Características técnicas o criterios de observación</b>	<b>Errores técnicos</b>
Movimiento de la cabeza/posición de la cabeza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giro de la cabeza alrededor del eje longitudinal</li> <li>- El ángulo de incidencia del cuerpo óptimamente pequeño</li> <li>- El ángulo exterior con respecto al eje longitudinal oscila entre 240-255, al estar la cabeza cerca de la superficie la fuerza de resistencia es menor</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cabeza excesivamente baja</li> <li>2. Cabeza excesivamente alta</li> <li>3. Elevación de la cabeza al inspirar</li> </ol>
Posición corporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giro alrededor del eje longitudinal</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Movimiento pendular de las piernas en el plano frontal</li> <li>2. Sin giro alrededor del eje longitudinal</li> </ol>
Batida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fase ascendente empieza extendido</li> <li>- Flexión pasiva en la articulación de la rodilla (el muslo dirige el movimiento: muslo abajo, tobillo aún arriba) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batida activa</li> <li>- Tobillo suelto</li> </ul> </li> <li>- Pies girados hacia dentro (supinación, adecuación y flexión plantar)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flexión activa de la rodilla</li> <li>2. Tobillo tenso</li> <li>3. Rodillas rígidas</li> <li>4. Amplitud de batida excesiva (&gt; 40)</li> <li>5. Amplitud de batida pequeña (&lt;40)</li> <li>6. Pies no girados adentro</li> <li>7. Dorsiflexión (en el latigazo)</li> </ol>
Recobro/ entrada en el agua /inicio del recobro	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Codo elevado (cerca del cuerpo y suelto)</li> <li>- Entrada con la amplitud de los hombros (dedo pulgar es el primero en entrar)</li> <li>- La mano entra antes que el codo <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sale primero el dedo meñique del agua</li> </ul> </li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No suelto</li> <li>2. Las manos más altas que los codos</li> <li>3. Recobro excesivamente amplio (no cerca del cuerpo)</li> <li>4. Entrada estrecha</li> <li>5. Entrada muy amplia</li> <li>6. La mano no entra en el agua antes que el codo</li> </ol>

<b>Movimientos parciales/fases/componentes técnicos /acoplamiento del movimiento.</b>	<b>Características técnicas o criterios de observación</b>	<b>Errores técnicos</b>
Fase de tirón- empuje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inicio extendido (movimiento hacia abajo acentuado): flexión –apoyo (articulación del codo 90 grados aproximadamente).</li> <li>- Rotación interna del brazo (“mantener los codos adelante”)</li> <li>- Movimiento atrás-adentro y movimiento atrás afuera acentuado.</li> <li>- Movimiento atrás u adentro hasta la mitad del cuerpo</li> <li>- Sin retención en el inicio del tirón y al sacar la mano del agua</li> <li>- Ángulo de incidencia de la mano adaptado a la dirección del movimiento               <ul style="list-style-type: none"> <li>- El ángulo óptimo es 45 grados</li> </ul> </li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar la fase de tirón-empuje con el brazo extendido o caso extendido</li> <li>2. Movimiento hacia fuera al inicio del tirón excesivamente acentuado</li> <li>3. Excesiva flexión en el codo</li> <li>4. Retención en el inicio del tirón</li> <li>5. “Codo atrás”</li> <li>6. Retención al sacar la mano del agua</li> <li>7. El movimiento atrás-adentro no se acentúa</li> <li>8. El movimiento atrás-afuera no se acentúa</li> <li>9. Incompleta la fase de tirón empuje</li> <li>10. Fase de tirón-empuje lateral</li> <li>11. El ángulo de incidencia de la mano no se adapta a la dirección del movimiento.</li> </ol>
Acoplamiento temporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El brazo izquierdo entra en el agua, el brazo derecho pasa de la fase T al E</li> <li>- Inspiración al final de la fase T-E</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Brazo derecho sobrepasa al brazo izquierdo cerca de la cadera o delante de la cabeza</li> <li>2. Inspiración temprana</li> </ol>

Tabla 1: Criterios de ejecución y errores

**Gráfica de las fases del movimiento: crol**

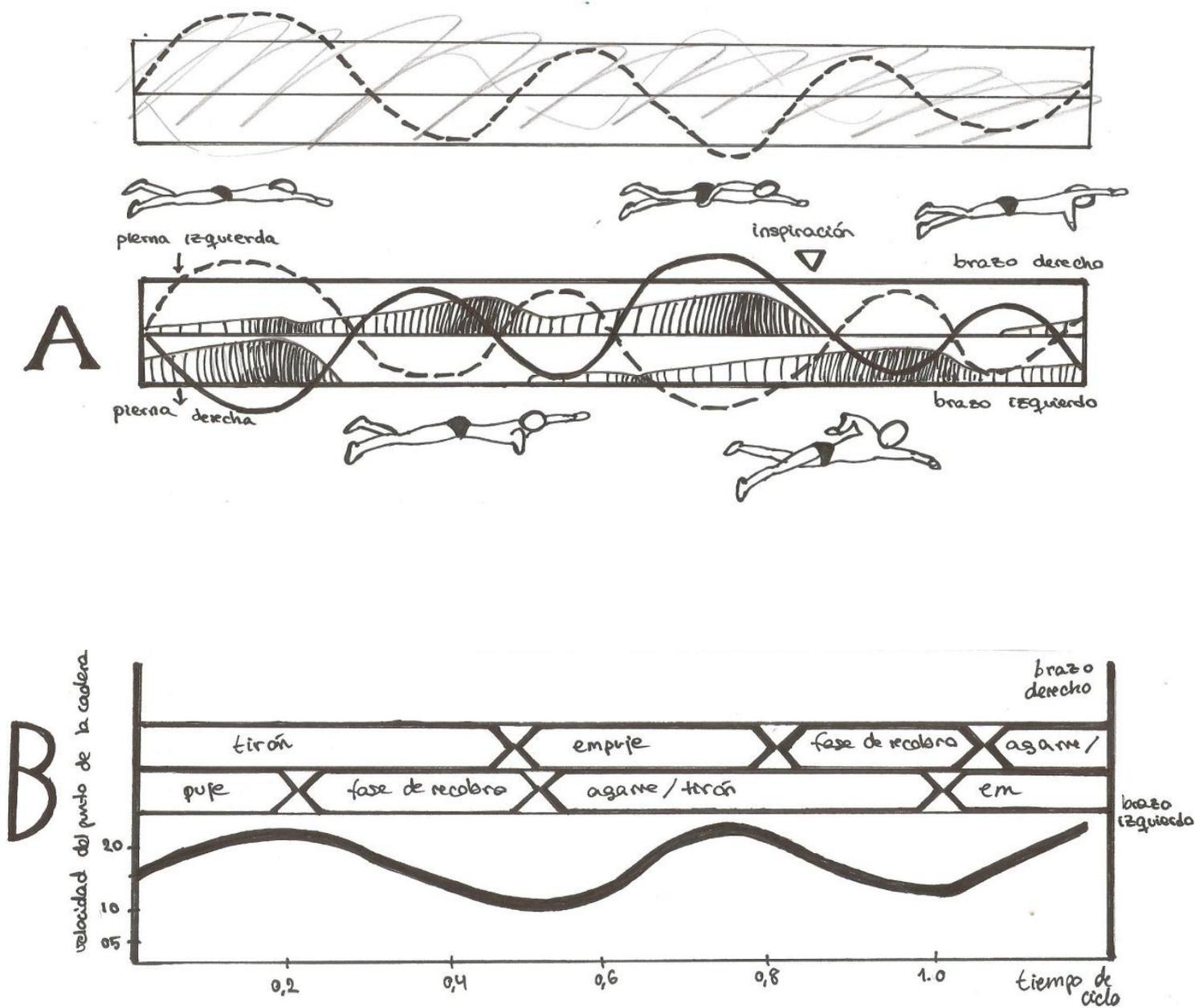


Figura 9: Las fases del movimiento, la “ordenación” espacio-temporal y dinámico-temporal en crol (coordinación de seis batidas)

A continuación se expondrán las etapas del movimiento de crol, en función del tiempo. (Figura 9).

**A.** Acoplamiento temporal de los movimientos parciales, la estructura espacio-temporal y dinámico-temporal de las fases de tirón-empuje, recobro y batida:

 : Estructura espacio-temporal de la fase de batida  
 ————— Pierna derecha: - - - - - Pierna izquierda

 : Estructura dinámico temporal de las fases de tirón-empuje y batida (cuanta más línea mayor es la fuerza realizada).

<b>Componentes de las fases de tirón-empuje. Derecha o izquierda</b>	<b>Fase de batida (hacia abajo):</b>
Inicio del tirón con el brazo extendido (componente adelante-abajo= “entrada en el agua/agarre”	Batida derecha I (Izquierda I)
Extensión en el codo (componente atrás-afuera-arriba = “empuje”	Batida derecha II (Izquierda II)
Fase de recobro	Batida derecha III (Izquierda III)

**B.** Variaciones de la velocidad intracíclica horizontal de un punto superficial en la cadera y su correspondencia con los componentes técnicos.

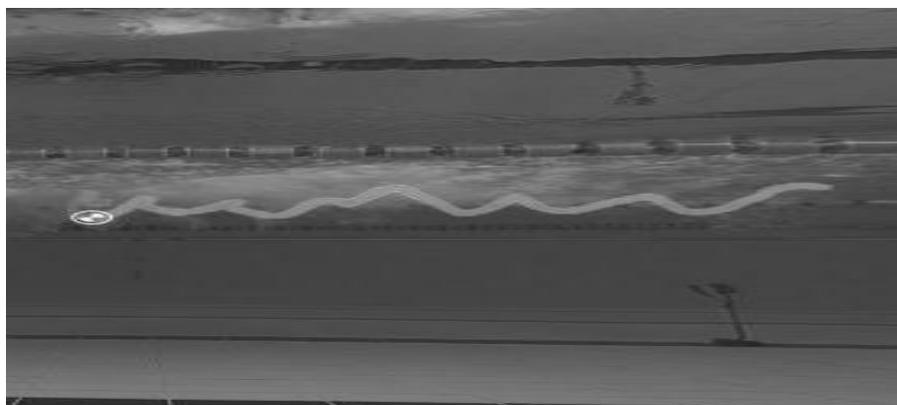


Figura 10: Las curvas del tobillo en crol solo están dirigidas en un corto tramo en contra de la dirección de la corriente.

### **Viraje: crol**

Es importante mencionar el viraje puesto que muchos de los nadadores de élite pierden velocidad durante el recorrido, por consiguiente, es necesario aprender las normas básicas de un viraje y realizar un movimiento efectivo.

- Al acercarse a la pared no disminuir la velocidad del nado.
- Antes del inicio del giro alrededor del eje transversal, tirón de uno o los dos brazos; inicio del giro mediante flexión de la cabeza y batida de mariposa, aumentar la velocidad de giro mediante la flexión de las piernas y el movimiento contrario de los brazos (el canto de los dedos pequeños pasa cerca de las orejas).
- Pies en ángulo de 90 grados a la pared (las puntas de los dedos de los pies miran a los lados); iniciar la extensión del cuerpo después del contacto con la pared; inmediatamente después del contacto con la pared empuje y extensión de brazos.
- Después de la pared en posición lateral (como en el volteo con toque en la pared)

### **Algunas características físicas del agua**

Durante la estancia en el agua (las velocidades de natación, de ascensión o de inmersión son nulas) existen las siguientes fuerzas: **fuerza de gravedad** y **empuje estático**. En el caso de realizar movimientos en el agua se añade la resistencia de la corriente, el empuje hidrodinámico y la fuerza de inercia. Como consecuencia todas estas fuerzas son percibidas por el nadador, es decir, la presión hidrostática, debido a que la densidad del agua es aproximadamente 800 veces más grande que la del aire. Los siguientes ejemplos verifican lo anteriormente expuesto:

- La posición del nadador en el agua se determina por la posición de los puntos de ataque sobre los que actúa el empuje estático y la fuerza gravitatoria.
- Durante la estancia en el agua disminuye el peso aparente del cuerpo por ya que se libera la columna vertebral, articulaciones y ligamentos.
- Durante la inspiración y expiración hay que vencer la presión hidrostática.
- Es necesario tener en cuenta la dirección y el valor de la resistencia de la corriente y del empuje dinámico.

**Fuerzas que actúan en un nadador en función de la parte del cuerpo**

PARTE DEL CUERPO	PORCENTAJE DEL PESO TOTAL DEL CUERPO	POR EJEMPLO CON UN PESO CORPORAL= 600 N
Cabeza	7%	42N
Tronco	43%	258N
2xbrazo	6%	36N
2x antebrazo	4%	24N
2xmano	2%	12N
2xmuslo	24%	144N
2xpierna	10%	60N
2xpie	4%	24N

**Traslación del centro de masas debido a cambios en la posición corporal**

Las posiciones del centro de gravedad del cuerpo y del punto del centro volumétrico pueden cambiar debido a las variaciones de la posición del cuerpo o a la inspiración o expiración. La traslación de ambos puntos de ataque influye sobre el estado de equilibrio; esto significa que se pueden evitar o provocar giros alrededor del eje longitudinal del cuerpo.

**Giro alrededor del eje trasversal**

El centro de gravedad del cuerpo normalmente está situado distalmente en relación al punto del eje volumétrico. Al estar el cuerpo en posición horizontal, las piernas se hunden; esto significa que el equilibrio de un nadador “de pie” (posición vertical) es estable.

**Consecuencias para la práctica**

- A. El peso específico, (peso de un cuerpo por unidad de volumen) influye sobre la profundidad de inmersión si la posición del cuerpo es estática y si la velocidad de nado es lenta. El “peso residual” depende del peso específico del nadador y del peso de los segmentos corporales que se desplazan temporalmente fuera del agua.
- B. El valor del momento de giro en el agua se ve influido por el peso del cuerpo y por la posición del centro de gravedad del cuerpo y del punto del centro volumétrico.

## **ANÁLISIS BIOMECÁNICO**

En este apartado se hablará de las fuerzas que actúan sobre el nadador. Se explicaran además las condiciones anatómico-funcionales y neuromusculares, cuyo conocimiento es imprescindible para comprender los desarrollos de los movimientos específicos de la natación.

### **ANÁLISIS DEL NADADOR DE ESTUDIO Y DETECCIÓN DE LOS POSIBLES ERRORES DE ESTILO**

Se dividirá el cuerpo en distintas partes, con el fin de hacer un estudio más exhaustivo sobre la mejor técnica para cada una de ellas:

- Movimiento de la cabeza/posición de la cabeza
- Posición del cuerpo
- Movimiento de las piernas/posición de las piernas
- Movimiento y posición de los brazos
- Fase de viraje

Durante la estancia del cuerpo en el agua, se cumple el principio de Arquímedes. Este está presente en todos los nadadores, sin importar su técnica, tan solo con estar dentro de un fluido.

Este principio explica la flotabilidad de los nadadores, ya que para que un cuerpo flote la densidad del cuerpo será menor que la del agua. El cuerpo tendrá una densidad aproximada de  $950 \text{ kg/m}^3$  mientras que la densidad del agua es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Entonces como la densidad relativa del cuerpo humano es menor que 1, flotará, ya que el peso del objeto es menor que el agua desplazada, por tanto, el empuje es mayor que el peso del nadador.



## MOVIMIENTO DE LA CABEZA/POSICIÓN DE LA CABEZA

### Fuerzas que actúan sobre la cabeza del nadador

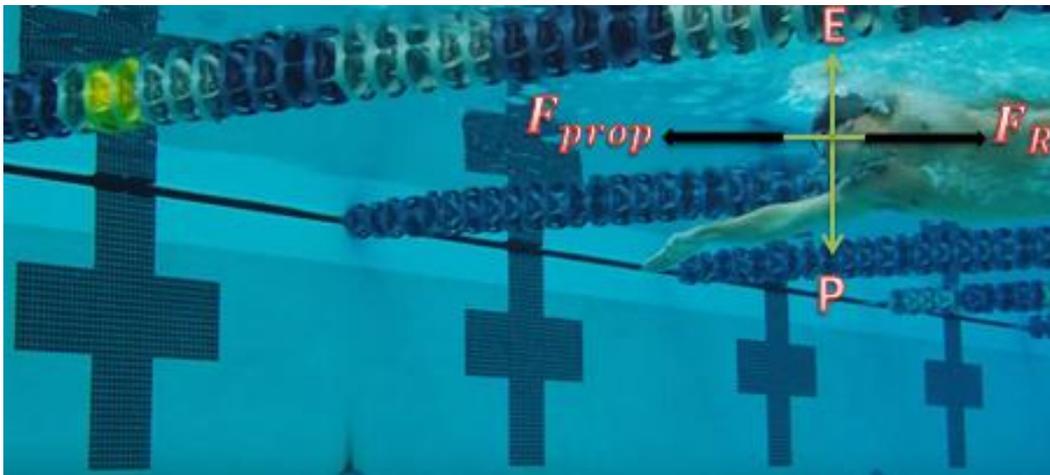


Figura 11: Fuerzas que actúan sobre la posición de la cabeza

Siendo:

$E = V \cdot d \cdot g$ , que actúa sobre el centro de equilibrio.

$P = \text{fuerza de peso} = m \cdot g$ , que actúa sobre el centro de masas.

$F_{prop} = F_{propulsión}$

$F_R = \text{Resistencia al avance}$

En base a la tabla de criterios y errores, se analiza a los siguientes nadadores:

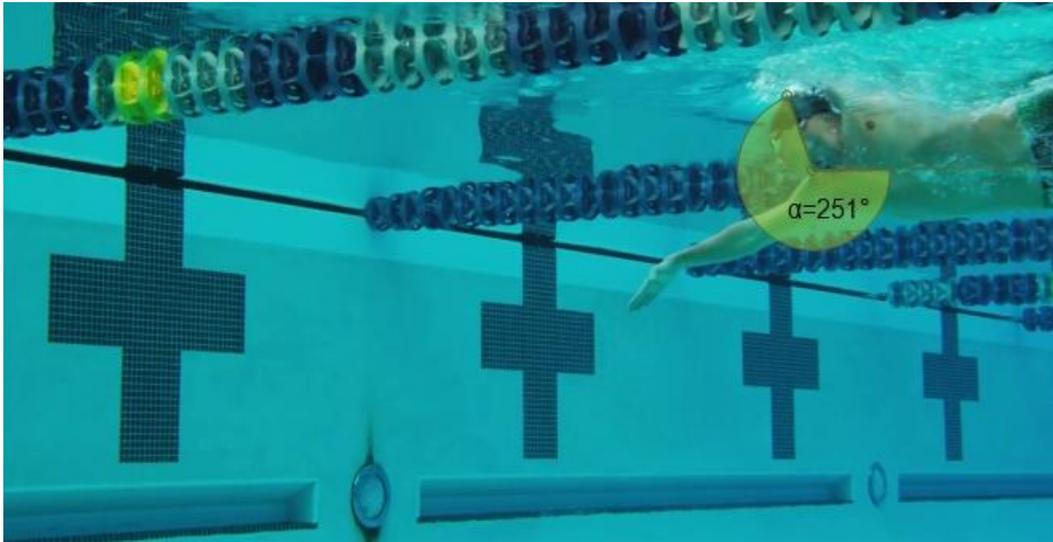


Figura 12: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al eje longitudinal. Nadador 1.

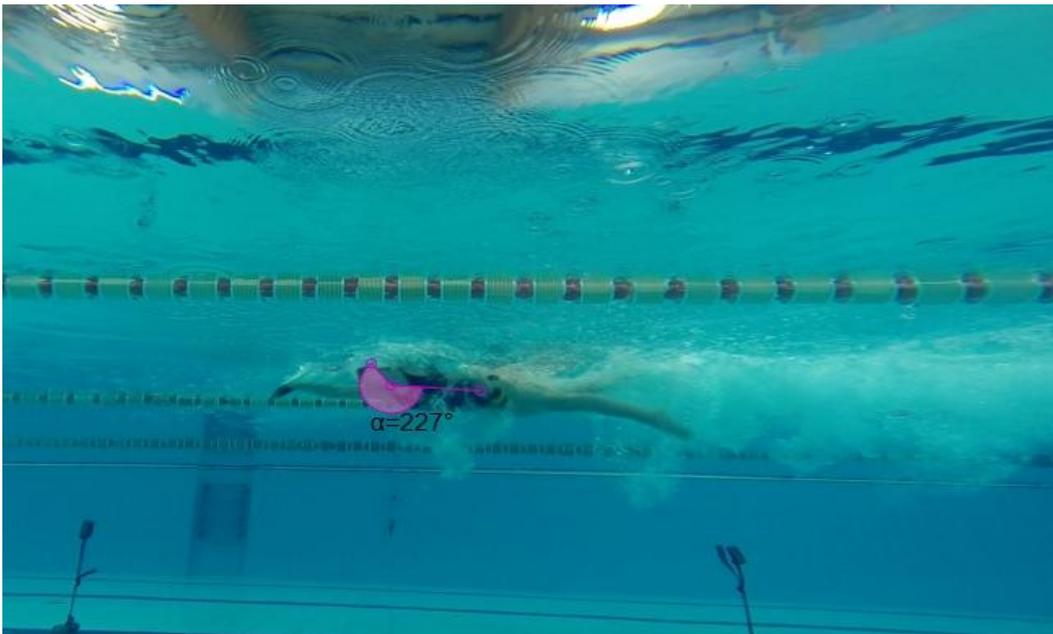


Figura 13: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al eje longitudinal del cuerpo .Nadador 2

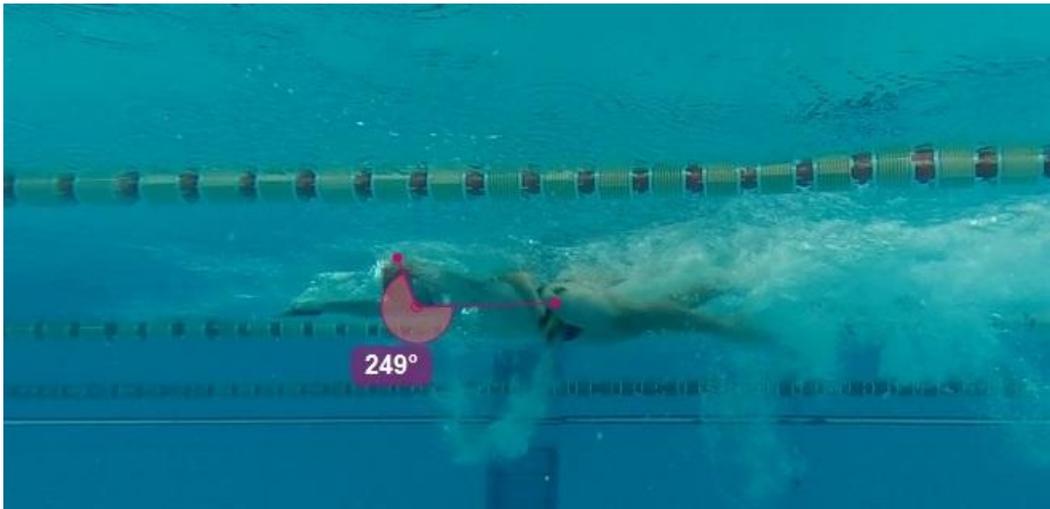


Figura 14: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al cuerpo. Nadador 3.

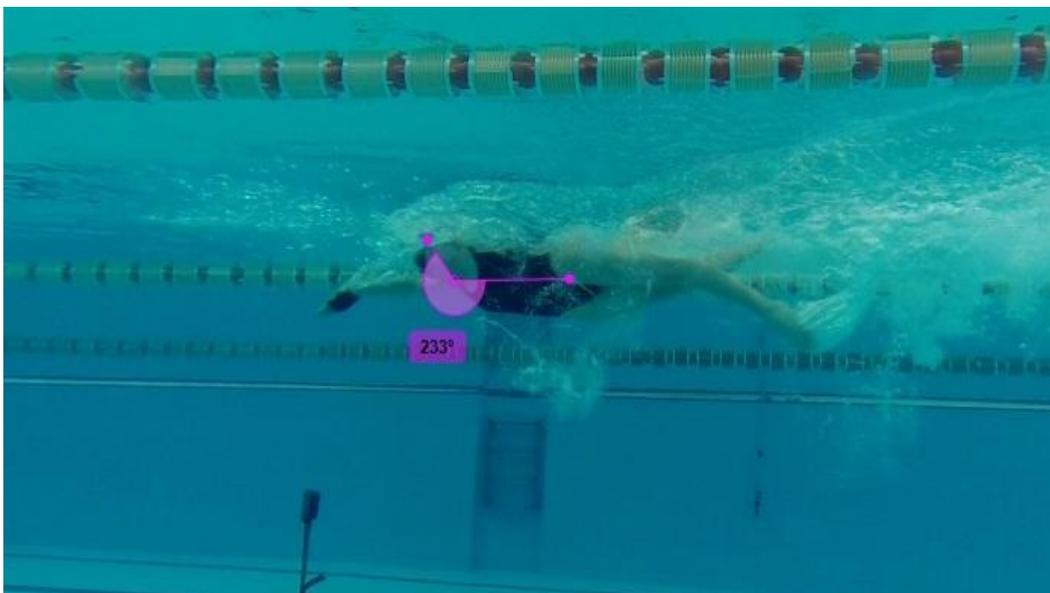


Figura 15: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al cuerpo. Nadador 4

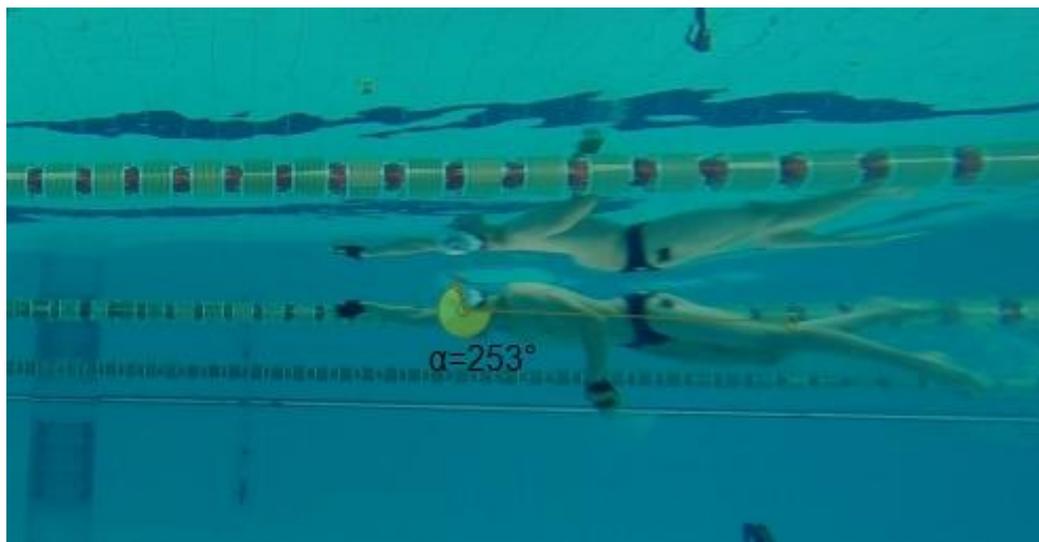


Figura 16: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al cuerpo. Nadador 5

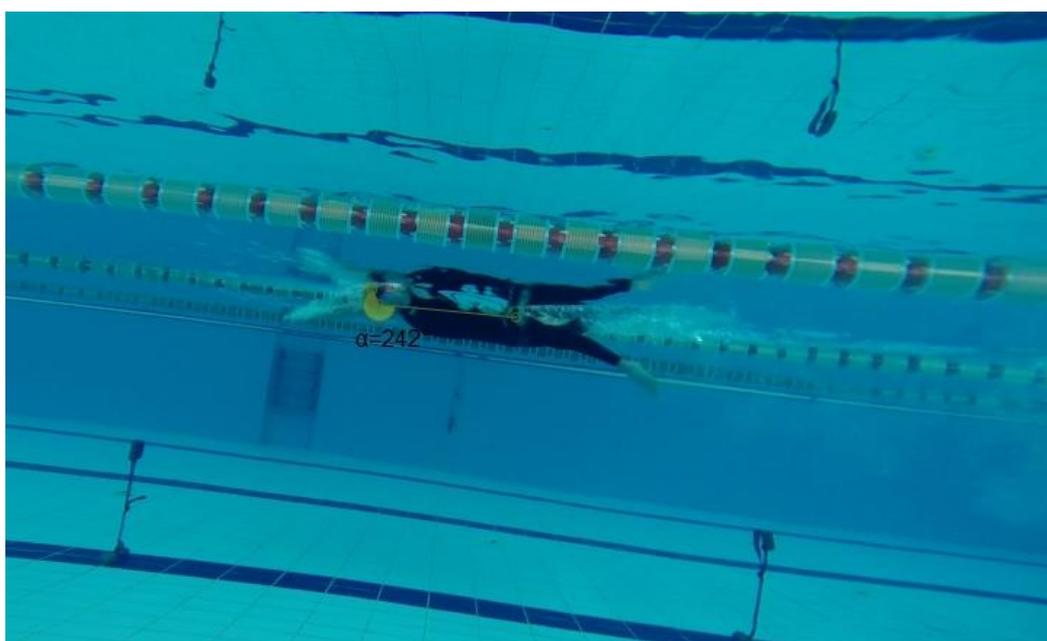


Figura 17: Ángulo exterior de la posición de la cabeza con respecto al cuerpo. Nadador 6

El nadador 1 es de un mayor nivel que los nadadores 2, 3, 4, 5 y 6. Se ha contrastado los criterios de la tabla [1] en diferentes nadadores. Se han observado los posibles errores que comenten estos 6 nadadores.

En este apartado se analiza con detenimiento la posición de la cabeza respecto al eje longitudinal del cuerpo y los movimientos de esta.

### **Nadador 1**

**Posición:** La posición de la cabeza de este nadador es de un ángulo de  $251^\circ$  con respecto al eje longitudinal del cuerpo. Además esta se encuentra sumergida en agua y con una mirada frontal ligeramente elevada. Finalmente destacar que la cabeza gira alrededor del eje longitudinal. Estas características coinciden con las citadas en las tablas

**Errores:** No se percibe ningún error ya que la postura de la cabeza es óptima.

**Propuesta de mejora:** Al no cometer ningún error de los mencionados en las tablas estas se cumple el contenido de estas, ya que, es un nadador de élite.

### **Nadador 2**

**Posición:** La posición de la cabeza de este nadador es de un ángulo de  $227$  grados con respecto al eje longitudinal del cuerpo. Además, la cabeza se encuentra sumergida en agua y con una mirada frontal ligeramente inclinada hacia abajo, lo que disminuye la resistencia al avance pero sin ser la disminución tan grande como la del primer nadador. Como consecuencia, este nadador se enfrenta a una mayor resistencia [ $F_R$ ] que hace que su fuerza de propulsión [ $F_{prop}$ ] sea menos efectiva y gran parte de ella se desperdicie en exceso de resistencia. Finalmente destacar que la cabeza hace un giro incompleto alrededor del eje longitudinal.

**Errores:** Se perciben 2 errores clave en este nadador, uno de estos es que la cabeza está excesivamente baja, y el segundo sería que al no rotar como debiera, la cabeza realiza un giro incompleto alrededor del eje longitudinal.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar su técnica en cuanto a la posición de la cabeza y el movimiento de esta con el fin de alcanzar una técnica óptima.

### **Nadador 3**

**Posición:** La posición de la cabeza de este nadador es de 249 grados con respecto al eje longitudinal del cuerpo, un ángulo óptimo para reducir al máximo la resistencia, sin embargo, el cuerpo hace un giro incompleto alrededor del mismo.

**Errores:** El único error perceptible es el incompleto giro de la cabeza alrededor del eje longitudinal del cuerpo, movimiento contrario a lo expuesto en la tabla [1], que provoca un aumento de la de fuerza de resistencia [ $F_R$ ], por lo que tendrá que hacer más esfuerzo para avanzar, es decir, tendrá que aumentar su fuerza propulsora.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar su técnica completando su cabeza el giro alrededor del eje longitudinal del cuerpo.

### **Nadador 4**

**Posición:** La posición de la cabeza de este nadador es de 233 grados con respecto al eje longitudinal del cuerpo, un ángulo incorrecto ya que es demasiado pequeño por lo que la posición de la cabeza no coincide con la de la tabla [1] de criterios. Además la cabeza hace un giro incompleto alrededor del eje longitudinal.

**Errores:** La posición de la cabeza no es la correcta por lo que la técnica no es la más eficiente ya que se requiere más esfuerzo para vencer el aumento de resistencia debido al ángulo y al movimiento de esta, que hace un giro incompleto.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar su técnica completando el giro de la cabeza alrededor del eje longitudinal del cuerpo, y elevando más la cabeza formando un ángulo de 250 grados más o menos.

### **Nadador 5**

**Posición:** La posición de la cabeza de este nadador es de 253 grados con respecto al eje longitudinal del cuerpo, un ángulo semejante al nadador 1, oscilando entre 240-255 grados como se expone en las tablas realizadas previamente. Por otra parte la cabeza gira de modo incompleto alrededor del eje longitudinal.

**Errores:** La posición de la cabeza es prácticamente óptima, apenas se requiere esfuerzo para vencer la fuerza de resistencia, ya que la posición de la cabeza es la adecuada y se encuentra cerca de la superficie. Sin embargo, no gira completamente alrededor del mencionado eje.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mantener esta posición de la cabeza y girar completamente alrededor del eje, con el fin de obtener los mejores resultados y alcanzar una mayor velocidad.

### **Nadador 6**

**Posición:** La cabeza de este nadador respecto al eje longitudinal forma un ángulo de 242 grados, un ángulo al límite de lo teóricamente correcto. Además, el nadador no gira completamente alrededor de dicho eje.

**Errores:** La posición de la cabeza oscila entre los ángulos correctos, sin embargo roza el límite, por lo que la resistencia que se opone al avance es pequeña aunque influye de forma negativa con respecto a la fuerza propulsora. Además, no lleva a cabo un giro completo.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá elevar ligeramente la cabeza y girar completamente para reducir la resistencia y obtener mejores resultados.



## POSICIÓN DEL CUERPO

### Fuerzas que actúan sobre el cuerpo

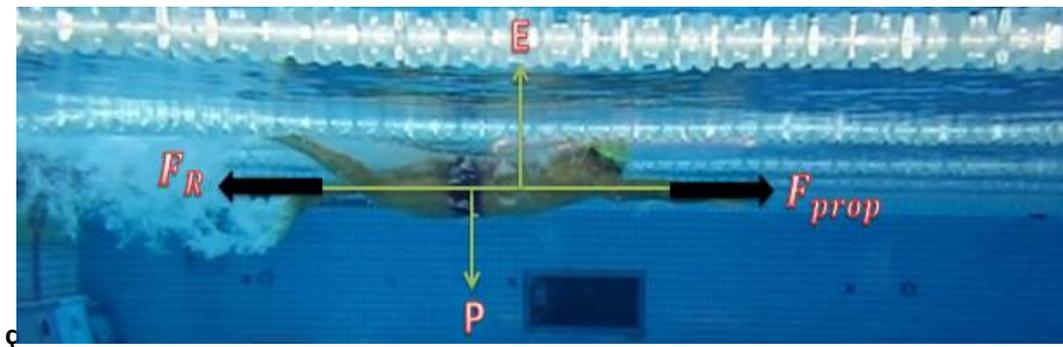


Figura 18: Fuerzas que actúan sobre la posición del cuerpo

Siendo:

$E$ = empuje

$F_{prop}$ = fuerza de propulsión (N)

$F_R$ = resistencia al avance(N)

$P$ = fuerza de peso (la resultante actúa sobre el centro de gravedad del cuerpo)

El hecho de que tenga el centro de masas separado del centro de equilibrio hace que aparezca un momento (hundimiento de la posición de las piernas), que es compensado por una fuerza que aparece en la batida y que se analiza en un punto posterior.

En base a las tablas de los criterios y errores, se analiza a los siguientes nadadores:



Figura 19: Alineación frontal. Nadador 1.

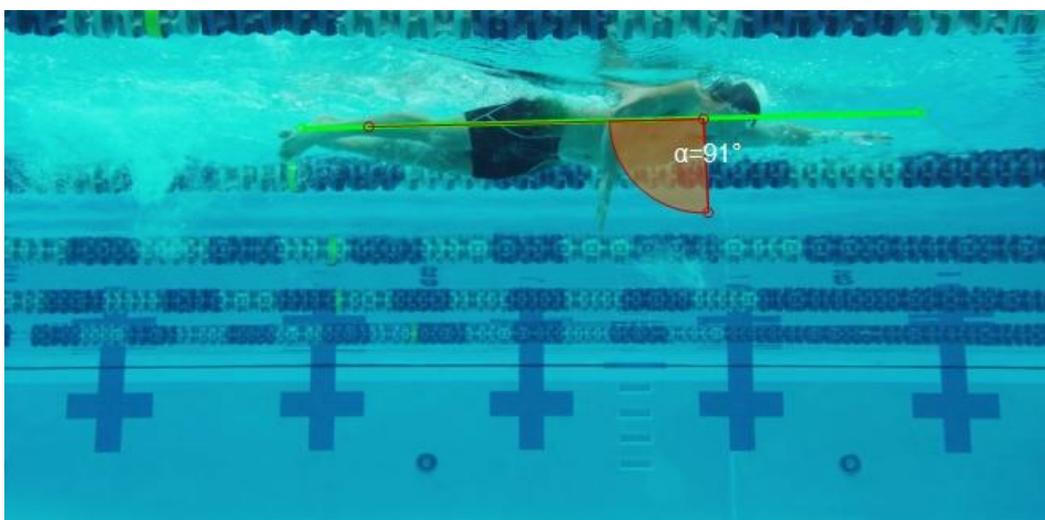


Figura 20: Alineación lateral. Nadador 1.



Figura 21: Alineación frontal. Nadador 2

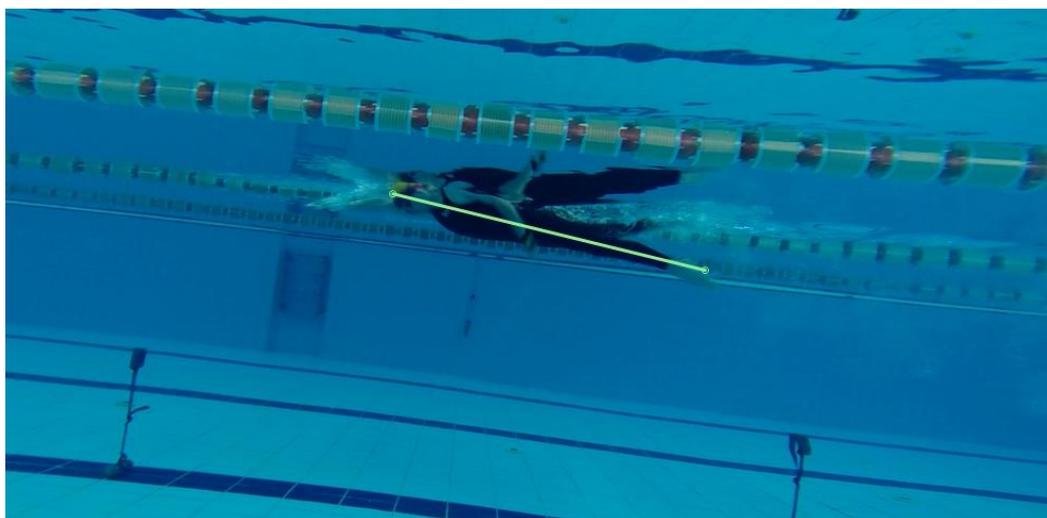


Figura 22: Alineación lateral. Nadador 2



Figura 24: Alineación frontal. Nadador 3

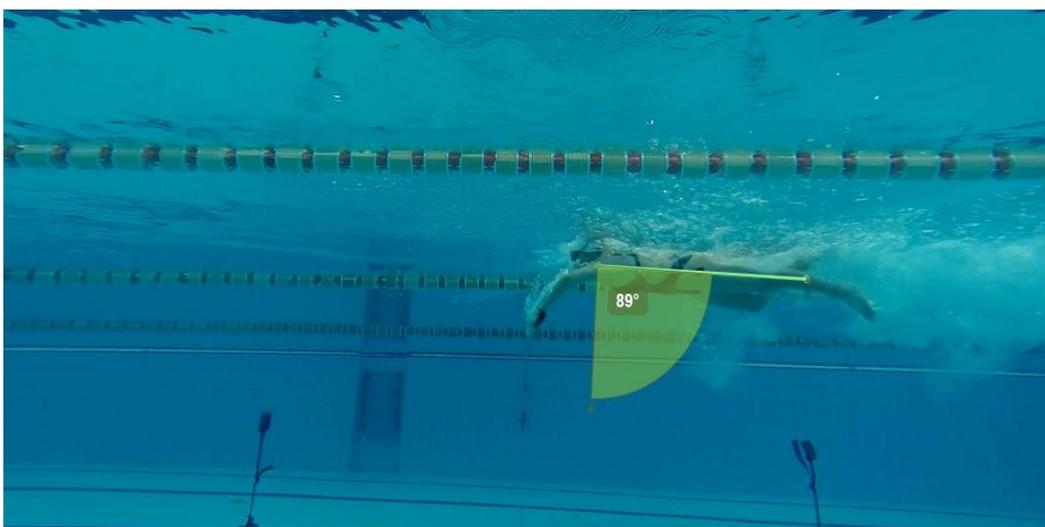


Figura 25: Alineación lateral. Nadador 3

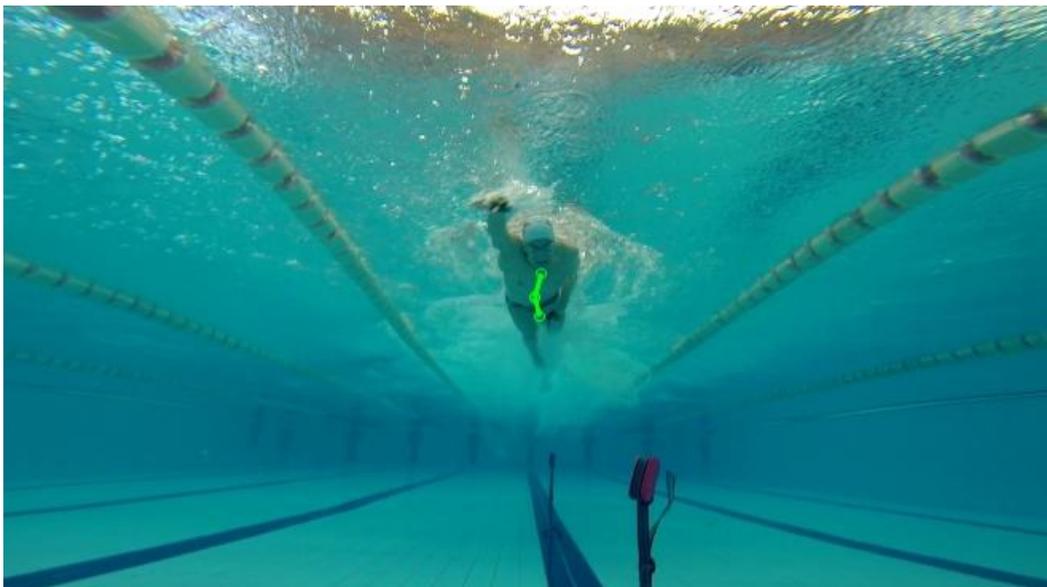


Figura 26: Alineación frontal. Nadador 4

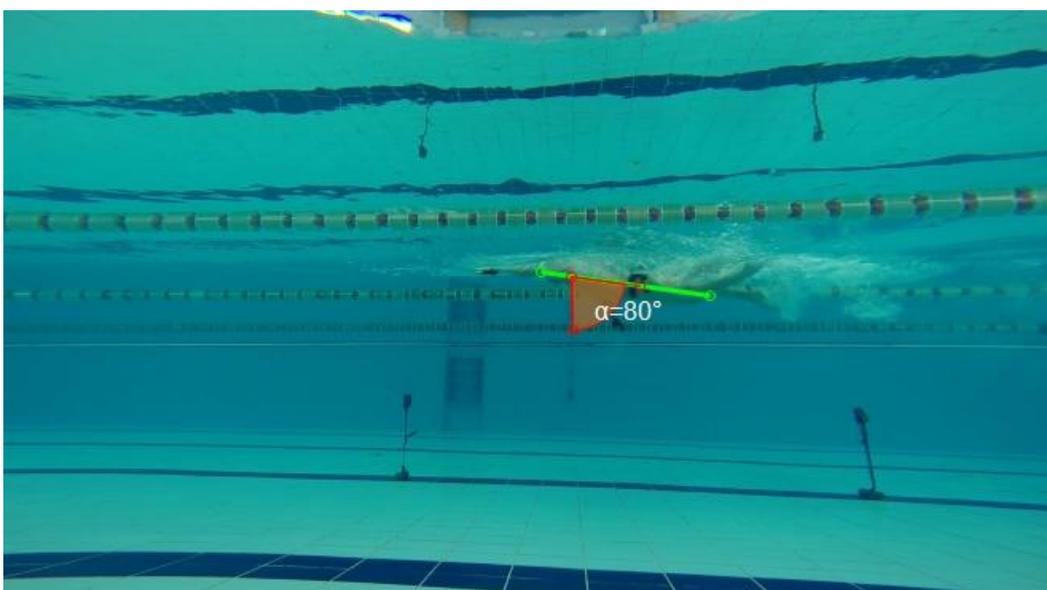


Figura 27: Alineación lateral. Nadador 4

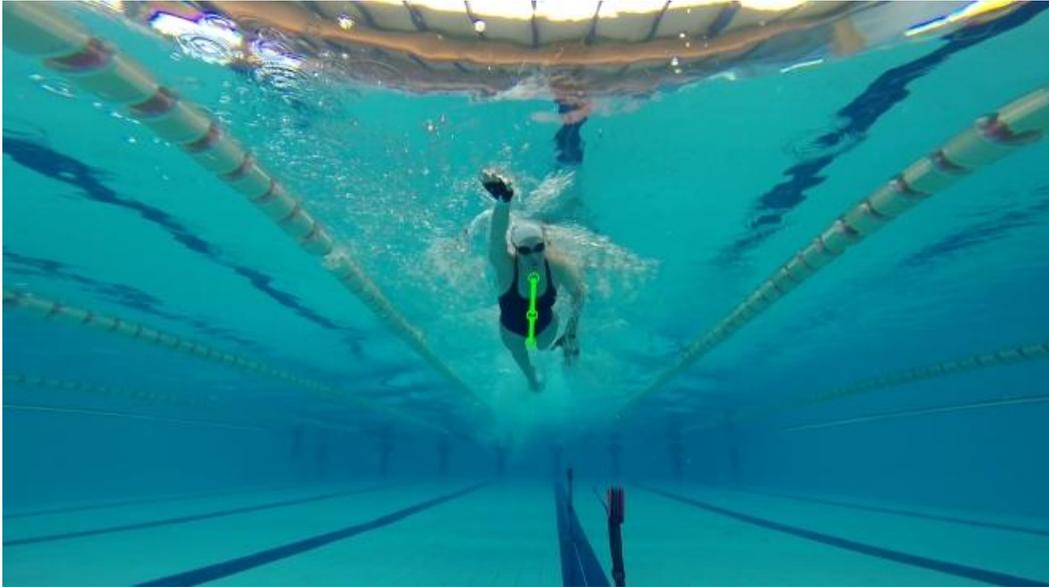


Figura 28: Alineación frontal. Nadador 5

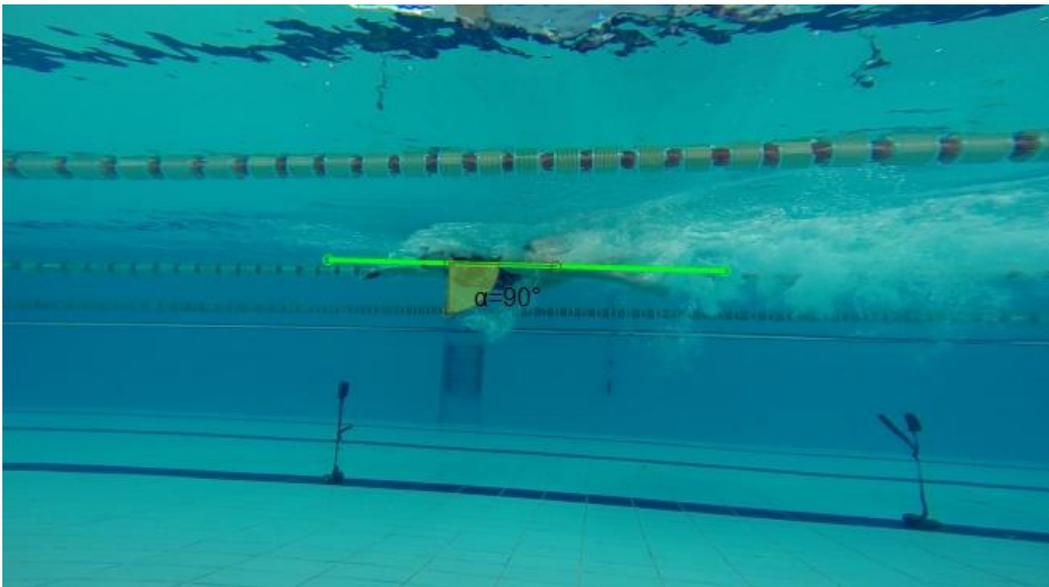


Figura 29: Alineación lateral. Nadador 5



Figura 30: Alineación frontal. Nadador 6

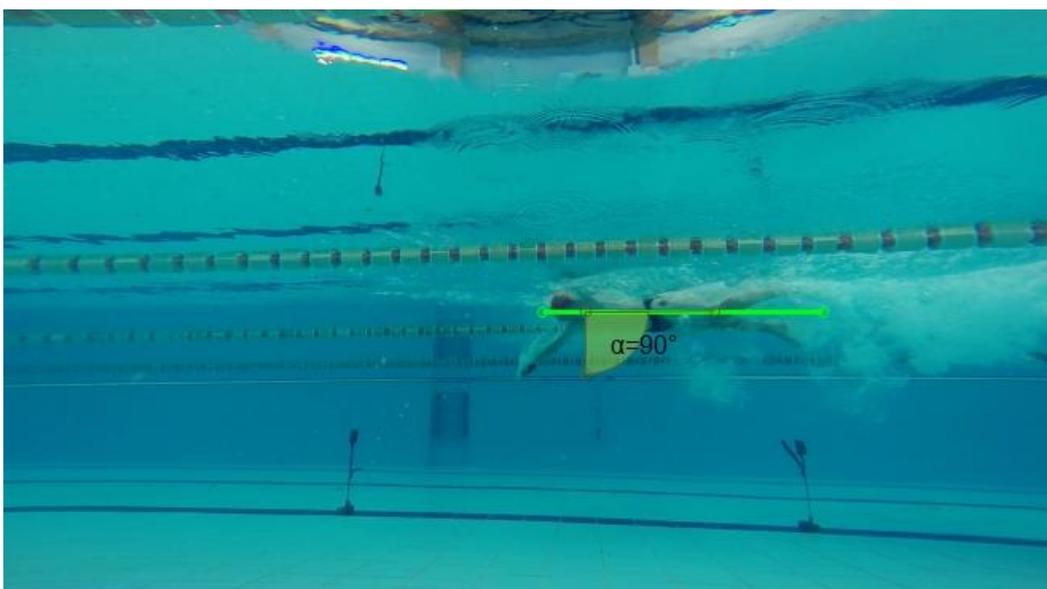


Figura 31: Alineación lateral. Nadador 6.

El nadador 1 tiene mucha mejor técnica que el resto de nadadores (2, 3, 4, 5 y 6). Se ha contrastado la autenticidad de los principios de la tabla [1] con los distintos nadadores. Además, se observarán los posibles errores que comenten estos 6 nadadores.

En este apartado se analizará con detenimiento la posición del cuerpo.

### **Nadador 1**

**Posición:** La alineación frontal del cuerpo de este nadador es correcta, ya que forma una línea recta pasando por su centro de gravedad de dicho nadador. Esto hace que durante la fase de nado el nadador no sea afectado significativamente por la resistencia opuesta al desplazamiento. Además desde una vista lateral se observa que la alineación es óptima, pues el cuerpo forma una línea paralela al suelo de la piscina, con un ángulo de 91 grados. Al incidir las manos en el agua y moverse el cuerpo, se crea una zona de mayor presión en la parte inferior del mismo que resulta en una fuerza elevadora que mantiene al nadador en su posición en la superficie del agua.

**Errores:** Tanto la alineación frontal como lateral es correcta, por tanto no se comete ningún error.

**Propuesta de mejora:** Al no cometer ningún error de los mencionados en las tablas, se cumple el contenido de estas, ya que, es un nadador de élite.

### **Nadador 2**

**Posición:** La alineación horizontal del cuerpo de este nadador es correcta como se puede observar en la segunda imagen, el cuerpo forma una línea recta paralela al nivel del agua, de forma que reduce al mínimo la resistencia del agua. Por el contrario su alineación frontal es errónea, puesto que lejos de formar una línea recta, forma un ángulo de 18 grados, esto hace que mientras nada, su cuerpo hace un movimiento en “zig-zag”, por lo que al hacer una trayectoria lateral no solo necesita vencer la resistencia al movimiento frontal sino también al movimiento lateral, así pues, debe vencer una mayor resistencia. Al cortar el cuerpo el agua, genera constantemente debajo él una zona de altas presiones por lo que el agua hace más fuerza, así pues, el nadador deberá ejercer del mismo modo una fuerza mayor para contrarrestar el efecto.

**Errores:** La alineación frontal de este nadador no es correcta puesto que no es recta, eso causa una pérdida de eficiencia del movimiento puesto que se pierde más energía en vencer a una mayor resistencia.

**Propuesta de mejora:** Para hacer más eficiente su técnica, este nadador debe corregir su alineación frontal de forma que esta sea recta, reduciendo al mínimo la resistencia.

### **Nadador 3**

**Posición:** La alineación frontal de este nadador es casi perfecta, pues como se puede observar en la figura 21, su torso y el resto de su cuerpo forman más o menos una línea recta, por lo que la resistencia se ha reducido casi al mínimo. En cuanto a su alineación lateral, está en la posición óptima (figura 22), reduciendo drásticamente la resistencia.

**Errores:** Los errores de este nadador son mínimos, tanto en la alineación frontal como lateral.

**Propuesta de mejora:** La técnica de este nadador es casi perfecta en cuanto a movimientos y posición del torso se refiere, tan solo tiene que mejorar su alineación frontal de forma que haga una perfecta línea recta, e intentar conseguir estar en paralelo al suelo (aunque una diferencia de 1 grado es irrelevante.)

### **Nadador 4**

**Posición:** La alineación frontal de este nadador está ligeramente desviada, esto se debe a una posible desviación de la cadera al hacer el correspondiente giro alrededor del eje longitudinal, por lo que la resistencia aumenta. Por otro lado, en cuanto a la alineación lateral de este nadador sus piernas están ligeramente hundidas, esto hace que su cuerpo esté inclinado y que no forme un ángulo de 90 grados; aumentando la resistencia y reduciendo por ello la velocidad.

**Errores:** Ambas alineaciones tanto lateral como frontal son erróneas, como consecuencia la velocidad del nadador se verá influenciada negativamente al incrementar la resistencia ( $F_R$ ).

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá corregir ambas alineaciones para mejorar su rendimiento y disminuir la resistencia.

### **Nadador 5**

**Posición:** La alineación frontal del cuerpo de este nadador es casi óptima, ya que casi forma una línea recta, haciendo que su cuerpo haga una trayectoria en línea recta reduciendo casi al mínimo la resistencia del torso con el agua, además, su alineación lateral es perfecta puesto que su cuerpo forma una paralela con el fondo de la piscina, tal y como dice la tabla de criterios, (Su cuerpo es paralelo a la superficie del agua), reduciendo al mínimo la superficie del cuerpo en contacto con el agua, por lo que la resistencia es mínima.

**Errores:** La alineación frontal es casi perfecta pero forma un pequeño ángulo.

**Propuesta de mejora:** Perfeccionar la alineación frontal de forma que la posición y el movimiento del torso sean óptimas.

**Nadador 6**

**Posición:** La alineación frontal de este nadador es incorrecta, ya que no forma una línea recta como indica la tabla de criterios, aumentando la resistencia del agua, y necesitando hacer una fuerza de propulsión mayor para ir más rápido. Sin embargo, la alineación lateral es perfecta ya que al formar su cuerpo una paralela a la superficie del agua, expone la menor superficie del cuerpo reduciendo la resistencia al avance.

**Errores:** La alineación frontal del nadador no es recta, y forma un ángulo excesivo.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar su alineación lateral de forma que su técnica sea más eficiente.

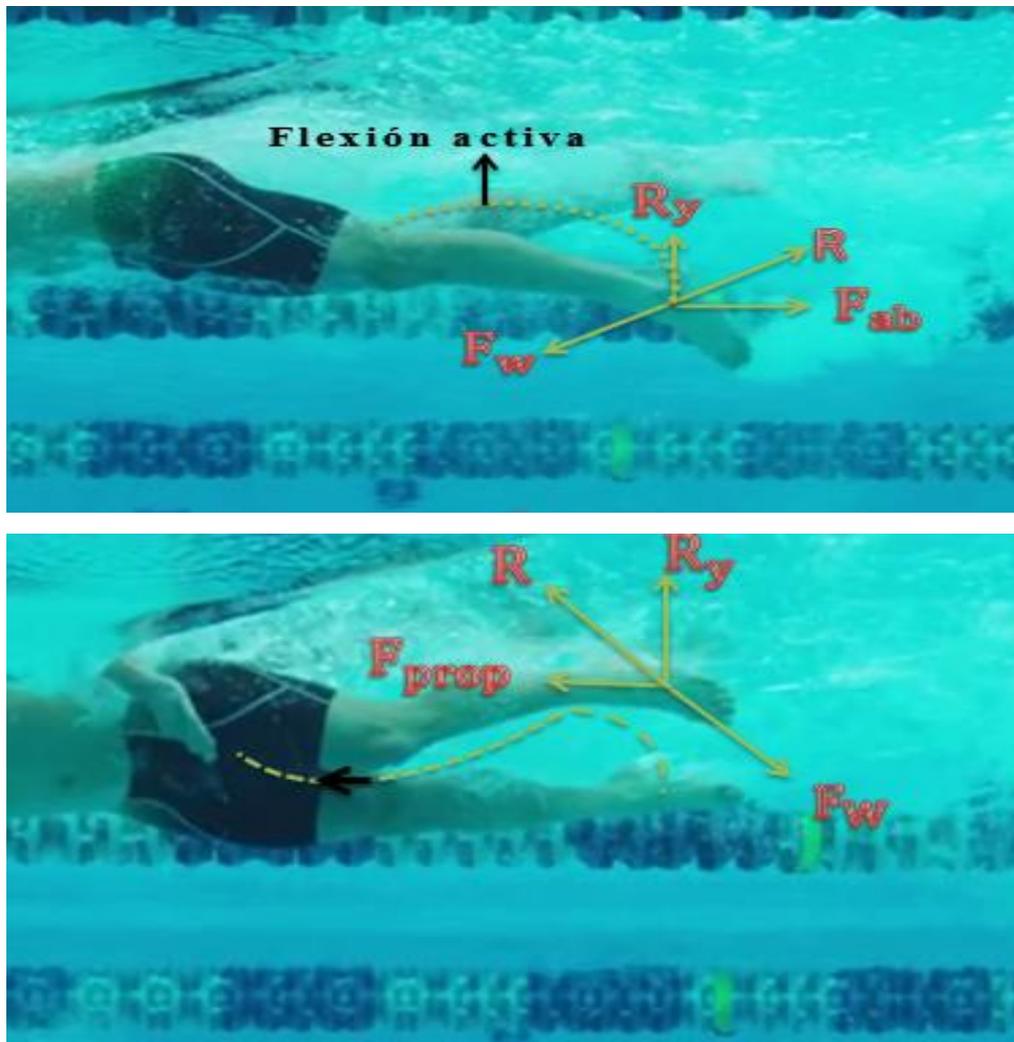
**MOVIMIENTO DE LAS PIERNAS/ POSICIÓN DE LAS PIERNAS.****Fuerzas que actúan sobre las piernas**

Figura 32: Fuerzas que actúan sobre la fase ascendente y descendente de las piernas

Siendo:

$F_w$  = Fuerza que hace el pie sobre el agua (N)

$F_{prop}$  = Fuerza que permite el avance (N)

$R_y = F_R$ , es la causa de la elevación de las piernas (N)

$F_R$  = Resistencia al avance (N)

$F_{ab}$ ,  $R_y$ ,  $F_{prop}$  y salen de descomponer R.

Hay un efecto pequeño sobre el avance que se debe a que  $F_{prop}$  es mayor que  $F_{ab}$  debido a una asimetría del movimiento. La principal causa del avance se debe a la conservación de la cantidad de movimiento. Al propulsar agua hacia atrás, el cuerpo se mueve hacia delante.

En base a las tablas de los criterios y errores, se analiza a los siguientes nadadores:

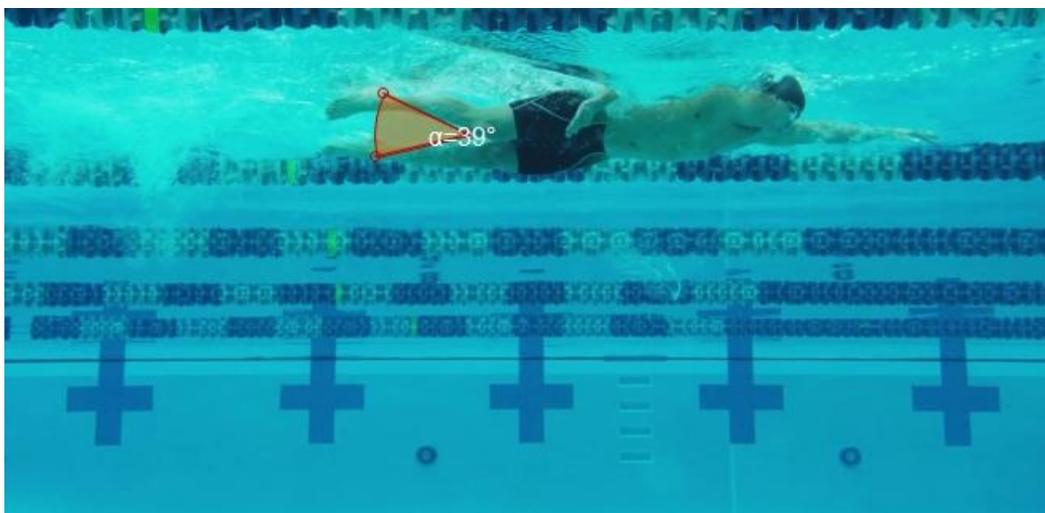


Figura 33: Amplitud de batida. Nadador 1.

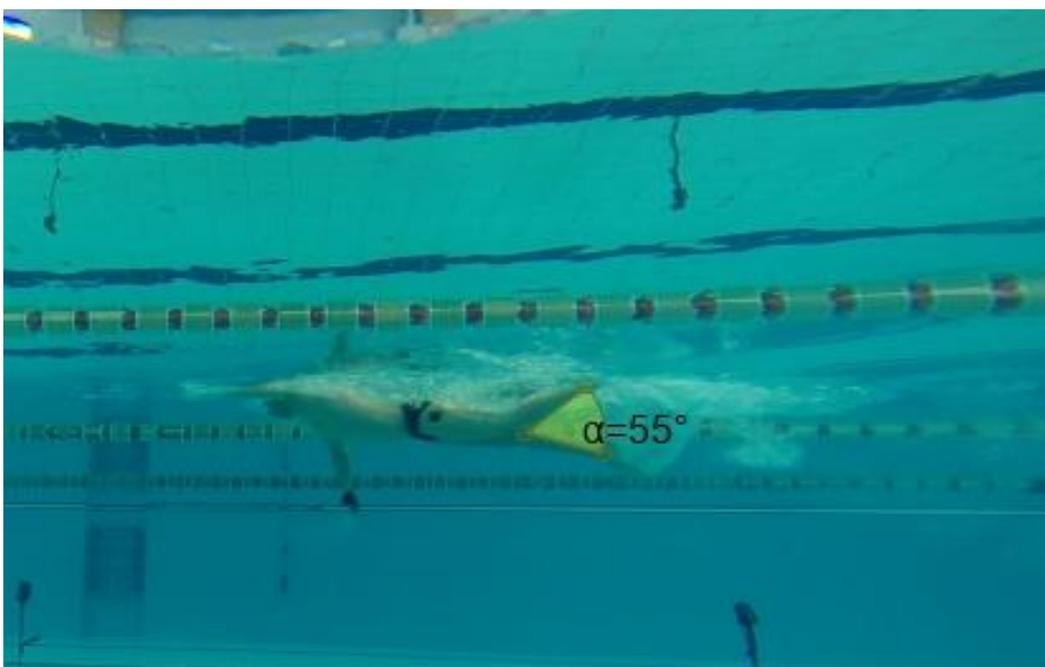


Figura 34: Amplitud de batida. Nadador 2.

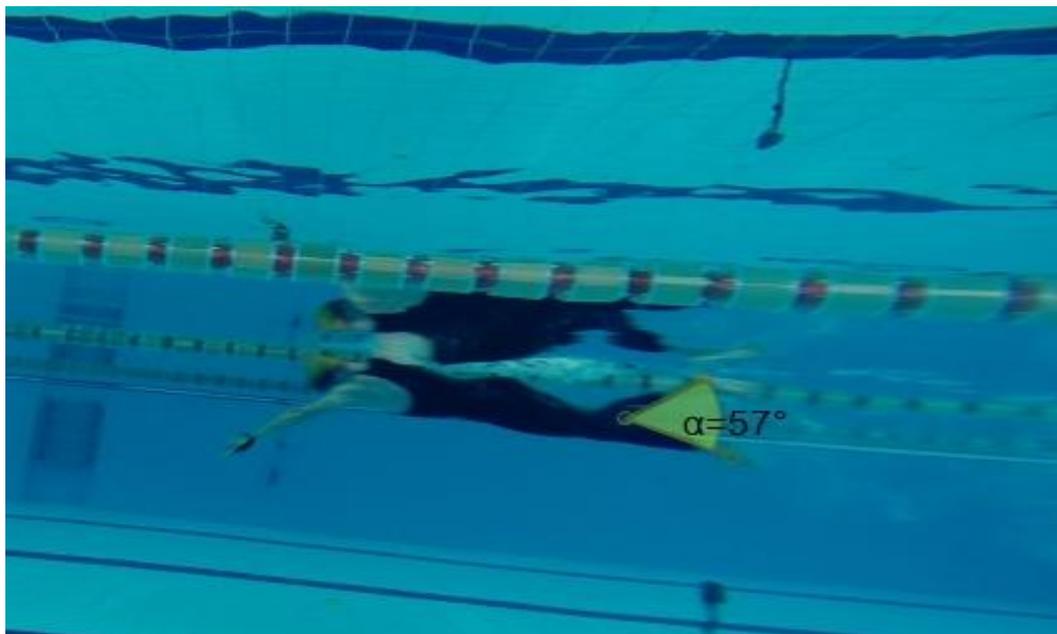


Figura 35: Amplitud de batida. Nadador 3.

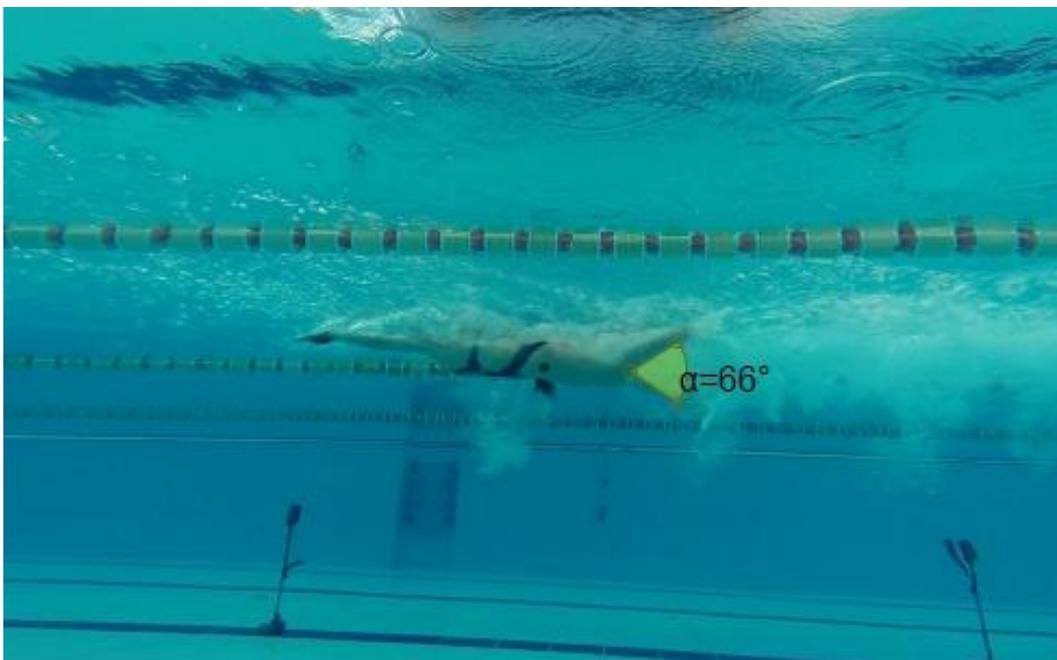


Figura 36: Amplitud de batida. Nadador 4.

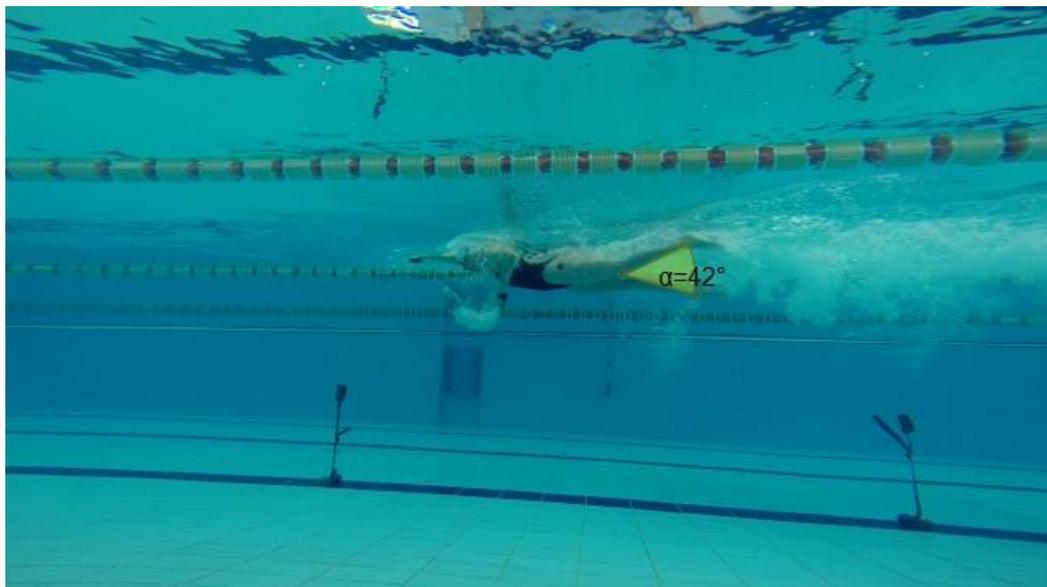


Figura 37: Amplitud de batida. Nadador 5

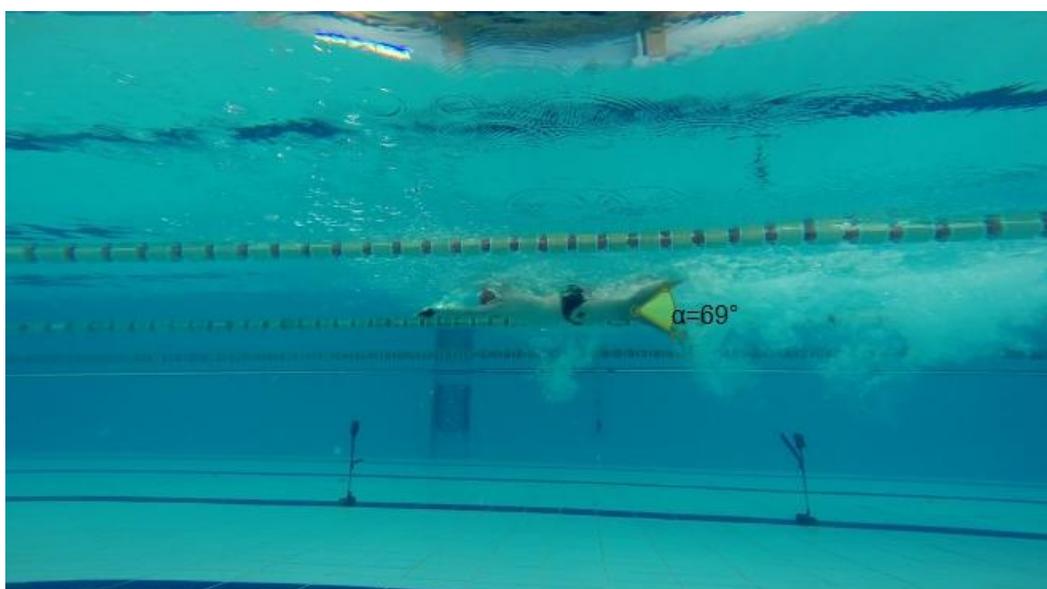


Figura 38: Amplitud de batida. Nadador 6

El nadador 1 es un nadador de élite por lo que su técnica es mucho mejor que el resto de nadadores 2, 3, 4, 5 y 6. Se contrastarán los principios de la tabla 1.1 con los siguientes nadadores; y se observarán los posibles errores que cometidos.

En este apartado se analiza con detenimiento la posición de las piernas y el movimiento de estas.

### **Nadador 1**

**Posición:** Este nadador realiza una flexión pasiva de la rodilla, cuando el muslo realiza su movimiento descendente, el tobillo se encuentra en su punto máximo. La amplitud de la batida es de 39 grados. El tobillo gira hacia adentro y está flexionado.

**Errores:** Tanto la posición del tobillo como el giro que hace son correctos. Además flexiona correctamente la rodilla de modo que el muslo esté abajo cuando el tobillo está aún arriba. La amplitud de la batida es casi óptima, pues es de 39 grados cuando debiera ser de 40.

**Propuesta de mejora:** Al no cometer ningún error se verifica lo mencionado en la tabla, partiendo de la base de que se trata de un nadador de élite.

### **Nadador 2**

**Posición:** La posición de la pierna de este nadador es de una flexión pasiva de la rodilla, manteniendo la posición del muslo en su posición baja, cuando el tobillo está elevado. La batida forma un ángulo de 55 grados. Su tobillo está en línea recta con el resto del cuerpo.

**Errores:** Este nadador mantiene su tobillo arriba mientras su muslo está abajo, flexionando la rodilla tal y como dice en las tablas de criterios, sin embargo, la amplitud de la batida es excesivamente amplia ya que forma un ángulo de 55 grados cuando ha de ser de 40, por lo que la fuerza de propulsión es demasiado pequeña, reduciendo así su velocidad.

**Propuesta de mejora:** Para mejorar e ir más rápido, este nadador deberá reducir el ángulo de batida hasta los 40 grados, que es el ángulo óptimo.

### **Nadador 3**

**Posición:** El ángulo descrito de la batida de este nadador es de 57 grados. El tobillo se encuentra alineado con el cuerpo. Únicamente la pierna derecha realiza una flexión pasiva de rodilla, pues mientras que el muslo realiza su posición descendiente el tobillo realiza la fase ascendente

**Errores:** Este nadador tiene una amplitud de batida casi 20 grados mayor al ángulo correcto. El tobillo no gira hacia adentro y además está alineado con el cuerpo, así pues, este nadador carece de flexibilidad. También la flexión pasiva de la rodilla se lleva a cabo únicamente en la pierna derecha y tendría que ser en ambas.

**Propuesta de mejora:** Para poder mejorar su rendimiento, deberá disminuir el ángulo descrito, mejorar la flexibilidad de tobillos y realizar correctamente la flexión pasiva de la rodilla.

### **Nadador 4**

**Posición:** El ángulo descrito (66 grados) de batida es muy superior al óptimo, 40. Realiza una flexión pasiva de rodilla.

**Errores:** Este nadador saca el tobillo fuera de la superficie, esto hace que la amplitud de batida sea errónea y bastante superior a lo teóricamente correcto. Sin embargo, lleva a cabo una correcta flexión pasiva de la rodilla. Debido a la salida y posteriormente introducción del tobillo en el agua, se crea una turbulencia en el agua cada vez que el respectivo tobillo la toque.

**Propuesta de mejora:** Deberá mantener el tobillo sumergido para así poder reducir el ángulo descrito y mejorar su rendimiento, reduciendo la fuerza de resistencia que se opone al avance del nadador ( $F_R$ )

### **Nadador 5**

**Posición:** Este nadador describe un ángulo de 42 grados, flexionando correctamente el tobillo y ejecuta una buena flexión de la rodilla.

**Errores:** Tanto la flexión del tobillo como la de la rodilla son precisas, el ángulo de batida es casi perfecto, varía únicamente en 2 grados respecto al ángulo óptimo.

**Propuesta de mejora:** Este nadador no plantea ningún error. Esos 2 grados de diferencia son prácticamente irrelevantes y disminuirlos no ayudaría significativamente a la reducción de la fuerza de resistencia al avance ( $F_R$ ).

**Nadador 6**

**Posición:** Este nadador describe un ángulo de 69 grados. Su tobillo izquierdo sale fuera de la superficie. Solo ejecuta una adecuada flexión de la rodilla en la pierna izquierda, la derecha la mantiene completamente extendida.

**Errores:** Como consecuencia de la posición del tobillo izquierdo fuera de la superficie, la amplitud de batida es casi 30 grados superior a lo apropiado. Además, en este ángulo influye la flexión nula de la pierna derecha, que se opone a la correcta flexión de la rodilla de la pierna izquierda.

**Propuesta de mejora:** El nadador deberá mantener el tobillo dentro de la superficie acuática con el fin de disminuir el ángulo y conseguir un mayor rendimiento reduciendo la resistencia ( $F_R$ )

## MOVIMIENTO Y POSICIÓN DE LOS BRAZOS

El principio de Bernoulli explica el motivo de por qué un nadador es capaz de flotar y avanzar en el agua cuando este se mueve.

Este principio afecta a todo el cuerpo pero sobre todo a la mano. Esta deberá entrar con un ángulo entre 38 y 50 grados, como ángulo óptimo, tal y como indica la tabla de criterios. Las manos al cortar el agua con este ángulo generan una zona de mayor presión en la parte inferior de estas, que resulta en una acción elevadora, lo que hace que el nadador flote.

### Fuerzas que actúan sobre los brazos

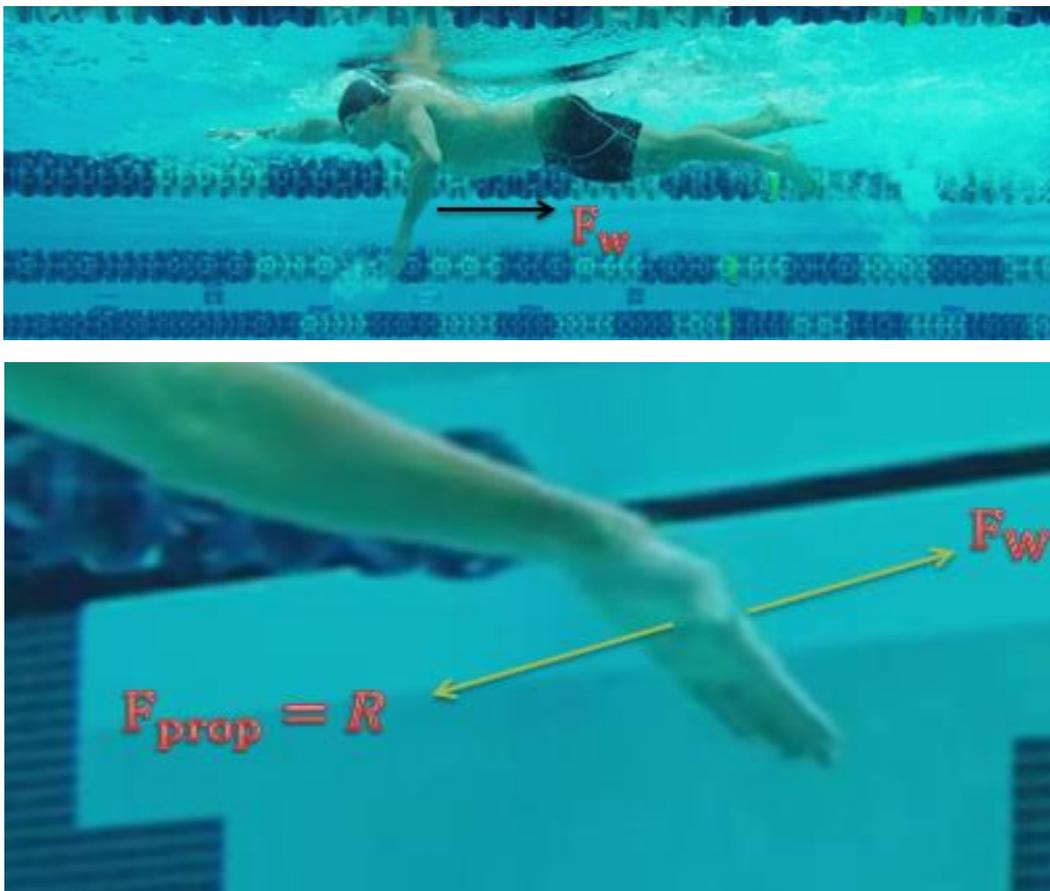


Figura 39: Fuerzas que actúan sobre la mano y los brazos en la fase de tirón-empuje

Siendo:

$F_w$  = Fuerza que se hace sobre el agua (N)

$F_{prop}$  = Fuerza que hace el agua sobre la mano para propulsar(N)

En base a la tabla de criterios y errores se analizarán a los siguientes nadadores:

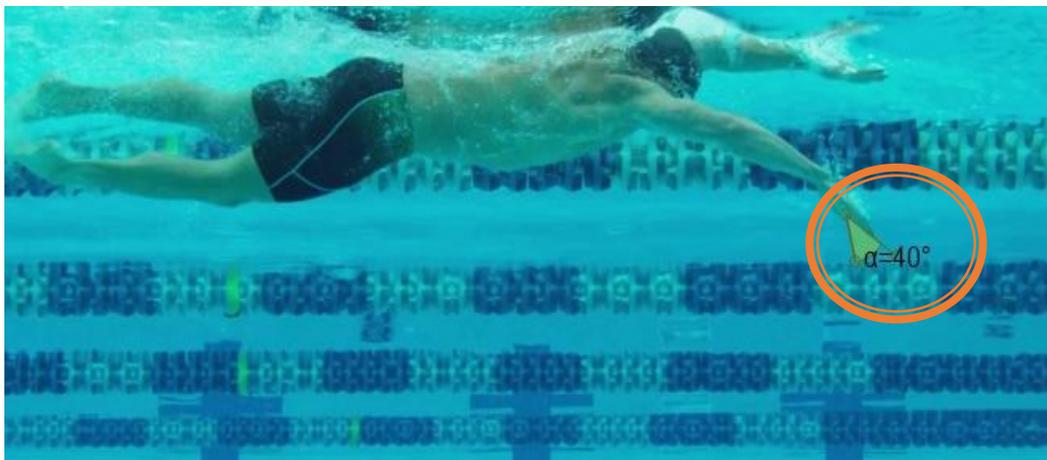


Figura 40: Vista lateral. Nadador 1

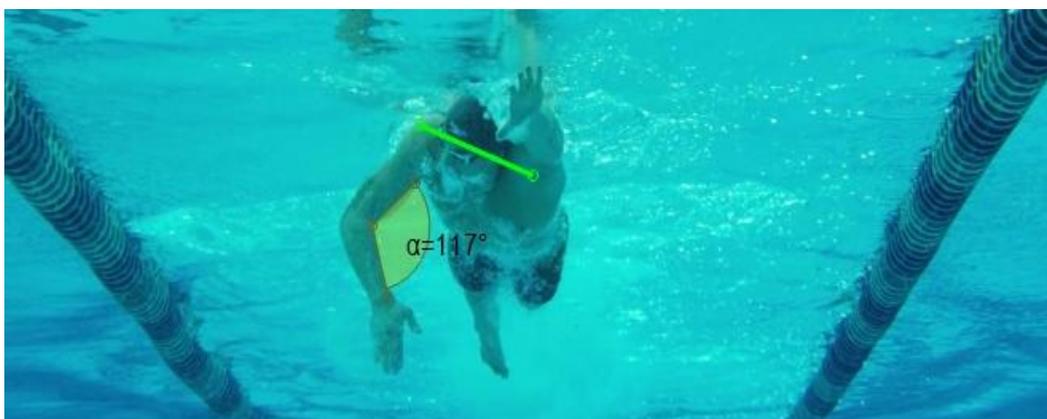


Figura 41: Vista frontal. Nadador 1.

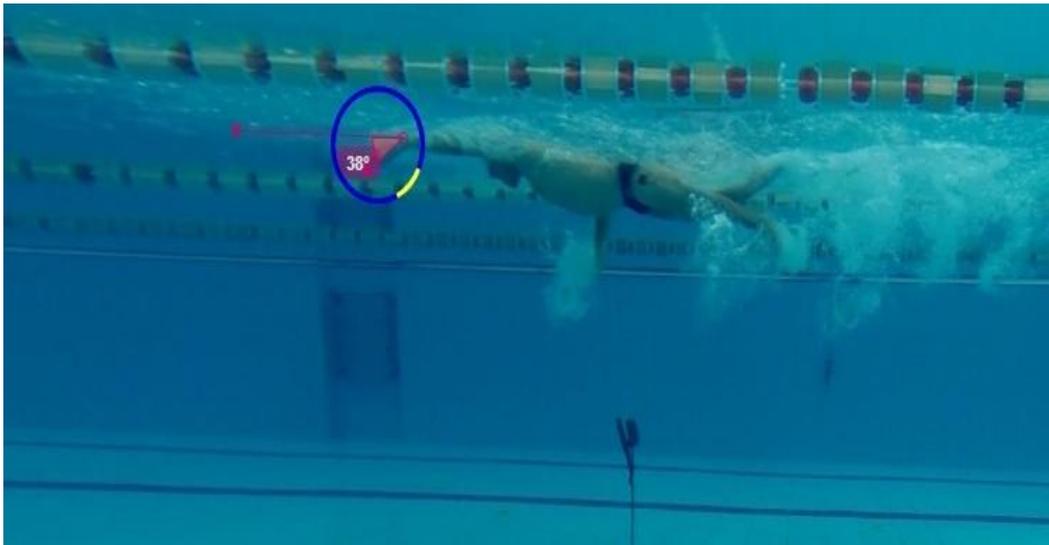


Figura 42: Vista lateral. Nadador 2

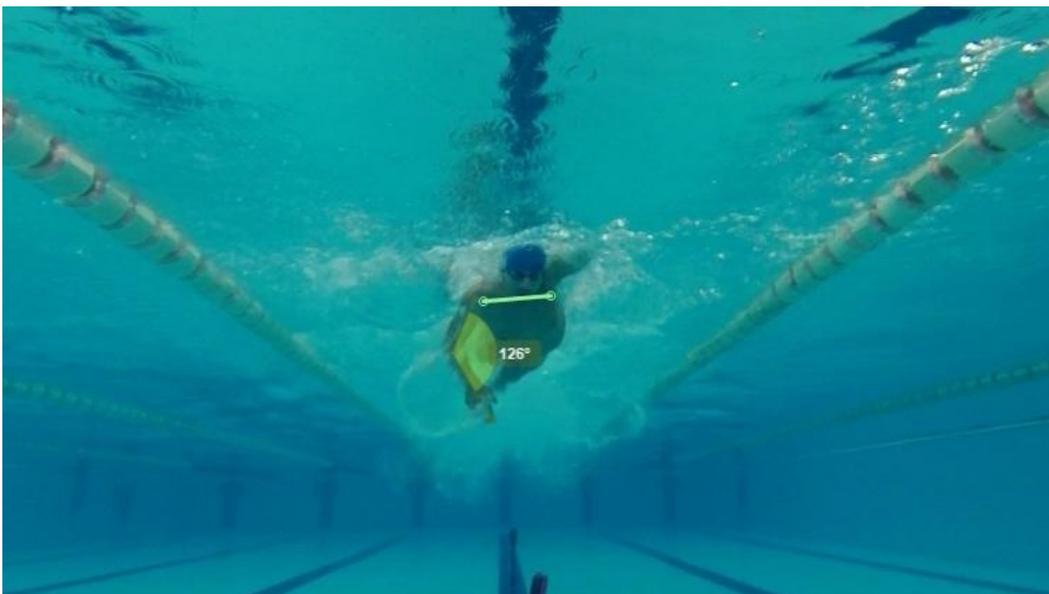


Figura 43: vista frontal. Nadador 2.

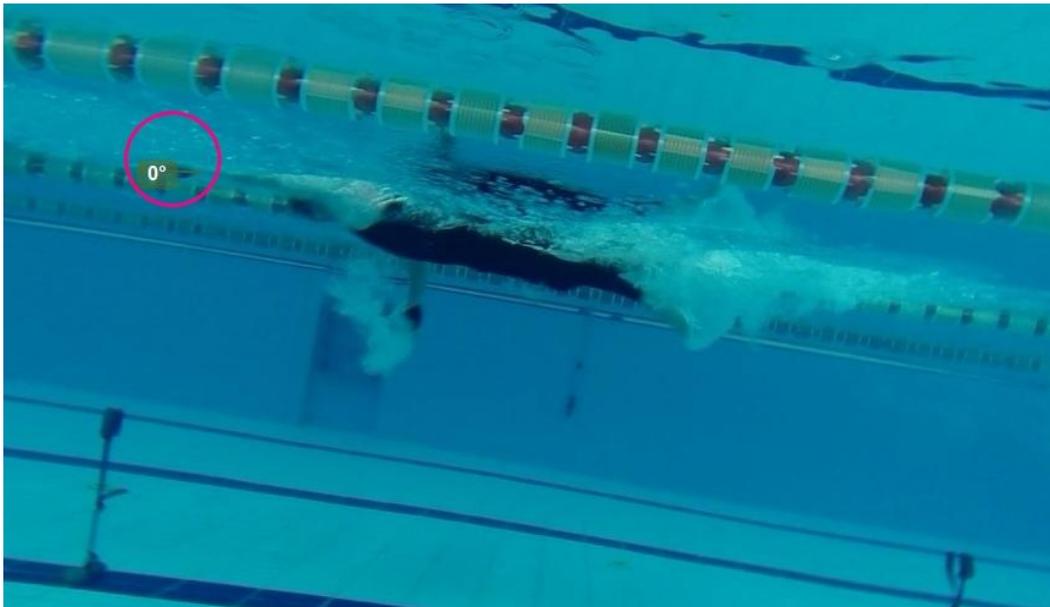


Figura 44: Vista lateral. Nadador 3.

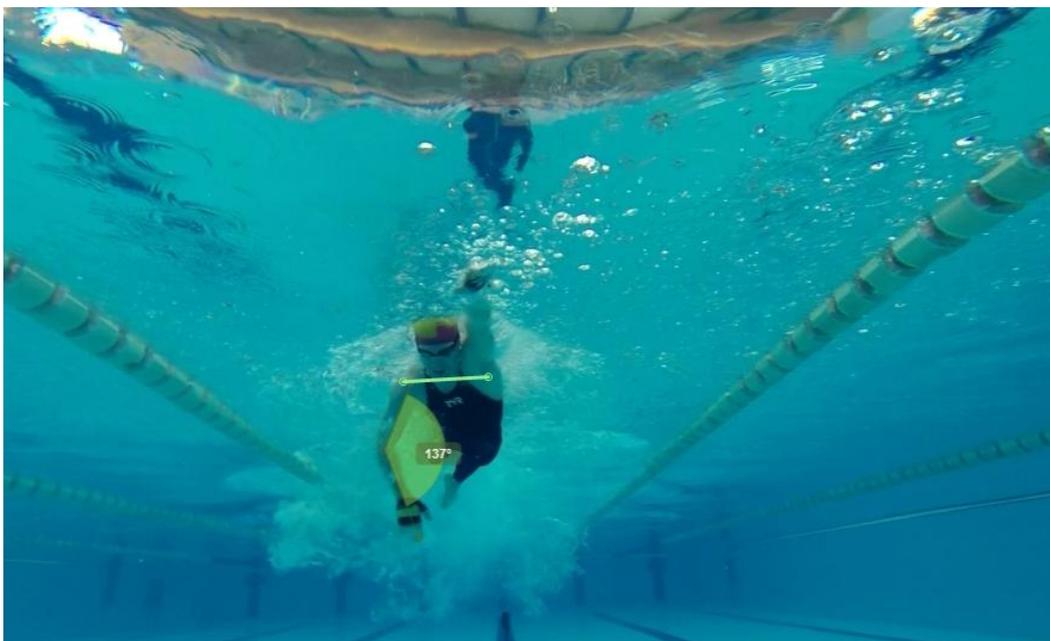


Figura 45: Vista frontal. Nadador 3

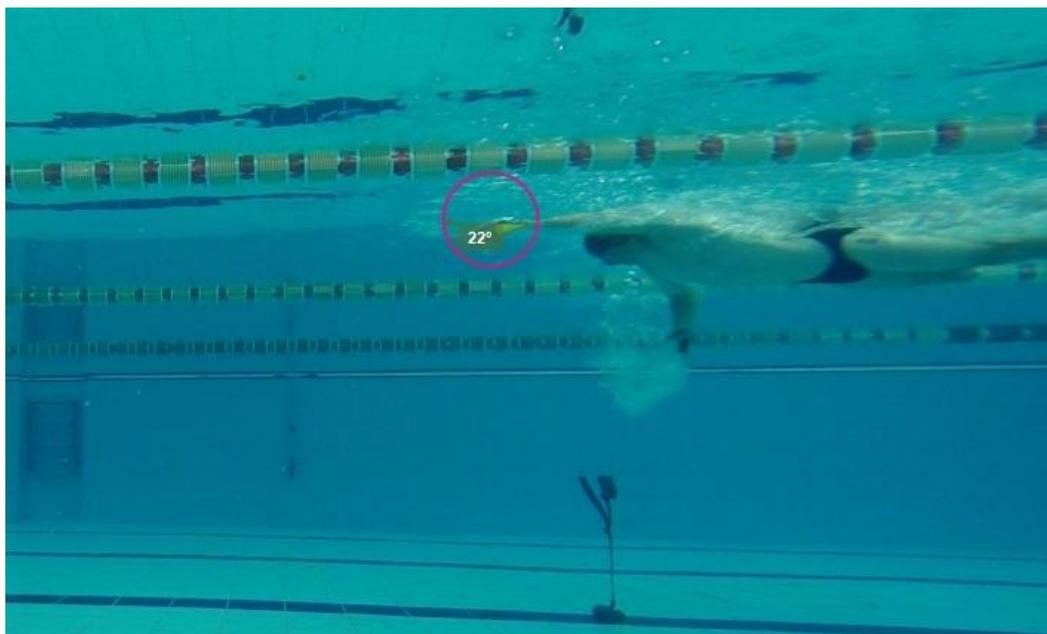


Figura 46: Vista lateral. Nadador 4.

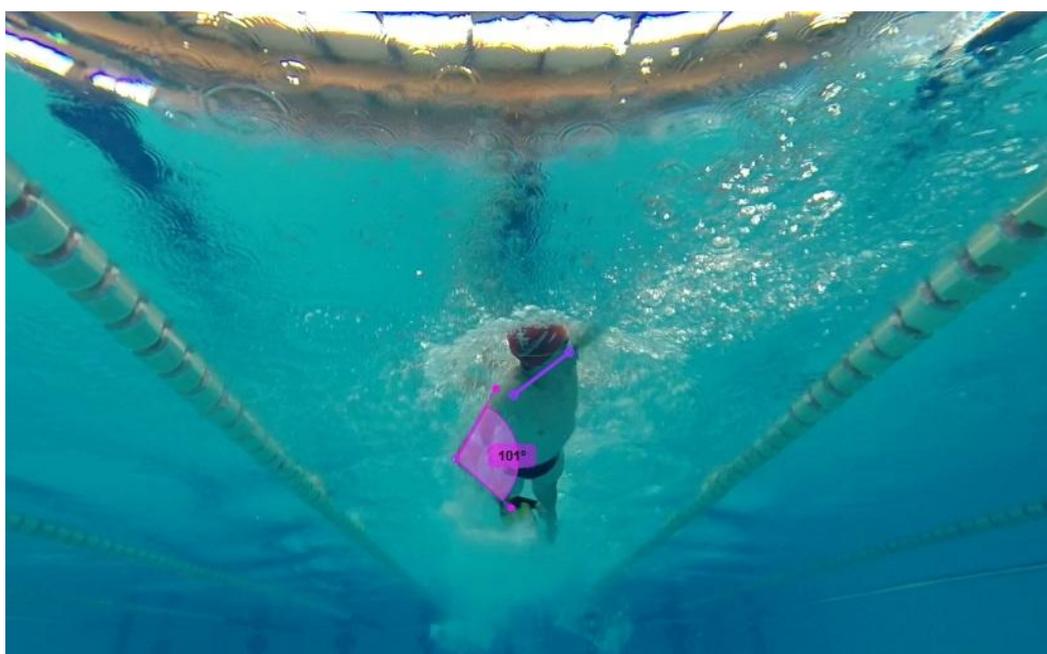


Figura 47: Vista frontal. Nadador 4.

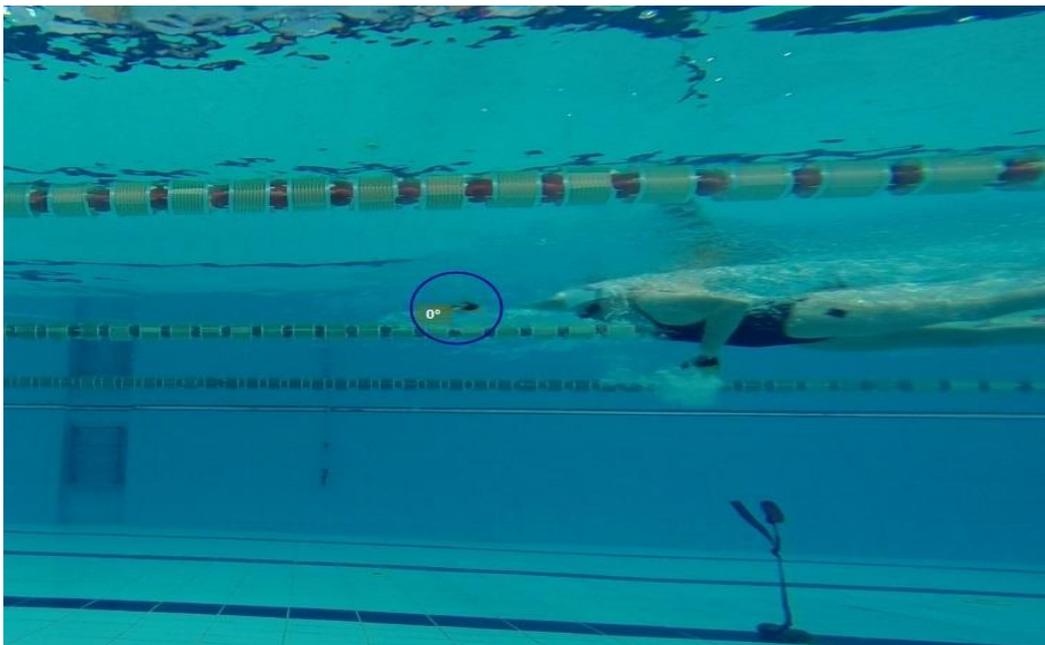


Figura 48: Vista lateral. Nadador 5

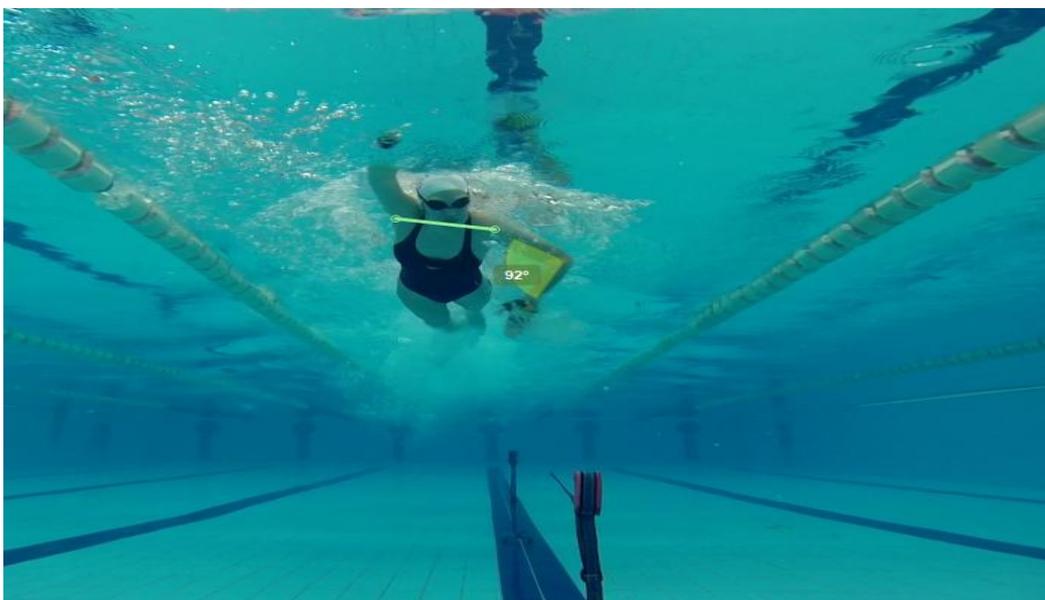


Figura 49: Vista frontal. Nadador 5.

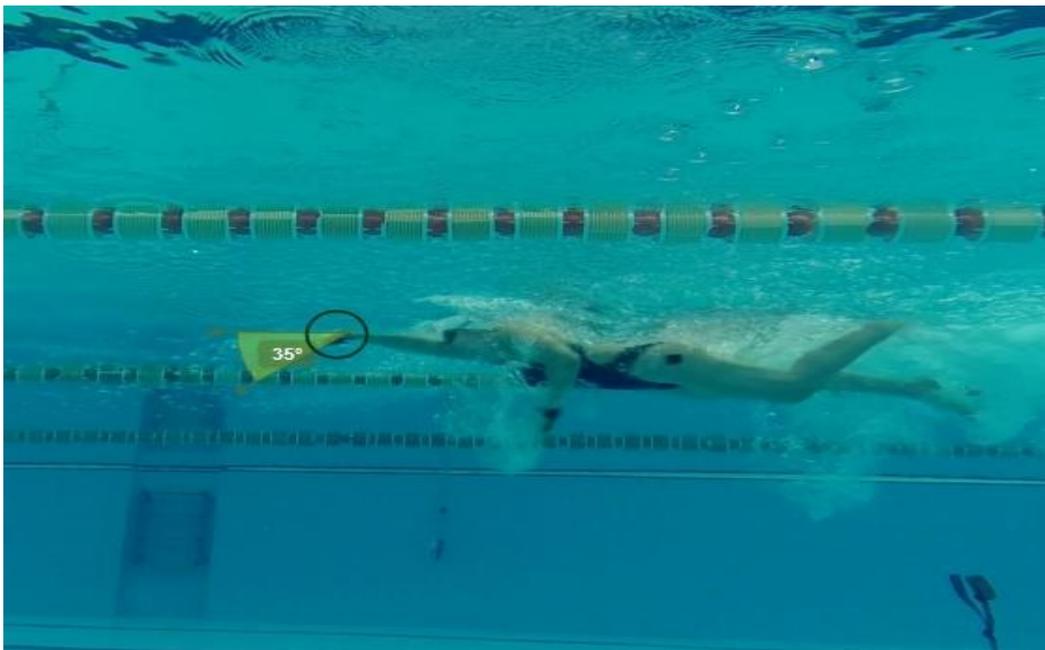


Figura 50: Vista lateral. Nadador 6.

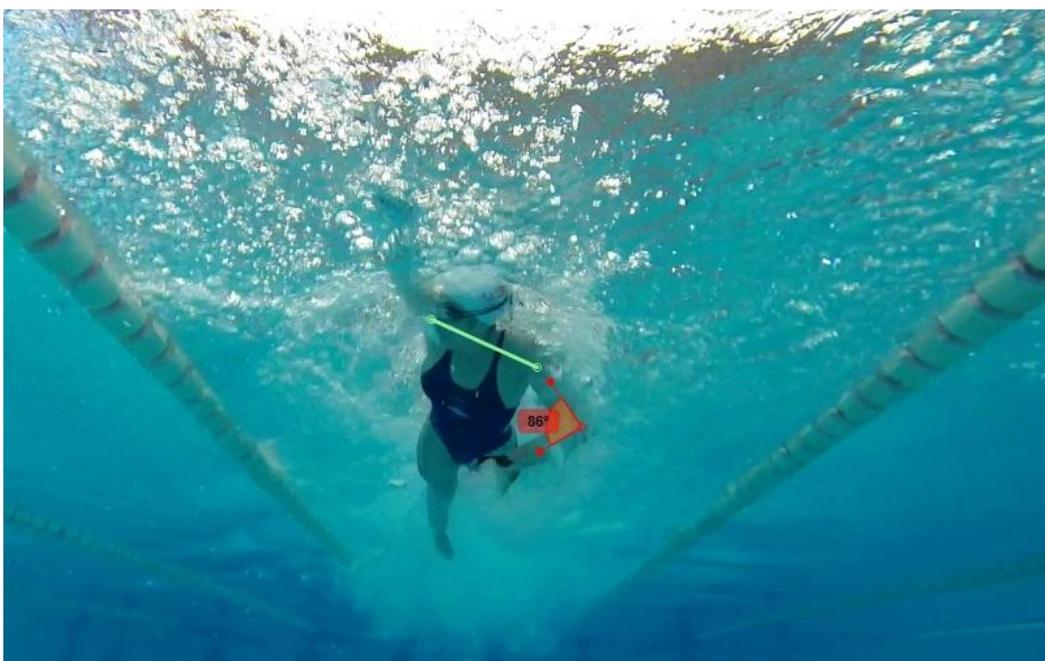


Figura 51: Vista frontal. Nadador 6.

El primer nadador, es un nadador de élite por lo que la técnica a la hora de nadar es claramente superior a la del resto de nadadores. Se han comparado los principios de las tablas anteriormente expuestas con los siguientes nadadores, y se han observado los posibles errores que comenten estos 6 nadadores.

En este apartado se han analizado con detenimiento la posición de los brazos y el movimiento de estos.

### **Nadador 1**

**Posición:** El ángulo de incidencia de este nadador es de 40 grados (figura 38). Realiza una rotación de los hombros correcta, sin embargo, el ángulo descrito del codo, en la fase de agarre, es de 117 grados. El ángulo de 45 grados es óptimo ya que si la mano incide con menor grado, existe una mayor superficie de contacto entre la mano y el agua, por lo que la resistencia sería demasiado grande para mantener un ritmo estable, sin embargo, si el ángulo es mayor que 45 grados, el nadador es incapaz de coger y arrastrar suficiente agua para propulsarse de forma correcta. Por otra parte, el ángulo que el codo debería describir es de 90 grados, pues con este ángulo se arrastra suficiente agua para propulsarse y la distancia entre brazo y cuerpo es lo suficientemente reducida para que la resistencia no sea muy grande.

**Errores:** El ángulo de incidencia de la mano es casi óptimo, siendo 40 en vez de 45. Durante la fase de agarre la flexión es mínima puesto que describe un ángulo de 117 grados siendo el de 90 el correcto. A pesar de esto, realiza un giro completo de hombros reduciendo así la resistencia.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar la flexión a del codo a la hora de agarrar agua con el fin de aumentar su velocidad. Respecto al resto no debe modificar su posición. Se trata de un nadador de élite, uno de los muchos en los que se basan las tablas expuestas.

### **Nadador 2**

**Posición:** La posición de las manos de este nadador forma un ángulo de incidencia de 38 grados con la horizontal, y esta entra antes que el resto del brazo como se puede apreciar en la (figura 39). Su codo forma un ángulo de 126 grados y uno de sus hombros está levemente más elevado que el otro, es decir, han rotado un poco.

**Errores:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador es insuficiente, pues es menor a 45 grados, lo que reduce su fuerza de propulsión, además, su codo forma un ángulo que dista mucho del óptimo, 90 grados, y por último, la rotación de sus hombros es ínfima, por lo que la resistencia del agua es muy grande.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar en tres aspectos la posición y el movimiento de las partes de sus brazos: primero, deberá aumentar su ángulo de incidencia hasta los 45 grados y disminuir el de su codo hasta los 90, y para terminar, deberá rotar sus hombros de una manera más significativa.

### **Nadador 3**

**Posición:** La posición de las manos de este nadador es incorrecta puesto que el ángulo de incidencia de la mano es de 0 grados como se puede apreciar en la imagen (1), además en el movimiento de su brazo, introduce primero el codo antes que la mano mientras el codo opuesto forma un ángulo de 136 grados. Los hombros, están ambos al mismo nivel (no rotan), por lo que se convierte en un movimiento menos hidrodinámico, aumentando la resistencia al avance.

**Errores:** Este nadador introduce el codo en el agua antes que la mano, lo que reduce la fuerza de propulsión, y por lo tanto su velocidad. El segundo error perceptible es la excesivamente pequeña flexión que hace de su codo, que lejos de formar 90 grados como indica la tabla forma 137, además, el ángulo de incidencia de la mano no forma 45 grados sino 0. Por último, sus hombros no rotan y están al mismo nivel, aumentando la resistencia.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar su técnica intentando introducir en la brazada la mano antes que el codo y flexionar este formando un ángulo de 90 grados, introducir la mano con un ángulo de 45 grados, y rotar sus hombros tal y como se indica en las tablas de criterios.

### **Nadador 4**

**Posición:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador forma un ángulo de 22 grados con la horizontal, además, esta entra en el agua antes que el resto del brazo. Su codo está flexionado formando un ángulo de 101 grados y sus hombros han rotado de forma correcta, reduciendo al mínimo la resistencia al avance.

**Errores:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador es demasiado pequeño, ya que debería llegar a los 45 grados, por lo que su fuerza de propulsión se ve menguada, el segundo error es una flexión del codo insuficiente aunque no muy lejana de la óptima.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá aumentar el ángulo de incidencia en el agua de su mano para aumentar su velocidad, y deberá flexionar más el codo hasta los 90 grados como indican las tablas de criterios.

### **Nadador 5**

**Posición:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador forma un ángulo de 0 grados con la horizontal, por lo que su fuerza de propulsión se ve afectada de forma negativa. La mano entra en el agua antes que el resto del brazo lo que es un movimiento correcto. La flexión de sus codos es óptima formando un ángulo de 92 grados aunque la rotación de sus hombros es muy pequeña.

**Errores:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador es ínfimo, ya que tiene que ser de 45 grados, además, la rotación de sus hombros es insuficiente, por lo que no reduce la resistencia al agua.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá aumentar el ángulo de incidencia de su mano, y rotar de forma correcta para conseguir que su técnica sea más eficiente.

### **Nadador 6**

**Posición:** El ángulo de incidencia de la mano de este nadador es de 35 grados lo que está muy cerca del ángulo óptimo, sin embargo, introduce el codo en el agua antes que la mano. Su codo forma un ángulo de 86 grados, una posición perfecta ya que reduce al mínimo la resistencia al movimiento, y sus hombros rotan de forma correcta.

**Errores:** Este nadador introduce el codo en el agua antes que la mano, lo que aumenta la resistencia al avance. Este es su único error perceptible.

**Propuesta de mejora:** Para perfeccionar su técnica este nadador deberá intentar introducir en el agua primero la mano y después el resto del brazo.



**FASE DE VIRAJE**

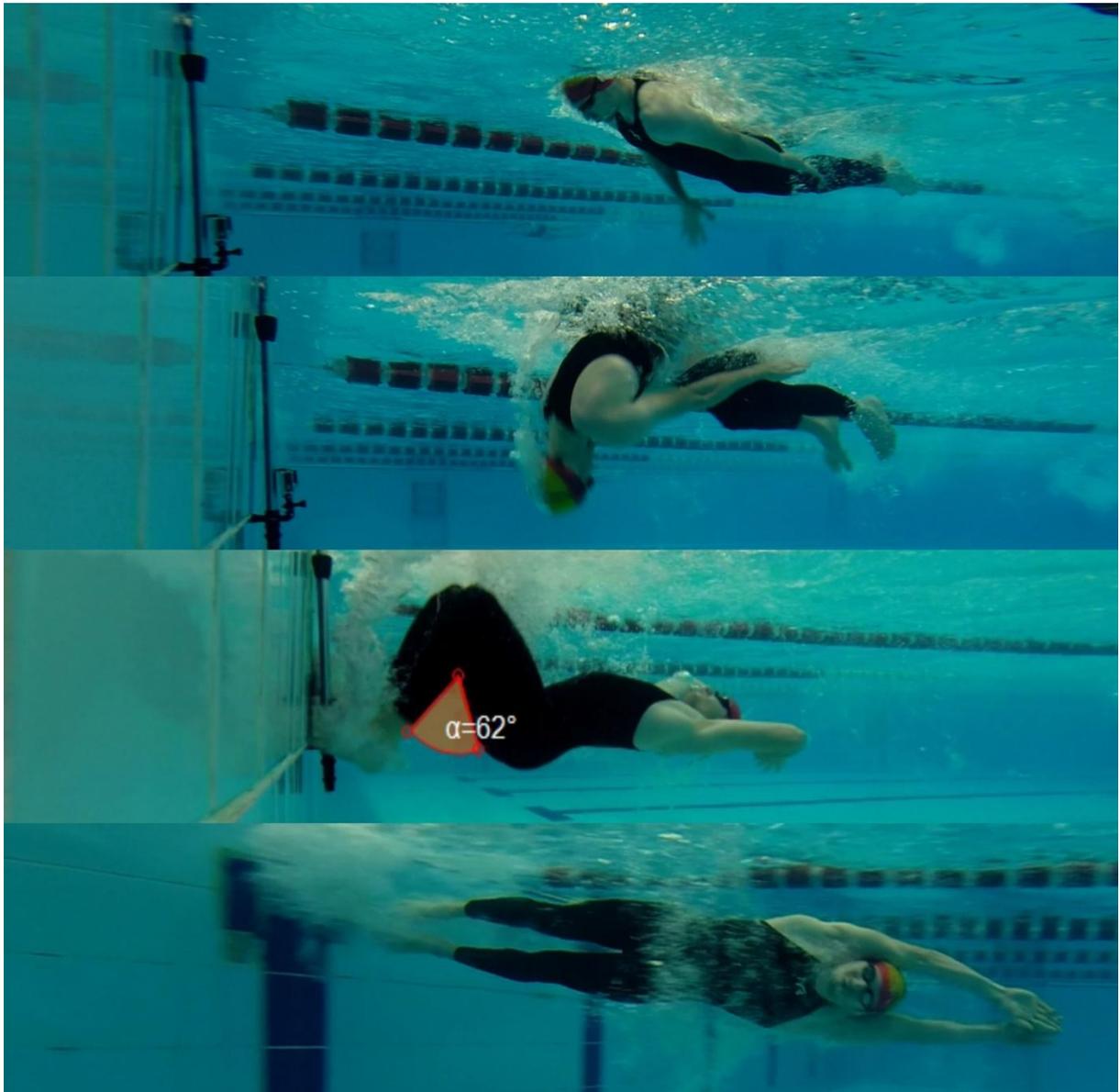


Figura 52: Inicio del viraje, agrupamiento, fase de empuje y extensión.

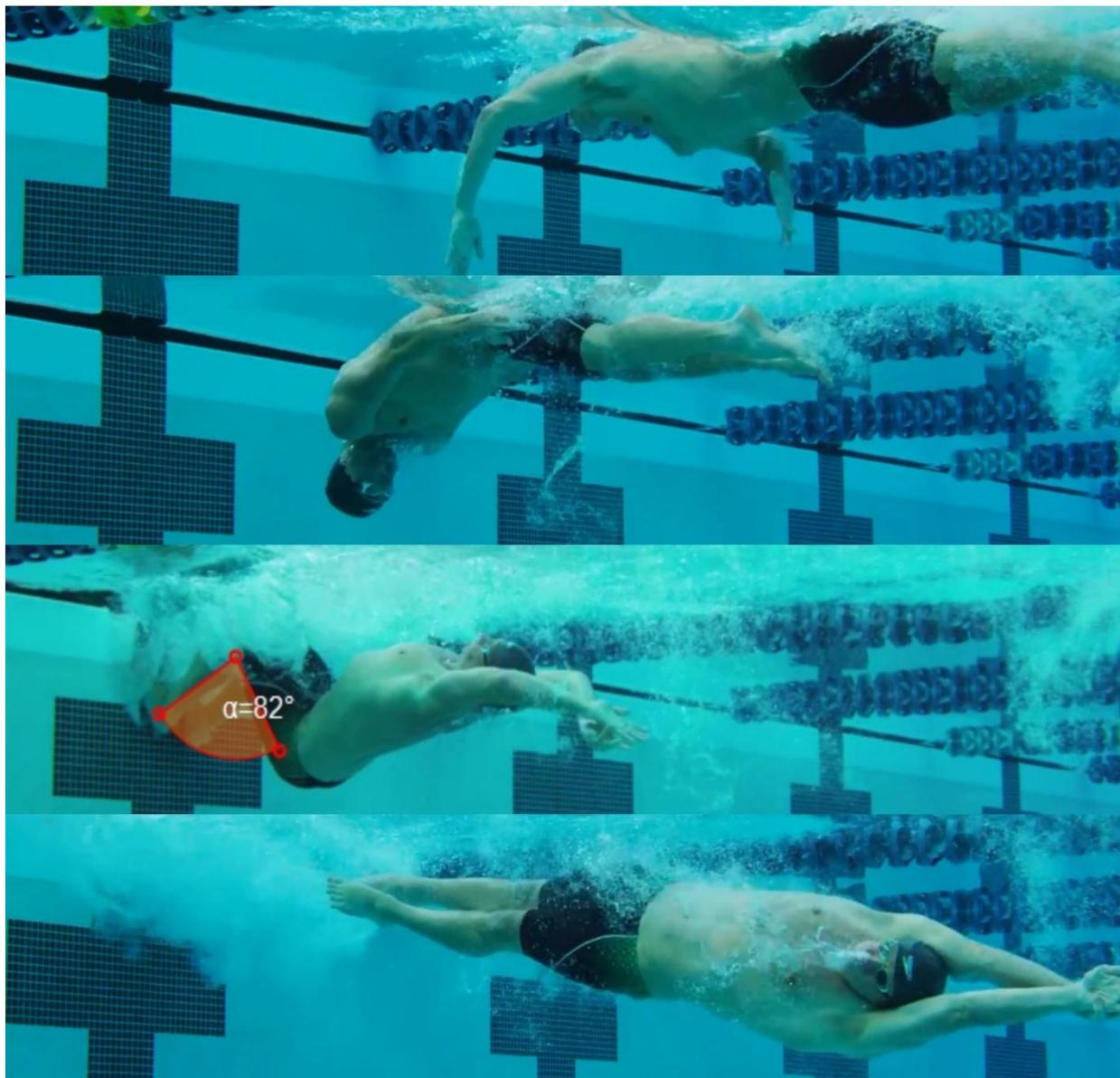


Figura 53: Inicio del viraje, agrupamiento, fase de empuje y extensión.

El segundo nadador es mucho mejor técnicamente que el primero, puesto que se trata de un nadador de élite.

En base a la teoría expuesta anteriormente se analiza a ambos nadadores.

### **Nadador 1.**

**Posición:** En la fase inicial de este movimiento el nadador extiende completamente el cuerpo, manteniéndolo en una posición rígida. En el agrupamiento hace un giro vertical excesivo de la cabeza, elevando además desmesuradamente los brazos. Forma un ángulo de 62 grados en la fase de empuje, arqueando excesivamente la espalda. Por último mencionar que tras la fase de empuje realiza una rápida extensión en posición lateral.

**Errores:** Como consecuencia de la rigidez de su cuerpo en la fase inicial, la resistencia aumenta considerablemente consiguiendo una disminución de la velocidad. Además, pierde bastante tiempo en realizar un giro vertical excesivo de la cabeza y en elevar la posición de los brazos. Otro error perceptible sería el ángulo que describe en la fase de empuje, pues al ser menor de 90 grados le obliga a arquear la espalda, pudiendo provocar una hiperlordosis lumbar. Sin embargo hace una rápida extensión en una posición lateral que hace que incremente su rendimiento, aunque toda la velocidad perdida durante la fase de viraje no se recupera.

**Propuesta de mejora:** Este nadador deberá mejorar la rigidez de su cuerpo ejecutando ejercicios de flexibilidad, intentar no elevar la posición de los brazos en la fase de agrupamiento y aumentar el ángulo descrito al empujarse. Todo esto disminuirá la resistencia y ayudará a incrementar la velocidad.

### **Nadador 2.**

**Posición:** Este nadador mantiene una posición más relajada respecto al nadador 1 durante la fase inicial. En el agrupamiento mantiene los brazos unidos al cuerpo, inclinando la cabeza en la misma dirección que el cuerpo. El ángulo de incidencia de este nadador durante la fase de empuje es de 82 grados, manteniendo la espalda en una posición adecuada. Finalmente destacar que gira su cuerpo de forma lateral durante el proceso de extensión, manteniendo los brazos por detrás de la cabeza.

**Errores:** El único error que comete este nadador es el ángulo que describe en la fase de empuje pues no es de 90 grados, como se indica en la teoría expuesta previamente, sino de 82. Parece una diferencia irrelevante pero influye en la fuerza de resistencia al avance, disminuyendo su velocidad.

**Propuesta de mejora:** Es un nadador de élite por lo que su técnica es óptima. Lo único que debería mejorar es el ángulo durante el empuje, para evitar posibles lesiones de espalda y disminuir la resistencia para mejorar su rendimiento.

## 7. CONCLUSIONES

1. Se puede analizar la técnica de un nadador en base a un estudio biomecánico.
2. Conviene separar cada parte del cuerpo de cara a la mejora de cada elemento del movimiento.
3. A nivel individual, el proceso de mejora de los nadadores estudiados se debe basar en la corrección de los siguientes errores:

En base al estudio biomecánico del nadador 1, obtenemos las siguientes conclusiones: la posición de la cabeza es correcta aunque no gira completamente alrededor del eje longitudinal, la alineación horizontal del cuerpo es correcta pero no la frontal, su batida es demasiado grande, no flexiona los tobillos y la flexión pasiva se lleva acabo solo en una rodilla, el ángulo de incidencia de su mano es incorrecto, introduce el codo antes que la mano y sus hombros no rotan completamente. En el viraje, este mantiene el cuerpo rígido, hace un giro excesivo de su cabeza y eleva demasiado los brazos en la fase de agrupamiento. En la fase de empuje arquea excesivamente la espalda y realiza una rápida extensión en posición lateral.

Para adquirir una técnica óptima, este nadador deberá corregir los errores detectados en el estudio de su técnica, para ello, deberá: girar su cabeza completamente alrededor del eje longitudinal, corregir su alineación frontal de forma que forme una línea recta, reducir su batida, mejorar la flexibilidad en los tobillos y flexionar ambas rodillas, introducir en la brazada la mano antes que el codo, flexionando este 90 grados e incidir con su mano en el agua con un ángulo de 45 y rotar los hombros. En el viraje deberá mejorar la rigidez de su cuerpo, no elevar tanto los brazos en el agrupamiento y aumentar el ángulo en la fase de empuje.

En base al estudio biomecánico del nadador 2, obtenemos las siguientes conclusiones: el ángulo de la cabeza de este nadador con respecto al eje longitudinal del cuerpo es demasiado pequeño (233 grados), además, su cabeza no hace un giro completo alrededor del mismo, sin embargo, su alineación frontal es casi perfecta al igual que la lateral, pero saca el tobillo fuera de la superficie aunque hace una correcta flexión pasiva de la rodilla, el ángulo de incidencia de la mano en el agua es casi perfecto (35 grados) al igual que el de su codo (86 grados), sus hombros rotan de forma correcta aunque introduce en el agua el codo antes que la mano.

Para adquirir una técnica óptima, este nadador deberá corregir los errores detectados en el estudio de su técnica, para ello, deberá: elevar más su cabeza y completar el giro de esta alrededor del eje longitudinal del cuerpo, perfeccionar las alineaciones frontal y lateral, mantener el tobillo sumergido e introducir la mano antes que el codo en la brazada.

En base al estudio biomecánico del nadador 3, obtenemos las siguientes conclusiones: el ángulo de la cabeza de este nadador con respecto al eje longitudinal del cuerpo es (227 grados), es decir, la cabeza está poco elevada y hace un giro incompleto alrededor del mismo, la alineación frontal como lateral son casi óptimas, como el ángulo formado por sus piernas, además flexiona correctamente el tobillo y la rodilla, sin embargo, el ángulo de incidencia de su mano es de 0 grados y la rotación de sus hombros es muy pequeña, pero introduce la mano antes que el codo y la flexión de sus codos es óptima.

Para adquirir una técnica óptima, este nadador deberá corregir los errores detectados en el estudio de su técnica, para ello, deberá: elevar más su cabeza, completar el giro de esta alrededor del eje longitudinal del cuerpo, aumentar el ángulo de incidencia de su mano hasta los 45 grados y rotar más sus hombros.

## **8. PROPUESTA DE MEJORA**

Para continuar este trabajo, se pueden seguir distintas líneas: se pueden analizar aún más nadadores en busca de nuevos posibles errores o hacer un estudio más exhaustivo de cada nadador ya disponible, de forma que se podrían encontrar fallos más imperceptibles, y ayudar de forma más efectiva a los nadadores.

Para mejorar o completar este trabajo, se podría hacer el mismo estudio y análisis de nadadores aplicado a otros estilos tales como espalda o braza, y estudiar y analizar algunas fuerzas con más profundidad de tal manera que se puedan explicar la posición óptima de un nadador con más precisión.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Llana, S. (2002). Resistencia hidrodinámica en Natación. *RendimientoDeportivo.com*, N°2. <<http://www.rendimientodeportivo.com/web/N002/Artic010.htm>> [Consulta 07/10/2002]
- Dr, Salvador Llana Belloch. El análisis biomecánico en natación. <[http://www.notinat.com.es/docs/analisis\\_biomecanico\\_en\\_natacion.pdf](http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf)>
- Rafa. (2008). Fuerzas resistidas en natación. *Entrenamientodeportivorafa.blogspot.com.es*. <<http://entrenamientodeportivorafa.blogspot.com.es/2008/11/fuerzas-resistivas-en-natacin.html>>
- La física en la Natación. *www. Sossegovia.com*. <<http://sossegovia.blogspot.com.es/2013/01/la-fisica-en-la-natacion.html>> [Consulta 16/01/2013]
- Chollet, D. *Natación Sportive, Approche scientifique*. [Natación deportiva]. 1997
- Zumbiaurre, S. “et al”. *Física y Química 1º Bachillerato*. Madrid, Anaya, 2008.
- Paul A. Tipler. *Física para la ciencia y la tecnología: (mecánica, oscilaciones y ondas, termodinámica)* 4.ª ed., Reverté, s.a.
- Klaus Reischle. *Biomecánica de la natación*. Madrid, Gymnos, S.L.

