

Diseño y construcción de un medidor de la fuerza durante la brazada de natación en estilo libre

Maria Teresa De Ossa Jiménez, Catalina Granados Acevedo[¶]

Programa de Ingeniería Biomédica. Escuela de Ingeniería de Antioquia–Universidad CES, Colombia

Recibido 12 de agosto de 2009. Aceptado 26 de noviembre de 2009

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MEASURER OF THE FORCE DURING THE STROKE IN FREE STYLE SWIMMING

Resumen—La medición de la fuerza aplicada durante la brazada en estilo libre de natación puede constituirse como herramienta para prevenir las lesiones del hombro en deportistas, para corregir fallas en la rutina de entrenamiento y para mejorar el rendimiento físico del nadador. Sin embargo, la ausencia de investigaciones sobre biomecánica de la natación en Colombia hace difícil el acceso a dispositivos que permitan evaluar, de manera cuantitativa y cualitativa, el desempeño de un nadador. Este proyecto presenta un prototipo para medir la fuerza de la brazada en natación en la modalidad de estilo libre, mediante la implementación de sensores de fuerza localizados en la mano. El prototipo consta de un circuito electrónico para la adquisición de la señal y un software para el procesamiento de la señal. Las pruebas realizadas con el prototipo, en investigaciones preliminares, arrojaron resultados satisfactorios en cuanto al patrón de fuerza aplicado durante la brazada. Es importante resaltar que los sujetos de prueba utilizados en este proyecto fueron sujetos no entrenados, por lo que se espera obtener valores de fuerza más bajos respecto a valores de investigaciones preliminares realizadas por otros grupos de investigación en donde utilizaron sujetos entrenados. Los resultados mostraron patrones similares a los reportados por otros autores en los que se pueden apreciar los picos representativos de las fases de la brazada de la natación en estilo libre.

Palabras clave— Biomecánica de la brazada, Estilo libre, Medición de la fuerza, Natación, Sensor de fuerza.

Abstract— The force measurement during the stroke in freestyle swimming can be established as a tool to prevent shoulder injuries in swimmers, correcting faults in training routines and improving the physical performance of the swimmer. However, the lack of research on swimming biomechanics in Colombia makes it difficult to have access to devices that allow the performance evaluation of a swimmer, both quantitatively and qualitatively. This project involves the development of a prototype that measures the force of the freestyle stroke in swimming through force sensors located at the hand; the prototype consists of an electronic circuit for signal acquisition and a signal processing software. Preliminary research tests made with the prototype yielded satisfactory results regarding force patterns applied at the stroke. It should be noted that test subjects who participated in this project were not trained, so it is expected to obtain lower force values than those obtained by other groups where subjects were trained. The final results contain similar patterns to those reported by other authors in which the peaks represent the phases of the stroke of freestyle swimming.

Keywords— Biomechanics of stroke, Freestyles, Force sensors, Measurement of force, Swimming.

[¶] Dirección para correspondencia: bmcatag@eia.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

La brazada del estilo libre en natación puede ser dividida en cinco fases: entrada de la mano, agarre, amplio movimiento del brazo, final y recuperación (Fig. 1). Aquí, la articulación del hombro se convierte en la protagonista principal de este gesto en natación [8-11]. En la *entrada* la mano del nadador ingresa en el agua, primero entran las yemas de los dedos, en frente de la cabeza entre la línea media sagital y el borde del hombro, con el pulgar rotado ligeramente hacia abajo para minimizar el arrastre. La muñeca, el antebrazo y el codo siguen la mano a través del “agujero” que crean los dedos en el agua; la mano se extiende hacia el frente para una posición amplia. El *agarre* empieza con la flexión de la muñeca unos 40 grados y la palma rota hacia el exterior; la mano presiona hacia abajo y hacia fuera hasta el punto más ancho del hombro (a una profundidad alrededor de 0,6 m para los hombres y 0,5 m para las mujeres). En el *amplio movimiento del brazo* la mano rota hacia adentro y realiza un amplio movimiento del brazo hacia la línea media del cuerpo hasta al punto más estrecho del patrón de arrastre y alcanza su máxima aceleración. El *final* de la brazada se inicia cuando la mano cambia de dirección hacia el exterior y hacia atrás, alejándose de la línea media hacia la superficie del agua a un lado del cuerpo; la mano sale del agua con la palma dirigida hacia el muslo. Finalmente, en la *recuperación*, la mano sale del agua y abarca el intervalo desde la salida de la mano hasta la entrada de los dedos. Durante la recuperación, el codo se curva y alza, y se relaja el brazo. Todo el movimiento del brazo durante el arrastre se centra en la articulación glenohumeral del hombro. Durante la recuperación, el brazo en relación con la articulación es abducido y externamente rotado, mientras que durante el arrastre el brazo es internamente rotado y aducido.

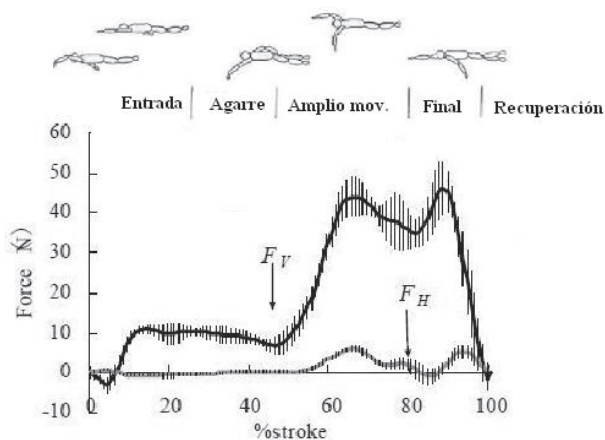


Fig. 1. Gráfica de la fuerza hidrodinámica actuando sobre la mano durante 5 ciclos de estilo libre. Las figuras de arriba indican los diferentes instantes de la brazada [1].

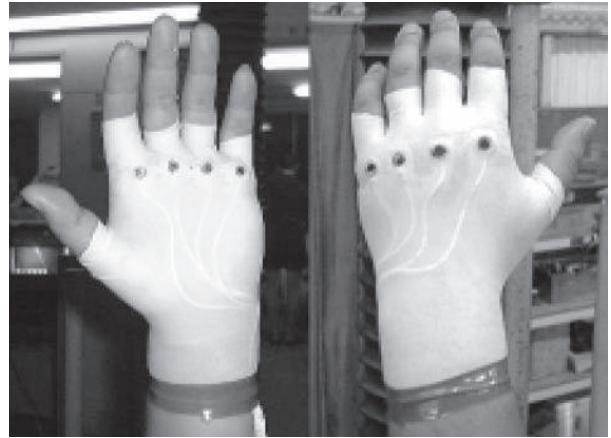


Fig. 2. Fotografía del guante instrumentado con ocho

transductores de presión [1]. La caracterización del gesto de la brazada de natación, en la modalidad de estilo libre, ha tenido grandes avances desde la instrumentación debido a que se han aplicado diversos dispositivos para medir la fuerza efectiva en la brazada. Sin embargo, en Suramérica y particularmente en Colombia, la aplicación de estos dispositivos aún es incipiente, son pocas las investigaciones realizadas en este ámbito y en ellas no se han reconocido herramientas para mejorar el gesto deportivo de los nadadores.

En la biomecánica de la natación se han implementado diversos métodos que permiten medir la fuerza que el nadador ejerce con todo su cuerpo y con los miembros superiores; algunos de estos métodos son: cinematográfico [1], celdas de carga [1], MAD-system [2], Aquanex [3-4] y guantes instrumentados [1,5-6].

Una aproximación concreta a los guantes instrumentados fue la de Takagi & Wilson en 1999 [5], en la cual utilizaron transductores en el dorso y en la palma de la mano (Fig. 2) [1,6] que permiten registrar el componente perpendicular de la fuerza hidrodinámica. Los resultados obtenidos al medir la fuerza en la brazada muestran como la mayor parte de la fuerza se produce hacia el final de la brazada cuando el nadador realiza los barridos hacia adentro y hacia arriba. Para adquirir mayor velocidad durante el gesto, el nadador debe realizar un esfuerzo constante para tratar de maximizar la fuerza propulsiva que puede generar, a la vez que debe minimizar las fuerzas resistivas que experimenta.

Para que el nadador pueda mejorar y analizar su técnica es posible realizar un vídeo que permita observar su brazada; sin embargo, lo más indicado es analizar la brazada mediante un software especializado, que además de mostrar el desempeño del nadador dentro del agua permita determinar la forma para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones corporales [7]. Mediante la medición de la fuerza en el gesto se puede ayudar a corregir errores en

la brazada, comparar con qué fuerza se ejerce la brazada en los dos brazos, desarrollar una coordinación en los movimientos, mejorar la amplitud de los movimientos y la velocidad de la brazada, evitar lesiones en las articulaciones (que son muy comunes en los nadadores), y optimizar el tiempo de entrenamiento.

Durante las mediciones se considera que la fuerza es igual a la presión por el área, las mediciones realizadas hasta hoy no son satisfactorias, ya que sólo sensan algunos puntos de la mano y el dorso, incumpliendo la fórmula en que la mayor fuerza hidrodinámica la genera toda el área de la mano y no sólo unos puntos. El propósito de este proyecto es diseñar y construir un dispositivo que sense la fuerza hidrodinámica de la brazada en la modalidad de estilo libre, de manera aproximada y que pueda brindar a los nadadores y entrenadores un nuevo método para evaluar sus técnicas; lo cual permitirá un mejoramiento en el nivel de competencia y en el estado físico del nadador, logrando disminuir la ocurrencia de lesiones, constituyendo una solución integral y económica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

Hardware: se utilizaron amplificadores operacionales TL074 y sensores de fuerza FlexiForce® modelo A201.

Software: para el procesamiento de la señal se utilizó el software LabView 8.2 y una tarjeta de adquisición de datos National Instruments DAQPad-6016.

Para la inmersión del prototipo se utilizaron guantes de palpación. El prototipo mecánico se fabricó en una impresora 3D Dimension sst 1200, en plástico ABS (Acrilo nitrilo butadieno estireno).

B. Métodos

En la Fig. 3 se muestra un diagrama de bloques que contiene la metodología utilizada para consultar, medir y obtener los datos necesarios para desarrollar el proyecto.

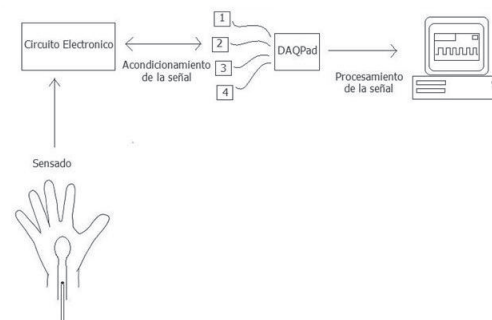
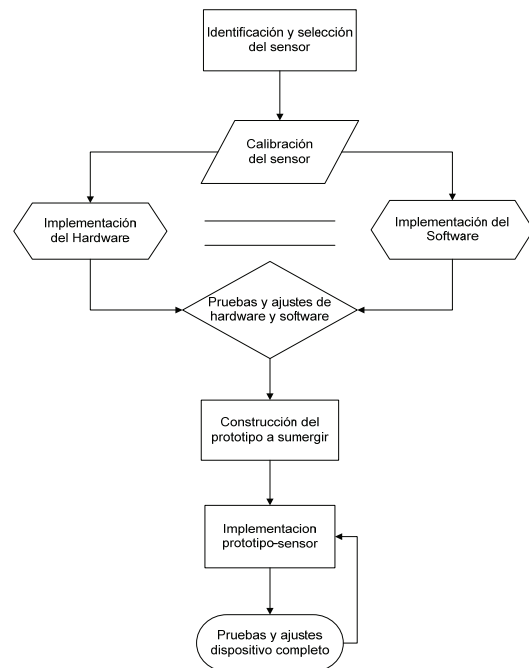


Fig. 3. Esquema de la metodología de trabajo.

- *Calibración del sensor:*

Antes de llevar a cabo la calibración de los sensores se estableció el rango de fuerza a medir durante las pruebas con el sistema. De acuerdo a Takagi & Sander (2002) [6], quienes sensaron la fuerza de hombres y mujeres nadadores profesionales y novatos, se decidió tomar un

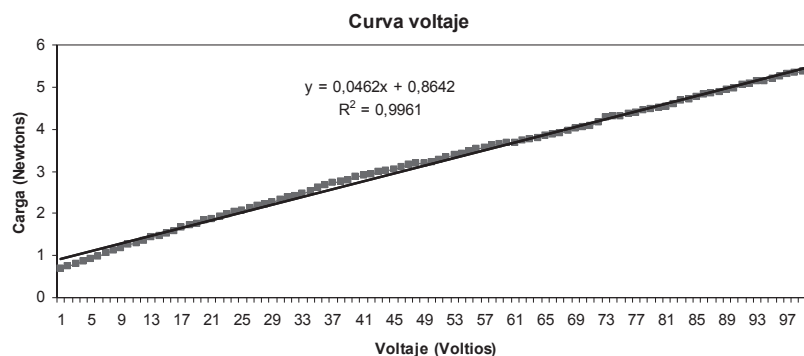


Fig. 4. Gráfico típico de voltaje contra carga para una calibración del sensor FlexiForce®.

rango de fuerzas entre 1N y 100N. Así, se buscó un sensor que cumpliera con las características requeridas para sensar una presión máxima de 100N, con buena respuesta lineal y un tamaño mínimo para evitar incomodidades en la mano del nadador.

Teniendo los valores de la resistencia para cada carga aplicada al sensor, se encontró el voltaje correspondiente a cada uno, se reemplazó el valor de la resistencia para cada carga aplicada y de esta manera se encontró el voltaje para cada una de las cargas.

Luego de tener estos valores se realizaron las curvas típicas para la calibración del sensor (Fig.4).

- *Implementacion del hardware*

La implementación del circuito se basó en las recomendaciones del Flexiforce User Manual Tekscan (Fig.5).

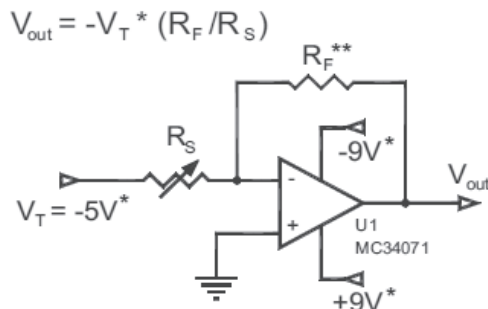


Fig. 5. Circuito recomendado por Tekscan para el montaje de los sensores FlexiForce® [35].

Para calcular el valor de la resistencia R_p se tuvo en cuenta que el valor de la misma es mínimo cuando se aplica al FlexiForce® la fuerza máxima.

Se utilizó una máquina de ensayos universales INSTRON, modelo 3366, y teniendo en cuenta que la fuerza máxima a sensar es de 100 N, se encontró que el valor de la resistencia R_f es 75 KΩ. Además, para el buen funcionamiento del hardware, se ubicaron condensadores de desacople en todas las alimentaciones para que las señales de alta frecuencia, inducidas por ruido, encontraran un camino de baja impedancia a tierra y no se fueran al circuito integrado. Se usaron condensadores cerámicos ya que tienen un comportamiento más estable, y no pierden capacitancia con el tiempo.

Para la disminución del ruido en las salidas de cada sensor se implementaron filtros pasivos pasabajas, con frecuencia de corte f_c de 5 Hz. Se decidió utilizar esta frecuencia de corte debido a que una brazada equivale aproximadamente a un segundo (1 Hz); así se tuvo en cuenta la posibilidad de que la brazada se realizara en menos de un segundo.

- *Modelo mecánico de palanca*

Para obtener una medida de la fuerza aplicada en la mano similar a la reportada por otros autores se propuso el siguiente modelo mecánico de palanca (Fig. 6).

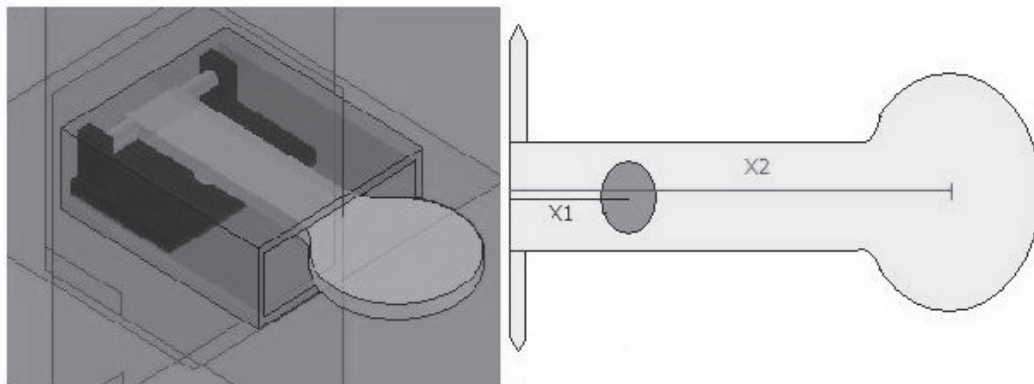


Fig. 6. A) Esquema de palanca realizado en Solid Edge V16. En el gráfico B) se diferencian X1 y X2 para efectos de la fórmula 10.

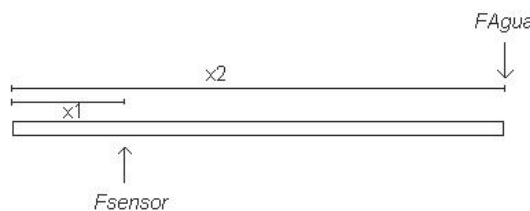


Fig. 7. Diagrama de cuerpo libre para la palanca.

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ F_{Agua} x_2 - F_{sensor} x_1 &= 0 \\ F_{Agua} &= F_{sensor} \frac{x_1}{x_2}\end{aligned}\quad (5)$$

Donde:

F_{Agua} es la fuerza que ejerce el agua sobre el disco de la palanca

F_{sensor} es la fuerza mecánica puntual que se le aplica al FlexiForce®.

X_1 es el brazo de palanca del sensor al punto de giro (2,5 cm)

X_2 es el brazo de palanca del sensor al centro del disco (10 cm)

Con este sistema se trabaja con un sensor ubicado en la articulación radiocarpiana, (Fig.8A), trasladando la fuerza desde la palma hasta el sensor (Fig.8B). Este sistema de palanca funciona con baja fricción en el acople de las dos piezas, no presenta pérdidas de fuerza representativas en dicho acople, lo que garantiza que los valores de fuerza no se alteren. Con este sistema al FlexiForce® se le aplica una fuerza mecánica puntual, ya que la fuerza hidrodinámica que se produce al mover la mano se traduce a fuerza mecánica debido al empuje que produce el agua sobre la palanca (Fig.8C).

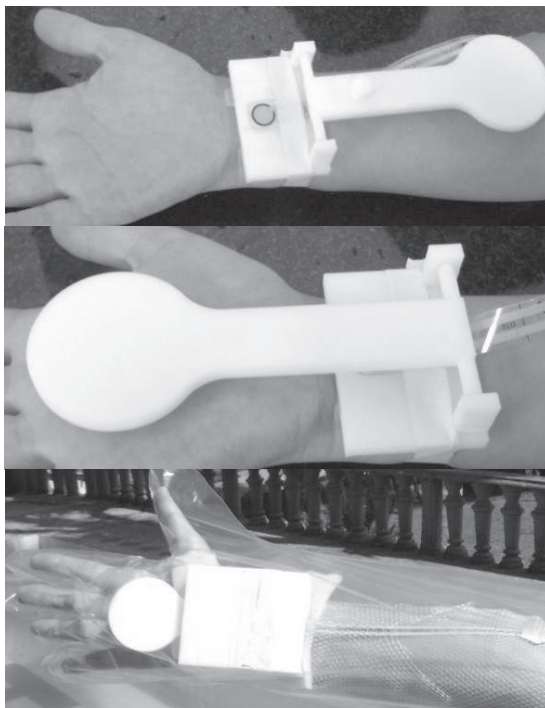


Fig. 8. Dispositivo de palanca. A) con el sensor adentro. Ubicado en la articulación radiocarpiana. B) Dispositivo de palanca posicionado correctamente. C) Dispositivo ensamblado en la mano del sujeto de prueba.

Para realizar las pruebas de funcionamiento se estableció el siguiente protocolo:

Se fijó el voltaje de una fuente de alimentación en +12 V y -12 V como carga para los amplificadores. Las conexiones seguían el siguiente orden: conexión del circuito a la fuente, encendido de la tarjeta de adquisición de datos, conexión a las salidas del circuito y conexión de la tarjeta al puerto USB del computador. Se trabajó con la misma configuración de la tarjeta de adquisición: se usó el modo NRSE que se utiliza para medir la diferencia de voltajes entre cada una de las salidas de los sensores y la tierra. Además, se utilizó el modo *continuo* de adquisición, una frecuencia de muestreo de 1 kHz, y un rango de adquisición en cada canal de -10 V y +10 V. Finalmente, se verificó la ausencia de ruido y que no existiera señal DC (que la señal de todos los sensores estuviera en cero).

Después de conectar los sensores al circuito siempre se rectificó el funcionamiento y la estabilidad de la señal antes de comenzar las pruebas ya que estas se llevan a cabo en un lugar abierto donde el medio afecta las medidas.

Una vez verificado el funcionamiento del hardware y el software se procede a ubicar la palanca con el sensor en la palma de la mano del sujeto teniendo cuidado de que al ponerla no quede presionado el sensor. Luego se instalan unas mallas a lo largo de la mano para sostener la correa que conecta el sensor con el circuito del cual se obtiene la señal. Posteriormente, se ubican dos guantes de palpación que abarcan todo el brazo, desde los dedos hasta el hombro del sujeto y allí se aseguran con bandas adhesivas y elásticas para evitar la entrada de agua.

Una vez se ha verificado el correcto funcionamiento del circuito y se ha colocado en la mano el prototipo para medir la fuerza de la brazada de natación en estilo libre, se procede a hacer la prueba.

En la etapa de conexión y verificación de funcionamiento el sujeto no debe exponer los componentes al agua sin la protección del guante.

Luego, el sujeto de prueba se ubica en el borde de la piscina y sumerge la mano tratando de imitar el gesto de la brazada de natación en estilo libre.

La interfaz grafica está en funcionamiento en el mismo momento que el sujeto comienza el gesto de la brazada. Se realizan tres brazadas, durante el tiempo que transcurren las brazadas se puede observar en tiempo real la fuerza que está ejerciendo el nadador sobre el sensor.

III. RESULTADOS

En la Fig. 11 se puede observar que la brazada corresponde a un nadador sin entrenamiento que realiza la brazada en estilo libre: la curva inclinada hacia la derecha es una muestra de que el nadador se inclina y hace un barrido hacia abajo con la mano inmediatamente después de entrar al agua. Esto significa que la fuerza se produjo hacia arriba en lugar de avanzar en la dirección correcta. Por esto, a pesar de que el nadador trata de impulsar el agua con más fuerza no se logra un aumento significativo. En la Fig. 11 también se puede observar que la curva es regular y presenta un patrón repetitivo en el tiempo. Estas curvas presentan poco ruido gracias al procesamiento de la señal.

También se pueden observar las cinco fases de la brazada (Fig.12). En la entrada se observa la fuerza que ejerce el nadador hacia arriba al entrar la mano al agua; luego en el agarre, el cambio leve de la curva muestra que la muñeca se flexiona un poco y llega a determinada profundidad; en el amplio movimiento del brazo se alcanza una máxima aceleración, se puede observar en la gráfica porque la fuerza aumenta de manera significativa. En la fase final se observa un cambio de dirección y el paso de la fuerza final a la fase de recuperación. En la recuperación se observa que no se ejerce fuerza sobre el sensor ya que la mano esta fuera de la piscina.



Fig.11. Gráfico de fuerza obtenido con el prototipo de palanca.

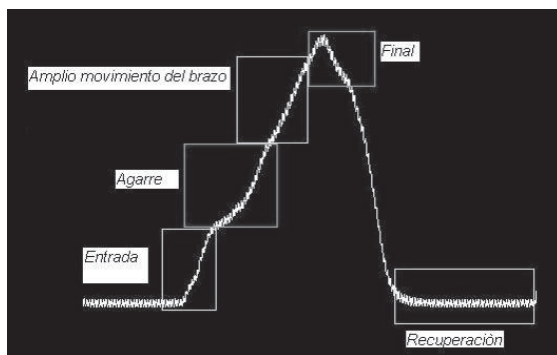


Fig.12. Análisis de las cinco fases de la brazada en la curva obtenida con el prototipo de palanca.

El valor de fuerza que arroja LabVIEW, en el momento que se realiza la brazada, no es el valor de la fuerza neta que se realiza sobre la mano debido al sistema de palanca. Para encontrar esta fuerza neta se deben usar las siguientes ecuaciones:

$$F_{neta} = F_{Agua} A_{Total} \quad (6)$$

Donde:

F_{neta} es la fuerza neta aplicada a la palma de la mano

F_{Agua} es la fuerza que ejerce el agua sobre el disco de la palanca

A_{Total} es el área del disco de la palanca, dividido por el área activa del FlexiForce®

Sacando un promedio de las F_{sensor} de las 26 prueba realizadas (13 para cada sujeto de prueba) y reemplazándolo en la ecuación 9, se tiene que:

$$F_{Agua} = \frac{(7,57N)(2,5cm)}{10cm} = 1,89N \quad (7)$$

$$A_{total} = \frac{A_{disco}}{A_{FlexiForce}} = \frac{\frac{\pi}{4}(5cm)^2}{\frac{\pi}{4}(0.9cm)^2} = 27,53 \quad (8)$$

Se reemplazan (7) y (8) en (6):

$$F_{neta} = 1,89N \times 27,53 = 52,03N$$

Siendo 52,03N la fuerza neta que se ejerce sobre la palma de la mano.

IV. DISCUSIÓN

Las pruebas realizadas con el sensor arrojaron resultados satisfactorios. El modelo de palanca tiene aplicabilidad ya que corrobora de manera aproximada el valor de la fuerza teórica de otras investigaciones realizadas con sensores y métodos cinematográficos [2-3,6].

Las pruebas realizadas con el prototipo de palanca concuerdan con la investigación de Takagi y colaboradores [6], quienes realizaron una comparación del perfil de fuerza de nadadores novatos y nadadores competitivos (Fig. 13).

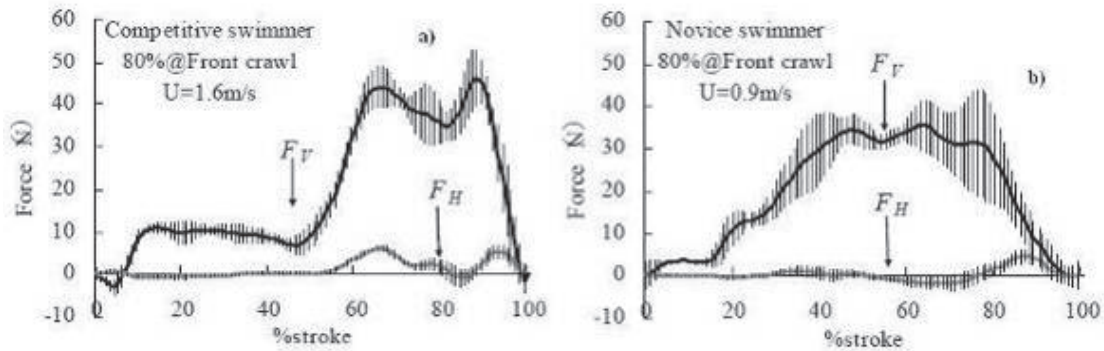


Fig. 13. Perfil de fuerza para un nadador novato y un nadador competitivo en estilo libre [6].

Comparando la Fig. 12 con la Fig.13b se puede observar la similitud de las curvas; además es notable que en cada curva se pueden ver las cinco fases de la brazada: la entrada, el agarre, el amplio movimiento del brazo, el final y la recuperación. Cabe resaltar que al final de la brazada el nadador hace una mayor fuerza.

En la Fig. 13a y 13b se muestra la diferencia entre el nadador competitivo (a) y el nadador novato (b) apoyando esto los resultados obtenidos ya que los sujetos de prueba son nadadores novatos. El nadador no entrenado produce un pico de fuerza desde la entrada de la brazada, mientras que el nadador competitivo realiza con mayor vigor el final de la brazada, mostrando un cambio en la fuerza hidrodinámica y mostrando un pico de fuerza en las dos últimas fases de la brazada.

Comparando los resultados de fuerza obtenidos en la implementación de los prototipos desarrollados con los resultados de otras investigaciones se encontró que los valores de fuerza obtenidos presentan una diferencia de aproximadamente 5 Newtons, la discrepancia de estos resultados puede atribuirse entre otros a: las condiciones de trabajo no fueron las ideales; la arquitectura del sensor no fue la más adecuada para esta aplicación puesto que al sensor FlexiForce® se le debe distribuir la carga aplicada de manera uniforme en toda el área activa para garantizar la exactitud de la señal sensada [12]; el cuerpo no estuvo totalmente sumergido en el agua, por lo tanto la profundidad a la que se trabajó no fue óptima debido a que la profundidad de la piscina contribuye a la disipación de las olas de arrastre y la velocidad del flujo es mayor sobre la superficie que en lo profundo de la piscina [13]; el sujeto de prueba en el borde de la piscina no se puede mover a través del agua y por lo tanto no puede superar las fuerzas de arrastre [13]; realizando la brazada desde el borde de la piscina sin mover el cuerpo aumenta la fuerza relativa de la brazada ya que aumenta la velocidad entre el agua y la mano [3,6,14].

En este proyecto sólo se sensó la fuerza sobre la palma de la mano; en comparación con otras investigaciones no se pusieron sensores ni en el dorso ni en la palma de la mano para sensar la fuerza de arrastre y de momentum respectivamente [3,6]. Se puede argumentar que el valor de la fuerza obtenida fue aproximadamente 5N más de lo esperado debido a que en el proyecto realizado no se restó la fuerza de arrastre ya que no fue sensada.

V. CONCLUSIÓN

Se construyó un prototipo para medir la fuerza de la brazada de natación en estilo libre, tanto el hardware como el software funcionaron satisfactoriamente. Las pruebas realizadas con el prototipo de palanca arrojaron resultados satisfactorios, logrando los objetivos propuestos. Dichos resultados contienen patrones similares a los reportados por otros autores en los que se aprecian los picos que representan las fases de la brazada de la natación en estilo libre.

Se logró implementar y ejecutar el protocolo de calibración del sensor y se procedió al diseño del software de adquisición y procesamiento de la señal en LabVIEW 8.2 logrando obtener poco ruido en la señal y un patrón de fuerza repetitivo en la mayoría de las pruebas realizadas. Se obtuvieron resultados acordes con algunas investigaciones realizadas anteriormente por otros investigadores, permitiendo corroborar que la mayor fuerza en la brazada de natación en estilo libre se presenta en el último momento de la brazada, justo en la fase final.

En el trabajo futuro del proyecto se propone realizar una búsqueda más intensiva de sensores de fuerza, escudriñando la característica principal de no necesitar una carga puntual para arrojar un resultado óptimo. Además, se propone trabajar con conexión inalámbrica para eliminar el cableado dentro de la piscina, reduciendo

los riesgos del sujeto de prueba. Para continuar con esta línea de biomecánica de la natación se propone investigar y crear un prototipo de ergómetro que sense la actividad física del deportista que brinde al entrenador datos cuantitativos y cualitativos para mejorar el rendimiento y la salud del deportista. Además, como el prototipo está arrojando valores acordes con aquellos en nadadores novatos, se recomienda plantear un estudio con nadadores entrenados.

Según los resultados mostrados se concluye que el prototipo desarrollado es una herramienta de gran utilidad para la medición de la fuerza de la brazada de natación en estilo libre

AGRADECIMIENTO

Las autoras agradecen a la Escuela de Ingeniería de Antioquia y a la Universidad CES por el apoyo que les brindaron durante todo el proceso de formación académica.

Agradecen también al director del trabajo de grado Andrés Torres Velásquez, a los asesores Robinson Torres Villa, PhD, a Yesid Montoya Goez, MsC, y al ingeniero electrónico Hernán Yarce.

El último agradecimiento, pero no el menos importante, es para los compañeros de estudio y a las demás personas que de una u otra manera hicieron posible la realización del trabajo de grado del cual se origina este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Llana B.S. El análisis biomecánico en natación, Universidad de Valencia. Disponible online: http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf
- [2] Toussaint H., Truijens M. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*. 55(1), 17-40, 2005.
- [3] Havriluk R. Hand force and swimming velocity. Swimming technology research, USA, XVth Federation Internationale de Natation World Congress, Indianapolis, IN, 2004. Disponible inline: <http://swimmingtechnology.com/FINA2004.htm>
- [4] Aquanex, swimming technology research. USA. 2009. Disponible online: <http://swimmingtechnology.com/Aquanex.htm>
- [5] Takagi H., Wilson B. Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. Proceedings of the Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, Finland, 101-106, 1999.
- [6] Takagi H., Sanders R. Measurement of propulsion by the hand during competitive swimming. 4th International Conference on the Engineering of Sport, Kyoto, 631-637, 2002.
- [7] Ramírez F.E., Cancela C.J.M. El entrenamiento de la fuerza en natación. Criterios a tener en cuenta para su desarrollo. *Revista Digital efdeportes*. 7(37), junio 2001. Disponible online: <http://www.efdeportes.com/efd37/fzanat.htm>
- [8] McMaster W. C., Troup J.P. Competitive Swimming Biomechanics: Freestyle. *International SportMed Journal*. 2(6), 2001.
- [9] Camiña F. El entrenamiento de jóvenes nadadores. Editorial Vitoria Gasteis, España, 1995.
- [10] Moreno J.A. Gestos deportivos en los estilos braza y mariposa. F. Santonja y I. Martínez (Eds.), *Deporte y Salud: Natación y Vela*. Murcia: Universidad de Murcia, 53-65, 1996.
- [11] Agudelo G., Dorado L., Quezada D., Ramírez K., Ramírez S., Realpe J., Vargas V. R. Análisis biomecánico de la brazada en las fases de la técnica libre en natación. Informe sexto semestre asignatura Biomecánica. Escuela Nacional del Deporte. Tecnología en Deporte. 2008. Disponible online: <http://www.scribd.com/doc/3792826/Analisis-Biomecanico-Brazada-Natacion>
- [12] Tekscan, FlexiForce®: standard & custom OEM force sensing solutions. FlexiForce brochure. Boston (USA). 2009. Disponible online: <http://www.tekscan.com/flexiforce.html>
- [13] Berger A.M., Hollander P., de Groot G. Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *Journal Biomechanics*, 28(2), 125-133, 1995.
- [14] Lutomski P., Stankowski T., Konarski J., Pietrusik K., Ciereszko A., Strzelczyk R. Sobre los estudios del empuje en Natación. *Journal of human sport and exercise*, III(2), 25-33, Alicante. España, julio 2008.