

Trabajo de Fin de Grado (TFG)

**INFLUENCIA DE DOS PROTOCOLOS DE ENTRENAMIENTO CON FLYWHEEL VERSUS TRADICIONAL EN LA FATIGA Y LA COMPLEJIDAD.**



AUTOR: ADRIÁN GARCÍA  
GARABAL  
TUTOR: RAFAEL SABIDO  
SOLANA

## 2. ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Entrenamiento de fuerza y rendimiento neuromuscular	
1.2 Entrenamiento con flywheel	
1.3 Entrenamiento de fuerza y fatiga	
1.4 Herramientas no lineales para medir adaptaciones y fatiga	
1.5 Objetivo del trabajo e hipótesis	
<b>2. MÉTODO</b>	
2.1 Participantes	
2.2 Procedimiento	
2.3 Instrumentos de medida	
2.4 Análisis estadístico	
<b>3. REFERENCIAS</b>	
<b>4. ANEXOS</b>	

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Entrenamiento de fuerza y rendimiento neuromuscular.**

El rendimiento atlético se define como una variable multifactorial dependiendo de una serie de factores físicos, genéticos, psicológicos, técnicos, tácticos y ambientales (Araujo Rivas & Hernández Guerrero, 2021). Dentro de los factores físicos, el entrenamiento de la fuerza ha demostrado producir mejoras significativas en el rendimiento neuromuscular mejorando parámetros como los cambios de dirección, el salto vertical y el sprint (Seitz et al., 2014; Vallejo Ruano & Morcillo Losa, 2021; Suchomel et al., 2016; Sabido et al., 2017).

### **1.2 Entrenamiento con flywheel.**

El entrenamiento de fuerza con dispositivos isoinerciales es una tendencia que se encuentra en auge en los últimos años (Beato et al., 2021). Dicha metodología ha mostrado ser efectiva para obtener mejoras en estos parámetros de rendimiento, incluso para la prevención y rehabilitación de lesiones (Greenwood et al., 2007). El sistema de funcionamiento de estos dispositivos consiste en una cuerda enrollada en una base giratoria, la cual gira en torno a un volante de inercia que dispone de contrapesos que se pueden añadir o retirar los cuales determinan el momento de inercia (Sabido, et al., 2020). La cuerda se enrolla y se desenrolla en ambos sentidos devolviendo la misma fuerza que se le aplica, lo cual favorece la demanda de frenado en las acciones excéntricas (Torres & Haro, 2022). Este sistema se acerca más a lo que ocurre en los deportes replicando el ciclo de estiramiento-acortamiento (Petré et al., 2018). Si además se dan las indicaciones técnicas concretas (como frenar en el último tercio del movimiento y ejecutar la fase concéntrica a la máxima velocidad) se produce la denominada sobrecarga excéntrica que consiste en la presencia de un aumento de la carga durante la fase excéntrica del movimiento respecto a la concéntrica (Raya-González et al., 2021).

### **1.3 Entrenamiento de fuerza y fatiga.**

En el deporte existen multitud de parámetros neuromusculares que requieren de la fuerza muscular y de sucesivas contracciones concéntricas y excéntricas (Boyas & Guével, 2011). Esta repetición de cargas máximas y submáximas musculares acaba provocando una disminución del rendimiento provocando la fatiga neuromuscular que se define como la incapacidad de producir fuerza de un músculo o grupo muscular independientemente de si la tarea puede ser sostenida o no (García-Aguilar et al., 2022). La fatiga no solo limita la capacidad de generar fuerza máxima sino también una disminución en la velocidad de contracción y por lo tanto de potencia (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Uno de los instrumentos más utilizados es la pérdida de salto con contramovimiento, debido a su validez y su coste no elevado comparado con otros métodos invasivos (Miras Moreno, 2020). Esta herramienta sirve tanto para medir la fatiga aguda después de una sesión de entrenamiento como para medir la fatiga crónica de toda una temporada en muchos de los deportes (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Las plataformas de contacto permiten calcular la altura de salto sin necesidad de saber la velocidad

de despegue a través de la fórmula  $h = t^2 \cdot g/8$  (donde  $t$  es tiempo y  $g$  es gravedad) (Jiménez-Reyes et al., 2011).

#### **1.4 Herramientas no lineales (HNL) para medir adaptaciones y fatiga.**

Siguiendo en el estudio de la fatiga neuromuscular ha sido estudiado desde las fluctuaciones de fuerza (Pethick et al., 2019). Sin embargo, surgen otros métodos como son las herramientas no lineales que estudian la complejidad o estructura temporal de las fluctuaciones que nos aporta información sobre la intensidad de la fatiga (García-Aguilar et al., 2022). Una señal se considera más compleja cuando se producen fluctuaciones irregulares o aleatorias, mientras que es menos compleja cuando las fluctuaciones son más regulares (Pethick et al., 2015). Algunas HNL para analizar las señales temporales son por ejemplo la entropía (ApEn, SampEn y Fuzzy) y el Detrended Fluctuation Analysis (García-Aguilar et al., 2022). La entropía predice la probabilidad de que una serie de datos se repitan en una serie temporal y valores más altos indicarían que la señal es más aleatoria. Sin embargo, el DFA mide la autocorrelación de la señal y valores más altos indicarían una mayor autocorrelación (García-Aguilar et al., 2022).

#### **1.5 Objetivo del trabajo e hipótesis.**

El objetivo de este trabajo es comparar el efecto en la fatiga entre diferentes protocolos de entrenamiento con flywheel y entrenamiento tradicional utilizando el salto con contramovimiento (CMJ) y HNL. Los autores hipotetizamos que no existen diferencias en cuanto a los niveles de fatiga producidos entre el entrenamiento con flywheel respecto al tradicional.

## **2. MÉTODO**

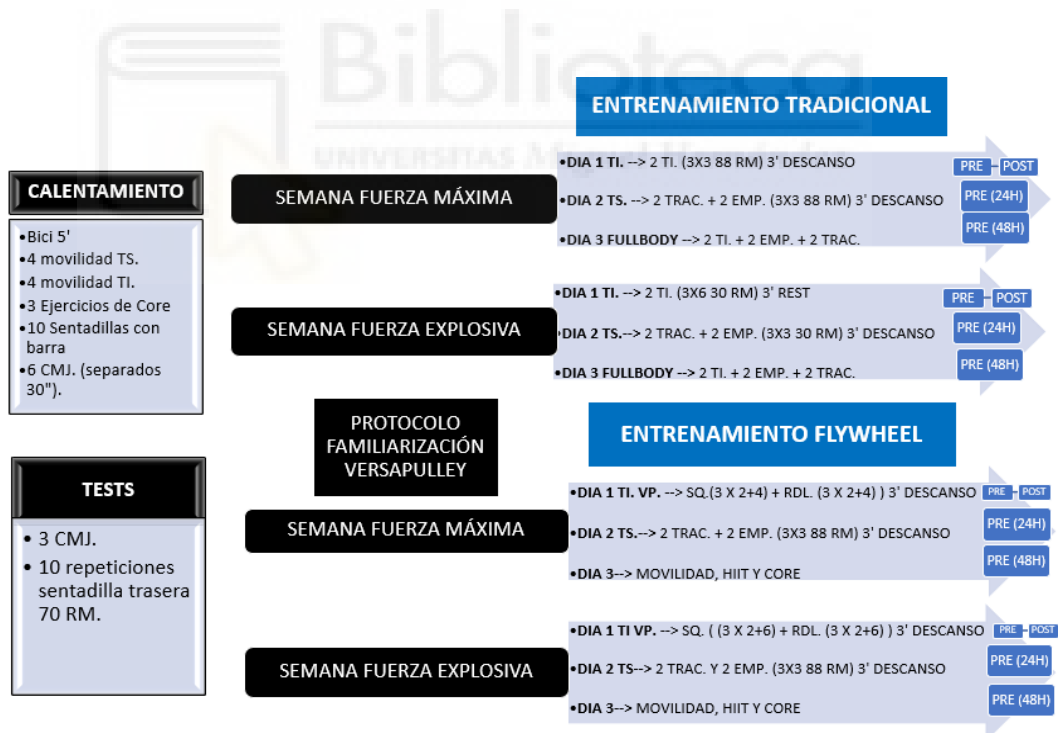
### **2.1 Participantes.**

Dieciocho participantes ( $n=18$ ) físicamente entrenados (edad  $25,22 \pm 3,96$  años; altura  $1,73 \pm 6,55$  m; masa  $73,72 \pm 11,68$  kg; RM  $121,80 \pm 27,04$ ; RM/masa  $1,68 \pm 0,38$ ) participaron en este estudio. Todos los participantes dieron su consentimiento a través de un consentimiento informado el cual explicaba las características y los riesgos del estudio (Anexo 1). Código OIR: 230530100719

### **2.2 Procedimiento.**

El protocolo se compuso de ocho sesiones desarrolladas a lo largo de tres semanas. Durante la primera de ellas tuvieron lugar dos sesiones de familiarización (Sabido et al., 2018), donde se realizaron 3 series de 10 repeticiones (siendo las dos primeras para coger inercia) de los ejercicios de sentadilla y peso muerto utilizando una inercia de ( $0.15 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  y  $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ). Se les dieron las directrices técnicas apropiadas para maximizar la producción de fuerza, retrasando el frenado en el último tercio del movimiento (Sabido et al., 2017). En las dos semanas restantes

se llevaron a cabo tres sesiones consecutivas de fuerza máxima y tres de fuerza explosiva respectivamente. Tras un calentamiento general con ejercicios de movilidad y CORE, se realizaron 6 CMJ separados por 30" y 10 sentadillas con barra, orientados a los dos tests a realizar para obtener los datos sobre fatiga. La semana de fuerza máxima consistió en una primera sesión, con medición pre y post, entrenando con la polea cónica con un volumen de 3 series de 6 repeticiones utilizando las dos primeras para dar inercia al dispositivo. En este caso se utilizó una inercia de 0.4 kg·m<sup>2</sup> y la cuerda, en posición 1 (Anexo 2), se recogía en la parte más alta para minimizar el radio de giro (Sabido et al., 2020). El descanso utilizado entre series fue de 3 minutos, recuperación completa et al., 2020). Las siguientes dos sesiones (24 y 48h) solo se hacía medición pre y se entrenaba fuerza máxima de tren superior (press banca, press militar, dominadas, remo con mancuerna) y el último día CORE y HIIT. Por último, en la semana de fuerza explosiva una vez realizado el calentamiento y las mediciones, se entrenó con la polea cónica con un volumen de 3 series, pero con un total de 8 repeticiones, utilizando 2 para darle inercia al dispositivo. En este caso se utilizó una inercia de 0.15 kg·m<sup>2</sup> y la cuerda, en posición 4 (Anexo 2), giraba en torno a la parte más ancha del cono para mayor producción de potencia (Sabido et al., 2020). Utilizábamos también una recuperación completa con 3 minutos de descanso entre series para poder aplicar la máxima velocidad en cada una de las repeticiones (Sabido et al., 2020). Las dos sesiones restantes se hizo medición pre, fuerza explosiva de tren superior (flexiones lanzadas, press landmine lanzado, remo mancuerna, remo TRX), CORE y HIIT.



## 2.3 Instrumentos de medida.

- CMJ.

Para medir la fatiga se utilizó el análisis de la pérdida del CMJ (Jiménez-Reyes et al., 2016; García Asencio et al., 2015; Jiménez-Reyes et al., 2011; Rusko et al., 1993). Se realizó un CMJ bilateral sin balanceo de brazos en una plataforma de contacto (Chronojump Boscosystem). Los participantes realizaron los saltos comenzando en posición de pie con las manos en las caderas; flexionaron las rodillas utilizando una profundidad seleccionada por ellos mismos y luego intentaron saltar lo más alto posible. Cada participante realizó tres CMJ máximos con 30 s de recuperación pasiva seleccionando el mejor de los tres intentos para el análisis (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

- MEDIDA DE COMPLEJIDAD

Las mediciones se hicieron a través de un dispositivo (IMUs, registered at 200 Hz, through the iSenTM software STT-System, San Sebastián, España, iSenTM software STT-System, San Sebastián, España) colocado en la zona lumbar a la altura de dos crestas iliacas enrollado con un velcro para hacer un total de 10 repeticiones en el ejercicio de sentadilla trasera con una carga del 70 % RM.

## 2.4 Análisis estadístico.

Se realizó un ANOVA de 2x2, con dos niveles en la variable tipo de intensidad (fuerza máxima Vs Fuerza explosiva) y dos niveles en la variable formato de entrenamiento (tradicional Vs Flywheel). La significación estadística fue establecida en  $p < .05$ . El análisis estadístico fue realizado mediante el software SPSS versión 25.0 (IBM, Nueva York, NY, EE. UU).

## 3. REFERENCIAS.

Araujo Rivas, M. A., & Hernández Guerrero, A. J. (2021). Parámetros morfo-funcionales básicos del rendimiento atlético evaluados en los deportes. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 25(273). <https://doi.org/10.46642/efd.v25i273.1645>

Beato, M., Maroto-Izquierdo, S., Hernández-Davó, J. L., & Raya-González, J. (2021). Flywheel Training Periodization in Team Sports. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.732802>

Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. In *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (Vol. 54, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2011.01.001>

García Asencio, C., Sánchez Moreno, M., & González Badillo, J. J. (2015). Entrenamiento combinado de fuerza y ejercicios de saltos, efectos sobre el rendimiento en el salto vertical en un grupo de alto nivel de jugadores de voleibol durante una

temporada completa de competición (Combined strength and jump exercises training,. *Retos*, 29, 140–143. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i29.41305>

García-Aguilar, F., Caballero, C., Sabido, R., & Moreno, F. J. (2022). The use of non-linear tools to analyze the variability of force production as an index of fatigue: A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1074652>

Greenwood, J., Morrissey, M. C., Rutherford, O. M., & Narici, M. V. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6). <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0548-y>

Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & González-Badillo, J. J. (2011). Aplicación del CMJ para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad. (Application of the Counter Movement Jump Test to Monitor Training Load in Sprint Sessions). *Cultura\_Ciencia\_Deporte*, 6(17), 105–112. <https://doi.org/10.12800/ccd.v6i17.37>

Jimenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñafiel, V., Morcillo, J., Párraga, J., & González-Badillo, J. (2016). Mechanical, Metabolic and Perceptual Response during Sprint Training. *International Journal of Sports Medicine*, 37(10), 807–812. <https://doi.org/10.1055/s-0042-107251>

Miras Moreno, S. (2020). La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular . Revisión sistemática. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 37.

Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2015). Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque fluctuations during maximal and submaximal intermittent isometric contractions in man. *Journal of Physiology*, 593(8). <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2015.284380>

Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2019). Relationship between muscle metabolic rate and muscle torque complexity during fatiguing intermittent isometric contractions in humans. *Physiological Reports*, 7(18). <https://doi.org/10.14814/phy2.14240>

Petré, H., Wernstål, F., & Mattsson, C. M. (2018). Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0169-5>

Raya-González, J., Castillo, D., & Beato, M. (2021). The flywheel paradigm in team sports: A soccer approach. *Strength and Conditioning Journal*, 43(1). <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000561>

Rusko, H., Nummela, A., & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(2), 97–101. <https://doi.org/10.1007/BF01427048>

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Botella, J., Navarro, A., & Tous-Fajardo, J. (2017). Effects of adding a weekly eccentric-overload training session on strength and athletic

performance in team-handball players. *European Journal of Sport Science*, 17(5).  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1282046>

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Capdepon, L., & Tous-Fajardo, J. (2020). How Are Mechanical, Physiological, and Perceptual Variables Affected by the Rest Interval Between Sets During a Flywheel Resistance Session? *Frontiers in Physiology*, 11.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00663>

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., García-Valverde, A., Marco, P., & Asencio, P. (2020). Influence of the Strap Rewind Height during a Conical Pulley Exercise. *Journal of Human Kinetics*, 74(1). <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0018>

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., & Pereyra-Gerber, G. T. (2018). Influence of different inertial loads on basic training variables during the flywheel squat exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4).  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0282>

Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9). <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213f880>


Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). Increases in Lower-Body Strength Transfer Positively to Sprint Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(12), 1693–1702.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0227-1>

Torres, F., & Haro, L. De. (2022). Análisis de la fatiga muscular y la percepción del esfuerzo en diferentes protocolos de entrenamiento en el ejercicio de sentadilla. *Rev de Udex*, 1.

#### 4. ANEXOS.

##### Anexo 1: Consentimiento informado.

---



CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Estimado participante, se solicita su colaboración en un estudio de investigación sobre el movimiento humano en el estudio: Influencia de dos protocolos de entrenamiento con flywheel versus tradicional en la fatiga y la complejidad.

Para ello, se realizará 2 sesiones de familiarización con el material y se entrenará durante 6 días. El protocolo se desarrollará en 3 semanas siendo la primera para las 2 sesiones de familiarización y las otras dos entrenando los 3 días consecutivos para medir el efecto agudo. Ninguna prueba tiene un carácter invasivo o agresivo, ni supone algún riesgo para la salud.

Los resultados de esta investigación pueden ser publicados en revistas científicas o ser presentados en congresos, pero su imagen o identidad no será divulgada en ningún momento.

Yo \_\_\_\_\_, con D.N.I \_\_\_\_\_.

He leído la hoja con la información que se me ha entregado.

- He podido hacer preguntas sobre el estudio.
- He recibido suficiente información sobre el estudio.
- He hablado con los investigadores del estudio.

COMPRENDO QUE MI PARTICIPACIÓN ES VOLUNTARIA Y QUE PUEDO RETIRARME DEL ESTUDIO:

- Cuando quiera.
- Sin tener que dar explicaciones.

PRESTO LIBREMENTE MI CONFORMIDAD PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO.

DATOS DESCRIPTIVOS:

Edad: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_ Lateralidad: \_\_\_\_\_

Modalidad deportiva (años de experiencia y frecuencia de entrenamiento): \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_



Anexo 1: Imagen polea cónica.

