

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2016-2017

VALIDEZ Y FIABILIDAD DE UN SENSOR BASADO EN  
ACELEROMETRÍA Y DE UN TRANSDUCTOR LINEAL DE POSICIÓN  
PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE EJECUCIÓN EN EL EJERCICIO DE  
PRESS DE BANCA

*Validity and reliability of an accelerometry based sensor and a linear position transducer to  
measure the speed in the bench press exercise*

Autor: Borja Albalá Gómez

Tutores:

Juan García López

José A. Rodríguez Marroyo

Fecha: 11/09/2017

Vº Bº TUTORES

Vº Bº AUTOR

---

## **RESUMEN**

---

La fuerza y su correcta dosificación y control son factores determinantes para el rendimiento deportivo. El entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución presenta importantes ventajas respecto a los métodos tradicionales de programación. Para la aplicación de este método se requieren dispositivos capaces de medir la velocidad de ejecución en los ejercicios de fuerza. El propósito de este estudio fue evaluar la validez y fiabilidad de un transductor lineal y de un dispositivo basado en acelerometría, para la medición de la velocidad de ejecución. Para ello, se analizó la velocidad de ejecución de forma simultánea con dos transductores lineales (T-FORCE System y Speed4lifts) y con un dispositivo basado en acelerometría (Beast Sensor), durante la ejecución de 231 repeticiones en el ejercicio de press de banca en máquina Smith. Los resultados mostraron la validez y fiabilidad de los transductores lineales para la medición de la velocidad de ejecución. En cambio, no mostraron que el acelerómetro fuera válido ni fiable para dicho cometido. Por lo tanto, los transductores lineales parecen una mejor opción para la dosificación y control del entrenamiento de fuerza. Además, el Speed4lifts resulta una opción especialmente práctica en el ámbito del entrenamiento y rendimiento deportivo, dado que no tiene cableado, su interfaz se muestra en un dispositivo móvil y tiene un precio reducido respecto a otros transductores lineales.

**Palabras clave:** transductor lineal · acelerómetro · velocidad · fuerza

---

## **ABSTRACT**

---

The strength and its correct dosage and control are determining factors for the sport performance. Velocity based strength training has important advantages over traditional programming methods. For the application of this method, are required devices capable of measuring the speed in resistance exercises. The purpose of this study was to evaluate the validity and reliability of a linear transducer and an accelerometry based device, for the measurement of execution speed. For this, the execution speed was analyzed simultaneously with two linear transducers (T-FORCE System and Speed4lifts) and with an accelerometry based device (Beast Sensor), during the execution of 231 repetitions in the Smith machine bench press exercise. The results showed the validity and reliability of the linear transducers for the measurement of execution speed. On the other hand, the results didn't show that the accelerometer was valid or reliable for that purpose. Therefore, linear transducers seem a better choice for dosing and control of strength training. In addition, the Speed4lifts is a particularly practical option in the field of training and sports performance, since it has no wiring, its interface is displayed on a mobile device and has a reduced price compared to other linear transducers.

**Key Words:** *linear transducer · accelerometer · velocity · strength*

---

## ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.1 Importancia de la fuerza.....	5
1.2 Importancia de la dosificación y control del entrenamiento de fuerza.....	6
1.3 Problemática de los métodos tradicionales para la dosificación y el control de la carga del entrenamiento de fuerza .....	8
1.3.a El valor de 1RM cambia de forma diaria .....	9
1.3.b Cambios adaptativos en el 1RM.....	9
1.3.c Valores de 1RM erróneos.....	9
1.3.d Potencial lesivo y gran fatiga acumulada por los test de 1RM y nRM.....	10
1.3.e Cada sujeto puede realizar un número diferente de repeticiones a una determinada intensidad relativa.....	10
1.4 El entrenamiento basado en la velocidad de ejecución.....	11
1.4.a Velocidad de ejecución de la primera repetición.....	11
1.4.b Pérdida de velocidad en la serie.....	13
1.4.c Índice de esfuerzo .....	15
1.4.d Puesta en práctica.....	15
1.5 Instrumentos para la medición de la velocidad de ejecución.....	18
1.5.a Transductores lineales .....	18
1.5.b Dispositivos basados en acelerometría .....	20
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
3.1 Participantes .....	22
3.2 Instrumentación .....	22
3.2.a Máquina Smith .....	22
3.2.b T-FORCE System.....	22
3.2.c Speed4lifts.....	22
3.2.d Beast Sensor.....	23
3.3 Protocolo experimental .....	24

3.3.a Calentamiento .....	25
3.3.b Test incremental.....	26
3.4 Análisis estadístico .....	27
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS .....</b>	<b>35</b>
<b>7. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA.....</b>	<b>36</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1 Importancia de la fuerza

---

La fuerza es la cualidad física más importante para el rendimiento deportivo, puesto que toda acción motriz requiere de contracción muscular y, por lo tanto, aplicar fuerza en una magnitud y un periodo de tiempo determinados, en función de la disciplina deportiva.

Para Tous (1), **“la fuerza es la única cualidad física básica, sólo a partir de la cual pueden expresarse las demás”**. De esta manera, el resto de cualidades físicas dependerían directa o indirectamente de la fuerza. Según González Badillo et al. (2) **“El entrenamiento para la mejora de la fuerza es básicamente el único entrenamiento que puede realizar el ser humano para mejorar su rendimiento físico”**.

Incluso en aquellas modalidades de fondo donde el principal factor de rendimiento es la resistencia cardiopulmonar, la fuerza puede suponer un factor limitante del mismo. Esto es así porque, tanto en disciplinas de fuerza y velocidad, como en disciplinas de resistencia, el objetivo siempre es el mismo: mejorar la velocidad a la que se desplaza una carga, tanto si se trata de un implemento externo, como si se trata del propio peso corporal, y esto sólo puede conseguirse **mejorando la fuerza aplicada por unidad de tiempo**. Esta es la clave del rendimiento deportivo.

En una carrera de fondo, por ejemplo, el vencedor es aquel que consigue desplazar una carga (propio peso corporal) en el espacio, a la mayor velocidad posible. Para conseguir esto, el atleta debe aplicar más fuerza en cada contacto con el suelo y aplicarla en menos tiempo que sus rivales. La excepción serían disciplinas como la halterofilia o el powerlifting, donde el objetivo es movilizar una carga cada vez mayor a una misma velocidad pero, que duda cabe, el principal factor de rendimiento en estas disciplinas es la fuerza.

Por otro lado, se sabe que el entrenamiento de la fuerza es fundamental para la prevención de lesiones (3), lo que puede revertir indirectamente en el rendimiento, puesto que un atleta lesionado no puede entrenar, o no al máximo nivel, y sin entrenamiento no hay adaptaciones.

Queda claro entonces que la mejora de la fuerza es un aspecto fundamental para el rendimiento deportivo y que debería ser una prioridad dentro de los programas de entrenamiento destinados a la mejora del mismo.

## 1.2 Importancia de la dosificación y control del entrenamiento de fuerza

---

Una vez entendida la importancia de la fuerza para el rendimiento deportivo, es necesario comprender la importancia de su correcta dosificación y control.

**“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.”** - William Thomson Kelvin.

La fuerza, entendida como “la capacidad de la musculatura para producir la aceleración o deformación de un cuerpo, mantenerlo inmóvil o frenar su desplazamiento” (2), puede manifestarse de diferentes maneras, en función de la capacidad para generar fuerza y el tiempo necesario para conseguirlo.

Es por ello que existen diferentes manifestaciones de fuerza, como la fuerza isométrica máxima, la fuerza excéntrica máxima, la fuerza dinámica máxima, la fuerza dinámica máxima relativa, la fuerza explosiva, la fuerza elástico-explosiva y la fuerza elástico-explosivo-reactiva.

Cabe destacar, en el ámbito del rendimiento deportivo, la importancia de la **fuerza dinámica máxima relativa** o capacidad para generar la máxima fuerza posible ante una carga submáxima. No existe un solo valor de fuerza máxima, si no que existen tantos valores como cargas ante las que aplicar fuerza. Cada carga tendrá su propio valor de fuerza máxima. El objetivo del entrenamiento de fuerza debe ser mejorar los valores de fuerza máxima ante todas las cargas, no sólo ante la máxima carga que se puede movilizar (fuerza dinámica máxima), especialmente ante aquellas de magnitud similar a las que deben ser movilizadas en la disciplina deportiva.

Es por ello que una correcta dosificación de las cargas se vuelve fundamental, con el fin de poder mejorar la relación **carga-velocidad** en aquella zona de la curva que más nos interese. Una mejora de la fuerza aplicada ante una carga vendrá acompañada necesariamente de un aumento de la velocidad de desplazamiento ante dicha carga. En la **Figura 1**, vemos un ejemplo de una curva fuerza-velocidad, donde se puede ver que a cada valor de carga le corresponde una velocidad concreta.

Por lo tanto, para conseguir los resultados deseados con el entrenamiento de fuerza se vuelve fundamental controlar la intensidad relativa con la que se va a trabajar.

Es también fundamental la correcta dosificación del volumen de entrenamiento, para no generar una excesiva fatiga en el deportista que haga disminuir su rendimiento, ni aplicar una carga demasiado liviana, que no genere una respuesta adaptativa.

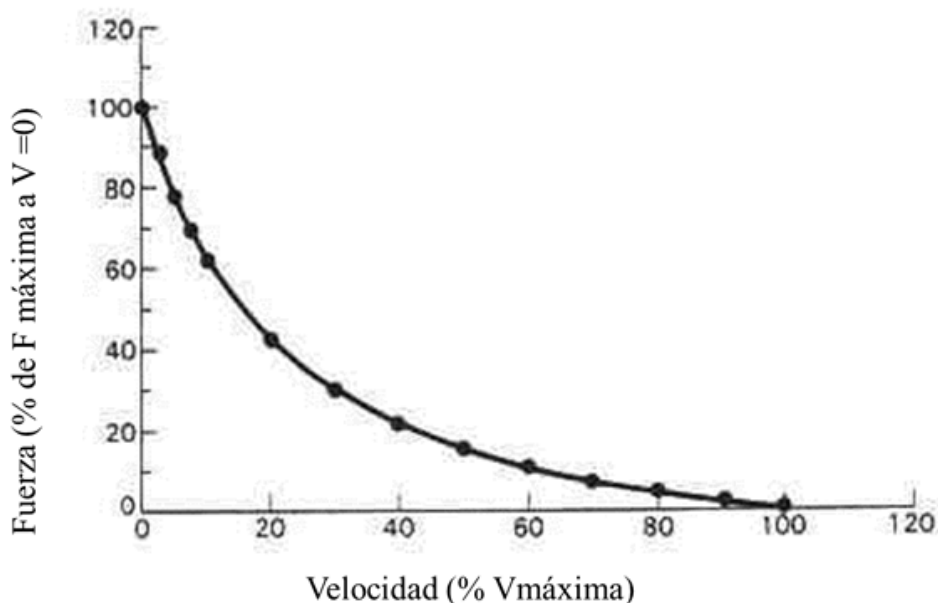


Figura 1. Relación carga-velocidad

La suma de estos dos componentes de la carga representa el **carácter del esfuerzo (CE)** de dicha carga, definido por la relación entre lo que hace el sujeto y lo que podría hacer (4). En el caso del entrenamiento de fuerza, sería la relación entre las repeticiones realizadas y las realizables. Por lo tanto, se deben tener en cuenta dos factores a la hora de definir el carácter del esfuerzo. Por un lado, el número de repeticiones realizadas (volumen) y, por otro lado, el número de repeticiones realizable (intensidad), puesto que no es lo mismo realizar 8 repeticiones pudiendo hacer 10, que realizar 2 repeticiones pudiendo hacer 4. En ambos casos se dejan de hacer dos repeticiones, sin embargo, en uno se realizan un 80% de las repeticiones realizables y en el otro tan sólo un 50%, por lo que el CE será diferente en cada situación.

En definitiva, lo que se debería programar es un CE determinado, ya que éste representa el grado de esfuerzo que realiza el deportista y, por lo tanto, definirá el grado de fatiga que experimentará tras el entrenamiento, siendo éste un aspecto clave a la hora de programar el mismo.

Además de una correcta dosificación es imprescindible un buen control del entrenamiento de fuerza, para determinar si lo que se hace se ajusta a lo programado y, de



esta manera, poder determinar qué tipo de estímulo ha provocado un efecto concreto. Así se podrá mejorar la metodología de entrenamiento e incluso corregir la programación en función de los resultados que se van observando a medida que pasan las sesiones de entrenamiento.

### 1.3 Problemática de los métodos tradicionales para la dosificación y el control de la carga del entrenamiento de fuerza

Tradicionalmente, en el entrenamiento de fuerza, se ha venido utilizando el valor de **una repetición máxima (1RM)**, entendida como la máxima carga (masa) que se puede desplazar una sola vez en una acción dinámica concéntrica en un determinado ejercicio (4), para determinar los diferentes porcentajes de RM, es decir, los diferentes valores de intensidad relativa.

Para la dosificación del volumen, se ha utilizado habitualmente el número de repeticiones por serie. De esta manera, quedaba definido el CE, ya que se asumía que a un determinado porcentaje de RM le correspondía un número concreto de repeticiones máximas realizables. Así, si se trabaja, por ejemplo, con una intensidad relativa del 75% del 1RM, se podrán realizar 10 repeticiones máximas, tal y como se muestra en la **Tabla 1**. Si nosotros programamos la realización de 8 repeticiones con el 75% del 1RM, o expresado de otra manera 8(10), el CE quedará definido por la relación entre lo realizado (8 repeticiones) y lo realizable (10 repeticiones).

**Tabla 1.** Número de repeticiones máximas realizables con cada porcentaje del 1RM

Repeticiones	Intensidad (%1RM)
1	100
2	95
3	93
4	90
5	87
6	85
7	83
8	80
9	77
10	75

Esta metodología para la dosificación del entrenamiento de fuerza presenta algunas deficiencias, las cuales exponemos a continuación.

### **1.3.a El valor de 1RM cambia de forma diaria**

Esto es así puesto que no todos los días el deportista se encuentra en las mismas condiciones a nivel fisiológico e incluso a nivel psicológico. Factores ambientales, como la temperatura o la humedad, la hora del día a la que se entrena y, por lo tanto, el estado hormonal, el nivel de fatiga acumulado por el propio proceso de entrenamiento o por las diferentes actividades diarias, el estado emocional, el cual puede ser alterado por factores psicosociales ajenos al entrenamiento o por la motivación asociada al propio entrenamiento... Todo esto son factores que pueden hacer fluctuar los valores de fuerza del deportista en gran medida y de forma diaria (4). Por lo tanto, si nosotros, habiendo medido un 1RM de 100 kg en un test inicial, programáramos tres sesiones de entrenamiento al 70% del 1RM (70 kg), y tuviéramos unos 1RM reales de 102,5 kg, 95 kg y 105 kg respectivamente para cada una de las sesiones, habríamos trabajado con unas intensidades relativas reales del 68 %, 74% y 67% respectivamente.

### **1.3.b Cambios adaptativos en el 1RM**

Además de fluctuar de forma diaria, como se explica en el punto anterior, el valor del 1RM cambia a lo largo del tiempo por la mejora, o empeoramiento, del rendimiento. En sujetos poco entrenados, el 1RM aumenta tras pocas sesiones de entrenamiento, por lo que trabajando con porcentajes del valor del 1RM medido en un test inicial, se estaría trabajando continuamente con intensidades relativas menores a las programadas. En peor situación se encontrarían los sujetos muy entrenados, ya que sus valores de 1RM tienden a disminuir, respecto al test inicial, durante el proceso de entrenamiento, debido a la fatiga acumulada en el mismo. Por lo tanto, estarían trabajando a intensidades relativas superiores a las programadas, con el potencial lesivo y de sobreentrenamiento que ello supone.

### **1.3.c Valores de 1RM erróneos**

La obtención del valor del 1RM, ya sea medido de forma directa o indirecta (nRM), es un proceso complejo, que requiere una familiarización previa y que siempre acarrea cierto error, sobre todo en sujetos novatos, que no están desinhibidos ante cargas altas. Esto supone que en muchos casos el valor de 1RM medido sea menor del real. Por lo que siempre se trabajaría con intensidades relativas menores a las programadas (4). Peor sería el caso de que, estimando el valor del 1RM mediante un test de nRM y a través de una ecuación

predictiva, se estime un 1RM mayor del real, en cuyo caso se trabajaría siempre a intensidades relativas mayores a las programadas.

### **1.3.d Potencial lesivo y gran fatiga acumulada por los test de 1RM y nRM**

La realización de este tipo de test supone exponer al sujeto a cargas máximas en el caso del 1RM y al fallo muscular en el caso del nRM. Ambas metodologías son potencialmente lesivas, sobre todo en el caso de deportistas noveles, además de acarrear una fatiga excesiva. Por lo tanto, estos test, no pueden ser realizados con frecuencia, ya que requieren exponer al deportista a ciertos riesgos y obligan a detener el proceso de entrenamiento para su realización. Por lo tanto, no permiten obtener un feedback continuo y diario del valor del 1RM ni detectar cambios en el rendimiento del deportista.

### **1.3.e Cada sujeto puede realizar un número diferente de repeticiones a una determinada intensidad relativa**

González Badillo et al. (5) comprobaron como el valor máximo de repeticiones que un sujeto puede realizar ante una determinada intensidad relativa, puede duplicar al número máximo de repeticiones realizadas por otro sujeto ante la misma intensidad relativa. Por lo tanto, el número de repeticiones por serie no parece un indicador válido para dosificar el volumen de entrenamiento, puesto que, ante una misma intensidad relativa, un mismo número de repeticiones por serie puede suponer un CE y, por lo tanto, un grado de fatiga, muy diferente para dos sujetos distintos, ya que representará un porcentaje diferente de repeticiones realizadas respecto a las realizables.

Después de todo lo expuesto anteriormente queda claro que usando esta metodología no seremos capaces de dosificar correctamente el entrenamiento de fuerza, puesto que el esfuerzo realizado no se ajustará en prácticamente ningún caso al programado, ya que no seremos capaces de trabajar con la intensidad relativa ni con el CE propuestos para cada sesión de entrenamiento. Una grave consecuencia de esto es que no sabremos a qué cargas de entrenamiento reales se deben determinados efectos del mismo, ya sean buenos o malos, por lo que no podremos mejorar nuestra metodología de entrenamiento

La solución a todos estos problemas requiere que podamos definir y cuantificar el grado de esfuerzo. Esto se puede conseguir midiendo la dificultad que supone la ejecución de la primera repetición de una serie, lo que determinará la intensidad relativa de la carga utilizada, y el esfuerzo que supone el resto de repeticiones de la serie. Estos dos factores determinarán el CE y, por lo tanto, la fatiga que un determinado estímulo supone para el deportista. A continuación se expondrá una posible solución a este problema.

## 1.4 El entrenamiento basado en la velocidad de ejecución

---

El entrenamiento basado en la velocidad de ejecución supone un nuevo paradigma para el entrenamiento de fuerza.

Como hemos visto anteriormente, lo que se debería programar en el entrenamiento de fuerza es el CE que debe suponer cada sesión de entrenamiento, ya que esto reflejará el grado de fatiga que dicho entrenamiento ha supuesto.

La velocidad de ejecución nos proporciona fácilmente y de forma precisa la información necesaria para definir el CE. Simplemente debemos ser capaces de medir la **velocidad de ejecución de la primera repetición** de una serie y la **pérdida de velocidad** en las sucesivas repeticiones.

### 1.4.a Velocidad de ejecución de la primera repetición

La velocidad de ejecución durante la fase concéntrica de ejercicios de tipo isoinercial, es un factor determinante de la **intensidad del ejercicio**, ya que, siempre que se desplace una carga a la máxima velocidad posible, se podrá estimar de forma precisa qué porcentaje supone respecto al 1RM (5) y, por lo tanto, calcular el 1RM mediante un sencillo cálculo aritmético. No obstante, este cálculo no sería necesario puesto que el objetivo de calcular el 1RM sería establecer las diferentes intensidades relativas.

Para poder estimar de forma precisa qué intensidad relativa supone una determinada carga absoluta, tan sólo debemos medir la velocidad de ejecución con dicha carga. Esto es así puesto que la velocidad alcanzada con una carga es consecuencia de la fuerza aplicada con dicha carga y, por lo tanto, si somos capaces de aplicar una cantidad de fuerza determinada ante una carga (moverla a una determinada velocidad) podremos saber qué intensidad relativa supone.

Para poder determinar qué intensidad relativa supone una velocidad de ejecución concreta, debemos conocer a qué velocidad se puede movilizar cada porcentaje del 1RM. González Badillo comprobó ya en el año 2000 (6) que **cada intensidad relativa (% 1RM) tiene su propia velocidad de ejecución**. Por lo tanto, se puede establecer una relación carga-velocidad y, midiendo la velocidad de ejecución con una carga absoluta, conocer qué intensidad relativa supone. Para establecer esta relación carga-velocidad tan sólo debemos realizar un test progresivo hasta llegar al 1RM y medir la velocidad de ejecución con cada carga. De esta manera, no tendríamos que volver a medir nunca el 1RM, podríamos estimarlo de manera muy precisa, midiendo la velocidad de ejecución con una carga

submáxima, ya que se ha observado que **la velocidad de ejecución con cada porcentaje del 1RM permanece muy estable cuando se modifica el rendimiento (5)**.

No obstante, también se ha comprobado que **la velocidad de ejecución con cada porcentaje es muy similar entre sujetos**, incluso cuando su nivel de rendimiento es muy distinto (5), por lo que no sería necesario realizar un test hasta el 1RM ni siquiera en una ocasión. Si bien es cierto que la individualización es primordial en el ámbito del rendimiento deportivo y una curva carga-velocidad propia proporcionará un mejor ajuste.

Además, hay que tener en cuenta que cada ejercicio tiene su propia velocidad de 1RM y, por lo tanto, su propia velocidad con cada porcentaje del 1RM (5,7,8). Si en un ejercicio la velocidad a la que se alcanza el 1RM es mayor que en otro, necesariamente la velocidad asociada a cada uno de los porcentajes será también mayor. Estas diferencias se deben a las particularidades biomecánicas de cada ejercicio.

De esta manera se solventa el problema de la variabilidad del 1RM, ya que, aunque éste cambie a lo largo de los días, la velocidad a la que se desplaza cada porcentaje permanece estable. Por lo tanto, podemos comprobar si la carga absoluta propuesta a un sujeto se corresponde con la intensidad relativa programada. Así, mediante la velocidad de ejecución, establecemos el primer componente del CE, la intensidad relativa.

Otra ventaja de esta metodología es que podemos tener un control constante del progreso del deportista, simplemente midiendo el aumento, o la disminución, de la velocidad de ejecución ante una determinada carga absoluta. Si ésta se desplaza a mayor velocidad que en sesiones anteriores, significará que supone un porcentaje más bajo y que, por lo tanto, el 1RM habrá aumentado. También se puede hacer a la inversa y observar qué carga absoluta se puede movilizar a una velocidad determinada en sucesivas sesiones. De esta manera, si somos capaces de desplazar a una misma velocidad una carga absoluta cada vez mayor, significará también que nuestro 1RM está aumentando.

Por lo tanto, podemos controlar continuamente el efecto del entrenamiento y efectuar cambios en la programación, sin necesidad de interrumpir el proceso de entrenamiento para realizar un test de 1RM, puesto que esta medida de la velocidad se puede hacer en cualquier sesión, con una carga submáxima como parte del calentamiento o con la propia carga de entrenamiento.

En la práctica, una vez programada la intensidad relativa o, lo que es lo mismo, la velocidad a la cual queremos trabajar en una sesión, tan sólo tendremos que realizar series

de aproximación con cargas incrementales hasta llegar a aquella carga que desplazemos a la velocidad deseada en la primera repetición de la serie.

#### 1.4.b Pérdida de velocidad en la serie

Una vez visto como controlar la velocidad de la primera repetición de la serie para definir la intensidad relativa a la cual vamos a trabajar, debemos establecer el otro componente del CE, el volumen, o lo que es lo mismo, la pérdida de velocidad en la serie respecto a la primera repetición.

Un elemento clave del volumen es el número de repeticiones realizado en cada serie pero, como hemos visto anteriormente, ante una misma intensidad relativa cada sujeto puede realizar un número diferente de repeticiones. Por lo tanto, dos deportistas que realicen las mismas repeticiones, ante una misma carga relativa, estarán haciendo diferente porcentaje de repeticiones respecto a las realizables con esa carga y, por lo tanto, estarán experimentando grados de esfuerzo y de fatiga diferentes.

Durante las sucesivas repeticiones realizadas a lo largo de una serie, se experimenta una pérdida de velocidad debida a la disminución de la fuerza aplicada en cada repetición. Dicha disminución de la fuerza aplicada ocurre por efecto de la fatiga que suponen las sucesivas repeticiones. Por lo tanto, **la pérdida de velocidad en la serie es un indicador muy válido para estimar la fatiga (9)**.

Se ha observado que **ante una misma pérdida de velocidad en la serie, el porcentaje de repeticiones realizadas respecto a las realizables es semejante** en todos los sujetos, para intensidades comprendidas entre el 50% y el 70% del 1RM (10), como se muestra en la **Tabla 2**. Para intensidades del 75% en adelante, una misma pérdida de velocidad supone un mayor porcentaje de repeticiones realizadas, respecto a las realizables, cuanto mayor es la intensidad relativa. Por lo que para realizar, por ejemplo, un 50% de las repeticiones posibles, se deberá perder menos velocidad en la serie a medida que aumenta la intensidad. Esto es así puesto que cuanto mayor es la carga relativa y, por lo tanto, menos repeticiones por serie se pueden hacer, cada repetición supone un porcentaje mayor respecto al total de repeticiones realizables. No obstante, una misma pérdida de velocidad en la serie, ante una misma intensidad relativa, iguala los esfuerzos entre dos deportistas, aunque el número de repeticiones realizado sea diferente.

**Tabla 2.** Porcentaje de repeticiones realizado respecto a las realizables para distintas pérdidas de velocidad en la serie (d)

Pérdida de velocidad en la serie	% de repeticiones realizado
15%	~31
25%	~46
35%	~59
45%	~71
55%	~81
65%	~89
75%	~95

Sánchez Medina et al. (11) comprobaron como la pérdida de velocidad en la serie guarda una estrecha relación con la pérdida de velocidad con una carga absoluta antes y después de realizar el esfuerzo, tanto en el ejercicio de press de banca como en el de sentadilla. En este caso utilizaron aquella carga que se podía desplazar antes del esfuerzo, en ausencia de fatiga, a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Esta pérdida de velocidad con la carga que se puede desplazar a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , es un buen indicador de fatiga, puesto que la reducción de la velocidad con dicha carga se deberá a una disminución de la fuerza aplicada ocasionada por la fatiga. Se utiliza esta carga puesto que supone un esfuerzo liviano que cualquier persona podría movilizar incluso después de una serie hasta el agotamiento.

Se encontraron también altas relaciones entre la pérdida de velocidad en la serie y la pérdida de altura en el salto vertical con contramovimiento (CMJ) medido antes y después de una serie de sentadilla. De la misma manera, se observó una estrecha relación entre la pérdida de velocidad en la serie y las concentraciones sanguíneas de amonio y lactato.

Todas estas relaciones vienen a indicar que **cuanto mayor es la pérdida de velocidad en la serie, mayor es el estrés metabólico y mecánico** producido y, por lo tanto, mayor esfuerzo y fatiga acumulada.

No obstante, se debe tener en cuenta que cuanto menor es la intensidad relativa, es decir, cuantas más repeticiones se pueden realizar con una carga, mayor es la pérdida de velocidad experimentada con la carga de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (fatiga generada), para una misma pérdida de velocidad en la serie (4). Así, si se trabaja con el 50% del 1RM y con una pérdida de velocidad en la serie del 20%, se experimentará una pérdida de velocidad con la carga de

1 m·s<sup>-1</sup> y, por ende, una fatiga mayor que si se trabaja con el 70% del 1RM y la misma pérdida de velocidad en la serie (20%).

En la práctica, la pérdida de velocidad en la serie se calcula de forma sencilla expresando de manera porcentual la diferencia entre la velocidad de la primera y la última repetición de la serie. Por lo tanto, si se programa para una serie una pérdida de velocidad del 20% y se realiza la primera repetición a 0,5 m·s<sup>-1</sup>, se deberá parar la serie cuando se realice alguna repetición a 0,4 m·s<sup>-1</sup> o menos, sin importar el número de repeticiones realizado.

#### 1.4.c Índice de esfuerzo

Hemos visto que, conociendo la velocidad de la primera repetición de una serie, conocemos la intensidad relativa (% del 1RM) que supone esa carga absoluta y, por tanto, el esfuerzo que supone esa primera repetición. Además, si medimos la pérdida de velocidad en la serie, tendremos información del grado de fatiga experimentado en la misma. Por lo tanto, midiendo estas dos variables, tendremos información muy precisa del grado de fatiga (CE) que ha experimentado un sujeto.

Con el fin de aunar estas dos variables para controlar el CE y puesto que la pérdida de velocidad en la serie debe ser diferente para cada intensidad relativa para poder igualar los esfuerzos, Gonzalez Badillo et al. (4) han propuesto un índice (índice de esfuerzo, IE) que guarda una estrecha relación ( $r = 0,98$  y  $r = 0,91$  para el press de banca y la sentadilla respectivamente) con la pérdida de velocidad con la carga de 1 m·s<sup>-1</sup>, ya que la pérdida de velocidad con esta carga es un claro indicador de la fatiga generada por el entrenamiento. El IE viene expresado por el producto entre la velocidad de la primera repetición y la pérdida porcentual de velocidad en la sesión (media de la pérdida experimentada en el conjunto de series realizadas).

**Índice de esfuerzo (IE) = V de la 1ª repetición · pérdida media de V en la sesión**

#### 1.4.d Puesta en práctica

A la hora de llevar todo esto a la práctica, debemos programar el CE, o lo que es lo mismo, la intensidad relativa, que vendrá definida por la velocidad de ejecución, y el volumen, definido por la pérdida de velocidad en la serie.

Por lo tanto, para cada ciclo de entrenamiento **programaremos una serie de velocidades y una serie de pérdidas de velocidad para cada una de las sesiones**, pudiendo comparar los esfuerzos mediante el IE.



Dentro de la sesión de entrenamiento se realizará, después del calentamiento general, un calentamiento específico compuesto por varias series de aproximación con cargas incrementales, empezando por cargas muy livianas, hasta llegar a **la carga máxima de la sesión, que será aquella que se desplace a la velocidad programada en la primera repetición**. No se deben realizar muchas repeticiones en cada serie de aproximación y los descansos entre series deben ser completos para que la fatiga no afecte a la velocidad de ejecución.

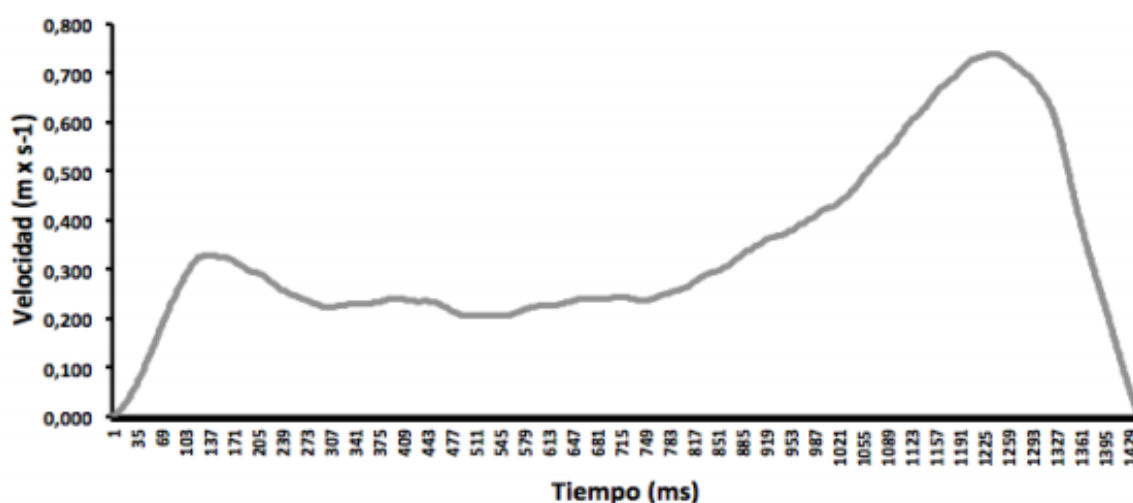
Una vez determinada la carga de entrenamiento, se pasará a realizar las **series efectivas**, es decir, **aquellas realizadas con la carga que se puede desplazar a la velocidad programada en la primera repetición de la primera serie**. Esto es importante, puesto que a medida que se realicen series, la velocidad de la primera repetición disminuirá. Una buena propuesta es realizar entre 2 y 4 series, puesto que se ha visto que este rango de series es óptimo para la mejora de la fuerza (12,13).

**En las series efectivas se realizarán tantas repeticiones como sean necesarias hasta que se pierda la velocidad programada**. Esta pérdida vendrá expresada de forma porcentual respecto a la velocidad de la primera repetición. Posteriormente veremos que existen dispositivos que automáticamente calculan la velocidad mínima de la serie, en función de la velocidad de la primera repetición y la pérdida de velocidad que tú hayas programado, y te avisan mediante un feedback sonoro, para que detengas la serie sin acumular más fatiga de la deseada. Lógicamente, la velocidad de la primera repetición no será la misma en todas las series de la sesión, ni tampoco el número de repeticiones realizado hasta perder la velocidad programada, por lo que esta función de los dispositivos de medición de la velocidad resulta muy útil.

Es importante entender que para que esta metodología de entrenamiento funcione, **las cargas deben ser desplazadas a la máxima velocidad posible**, puesto que, si el movimiento no se realizara a la máxima velocidad intencional, sería imposible estimar la intensidad relativa, ni controlar el volumen mediante la pérdida de velocidad en la serie. Esto no resulta un inconveniente, ya que desplazar las cargas a la máxima velocidad posible, confiere resultados muy superiores para el rendimiento deportivo que desplazarlas a menor velocidad (14,15). Esto se debe a que la mejora de la fuerza es específica de la velocidad de ejecución y en la mayoría de los gestos deportivos la velocidad de ejecución es alta.

Llegados a este punto puede surgir una pregunta, ¿qué expresión de la velocidad debemos utilizar a la hora de valorar la velocidad de ejecución de una repetición?

En los ejercicios de tipo isoinercial (ejercicios habituales en el entrenamiento de fuerza con pesos libres), la fase concéntrica del movimiento comienza a velocidad cero (desde parado), se va incrementando hasta llegar a la velocidad máxima (**VM<sub>max</sub>**) y vuelve a reducirse hasta llegar nuevamente a la velocidad cero, aunque en algunos ejercicios la velocidad puede experimentar varios picos, con sus respectivos valles, tal como se muestra en la **Figura 2**. Cuando se utilizan cargas ligeras, al final de la fase concéntrica se produce una desaceleración de mayor magnitud que la producida por la fuerza de la gravedad. Esto ocurre debido a que el sujeto está frenando el movimiento. Por lo tanto, **durante la parte concéntrica del movimiento existe una fase propulsiva y una fase de frenado**.



**Figura 2.** Curva tiempo-velocidad en el ejercicio de press de banca

La variable que nos proporciona una mayor discriminación del rendimiento neuromuscular es la velocidad media propulsiva (**VMP**) (16). Es decir, aquella conseguida durante la fase de aceleración o propulsiva del movimiento. En el caso de no poder disponer de la VMP deberemos conformarnos con la velocidad media concéntrica (**VM**).

En definitiva, la velocidad de ejecución nos permite dosificar de manera óptima la carga de entrenamiento, o lo que es lo mismo, el CE. Además, gracias a ella podemos controlar que los esfuerzos programados coincidan con los realizados y conocer el efecto del entrenamiento asociado a unos esfuerzos determinados, lo cual es clave para mejorar la metodología de entrenamiento y poder reajustar la programación en función de los resultados, solucionando así todos los inconvenientes de los métodos tradicionales para la dosificación del entrenamiento de fuerza.

## **1.5 Instrumentos para la medición de la velocidad de ejecución**

---

Ya en la década de 1970 se empezaron a fabricar instrumentos electromecánicos y basados en fotogrametría con el fin de medir variables como el tiempo, la velocidad, la trayectoria o la aceleración, en los movimientos olímpicos de halterofilia (4).

En 1992 apareció el dispositivo Ergopower (17), desarrollado por Bosco et al. y dotado ya de componentes electrónicos. Este sistema se basa en la medición de la distancia y el tiempo de desplazamiento de las cargas mediante un sensor de infrarrojos. A partir de estas variables se puede obtener la velocidad y la aceleración y, conociendo la carga, la fuerza y la potencia producidas. El dispositivo proporcionaba informes impresos con todas estas variables. Además, proporcionaba feedback auditivo de la potencia generada, por lo que suponía una muy buena herramienta de control y evaluación del entrenamiento de fuerza. No obstante, su aparatosa consola y su elevado coste, no lo convertían en una herramienta de campo práctica para el entrenamiento de fuerza orientado al rendimiento deportivo.

Los dispositivos posteriores han buscado facilitar el funcionamiento del instrumento, su precisión, resolución, fiabilidad y su capacidad de almacenamiento y análisis de los datos obtenidos, así como simplificar el aparataje y el coste. No obstante, la idea sigue siendo la misma, ajustar la carga de entrenamiento de la manera más precisa posible a las necesidades del deportista y proporcionar un feedback inmediato que permita controlar la fatiga y conseguir el efecto del entrenamiento deseado.

### **1.5.a Transductores lineales**

Los transductores lineales son dispositivos de medida electromecánicos compuestos por un hilo o cable que se extiende y enrolla, enganchado a la carga que se desplaza. Existen dos tipos de transductores lineales, en función de la variable que miden directamente: de posición y de velocidad.

En el caso de utilizar un transductor lineal de velocidad, la variable velocidad será medida directamente con un mínimo error. Sin embargo, si utilizamos un transductor lineal de posición, la velocidad se obtendrá derivando la posición en función del tiempo. Así mismo, para obtener la aceleración debemos volver a derivar la velocidad en función del tiempo. Una vez obtenida la aceleración podremos calcular otras variables como la fuerza o la potencia, siempre que conozcamos la carga (masa) utilizada. Por lo tanto, la medición de las distintas variables será más precisa utilizando un transductor lineal de velocidad, puesto que las sucesivas derivaciones implican la acumulación de cierto error.

Estos dispositivos nos pueden proporcionar mucha información muy útil para la dosificación y control del entrenamiento. Además, su pequeño tamaño lo convierte en una herramienta más práctica que otros dispositivos mencionados anteriormente, pudiendo transportarlo fácilmente a cualquier lugar de entrenamiento, aunque en algunos casos requieren cierto aparataje, ya que muestran su interfaz en un ordenador y necesitan cierto cableado, por lo que no son del todo prácticos en el ámbito del entrenamiento. Por otro lado, su coste es más bajo que el de los instrumentos anteriores, aunque sigue siendo relativamente elevado para muchos usuarios.

Dentro de los transductores lineales existentes, cabe destacar el T-FORCE System (TF), desarrollado en el año 2007. Se trata de un transductor lineal de velocidad de alta precisión, considerado como Gold Standard para la medición de la velocidad de ejecución y otras variables del entrenamiento y utilizado en multitud de estudios científicos relacionados con las ciencias del deporte.

El TF tiene una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, un error en el cálculo de desplazamiento de  $\pm 1$  mm y un error en el cálculo de la velocidad  $\leq 0,25\%$ . La validación de este dispositivo se realizó comparando sus mediciones con las obtenidas por un calibre digital de altura de gran precisión, calibrado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) (4).

Este dispositivo nos permite obtener multitud de variables, entre las que podemos destacar el recorrido, el tiempo, la VM, la VMax, la VMP, la fuerza y potencia medias y máximas, la contribución de la fase propulsiva al total de la parte concéntrica del movimiento e información sobre la fase excéntrica del movimiento. También selecciona la mejor repetición de la serie y calcula la pérdida porcentual de velocidad en la serie, pudiendo emitir un feedback sonoro cuando se alcance la pérdida de velocidad que hayamos programado. Además, estima la intensidad relativa que ha supuesto la carga movilizada, en función de la VMP obtenida, y hace una estimación del 1RM.

A pesar de su alta calidad, el TF, sigue siendo un dispositivo relativamente caro y poco práctico para su uso en el ámbito del entrenamiento y rendimiento deportivo, ya que requiere el uso de un ordenador portátil y cierto cableado, tal y como se muestra en la **Figura 3**.



**Figura 3.** T-FORCE System

### **1.5.b Dispositivos basados en acelerometría**

Con el auge del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución han aparecido en el mercado diversos dispositivos basados en acelerometría. Estos aparatos poseen en su interior uno o varios acelerómetros y nos confieren información de la velocidad mediante la integración de la aceleración.

Algunas de sus principales ventajas son su pequeño tamaño, el hecho de que son inalámbricos, que transmiten la información a un teléfono móvil a través de bluetooth y su bajo coste. Todas estas características los hacen muy prácticos para ser utilizados en el ámbito del entrenamiento y rendimiento deportivo. No obstante, también presentan importantes inconvenientes. Estos dispositivos no proporcionan una gran precisión en las medidas y su frecuencia de muestreo es muy baja (50-100 Hz), además fallan a menudo en la detección de las repeticiones.

Recientemente se han validado algunos dispositivos basados en acelerometría, como la Push Band (18) o el Beast Sensor (19). La validación de este último presenta ciertas deficiencias metodológicas, como el hecho de haberse medido en peso libre y en ejercicios con una alta variabilidad técnica. Además, los resultados de dicho estudio pueden estar influidos por conflictos de interés.

Por lo tanto, se vuelve imprescindible buscar dispositivos que nos puedan aportar información precisa para la evaluación y el control del entrenamiento de fuerza, mediante la medición de la velocidad de ejecución, y que además sean sencillos, prácticos y a un coste reducido, para poder ser implementados en el ámbito del rendimiento deportivo.

---

## **2. OBJETIVOS**

---

A la vista de todo lo expuesto anteriormente, y no habiéndose validado el transductor lineal de posición **Speed4lifts (S4L)** (dispositivo inalámbrico de bajo coste), el objetivo principal de este estudio es estudiar su validez y fiabilidad para la medición de la velocidad de ejecución durante la fase concéntrica del ejercicio de press de banca en máquina Smith. De forma secundaria, queremos comprobar si el dispositivo basado en acelerometría **Beast Sensor (BS)** es realmente válido para medir la velocidad de la barra en el mismo ejercicio.

---

### 3. METODOLOGÍA

---

#### 3.1 Participantes

---

Dieciséis hombres jóvenes, sanos y activos, con alta experiencia en el entrenamiento de fuerza y en el ejercicio de press de banca, fueron seleccionados para formar parte de este estudio (edad media =  $26 \pm 6$  años; 1RM en press de banca =  $110 \pm 32$  kg).

#### 3.2 Instrumentación

---

##### 3.2.a Máquina Smith

Durante la realización de la fase experimental se utilizó una máquina Smith (Gervasport) para la realización del ejercicio de press de banca. Esta máquina posee una barra, sobre la que se añade la carga (introduciendo discos de peso en sus extremos) y la cual el sujeto debe desplazar, unida a dos carriles sobre los que se desliza, limitando el movimiento a un solo plano (plano vertical). Se utilizó una máquina Smith con el objetivo de que el movimiento se produjera en un solo plano, lo que aseguraba una gran estabilidad en la técnica y en la medición de las diferentes repeticiones.

##### 3.2.b T-FORCE System

Como hemos visto anteriormente, el TF es un transductor lineal de velocidad. En este estudio se utilizó como referencia para la medición de la velocidad de desplazamiento de la barra (Gold Standard).

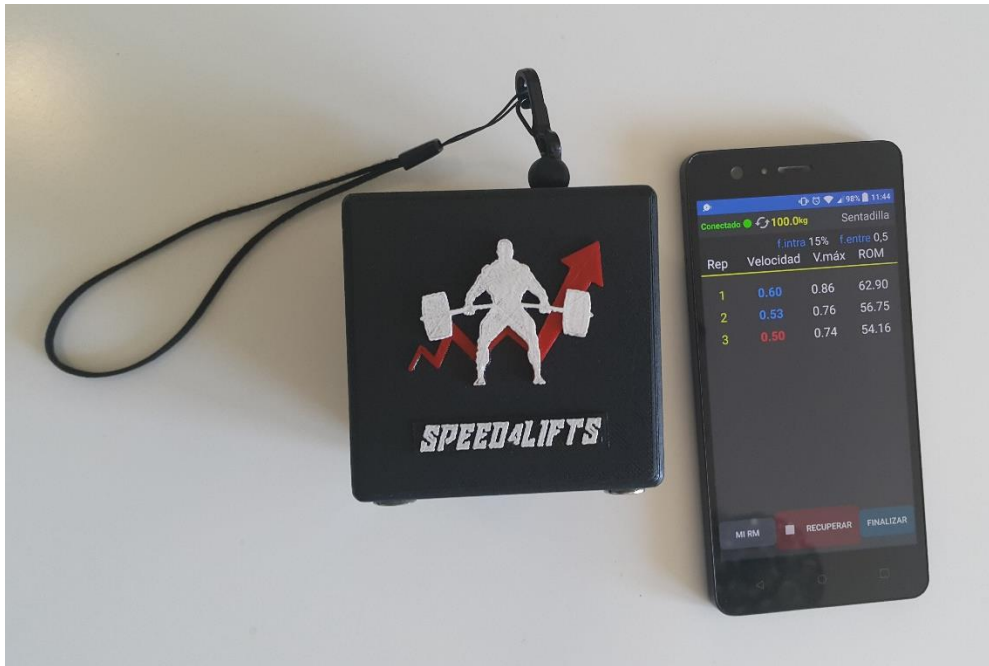
##### 3.2.c Speed4lifts

El S4L (**Figura 4**) es un transductor lineal de posición con una frecuencia de muestreo variable en función de la velocidad, con una frecuencia máxima de 15 KHz (50 muestras por centímetro) y una resolución de 2 mm.

El S4L nos proporciona la VM, VMax, el rango de recorrido (**ROM**) y la potencia máxima de cada repetición, tanto en la fase concéntrica como en la fase excéntrica del movimiento. Además, nos permite programar una pérdida de velocidad y emite un feedback sonoro cuando se llega a la pérdida programada.

También tiene la opción de crear una curva carga-velocidad, mediante la realización de un test incremental, o de introducir una ecuación conocida. Una vez obtenida la ecuación, nos informará de la intensidad relativa que supone una carga absoluta, en función de la velocidad conseguida con dicha carga, y hará una estimación del 1RM.

Se trata de un dispositivo inalámbrico que se alimenta de una batería recargable y envía la información a una aplicación de smartphone a través de una señal wifi.



**Figura 4.** Dispositivo Speed4lifts e interfaz de la aplicación para smartphone

### 3.2.d Beast Sensor

El BS (**Figura 5**) es un pequeño dispositivo inalámbrico ( $15,2 \text{ cm}^3$  de volumen y 38 g), alimentado por una batería recargable y compuesto por un acelerómetro triaxial, un giroscopio y un magnetómetro que mide la velocidad con una frecuencia de muestreo de 50 Hz.

Este dispositivo proporciona información acerca de la velocidad, la potencia y la fuerza, tanto media como máxima, de la fase concéntrica del movimiento. Los datos son enviados a través de bluetooth a una aplicación para smartphone.

Cuenta con un imán en su interior que permite adherirlo a la barra de entrenamiento y con una muñequera para poder colocarlo en la muñeca del deportista.





**Figura 5.** Dispositivo Beast Sensor e interfaz de la aplicación para smartphone

### 3.3 Protocolo experimental

Tras un calentamiento específico, los participantes realizaron un test incremental hasta el 1RM en el ejercicio de press de banca en máquina Smith. Durante el test incremental las variables VM, VMax y ROM fueron medidas simultáneamente con el TF, el S4L y el BS, en cada una de las repeticiones realizadas. Se utilizó la VM en lugar de la VMP puesto que los dos instrumentos objeto de estudio (S4L y BS) no discriminan las fases propulsiva y de frenado. Adicionalmente, se midió la fuerza media (**FM**) y la potencia media (**PM**) con el TF y el BS.

Para la toma de datos se colocaron los dos transductores lineales (TF y S4L) en un mismo lateral de la máquina Smith, con ambos cables enganchados en el extremo de la barra, junto al carril de desplazamiento, y totalmente perpendiculares al suelo, haciéndolos coincidir con el plano de movimiento de la barra. El acelerómetro (BS) se colocó adherido a mitad de la barra, de forma que quedaba encima del pecho de los participantes durante la realización del ejercicio. En la **Figura 6** se puede observar la colocación de todo el instrumental.

Los datos del TF eran transferidos en tiempo real a su software específico, instalado en un ordenador portátil con sistema operativo Windows 10, mientras que los datos del S4F y del BS eran enviados a sus respectivas aplicaciones para smartphone, instaladas en un BQ Aquaris M5 y en un Samsung Galaxy S4 respectivamente.



**Figura 6.** Colocación del instrumental para la toma de datos

### 3.3.a Calentamiento

El calentamiento previo al test incremental consistió en la realización de ejercicios de movilidad articular, estiramientos dinámicos y ejercicios de activación neuromuscular para los miembros superiores. El protocolo de calentamiento se muestra en la **Tabla 3**.

Posteriormente, se realizó una serie de calentamiento con el peso de la barra, en el ejercicio de press de banca en máquina Smith, con el fin de terminar de entrar en calor y familiarizarse con la máquina y el protocolo de actuación, antes de comenzar el test incremental.

**Tabla 3.** Protocolo de calentamiento

Ejercicio	Series	Repeticiones
Estiramiento dinámico de pectoral	1	12
Dislocaciones de hombro	1	10
Estiramiento de dinámico pectoral	1	12
Círculos de muñeca	1	10
Estiramiento de dinámico pectoral	1	12
Flexo-extensiones de codo	1	10
Band pull apart	3	15
Extensiones de tríceps con banda	3	15
Flexiones pliométricas	3	5

### 3.3.b Test incremental

Para el test incremental se utilizó un protocolo similar al descrito por Sánchez Medina et al. (16). Se utilizaron cargas entre el 14% y el 100% del 1RM. El porcentaje inicial osciló entre el 14% y el 25% del 1RM, en función de los sujetos, ya que todos empezaron el test con una carga absoluta de 20 kg. Se realizaron incrementos de carga de 10 kg cuando la VMP de la serie anterior, medida con el TF, fue superior a  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e incrementos de entre 1 kg y 5 kg cuando la VMP fue inferior a  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Para cargas movilizadas a más de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  de VMP, se realizaban tres repeticiones y se descansaba durante dos minutos. Cuando la velocidad oscilaba entre  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , se realizaban dos repeticiones, con descansos de tres minutos. Y, para velocidades inferiores a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , se realizaba una sola repetición, con descansos de cinco minutos. Este protocolo se muestra de forma esquemática en la **Tabla 4.**

**Tabla 4.** Protocolo utilizado para el test incremental

VMP	Incrementos de carga	
$\geq 0,5 \text{ m/s}$	10 kg	
$< 0,5 \text{ m/s}$	entre 1 kg y 5 kg	
VMP	Repeticiones	Descanso
$\geq 1 \text{ m/s}$	3	2'
$< 1 \text{ m/s}; \geq 0,65 \text{ m/s}$	2	3'
$< 0,65 \text{ m/s}$	1	5'

Cada repetición, la cual empezaba a la voz de “inicio” de uno de los evaluadores, se realizaba con un segundo de pausa entre la fase excéntrica y la fase concéntrica (barra

apoyada en el pecho), para evitar así variabilidad entre repeticiones. A la voz de “press” la barra era levantada por el sujeto a la máxima velocidad posible.

Se analizó un total de 231 repeticiones, las cuales fueron divididas, en función de la intensidad relativa, en ligeras (< 55% 1RM), medias (55% - 85% 1RM) y altas (> 85% 1RM), para su posterior análisis.

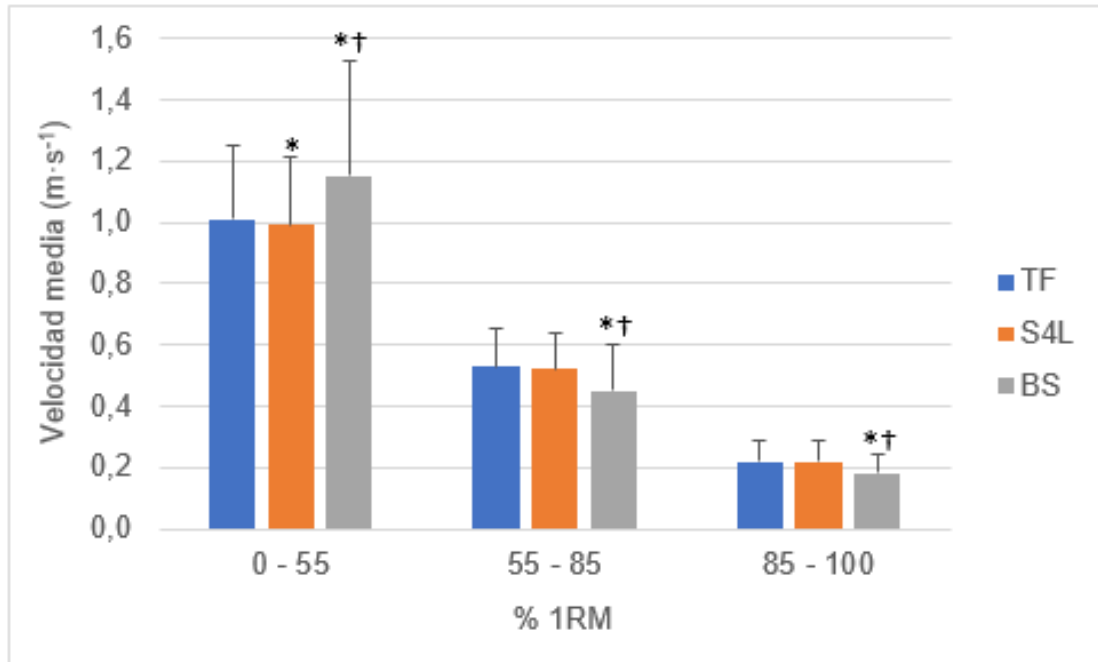
### **3.4 Análisis estadístico**

---

Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. La asunción de normalidad fue verificada usando el test de Shapiro-Wilk. Un análisis de la varianza (ANOVA) fue usado para comparar las variables analizadas. El test de Bonferroni se empleó para establecer las diferencias entre medias. La relación entre las variables se calculó por medio del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). La fiabilidad relativa de las medidas intraserie fue evaluada usando el coeficiente de correlación intraclase (ICC). Valores de  $p < 0.05$  fueron considerados estadísticamente significativos. La fiabilidad absoluta se calculó por medio del error típico de medida (TE) y el coeficiente de variación (CV; TE expresado como un porcentaje). El software SPSS+ V.19.0 fue usado para el análisis.

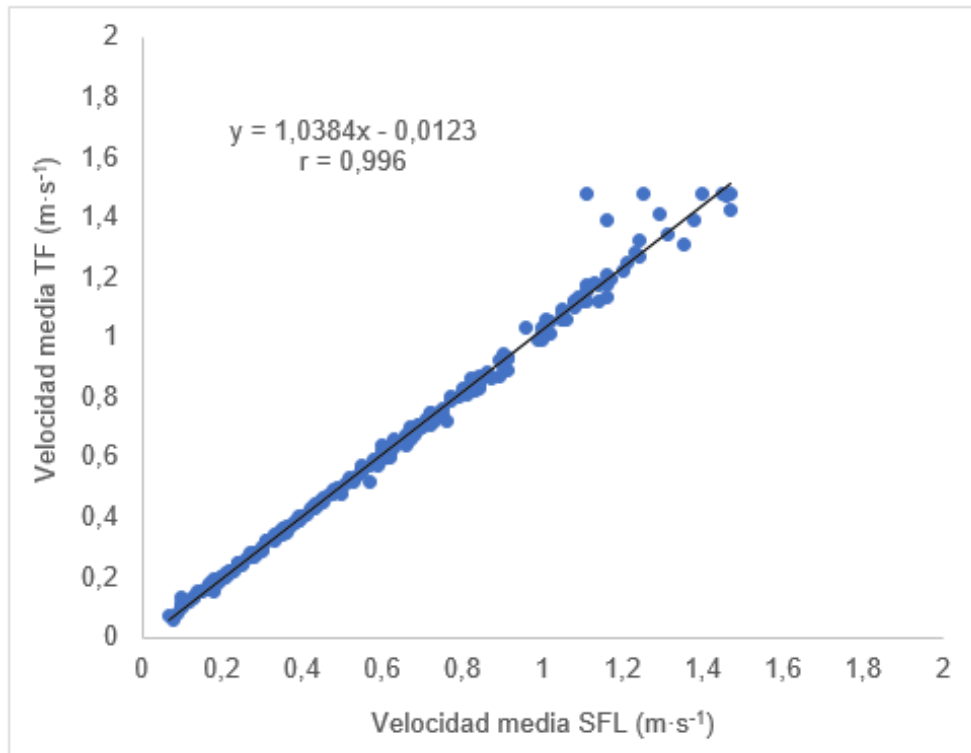
#### 4. RESULTADOS

La media de los valores de VM para las cargas ligeras, medias y altas se muestran en la **Figura 7**. Se observan diferencias significativas entre los tres dispositivos para cargas por debajo del 55% del 1RM. Para cargas entre el 55% y el 100% del 1RM, existen diferencias significativas entre el BS y los otros dos dispositivos (TF y S4L), pero no se observan diferencias significativas entre los dos transductores lineales.

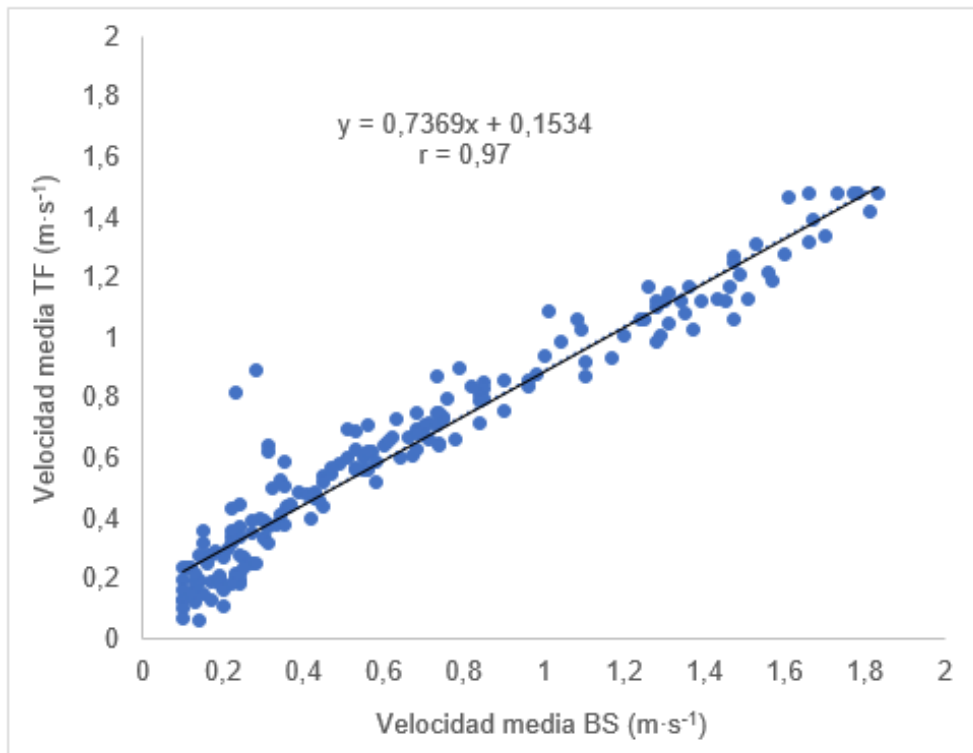


**Figura 7.** Valores medios de velocidad media de los tres dispositivos para cargas ligeras (0-55%), medias (55-85%) y altas (85-100%). \*, diferencias significativas con el TF ( $p < 0,01$ ). †, diferencias significativas con el SFL ( $p < 0,01$ ).

No obstante, se observan correlaciones muy altas en la VM entre el TF y el S4L ( $r=0,996$ ) y entre el TF y el BS ( $r=0,97$ ). Estas correlaciones se muestran en la **Figura 8** y **Figura 9** respectivamente.

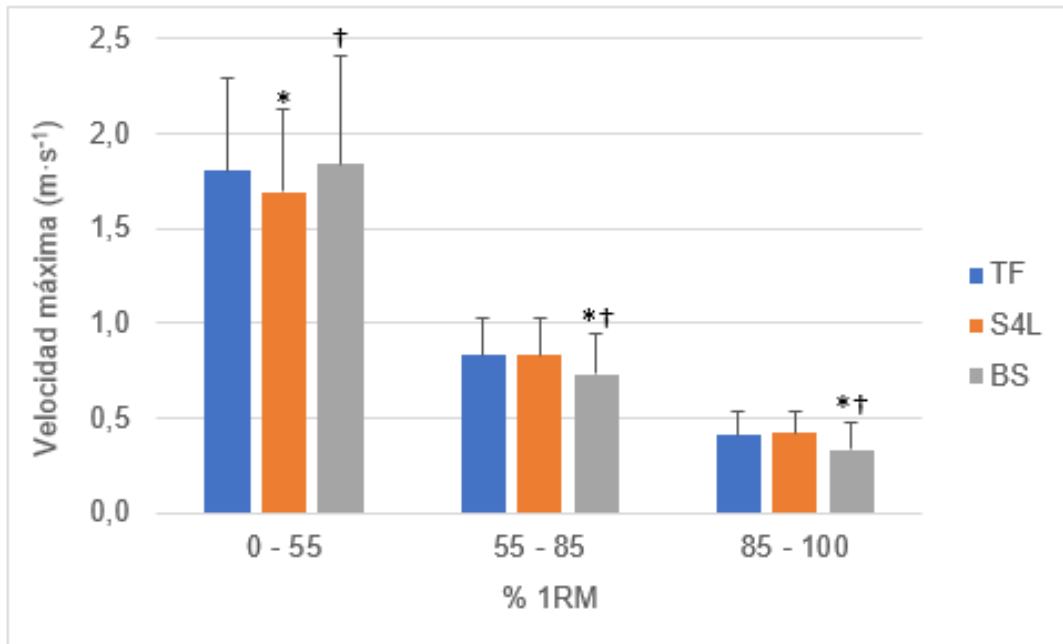


**Figura 8.** Correlación entre las velocidades medias obtenidas con el T-FORCE (TF) y las velocidades medias obtenidas con el Speed4lifts (S4L).



**Figura 9.** Correlación entre las velocidades medias obtenidas con el T-FORCE (TF) y las velocidades medias obtenidas con el Beast Sensor (BS).

En la **Figura 10** se muestran los valores medios de VMax de los tres dispositivos, para los tres niveles de intensidad relativa. Se observan diferencias significativas entre el S4L y los dispositivos TF y BS para cargas menores al 55% del 1RM, no encontrándose diferencias significativas entre el TF y el BS. Existen, en cambio, diferencias significativas entre el BS y los dos transductores lineales para cargas superiores al 55% del 1RM, no observándose diferencias entre el TF y el S4L.



**Figura 10.** Valores medios de velocidad máxima de los tres dispositivos para cargas ligeras (0-55%), medias (55-85%) y altas (85-100%). \*, diferencias significativas con el TF ( $p < 0,01$ ). †, diferencias significativas con el SFL ( $p < 0,01$ ).

La media de los valores de ROM, FM y PM, para las cargas ligeras, medias y altas, se muestran en la **Tabla 5**. Para el ROM, medido únicamente con los dos transductores lineales, se observan diferencias significativas para todas las intensidades relativas por debajo del 85% del 1RM, no encontrándose diferencias significativas entre el 85% y el 100% del 1RM. La correlación entre los valores de ROM medidos con ambos dispositivos es buena ( $r=0,89$ ;  $p < 0,001$ ).

Para la FM, medida únicamente con el TF y el BS, se observan diferencias significativas entre ambos dispositivos para todos los niveles de carga. No obstante, existe una buena correlación entre ambos ( $r=0,998$ ;  $p < 0,001$ ).

En cuanto a la PM, medida también con el TF y el BS, se observaron nuevamente diferencias significativas entre ambos para todas las intensidades. La correlación entre los valores de PM medidos con ambos dispositivos es moderada ( $r=0,61$ ;  $p < 0,001$ ).

**Tabla 5.** Valores medios de recorrido (ROM), fuerza media (FM) y potencia media (PM) para cargas ligeras (0-55%), medias (55-85%) y altas (85-100%).

		Carga (% 1RM)		
		0 - 55	55 - 85	85 - 100
<b>ROM</b>	TF	40,78 ± 4,87	37,77 ± 5,28	33,87 ± 7,00
	S4L	39,90 ± 5,47*	37,89 ± 5,33*	34,32 ± 5,26
<b>FM</b>	TF	328,40 ± 162,80	769,30 ± 159,40	1024,90 ± 166,70
	BS	357,30 ± 173,90*	809,30 ± 163,80*	1046,10 ± 172,60*
<b>PM</b>	TF	301,00 ± 93,70	393,40 ± 84,60	237,60 ± 134,20
	BS	358,70 ± 104,07*	352,00 ± 112,70*	186,00 ± 60,20*

\*, diferencias significativas con el TF (p<0,01).

En la **Tabla 6** se muestra la fiabilidad intraserie de las variables analizadas para todas las intensidades inferiores al 85% del 1RM. EL TF presenta altos ICC y bajos CV y TE, excepto para la PM donde se observan altos CV y TE. Para el S4L se observan ICC altos, bajos TE y altos CV para la VMax y el ROM, siendo bajo para la VM. Y, por último, el BS muestra altos ICC pero también altos CV y altos TE para la FM y PM.

**Tabla 6.** Fiabilidad intraserie de los tres dispositivos en todas las variables analizadas y para todas las cargas hasta el 85% del 1RM.

	TE	ICC	CV
VM	0,06	0,95	5,50
VMax	0,09	0,97	5,20
<b>TF</b> ROM	1,06	0,95	2,60
FM	0,49	1,00	0,20
PM	15,80	0,98	6,40
VM	0,06	0,94	5,40
<b>S4L</b> VMax	0,15	0,89	10,00
ROM	2,74	0,73	7,70
VM	0,15	0,86	27,10
<b>BS</b> VMax	0,16	0,93	10,20
FM	13,82	1,00	3,70
PM	61,50	0,68	27,80

TE, error técnico de medida; ICC, coeficiente de correlación intraclass; CV, coeficiente de variación.

Para las cargas ligeras (0-55%) y medias (55-85%), como se puede observar en la **Tabla 7** y en la **Tabla 8** respectivamente, el comportamiento es similar. el TF y el S4L presentan



altos ICC, y bajos CV y TE, mientras que el BS muestra altos ICC pero también altos CV y altos TE para la FM y PM.

Cabe destacar también que el BS no detectó un 11,16% de las repeticiones realizadas, frente al 0,86% de ambos transductores lineales, y que no detecta repeticiones por debajo de  $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

**Tabla 7.** Fiabilidad intraserie de los tres dispositivos en todas las variables analizadas para cargas ligeras (0-55% del 1RM).

		<b>TE</b>	<b>ICC</b>	<b>CV</b>
<b>TF</b>	VM	0,06	0,94	5,60
	VMax	0,09	0,96	4,80
	ROM	1,10	0,95	2,80
	FM	0,51	1,00	0,20
	PM	15,30	0,98	5,70
<b>S4L</b>	VM	0,06	0,93	5,70
	VMax	0,16	0,87	9,80
	ROM	2,98	0,71	6,50
<b>BS</b>	VM	0,16	0,83	28,70
	VMax	0,16	0,92	9,50
	FM	12,70	1,00	3,80
	PM	63,00	0,66	29,50

TE, error técnico de medida; ICC, coeficiente de correlación intraclase; CV, coeficiente de variación.

**Tabla 8.** Fiabilidad intraserie de los tres dispositivos en todas las variables analizadas para cargas ligeras (0-55% del 1RM).

		<b>TE</b>	<b>ICC</b>	<b>CV</b>
<b>TF</b>	VM	0,02	0,92	2,70
	VMax	0,03	0,91	2,70
	ROM	0,89	0,97	2,10
	FM	0,38	1,00	0,10
	PM	14,30	0,98	3,70
<b>S4L</b>	VM	0,02	0,92	2,80
	VMax	0,03	0,91	2,80
	ROM	0,85	0,97	2,00
<b>BS</b>	VM	0,05	0,79	13,10
	VMax	0,07	0,81	9,30
	FM	19,40	0,98	2,80
	PM	40,40	0,90	14,40

TE, error técnico de medida; ICC, coeficiente de correlación intraclase; CV, coeficiente de variación.

---

## **5. DISCUSIÓN**

---

El objetivo principal del presente estudio fue analizar la validez y fiabilidad del dispositivo S4L. Previamente se han estudiado otros transductores lineales de posición, como el Tendo Weightlifting Analyzer System (20), demostrándose su alta validez para la medición de la velocidad y su alta fiabilidad en las medidas, por lo que parecen dispositivos recomendables para dicho cometido. No obstante, el estudio citado anteriormente utiliza una sola carga relativa (85% del 1RM) para la toma de datos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este estudio, ya que no hemos encontrado diferencias significativas en la VM y VMax, para intensidades relativas superiores al 55% del 1RM, entre el S4L y el TF. Además, al igual que en el presente estudio, encontraron altas correlaciones al comparar con el TF y unos altos ICC cuando se estudió la fiabilidad del dispositivo, aunque los CV fueron considerablemente mayores que los obtenidos en nuestro estudio con el dispositivo S4L.

Todos estos hallazgos muestran una alta validez para la medición de la velocidad de ejecución mediante el uso de transductores lineales de posición, al menos para cargas superiores al 55% del 1RM, además de su alta fiabilidad.

Esto concuerda con los resultados obtenidos por García-Ramos et al. (21), al estudiar la fiabilidad de las medidas de VM y VMax obtenidas con un transductor lineal en el ejercicio de press de banca en máquina Smith. Obtuvieron una alta fiabilidad en la medición de ambas variables, no obstante, y al contrario de lo observado en nuestro estudio, encontraron CV más altos en la VM que en la VMax, por lo que concluyeron que el uso de esta última variable podría ser una buena opción para el control del entrenamiento de fuerza. En nuestro estudio, el dispositivo S4L presenta CV considerablemente mayores en la VMax, en comparación con la VM, para todas las intensidades. En el caso del TF, si se observan CV ligeramente mayores para la VM a intensidades bajas (< 55% del 1RM), pero se igualan a intensidades relativas superiores al 55%.

Cabe destacar el valor práctico del transductor lineal S4L frente al TF. El hecho de que no requiera cableado, unido a su gran autonomía, su reducido tamaño y peso, su compatibilidad con dispositivos móviles, evitando tener que transportar un ordenador portátil al lugar de entrenamiento y, sobre todo, su reducido coste, lo convierten en una gran opción para el ámbito del entrenamiento deportivo.

A pesar de todas las ventajas que presentan los transductores lineales, la búsqueda de dispositivos más prácticos y más asequibles ha llevado a estudiar diferentes dispositivos basados en acelerometría (18,19,22).

Gómez-Piriz et al. (22) estudiaron la fiabilidad y comparabilidad de las mediciones de VMax de un acelerómetro (Myotest) y de un transductor lineal de velocidad (TF). Encontraron que los valores de VMax proporcionados por el acelerómetro eran mayores que los proporcionados por el transductor lineal, por lo que no podrían usarse indistintamente. Esta tendencia concuerda con los resultados obtenidos en nuestro estudio, al comparar el BS con el TF, a intensidades inferiores al 55% del 1RM, pero no así a intensidades superiores, donde los valores de VMax obtenidos con el BS eran inferiores a los obtenidos con el TF. Por otro lado, no se encontró correlación entre las medidas obtenidas por ambos dispositivos, al contrario de lo observado en nuestro estudio.

Otros estudios si han encontrado correlaciones entre las mediciones de la VM y VMax obtenidas con diferentes acelerómetros y las obtenidas con diferentes transductores lineales (18,19). De la misma manera, nuestros resultados reportan una alta correlación entre el BS y el TF para ambas variables. No obstante, estos estudios no muestran resultados de los valores de velocidad obtenidos, tan sólo muestran la correlación entre ambos dispositivos.

Balsalobre-Fernández et al. (19) estudiaron la validez y fiabilidad del acelerómetro BS, analizado en el presente estudio, dando por hecho su validez por la alta correlación obtenida al compararlo con un transductor lineal. No obstante, aunque ciertamente nuestros resultados muestran una alta correlación, existen diferencias significativas entre las mediciones de VM y VMax obtenidas con ambos dispositivos para todas las intensidades, por lo que el dispositivo BS no sería válido para la medición de la velocidad de ejecución.

Por otro lado, aunque argumentan que su uso en la práctica sería factible debido a la alta correlación obtenida respecto al transductor lineal, nuestros resultados muestran altos CV al estudiar la fiabilidad intraserie, por lo que quizá no sea la mejor opción de cara a la práctica.

Además, no hacen mención al alto porcentaje de pérdida de repeticiones por la no detección de las mismas. En nuestro estudio un 11,16% de las repeticiones no fueron detectadas por el BS. Esto, unido al hecho de que no tenga sensibilidad para detectar repeticiones por debajo de  $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , puede suponer que no resulte una herramienta práctica para su uso en el ámbito del entrenamiento de fuerza.

## **6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS**

---

El propósito de este estudio fue examinar la validez y fiabilidad del transductor lineal de posición S4L y del dispositivo basado en acelerometría BS, para la medición de la velocidad de ejecución en el ejercicio de press de banca en máquina Smith.

A la luz de los resultados obtenidos, podemos concluir la validez del dispositivo S4L para la medición de la velocidad de ejecución a intensidades relativas superiores al 55% del 1RM. Además, dada la alta correlación entre las medidas obtenidas con este dispositivo y las obtenidas con el TF (Gold Standard), y tras observar su alta fiabilidad, se puede afirmar que se trata de un dispositivo muy válido para el control de la velocidad.

Todo lo expuesto anteriormente, unido a su bajo coste, su reducido tamaño y escaso aparataje, y a lo sencillo de su uso, lo convierte en una gran herramienta para su uso práctico en el ámbito del entrenamiento y rendimiento deportivo, para la dosificación y control del entrenamiento de fuerza. No obstante, el S4L tiene el inconveniente de no discriminar la fase propulsiva dentro de la parte concéntrica del movimiento y, por lo tanto, no medir la VMP, variable más representativa del rendimiento neuromuscular que la VM, como ya vimos anteriormente. Su escaso almacenaje de información puede ser otro posible inconveniente.

En cuanto al dispositivo BS, los resultados muestran que no se trata de una herramienta válida para la medición de la velocidad de ejecución, ni de otras variables relacionadas, como la PM o la FM. Además, y a pesar de su alta correlación con las medidas obtenidas con el TF, su baja fiabilidad, su alto porcentaje de repeticiones no detectadas y su baja sensibilidad, ya que no detecta repeticiones por debajo de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , no lo convierten en una herramienta práctica para el entrenamiento de fuerza.

Por lo tanto, el uso de un transductor lineal parece la opción más recomendable de cara a la monitorización del entrenamiento de fuerza, lo cual nos va a permitir dosificar la carga justa de entrenamiento y controlar el efecto del entrenamiento realizado, aspectos imprescindibles en la mejora del rendimiento deportivo.

---

## **7. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA**

---

Hoy en día el nuevo paradigma del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución está en boga de todos. Este tipo de metodología puede aportar grandes beneficios en el ámbito del rendimiento deportivo, aportando a los preparadores físicos una gran herramienta para la correcta dosificación y control del entrenamiento.

Esta nueva tendencia está haciendo aparecer nuevas herramientas para su aplicación, muchas de ellas junto a fuertes campañas de marketing, especialmente en el caso de los acelerómetros. No obstante, se debe tener cuidado a la hora de escoger un dispositivo que pueda aportar información útil, que al mismo tiempo sea práctico para su uso en el trabajo de campo y con una relación calidad-precio aceptable.

La nueva generación de transductores lineales, más baratos y sencillos que sus antecesores, parecen cumplir con todos estos requisitos. Resultan ser herramientas prácticas, aportan información válida y tienen un precio más asequible.

En cambio, los acelerómetros, a pesar de su gran atractivo y su gran potencial, no parecen resultar, a día de hoy, una buena opción para la evaluación y control del entrenamiento de fuerza. La adopción de este tipo de dispositivos para su uso en el ámbito del rendimiento deportivo pasa por la mejora de su sensibilidad, frecuencia de muestreo y detección de las repeticiones.

Además, se debe tener en cuenta que el uso de herramientas para medir la velocidad de ejecución y la aplicación del entrenamiento basado en la velocidad, no garantizan la calidad del entrenamiento. Éstas son muy buenas herramientas para la mejora de la metodología del entrenamiento de fuerza y pueden suponer un salto de calidad en su dosificación y control, pero requieren una familiarización y un buen conocimiento de las variables utilizadas y de los componentes de la carga para su correcta implementación.

---

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. **Tous J.** Entrenamiento de la fuerza en los deportes colectivos. Máster profesional en alto rendimiento en deportes de equipo. Ed. Mastercede. Barcelona. 2007.
2. **Badillo JJ, Gorostiaga E.** Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Ed. Inde. Madrid. 2002.
3. **Zouita S, Zouita AB, Keksi W, Dupont G, Abderrahman AB, Salah FZB, Zouhal H.** Strength training reduces injury rate in elite young soccer players during one season. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2016; 30(5): 1295-1307.
4. **González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L, Pareja Blanco F, Rodríguez Rosell D.** La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de la fuerza. 2017.
5. **González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L.** Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine* 2010; 31(05): 347-352.
6. **González-Badillo J.** Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoes* 2000; 5(2): 3-14.
7. **Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ, Pérez CE, Pallarés JG.** Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *International journal of sports medicine* 2014; 35(03): 209-216.
8. **Sánchez-Medina L, Pallarés JG, Pérez CE, Morán-Navarro R, González-Badillo JJ.** (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open* 2017; 1(02): E80-E88.
9. **Allen DG, Lamb GD, Westerblad H.** Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews* 2008; 88(1): 287-332.
10. **González-Badillo JJ, Yañez-García JM, Mora-Custodio R, Rodríguez-Rosell D.** Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *International journal of sports medicine* 2017; 38(03): 217-225.
11. **Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ.** (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2011; 43(9): 1725-1734.
12. **Rhea MR, Alvar BA, Ball SD, Burkett LN.** Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2002; 16(4): 525-529.
13. **Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN.** Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. *Research quarterly for exercise and sport* 2002; 73(4): 485-488.
14. **González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, Pareja-Blanco F.** Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *European journal of sport science* 2014; 14(8): 772-781.

15. **Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, González-Badillo JJ.** Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International journal of sports medicine* 2014; 35(11): 916-924.
16. **Sánchez-Medina L, Pérez CE, González-Badillo JJ.** Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International journal of sports medicine* 2010; 31(02): 123-129.
17. **Bosco C, Belli A, Astrua M, Tihanyi J, Pozzo R, Kellis S, Tranquilli C.** A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 1995; 70(5): 379-386.
18. **Balsalobre-Fernández C, Kuzdub M, Poveda-Ortiz P, del Campo-Vecino J.** Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2016; 30(7): 1968-1974.
19. **Balsalobre-Fernández C, Marchante D, Baz-Valle E, Alonso-Molero I, Jiménez SL, Muñoz-López M.** Analysis of Wearable and Smartphone-Based Technologies for the Measurement of Barbell Velocity in Different Resistance Training Exercises. *Frontiers in Physiology* 2017; 8: 649.
20. **Garnacho-Castaño MV, López-Lastra S, Maté-Muñoz JL.** Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of sports science & medicine* 2015; 14(1): 128.
21. **García-Ramos A, Haff GG, Padial P, Feriche B.** Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise. *Sports Biomechanics* 2017; 1-14.
22. **Gómez-Piriz PT, Sánchez ET, Manrique DC, González EP.** Reliability and comparability of the accelerometer and the linear position measuring device in resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2013; 27(6): 1664-1670.