

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

**Curso Académico 2017-2018**

VALIDEZ Y REPRODUCIBILIDAD DE UN NUEVO MEDIDOR DE  
POTENCIA UTILIZADO EN CICLISMO (POWER2MAX) EN  
COMPARACIÓN CON UN ESTÁNDAR DE MEDICIÓN DE POTENCIA  
(POWERTAP)

*Validity and reproducibility of a new powermeter used in cycling (Power2Max)  
compared to a standard powermeter (PowerTap)*

Autor: Javier Iglesias Pino

Tutor: Juan García López

Fecha: 2 de Julio de 2018

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

## RESUMEN

---

El objetivo de este trabajo ha sido determinar la validez y reproducibilidad del potenciómetro Power2Max comparándolo con el potenciómetro PowerTap. Para ello, diez ciclistas entrenados han realizado cuatro pruebas en laboratorio en dos días consecutivos: una incremental máxima hasta el agotamiento, una de sprint y dos incrementales submáximas, con el motivo de analizar la reproducibilidad. Los principales resultados fueron que, en pruebas incrementales máximas y submáximas, existían altas correlaciones entre ambos potenciómetros ( $r= 0.997$  y  $0.992$ ), subestimando PowerTap con respecto a Power2Max la potencia ( $-0.9 \pm 1.5\%$  y  $-0.3 \pm 1.4\%$ ) y la cadencia ( $-0.5 \pm 0.4\%$  y  $-0.7 \pm 0.6\%$ ), encontrándose influencia de la cadencia y su combinación con la posición sobre los registros de cadencia. Sin embargo, en pruebas a sprint PowerTap sobreestima la potencia ( $1.7 \pm 9.3\%$ ) y subestima la cadencia ( $-11.4 \pm 14.0\%$ ) con respecto a Power2Max, observándose dificultades en el registro de altas cadencias de pedaleo. Por otra parte, PowerTap y Power2Max se muestran reproducibles en pruebas incrementales submáximas ( $CV= 5.2 \pm 3.9\%$  y  $4.6 \pm 3.9\%$ ), pero no en pruebas de sprint, dónde la reproducibilidad depende del desarrollo utilizado. Por lo tanto, se concluye que PowerTap y Power2Max son válidos y reproducibles en pruebas incrementales, debiendo interpretarse con cautela los registros de esfuerzos a sprint, dónde ambos potenciómetros deberían mejorar las mediciones de altas cadencias de pedaleo.

**Palabras clave:** ciclismo, potenciómetros, validez, reproducibilidad.

---

## ABSTRACT

---

*The aim of this study was to determine the validity and the reproducibility of Power2Max powermeter compared with PowerTap powermeter. For this purpose, ten trained male cyclists performed four laboratory test in two consecutive days: a maximal incremental test to exhaustion, a sprint test and two submaximal incremental test, in order to assess the reproducibility. The main results were that in maximal incremental and submaximal incremental test strong correlations were found between both powermeters ( $r= 0.997$  y  $0.992$ ), while PowerTap underestimated power output ( $-0.9 \pm 1.5\%$  and  $-0.3 \pm 1.4\%$ ) and cadence ( $-0.5 \pm 0.4\%$  and  $-0.7 \pm 0.6\%$ ) compared Power2Max, with influence on cadence measurements of cadence and its combination with position. Nevertheless, in sprint test PowerTap overestimated power output ( $1.7 \pm 9.3\%$ ) and underestimated cadence ( $-11.4 \pm 14.0\%$ ) compared Power2Max, due to vagueness with high cadence measurements. Moreover, PowerTap and Power2Max were reproducible in submaximal incremental test ( $CV= 5.2 \pm 3.9\%$  and  $4.6 \pm 3.9\%$ ) but not in sprint test, depending on gear ratio. Therefore, PowerTap and Power2Max were valid and reproducible in incremental test, but sprint efforts should be treated with caution and both powermeters should improve the high cadence measurements.*

**Key Words:** cycling, powermeters, validity, reproducibility.

---

## ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.1. La potencia en el ciclismo .....	4
1.2. Estado de la cuestión .....	5
<b>2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE .....</b>	<b>18</b>
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
3.1. Sujetos .....	19
3.2. Instrumentos .....	19
3.3. Procedimiento .....	21
3.4. Obtención y tratamiento de los registros de potencia.....	21
3.5. Análisis estadístico.....	22
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS .....</b>	<b>33</b>
<b>7. LIMITACIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....</b>	<b>34</b>
<b>9. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA.....</b>	<b>35</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>36</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>40</b>
Anexo I. Consentimiento informado para realizar un protocolo de pruebas de pedaleo .....	40
Anexo II. Informe del Comité de Ética de la Universidad de León .....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad la potencia representa la variable de análisis del rendimiento más relevante en el ciclismo, y las herramientas para su medición, los potenciómetros, deben ser testeados científicamente para probar su validez. Dicho esto, a continuación se trata de manera breve los fundamentos del concepto de potencia en el ciclismo, así como los antecedentes sobre el análisis de los potenciómetros:

### 1.1. La potencia en el ciclismo

---

La potencia es definida cómo la cantidad de trabajo (J) realizado por unidad de tiempo (s) (McArdle *et al.*, 2000) siendo su unidad de medida en el Sistema Internacional el vatio. Por lo tanto, esta variable nos permite valorar la intensidad del ejercicio físico realizado en diferentes modalidades deportivas (Winter *et al.*, 2009). En el ciclismo, el deportista está unido a una máquina como es la bicicleta, hecho que facilita la medición de la potencia (Stannard *et al.*, 2015), siendo esta calculada mediante un medidor de la potencia portátil. Así, estas herramientas precisan tener sensores que midan tanto la fuerza, como la velocidad del pedaleo, ya que en el caso del ciclismo la potencia se expresa cómo el producto del momento de fuerza aplicada por el ciclista (N·m) y la velocidad de giro de la biela (rad/s).

En este sentido, la potencia es una variable que nos permite cuantificar la intensidad del esfuerzo y por lo tanto la carga de trabajo que esta supone, permitiéndonos evaluar el rendimiento del deportista tanto en el entrenamiento como en la competición (Passfield *et al.*, 2016). Por otra parte, la intensidad del pedaleo está influida por varios factores que tienen lugar durante el desarrollo del ejercicio: la orografía del terreno, el viento, rodar en grupo o en solitario, las condiciones climatológicas y del pavimento... Estos factores fluctúan rápidamente y por lo tanto para evaluar la intensidad del ejercicio se precisa de una variable que responda de manera instantánea a estos cambios, tal y como es la potencia. De manera complementaria se puede utilizar el registro de la frecuencia cardíaca, que es un indicador de la respuesta que el organismo tiene a nivel interno de esos cambios en la carga externa. Sin embargo, esta no responde de manera inmediata a los cambios de intensidad (Allen y Coggan, 2010) y además está influenciada por la fatiga, la temperatura, la hidratación, los ritmos circadianos (Achen y Jeukendrup, 2003).

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de herramientas para medir la potencia en ciclismo, tanto en laboratorio como en campo. Tradicionalmente, esta se ha calculado de manera indirecta mediante fórmulas matemáticas, siendo la propuesta por di

Prampero (1979) una de las más precisas comparándola con un método directo de medición como SRM (González-Haro, 2007):

$$P_{estimada} = P_{aerodinámica} + P_{gravedad} + P_{rodadura} + P_{fricción}$$

$$P_{estimada} = [0.5\rho ACd(V_d + V_w)^2V_d + \left(M g \frac{h}{d}\right)V_d + Cr M g \cos\alpha Vd] + F_b$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ),  $ACd$  es el área frontal ( $\text{m}^2$ ),  $V_d$  es la velocidad de desplazamiento ( $\text{m/s}$ ),  $V_w$  es la velocidad del viento ( $\text{m/s}$ ),  $M$  es la masa del ciclista más la bicicleta ( $\text{kg}$ ),  $h$  es la elevación total ( $\text{m}$ ),  $d$  es la distancia recorrida ( $\text{m}$ ),  $Cr$  es el coeficiente de rodadura,  $g$  es la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $\cos \alpha$  es el ángulo de la pendiente y  $F_b$  es la fricción asociada a la cadena de transmisión. Sin embargo, ciertas de estas variables no son estables ( $ACd$ ,  $V_w$ ) y otras son estimadas con cierta precisión ( $\rho$ ,  $Cr$ ,  $M$ ), por lo que estos métodos indirectos de medición de la potencia siempre van a tener un cierto error asociado (Millet *et al.*, 2014).

Los potenciómetros, como herramientas que permiten evaluar el rendimiento, deben ser testeados en estudios científicos con el objetivo de probar su validez, exactitud y reproducibilidad. Así las cosas, entendemos por validez a la capacidad de los potenciómetros para medir aquello para lo que están diseñados. La exactitud cuán cerca del valor real se encuentra el valor obtenido por el potenciómetro. La reproducibilidad es la capacidad del potenciómetro obtener el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones. La importancia de verificar estos parámetros radica en la necesidad de cuantificar los cambios que se dan en la condición física del deportista como consecuencia del entrenamiento (Bertucci *et al.*, 2005a). Sin embargo, estas fluctuaciones son muy leves, cifrándose en torno al 2% en atletas de elite (Hopkins *et al.*, 1999; Hopkins *et al.*, 2001), de modo que si el medidor de potencia no fuese preciso, la percepción de las mismas sería imposible, o la interpretación de los resultados podría llevarnos a error (por ejemplo, considerar que la condición física ha disminuido cuando dicha disminución se debe al error del instrumento).

## 1.2. Estado de la cuestión

---

En sus orígenes, la potencia ejercida por un ciclista únicamente podía ser registrada en laboratorio mediante ergómetros de freno mecánico, electrónico, electromagnético o por resistencia del aire. El ergómetro de freno mecánico Monark (Monark, Varberg, Sweden) fue el primer ergómetro capaz de registrar la potencia, siendo testado por Maxwell *et al.* (1998),

concluyéndose que este subestimaba la potencia en torno a un 8% dentro del rango de 59 – 353 W, en comparación con un método dinámico de calibración de ergómetros (CALRIG). Posteriormente, otro de los ergómetros de freno electromagnético más comúnmente utilizados, el Lode Excalibur, fue analizado en su reproducibilidad por Earnest *et al.* (2005) mostrándose fiable en sus registros ( $CV \leq 5\%$ ). Abbiss *et al.*, (2009) testaron el ergómetro por freno electrónico Velotron comparándolo con el CALRIG, concluyendo que era preciso en pruebas constantes ( $<1\%$ ), aumentando este valor en intervalos de alta intensidad (3%). Mientras que Astorino y Cottrell (2012) testaron su reproducibilidad, mostrándose fiable en la potencia media ( $r = 0.90$ ,  $p < 0.01$ ) y máxima ( $r = 0.70$ ,  $p < 0.05$ ) en un test Wingate. Posteriormente, Hopker *et al.* (2010) y Wainwright *et al.* (2017) compararon el ergómetro de resistencia magnética y por aire Wattbike con el CALRIG, obteniéndose altas correlaciones ( $R^2 = 0.99$ ) en una prueba incremental y no existiendo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en las mediciones de potencia durante el test – retest, por lo que se concluyó que era un ergómetro válido y fiable.

Se debe tener en cuenta que los ergómetros anteriormente descritos (Figura 1) solamente son capaces de registrar la potencia de pedaleo en condiciones de laboratorio, siendo tradicionalmente usados en el campo de la valoración de las capacidades físicas para el registro de variables fisiológicas. A pesar de que son configurables en la mayoría de las medidas (altura y retroceso del sillín y altura y largo de manillar), algunos de estos presentan dificultades en el ajuste de ciertos parámetros, por diferencias en la geometría con respecto a las bicicletas de los deportistas, afectando al confort y la propia técnica del pedaleo desarrollada.



Figura 1. Ilustración sobre los ergómetros testeados científicamente: Monark, Lode Excalibur, Velotron y Wattbike (izquierda a derecha)

Los avances en la tecnología basados en la invención de las galgas extensiométricas y la mayor duración de las baterías permitieron el surgimiento de los primeros potenciómetros portátiles en los 80s, como el SRM (Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Werdorf, Germany) y el Look Max One (Look SA, Nevers, France). Posteriormente, con la invención de protocolos para conectar y transferir datos de varios dispositivos entre sí, como el ANT+ y el Bluetooth, se

posibilitó que las informaciones registradas por los potenciómetros fueran almacenadas en ciclocomputadores. Este hecho dio un nuevo concepto a la monitorización de la intensidad del ejercicio, ya que no solo se podía ver en tiempo real sino que también se podría exportar a posteriori en un PC, pudiendo cuantificar las cargas del entrenamiento y de la competición.

Así pues, se empezó a cuestionar la validez de estas herramientas capaces de registrar la potencia del pedaleo en campo. De este modo, Martin *et al.* (1998) y Jones y Passfield (1998) establecieron al SRM, sistema que se ubica en la araña (entre el plato y las bielas) y basado en galgas extensiométricas, como estándar en el registro de la potencia, ya que obtuvieron altas correlaciones ( $R^2 > 0.99$ ) al compararlo con un ergómetro por fricción Monark modificado para que fuese conducido por un tapiz rodante, con el objetivo de minimizar las variaciones en la potencia producida. Así mismo, Jones y Passfield (1998) concluyeron en este estudio que los modelos de SRM basados en 20 galgas extensiométricas (modelo científico) producían una menor variabilidad de la medida en comparación con el modelo de 4 galgas extensiométricas, probablemente debido a su mayor precisión.

Posteriormente surgió PowerTap (Saris Cycling Group, Madison, USA), sistema ubicado en el eje de la rueda trasera y que se basa en 8 galgas extensiométricas, siendo testeado en multitud de estudios científicos. Así, Gardner *et al.* (2004) compararon PowerTap y SRM con el CALRIG, antes y después de un periodo de uso de 11 meses, en diferentes rangos de potencias, temperaturas ambientales, cadencias, velocidades y tiempos. De este modo, obtuvieron que ambos sistemas eran precisos (rango de error de  $-2.5 \pm 0.5\%$  para PowerTap y  $2.3 \pm 4.9\%$  para SRM) y reproducibles (diferencia entre las calibraciones tras los 11 meses de uso de  $-2.7 \pm 0.1\%$  y  $-0.8 \pm 1.7\%$ , respectivamente). Además, su precisión no se veía influenciada significativamente por la velocidad del ensayo ni por la cadencia, ni por el tiempo de pedaleo. Por otra parte, Bertucci *et al.* (2005b), instalaron en una misma bicicleta los dispositivos SRM y PowerTap, testeándolos durante 4 pruebas: un test submáximo incremental, un test submáximo continuo de 30 minutos, un test de sprint y un test de campo. Confirmándose la validez y fiabilidad del PowerTap en pruebas submáximas, ya que la subestimación de la potencia de este respecto a SRM ( $-1.2 \pm 1.3\%$ ) no representaba un valor significativo, siendo constante, y su reproducibilidad ( $CV = 0.9 \pm 2.9\%$ ) era similar a la de estándar SRM ( $CV = 0.7 \pm 2.1\%$ ). Mientras que en esfuerzos a sprint su validez dependía del desarrollo utilizado, habiendo mayores diferencias (8%) con cortas relaciones de pedaleo (plato-piñón: 39-23 dientes) en comparación con relaciones más largas (plato-piñón: 39-17 y 39-14 dientes). De otra parte, Maier *et al.* (2017) compararon varios potenciómetros, entre los que se encuentra PowerTap, con un modelo matemático en una serie de esfuerzos submáximos (180 – 360 W) mostrándose tanto válido, al sobreestimar ligeramente la potencia ( $0.9 \pm 2.1\%$ ), como reproducible ( $CV = 0.8 \pm 0.2$ ). De este modo, se puede afirmar que SRM y

PowerTap son, a día de hoy, los dos estándares de medición de la potencia en ciclismo (Figura 2).



Figura 2. Ilustración del medidor de potencia en la araña (SRM, izquierda) y en el eje de la rueda trasera (PowerTap, derecha)

En la actualidad, y en parte coincidiendo con la caducidad de la patente de SRM en el año 2007, multitud de marcas comerciales han comercializado dispositivos para medir la potencia de pedaleo: ErgomoPro, Garmin Vector, Power2Max, Stages, PowerTap P1, PowerTap C1, Quarq, G-Cog, Limits Power, Polar Electro, Pioneer, Polar Look Keo Power, 4iii Precision, Rotor Inpower, Axis Crank, Factor, BePro, Verve Infocrank, RPM2 Footpod Power Meter, Team Zwatt, Shimano Dura-Ace Power Meter, Brim Brothers Zone, Xpedo Thruste E, Look Shoe Power, Ashton Instruments, Dyno Velo, iBike/iAero, PowerPod, PowerCal... Esta gran variedad de dispositivos pueden clasificarse atendiendo a 2 criterios: la localización del medidor de potencia en la bicicleta (suela de la zapatilla, pedal, biela, araña, eje de pedaleo, eje de la rueda trasera, manillar y cinta pectoral) y el tipo de sensor utilizado por el medidor de potencia (galgas extensiométricas, acelerómetros, sensores de pendiente y velocidad del viento, frecuencia cardíaca). Muchos de ellos no miden directamente la potencia de pedaleo, sino que la estiman a partir de la aceleración de la biela, la velocidad del viento, la pendiente o la intensidad del esfuerzo (frecuencia cardíaca). De otra parte, la gran competencia entre marcas ha hecho que se abaratasen los precios, en comparación con los primeros años de comercialización, cuyo uso estaba limitado al campo de la investigación y al ciclismo profesional, facilitando su utilización a cicloturistas o personas que no practican ciclismo de manera profesional.

Sin embargo, la mayoría de los usuarios de los medidores de potencia utilizan como criterio de elección para su compra el precio, el peso o la localización del mismo en la bicicleta. En contraste, sólo unos pocos estudios científicos han testeado la validez y fiabilidad de estos sensores (Tabla 1). Para ello los autores comparan un sensor nuevo con un sensor anteriormente validado, aplicando un protocolo que, en la mayoría de los estudios, está compuesto por un test submáximo incremental, un test submáximo continuo, un test de sprint y un test de campo. Repitiéndose estos cuatro test un número determinado de veces, dependiendo, entre otros factores, de lo amplia que sea la muestra (es decir, se suelen hacer

menos repeticiones con muestras más amplias, por una cuestión de dimensionamiento del experimento).

Tabla 1. Descripción de los potenciómetros portátiles testados científicamente

Potenciómetro	Ubicación	Referencia	Validez	Reproducibilidad
SRM	Araña	Martin et al. (1998); Jones y Passfield (1998)	V	V
PowerTap	Buje trasero	Gardner et al. (2004); Bertucci et al. (2005); Maier et al. (2017)	V	V
Polar S710	Cadena	Millet et al. (2003)	X	X
ErgomoPro	Eje de pedaleo	Duc et al. (2007); Kirkland et al. (2008)	~	X
Look Keo Power	Pedales	Sparks et al. (2015)	~	X
Stages	Bielas	Bouillod et al. (2016); Granier et al. (2017); Maier et al. (2017)	X	V
Garmin Vector	Pedales	Bouillod et al. (2016); Cavas et al. (2015); Hutchison et al. (2017); Novak et al. (2016)	~	V
Garmin Vector 2	Pedales	Nimmerichter et al. (2017)	~	V
PowerTap P1	Pedales	Czajkowski et al. (2016); Pallarés et al. (2018)	V	V
PowerCal	Cinta pectoral	Costa et al. (2017)	X	X
Quarq	Araña	Maier et al. (2017)	~	V
Verve InfoCrank	Bielas	Maier et al. (2017)	~	V
Power2Max	Araña	Maier et al. (2017)	~	V
G-Cog	Buje trasero	Bertucci et al. (2013)	X	X

V= afirmación; X= negación; ~= duda

Polar S710 (Polar, Kempele, Finland) es un potenciómetro que calcula la potencia a partir de la velocidad y la tensión de la cadena, estimada por las vibraciones producidas en la misma (Figura 3). Este fue comparado por Millet *et al.* (2003) con SRM, resultando en sobreestimación significativa de la potencia media ( $7.4 \pm 5.1\%$ ;  $p < 0.001$ ) en una prueba incremental en campo, aumentando las diferencias a medida que la intensidad incrementaba. Así mismo, sobreestimaba significativamente la potencia en una prueba constante a diferentes cadencias (60, 90, 100 rpm) en laboratorio ( $6.8 \pm 7.9$  W;  $p < 0.001$ ), aumentando también las diferencias a medida que incrementaba la cadencia ( $0.6 \pm 3.8\%$ ,  $4.4 \pm 3.7\%$ ,  $7.8 \pm 4.4\%$ , respectivamente). Por otra parte, la reproducibilidad mostrada por Polar S710 y SRM en la prueba en campo fue de 2.2% y 1.9%, respectivamente. De esta forma se concluye que este potenciómetro no se muestra válido ni reproducible para el ciclismo de élite, pero pudiendo ser de aplicabilidad para un ciclismo recreativo en el que no se requiere de una gran precisión en las mediciones.

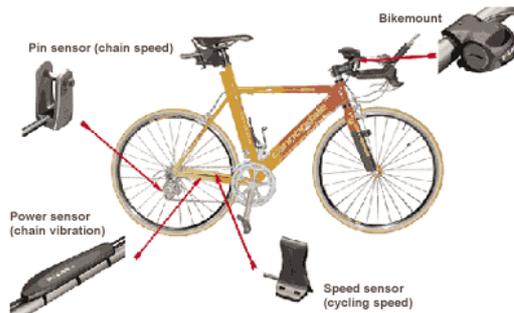


Figura 3. Ilustración acerca de los sensores del potenciómetro Polar S710: medidor de la velocidad de la cadena, sensor de vibraciones y velocímetro (de arriba a abajo e izquierda a derecha). Copyright 2018 por Polar.

ErgomoPro (ErgomoPro, Mörfeldn-Walldorf, Germany), que es un potenciómetro ubicado en eje de pedaleo y basado en sensores optoelectrónicos (Figura 4), fue comparado por Duc *et al.* (2007) con el SRM y PowerTap, resultando este nuevo sistema sobreestimaba la potencia realizada en el test incremental respecto a SRM y PowerTap ( $6.3 \pm 2.5\%$  y  $11.1 \pm 2.1\%$ , respectivamente), al igual que en el test de campo ( $12.0 \pm 5.7\%$  y  $16.5 \pm 5.9\%$ , respectivamente), siendo menor en el test de sprint ( $1.6 \pm 2.5\%$  y  $3.2 \pm 2.7\%$ , respectivamente). Por otra parte, la reproducibilidad de ErgomoPro tenía un valor aceptable tanto en el test incremental como en el test continuo (CV=  $4.1 \pm 1.8\%$  y  $5.4\%$ , respectivamente), aunque menor que SRM y PowerTap (CV=  $1.9 \pm 0.4\%$  y  $2.4\%$  y CV=  $2.1 \pm 0.8\%$  y  $2.5\%$ , respectivamente). En conclusión, en este trabajo, tanto la validez como la reproducibilidad del ErgomoPro se ponían en duda. Posteriormente, Kirkland *et al.* (2008) lo compararon con Monark y SRM en un protocolo de pruebas incrementales en laboratorio (50 a 450 W). Así, ErgomoPro sobreestimaba significativamente la potencia con respecto a Monark, sin encontrarse diferencias significativas con SRM ( $p= 0.58$ ). Por otra parte, se mostraba menos reproducible que los sistemas con los que se comparó (CV=  $2.31\%$ ,  $1.37\%$  y  $1.59\%$ , respectivamente). Unificando las ideas de ambos trabajos mencionados podemos decir que ErgomoPro se muestra válido en determinadas condiciones de pedaleo, pero que no aporta una reproducibilidad en sus mediciones.



Figura 4. Ilustración sobre el potenciómetro ErgomoPro: conjunto platos y bielas (izquierda) y sensores optoelectrónicos del eje de pedaleo (derecha)

Look Keo Power (Look, Cadex, France), que es un potenciómetro ubicado en pedal y con galgas extensiométricas (Figura 5), fue analizado por Sparks *et al.* (2015) en comparación con un ergómetro de SRM, resultando en una ligera subestimación no significativa de la potencia media en el test incremental, en el test de sprint y en el test combinado (-4.6 W, -16.7 W, -9.7 W, respectivamente). Sin embargo, el intervalo de confianza de las diferencias entre ambos sistemas era muy elevado (-55.9 y 65 W, -98.9 y 132.3 W, -78.8 y 98.1 W, respectivamente), y la reproducibilidad de Look Keo Power no resultaba aceptable, con una gran diferencia entre los valores de potencia media de las dos repeticiones de los 3 test (21.0 W, 15.4 W, 18.6 W, respectivamente). De esta manera, concluyó que Look Keo Power no es reproducible, y que su validez es más que cuestionable.



Figura 5. Ilustración del potenciómetro Look Keo Power ubicado en los pedales

Stages (Stages Cycling, Saddleback Ltd., UK), que es un potenciómetro ubicado en la biela y basado en galgas extensiométricas (Figura 6), ha sido recientemente analizado por Bouillod *et al.* (2016), comparándolo con el SRM. Se obtuvo una alta correlación entre ambos sistemas ( $r= 0.985$ ), sin embargo Stages subestimaba con respecto a SRM, tanto en el test incremental como el test de campo ( $-13.7 \pm 12.4$  W y  $-10.2 \pm 33.7$  W, respectivamente). Además, el intervalo de confianza de las diferencias entre ambos potenciómetros en el test incremental era muy elevado (-37.9 y 10.6 W). Así mismo, se observó que la posición de pedaleo influía en la potencia registrada por el Stages, siendo menor de pie que sentado (-4.4%,  $p < 0.001$ ). Por otra parte, al testear su fiabilidad, se observó que Stages era bastante aceptable, respecto a SRM, en el test incremental ( $CV= 3.0 \pm 1.9\%$  y  $1.9 \pm 1.3\%$ , respectivamente). Posteriormente, Granier *et al.* (2017) llevo a cabo un estudio similar al anteriormente descrito, comparando Stages con SRM, obteniendo una ligera sobreestimación de Stages en un test incremental (4.1 W;  $IC_{95\%}= -6.0$  y 17.6 W) y una subestimación en un test de sprint (-16.3 W;  $IC_{95\%}= -93.9$  y 61.3 W). Así mismo, se mostraba menos reproducible que SRM ( $CV= 4.5 \pm 2.1\%$  y  $2.9 \pm 1.3\%$ , respectivamente). Por último, Maier *et al.* (2017) lo testó comparándolo con un método matemático en una prueba incremental submáxima,

subestimando la potencia ( $-2.9 \pm 3.9\%$ ) y mostrándose reproducible ( $CV= 2.0 \pm 1.4\%$ ). De este modo, teniendo en cuenta los anteriores estudios, podemos concluir que Stages no es un potenciómetro válido pero sí es reproducible.



Figura 6. Ilustración sobre el potenciómetro Stages ubicado en la biela izquierda

Garmin Vector (Garmin, Lenexa, USA), que es un potenciómetro ubicado en pedal y con galgas extensiométricas (Figura 7), ha sido numerosas veces analizado. Bouillod *et al.* (2016) lo compararon con SRM, obteniéndose altas correlaciones entre ambos ( $r= 0.996$ ), pero con una diferencia en el registro de potencia respecto al SRM que dependía del tipo de prueba analizada: incremental, sprint y campo ( $0.6 \pm 6.2$  W,  $-36.9\%$  y  $-29.4 \pm 12.7$  W, respectivamente). Por lo tanto, se concluye que, con carácter general, subestima la potencia en comparación con este. Respecto a la fiabilidad, en este estudio Garmin Vector obtuvo un buen valor respecto a SRM en el test incremental ( $CV= 2.5 \pm 1.3\%$  y  $1.9 \pm 1.3\%$ , respectivamente). Así mismo, Cavas *et al.* (2015) lo volvió a comparar con SRM, resultando que Garmin Vector subestimaba significativamente la potencia respecto a este en un test incremental ( $-20.3 \pm 4.1$  W), llegando a resultados similares respecto a Bouillod *et al.* (2016) en el resto de las variables. En cuanto a la fiabilidad Garmin Vector se mostró aceptable respecto a SRM ( $CV= 2.1 \pm 0.9\%$  y  $1.3 \pm 0.3\%$ , respectivamente). Posteriormente, Hutchison *et al.* (2017) también lo comparó con SRM, concluyendo que Garmin Vector subestimaba la potencia respecto a este en un test submáximo ( $178 \pm 1.8$  W y  $163.5 \pm 14.7$  W, respectivamente) y en sprints ( $-9.6\%$ ). En general, los tres trabajos mencionados confirman que Garmin Vector subestima la potencia de pedaleo, pero que tiene una fiabilidad alta. Sin embargo, Novak *et al.* (2016) también compararon este sistema respecto a SRM (7 esfuerzos máximos de 5 a 600 segundos), obteniendo una ligera sobreestimación no significativa en la potencia del Garmin Vector respecto a SRM ( $3.3\%$ ), y aumentando la sobreestimación a medida que se incrementaban los valores de potencia, por lo que el Garmin Vector podría ser considerado como un potenciómetro válido, pero ligeramente menos fiable que en los tres estudios anteriores, fundamentalmente a potencias de pedaleo altas. A diferencia de estos estudios previos, en este último trabajo se utilizaron mayores intensidades de pedaleo, y la versión del SRM fue científica (20 galgas extensiométricas), con lo que se presupone una

mayor precisión que la versión de profesional (8 galgas extensiométricas). En conclusión, teniendo en cuenta estos cuatro estudios podemos concluir que existen dudas sobre la validez del Garmin Vector, a pesar de ser un sistema fiable, fundamentalmente a potencias moderadas de pedaleo.



Figura 7. Ilustración sobre el potenciómetro Garmin Vector ubicado en los pedales

Recientemente Garmin ha lanzado al mercado un nuevo modelo, el Garmin Vector 2, manteniéndose su ubicación en los pedales y basándose en galgas extensiométricas (Figura 8). Este potenciómetro ha sido comparado por Nimmerichter *et al.* (2017) con respecto a SRM en un protocolo de pruebas en laboratorio y campo. De este modo, no había diferencias significativas entre Garmin Vector 2 y SRM en las pruebas submáximas en laboratorio ( $p=0.245$ ;  $206.8 \pm 73.3$  W y  $205.5 \pm 72.5$  W, respectivamente) y las pruebas en campo ( $p=0.312$ ;  $198.3 \pm 76.6$  W y  $199.3 \pm 77.3$  W, respectivamente). Sin embargo, Garmin Vector 2 subestimaba la potencia en sprint (Potencia a 30 segundos y potencia a 1 segundo) respecto a SRM ( $-6.3 \pm 38.9$  W y  $-18.8 \pm 17.1$ W). Por otra parte, Garmin Vector 2 y SRM se mostraban reproducibles tanto en laboratorio como en campo ( $\sim 3.0$  % y  $\sim 1.0$  %, respectivamente). Por lo tanto podemos concluir que, con diferencia respecto al primer modelo, Garmin Vector 2 se muestra tanto válido como reproducible en pruebas submáximas en laboratorio y campo, debiéndose interpretar con cautela sus registros a sprint.



Figura 8. Ilustración sobre el nuevo modelo de potenciómetro de Garmin: el Garmin Vector 2

PowerTap P1 (Saris Cycling Group, Madison, USA), que es un potenciómetro ubicado en el pedal y con galgas extensiométricas (Figura 9), fue comparado por Czajkowski *et al.* (2016)

con un ergómetro de SRM, resultando que este nuevo sistema subestimaba la potencia realizada en un test incremental respecto a SRM, pero no significativamente (-1.5%), mostrando a su vez una baja variación (~11 W) en el intervalo confianza de las diferencias entre ambos sensores (-9.2 y 1.9 W). Así mismo, las diferencias en el test de sprint entre los dos potenciómetros en las mediciones de potencia máxima y la potencia a los 5 segundos no fueron significativas. Por otra parte, la cadencia tuvo un efecto significativo en PowerTap P1, ya que a medida que aumentaba, las diferencias con el SRM se incrementaban ligeramente (desde -0.8% a 60 rpm a -2.4% a 100 rpm, con respecto a SRM). En cuanto a su reproducibilidad, este nuevo sistema aportó unos datos excelentes durante el test incremental y el test de sprint (CV= 0.7% y 0.8%, respectivamente). A resultados similares llegó Pallarés *et al.* (2018) comparándolo con el modelo científico de SRM en una prueba incremental (100 – 500 W) a diferentes cadencias (70, 85 y 100 rpm) y posiciones (sentado y de pie), mostrando que PowerTap subestimaba significativamente la potencia ( $p < 0.05$ ) con respecto a SRM, aumentando dicha subestimación a medida que se incrementaba la cadencia (-2.4 W, -5.3 W, -7.3 W, respectivamente). Por otra parte, PowerTap P1 se mostró reproducible (CV= 2.3%). Así podemos concluir, aunando los resultados de ambos estudios, que el PowerTap P1 es el primer potenciómetro localizado en los pedales que es válido y reproducible, pudiendo incluso llegar a considerarse como el tercer estándar para la medición de la potencia en ciclismo.



Figura 9. Ilustración sobre el potenciómetro PowerTap P1 ubicado en los pedales

PowerCal (Saris Cycling Group, Madison, USA), es un sistema que estima la potencia desarrollada a partir del registro de la respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio (Figura 10). Es un dispositivo que se ubica en una cinta pectoral y representa una alternativa económica con respecto a los métodos de medición de la potencia de manera directa (ergómetros y potenciómetros portátiles). De esta forma, PowerCal fue testado por Costa *et al.* (2017) comparándolo con el ergómetro Velotron en esfuerzos máximos estables (contrarrelojes de 20 kilómetros), mostrando una subestimación de la potencia media ( $242 \pm 28$  W y  $282 \pm 27$  W, respectivamente) y una mala reproducibilidad (CV= ~ 6.0% y ~ 3.0%). Por lo tanto se concluye que este dispositivo que estima la potencia a través de la frecuencia cardiaca no es válido ni reproducible.



Figura 10. Ilustración sobre el dispositivo estimador de la potencia del pedaleo PowerCal

Quarq (Quarq, Spearfish, SD, USA) potenciómetro ubicado en la araña y basado en galgas extensiométricas, Verve InfoCrank (Verve Cycling, West Perth, Australia) potenciómetro ubicado en las bielas y basado en galgas extensiométricas y Power2Max (Power2Max, Waldhufen, Germany) potenciómetro ubicado en la araña y basado en galgas extensiométricas (Figura 11), fueron analizados por Maier *et al.* (2017), entre otros potenciómetros, comparándolos con un modelo matemático en una prueba submáxima (180 – 360 W). Las diferencias de estos potenciómetros con respecto al modelo fueron de  $0.5 \pm 3.0\%$ ,  $-1.7 \pm 1.1\%$  y  $-4.8 \pm 3.4$ , respectivamente. Por otra parte, se mostraron reproducibles a lo largo de todo el protocolo de pruebas ( $CV= 1.3 \pm 0.8\%$ ,  $0.6 \pm 0.4\%$  y  $1.5 \pm 0.4$ , respectivamente). Sin embargo no se testó a estos potenciómetros en diversas condiciones de pedaleo (cadencias y posiciones sobre la bici), ni en esfuerzos a sprint, por lo que la interpretación de los datos de validez de este estudio se deben tomar con cautela.



Figura 11. Ilustración sobre los potenciómetros Quarq, Verve InfoCrank y Power2Max (izquierda a derecha)

Por otra parte, la literatura científica ha testado el efecto que tiene la temperatura sobre la medición de la potencia de los diferentes potenciómetros. Esto se debe a que los cambios de temperatura producen una expansión o una contracción del aluminio que componen dichas galgas extensiométricas (Wooles, Robinson, & Keen, 2005). Así, Gardner *et al.* (2004) obtuvieron que tanto SRM como PowerTap eran sensibles a los cambios de temperatura, obteniéndose una diferencia media de potencia de un 5.2% y un 8.4%, respectivamente, cuando se pasaba de unas condiciones estándar en laboratorio ( $\sim 21^{\circ}\text{C}$ ) a unas condiciones de frío ( $\sim 6^{\circ}\text{C}$ ). Así mismo, se obtuvo que cuando SRM y PowerTap se calibraban (hacer el cero) después de haberse expuesto a condiciones de frío, ambos daban un error positivo (3.7

$\pm 0.4\%$  y  $5.5 \pm 2.4\%$ , respectivamente), al contrario que si se calibraban en unas condiciones estándar en un laboratorio, dando un error negativo ( $-1.5 \pm 0.4\%$  y  $-3.2 \pm 0.2\%$ , respectivamente). Por otra parte, en este estudio, se vio que PowerTap, cuando se calibraba en condiciones de frío, necesitaba de 15 minutos de actividad en estado estable para estabilizarse. Sin embargo, el resto de potenciómetros no han sido testeados para valorar el efecto de la temperatura en la medición de la potencia.

Otros estudios basados en la disciplina del Cross Country emplearon metodologías muy diferentes a las anteriormente comentadas. Hurst *et al.* (2015) compararon Stages con SRM solamente testeándolos en una prueba de campo durante una subida de gravilla de 1.6 kilómetros, donde los factores ambientales influyen en la medición de potencia y en la reproducibilidad de los mismos, concluyéndose que Stages subestimaba significativamente la potencia media y pico comparado con SRM, y que ambos sensores se mostraban reproducibles respecto a las mediciones en la potencia media, no así de la potencia pico. Mientras Miller *et al.* (2016) compararon PowerTap, Quarq y Stages, en un test de laboratorio en tapiz rodante a una velocidad y pendiente constante a diferentes cadencias, así como un test de campo en un circuito de Cross Country con 3 secciones diferenciadas, una de subida, otra de bajada y una llana. En este estudio, se concluyó que los sistemas analizados eran reproducibles, pero que su validez estaba en duda. Por otra parte, en la disciplina del BMX, Bertucci *et al.* (2013) analizaron el potenciómetro G-Cog, comparándolo con SRM y PowerTap, en una serie de test incrementales y test de sprint en laboratorio, resultando que los datos obtenidos por el sensor G-Cog, no eran válidos ni fiables en ninguna de las dos pruebas.

Por otra parte, de manera paralela a la multitud de potenciómetros portátiles que han ido emergiendo en el mercado, surgieron rodillos capaces de monitorizar la potencia producida. Esto posibilita cuantificar la intensidad y la carga de entrenamiento en condiciones de interior, siendo además capaces de sincronizarse con softwares específicos de realidad virtual o programar sesiones de entrenamiento determinadas. Algunos de estos dispositivos también se han estudiado científicamente, planteándose su validez y reproducibilidad (Figura 12). Así, Bertucci *et al.* (2005a) compararon el rodillo de resistencia electromagnética Axiom (Elite s.r.l., Fontaniva, Italy) con el modelo científico de SRM en un test para determinar la potencia aeróbica máxima y en esfuerzos máximos estables (contrarrelojes de 10 minutos). Este rodillo no se mostró válido, ya que sobreestimaba significativamente la potencia ( $p < 0.05$ ) con respecto a SRM en las dos pruebas realizadas (5% y 12%, respectivamente), pero si reproducible (CV= 2.2%). Recientemente, Lillo-Bevia y Pallarés (2017) testaron la validez y reproducibilidad del rodillo Hammer (Saris Cycling Group, Madison, USA) comparándolo con el modelo científico de SRM en una prueba incremental submáxima (100 – 500 W) a diferentes

cadencias (70, 85 y 100 rpm) y posiciones sobre la bicicleta (sentado y de pie). No se detectaron diferencias significativas entre el rodillo Hammer y SRM en las diferentes condiciones de intensidad, cadencia y posición ( $p= 1.00 - 0.35$ ), mostrando a su vez una baja variación en el intervalo confianza de las diferencias entre ambos sensores (entre -5.5 y 3.8 W). A su vez, se mostró reproducible entre las pruebas realizadas ( $CV < 1.2\%$ ). Frémeaux *et al.* (2017) también testaron el rodillo Hammer comparándolo con el PowerTap P1, resultando en una ligera sobreestimación en una prueba incremental submáxima (0.9%), en una prueba de sprints (3.4%) y en un test Wingate (1.8%) y mostrándose reproducible ( $CV = 0.4\%$  y  $0.1\%$ , respectivamente). Teniendo en cuenta los hallazgos de los dos estudios descritos podemos considerar al rodillo Hammer como un dispositivo válido y reproducible para la medición de la potencia en ciclismo. Por último, el rodillo Kickr de resistencia electromagnética (Wahoo Fitness, Atlanta, USA) fue comparado por Hoon *et al.* (2016) con SRM usando el principio de la calibración dinámica (CALRIG). Así, Kickr sobreestimaba la potencia (1.5%) mientras que SRM la subestimaba (-1.6%) con respecto al CALRIG, encontrándose altas correlaciones en ambos potenciómetros ( $R^2 > 0.999$ ) que también se mostraban reproducibles ( $CV = 1.3\%$  y  $0.4\%$ , respectivamente). Por lo tanto, se puede concluir que el rodillo Kickr es, al igual que Hammer, válido y reproducible para analizar el rendimiento en ciclismo.



Figura 12. Ilustración sobre los rodillos de entrenamiento testados científicamente: Axiom, Hammer, Kickr (izquierda a derecha)

## **2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE**

---

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la validez y reproducibilidad de Power2Max, comparándolo con un potenciómetro considerado como estándar en el registro de potencia en ciclismo, como es PowerTap. Este estudio se aborda debido a la ausencia de bibliografía científica que testeé este potenciómetro en diversas condiciones e intensidades de pedaleo, además de que está siendo utilizado por parte de equipos ciclistas profesionales sin que el mismo se haya validado previamente.

Las competencias generales a desarrollar durante este trabajo se basan en el manejo de diferentes tecnologías para la valoración del rendimiento físico en ciclismo. De este modo, podemos señalar las siguientes:

- Diseñar y llevar a cabo procesos sistemáticos y rigurosos de análisis del rendimiento, orientados a la valoración de las capacidades físicas.
- Manejar las innovaciones y herramientas tecnológicas específicas más actualizadas en el campo del entrenamiento deportivo y el análisis de la competición, reconociendo sus utilidades y posibilidades de aplicación.
- Desarrollar competencias para el aprendizaje autónomo y la adaptación a las nuevas situaciones.
- Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respeto a los principios éticos necesarios.

Así mismo, de la elaboración del trabajo surgen una serie de competencias específicas:

- Poner en práctica diferentes procedimientos cuantitativos y cualitativos en el diseño, aplicación y evaluación de test de valoración de la condición física para estudiar la validez y reproducibilidad de dos medidores de potencia.
- Seleccionar e interpretar de manera útil las informaciones recogidas con el instrumental específico empleado durante las valoraciones del rendimiento deportivo.
- Aplicar los principios de biomecánicos de la cinética del pedaleo en el estudio de la medición de la potencia en ciclismo.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Sujetos

En este trabajo han participado un total de 10 ciclistas de nivel nacional, cuyas características se representan en el Tabla 2. Los requisitos de participación fueron:

- Tener una experiencia mínima en el ciclismo de 2 años
- Un volumen mínimo de entrenamiento anual de 10000 km
- Practicar esta modalidad deportiva en un ámbito competitivo federado

Tabla 2. Características de los ciclistas participantes en el estudio (C1...C10)

Ciclista	Edad (años)	Peso (kg)	Altura (m)	Experiencia en ciclismo (años)	Experiencia con potencia (años)
C1	18	60,5	1,72	9	0
C2	17	71,0	1,82	10	0
C3	17	66,0	1,81	2	1
C4	17	66,8	1,85	2	0
C5	16	72,8	1,90	4	0
C6	21	66,8	1,76	5	1
C7	32	67,5	1,74	4	0,5
C8	20	69,5	1,80	10	0
C9	41	68,0	1,71	6	0
C10	22	66,0	1,75	14	2,5
$\bar{x}$	22,1	67,5	1,79	6,6	0,5
SD	8,1	3,3	0,06	4,0	0,8

$\bar{x}$ = promedio; SD= desviación estándar

Todos ellos firmaron un consentimiento informado (Anexo 1) en el que constaban los objetivos y utilidades de la realización del estudio. La realización del estudio fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de León (Anexo 2).

#### 3.2. Instrumentos

Para llevar a cabo este trabajo todos los sujetos realizaron un conjunto de pruebas de pedaleo sobre una bicicleta de carretera Scott Adicct 30 (Scott Sports, Givisiez, Switzerland), que se instaló en un rodillo Cateye CS-1000 (Cateye, Osaka, Japan). Previamente se adaptó la bicicleta a las medidas de cada ciclista (altura y retroceso del sillín y altura y largo de manillar) (Figura 13).



Figura 13. Ilustración con la bicicleta instalada sobre el rodillo fijo sobre el que se realizó el protocolo de pruebas de pedaleo

Para comprobar la validez y reproducibilidad del potenciómetro Power2Max se instaló en la bicicleta un modelo Type S (Power2Max, Waldhufen, Germany) junto con un PowerTap modelo G3 (Saris Cycling Group, Madison, USA) y un cadenciómetro Garmin modelo GSC 10 (Garmin, Lenexa, USA) (Figura 14)



Figura 14. Sistemas utilizados durante el estudio: Power2Max, PowerTap, Cadenciómetro Garmin (izquierda a derecha)

Estos sistemas fueron sincronizados con 3 unidades Garmin: Edge 500, Edge 705, Edge 810, respectivamente (Figura 15), en los que se seleccionó una grabación de datos de segundo a segundo.



Figura 15. Unidades Garmin utilizadas: Edge 810, Edge 500 y Edge 705 (arriba a abajo)

### 3.3. Procedimiento

---

El protocolo de pruebas se realizó en un laboratorio en el cual se mantuvieron unas condiciones medias estandarizadas de 22° C, 38% de humedad relativa y 900 mmBar de presión atmosférica. La bicicleta se sometía a las condiciones del laboratorio 30 minutos antes de realizar las pruebas, comprobándose que la presión del neumático trasero era de 7 Bar. Antes de la realización de cada prueba se hizo una calibración de los potenciómetros con los respectivos dispositivos Garmin a los que estaban sincronizados, para a continuación llevar a cabo un calentamiento de 10 minutos a 100 vatios.

El protocolo de laboratorio estuvo compuesto por tres tipos de pruebas de pedaleo, siendo en total realizadas cuatro pruebas por sujeto en dos días consecutivos. El primero de los días se realizó: 1- Una prueba incremental submáxima en la que se establecieron estadios de 6 minutos de duración a velocidades de 30, 35 y 40 km h<sup>-1</sup>. En cada estadio se llevaban a cabo tres cadencias de pedaleo (60, 80 y 100 rpm), así como dos posiciones sobre la bicicleta (de pie y sentado), resultando en un total de 18 subestadios de 1 minuto cada uno. Tras un descanso pasivo de 15 minutos se hizo 2- una prueba incremental máxima hasta el agotamiento comenzando a 27 km h<sup>-1</sup>, aumentando 1 km h<sup>-1</sup> cada minuto hasta el agotamiento, tal y como describen trabajos previos (Rodríguez-Marroyo *et al.*, 2011). Durante la misma, el ciclista eligió la relación de desarrollo preferida, oscilando la cadencia de pedaleo entre 85 y 100 rpm. El segundo día se comenzó repitiendo 3- la prueba incremental submáxima, con la finalidad de estudiar la reproducibilidad de los sistemas en similares condiciones de laboratorio y de pedaleo. Por último, se realizó 4- una prueba de sprints, que consistió en hacer esfuerzos máximos de 5 segundos de duración en posición de sentado desde lanzado (~80 rpm) para determinar la potencia y la cadencia máxima. Se realizaron 4 bloques de 3 sprints cada uno, con diferentes desarrollos (36-19, 36-13, 52-15 y 52-12), teniendo una recuperación activa entre sprints de 3 minutos a 100 vatios

### 3.4. Obtención y tratamiento de los registros de potencia

---

Las actividades generadas en cada dispositivo Garmin se volcaron a un PC, desde el cual se importaron al software libre de control y cuantificación de las cargas de entrenamiento Golden Cheetah (<http://www.goldencheetah.org/>). Este software nos ofrece métricas y gráficos de cada una de las actividades importadas (Figura 16), así como un pestaña llamada "Editar" donde se encuentran recopilados los datos de grabación segundo a segundo (Figura 17). Desde esta pestaña se realizó la selección de los datos correspondientes a la duración de cada prueba de pedaleo para exportarlos al software Microsoft Excel 2013 para Windows.

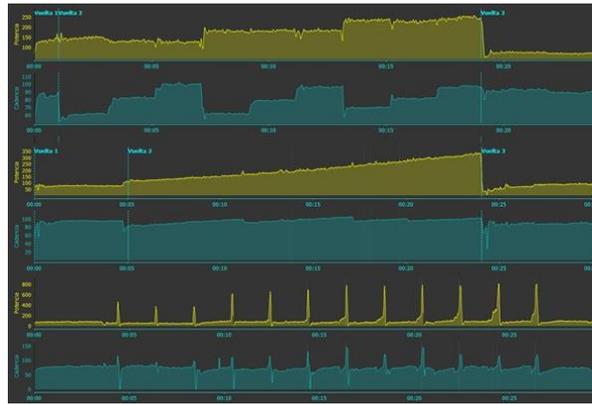


Figura 16. Representación gráfica del software Golden Cheetah de la potencia (amarillo) y la cadencia (azul) de cada una de las pruebas de pedaleo: incremental submáxima, incremental máxima hasta el agotamiento y sprints (arriba a abajo)

Time	Distance	Power	Cadence	Heart Rate	Fatigue
00:00:00.000	0.000000000	0	0	0	0
00:00:01.000	1.472100000	94	39	24.84000000	0.20000000
00:00:02.000	1.46900	204	63	25.70000000	0.20000000
00:00:03.000	1.467000000	304	63	26.70000000	0.20000000
00:00:04.000	1.46500	336	64	27.00000000	0.20000000
00:00:05.000	1.50000	367	64	28.00000000	0.20000000
00:00:06.000	1.530000000	36	64	27.30000000	0.20000000
00:00:07.000	1.53000	112	64	27.400	0.20000000
00:00:08.000	1.52000	126	64	27.400	0.20000000
00:00:09.000	1.5200	113	64	27.000	0.20000000
00:00:10.000	1.510000000	113	63	27.000	0.20000000
00:00:11.000	1.50700	141	64	26.20000000	0.20000000
00:00:12.000	1.50300	137	66	30.300	0.20000000
00:00:13.000	1.510000000	114	70	30.00000000	0.20000000
00:00:14.000	1.50200	122	68	30.00000000	0.20000000
00:00:15.000	1.500000000	132	66	29.500	0.20000000
00:00:16.000	1.500000000	100	68	29.00000000	0.20000000
00:00:17.000	1.500000000	79	63	27.00000000	0.20000000
00:00:18.000	1.500000000	100	68	29.00000000	0.20000000
00:00:19.000	1.500000000	100	68	29.00000000	0.20000000
00:00:20.000	1.500000000	137	63	30.300	0.20000000
00:00:21.000	1.500000000	137	63	30.300	0.20000000
00:00:22.000	1.500000000	113	60	29.00000000	0.20000000
00:00:23.000	1.500000000	113	60	29.00000000	0.20000000

Figura 17. Ilustración de la pestaña “Editar” del software Golden Cheetah

### 3.5. Análisis estadístico

Los resultados son expresados como media  $\pm$  SD. El tratamiento gráfico se realizó con el software Microsoft Excel 2013 para Windows. El software SPSS+ V.17.0 fue utilizado para el análisis estadístico (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). Un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía con medidas repetidas fue utilizado para comparar los dos potenciómetros (PowerTap vs Power2Max), en las pruebas donde no se incluyeron variables adicionales. Un ANOVA de dos y tres vías con medidas repetidas fue utilizado para analizar el efecto de la intensidad (30, 35 y 40 km·h<sup>-1</sup>), cadencia (60, 80 y 100 rpm) y posición (sentado vs de pie) en las diferencias de potencia entre ambos sensores. La prueba posthoc de Newman-Keuls fue utilizada para establecer diferencias entre las medias. Igualmente, se calcularon los intervalos de confianza al 95% (IC95%) de las diferencias entre ambos sistemas. Las correlaciones (r) entre las mediciones de ambos potenciómetros se obtuvieron mediante el test de Pearson, y si alguna de las variables no seguía una distribución normal, mediante el test de Spearman. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) y los coeficientes de variación (SD·100/media) fueron calculados para evaluar la fiabilidad test-retest de las variables analizadas. Valores de p < 0.05 fueron considerados como estadísticamente significativos.

#### 4. RESULTADOS

La Tabla 3 muestra que en el total de los estadios analizados durante la prueba incremental máxima (n=201), hay diferencias significativas entre PowerTap y Power2Max, tanto en el valor de potencia ( $205.2 \pm 75.2$  y  $208.8 \pm 76.2$  W, respectivamente) como en el de cadencia ( $92.8 \pm 7.5$  y  $93.8 \pm 7.4$  rpm, respectivamente). Sin embargo, la correlación entre ambos sistemas para el registro de estas variables ( $r= 0.997$  y  $0.996$ , respectivamente) fue muy significativa ( $p<0.001$ ). La Figura 18 muestra que las diferencias porcentuales en potencia ( $-0.9 \pm 1.5\%$ ; IC95%=  $-1.1$  y  $-0.7\%$ ) y cadencia ( $-0.5 \pm 0.4\%$ ; IC95%=  $-0.6$  y  $-0.5\%$ ) no dependieron de la velocidad/intensidad de pedaleo, aunque sí se observa una tendencia a que las diferencias en cadencia sean menores conforme aumenta su valor.

Tabla 3. Descripción del total de los datos de la prueba incremental máxima

Velocidad	Nº Ciclistas	Potencia (W)				Cadencia (rpm)			
		PT		P2M		PT		P2M	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
27	10	105,3	5,1	106,4	4,3	85,9	6,8	86,8	6,7
28	10	111,3	5,5	112,0	6,3	88,1	9,0	88,7	8,7
29	10	119,5	4,8	121,4	4,6	88,8	8,1	89,7	8,0
30	10	127,8	4,8	130,1	4,4	88,7	6,9	89,8	6,6
31	10	136,5	4,9	139,0	4,3	89,0	4,9	90,3	5,0
32	10	143,9	6,8	147,2	4,4	90,4	4,7	91,4	4,5
33	10	154,9	6,9	157,0	6,4	90,7	7,0	91,4	6,7
34	10	164,2	7,7	167,4	5,4	88,8	6,7	90,1	6,9
35	10	177,3	5,3	180,4	5,3	90,8	5,4	92,2	5,4
36	10	187,8	9,3	191,6	7,0	92,0	6,8	93,1	6,5
37	10	199,8	7,6	203,1	7,2	93,6	7,2	94,5	7,2
38	10	213,8	8,7	216,7	9,0	95,1	8,6	96,0	8,3
39	10	224,7	13,0	229,0	10,0	95,4	7,7	96,7	7,6
40	10	236,9	11,2	242,4	9,4	94,7	4,5	95,9	4,6
41	10	251,1	12,7	255,6	10,0	95,9	5,0	96,6	4,7
42	10	270,2	16,9	275,4	13,8	96,0	5,1	97,1	4,9
43	10	286,5	24,3	291,9	21,6	96,6	5,8	97,8	5,7
44	10	301,7	26,2	307,2	24,9	97,5	7,9	98,5	7,6
45	9	311,7	17,1	320,0	9,7	99,1	8,3	99,9	8,3
46	6	339,9	33,5	344,5	26,7	99,5	7,4	100,0	7,7
47	4	380,1	43,4	382,2	38,3	98,1	7,2	99,0	7,0
48	1	371,9		376,8		91,4		92,8	
49	1	385,0		390,8		92,8		94,2	
Total		205,2	75,2	208,8	76,2	92,8	7,5	93,8	7,4

PT= PowerTap; P2M= Power2Max;  $\bar{x}$ = promedio; SD= desviación estándar

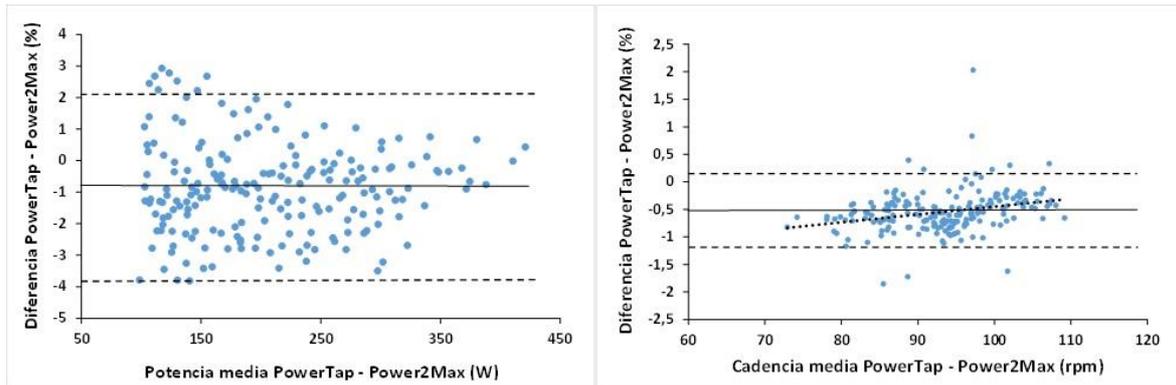


Figura 18. Gráfico Bland-Altman que representa las diferencias relativas entre ambos sistemas en función de la potencia (izquierda) y la cadencia (derecha) registrada en la prueba incremental máxima. La línea continua representa la media, las líneas discontinuas a rayas los límites superior e inferior del 95% del intervalo de confianza y la línea discontinua a puntos la tendencia.

La Tabla 4 muestra los resultados de la prueba incremental submáxima (n=180), existiendo igualmente diferencias significativas entre PowerTap y Power2Max en el valor de potencia ( $174.8 \pm 40.0$  y  $176.0 \pm 40.1$  W, respectivamente) y cadencia ( $79.9 \pm 13.3$  y  $80.9 \pm 13.2$  rpm, respectivamente). Las correlaciones fueron igualmente significativas ( $p < 0.001$ ) para ambas variables ( $r = 0.992$  y  $0.995$ , respectivamente). Las diferencias porcentuales en potencia ( $-0.3 \pm 1.4\%$ ; IC95% =  $-0.5$  y  $-0.1\%$ ) no dependieron de la velocidad de la prueba, cadencia y posición ( $F = 1.1, 0.6$  y  $0.4$ ;  $p = 0.34, 0.58$  y  $0.55$ , respectivamente). Sin embargo, las diferencias porcentuales en cadencia ( $-0.7 \pm 0.6\%$ ; IC95% =  $-0.8$  y  $-0.5\%$ ) dependieron del valor de cadencia y de su combinación con la posición ( $F = 10.7$  y  $8.2$ ;  $p = 0.00005$  y  $0.0004$ , respectivamente). Es decir, las diferencias fueron mayores a menor cadencia, fundamentalmente en la posición de pie en la bicicleta, sin cambios en la posición de sentado. La Figura 19 muestra la representación Bland-Altman de las diferencias comentadas.

Tabla 4. Descripción del total de los datos de la prueba incremental submáxima

Velocidad	Cadencia	Posición	Potencia (W)				Cadencia (rpm)			
			PT		P2M		PT		P2M	
			$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
30	60	De pie	134,9	9,5	135,6	7,9	59,5	2,4	60,7	2,6
		Sentado	141,0	6,7	141,7	7,2	60,5	1,9	61,4	2,0
	80	De pie	138,2	9,7	139,5	11,9	75,2	2,5	75,5	2,6
		Sentado	130,8	8,8	130,3	11,4	80,5	2,5	80,3	4,0
	100	De pie	125,4	9,9	125,0	7,8	95,8	2,6	97,1	2,6
		Sentado	126,5	9,0	126,9	9,9	97,6	1,7	99,0	1,5
35	60	De pie	163,0	10,7	164,5	10,1	65,2	3,7	67,2	3,5
		Sentado	170,5	9,2	173,2	9,2	64,6	2,3	65,8	2,4
	80	De pie	169,5	12,3	169,8	10,2	76,3	1,5	76,9	1,4
		Sentado	172,3	9,1	174,6	10,1	78,5	1,6	79,8	1,5

	100	De pie	164,2	11,2	165,9	11,3	95,7	3,7	96,3	2,8
		Sentado	170,0	13,2	171,5	13,1	95,8	3,2	97,0	2,9
40	60	De pie	207,4	12,8	209,5	12,0	72,1	3,1	73,9	3,0
		Sentado	217,4	20,9	218,5	15,1	70,9	4,4	72,5	3,3
	80	De pie	219,7	13,0	219,4	13,8	77,8	1,3	78,5	2,1
		Sentado	227,5	13,6	228,9	7,4	79,5	2,6	80,6	2,3
100	De pie	225,4	21,0	227,0	19,3	94,8	3,4	95,4	3,3	
	Sentado	243,6	15,1	246,2	13,3	97,7	2,1	98,7	2,0	
Total			174,8	40,0	176,0	40,1	79,9	13,3	80,9	13,2

PT= PowerTap; P2M= Power2Max;  $\bar{x}$ = promedio; SD= desviación estándar

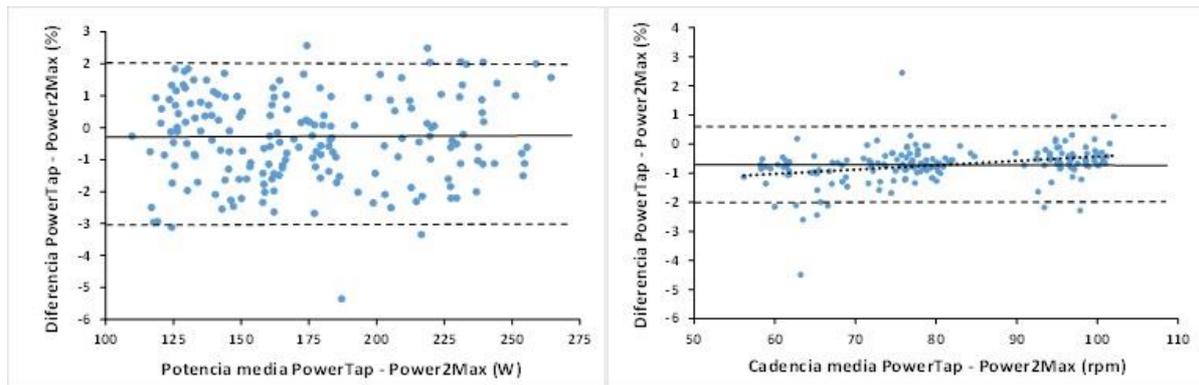


Figura 19. Gráfico Bland-Altman que representa las diferencias relativas entre ambos sistemas en función de la potencia (izquierda) y la cadencia (derecha) registrada en la prueba incremental submáxima. La línea continua representa la media, las líneas discontinuas a rayas los límites superior e inferior del 95% del intervalo de confianza y la línea discontinua a puntos la tendencia.

La Tabla 5 muestra los resultados de la prueba de sprints ( $n=108$ ), donde a diferencia de las dos pruebas anteriores, PowerTap registró mayor potencia máxima que Power2Max ( $784.0 \pm 179.2$  y  $762.9 \pm 204.9$  W;  $p<0.05$ , respectivamente) y menor cadencia ( $122.9 \pm 20.2$  y  $154.8 \pm 30.6$  rpm;  $p<0.001$ , respectivamente). La potencia máxima se correlacionó significativamente entre ambos sistemas ( $r= 0.85$  y  $p<0.001$ ), y se observó una correlación muy baja y negativa en la cadencia máxima entre ambos dispositivos ( $r= -0.21$  y  $p<0.05$ ). La Figura 20 muestra las diferencias porcentuales en potencia ( $1.7 \pm 9.3\%$ ;  $IC_{95\%}= 0.2$  y  $4.4\%$ ) y cadencia ( $-11.4 \pm 14.0\%$ ;  $IC_{95\%}= -13.6$  y  $-8\%$ ). Las diferencias encontradas dependieron del desarrollo utilizado (36-19, 36-13, 52-15 y 52-12) tanto para la potencia ( $F= 2.7$ ;  $p<0.05$ ) ( $6.3 \pm 20.9\%$ ,  $-2.0 \pm 4.4\%$ ,  $1.7 \pm 2.2\%$ ,  $3.0 \pm 1.5\%$ ;  $IC_{95\%}= -2.0$  y  $14.5\%$ ,  $-3.7$  y  $-0.2\%$ ,  $0.9$  y  $2.6\%$ ,  $2.4$  y  $3.6\%$ , respectivamente) como para la cadencia ( $F= 26.9$  y  $p<0.001$ ) ( $-18.4 \pm 20.4\%$ ,  $-21.6 \pm 8.9\%$ ,  $-4.0 \pm 7.3\%$ ,  $0.6 \pm 0.9\%$ ;  $IC_{95\%}= -26.5$  y  $-10.3\%$ ,  $-25.1$  y  $-18.1\%$ ,  $-6.9$  y  $-1.1\%$ ,  $0.3$  y  $1.0\%$ , respectivamente) (Figura 21). Para esta última variable, las diferencias fueron menores cuando se utilizó un mayor desarrollo.

Tabla 5. Descripción del total de los datos de la prueba de sprints

Desarrollo	Nº sprint	Potencia (W)				Cadencia (rpm)					
		PT		P2M		PT		P2M		CAD	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
36/19	1	502,8	86,7	415,9	149,6	108,8	23,6	163,4	37,6	184,1	27,2
	2	561,4	103,0	630,2	104,0	107,6	10,5	173,2	40,2	195,5	17,4
	3	541,6	79,6	442,8	185,4	106,0	16,1	153,1	57,8	195,1	15,4
36/13	1	759,8	85,8	831,4	199,5	118,2	18,6	177,6	14,6	177,7	4,9
	2	769,6	71,1	783,1	88,1	116,4	21,7	180,0	10,3	179	4,9
	3	800,6	54,2	824,3	65,4	115,7	24,9	180,0	5,2	179,6	4,2
52/15	1	882,7	105,7	862,9	108,1	139,4	12,0	151,6	6,5	152,9	6,7
	2	917,1	112,9	887,7	146,1	143,1	20,7	152,1	5,4	154,3	6,6
	3	910,9	75,0	872,3	84,1	141,0	17,7	152,7	7,1	153,7	5,5
52/12	1	928,1	115,8	872,9	119,8	127,0	5,6	124,1	4,8	125,7	5,8
	2	896,2	107,8	836,3	122,0	125,0	5,5	122,8	5,5	123,9	6,0
	3	937,7	99,7	894,8	104,9	126,6	6,0	126,9	5,0	127,3	6,6

PT= PowerTap; P2M= Power2Max; CAD= cadenciómetro;  $\bar{x}$ = promedio; SD= desviación estándar

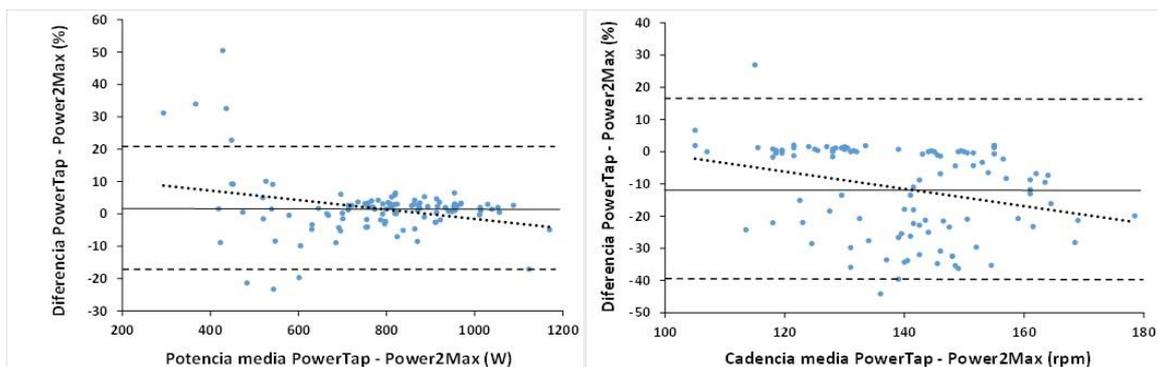


Figura 20. Gráfico Bland-Altman que representa las diferencias relativas entre ambos sistemas en función de la potencia (izquierda) y la cadencia (derecha) registrada en la prueba de sprints. La línea continua representa la media, las líneas discontinuas a rayas los límites superior e inferior del 95% del intervalo de confianza y la línea discontinua a puntos la tendencia.

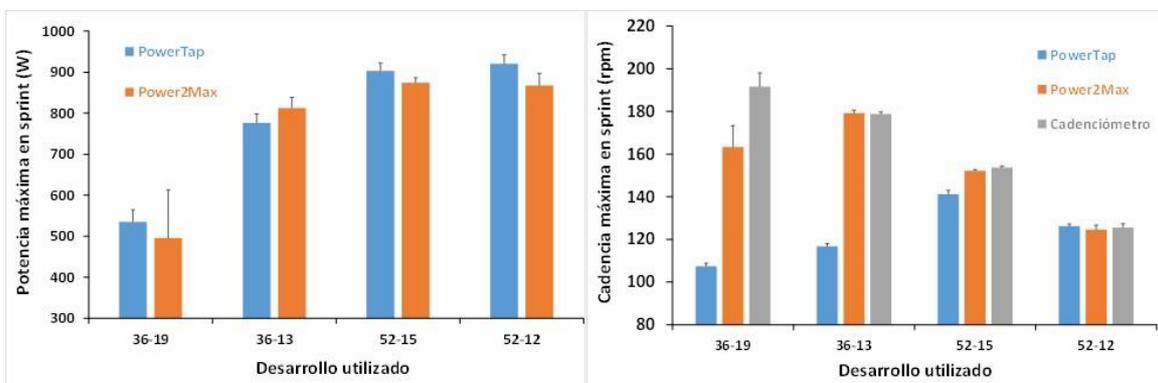


Figura 21. Potencia (izquierda) y cadencia (derecha) obtenida por PowerTap, Power2Max y el cadenciómetro durante la prueba de sprints

La Figura 22 representa la reproducibilidad mostrada por PowerTap y Power2Max entre las dos pruebas incrementales submáximas ( $n=162$ ), observándose valores significativos en potencia ( $ICC= 0.92$  y  $0.92$ , respectivamente) y en cadencia, dónde además se aproximaron a los valores registrados por el cadenciómetro de Garmin ( $ICC= 0.94$ ,  $0.94$  y  $0.96$ , respectivamente). En cuanto a los coeficientes de variación se alcanzaron resultados significativos tanto en PowerTap como en Power2Max respecto a la potencia ( $5.2 \pm 3.9\%$  y  $4.6 \pm 3.9\%$ , respectivamente). En cuanto a los valores de cadencia fueron similares a los mostrados por el cadenciómetro de Garmin ( $1.9 \pm 1.9\%$ ,  $1.9 \pm 1.9\%$  y  $1.8 \pm 1.9\%$ , respectivamente). La Figura 23 muestra los valores de coeficientes de variación comentados.

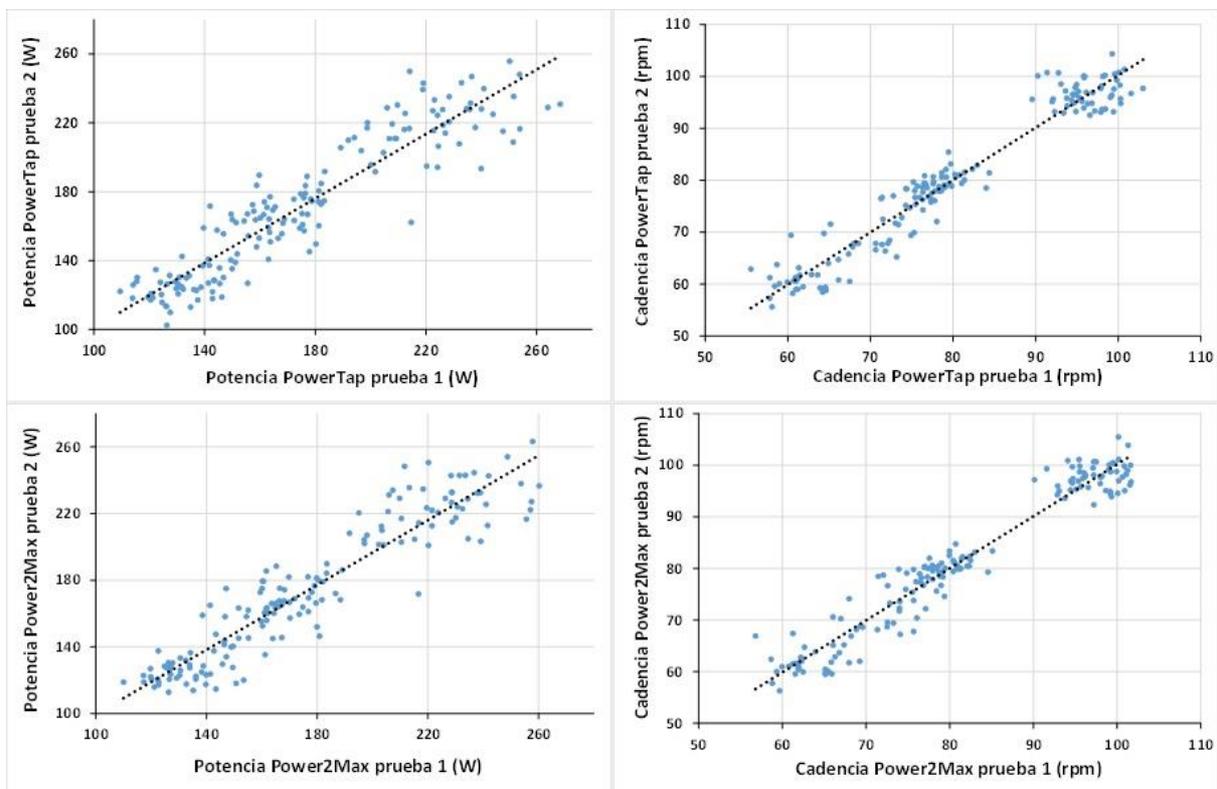


Figura 22. Gráficos que representan la comparativa de la potencia y cadencia (izquierda a derecha) de PowerTap y Power2Max (arriba a abajo) durante las dos pruebas incrementales submáximas. La línea discontinua a puntos representa la tendencia.

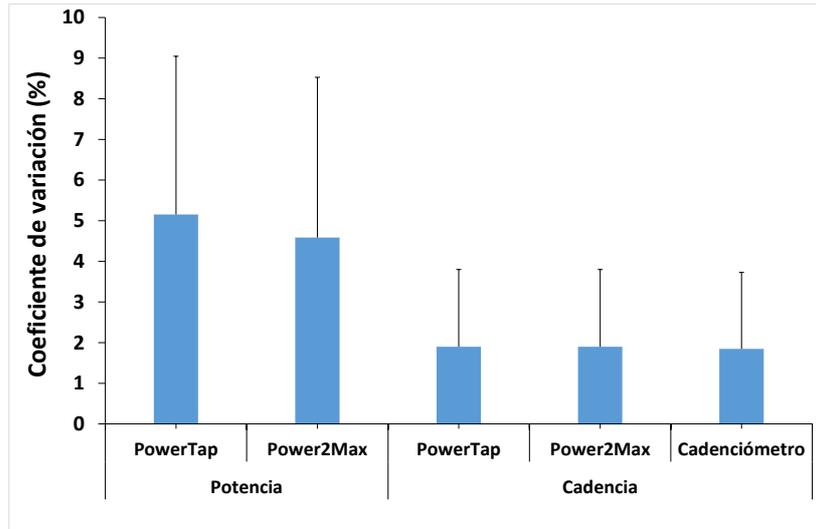


Figura 23. Gráfico que representa los coeficientes de variación, en potencia y cadencia, de los 3 dispositivos testeados entre las dos pruebas incrementales submáximas.

La Tabla 6 muestra los resultados de la reproducibilidad mostrada por PowerTap y Power2Max en la prueba de sprints (n=36), observándose valores significativos en potencia (ICC= 0.92 - 0.94 y 0.90 - 0.94, respectivamente), que empeoran con PowerTap al incrementar el desarrollo de 36-19/36-13 a 52-15/52-12 (ICC= 0.83 – 0.87 a 0.73 – 0.86, respectivamente) al contrario de lo sucedido con Power2Max (ICC= 0.72 – 0.91 a 0.84 – 0.91, respectivamente). En cuanto a la cadencia, tal y como se observa en la Figura 24, se encontró una sorprendente significatividad de los resultados tanto en PowerTap como en Power2Max con respecto al cadenciómetro (ICC= 0.50 – 0.74, 0.57 – 0.66 y 0.99 – 0.99, respectivamente), que mejoran sustancialmente al incrementar el desarrollo de 36-19/36-13 a 52-15/52-12 en los 3 dispositivos (ICC= 0.33 – 0.61 a 0.65 – 0.88, 0.14 – 0.24 a 0.93 – 0.96 y 0.91 – 0.96 a 0.98 – 0.99, respectivamente). La Figura 25 representa los coeficientes de variación, encontrándose diferencias significativas entre PowerTap y Power2Max en potencia (CV= 4.9 ± 4.3% y 10.0 ± 15.0%, respectivamente), siendo sustancialmente diferentes en cadencia respecto al cadenciómetro de Garmin (CV= 6.8 ± 5.6%, 6.5 ± 10.6% y 1.1 ± 0.8%, respectivamente).

Tabla 6. Descripción de los ICC de la prueba de sprints

Desarrollo	ICC Potencia		ICC Cadencia		
	PT	P2M	PT	P2M	CAD
36-19/36-13	0,83 - 0,87	0,72 - 0,91	0,33 - 0,61	0,14 - 0,24	0,91 - 0,96
52-15/52-12	0,73 - 0,86	0,84 - 0,91	0,65 - 0,88	0,93 - 0,96	0,98 - 0,99
Total	0,92 - 0,94	0,90 - 0,94	0,50 - 0,74	0,57 - 0,66	0,99 - 0,99

PT= PowerTap; P2M= Power2Max; CAD= Cadenciómetro

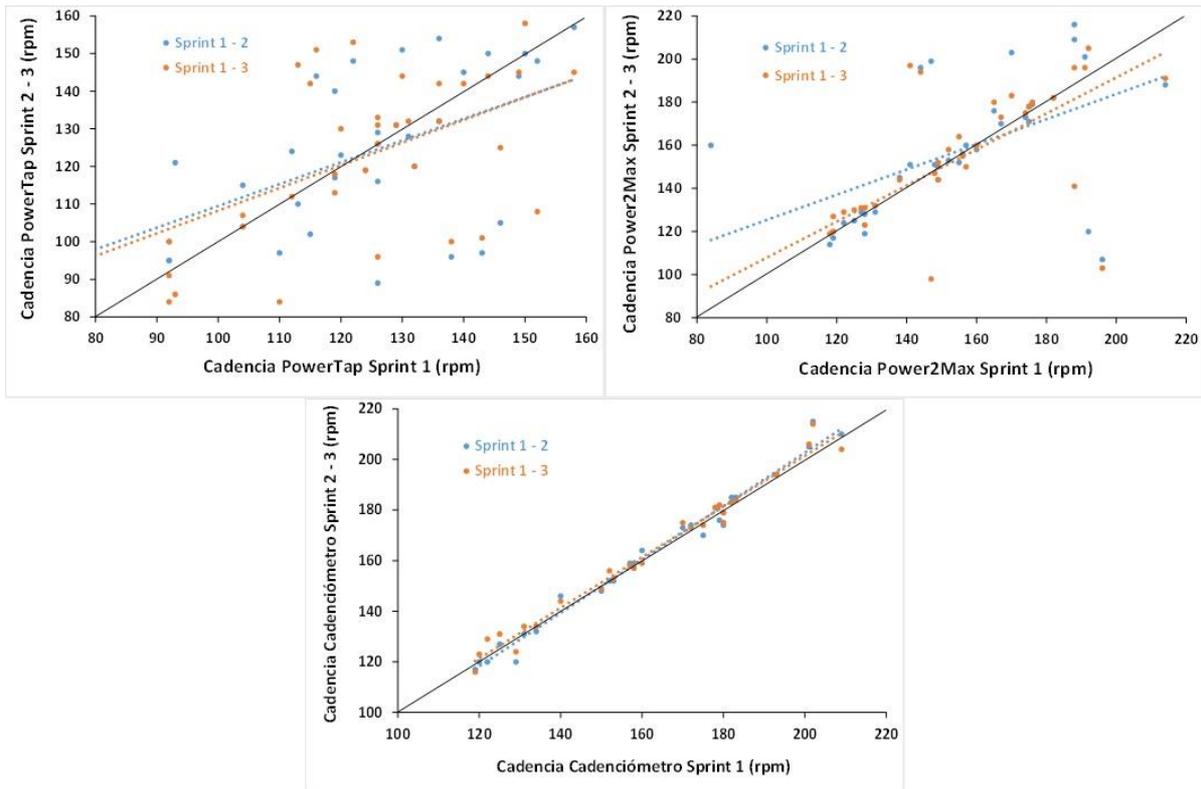


Figura 24. Gráficos que representan la comparativa de la cadencia de PowerTap, Power2Max y Cadenciómetro (izquierda a derecha y arriba a abajo) de los sprints repetidos con el mismo desarrollo durante la prueba de sprints. Las líneas discontinuas a puntos representan la tendencia y la línea continua una  $r=1$

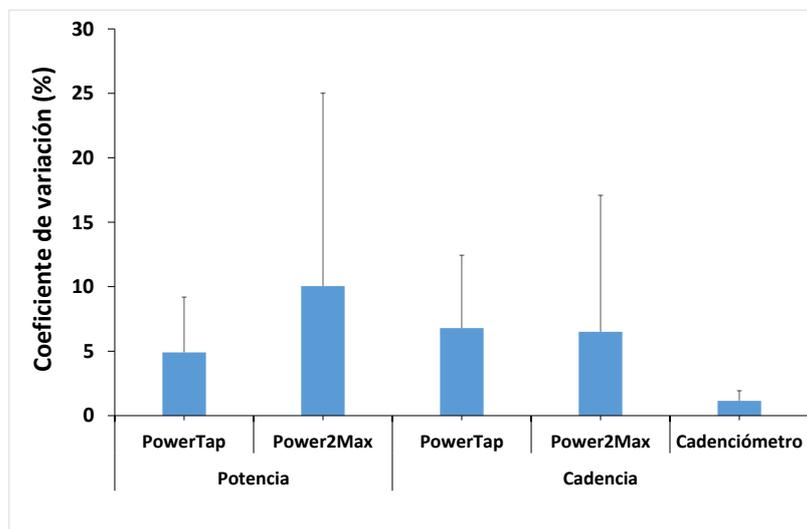


Figura 25. Gráfico que representa los coeficientes de variación, en potencia y cadencia, de los 3 dispositivos testeados entre los 3 esfuerzos máximos realizados con cada desarrollo en la prueba de sprints

## 5. DISCUSIÓN

---

Este trabajo ha estudiado la validez y la reproducibilidad de un nuevo potenciómetro (Power2Max) con respecto a un potenciómetro previamente validado (PowerTap) en varias pruebas que implican condiciones de pedaleo y esfuerzos de diferente tipo. Este nuevo potenciómetro es válido en pruebas incrementales, aunque sobreestima la potencia y la cadencia con respecto a PowerTap, debiéndose a la diferente ubicación de los dos potenciómetros. La principal aportación de este trabajo es que se ha demostrado que las diferencias en potencia no se ven afectadas por la intensidad, cadencia y posición sobre la bicicleta, mientras que las diferencias en cadencia sí que se ven ligeramente afectadas por la cadencia y por su combinación con la posición sobre la bicicleta. Por su parte, en los esfuerzos a sprint el Power2Max subestima la potencia y sobreestima la cadencia con respecto a PowerTap, observándose errores en el registro de altas cadencias por ambos potenciómetros. En cuanto a la reproducibilidad, PowerTap y Power2Max se mostraron más fiables, tanto en potencia como en cadencia, en la prueba incremental submáxima que en la prueba de sprints, lo cual lleva a interpretar con cautela los datos obtenidos por ambos sistemas sobre todo en esfuerzos a sprint.

La subestimación de la potencia por parte de PowerTap en las pruebas incremental máxima y submáxima ( $-0.9 \pm 1.5\%$  y  $-0.3 \pm 1.4\%$ , respectivamente) queda justificada por la diferente ubicación respecto al Power2Max (eje de la rueda y araña, respectivamente). Se han descrito pérdidas de potencia producidas por la deformación del cuadro de la bicicleta y la fricción de la cadena de transmisión, lo que provoca que los sensores ubicados en el eje de la rueda registren una potencia inferior a la que realmente aplica el ciclista sobre los pedales, los cuales están más próximos a la araña. Kyle (1986) estableció que las diferencias entre ambas potencias pueden oscilar entre 2 – 4%, mientras que Martin *et al.* (1998) las establecieron en 2.3%, lo que podrían ser ligeramente superiores a las encontradas aquí. Sin embargo, en estudios anteriores, Bertucci *et al.* (2005b) compararon los registros de potencia de PowerTap con el “gold standard”, SRM, en una prueba incremental submáxima de similares características a la realiza en este trabajo, resultando en una subestimación de la potencia por PowerTap de  $1.2 \pm 1.3\%$ , similar al  $0.3 \pm 1.4\%$  encontrado en el presente estudio. El hecho de no estar entre 1.2 – 4.0% podría estar justificado por: a-una ligera sobrestimación de la potencia del PowerTap respecto a la potencia real desarrollada ( $0.9 \pm 2.1\%$ ) pedaleando entre 180 – 360 W respecto a un modelo matemático de Maier *et al.* (2017); b-la mejora de las bicicletas (bielas y cuadros de carbono más rígidos) respecto a estudios anteriores a 2005; c-el hecho de que en el presente trabajo sólo se ha utilizado un modelo de potenciómetro, cuando se ha descrito que existe cierta variabilidad entre diferentes potenciómetros de una misma marca (Gardner *et al.*, 2004; Maier *et al.*, 2017). Por último, las correlaciones

encontradas entre ambos sistemas ( $r= 0.997$  y  $0.992$ ,  $p<0.001$ , en las pruebas incremental máxima y submáxima, respectivamente) son similares a las mostradas por Cavas (2015) y Bouillod *et al.* (2016) al comparar PowerTap y SRM ( $r= 0.997$ ,  $p<0.001$ ). Todo lo anterior confirma la validez de Power2Max en el registro de esfuerzos incrementales máximos y submáximos (100 – 400 W).

Las diferencias en potencia encontradas entre PowerTap y Power2Max durante la prueba incremental submáxima no se han visto influenciadas por la intensidad, cadencia y posición sobre la bicicleta ( $p= 0.34$ ,  $0.58$  y  $0.55$ , respectivamente). A similares conclusiones llegaron Bertucci *et al.* (2005b) al comparar SRM y PowerTap en una prueba incremental submáxima, en la que no observaron un efecto de la cadencia y la posición sobre la bicicleta en los registros de potencia ( $p= 0.146$  y  $0.102$ , respectivamente), al igual que Bouillod *et al.* (2016) que no encontró un efecto de la cadencia sobre la potencia registrada por SRM, PowerTap y Stages. Sin embargo, en el presente trabajo se ha mostrado que las diferencias entre los dos potenciómetros en cadencia dependieron del valor de cadencia y de su combinación con la posición ( $p= 0.00005$  y  $0.0004$ , respectivamente) siendo mayores a menor cadencia, fundamentalmente en la posición de pie en la bicicleta. Este hallazgo no se ha observado en otros estudios en los que se han testeado varios potenciómetros en una prueba de similares características, ya que estos se centran en la influencia que estas 3 condiciones (intensidad, cadencia y posición) tienen sobre los registros de potencia, pero no sobre los registros de cadencia, por lo que futuros trabajos deberían de atender a ello.

En la prueba de sprints PowerTap sobreestimaba significativamente la potencia ( $1.7 \pm 9.3\%$ ;  $p<0.05$ ) y subestimaba significativamente la cadencia ( $-11.4 \pm 14.0\%$ ;  $p<0.001$ ) con respecto a Power2Max, observándose que las diferencias encontradas dependieron del desarrollo utilizado tanto para la potencia ( $p<0.05$ ) como para la cadencia ( $p<0.001$ ). En un estudio realizado por Bertucci *et al.* (2005b) se concluyó que PowerTap subestimaba la potencia con respecto a SRM en una prueba de sprints llevada a cabo con diferentes desarrollos, siendo esta subestimación significativa ( $8\%$ ;  $p=0.016$ ) cuando se utilizaba un desarrollo ligero (39-23) y por lo tanto se alcanzaban altas cadencias ( $149.2 \pm 5.3$  rpm). Sin embargo, este estudio tiene diferencias metodológicas respecto a este trabajo, ya que los sprints se iniciaban desde una posición de parado y no lanzados, lo que influencia en la cadencia máxima alcanzada y por lo tanto en la potencia máxima producida. A pesar de ello, si tenemos en cuenta los resultados de Bertucci *et al.* (2005b), la subestimación de la potencia en sprints por parte de Power2Max podría llegar a ser superior a la encontrada en este trabajo si lo comparamos con SRM. Por otra parte, se observa como Power2Max y sobre todo PowerTap registran valores de cadencia bastante inferiores a los del cadenciómetro (Tabla 5), apreciándose pérdidas en la señal en este último potenciómetro, tal y cómo ya describió

Gardner *et al.* (2004), en los momentos en los que se alcanzan altas cadencias de pedaleo. Este hecho lleva a plantear que este dispositivo tiene dificultades en el registro de altas cadencias, pero a pesar de ello sobreestima la potencia, por lo que se hipotetiza que en estas condiciones la medición de la fuerza (torque) registrada por las galgas también se ve alterada.

La reproducibilidad mostrada por PowerTap y Power2Max entre pruebas incrementales submáximas fue aceptable ( $CV= 5.2 \pm 3.9\%$  y  $4.6 \pm 3.9\%$ , respectivamente). Esta ha sido previamente testada en PowerTap en pruebas submáximas de características similares por Bertucci *et al.* (2005b), Cavas (2015), Bouillod *et al.* (2016) y Maier *et al.* (2017) en las cuales se obtuvieron mejores valores a los encontradas en este trabajo ( $CV= 1.8 \pm 0.6\%$ ,  $2.8 \pm 0.6\%$ ,  $2.6 \pm 1.5\%$  y  $0.8 \pm 0.2\%$ , respectivamente). Además Maier *et al.* (2017) también probó la reproducibilidad de Power2Max, siendo ligeramente mejor a la encontrada aquí ( $CV= 1.5 \pm 0.4\%$ ). Es importante considerar que cualquier variación en la realización de la prueba por parte del ciclista (p.e. mantener en un subestadio de la primera prueba  $36 \text{ km h}^{-1}$ , y en el mismo subestadio de la segunda prueba  $34 \text{ km h}^{-1}$ ) afectará negativamente a la reproducibilidad de la medida, por lo que al error propio del instrumento se le debe sumar este condicionante de la realización de la prueba por el ciclista. Este hecho puede justificar en parte la diferencia que se encuentra en los valores del coeficiente de variación entre este trabajo y estudios previos para los potenciómetros testados. No obstante, es importante tener en cuenta que estos instrumentos están diseñados, entre otras aplicaciones, para detectar los cambios en el rendimiento de los deportistas, que son leves ( $<2\%$ ) en deportistas de alto nivel (Hopkins *et al.*, 1999; Hopkins *et al.*, 2001), por lo que la reproducibilidad es una de las principales prestaciones a valorar.

En la prueba de sprints la reproducibilidad mostrada por PowerTap y Power2Max entre los 3 sprints realizados con cada uno de los desarrollos fue superior a la encontrada en la prueba incremental submáxima ( $CV= 4.9 \pm 4.3\%$  y  $10.0 \pm 15.0\%$ , respectivamente). Por otra parte, se ha hallado una influencia del desarrollo utilizado en la consistencia de la potencia registrada, así como una gran variabilidad del ICC de la cadencia entre sprints con el mismo desarrollo, hechos no descritos en estudios previos. Estos hallazgos, junto a la subestimación observada de Power2Max con respecto a PowerTap y de este con respecto a SRM, llevan a interpretar con cautela los registros de potencia en esfuerzos de sprint de ambos sistemas testados en este trabajo.

## 6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

---

La principal conclusión de este trabajo es que PowerTap y Power2Max son dos potenciómetros válidos y reproducibles durante esfuerzos incrementales máximos y submáximos, debiendo interpretarse con cautela los registros de esfuerzos a sprint, donde ambas marcas comerciales deberían mejorar las mediciones de altas cadencias de pedaleo. Debido a la relevancia de estos últimos registros para el más alto rendimiento deportivo, más estudios y mejores potenciómetros son necesarios.

En concreto, durante las pruebas incrementales máximas y submáximas existen altas correlaciones entre ambos potenciómetros ( $r= 0.997$  y  $0.992$ , respectivamente), subestimando PowerTap con respecto a Power2Max la potencia ( $-0.9 \pm 1.5\%$  y  $-0.3 \pm 1.4\%$ , respectivamente) y la cadencia ( $-0.5 \pm 0.4\%$  y  $-0.7 \pm 0.6\%$ , respectivamente), lo cual es justificable por la diferente ubicación de ambos potenciómetros (eje de la rueda y araña). Este hecho, hace de ambos potenciómetros aplicables para evaluar el rendimiento y detectar los cambios en la condición física de los deportistas en esfuerzos de este tipo.

Sin embargo, en la prueba de sprint PowerTap sobreestima la potencia ( $1.7 \pm 9.3\%$ ) y subestima la cadencia ( $-11.4 \pm 14.0\%$ ) con respecto a Power2Max, existiendo peores correlaciones entre ambos potenciómetros para dichas variables ( $r= 0.85$  y  $-0.21$ , respectivamente). Además, se observan dificultades en el registro de altas cadencias de pedaleo en ambos sistemas, siendo notables en PowerTap. De esta forma, no podemos establecer a estos potenciómetros cómo válidos en esfuerzos a sprint, ya que la habilidad para repetir esfuerzos de alta intensidad en ciclismo es un factor determinante de éxito deportivo (Menaspà *et al.*, 2017), lo que implica que las mediciones de los registros de potencia en los sprints deben ser lo más correctas posible, tanto para programar su entrenamiento como para detectar una mejora en el rendimiento en los mismos.

Por otra parte, tanto PowerTap como Power2Max se muestran reproducibles en pruebas incrementales submáximas ( $CV= 5.2 \pm 3.9\%$  y  $4.6 \pm 3.9\%$ , respectivamente), pero no en pruebas de sprint, donde esta dependió del desarrollo utilizado. Así se observa que la reproducibilidad entre sprints empeora con PowerTap al incrementar el desarrollo de 36-19/36-13 a 52-15/52-12 ( $ICC= 0.83 - 0.87$  a  $0.73 - 0.86$ , respectivamente) al contrario de lo sucedido con Power2Max ( $ICC= 0.72 - 0.91$  a  $0.84 - 0.91$ , respectivamente). Por lo tanto, la interpretación de los registros a sprint debe ser tomada de diferente manera de acuerdo al potenciómetro y los desarrollos utilizados.

## 7. LIMITACIONES

---

En el presente trabajo solamente se ha estudiado la validez y reproducibilidad de un potenciómetro de las dos marcas comerciales testeadas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que hay una cierta variabilidad en los registros de potencia, y probablemente de cadencia, entre diferentes unidades de un mismo modelo de una determinada marca comercial, cómo se ha descrito en estudios anteriores (Gardner *et al.*, 2004; Maier *et al.*, 2017)

Además, las pruebas de pedaleo de las que consta el protocolo se han realizado en unas condiciones estandarizadas de laboratorio. No obstante, algunos de estos test podrían llevarse a cabo en un entorno más contextualizado a las condiciones reales de medición, con el objetivo de dotarles de mayor validez ecológica. Por ejemplo, en el caso de la prueba de sprints se ha omitido el balanceo propio de la bicicleta y la posición de pie del ciclista, ya que se realizaba sobre un rodillo fijo en el que la bicicleta estaba anclada tanto por su horquilla delantera como trasera. La realización de esta prueba en un entorno cubierto que permitiese estandarizar las condiciones de temperatura, humedad, presión y viento, como un velódromo, podría aportarnos un registro más real y contextualizado.

Por otra parte, el nivel de los atletas con el que se ha hecho el trabajo hace que estos resultados sean extrapolables a un grupo de nivel similar al que ha compuesto la muestra. Las mediciones con un grupo de nivel superior (ciclistas profesionales) podrían llevar a ligeras diferencias en los resultados obtenidos, bien por una mayor condición física de estos y/o por diferencias en la técnica de pedaleo.

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

---

Futuros estudios deberían atender a los registros de cadencia de los potenciómetros durante el protocolo de pruebas realizado, para compararlos con un estándar en la medición de la cadencia, como un cadenciómetro magnético. Este argumento se basa en el hallazgo del presente trabajo por el que se ha observado que los registros de cadencia de los potenciómetros testeados distan en gran medida (dependiendo de las características de la prueba realizada) de las mediciones obtenidas con un cadenciómetro. De la utilización de este dispositivo, se podría estudiar el efecto que tienen las diferentes condiciones de pedaleo (intensidad, cadencias, posiciones sobre la bicicleta) sobre los registros de cadencia, nunca antes estudiados en trabajos previos que se limitaban a ver la influencia de estas condiciones sobre la potencia registrada.

Así mismo, se debe profundizar en el estudio de los registros de los potenciómetros en pruebas de sprint, para detectar tanto su validez como su reproducibilidad (no testada en ningún estudio previamente) en este tipo de esfuerzos.

Por último, la realización de un protocolo de pruebas de pedaleo en mayor número de unidades de estos dos potenciómetros aportaría mayor veracidad a los resultados obtenidos, pudiéndose generalizar al total de los dispositivos correspondientes a los modelos de ambas marcas comerciales testeadas en el estudio.

---

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

---

La expansión del mercado de los potenciómetros ha ofrecido multitud de opciones en su tipología a un público cada vez mayor debido al abaratamiento de los mismos. Sin embargo, queda reflejado en las investigaciones científicas que la precisión de estos sistemas dista mucho de aquella que anuncian las propias marcas. En mi opinión, si estas empresas colaborasen con desarrolladores externos, que testasen sus dispositivos en un gran número de pruebas de diferentes intensidades y condiciones de pedaleo, la calidad de las mediciones registradas por sus potenciómetros mejoraría.

En este sentido, las estrategias de marketing de las marcas, además de centrarse en cuestiones estéticas y económicas, podrían fundamentarse en la validez y reproducibilidad de sus sistemas, que en realidad es el criterio al que debería atenderse para poder llevar a cabo una correcta evaluación del rendimiento y de la cuantificación de la carga de entrenamiento.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

- Abbiss, C. R., Quod, M. J., Levin, G., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2009). Accuracy of the Velotron ergometer and SRM power meter. *International Journal of Sports Medicine*, 30 (2), 107-112.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33 (7), 517-538.
- Allen, H., & Coggan, A. (2010). *Training and racing with a power meter*. Colorado, USA: Paidotribo.
- Astorino, T. A., & Cottrell, T. (2011). Reliability and validity of the Velotron RacerMate cycle ergometer to measure anaerobic power. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 1-6.
- Bertucci, W., Crequy, S., & Chimentin, X. (2013). Validity and reliability of the G-Cog BMX powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 34 (6), 538-543.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V. & Grappe, F. (2005a) Validity and reliability of the axiom powertrain cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 26 (1), 59-65.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005b). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International Journal of Sports Medicine*, 26 (10), 868-873.
- Bouillod, A., Pinot, J., Soto-Romero, G., Bertucci, W., & Grappe, F. (2017). Validity, sensitivity, reproducibility, and robustness of the PowerTap, Stages, and Garmin Vector power meters in comparison with the SRM device. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12 (8), 1023-1030.
- Cavas-García, F. (2015). Validez y reproducibilidad de los potenciómetros Garmin Vector y Powertap. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.
- Costa, V. P., Guglielmo, L. G., & Paton, C. D. (2017). Validity and reliability of the PowerCal device for estimating power output during cycling time trials. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31 (1), 227-232.
- Czajkowski, M., Bouillod, A., Dauriannes, A., Soto-Romero, G., & Grappe, F. (2016). Validity and reproducibility of the Powertap P1 power meter when compared with SRM device. *Journal of Science and Cycling*, 5 (2), 9-10.
- Duc, S., Villerius, V., Bertucci, W., & Grappe, F. (2007). Validity and reproducibility of the Ergomo® pro power meter compared with the SRM and Powertap power meters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2 (3), 270-281.

- Earnest, C. P., Wharton, R. P., Church, T. S., & Lucia, A. (2005). Reliability of the Lode Excalibur Sport Ergometer and applicability to Computrainer electromagnetically braked cycling training device. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19 (2), 344-348.
- Frémeaux, M., Bouillod, A., Brunet, E., Soto-Romero, G., & Grappe, F. (2017). Accuracy and reproducibility of the new CycleOps Hammer Direct Drive Trainer. *Journal of Science and Cycling*, 6 (3).
- Gardner, A. S., Stephens, S., Martin, D. T., Lawton, E., Lee, H., & Jenkins, D. (2004). Accuracy of SRM and Powertap power monitoring systems for bicycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (7), 1252-1258.
- Gonzalez-Haro, C., Galilea, P. A., Soria, M., Drobnic, F., & Escanero, J. F. (2007). Comparison of nine theoretic models estimating the mechanical power output in cycling. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 506-509.
- Granier, C., Hausswirth, C., Dorel, S., & Yann, L. M. (2017). Validity and reliability of the Stages Cycling power meter. *Journal of strength and conditioning research*.
- Hoon, M. W., Michael, S. W., Patton, R. L., Chapman, P. G., & Areta, J. L. (2016). A Comparison of the accuracy and reliability of the Wahoo KICKR and SRM power meter. *Journal of Science and Cycling*, 5 (3), 11-15.
- Hopker, J., Myers, S., Jobson, S. A., Bruce, W., & Passfield, L. (2010). Validity and reliability of the Wattbike cycle ergometer. *International Journal of Sports Medicine*, 31 (10), 731-736.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (3), 472-485.
- Hopkins, W. G., Schabort, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, 31 (3), 211-234.
- Hurst, H. T., Atkins, S., Sinclair, J., & Metcalfe, J. (2015). Agreement between the Stages cycling and SRM powermeter systems during field-based off-road climbing. *Journal of Science and Cycling*, 4 (1), 21-27.
- Hutchison, R., Klapthor, G., Edwards, K., Bruneau, K., Mocko, G., & Vahidi, A. (2017). Validity and reproducibility of the Garmin Vector rower meter when compared to the SRM device. *Journal of Sports Science*, 5, 235-241.
- Jones, S. M., & Passfield, L. (1998). The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks. En S.J. Haake (ed). *The Engineering of Sport* (pp.265-274). Oxford: Blackwell Science.

- Kirkland, A., Coleman, D., Wiles, J. D., & Hopker, J. (2008). Validity and reliability of the Ergomo® pro powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 29 (11), 913-916.
- Kyle, C. R., & Caiozzo, V. J. (1986). Experiments in human ergometry as applied to the design of human powered vehicles. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2 (1), 6-19.
- Lillo-Bevia, J. R., & Pallarés, J. G. (2017). Validity and reliability of the Cycleops Hammer cycle ergometer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-19.
- Martin, J. C., Milliken, D. L., Cobb, J. E., McFadden, K. L., & Coggan, A. R. (1998). Validation of a mathematical model for road cycling power. *Journal of Applied Biomechanics*, 14 (3), 276-291.
- Maier, T., Schmid, L., Müller, B., Steiner, T., & Wehrlin, J. P. (2017). Accuracy of cycling power meters against a mathematical model of treadmill cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (6), 456-461.
- Maxwell, B. F., Withers, R. T., Ilsley, A. H., Wakim, M. J., Woods, G. F., & Day, L. (1998). Dynamic calibration of mechanically, air-and electromagnetically braked cycle ergometers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78 (4), 346-352.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2000). *Essentials of exercise physiology* (2nd edn). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins
- Menaspà, P., Sias, M., Bates, G., & La Torre, A. (2017). Demands of World Cup Competitions in Elite Women's Road Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12 (10), 1293-1296.
- Miller, M. C., Macdermid, P. W., Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2016). Agreement between Powertap, Quarq and Stages power meters for cross-country mountain biking. *Sports Technology*, 8 (1-2), 44-50.
- Millet, G. P., Tronche, C., Fuster, N., Bentley, D. J., & Candau, R. (2003). Validity and reliability of the Polar® S710 mobile cycling powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 24 (3), 156-161.
- Millet, G. P., Tronche, C., & Grappe, F. (2014). Accuracy of indirect estimation of power output from uphill performance in cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9 (5), 777-782.
- Nimmerichter, A., Schnitzer, L., Prinz, B., Simon, D., & Wirth, K. (2017). Validity and reliability of the Garmin Vector power meter in laboratory and field cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (6), 439-446.

- Pallarés, J. G., & Lillo-Bevia, J. R. (2018). Validity and Reliability of the PowerTap P1 Pedals power meter. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17 (2), 305-311.
- Passfield, L., Hopker, J. G., Jobson, S., Friel, D., & Zabala, M. (2016). Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35 (14), 1426-1434.
- Polar Chile (s.f.). *Introduciendo la Nueva Serie-S de Polar* (Figura 3). Recuperado de <http://www.polarchile.co.cl/S-Series.htm>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Pernía, R., Cejuela, R., García-López, J., Llopis, J., & Villa, J. G. (2011). Exercise intensity and load during different races in youth and junior cyclists. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (2), 511-519.
- Sparks, S. A., Dove, B., Bridge, C. A., Midgley, A. W., & McNaughton, L. R. (2015). Validity and reliability of the Look Keo Power pedal system for measuring power output during incremental and repeated sprint cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10 (1), 39-45.
- Stannard, S., Macdermaid, P., Miller, M., & Fink, P. (2015). The power of cycling. *Movement, Health & Exercise*, 4 (2), 1-8.
- Wainwright, B., Cooke, C. B., & O'Hara, J. P. (2017). The validity and reliability of a sample of 10 Wattbike cycle ergometers. *Journal of Sports Sciences*, 35 (14), 1451-1458.
- Winter, E. M., & Fowler, N. (2009). Exercise defined and quantified according to the Systeme International d'Unites. *Journal of Sports Sciences*, 27 (5), 447-460.
- Wooles, A. L., Robinson, A. J., & Keen, P. S. (2005). A static method for obtaining a calibration factor for SRM bicycle power cranks. *Sports Engineering*, 8 (3), 137-144.

---

## 9. ANEXOS

---

### Anexo I. Consentimiento informado para realizar un protocolo de pruebas de pedaleo

---



universidad  
de león



#### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZAR UN PROTOCOLO DE PRUEBAS DE PEDALEO

El objetivo de este proyecto es estudiar la validez del potenciómetro Power2Max para el registro de la potencia en ciclismo, en el marco del trabajo de fin de máster titulado “Validez y reproducibilidad de un nuevo medidor de potencia utilizado en ciclismo (Power2Max) en comparación con un estándar de medición de potencia (PowerTap)”. El protocolo a realizar estará compuesto por 3 tipos de pruebas de pedaleo a completar en dos días consecutivos. Estas se realizarán en una bicicleta instalada en un rodillo fijo, la cual se adaptará a las medidas del ciclista participante. En el primer día, se realizará una prueba incremental submáxima (compuesta por 18 subestadios de 1 minuto de duración a diferentes velocidades, cadencias de pedaleo y posiciones sobre la bicicleta), y tras un periodo de descanso una prueba incremental máxima (empezando a 27 km h<sup>-1</sup> y aumentando 1 km h<sup>-1</sup> cada 1 minuto hasta el agotamiento). El segundo día, se comenzará repitiendo la prueba incremental submáxima, y tras una pausa para recuperar, se finalizará con una prueba de sprints (12 esfuerzos máximos de 8 segundos de duración con diferentes desarrollos de pedaleo, teniendo una recuperación activa de 3 minutos entre sprints y pasiva de 5 minutos entre bloques de 3 sprints). El lugar de realización será el laboratorio de biomecánica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León.

El ciclista autoriza a los investigadores a utilizar los datos de sus pruebas para ser tratados exclusivamente con fines de investigación, preservando siempre su derecho al anonimato, y cumpliendo con la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de Diciembre, de Protección de Datos de

Carácter Personal. A cambio, el ciclista tras su participación: a- Conocerá su potencia máxima sostenida; b- Se aproximará a la utilización del registro de la potencia en ciclismo.

El ciclista debe ser consciente de que alguna de las pruebas a realizar exige un esfuerzo máximo, pudiendo implicar algún tipo de lesión muscular similar a las que se pueden dar en entrenamientos o competiciones.

Siendo conocedor de los posibles riesgos, ya que habitualmente entrena en parámetros similares, el ciclista exime a los responsables del estudio de cualquier responsabilidad derivada de la misma.

La participación en el estudio es de carácter voluntario, y existe posibilidad de retirarse de la misma en cualquier momento.

El profesor responsable del trabajo de fin de máster es el Dr. Juan García López, el cual se compromete a informar y contestar a todas las dudas y preguntas de los participantes.

<b>CONSENTIMIENTO MENORES DE EDAD</b>	
Yo, D/Dña. ....,	con DNI .....
..... padre/madre o tutor legal de D/Dña. ....,	con DNI.....
doy mi consentimiento para que mi hijo participe en un protocolo de pruebas de pedaleo. Se me ha facilitado la precedente hoja informativa y habiendo comprendido el procedimiento y los riesgos inherentes al mismo, declaro estar debidamente informado, por lo tanto, eximo de cualquier responsabilidad a los responsables del estudio.	
León, a        de        de 2018	
Padre/Madre/Tutor legal:	
Fdo:	

**CONSENTIMIENTO MAYORES DE EDAD**

Yo, D/Dña ..... con DNI ..... doy mi consentimiento para participar en un protocolo de pruebas de pedaleo.

Se me ha facilitado la precedente hoja informativa y habiendo comprendido el procedimiento y los riesgos inherentes al mismo, declaro estar debidamente informado y acepto participar libre y voluntariamente en el presente estudio. Comprendo que puedo retirarme de la prueba en cualquier momento, por lo tanto, eximo de cualquier responsabilidad a los responsables del estudio.

León, a            de            de 2018

Deportista:

Fdo:

## Anexo II. Informe del Comité de Ética de la Universidad de León



universidad  
de león

Vicerrectorado de Investigación  
Comité de Ética

D. José Luis Mauriz Gutiérrez, como Secretario del Comité de Ética de la Universidad de León.

CERTIFICA:

Que la solicitud ETICA-ULE-017-2018, titulada "Validez y reproducibilidad de un nuevo medidor de potencia utilizado en ciclismo (Power2Max) en comparación con un estándar de medición de potencia (Powertap)" presentada por el Dr. D. Juan García López ha recibido una Evaluación favorable por parte del Comité de Ética de la Universidad de León.

Para emitir el informe los miembros de este Comité han verificado que la solicitud cumple con los requisitos recogidos en el artículo 4 del Reglamento del Comité de Ética de la Universidad de León y que son, según sea el caso:

- Comprobar la adecuación tanto del modelo como del procedimiento utilizado para obtener el consentimiento informado de la persona que participa o de la que se obtiene el material biológico.
- Velar por la garantía de la confidencialidad de los datos personales de los sujetos que participan en el procedimiento.
- Supervisar la idoneidad y acreditación de todos los participantes en los protocolos.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en León a 21 de mayo de 2018.



JOSE LUIS MAURIZ  
GUTIERREZ

Procedimiento de Acreditación por ISO 15189:2013  
Resolución de Acreditación (RA) n.º 128/18/2018  
OTR/0012 en Universidad de León en Opinión de  
Resolución de Acreditación (RA) n.º 128/18/2018  
n.º 128/18/2018/0012

Fdo.: Dr. José Luis Mauriz Gutiérrez  
Secretario del Comité de Ética  
Universidad de León