



universidad  
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL  
DEPORTE

Curso Académico 2016/2017

VALIDEZ DE UN NUEVO MEDIDOR DE POTENCIA (POWER2MAX)  
UTILIZADO EN CICLISMO: LABORATORIO vs COMPETICIÓN

Validity of a new powermeter (Power2Max) used in cycling: laboratory vs  
competition

Autor: Javier Iglesias Pino

Tutor: Dr. Juan García López

Fecha: 5 de Julio de 2017

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE .....	10
3. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Sujeto.....	11
3.2. Procedimiento .....	11
3.2.1. Fase de laboratorio.....	12
3.2.2. Fase de campo .....	12
3.3. Obtención y tratamiento de los registros de potencia .....	13
3.4. Análisis estadístico .....	14
4. RESULTADOS.....	14
5. DISCUSIÓN.....	22
6. CONCLUSIONES .....	24
7. APLICACIONES Y VALORACIÓN PERSONAL.....	25
8. BIBLIOGRAFÍA .....	26

## RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo ha sido determinar la validez y precisión del potenciómetro Power2Max comparándolo con el potenciómetro Powertap. Para ello se ha diseñado un protocolo con dos fases experimentales. La fase en laboratorio estuvo compuesta por diferentes pruebas: incremental máxima hasta el agotamiento, incremental submáxima, submáxima continua y de sprints. La fase en campo estuvo compuesta por 6 competiciones de la categoría élite/sub23, de las cuales se obtuvieron datos sobre el perfil de potencia y el tiempo en zonas. Los principales resultados fueron que Power2Max sobreestimaba la potencia entre 2.7-5.6% respecto a Powertap durante las pruebas de laboratorio, a excepción de la prueba de sprints en la que subestimaba significativamente la potencia ( $-8.0 \pm 27.4\%$ ), probablemente por imprecisiones en el registro de altas cadencias. En la fase de campo la sobreestimación de Power2Max fue de 0-3.1%, resultando intercambiables los datos de potencia entre los sistemas a excepción de los recopilados durante las competiciones cortas y de alta intensidad y aquellas en las que hubo precipitaciones. Por lo tanto, se concluye que la validez y precisión de Power2Max debe tratarse con cautela para determinar los pequeños cambios en el rendimiento del deportista. De este modo, los fabricantes deberían mejorar el registro de cadencia de estos sistemas, así como la influencia de la temperatura y las precipitaciones en las mediciones de potencia.

**Palabras clave:** ciclismo, potenciómetros, Power2Max, Powertap, validación.

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the validity and the accuracy of Power2Max powermeter compared with Powertap powermeter. For this purpose, a two-experimental-phases protocol has been designed. The laboratory phase consisted of: a maximal incremental test to exhaustion, a submaximal incremental test, a submaximal continuous test and a sprint test. The field phase consisted of 6 elite/sub23 races, of which power profile and time in zones data were obtained. The main results were Power2Max overestimated power output by 2.7-5.6% compared Powertap during laboratory tests, except for the sprint test in which Power2Max significantly underestimated the power output ( $-8.0 \pm 27.4\%$ ), probably due to vagueness with high cadence measurements. In the field phase, the overestimation of Power2Max was 0-3.1%, so the two powermeters yield comparable power output data, except those collected during short, high intensity and rainy races. Therefore, the validity and accuracy of the Power2Max powermeter should be treated with caution to determine small changes in athlete performance. Thus, the manufacturers should improve the high cadence measurements, as well as the influence of temperature and precipitation on power output.

**Keywords:** cycling, powermeters, Power2Max, Powertap, validity.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los medidores de potencia portátiles son utilizados en el ciclismo para evaluar el rendimiento del deportista, tanto en el entrenamiento como en la competición (Passfield et al., 2016). Es por ello, que multitud de marcas comerciales han lanzado sus dispositivos al mercado; sin embargo, muchos de ellos no han sido testeados previamente. A esto hay que añadir que la mayoría de los usuarios perciben la bondad de los productos más por las estrategias de marketing que utilizan las empresas que los comercializan que por su validez a la hora de medir la potencia de pedaleo. Los dos aspectos anteriores establecen el punto de partida de los estudios científicos, con el fin de probar la validez, la precisión y la reproducibilidad de los distintos dispositivos. La importancia de verificar estos parámetros radica en la necesidad de cuantificar los cambios en el rendimiento del deportista. No obstante, estas fluctuaciones en la condición física debidas al entrenamiento son muy leves, 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).

En la línea de lo anterior, es necesario mejorar los análisis e interpretaciones de los registros de potencia. Así, la mayoría de la literatura científica se basa en el análisis de los datos de potencia de las competiciones, existiendo un vacío en la investigación de los datos revelados durante los entrenamientos (Passfield et al., 2016). Además, dicho análisis del rendimiento, no se puede basar en el valor de potencia media realizada, ya que este no es significativo para interpretar el estrés fisiológico que supone en el ciclista el entrenamiento o la competición, por la inherente variabilidad que caracteriza a la potencia. Es por ello, por lo que surgen diversos métodos de interpretación de los datos de potencia: la potencia normalizada, el *training stress score*, los perfiles de potencia, la distribución en zonas de potencia, la media de potencia más alta sostenida en intervalos de tiempo de 5 a 600 s, el análisis de la variación del valor de potencia y la potencia crítica. Sin embargo, no se ha demostrado científicamente cuál de todos es el más adecuado para controlar el entrenamiento y la carga a la que se ve sometida el ciclista, y será algo en lo que se tendrá que evolucionar en un futuro (Passfield et al., 2016).

Volviendo a la temática del registro de la potencia durante el pedaleo, bien sea en entrenamiento o en competición, hay constancia de que el primer medidor de potencia en llegar al mercado fue el SRM (Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Welldorf, Germany) en la década de los 80'. Este sensor se coloca entre el plato y las bielas (araña) de la bicicleta, y se estableció como el estándar en la medición de la potencia, ya que se obtuvieron altas relaciones ( $R^2 > 0.99$ ) al compararlo con el método estándar hasta el momento, que era un

ergómetro de freno por fricción (Jones & Passfield, 1998; Martin et al., 1998). Con posterioridad surgieron otros sistemas como el Powertap (Saris Cycling Group, Madison, USA), que se coloca en el eje trasero de la bicicleta, y estudios como el de Gardner et al., (2004) lo compararon con el SRM, antes y después de un periodo de uso de 11 meses, en diferentes rangos de potencias, temperaturas ambientales, cadencias y velocidades. De este modo, obtuvieron que ambos sistemas eran precisos (rango de error de  $2.3 \pm 4.9\%$  para SRM y  $-2.5 \pm 0.5\%$  para Powertap) y reproducibles (diferencia entre las calibraciones tras los 11 meses de uso de  $-0.8 \pm 1.7\%$  y  $-2.7 \pm 0.1\%$ , respectivamente). Además, su precisión no se veía influenciada significativamente por la velocidad del ensayo ni por la cadencia de pedaleo. Continuando con esta comparativa, encontramos estudios como el de Bertucci et al. (2005), que 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 fiabilidad y validez del Powertap, ya que la subestimación de la potencia de este respecto a SRM ( $-1.2 \pm 1.3\%$ ) no representaba un valor significativo, y siempre era constante, lo que se debe a que el Powertap se ubica en el eje trasero de la bicicleta, donde ya se ha disipado un porcentaje de la potencia aplicada entre el plato y las bielas. De este modo, se puede afirmar que SRM y Powertap son, a día de hoy, los dos sistemas estándares de medición de la potencia en ciclismo (Figura 1).



*Figura 1.- Ilustración del medidor de potencia entre el plato y la biela (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, Power2Máx, 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, plato-biela, eje de pedaleo, eje de la rueda trasera, manillar y cinta de pecho) y el tipo de sensor utilizado por el medidor de potencia (galgas extensiométricas, sistemas inerciales, sensores de pendiente y velocidad del viento, frecuencia cardiaca). 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 cardiaca). 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 tests 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). En concreto, en la literatura científica se han analizado los siguientes sistemas:

ErgomoPro (ErgomoPro, Mörfeldn-Walldorf, Germany), que es un potenciómetro ubicado en eje de pedaleo y con galgas extensiométricas, 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.

Stages (Stages Cycling, Saddleback Ltd., UK), que es un potenciómetro ubicado en la biela y con sistema inercial, 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). De este modo, podemos concluir que Stages no es un potenciómetro válido pero sí es reproducible.

Garmin Vector (Garmin, Lenexa, USA), que es un potenciómetro ubicado en pedal y con galgas extensiométricas, 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). En general, los dos 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 dos estudios anteriores, fundamentalmente a potencias de pedaleo altas. A diferencia de los dos anteriores, 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 entrenamiento (8 galgas extensiométricas). En conclusión, teniendo en cuenta estos tres

estudios podemos concluir que existen dudas sobre la validez del Garmin Vector, a pesar de ser un sistema fiable, fundamentalmente a potencias bajas de pedaleo.

Look Keo Power (Look, Cadex, France), que es un potenciómetro ubicado en pedal y con galgas extensiométricas, 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, ni en el test incremental, ni en el test de sprint, ni 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.

Powertap P1 (Saris Cycling Group, Madison, USA), que es un potenciómetro ubicado en el pedal y con galgas extensiométricas, 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). Así podemos concluir, 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.

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 (~21°C) a unas condiciones de frío (~6°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 km, 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.

Tabla 1. – Resumen Artículos científicos

Referencia	Potenciómetro a validar	Estándar	Muestra	Protocolo	Conclusiones
Bertucci et al. (2005)	Powertap	SRM	Un ciclista de nivel nacional de 25 años	Repetición 10 veces: test submáximo incremental, test submáximo continuo de 30 minutos, test de sprint. Un test extra en campo	Powertap es válido y exacto comparado con SRM en test submáximo de laboratorio y en situación real
Duc et al. (2007)	ErgomoPro	SRM - Powertap	Un ciclista de nivel regional de 27 años	Repetición 8 veces: test submáximo incremental, test submáximo continuo de 30 minutos, test de sprint y test de campo	ErgomoPro es menos válido y reproducible que Powertap y SRM
Sparks et al. (2015)	Look Keo Power	SRM (ergómetro)	10 hombres activos de 34 años de media	Test incremental hasta el agotamiento seguido de 3 test de sprint	En duda la validez de Look Keo Power por diferencias en la potencia media respecto a SRM
Cavas et al. (2015)	Garmin Vector - Powertap	SRM	Ocho ciclistas de 32 años de media	Una sola vez por ciclista un test submáximo incremental	Validez de Garmin Vector es dudosa por su subestimación de potencia y su alto intervalo de confianza, no siendo así en Powertap. Sin embargo, ambos son reproducibles
Bouillod et al. (2016)	Stages – Garmin Vector	SRM	Un ciclista de nivel nacional de 23 años	Repetición 3 veces: test submáximo incremental, test submáximo continuo de 30 minutos, test de sprint. Un test extra en campo	Stages y Garmin Vector son reproducibles, pero su validez y sensibilidad debe ser tratada con precaución
Czajkowski et al. (2016)	Powertap P1	SRM (ergómetro)	5 ciclistas de 21 años de edad media	Repetición 3 veces: test submáximo incremental, 3 test de sprint a diferentes resistencias	Powertap P1 es válido y reproducible, siendo el primer potenciómetro en los pedales en serlo
Novak et al. (2016)	Garmin Vector	SRM	21 ciclistas de 32 años de edad media	7 esfuerzos máximos (5s de pie, 5s sentado, 15s, 30s, 60s, 240s, 600s)	Garmin Vector es válido para la medición de la potencia en ciclismo

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

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la validez y precisión del medidor de potencia Power2Max, situado entre el plato y la biela de la bicicleta y con sensores basados en galgas extensiométricas, comparándolo con un medidor de potencia validado con anterioridad, como es Powertap. La necesidad de abordar este estudio se debe a la ausencia de bibliografía científica que testee este potenciómetro, que además está siendo utilizado en diferentes equipos ciclistas de élite.

Las competencias generales a desarrollar por el alumno durante este trabajo se basan en la elección y utilización de una serie de instrumentos de medida para la valoración de una actividad deportiva, así como a la investigación científica. Cabe señalar las siguientes:

- Conocer y comprender los objetos de estudio de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en sus futuras tareas profesionales.
- Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- 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, del desarrollo de este trabajo surgen otra serie de competencias de carácter específico:

- Aplicar los principios biomecánicos de las fuerzas (cinética) al campo de la actividad física y del deporte.
- Diseñar, desarrollar y evaluar un protocolo de pruebas para testear la validez y precisión de dos medidores de potencia.
- Seleccionar y dominar correctamente los instrumentos, herramientas y software para la obtención y tratamiento de los datos a analizar.

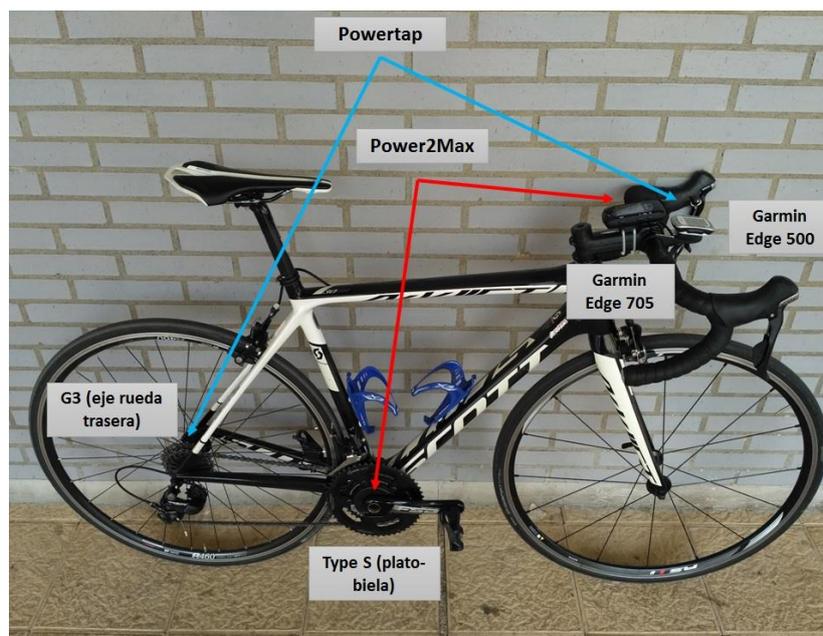
### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Sujeto

En este estudio ha participado un ciclista sub23 que compite en pruebas de carácter regional y nacional. Tenía una edad de 21 años, un peso de 64 kilogramos, una altura de 174 centímetros y una experiencia en entrenamiento de ciclismo en ruta de 13 años, utilizando el registro de la potencia en los mismos desde hace 1 año.

#### 3.2. Procedimiento

Para comprobar la validez y precisión del medidor de potencia Power2Max, modelo Type S de 4 galgas extensiométricas (Power2Max, Waldhufen, Germany), se instaló este sistema en una bicicleta de carretera Scott Addict 30 (Scott Sports, Givisiez, Switzerland) junto con otro medidor de potencia Powertap (modelo G3, Saris Cycling Group, Madison, USA), estando sincronizados ambos con dos ciclocomputadores Garmin (Garmin, Lenexa, USA), modelos Edge 705 y Edge 500, respectivamente (Figura 2).



*Figura 2.- Ilustración de los sistemas utilizados para el registro de la potencia de pedaleo: Powertap y Power2Max.*

Durante este proceso se llevaron a cabo una fase en laboratorio y otra en campo. La fase de laboratorio constó de 4 pruebas, realizadas en días diferentes: una prueba incremental máxima hasta el agotamiento, una prueba incremental submáxima, una prueba submáxima continua y una prueba de sprints. Para la realización de dichas pruebas, la bicicleta se instaló sobre un rodillo Cateye CS-1000 (Cateye, Osaka, Japan). En la fase de campo, se realizó un test de umbral de potencia funcional (FTP), y posteriormente se llevó a cabo un

registro simultáneo del tiempo en zonas y de los perfiles de potencia durante competiciones del calendario elite sub23 nacional y regional. Los potenciómetros fueron calibrados siguiendo las indicaciones de los fabricantes, previamente a la realización de las diferentes pruebas, con la bicicleta en estático y sin aplicar fuerzas sobre los pedales.

### 3.2.1. Fase de laboratorio

La fase de laboratorio estuvo compuesta por cuatro tipos de pruebas que se desarrollaron sobre el mismo rodillo. Primero se instaló la bicicleta en el rodillo para a continuación realizar un calentamiento de 10 minutos a 100 vatios, tras el cual se procedió a ejecutar los tests: 1- Prueba incremental máxima hasta el agotamiento comenzó a  $27 \text{ km h}^{-1}$ , aumentando  $1 \text{ km h}^{-1}$  cada 1 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 90 y 100 rpm. 2- Prueba incremental submáxima se establecieron estadios de 6 minutos de duración a velocidades de 30, 35 y  $40 \text{ km h}^{-1}$ . En cada estadio se comprobó el efecto de diferentes cadencias (60, 80 y 100 rpm), así como de diferentes posiciones (sentado y de pie), resultando en un total de 18 subestadios de 1 minuto cada uno de ellos. 3- Prueba submáxima continua consistió en 3 series de 10 minutos de duración, en una posición de sentado a una velocidad constante de  $40 \text{ km h}^{-1}$  con una cadencia de pedaleo de 90 rpm, separados por 1 minuto de recuperación pasiva. 4- Prueba de sprints, que consistió en sprints de 8 segundos en posición de sentado para determinar la potencia máxima. Se realizaron 5 bloques de 3 sprints cada uno, con diferentes desarrollos (36/19, 36/13, 52/19, 52/15 y 52/12), teniendo una recuperación pasiva de 5 minutos entre bloques y una recuperación activa de 3 minutos a 100 vatios entre sprints.

### 3.2.2. Fase de campo

En primer lugar el ciclista realizó un test de umbral de potencia funcional (FTP), según el protocolo descrito por Allen & Coggan (2010). Este test consiste en un calentamiento de 20 minutos, seguido de 3 series de pedaleo suave de 1 minuto a 100 rpm (recuperando 1 minuto entre series) y 5 minutos de pedaleo ligero. Posteriormente se realizan 5 minutos de máximo esfuerzo sostenible, seguidos de una recuperación de 10 minutos a pedaleo ligero previos a otros 20 minutos de máximo esfuerzo sostenible en un terreno llano (esfuerzo intenso y constante). Al finalizar esta última fase se obtiene un valor de potencia media, que es un 5% superior al denominado “umbral de potencia funcional” ó FTP, a su vez definido como la potencia media más alta que podría mantenerse durante un esfuerzo de 60 minutos. Una vez obtenido el FTP se pueden definir 7 zonas de intensidad de ejercicio (< 55, 56-75, 76-90, 91-105, 106-120, 121-150 y > 150% del FTP), que se utilizan para el análisis de la distribución del esfuerzo o “tiempo en zonas”, útil para la programación y control del

entrenamiento y de la competición (Allen & Coggan, 2010). Otra forma de hacerlo, que también ha sido implementada en el presente trabajo, es perfil de potencia, el cual es un registro del valor más alto de potencia media sostenida durante intervalos de tiempo de 5 s y 1, 5 y 20 min, que se corresponderían con la potencia neuromuscular, la capacidad anaeróbica, el consumo máximo de oxígeno y el umbral de lactato del ciclista, respectivamente (Allen & Coggan, 2010).

En segundo lugar, se llevó a cabo una recopilación del registro de potencia de ambos dispositivos de manera simultánea durante diferentes competiciones del calendario elite sub23 nacional y regional. Previo al inicio de la competición se calibró cada medidor de potencia con el respectivo ciclocomputador al que se encontraba sincronizado, y a continuación se realizó un calentamiento de 15 minutos de duración a 150 vatios. Posteriormente, en la línea de salida, se hizo el cero en los dos ciclocomputadores, para iniciar una nueva actividad en la que queden registrados los valores obtenidos en la competición. En ambos se estableció una configuración de autopausa, lo que supone que si se detiene la marcha se paraliza de manera automática el registro de valores, reanudándose con el reinicio de la marcha. Al cruzar la línea de meta se detuvo de manera simultánea el registro de los valores de ambos ciclocomputadores.

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

Para el tratamiento de los datos se procedió al volcado de los archivos de los ciclocomputadores a un ordenador, en el cual fueron analizados mediante el software libre Golden Cheetah. Dependiendo del carácter de la prueba (de laboratorio o de campo), los datos fueron tratados de diferente manera. En la Figura 3, se muestra que en las pruebas de laboratorio se realizaron selecciones de intervalos de tiempo determinados en los que los datos son registrados segundo a segundo, mientras que el registro de campo se analizó directamente con el software, que ofrece un resumen de las zonas de potencia y de los perfiles de potencia (Figura 4) anteriormente definidos.

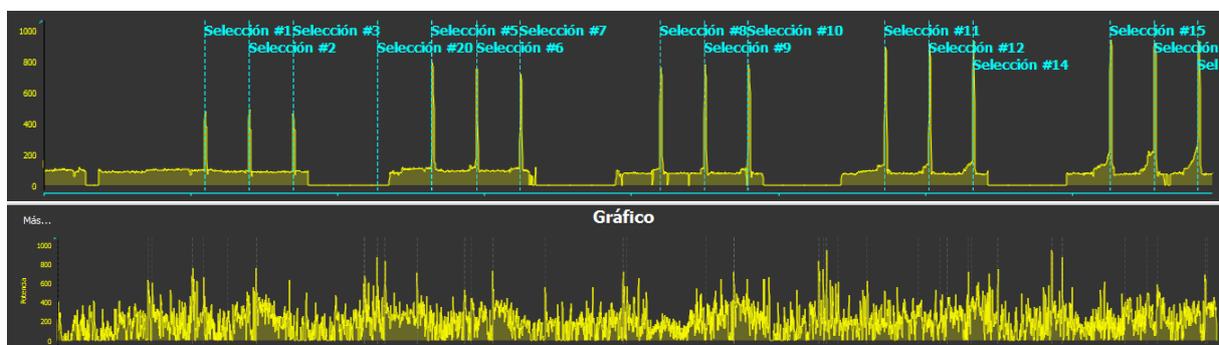


Figura 3.- Ilustración de los gráficos de potencia de una prueba de laboratorio (arriba) y una prueba de campo (abajo) del software Golden Cheetah.



Figura 4.- Ilustración del informe del tiempo en zonas (arriba) y del perfil de potencia (abajo) del software Golden Cheetah.

### 3.4. Análisis estadístico

Los resultados son expresados como media  $\pm$  DS. El tratamiento gráfico se realizó con el software Microsoft Excel 2010 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. El tamaño del efecto ó “Effect size” (ES) de las diferencias encontradas también fue analizado (Cohen, 1988). La magnitud de las diferencias fue considerada trivial (ES < 0.2), pequeña (0.2 ≤ ES < 0.5), moderada (0.5 ≤ ES < 0.8), y grande (ES ≥ 0.8). Valores de p < 0.05 fueron considerados como estadísticamente significativos.

## 4. RESULTADOS

La Figura 5 muestra los resultados de la prueba incremental máxima hasta el agotamiento con ambos sistemas. Se observa que la diferencia absoluta aumentó a medida que se incrementaba la potencia, mientras que la diferencia relativa no dependió de la potencia de pedaleo, siendo similar durante toda la prueba (5.0  $\pm$  0.7%).

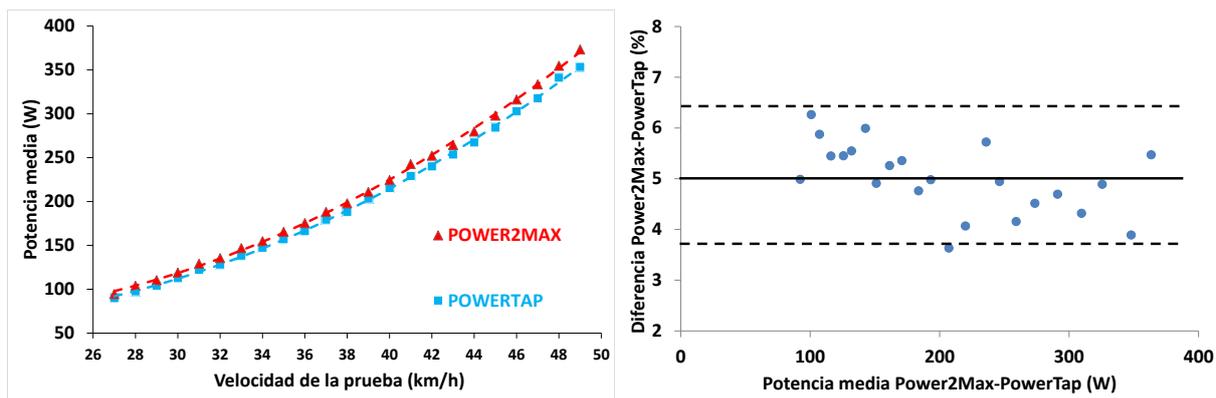


Figura 5.- Ilustración de la potencia registrada por Power2Max y Powertap durante la prueba incremental máxima hasta el agotamiento (27-49 Km/h) (izquierda). Gráfico Bland-Altman que representa las diferencias relativas entre ambos sistemas en función de la potencia registrada (derecha).

La Figura 6 muestra los resultados de potencia registrada con ambos sistemas durante la prueba incremental submáxima. Las diferencias absolutas y relativas de potencia obtenida a cada intensidad de pedaleo (30, 35 y 40 km·h<sup>-1</sup>) fueron de 3.2 ± 0.9 W; 3.7 ± 1.6 W y 5.5 ± 1.4 W y de 2.8 ± 0.8%; 2.5 ± 1.0% y 2.8 ± 0.8%, respectivamente, sin apreciarse diferencias significativas entre las tres intensidades. A las diferentes cadencias fueron de 5.6 ± 1.7 W; 3.3 ± 1.3 W y 3.5 ± 0.8 W y de 3.7 ± 0.7%; 2.2 ± 0.6% y 2.3 ± 0.2%, respectivamente, obteniéndose un efecto significativo (F= 11.2 y p<0.01) de la cadencia en las mismas. A las diferentes posiciones fueron de 3.9 ± 1.3 W; 4.4 ± 1.9 W y 2.5 ± 0.7%; 2.9 ± 1.0% respectivamente. De este modo, la diferencia relativa media de la potencia durante toda la prueba fue de 2.7 ± 0.9%.

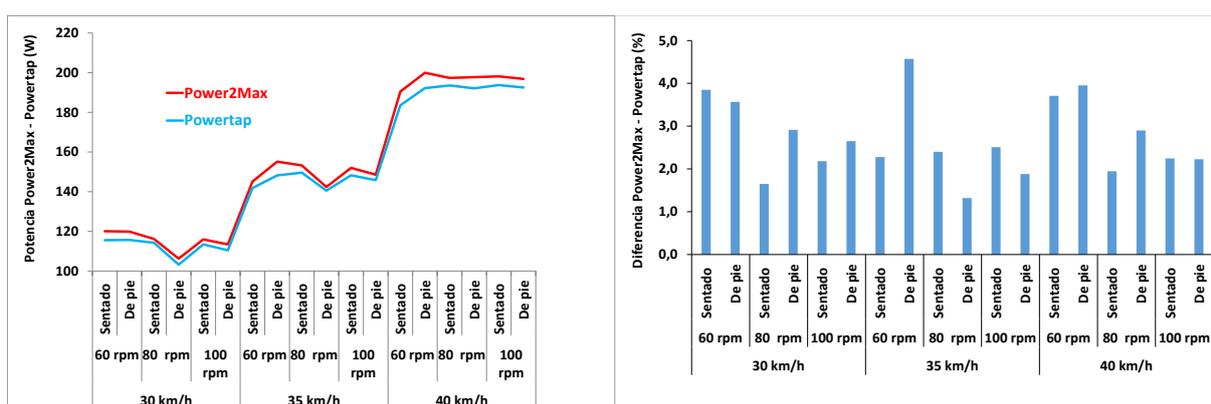


Figura 6.- Ilustración de la potencia absoluta registrada por Power2Max y Powertap durante la prueba incremental submáxima realizada a tres intensidades (30, 35 y 40 km/h), tres cadencias (60, 80, 100 rpm) y en dos posiciones (sentado y de pie) (izquierda). Diferencias relativas obtenidas entre ambos sistemas de registro de la potencia (derecha).

La Figura 7 muestra la media de los resultados de la potencia y cadencia registrada por ambos sistemas durante la prueba submáxima continua. La diferencia absoluta entre ambos durante las tres series fue de  $12.1 \pm 2.5$  W y  $0.9 \pm 0.3$  rpm, mientras que la relativa fue de  $5.6 \pm 1.1\%$  y  $1.0 \pm 0.3\%$ , respectivamente. La oscilación de la potencia y la cadencia con el Powertap fue de 1.9 W y 0.8 rpm, y con el Power2Max de 5.9 W y 0.3 rpm, respectivamente.

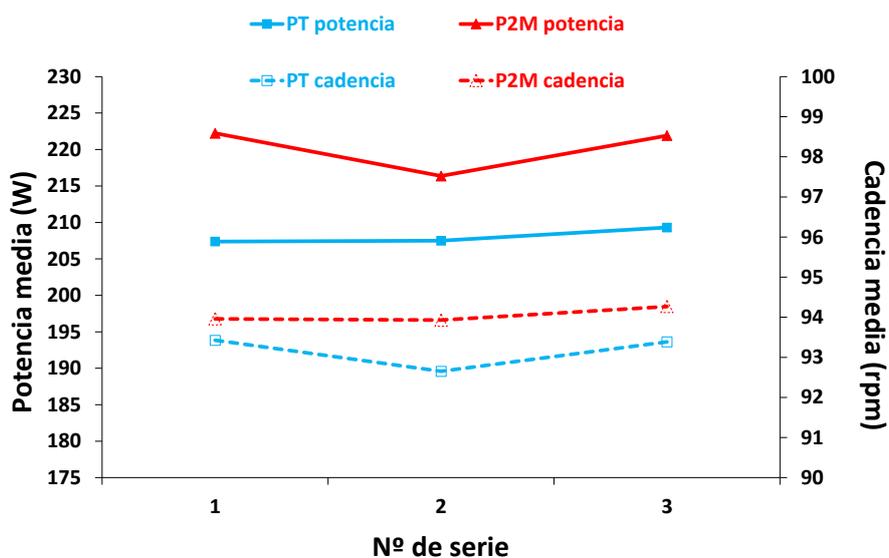


Figura 7.- Ilustración de la potencia y cadencia media registrada por Power2Max y Powertap durante la prueba submáxima continua realizada en 3 series a  $40 \text{ km h}^{-1}$  y 90 rpm.

La Figura 8 muestra los resultados de potencia máxima registrada con ambos sistemas durante la prueba de sprints. A lo largo de toda la prueba la potencia fue igual o menor con el Power2Max respecto al Powertap, con una diferencia de  $-31.4 \pm 89.2$  W ( $-8.0 \pm 27.4\%$ ) dependiendo del desarrollo utilizado. Cuando el desarrollo utilizado fue ligero (36/19, 36/13 y 52/19), el Powertap fue capaz de registrar valores de cadencia superiores a 150 rpm, mientras que el Power2Max no, siendo las diferencias en cadencia entre ambos sistemas de  $-18.8 \pm 17.0$  rpm ( $-12.7 \pm 9.2\%$ ). De este modo, en Power2Max a cadencias de pedaleo elevadas ( $>150$  rpm) la diferencia en el registro de potencia fue mayor ( $-39.7 \pm 108.5$  W,  $-11.9 \pm 29.6\%$ ) y a medida que las cadencias de pedaleo fueron menores (100-150 rpm) esta diferencia disminuyó ( $-19.0 \pm 19.7$  W,  $-2.1 \pm 2.2\%$ ).

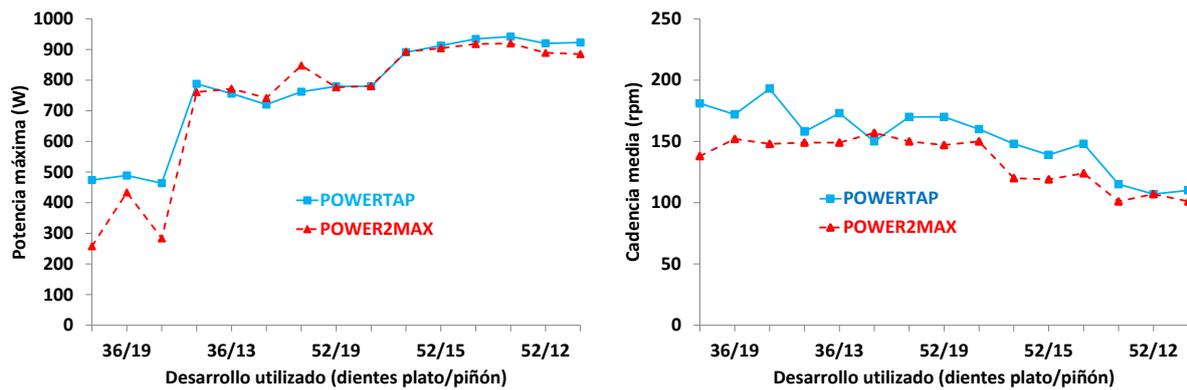


Figura 8.- Ilustración de la potencia máxima registrada por Power2Max y Powertap durante la prueba de sprints realizada a 5 desarrollos (36/19, 36/13, 52/19, 52/15 y 52/12) con 3 sprints en cada uno de ellos (izquierda). La cadencia de pedaleo registrada entre ambos sistemas de registro de la potencia (derecha).

En la Tabla 2 se muestran las duraciones, perfil de potencia y potencia media en las 6 competiciones registradas. La última competición fue una contrarreloj, por lo que su duración fue bastante inferior a las 5 anteriores. La potencia media registrada por Power2Max durante las competiciones fue entre 0-10 W superior a Powertap ( $0.0 \pm 3.1\%$ ) con una media de 1.5% de diferencia. Había diferencias significativas en el registro de la potencia en el intervalo de tiempo de 5 segundos, en las que Power2Max registraba menores potencias que Powertap ( $-4.9 \pm 3.0\%$ ), pero a medida que los intervalos de tiempo fueron mayores (1, 5, 20 y 60 minutos), las diferencias fueron menores y de sentido opuesto ( $0.8 \pm 2.0\%$ ,  $1.3 \pm 3.0\%$ ,  $1.3 \pm 1.8\%$  y  $1.0 \pm 1.0\%$ , respectivamente) (Figura 9).

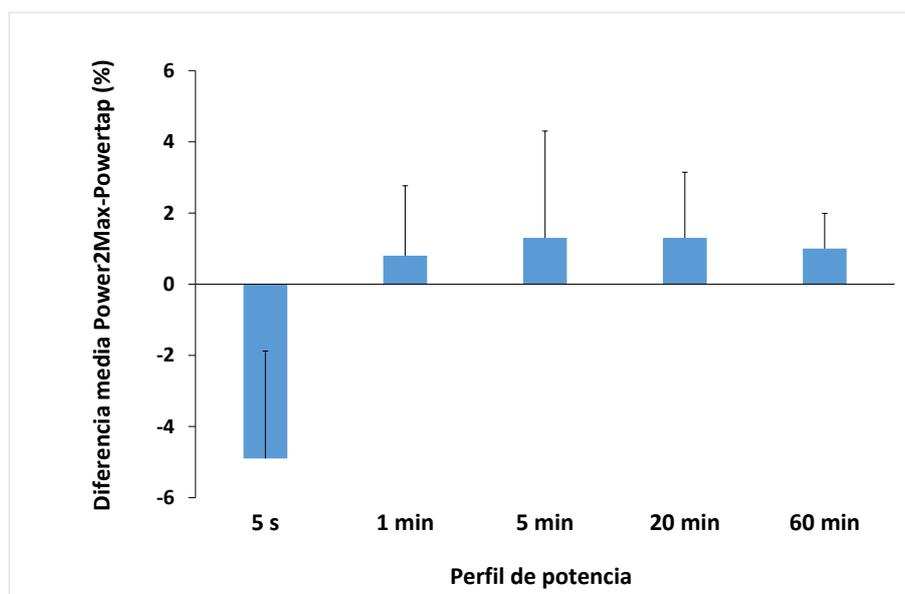


Figura 9.- Ilustración de la diferencia media de las competiciones entre Power2Max y Powertap en los distintos intervalos del perfil de potencia (5 s, 1, 5, 20, 60 min).

Tabla 2. – Ilustración de la duración, temperatura, perfil de potencia y potencia media registrada por Powertap y Power2Max durante las competiciones.

Competición	Duración (hh:mm:ss)	Temperatura (° C)	Perfil de potencia (potencia máxima sostenida)										Potencia media	
			5 s		1 min		5 min		20 min		60 min			
			PT	P2M	PT	P2M	PT	P2M	PT	P2M	PT	P2M	PT	P2M
1	02:58:44	18.8	841	763	409	415	319	320	284	285	229	230	204	204
2	02:03:15	26	811	766	438	453	352	362	264	270	231	235	215	219
3	02:57:28	15.4	1031	1026	470	462	315	325	264	270	240	246	218	223
4	03:31:36	25.4	959	924	422	422	328	325	247	249	225	227	199	202
5	03:38:44	15.1	753	733	450	444	363	351	314	308	269	268	215	215
6	00:31:03	26	681	634	369	380	330	350	322	335	-	-	316	326

PT = Powertap; P2M = Power2Max

En la Figura 10 se muestran estas diferencias en función del tipo de competición. Observándose que en las competiciones donde las condiciones climatológicas fueron favorables (competición 1, 2, 3, 4), en cuanto a temperatura (~21°C) y ausencia de precipitaciones, las diferencias en la potencia en los diferentes intervalos de tiempo siguieron el mismo patrón que se observa en la Figura 9. En la competición 5, donde las condiciones climatológicas fueron adversas, en cuanto a temperatura (~15°C) y presencia de precipitaciones, las diferencias siguen un patrón diferente a la Figura 10. Por otra parte, en la competición 6, que resultó especialmente corta en duración (31'03'') e intensa, las diferencias obtenidas en cada intervalo de tiempo (5 segundos, 1, 5 y 20 minutos) se acentuaron en gran medida (-7.1, 2.9, 5.9 y 4.0%, respectivamente).

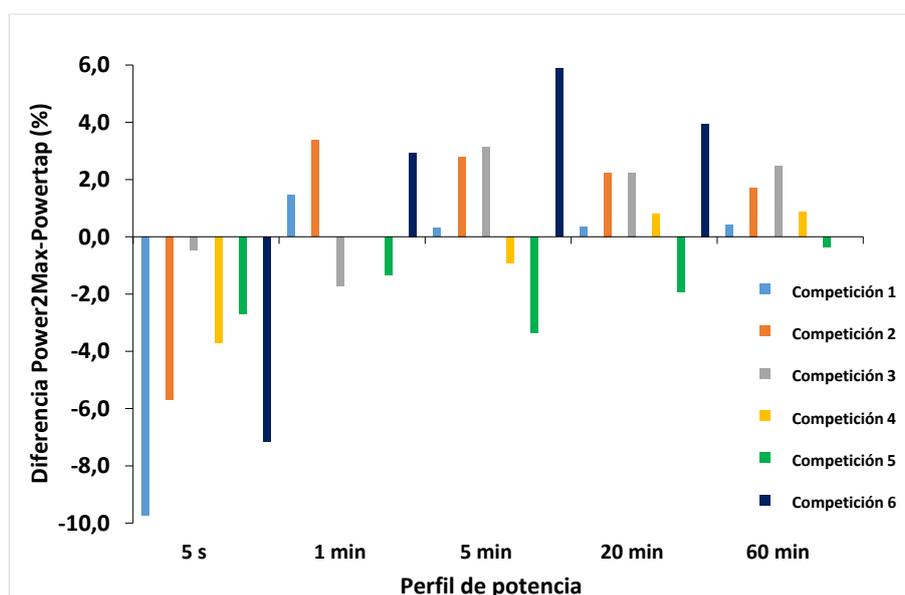


Figura 10.- Ilustración de la diferencia de cada una de las competiciones entre Power2Max y Powertap en los distintos intervalos del perfil de potencia (5 s, 1, 5, 20, 60 min).

En el test de umbral de potencia funcional se obtuvo un resultado de 310 W, a partir del cual se calculó el FTP (295 W), tal y como se ha explicado en la metodología. Las zonas de intensidad fueron: Z1= 0-162, Z2= 163-221, Z3= 222-265, Z4= 266-309, Z5= 310-354, Z6= 355-442, Z7 >443 W. En la Tabla 3 se muestran los resultados del tiempo absoluto y relativo registrado por ambos potenciómetros en las diferentes zonas de potencia. Las diferencias entre ambos sistemas (Figura 11), excepto durante la prueba de contrarreloj (competición 6), fueron menores del 2%. Powertap registró un poco más de tiempo en Z1 y Z7, mientras que Power2Max lo hizo en Z2, Z3 y Z4, sin diferencias sistemáticas en el resto de zonas. Sin embargo, durante la prueba de contrarreloj, estas diferencias fueron entre el 1-10%, dependiendo de la zona analizada.

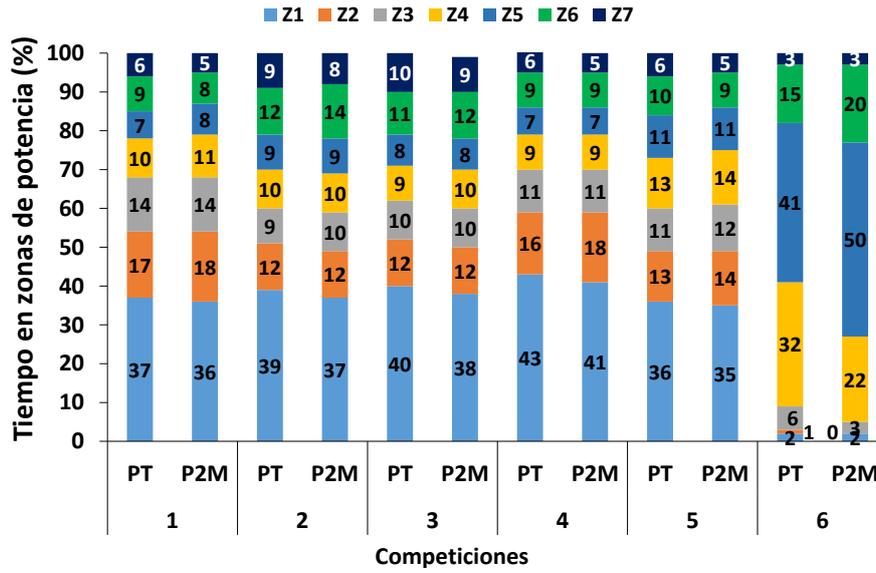


Figura 11.- Ilustración del tiempo relativo en zonas de potencia registrado en las competencias por Powertap (PT) y Power2Max (P2M). Z1= 0-162, Z2= 163-221, Z3= 222-265, Z4= 266-309, Z5= 310-354, Z6= 355-442, Z7 >443 W

Tabla 3. – Ilustración del tiempo absoluto (tiempo en minutos y segundos) y relativo (% respecto al tiempo total de la competición) en zonas de potencia registrada por Powertap y Power2Max durante las competiciones.

Competición	Tiempo en zonas													
	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7	
	PT	P2M	PT	P2M										
1	66'11'' (37%)	64'38'' (36%)	30'22'' (17%)	31'39'' (18%)	24'43'' (14%)	24'57'' (14%)	18'30'' (10%)	19'31'' (11%)	13'13'' (7%)	14'38'' (8%)	15'45'' (9%)	14'44'' (8%)	10'01'' (6%)	9'37'' (5%)
2	47'58'' (39%)	45'48'' (37%)	14'46'' (12%)	15'09'' (12%)	11'21'' (9%)	11'56'' (10%)	12'09'' (10%)	12'21'' (10%)	11'12'' (9%)	11'24'' (9%)	15'01'' (12%)	16'39'' (14%)	10'51'' (9%)	10'00'' (8%)
3	71'42'' (40%)	67'22'' (38%)	22'12'' (12%)	21'47'' (12%)	17'09'' (10%)	18'44'' (10%)	15'59'' (9%)	17'01'' (10%)	14'00'' (8%)	14'43'' (8%)	19'21'' (11%)	22'07'' (12%)	18'14'' (10%)	16'48'' (9%)
4	90'03'' (43%)	85'52'' (41%)	34'29'' (16%)	37'34'' (18%)	22'57'' (11%)	23'25'' (11%)	18'55'' (9%)	19'36'' (9%)	14'11'' (7%)	15'02'' (7%)	18'21'' (9%)	19'00'' (9%)	12'41'' (6%)	11'30'' (5%)
5	78'40'' (36%)	76'24'' (35%)	29'18'' (13%)	30'10'' (14%)	24'57'' (11%)	25'51'' (12%)	27'55'' (13%)	30'02'' (14%)	23'11'' (11%)	24'26'' (11%)	21'21'' (10%)	20'22'' (9%)	13'24'' (6%)	11'50'' (5%)
6	00'41'' (2%)	00'42'' (2%)	00'17'' (1%)	00'08'' (0%)	01'58'' (6%)	00'58'' (3%)	10'04'' (32%)	6'53'' (22%)	12'39'' (41%)	15'33'' (50%)	04'38'' (15%)	06'06'' (20%)	00'50'' (3%)	00'47'' (3%)

PT = Powertap; P2M = Power2Max. Z1= 0-162, Z2= 163-221, Z3= 222-265, Z4= 266-309, Z5= 310-354, Z6= 355-442, Z7 >443 W

## 5. DISCUSIÓN

El principal hallazgo del presente trabajo ha sido comprobar la validez de un nuevo sistema de registro de la potencia (Power2Max) respecto a otro sistema que había sido previamente validado (Powertap). En general, existió una diferencia del 2.7-5.6% a favor del Power2Max en condiciones de laboratorio, y del 0-3.1% en condiciones de campo o competición. Estas diferencias se deben a la ubicación de los sensores (eje de pedaleo vs eje trasero de la bicicleta) y a un posible efecto de la temperatura (laboratorio vs competición). Las diferencias entre ambos sistemas fueron significativas cuando se comparan intervalos de tiempo muy cortos (5 segundos), posiblemente debido a un problema de registro de altas cadencias por parte del Power2Max. En este sentido, no pareció existir influencia de la intensidad de pedaleo (30, 35 y 40 km·h<sup>-1</sup>) y la posición en la bicicleta (sentado vs pie) en las diferencias encontradas, pero sí de la cadencia en pruebas submáximas (mayores diferencias a menor cadencia). Por último, y como mayor aplicación práctica de los resultados obtenidos en el campo del entrenamiento deportivo, no existió influencia del sistema utilizado en el registro de la potencia en campo cuando se analizan las zonas de potencia (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7), pero sí cuando se analizan los perfiles de potencia (5 s, 1, 5, 20 y 60 min). Específicamente las diferencias son importantes cuando se analizan pruebas lluviosas y de contrarreloj (corta duración y elevada intensidad).

La diferencia en el registro de la potencia entre ambos sistemas en la fase de laboratorio fue de 2.7-5.6% superior en Power2Max que en Powertap (Figuras 5, 6 y 7). El hecho de que el sistema ubicado en el eje de pedaleo sobreestime la potencia puede estar justificado por la fricción de la cadena de transmisión y la deformación del cuadro de la bicicleta, ya que la potencia de pedaleo aplicada al eje de pedaleo no se transmite íntegramente al eje trasero de la bicicleta (Kyle, 1986; Martin et al., 1998). Kyle (1986) estableció que las diferencias entre ambas potencias pueden oscilar entre 2-4%, mientras que Martin et al. (1998) establecieron un 2.3% para este valor. Específicamente Bertucci et al. (2005) compararon el mismo sistema de medición en el eje trasero utilizado en el presente trabajo (Powertap) con un estándar en el eje de pedaleo (SRM), obteniendo sólo una diferencia de un 1.2 ± 1.3%. Por lo tanto, sí que parece que se justifica una diferencia entre ambos sistemas, debido a su ubicación, pero un 2.7-5.6% parece un valor muy elevado, sobre todo teniendo en cuenta que en condiciones de campo este valor se redujo a un 1.5% (rango del 0-3.1%). Posiblemente la temperatura afecte a uno o ambos sensores, como se comentará más adelante.

Tal y como se ha comentado, en la fase de campo las diferencias entre ambos sistemas se redujeron hasta 1.5% en el valor de potencia media (Tabla 2). Es posible que la temperatura tuviera algún efecto sobre la medición de la potencia de ambos sistemas. En estudios

llevados a cabo por Gardner et al. (2004) se comparó el sistema Powertap con un sistema de referencia (CALRIG), observándose que era importante el momento de realización del cero del sistema en el registro de potencia. Así, al realizar el cero después de una exposición prolongada a condiciones de frío (6°C) Powertap dio un error positivo ( $5.5 \pm 2.4\%$ ) en la realización de una prueba en laboratorio (21°C), y lo contrario ocurría si se realizaba el cero después de exponerlo a las condiciones de laboratorio, dando un error negativo ( $-3.2 \pm 0.2\%$ ). Este último valor podría justificar que las diferencias en laboratorio aumentasen del 0-3.1% en campo al 2.7-5.6%, ya que sería posible que el Powertap, que en el presente estudio ha sido calibrado en cada condición (campo o laboratorio), haya registrado menos potencia de la aplicada por el ciclista en condiciones de laboratorio. Sin embargo, también sería posible que la temperatura afectara al Power2Max, lo cual podría ser objeto de estudio en futuros trabajos. De hecho, la diferencia entre la potencia media registrada por ambos sistemas fue del 0 W en las competiciones 1 y 5 (Tabla 2), donde la temperatura fue fría.

De este modo, es posible que las condiciones climatológicas también afecten al patrón del perfil de potencia registrado por ambos potenciómetros (Figura 10). Durante las pruebas en las que las condiciones meteorológicas fueron estables en cuanto a temperatura y ausencia de precipitación (competición 1, 2, 3 y 4), las diferencias fueron significativamente negativas a menores duraciones (5 s), para evolucionar a ser positivas a intervalos de tiempo mayores (1, 5, 20 y 60 min). Sin embargo, este comportamiento no se siguió en la competición 5, en la que las temperaturas a lo largo de la misma fueron cambiantes y hubo presencia de precipitaciones, registrándose en todos los intervalos de tiempo diferencias negativas entre ambos potenciómetros. Este hecho refuerza lo comentado anteriormente, por lo que se podría decir que uno o ambos potenciómetros se ven afectados por los cambios en la temperatura y la presencia de precipitaciones.

Por otra parte, se observa que la duración de las competiciones afecta a las diferencias registradas entre ambos potenciómetros tanto en el perfil de potencia (Figura 10) como en el tiempo en zonas (Figura 11). En la competición 6 cuya duración fue reducida (00:31:03) en comparación con el resto de las competiciones ( $\bar{X} = 03:01:57$ ), la magnitud de las diferencias entre potenciómetros en el perfil de potencia fue mayor y no siguió el comportamiento observado en el resto de competiciones, por el cual a medida que el intervalo de duración va creciendo (5 s, 1, 5, 20 y 60 min) las diferencias entre ambos sistemas se atenúan. Por otra parte, en el tiempo en zonas las diferencias en la competición 6 oscilaron entre 1-10%, mientras que en el resto de las competiciones no sobrepasaron el 2%. Este comportamiento observado en las pruebas de campo o competiciones puede deberse a que a medida que los tiempos analizados son mayores, el número de datos

recopilados es también mayor, lo cual puede suavizar las diferencias entre ambos potenciómetros.

En cuanto a la fase de laboratorio, durante las pruebas máxima, submáxima y continua, las diferencias porcentuales entre ambos sistemas fueron independientes de la velocidad o intensidad de pedaleo, así como de la posición en la bicicleta, y sí que dependieron ligeramente de la cadencia de pedaleo, siendo ligeramente mayores a menor cadencia (Figura 6). Sin embargo, en la prueba de sprint simulado en laboratorio se ha observado que Power2Max registró valores inferiores de potencia respecto a Powertap ( $-31.4 \pm 89.2$  W,  $-8.0 \pm 27.4\%$ ) dependiendo del desarrollo utilizado, siendo mayor la diferencia con desarrollos con una relación corta, y que por lo tanto implican altas cadencias de pedaleo. En dichos desarrollos el registro de la cadencia entre ambos sistemas difirió en gran medida, observándose que Powertap fue capaz de registrar valores de cadencia superiores a 150 rpm mientras que el Power2Max no, el cual registraba valores de cadencia inferiores. Así, la diferencia media de cadencia entre ambos sistemas fue de  $-18.8 \pm 17.0$  rpm ( $-12.7 \pm 9.2\%$ ). Este hecho puede justificar por qué en los sprints repetidos la potencia registrada fue mayor en Powertap que en Power2Max. En estudios anteriores de Bertucci et al. (2005) se llegaron a hallazgos similares al testear Powertap con SRM en una prueba de sprints, observándose que la potencia máxima registrada por Powertap con desarrollos con una relación corta (39/23) fue significativamente inferior a SRM (8%), disminuyéndose la diferencia hasta no mostrarse significativa a medida que las relaciones eran mayores (39/17 y 39/14). Sin embargo, en este estudio no se comprobaron las diferencias en el registro de la cadencia de ambos potenciómetros durante las pruebas de sprint. Teniendo en cuenta lo anterior, es muy posible que las diferencias en cadencia y potencia entre el Power2Max y lo realmente acontecido sean mayores que las obtenidas en este estudio. Sería muy recomendable que los fabricantes de este sistema pusieran atención en mejorar el registro de la cadencia a altas velocidades y potencias de pedaleo.

## 6. CONCLUSIONES

Los principales resultados de este estudio muestran que Power2Max sobreestima en 2.7-5.6% la potencia durante esfuerzos máximos incrementales, submáximos y continuos, cuando es comparado con un estándar en la medición de la potencia en ciclismo, como es Powertap. Sin embargo, subestima significativamente la potencia durante esfuerzos de corta duración y de máxima intensidad, tales como los realizados en pruebas sprints ( $-8.0 \pm 27.4\%$ ) o los detectados en los intervalos de 5 segundos del perfil de potencia ( $-4.9 \pm 3.0\%$ ), probablemente por una subestimación en el registro de altas cadencias en Power2Max.

Mientras tanto, a medida que los esfuerzos se prolongan en el tiempo estas diferencias cambian su dinámica, transformándose en un sobreestimación de Power2Max y atenuándose en gran medida.

En la línea de lo comentado con anterioridad, la sobreestimación de Power2Max en el registro de la potencia en pruebas de campo o competiciones de larga duración se reduce hasta 0-3.1%, muy probablemente por las condiciones de temperatura en las que se realiza el ciclo en ambos sistemas y a las que se ven expuestos durante las competiciones. De esta manera los datos obtenidos en tiempo en zonas son intercambiables entre ambos potenciómetros a excepción de las competiciones cortas y de alta intensidad, al igual que en el perfil de potencia que además no es fiable en competiciones en las que hay presencia de precipitaciones.

De este modo, la validez y precisión de Power2Max debe tratarse con cautela, y en mayor medida para determinar los pequeños cambios en la condición física de los deportistas de elite, que se cifran en un 2% (Hopkins et al., 1999; Hopkins et al., 2001). Los fabricantes deberían mejorar el registro de cadencia de estos sistemas, así como la influencia de la temperatura y las precipitaciones en las mediciones de potencia.

## **7. APLICACIONES Y VALORACIÓN PERSONAL**

Futuros trabajos deberían ampliar la muestra para poder aplicar el protocolo desarrollado en mayor número ocasiones, lo cual permitiría incrementar la cantidad de datos recopilados y así realizar un análisis de la reproducibilidad de los potenciómetros. Además debería diseñarse un protocolo para testear el efecto que tiene la temperatura sobre la medición de la potencia de estos sistemas.

Para finalizar quiero realizar una valoración personal acerca del estado actual de la utilización de los potenciómetros. El mercado de potenciómetros se ha expandido en gran medida en los últimos años, ofreciendo multitud de opciones en cuanto a su tipología a un público cada vez mayor debido al abaratamiento de estos sistemas. Sin embargo, el criterio de compra de los usuarios se basa en aspectos económicos y estéticos, sin valorarse la validez y precisión de los sistemas disponibles, que en realidad es lo que permite realizar una cuantificación precisa de las cargas de entrenamiento y detectar los cambios en el rendimiento del deportista.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Allen, H., & Coggan, A. R. (2010). *Training and racing with a power meter*. Colorado, USA: Paidotribo.

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., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005). 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. (2016). 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*, 0 (0), 1-26.

Casas-García, F. (2015). Validez y reproducibilidad de los potenciómetros Garmin Vector y Powertap. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, USA: Lawrence Erlbaum Associates

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.

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.

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., Schabert, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Novak, A. R., & Dascombe, B. J. (2016). Agreement of power measures between Garmin Vector and SRM cycle power meters. *Measurement in physical education and exercise science*, 20 (3), 167-172.
- 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.
- 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.
- 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.