



VNIVERSITAT
ID VALÈNCIA



Facultat de Ciències de la Activitat Física i l'Esport

Departament d'Educació Física i Esportiva

Programa de Doctorado 3068 – Activitat Física i Esport

EFECTO DEL DIÁMETRO DE LAS RUEDAS (26 PULGADAS VS 29
PULGADAS), EN LA TRANSMISIÓN DE LAS VIBRACIONES Y EN
EL RENDIMIENTO, EN BICICLETA DE MONTAÑA

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Enrique Moreno Mañas

Dirigida por:

Dr. D. Salvador Llana Belloch

Dr. D. Xavier García Massó

Valencia, mayo de 2017

Dr. D. Salvador Llana Belloch, Profesor Titular de Educación Física y Deportiva de la Universitat de València, y

Dr. D. Xavier García Massó, Ayudante Doctor del Departamento Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal de la Universitat de València

CERTIFICAN:

Que la presente memoria, titulada “EFECTO DEL DIÁMETRO DE LAS RUEDAS (26 PULGADAS VS 29 PULGADAS), EN LA TRANSMISIÓN DE LAS VIBRACIONES Y EN EL RENDIMIENTO, EN BICICLETA DE MONTAÑA”, corresponde al trabajo realizado bajo su dirección por **D. Enrique Moreno Mañas**, para su presentación como Tesis Doctoral en el Programa de Doctorado en Actividad Física y Deporte de la Universitat de València.

Y para que conste el presente certificado en Valencia, a 30 de Mayo de 2017.



Fdo. Dr. D. Salvador Llana Belloch

Fdo. Dr. D. Xavier García Massó



Para Marta, por su comprensión y apoyo infinito de principio a fin.

Para Teo y Vera, por darme fuerzas para esforzarme al máximo y hacerme
tan feliz.



“Hay demasiados factores que hay que tener en cuenta de los que no tienes ningún control... El factor más importante que tienes en tus propias manos, eres tú mismo. Siempre puse el mayor énfasis en eso”

Eddy Merckx

AGRADECIMIENTOS

Entiendo el proceso de realización de una Tesis Doctoral como una forma de maduración personal que, como tal, nace de la pasión por la investigación, la motivación y el compromiso de aprender, aportando conocimiento al ámbito de estudio propio y a la sociedad en general, los cuales, en etapas más tempranas de mi formación, contribuyeron a mi crecimiento y desarrollo personal y profesional. Con este trabajo pretendo humildemente agradecer esta contribución.

En primer lugar, quisiera dar las gracias a mi director de Tesis, a quien considero mi mentor en el mundo de la investigación. Gracias Salva, por abrirme las puertas y guiarme en este camino. Todavía recuerdo tus clases de biomecánica en la sede de Cheste, cuando nos hablabas de tu tesis sobre calzado deportivo. Fueron aquellas sesiones las que despertaron mi interés por este campo.

A mi codirector Xavier García, quien se ofreció a echarnos una mano en el trabajo de acelerometría y acabó siendo la base del análisis estadístico del proyecto. Gracias por tu tiempo y paciencia.

A Amparo Bargues, profesora y Decana de la UCV en 2010, la persona que me despertó el interés por preparar un proyecto que pudiera presentar en un medio científico y dio pie a presentar una ponencia en el Congreso Internacional AIESEP en La Coruña.

A Yolanda Moreno, que me ofreció su ayuda desde el primer día de conocernos y me orientó en la elaboración del Proyecto Final de Master sobre psicología deportiva, abriéndome las puertas para futuras investigaciones.

A José Priego, compañero investigador del GIBD, quien me mostró cómo estaba organizando su investigación sobre termografía en ciclismo, me permitió participar y compartimos grupos de participantes para nuestros proyectos y me dio consejos de su experiencia.

A mi amigo Eduardo Jiménez. Además de ser un participante más de la muestra, ha sido una persona que me ha ayudado con la elaboración y diseño de los test de campo, aportando ideas y echando una mano siempre que ha hecho falta, sin esperar nada a cambio. Espero que sigamos compartiendo muchos kilómetros en la montaña, descubriendo nuevas sendas.

A Roberto Tarín y Mauro Vincenzotto, amigo de DoYouBike, quienes aparte de participar en las pruebas de campo, han sido los responsables de poner las bicicletas a punto, siempre que ha hecho falta, sin horario ni calendario.

A todos los ciclistas participantes en el experimento, por su tiempo y su esfuerzo entregados solo por su amor al deporte del ciclismo y por la voluntad de contribuir a aclarar la situación actual del ciclismo de montaña. Todos vosotros hacéis grande el ciclismo y contribuís a que el conocimiento científico sobre este deporte avance.

Entre ellos, quisiera mencionar a mis amigos Manolo Francés, Raúl García, Omar González, Dani Cabo, Juanjo Araque y Raúl Campillo, por su ayuda como participantes del proyecto y en la difusión del mismo con sus grupos de amigos. Espero volver pronto a la montaña con vosotros, ya sabéis las ganas que tengo.

A la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Valencia, por conceder la partida económica necesaria para

poder adquirir el Garmin® 520 y los dos juegos de pedalier Rotor y poder registrar todos los datos en el circuito CT.

Al Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias del Deporte de la UV, por cederme el equipo de fotocélulas y software para el cronometraje electrónico de las pruebas analíticas.

A toda mi familia, el pilar esencial de mi vida y de la que siempre me he sentido y me sentiré orgulloso y afortunado. Gracias por confiar en mí, por apoyarme siempre, por la educación y los valores que me habéis transmitido. Gracias especialmente a mi mujer, Marta, por duplicarte tantas veces para ocupar el hueco que yo dejaba y poder llevar adelante a nuestros dos hijos, que tan feliz nos hacen.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 27 |
| 1.1 ESTADO DEL ARTE | 27 |
| 1.1.1 ORIGEN DEL CICLISMO DE MONTAÑA (BTT)..... | 27 |
| 1.1.2 BTT CAMPO A TRAVÉS (CT) | 29 |
| 1.1.3 ORIGEN DE LAS RUEDAS DE 29” | 30 |
| 1.1.4 DIÁMETROS DE RUEDA ACTUALES..... | 31 |
| 1.1.5 NORMATIVA DE LA UNIÓN CICLISTA INTERNACIONAL..... | 32 |
| 1.1.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL BTT | |
| | 32 |
| 1.1.6.1 Resistencia aerodinámica | 32 |
| 1.1.6.2 Resistencia a la rodadura..... | 34 |
| 1.1.6.3 Gasto energético | 37 |
| 1.1.6.4 Momento angular..... | 37 |
| 1.1.6.5 Tracción..... | 38 |
| 1.1.6.6 Masa | 39 |
| 1.1.6.7 Rigidez | 39 |
| 1.1.6.8 Ángulo de ataque | 39 |
| 1.1.6.9 Ángulo de dirección | 40 |
| 1.1.7 TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES | 41 |
| 1.1.8 VELOCIDAD | 43 |
| 1.1.9 COMPARATIVA ENTRE 26, 27.5 Y 29” | 44 |
| 1.2 CONCLUSIONES DEL MARCO TEÓRICO Y JUSTIFICACIÓN | |
| DE LA TESIS | 45 |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 46 |
| 1.4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS | 47 |
| 1.5 PLAN DE TRABAJO | 49 |
| 2. MATERIAL Y MÉTODOS | 59 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA | 59 |
| 2.2 INSTRUMENTAL..... | 61 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.5 PRUEBA 5, ASCENSO SOBRE SUPERFICIE HOMOGÉNEA ... | 121 |
| 4.2.6 PRUEBA 6, DESCENSO SOBRE SUPERFICIE HOMOGÉNEA | 122 |
| 4.2.7 PRUEBA 7, ACELERACIÓN SOBRE SUPERFICIE DE BUENA ADHERENCIA | 122 |
| 4.2.8 PRUEBA 8, ACELERACIÓN SOBRE SUPERFICIE DE BAJA ADHERENCIA | 122 |
| 4.2.9 PRUEBA 9, ESLALON | 123 |
| 4.2.10 PRUEBA 10, CIRCUITO CT' | 124 |
| 4.2.10.1 Vuelta Completa | 124 |
| 4.2.10.2 Rendimiento en segmentos de ascenso..... | 125 |
| 4.2.10.3 Rendimiento en segmentos de descenso..... | 126 |
| 4.2.10.4 Rendimiento en segmentos llanos..... | 126 |
| 5. CONCLUSIONES | 129 |
| 6. LIMITACIONES | 133 |
| 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 137 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 141 |
| 9. ANEXOS..... | 151 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Schwinn® Excelsior modificada utilizada en la década de 1970 (Savage, 2007)..... | 27 |
| Figura 2. Joe Breeze con su primera bicicleta de montaña, la “Breezer #1”, (Savage, 2007). Detalle del tubo de refuerzo señalado con flecha. | 28 |
| Figura 3. Carta actual de tamaños de rueda de la marca DT Swiss® | 31 |
| Figura 4. Izquierda, huella de neumático de 26”. Derecha, huella de neumático de 29" | 36 |
| Figura 5. Huella de neumático de 26, 27.5 y 29" | 38 |
| Figura 6. Comparativa de ángulo de ataque de ruedas de 26, 27.5 y 29" | 40 |
| Figura 7. Fases del Proyecto de Tesis Doctoral. | 50 |
| Figura 8. Izquierda, Commençal Supernormal 2013 de 26”. Derecha, Commençal Supernormal 2013 de 29”..... | 62 |
| Figura 9. ACC Actigraph® wGT3x-BT..... | 63 |
| Figura 10. Posición de los acelerómetros en la bicicleta y los participantes. | 64 |
| Figura 11. Cinturón elástico y plantilla para la instalación del ACC del coxis. | 65 |
| Figura 12. Potenciómetro Rotor® inpower rex 1.2..... | 66 |
| Figura 13. Conjunto de accesorios y dispositivos de Garmin® Edge 520 pack | 67 |
| Figura 14. Sistema de cronometraje con fotocélula, conectado a ordenador portátil y a batería, para el suministro de electricidad. | 68 |
| Figura 15. Recorrido rombo..... | 75 |

Índice de Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 16. Recorrido circuito CT..... | 78 |
| Figura 17. Perfil circuito CT..... | 78 |
| Figura 18. Segmento 1..... | 80 |
| Figura 19. Segmento 2..... | 81 |
| Figura 20. Segmento 3..... | 82 |
| Figura 21. Segmento 4..... | 83 |
| Figura 22: Segmento 5..... | 84 |
| Figura 23: Segmento 6..... | 85 |
| Figura 24: Segmento 7..... | 86 |
| Figura 25: Segmento 8..... | 87 |
| Figura 26. Comparaciones por pares entre las posiciones de los ACC para ambas bicicletas durante el ascenso sobre superficie bacheada. | 98 |
| Figura 27. Comparaciones por pares entre las posiciones de los ACC para ambas bicicletas durante el descenso sobre superficie bacheada..... | 100 |
| Figura 28. Comparaciones por pares entre las bicicletas en función de la posición de colocación de los ACC.. | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Comparativa de consumo energético entre bicicletas de 26 y 29" (adaptado de Taylor et al., (2016) | 37 |
| Tabla 2. Síntesis marco teórico | 45 |
| Tabla 3. Programa de desarrollo de las fases que componen la tesis doctoral. | 55 |
| Tabla 4. Descripción de la muestra. | 60 |
| Tabla 5. Variables de rendimiento utilizadas en el estudio. | 89 |
| Tabla 6. Variables extraídas de las señales de aceleración | 91 |
| Tabla 7. Comparaciones entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables que informan sobre la aceleración durante el ascenso en superficie bacheada. | 97 |
| Tabla 8. Comparaciones entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables que informan sobre la aceleración durante el descenso en superficie bacheada. | 99 |
| Tabla 9. Comparaciones entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables que informan sobre la aceleración durante el circuito CT. | 101 |
| Tabla 10. Comparaciones entre las posiciones de los ACC durante el circuito CT. | 102 |
| Tabla 11. Comparaciones entre los tiempos de realización de las pruebas analíticas. | 105 |
| Tabla 12. Comparación en la distancia recorrida en la prueba estabilidad/precisión. | 106 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 13. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante el circuito CT..... | 107 |
| Tabla 14. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de ascenso en el circuito CT..... | 108 |
| Tabla 15. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de descenso en el circuito CT..... | 109 |
| Tabla 16. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de llano en el circuito CT..... | 110 |
| Tabla 17. Comparativa entre geometrías de la Commença!® Supernormal 2013 de 26" vs 29"..... | 120 |

ABREVIATURAS

| | |
|------------------|--|
| 26" | 26 pulgadas. También referido a las bicicletas con ruedas de 26 pulgadas |
| 27.5" | 27.5 pulgadas. También referido a las bicicletas con ruedas de 27.5 pulgadas |
| 29" | 29 pulgadas. También referido a las bicicletas con ruedas de 29 pulgadas |
| ACC | acelerómetro/s |
| AMP ₁ | máxima amplitud del espectro por debajo de 5 Hz |
| AMP ₂ | máxima amplitud del espectro por encima de 5 Hz |
| BTT | bicicleta todo terreno o Ciclismo de Montaña |
| C | cadencia |
| CA | casco |
| C _{max} | cadencia máxima |
| C _{med} | cadencia media |
| CO | coxis |
| CR | ciclismo de ruta |
| CT | ciclismo de montaña campo a través |
| ED | eje delantero |
| ET | eje trasero |
| FC | frecuencia cardíaca |

Abreviaturas

| | |
|-------------------|---|
| FC_{\max} | frecuencia cardíaca máxima |
| FC_{med} | frecuencia cardíaca media |
| FR_1 | frecuencia en la que se produce AMP_1 |
| FR_2 | frecuencia en la que se produce AMP_2 |
| FR_{med} | frecuencia mediana |
| MD | muñeca derecha |
| MI | muñeca izquierda |
| P_{\max} | potencia máxima |
| P_{med} | potencia media |
| ppm | pulsaciones por minuto |
| RMS | root mean square |
| rpm | revoluciones por minuto |
| TD | tobillo derecho |
| TI | tobillo izquierdo |
| V_{\max} | velocidad máxima |
| V_{med} | velocidad media |



Bicicleta con rueda de 26" frente a bicicleta con rueda de 29"

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ESTADO DEL ARTE

1.1.1 ORIGEN DEL CICLISMO DE MONTAÑA (BTT)

En origen, el BTT se empieza a practicar en la modalidad de descenso. Al no tener una bicicleta específica para esta actividad, los participantes buscaron una bicicleta resistente y que tuviera ruedas con cubiertas de gran balón, que les proporcionara algo más de agarre en las curvas. De esta forma, en la década de 1970, se empezaron a utilizar las bicicletas de paseo de la marca Schwinn®, modelo Excelsior (figura 1), a las cuales les iban añadiendo modificaciones y mejoras para adaptarlas a los descensos de montaña. A estas primeras bicicletas modificadas, las llamaron “Klunkers” (Savage, 2007).



Figura 1. Schwinn® Excelsior modificada utilizada en la década de 1970 (Savage, 2007).

Es en 1977 cuando Joe Breeze, fabricante de cuadros de carretera desde 1974, fabricó un primer modelo de bicicleta específica para esta actividad, basado en el diseño de las Klunkers.

Introducción

Con un presupuesto de 200 a 300 \$ y tras 8 meses de trabajo, Joe Breeze finalizó ese primer pedido (figura 2). Tuvo que empezar de cero, no había ninguna referencia previa ni modelos en los que basarse. Como el estándar de aquella época para esta actividad estaba basado en ruedas de 26 pulgadas (26”), fue este el tamaño de rueda utilizado.



Figura 2. Joe Breeze con su primera bicicleta de montaña, la “Breezer #1”, (Savage, 2007). Detalle del tubo de refuerzo señalado con flecha.

Con este nuevo cuadro, Joe Breeze se convirtió en el primer fabricante de BTT. Estas nuevas bicicletas contaban con nuevas piezas y un diseño alargado (mayor longitud de ejes), además de un tubo doble soldado desde el tubo de dirección hasta el eje trasero, lo que le confería una mayor rigidez lateral (figura 2). Se construyeron 10 unidades, la primera de ellas se acabó en octubre de 1977. Esta nueva bicicleta fue utilizada en la carrera “Reepack”, quedando en primer lugar. Con este resultado, los seguidores comenzaron a denominar a estas bicicletas “BREZZERS”, en honor a su constructor. Esta bicicleta permitía, no solo disfrutar del descenso, sino llegar hasta la cima y poder pedalear a través de la montaña, sin necesidad de bajarse, ya que disponías de 10 marchas (dos platos y 5 piñones). Estas

primeras unidades se vendieron totalmente equipadas, con porta bidones, inflador y demás accesorios, por 750\$ la unidad, habiendo lista de espera.

Desde los inicios, el BTT ha ido evolucionando y mejorando sus componentes y su construcción, introduciendo nuevos materiales y métodos de producción, pero todo ello en forma de ensayo-error, sin investigaciones científicas que lo respaldaran.

En lo que respecta al diámetro de ruedas, es en 2010 cuando algunas de las grandes marcas introducen en su catálogo las bicicletas con ruedas de 29 pulgadas (29"). Y dos años más tarde, introdujeron las 27.5 pulgadas o 650B (27.5").

Cuando esto sucedió, a los practicantes de BTT nos asaltaron las dudas sobre qué diámetro de rueda era el más apropiado. Personalmente busqué información basada en estudios científicos y, tras no encontrar casi información al respecto, empecé a plantearme la posibilidad de investigarlo yo mismo. Es así como empezó a tomar forma la presente Tesis Doctoral.

1.1.2 BTT CAMPO A TRAVÉS (CT)

Esta disciplina, considerada olímpica desde los Juegos Olímpicos de Atlanta-1996, requiere de la habilidad de los ciclistas para superar obstáculos y rodar por diferentes terrenos (Gregory, Johns, & Walls, 2007).

Las respuestas fisiológicas en BTT han sido ampliamente investigadas (Gregory et al., 2007; Impellizzeri & Marcora, 2007; Impellizzeri, Rampinini, Sassi, Mognoni, & Marcora, 2005; Stapelfeldt, Schwirtz, Schumacher, & Hillebrecht, 2004; Warner, Shaw, & Dalsky, 2002). Estos estudios han reportado una intensidad de ejercicio durante las carreras en ciclistas de élite a unos niveles correspondientes al 80% del máximo consumo de oxígeno y un 90% de la frecuencia cardíaca máxima (FC_{max}), estando más del 80% del

Introducción

tiempo de carrera en el umbral de lactato o incluso por encima. En este tipo de competición, la potencia media (P_{med}) generada por los ciclistas es de aproximadamente 240-250 W, en deportistas de élite masculinos (Macdermind & Stannard, 2012; Stapelfeldt et al., 2004). La cadencia media ha sido registrada en 76 revoluciones por minuto (rpm), en pruebas de CT a ritmo de competición (Macdermind & Stannard, 2012).

1.1.3 ORIGEN DE LAS RUEDAS DE 29"

Si bien en la década de 1990 se empezó a experimentar con ruedas de 29" de diámetro («Museum of Mountain Bike Art & Technology», s. f.), no fue hasta principios del s. XXI cuando se introdujo el primer modelo en el mercado, suscitándose un gran debate sobre la diferencia en velocidad y rendimiento entre las 26" y las 29" (Herlihy, 2004). En 2002, Gary Fisher, considerado uno de los creadores del BTT, trabajando para Trek® Bikes, introdujo dos modelos de "hardtail" (bicicleta rígida con suspensión delantera) de 29":

- La Supercaliber 29, bicicleta montada con horquilla Marzocchi® Marathon de 80 mm, componentes Shimano® XTR / XT y frenos Avid® V.
- La Mt Tam 29, con horquilla Marzocchi® MXR Air 80 mm, componentes Shimano® XTR / XT / LX y frenos Avid® V.

Ambas bicicletas utilizaban un neumático IRC® Notos XC 29 x 2.1".

Sin embargo, no es hasta 2010 cuando las principales marcas introducen de forma notable este diámetro en sus catálogos, motivo por el cual se considera este el año en el que las 29" se incorporaron de forma general en el mercado.

1.1.4 DIÁMETROS DE RUEDA ACTUALES

Para examinar la carta de tamaños que actualmente conviven en este deporte, vamos a mostrar el catálogo de ruedas de la prestigiosa marca DT Swiss® (figura 3), la cual oferta tipos de rueda adecuados para cada tipo de bicicleta.

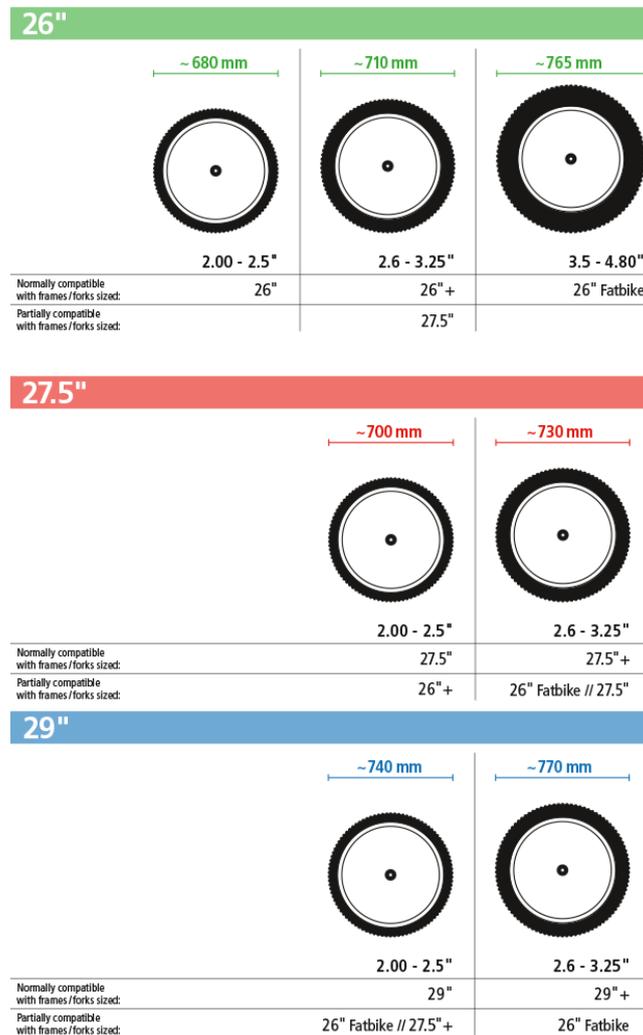


Figura 3. Carta actual de tamaños de rueda de la marca DT Swiss®

Introducción

Podríamos considerar que el estándar para pruebas CT son la 26", la 27.5" y la 29". Las consideradas "pluses" o las "fatbikes" se saldrían del contexto habitual de esta competición y estarían más ubicadas en el contexto recreativo, pruebas especiales (invernales sobre nieve, etc.) o uso no competitivo en general. Cabe mencionar otro formato de la conocida marca Trek® que ya no está en los catálogos actuales, pero que estuvo presente de 2007 a 2009 («2007 Bike Archive - Trek Bicycle», s. f.), la 69er, un híbrido entre 26" y 29", montando una rueda de 26" en el eje trasero y una de 29" en el delantero. Parece que fue un intento de introducir como novedad el formato de 29" pero de forma parcial, aunque ni siquiera podía utilizarse en competiciones Unión Ciclista Internacional, puesto que no montaba dos ruedas del mismo diámetro.

1.1.5 NORMATIVA DE LA UNIÓN CICLISTA INTERNACIONAL

Esta institución, que es la encargada de regular la normativa del ciclismo en competición en el ámbito internacional, habla de forma escueta del tamaño de las ruedas en su "Guía para comisarios en pruebas de BTT" (UCI, 2007). En concreto, en el punto 11 de la página 33, dedicado al "equipamiento" y más concretamente en el punto 11.1 "material", dedica un párrafo a este asunto. Básicamente describe al BTT como un deporte experimental y cita las dos únicas limitaciones con referencia al diámetro de rueda:

- Las dos ruedas deben ser del mismo diámetro.
- El tamaño de ambas ruedas no debe ser superior a 29".

1.1.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL BTT

1.1.6.1 Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica representa alrededor de un 90% del total de las fuerzas resistivas al avance en el ciclismo de ruta (CR) a ritmos de

competición, tales como velocidades superiores a 50 km/h (Candau et al., 1999; Debraux, Grappe, Manolova, & Bertucci, 2011; Di Prampero, 1986; Martin, Gardner, Barras, & Martin, 2006; Millet & Candau, 2002). El 10% restante se atribuye a pérdidas por fricción de la transmisión y de los rodamientos de las ruedas y a la resistencia de rodadura, producida por el contacto del neumático con las diferentes superficies por donde se desarrolla la actividad.

A pesar de que en ciclismo de montaña la velocidad media (V_{med}) de competición es inferior a la de CR [$5,5-8,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para BTT vs $11-14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para CR (Bertucci, Rogier, & Reiser, 2013)], la resistencia aerodinámica sigue siendo un componente resistivo a tener en consideración para la optimización del rendimiento en BTT (Debraux et al., 2011). Una reducción en la superficie frontal efectiva parece importante para la optimización del rendimiento en BTT, especialmente en recorridos con valores de velocidad altos (Bertucci et al., 2013).

En relación con la comparativa entre dos bicicletas de montaña de diferente diámetro de rueda, parece evidente que la superficie frontal de la bicicleta formada por la rueda, horquilla y manillar, se ven aumentados en el modelo de 29" con respecto al de 26", lo que sugiere una peor eficiencia aerodinámica (Zarzoso, Pérez, & Llana, 2014), siempre y cuando se mantenga la postura del ciclista estable. Además de estas diferencias, se puede apreciar un aumento generalizado en todos los segmentos que componen la geometría del cuadro, excepto en el tubo de dirección. Se puede observar un ejemplo de estas modificaciones en la geometría del cuadro Commençal® Supernormal 2013. Los segmentos 1, 5, 6, 7 y 9 han sido prolongados, mientras el segmento 4 (tubo de dirección) es igual o algo más corto, según la talla.

Introducción

No es fácil hacer comparaciones entre bicicletas de 26" y de 29" equivalentes, puesto que la mayoría de marcas han optado por fabricar modelos con diferente equipamiento para los distintos diámetros de rueda de su catálogo, incluso, en algunos casos, como la marca Trek®, utilizan diámetro de rueda inferior (27,5 pulgadas) para la talla más pequeña (15,5", hasta 1,68 m de estatura) y diámetro mayor para el resto, a lo que denominan "Smart Wheel Size".

Uno de los pocos ejemplos existentes en el mercado en los que una marca fabrica el mismo modelo con el mismo equipamiento en 26" y 29" la misma temporada, es la Commençal® Supernormal 2013 (motivo por el que han sido las bicicletas utilizadas en el presente estudio).

En cuanto a la resistencia frontal formada por el ciclista, también es peor en la bicicleta de 29", puesto que los manillares son de mayor longitud, lo que provoca una mayor separación entre el apoyo de las manos sobre este accesorio y el consecuente aumento en el área frontal del ciclista (Zarzoso et al., 2014), en comparación al que suelen montar las bicicletas de 26". En el caso de las bicicletas utilizadas en nuestro estudio y por poner un ejemplo, esta diferencia es de 30 mm, (680 mm para el modelo de 26" y 710 mm para el modelo de 29"). Este cambio se debe a la necesidad de montar manillares de mayor longitud para controlar ruedas de mayor diámetro.

1.1.6.2 Resistencia a la rodadura

Este tipo de resistencia es mucho más importante en BTT que en CR, debido a la naturaleza del terreno por el que discurren las competiciones y a las propiedades mecánicas de los neumáticos. Esta resistencia se ve alterada por el tamaño de las ruedas, la anchura del neumático, la presión,

características del compuesto, dibujo e irregularidades del terreno (Kyle, 2003).

Autores como Whitt y Wilson (1982) demostraron que la resistencia a la rodadura era inversamente proporcional al diámetro de la rueda, manteniendo constantes la presión del neumático sobre una superficie dura. En el caso de ser blanda, más común en BTT, este efecto podría ser aún mayor.

La industria del BTT ha avanzado una gama de afirmaciones teóricas afirmando los beneficios de la bicicleta de 29", insistiendo en que las ruedas más grandes tienen una menor resistencia a la rodadura que las ruedas más pequeñas (Di Prampero, 2000; Faria, Parker, & Faria, 2005; Kyle, 2003).

Más recientemente, se ha demostrado que en BTT la contribución de la resistencia a la rodadura en recorridos con diferentes superficies y pendientes, en relación con la totalidad de las resistencias, es de $21 \pm 4\%$ en carretera asfaltada, $35 \pm 5\%$ en arena compacta y $65 \pm 7\%$ en césped (Bertucci et al., 2013). Estos datos demuestran que la resistencia a la rodadura es uno de los factores más influyentes en el rendimiento en BTT.

Por otro lado, en el año 2014 se publicó el primer artículo que comparaba la resistencia a la rodadura de cuatro BTT, dos de cuadro rígido y dos de doble suspensión, en sus versiones de 26 y 29". En este documento, los resultados indican que las de 29" pueden aportar un mayor rendimiento en superficies no pavimentadas, mientras que en superficies pavimentadas, el beneficio es insignificante (Steyn & Warnich, 2014). Esta investigación está en línea con la de (Macdermid, Fink, & Stannard, 2014), los cuáles hablan de este aspecto también en su discusión, determinando que se trata de un factor importante en relación con las pérdidas energéticas en ciclismo.

Introducción

En lo que respecta a la masa de la bicicleta, cabe citar que a mayor masa aumenta la resistencia a la rodadura, lo que supone un factor en detrimento del rendimiento de las BTT de 29", puesto que tienen una masa superior.

Por otro lado, comparando las deformaciones de los neumáticos de 26 y 29" a misma presión, el neumático montado en la rueda de mayor diámetro experimenta menor deformación (Steyn & Warnich, 2014), lo que se traduce en un mayor rendimiento. La mejor conservación del momento angular en la 29", da como resultado menos energía necesaria para superar cualquier irregularidad que exista entre el neumático y el terreno (Steyn & Warnich, 2014). La superficie de contacto efectiva es similar en ambos diámetros, si bien la de 29" es más larga y más estrecha y la de 26" es más corta y más ancha (figura 4), dando lugar a áreas de contacto total similares (Huang, 2011).



Figura 4. Izquierda, huella de neumático de 26". Derecha, huella de neumático de 29"

1.1.6.3 Gasto energético

Tan solo existe una referencia que trata este aspecto para las BTT (Taylor, Manning, & Thomas, 2016). En él se indica que, para un mismo esfuerzo, las bicicletas de 29" necesitan menos energía que las de 26" y son más rápidas (tabla 1), manteniendo una frecuencia cardíaca (FC), gasto calórico y consumo de oxígeno inferiores.

Tabla 1. Comparativa de consumo energético entre bicicletas de 26 y 29" (adaptado de Taylor et al., (2016))

| BICICLETA | Tiempo (min) | V_{med} (m/s) | FC | C (Kcal) |
|-----------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| 26" | 25,5 (3,5) | 4,4 (0,6) | 162,2 (16,8) | 290,7 (36,9) |
| 29" | 24,2 (3,2) | 4,7 (0,6) | 155,0 (19,2) | 263,3 (34,3) |

Los datos están expresados en media (desviación típica). FC = frecuencia cardíaca; C = calorías; V_{med} = velocidad media.

1.1.6.4 Momento angular

Esta magnitud, cuyas unidades son $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, es el resultado del producto entre el momento de inercia y la velocidad angular de un cuerpo en rotación. Las ruedas de 29" tienen mayor momento angular que las de 26" (Kyle, 2003; Steiner, Müller, Maier, & Wehrlin, 2015). Esta propiedad es ventajosa una vez se está en movimiento, debido a su mayor masa en rotación, sobretodo en terrenos difíciles (Steiner et al., 2015). Sin embargo, es una desventaja cuando se modifica la velocidad de la marcha (aceleración o deceleración) o la dirección de la trayectoria, puesto que se necesita más energía. Este es el motivo por el que los ciclistas intentan que el conjunto de ruedas sea lo más ligero posible, para que la bicicleta sea lo más eficiente posible y que su uso suponga un coste energético inferior. Del mismo modo y focalizando el asunto de la deceleración, las bicicletas de 29" suelen montar

Introducción

discos de freno de mayor diámetro con respecto a las 26", especialmente en la rueda delantera.

1.1.6.5 Tracción

Steiner et al., (2015) indican que las ruedas de mayor diámetro tienen una mejor tracción, debido a una huella más alargada (figura 5). Como se puede observar en la figura 5 la bicicleta de 29" tienen una superficie de contacto con el suelo de mayor longitud que la de 26 y 27,5". Es decir, el diámetro de la rueda es directamente proporcional a la longitud de la rueda y esta a su vez podría contribuir a generar una mayor tracción. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, las cubiertas de 29" tienen una huella más estrecha lo que genera que las superficies de contacto entre las dos dimensiones se igualen (Huang, 2011). Por tanto, no queda suficientemente demostrado que las ruedas de mayor diámetro tengan una mayor tracción. Además, algunos autores han observado que las ruedas de 29" sufren una menor deformación debido a su mayor volumen de aire (Macdermid et al., 2014; Steyn & Warnich, 2014), lo que ocasionaría una menor tracción.

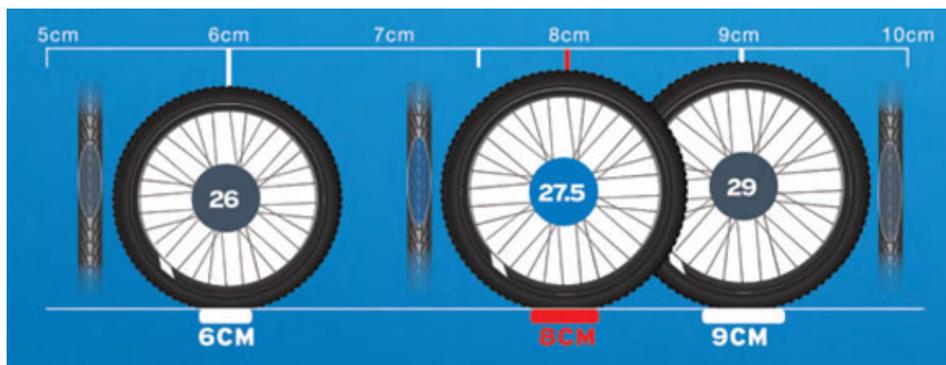


Figura 5. Huella de neumático de 26, 27.5 y 29"

1.1.6.6 Masa

Las bicicletas de 29" tienen mayor masa, con lo que se incrementa el trabajo para el ciclista (Zarzoso et al., 2014), sobre todo, en secciones ascendentes (Berry, Koves, & Benedetto, 2000). Evidentemente, las ruedas que montan también tienen mayor masa, puesto que son más grandes, lo que implica que este tipo de ruedas tienen una aceleración y deceleración más lentas, debido al mayor momento angular (Kyle, 2003).

En uno de los estudios más recientes llevado a cabo con ciclistas del equipo nacional suizo ($n = 10$), la masa de las bicicletas empleadas difería 0,9 kg entre la versión de 26 y 29" (Steiner et al., 2015).

Otro ejemplo puede ser el de la marca Cannondale®, que en su modelo de 2011 FLASH HI-MOD 1 de 26", declaraba una masa de 8,57 kg, mientras que su versión de 29", la FLASH HI-MOD 29ER 1, declaraba una masa de 9,66 kg, lo que supone un incremento mayor de 1 kg.

1.1.6.7 Rigidez

Los cuadros y las ruedas de las bicicletas de 26" tienen una construcción más rígida, con las consecuentes ventajas para la aceleración y el paso por curva (Kyle, 2003), mientras los cuadros de las bicicletas de 29" son menos rígidos y, por tanto, son una fuente potencial de disipación de energía generada por el ciclista (Nielens & Lejeune, 2004).

1.1.6.8 Ángulo de ataque

Es el ángulo formado entre la rueda y el suelo. Es inversamente proporcional al diámetro de la rueda. Este parámetro está relacionado con el paso de obstáculos en el terreno (figura 6). A menor ángulo, mayor es la facilidad para superarlo (Kyle, 2003). En la figura 6 se observa que el ángulo de ataque de la rueda de 29" es 6° menor que el de la rueda de 26".

Introducción

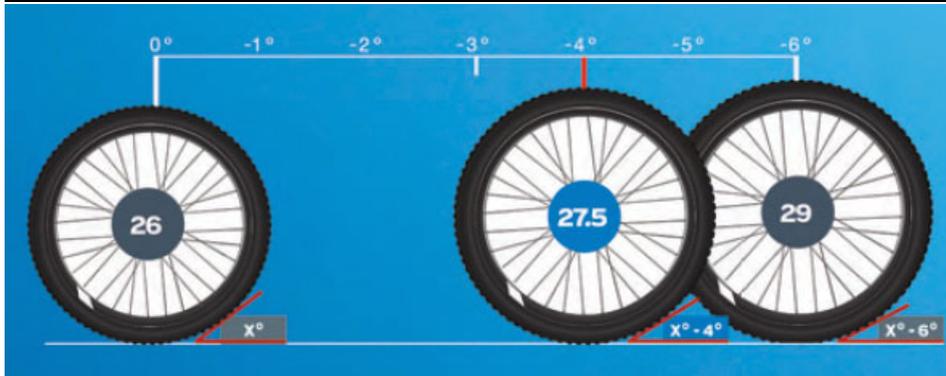


Figura 6. Comparativa de ángulo de ataque de ruedas de 26, 27.5 y 29"

1.1.6.9 Ángulo de dirección

Esta propiedad viene determinada por la geometría del cuadro, correspondiéndose con el ángulo formado por el tubo de la dirección con respecto al suelo. En BTT suele estar comprendido entre 68 y 72° (Martínez, 2012). Las bicicletas que poseen ángulos más verticales (cerca de los 71°, normalmente utilizados para bicicletas disciplina CT), poseen un control de la dirección más directo, mayor sensibilidad, mejor paso por curva y menos estabilidad a velocidades altas. Mientras que las que poseen un ángulo más cerrado (normalmente utilizados en bicicletas para disciplina de descenso), proporcionan un control más “amortiguado”, menos sensible, peor paso por curva, pero mayor estabilidad en altas velocidades (Martínez, 2012).

El ángulo de dirección es independiente del tamaño de la rueda. Su valor lo determina el fabricante, por ejemplo, el cuadro Scott® Scale de 2013, en su versión de 26" es de 70° y la versión de 29" es de 69,5°. Por el contrario, el cuadro de la Commençal® Supernormal de 2013, utiliza 68,5° para la versión de 26" y 69,5° para la versión de 29".

1.1.7 TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES

El CR, es considerado como un deporte sin impacto (Stewart & Hannan, 2000), aunque el BTT puede ser una excepción (De Lorenzo & Hull, 1999; Faiss, Praz, Meichtry, Gobelet, & Deriaz, 2007; Levy & Smith, 2005). Esto es debido a que las irregularidades del terreno generan vibraciones que pueden ser consideradas como micro-impactos que se producen de forma continuada. La absorción de estas vibraciones producen un aumento en el trabajo muscular, especialmente en los tramos de descenso (Hurst & Atkins, 2006). Además se ha observado que las vibraciones pueden producir incomodidad o causar problemas musculoesqueléticos (Johanning, 2015; Munera, Chimentin, Crequy, & Bertucci, 2014).

Se ha demostrado que la mayoría de los componentes de carga (impactos) que se producen a nivel de la bicicleta durante el BTT ocurren a <50 Hz (De Lorenzo & Hull, 1999; Levy & Smith, 2005). Las frecuencias más altas se han encontrado en la propia rueda, pero estas frecuencias no llegaban al ciclista (Levy & Smith, 2005). Las vibraciones de alta frecuencia (25-25.000 Hz) están asociadas a la rotación de las ruedas y a la banda de rodadura y son absorbidas por la bicicleta (Levy & Smith, 2005) y por tejidos blandos del ciclista en el punto de contacto (Issurin, 2005). Las vibraciones de baja frecuencia (<25 Hz) tienen menos probabilidades de ser absorbidas por la bicicleta y son más difíciles de gestionar para el cuerpo, ya que la frecuencia que se propaga a través del músculo contraído o estirado está dentro del rango de resonancia reportado para todo el cuerpo (Mester, Spitzenfeil, Schwarzer, & Seifriz, 1999) y músculos relacionados con la propulsión durante el pedaleo en ciclismo (Wakeling, Nigg, & Rozitis, 2002). Se dice que tales vibraciones aumentan la actividad muscular, como resultado de su amortiguación, y aumentan la participación de la unidad motora para una

Introducción

determinada producción de fuerza muscular (Mester et al., 1999) y, por tanto, disminuyen la eficiencia global.

Como ejemplo del aumento de la fatiga relacionada con la vibración en BTT, cabe destacar el trabajo de laboratorio de Titlestad, Fairlie-Clarke, Davie, Whittaker y Grant (2003), consistente en un tapiz rodante con baches de entre 30-70 mm, en el que se comprobó que, ha frecuencias de 2.9-4.0 Hz el consumo de oxígeno y la FC aumentaban un 50% y un 35% respectivamente.

Más recientemente (Macdermid, Fink, & Stannard, 2015) publicaron un trabajo de campo para comparar el efecto de las vibraciones experimentadas por ciclistas durante un tramo de subida, perfil especialmente importante para los ciclistas de montaña (Abbiss et al., 2013). Los participantes realizaron un ascenso por superficie asfaltada con bicicleta de carretera y otro por camino de tierra con bicicleta de montaña. En esta comparativa, se demuestra que, rodando a la misma velocidad, una misma distancia, un segmento de la misma inclinación, pero de diferente superficie, causa un aumento de las vibraciones a nivel de bicicleta y puntos de contacto del ciclista el segmento de montaña, lo que se traduce en un mayor trabajo, marcadores psicológicos y FC.

Incluso con las mejoras tecnológicas relacionadas con la incorporación de suspensión tanto en la horquilla como en el cuadro de la bicicleta (suspensión total), se ha demostrado que el tren superior del ciclista realiza un trabajo significativo, debido al control de la bicicleta y a la amortiguación de las vibraciones (Hurst et al., 2012).

En un primer momento, puede parecer que la rueda de mayor diámetro tiene ventaja con respecto a la pequeña, tal y como se hipotetiza en algún estudio (Macdermid et al., 2014). Sin embargo, sus resultados evidencian que

la 29" transmite más vibración al ciclista, especialmente en los puntos de contacto con la bicicleta.

Por su parte, la industria del BTT ha difundido que la rueda de 29" reduce las vibraciones producidas por el terreno y transmitidas al ciclista (Faiss et al., 2007; Levy & Smith, 2005).

En este mismo sentido y en un intento por obtener ventajas de rendimiento, ha habido un aumento en la popularidad en el uso de bicicletas rígidas con ruedas de 29" en comparación a las de 26", con una capacidad infundada de reducir el impacto de las vibraciones producidas por el terreno (Macdermid et al., 2014).

Con respecto al punto anatómico de instalación de los acelerómetros (ACC), según Macdermid et al., (2014), los puntos de sujeción de la bicicleta y la propia bicicleta, tuvieron valores de acelerometría más altos que la zona baja de la espalda y la cabeza, con independencia del tamaño de la rueda. Así mismo, se ha demostrado que las vibraciones en los segmentos de descenso son mayores que en los segmentos de ascenso en todos los puntos de contacto con la bicicleta y en la bicicleta, pero no hay diferencia en la cabeza (Macdermid et al., 2014).

1.1.8 VELOCIDAD

Según los artículos analizados, se encontraron diferencias significativas en la V_{med} de la bicicleta en circuito CT a favor de la 29" (Macdermid et al., 2014; Steiner et al., 2015; Taylor et al., 2016). Sin embargo, la investigación de (Hurst, Sinclair, Atkins, Rylands, & Metcalfe, 2016) no muestra diferencias al respecto, indicando que la elección de la bicicleta está definida por patrocinio o preferencias personales (Hurst, Sinclair, et al., 2016).

Introducción

1.1.9 COMPARATIVA ENTRE 26, 27.5 Y 29"

Actualmente, solo el grupo de Hurst, ha publicado este tipo de comparativas (Hurst, Atkins, Metcalfe, Sinclair, & Rylands, 2016) con referencia a la salud. Y con respecto al rendimiento (Hurst, Sinclair, et al., 2016).

Dejando de lado las 26+, 27.5+, las 29+ y las fat bikes, que podrían ser consideradas bicicletas de recreo más que de rendimiento, al menos para pruebas CT, en estos artículos se utilizan tres bicicletas de la marca Santa Cruz®, modelos fabricados en 2014, de suspensión total, con 100 mm de recorrido en el cuadro y horquilla de 120 mm. Las bicicletas de menor masa son lastradas para equiparar la masa de la de 29", que es la mayor (13,69, 13,93 y 14,15 kg para la 26, 27.5 y 29" respectivamente). Como resultado, parece que no hay ninguna diferencia en términos de rendimiento: tiempo por vuelta, P_{med} , velocidad, cadencia o trabajo realizado, analizando la vuelta completa o por segmentos (ascensos o descensos). Tan solo hubo una diferencia significativa en la cadencia, la cual fue inferior en la bicicleta de 26", en la fase de descenso. El artículo sugiere que la hipótesis de que las bicicletas de 29" mejoran el rendimiento con respecto a las bicicletas de ruedas más pequeñas, debe ser rechazada.

Y con respecto a la actividad muscular y acelerometría, tampoco apareció ninguna diferencia significativa, ni en la vuelta completa ni por secciones, con lo que proponen rechazar la hipótesis de que las 29" reducen la actividad muscular.

Basándose en las diferencias obtenidas, no encontraron una clara ventaja hacia ninguna de las tres bicicletas e indicaron que la mayoría de los ciclistas realizan su elección de forma subjetiva (Steiner et al., 2015), por preferencia personal o compromisos de patrocinio (Hurst, Sinclair, et al., 2016).

1.2 CONCLUSIONES DEL MARCO TEÓRICO Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

A continuación, se expondrá la síntesis del marco teórico en relación con los dos diámetros de rueda (tabla 2). Se puede apreciar la poca cantidad de estudios científicos relacionados con el tema y las contradicciones entre unos y otros. Desde un punto de vista de rendimiento, la mayoría de autores coinciden en la supremacía de la 29", excepto Hurst, Sinclair, et al., (2016), los cuales no encuentran diferencias significativas. En cuanto al análisis de acelerometría y desde un punto de vista de salud, la mayoría de los autores coinciden en que la 29" transmite mayor vibración al ciclista, excepto Hurst, Atkins, et al., (2016), los cuales nuevamente rechazan esta hipótesis por no encontrar diferencias significativas.

Por otro lado, hay otro grupo de factores que, aún sin haber sido analizados en función del diferente diámetro de rueda (aerodinámica, ángulo de ataque, momento angular, masa, rigidez, estabilidad y maniobrabilidad), podemos decantarnos por una de las dos bicicletas por cuestiones de física teórica (Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis marco teórico

| FACTOR COMPARADO | MEJOR | REFERENCIA | n |
|---------------------------|-------|---|------|
| Resistencia aerodinámica | 26" | Se asume por física teórica | |
| Resistencia a la rodadura | 29" | (Macdermid et al., 2014; Steyn & Warnich, 2014) | 8, 3 |
| Gasto energético | 29" | (Taylor et al., 2016) | 13 |

Introducción

Tabla 2. Continuación

| FACTOR COMPARADO | MEJOR | REFERENCIA | n |
|----------------------------|-------|--|--------------|
| Momento angular | 26" | En aceleración o deceleración | |
| Momento angular | 29" | A velocidad constante | |
| Tracción | 29" | (Steiner et al., 2015) | 10 |
| Masa | 26" | Se asume por física teórica | |
| Rigidez | 26" | Se asume por física teórica | |
| Ángulo de ataque | 29" | (Kyle, 2003) | |
| Ángulo de dirección | --- | Depende del fabricante | |
| Transmisión de vibraciones | 26" | (Macdermid et al., 2014) | 8 |
| Velocidad | 29" | (Macdermid et al., 2014; Steiner et al., 2015; Taylor et al., 2016); Sin diferencias (Hurst, Sinclair, et al., 2016) | 8, 10, 13, 9 |

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir de la revisión bibliográfica realizada, parece que los cambios introducidos en el BTT, deben influir, tanto en el rendimiento del deportista (Macdermid et al., 2014; Steiner et al., 2015; Steyn & Warnich, 2014) como en su salud (Macdermid et al., 2014).

Los estudios que abordan la influencia del diferente diámetro de rueda sobre el rendimiento en ciclismo son muy escasos y la metodología empleada, así como el tamaño muestral, son susceptibles de mejora.

Tanto en el ámbito del rendimiento deportivo como en el de la salud (transmisión de vibraciones), se hace necesario un análisis riguroso del comportamiento de las dos bicicletas, tanto desde un punto de vista analítico (en situaciones aisladas) como a nivel global (realizando pruebas de campo similares a las de una competición CT).

Será objeto de esta Tesis Doctoral, analizar las diferencias entre dos BTT una de 26" y otra de 29", equivalentes, por un lado, en el rendimiento tanto en pruebas analíticas como en una prueba global y, por otro lado, y de forma simultánea, determinar en qué medida influye el tamaño de la rueda en la transmisión de vibraciones al ciclista. Todo ello con una muestra muy superior a las reportadas por los artículos publicados hasta la fecha.

1.4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

A partir del marco teórico expuesto, se plantean como punto de partida de este trabajo de Tesis Doctoral el siguiente objetivo general: valorar el efecto de dos BTT equivalentes, pero con ruedas diferentes (una de 26" y la otra de 29") en situaciones analíticas y en un test global, tanto a nivel de transmisión de las vibraciones como de rendimiento.

Objetivos específicos:

1. Cuantificar la vibración que transmite al ciclista cada una de las bicicletas en un ascenso y en un descenso con superficie bacheada, así como durante la realización de un circuito CT.
2. Comparar las aceleraciones de cada ACC entre ambas bicicletas.

Introducción

3. Comparar la magnitud del registro de los ACC situados en la cabeza y el coxis en comparación al resto en ambas bicicletas.
4. Medir cuál de las dos bicicletas es más rápida subiendo y bajando una rampa corta con superficie bacheada.
5. Medir qué bicicleta es más rápida en un recorrido revirado sobre césped.
6. Medir qué bicicleta es más estable a baja velocidad, sobre un recorrido estrecho y lineal.
7. Medir qué bicicleta es más rápida subiendo y bajando una rampa corta con superficie homogénea.
8. Medir qué bicicleta es más rápida en una aceleración de 50 m sobre superficie de alta y otra de baja adherencia.
9. Medir qué bicicleta es más rápida en un eslalon lineal.
10. Medir qué bicicleta tiene mayor rendimiento en un circuito CT completo, así como en los segmentos con perfil de ascenso, descenso y llanos.

Una vez realizado el estudio podremos contrastar las siguientes hipótesis:

1. Las BTT de 29" transmiten mayor vibración al ciclista cuando transitan por superficies bacheadas tanto de ascenso como de descenso, así como en el circuito CT.
2. El registro de los ACC según la posición, será similar en ambas bicicletas, independientemente del diámetro de rueda.
3. Las vibraciones registradas por los ACC en la cabeza y en el coxis serán inferiores que en el resto de puntos independientemente del tamaño de la rueda.
4. Las BTT de 29" son más rápidas en una rampa pronunciada bacheada tanto en ascenso como en descenso.

5. Las BTT de 29" son más rápidas en un recorrido revirado sobre césped.
6. Las BTT de 29" son más estables en un recorrido estrecho y lineal.
7. Las BTT de 26" son más rápidas en un recorrido inclinado corto sin baches tanto en el ascenso como en el descenso.
8. Las BTT de 29" serán más rápidas en pruebas de aceleración cortas, sobre una superficie de alta y otra de baja adherencia.
9. Las BTT de 26" son más rápidas en un eslalon lineal.
10. Las BTT de 29" tienen mayor rendimiento en un circuito CT completo, así como en todos los segmentos con independencia de su perfil.

1.5 PLAN DE TRABAJO

A continuación, se expone el plan de trabajo seguido durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral, diseñado tomando como base las hipótesis formuladas y los objetivos planteados.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica centrada en aquellos factores relevantes para el estudio, a partir de la cual determinar los objetivos. Seguidamente se procedió al diseño experimental, para lo cual se partió de las variables a estudiar, el material de investigación disponible, así como la selección de la muestra. Tras esto se realizaron las pruebas experimentales y, una vez finalizados los test, se procedió al tratamiento de los resultados obtenidos, a partir de lo cual se inició un proceso de discusión sobre los mismos y, finalmente se formularon las conclusiones oportunas. Esquema facilitado en figura 7.

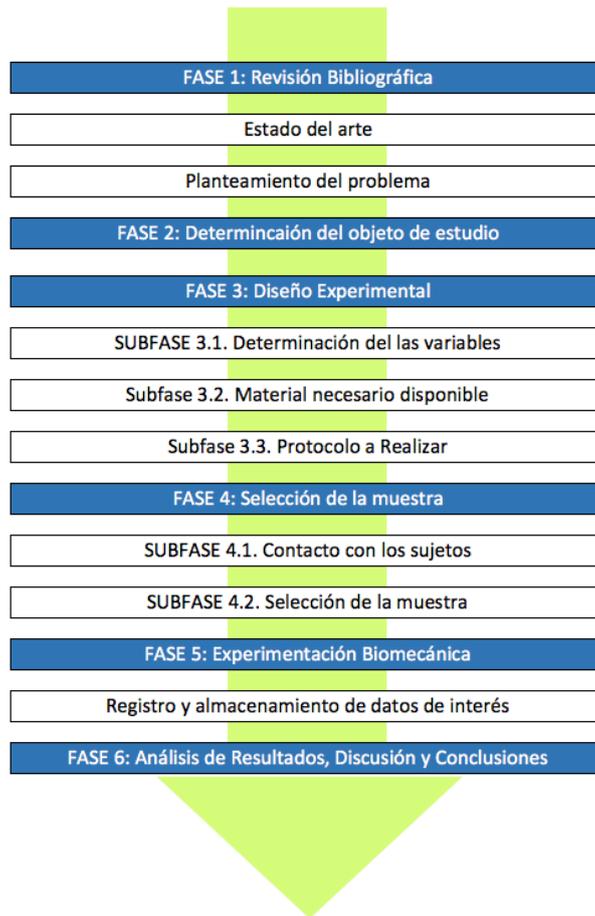


Figura 7. Fases del Proyecto de Tesis Doctoral.

FASE 1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Subfase 1.1. Revisión bibliográfica inicial.

La revisión bibliográfica, con el objetivo de obtener una visión general sobre el estado del arte en la actualidad, se centró en primer lugar en recopilar artículos centrados en el estudio y análisis de las diferencias en cuanto a diferente diámetro de rueda y su influencia sobre el rendimiento deportivo. No obstante, dadas las escasas referencias encontradas, se amplió la búsqueda a aquellos otros factores que influyen sobre la salud, en concreto,

sobre la vibración que genera la bicicleta sobre el ciclista, con el objetivo de que sirvieran como punto de partida de esta Tesis Doctoral. A continuación, se formuló el planteamiento del problema, y se abordó la siguiente fase.

Subfase 1.2. Revisión bibliográfica continua.

Debido a que el tema tratado es muy actual, se han ido publicando más artículos a lo largo del proceso de desarrollo de la tesis. Se ha tratado de refrescar la información hasta la parte final de la investigación, para estar al día de la información más reciente y contrastar nuestros resultados con los de otros investigadores.

FASE 2.- DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

La revisión bibliográfica permitió concretar la idea inicial de trabajo, en unos pocos objetivos realistas y bien definidos, lo cual facilitó el adecuado desarrollo de las posteriores fases.

FASE 3.- DISEÑO EXPERIMENTAL

Subfase 3.1. Determinación de las variables.

Una vez concretados los objetivos del estudio, se inició el diseño experimental determinando las variables que se pretendían medir, cuál sería la variable independiente, cuáles las dependientes, y cuáles serían las variables de control.

Subfase 3.2. Material necesario disponible.

El siguiente paso fue inventariar el material de investigación del que se disponía para la realización del experimento. Gracias al apoyo económico del Departamento de Educación Física y Deportiva de la UV, se adquirieron dos potenciómetros de ROTOR® y el GARMIN® 520 pack, sin los cuales, el circuito CT no habría tenido sentido.

Introducción

Para las pruebas analíticas, se utilizó un sistema de cronometraje basado en fotocélulas que no estuvo exento de problemas, tanto de funcionamiento, como de registro de datos. Se tuvo que sustituir 4 veces alguno de los tramos del cable de datos de 60 m (formado por 3 tramos de 20 m), aunque este incidente no retrasó el desarrollo de las fases de esta Tesis Doctoral, pues se llevaba material de sustitución para solventar incidencias in situ.

Subfase 3.3. Protocolo a realizar.

Una vez definido lo anterior, se diseñó con el máximo detalle posible el protocolo a seguir para la realización de los experimentos. Previamente al inicio de los tests, se realizaron diferentes pruebas piloto, tanto de funcionamiento y validez del material como del resto de detalles que se consideraron influyentes en el desarrollo de las mediciones, tales como el tránsito de usuarios por espacios compartidos, el despliegue y almacenaje del instrumental entre cada una de las pruebas, así como su traslado. Todo ello con la intención de garantizar el éxito en la realización de los tests de la forma prevista, optimizando al máximo el tiempo.

En este sentido, cabe reseñar que el circuito CT que inicialmente se iba a plantear con un recorrido de unos 5 km y dos únicas repeticiones (una con cada bicicleta), se modificó tras los tests piloto, al comprobar que era demasiado extenso para los participantes menos entrenados, además de tener poco control visual del recorrido. Así, se redujo la distancia a 2,11 km y se aumentó el número de repeticiones de 2 a 6 (3 con cada bicicleta, al igual que el resto de pruebas).

FASE 4.- SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Subfase 4.1. Contacto con los participantes.

En los meses previos al inicio de la fase experimental, se contactó con potenciales participantes para comenzar a conformar la muestra del estudio. Una vez realizada la primera toma de contacto y comprobada la disponibilidad de los ciclistas, se envió a cada uno de ellos, por correo electrónico, un documento explicativo de las generalidades del estudio a realizar. Junto a ello, se adjuntó un documento de consentimiento informado (Anexo A) y el formulario de participación, un cuestionario sobre aspectos generales relacionados con sus datos personales, su nivel competitivo y antecedentes deportivos en ciclismo, de interés para el estudio (Anexo B).

Subfase 4.2. Selección de los participantes según los criterios establecidos.

Los datos recogidos en el cuestionario mencionado nos permitieron hacer una primera selección de participantes. Se optó por realizar llamada telefónica a todos aquellos que no cumplían alguno de los requisitos de inclusión, para ver si se podía solventar la incidencia o para descartarlo definitivamente, agradeciendo de antemano su predisposición.

FASE 5.- EXPERIMENTACIÓN BIOMECÁNICA

A continuación, se dio inicio a la fase experimental, que se llevó a cabo durante 18 meses con una muestra final de 55 ciclistas. Posteriormente, se realizó el correspondiente tratamiento informático y estadístico de los datos registrados.

FASE 6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la última fase se procedió al análisis estadístico, que permitió obtener los resultados del estudio, para seguidamente proceder a su discusión y contraste con otros estudios relacionados. Finalmente, se extrajeron las conclusiones del estudio.

1.5.2 CRONOGRAMA

En la tabla 3 se proyectan temporalmente las diferentes fases que componen esta Tesis Doctoral, destacando la duración de las mismas y reflejando los meses durante los que se llevó a cabo cada una de ellas.

Tabla 3. Programa de desarrollo de las fases que componen la tesis doctoral.

| | | 2013 | 2014 | | | | 2015 | | | | 2016 | | | | 2017 | |
|-------------|-------------------------------------|------|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|
| FASE 1 | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ |
| Subfase 1.1 | REVISIÓN INICIAL | █ | █ | █ | █ | | | | | | | | | | | |
| Subfase 1.2 | REVISIÓN CONTINUA | | | | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ |
| FASE 2 | DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO | | | █ | █ | | | | | | | | | | | |
| FASE 3 | DISEÑO EXPERIMENTAL | | | | █ | █ | █ | | | | | | | | | |
| Subfase 3.1 | DETERMINACIÓN DE VARIABLES | | | | █ | | | | | | | | | | | |
| Subfase 3.2 | MATERIAL NECESARIO DISPONIBLE | | | | | █ | | | | | | | | | | |
| Subfase 3.3 | PROTOCOLO A REALIZAR | | | | | | █ | | | | | | | | | |
| FASE 4 | SELECCIÓN DE LA MUESTRA | | | | | | █ | █ | | | | | | | | |
| Subfase 4.1 | DIFUSIÓN DEL ESTUDIO | | | | | | | █ | | | | | | | | |
| Subfase 4.2 | SELECCIÓN DE PARTICIPANTES | | | | | | | | █ | | | | | | | |
| FASE 5 | EXPERIMENTACIÓN BIOMECÁNICA | | | | | | | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ |
| Subfase 5.1 | PRUEBAS ANALÍTICAS | | | | | | | | █ | █ | █ | █ | █ | █ | | |
| Subfase 5.2 | CIRCUITO CT | | | | | | | | | | | █ | █ | █ | █ | |
| FASE 6 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | | | | | | | | | | | | | | █ | █ |
| Subfase 6.1 | DISCUSIÓN | | | | | | | | | | | | | | █ | █ |
| Subfase 6.2 | CONCLUSIONES | | | | | | | | | | | | | | | █ |



Participante realizando una de las pruebas

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se describe detalladamente el procedimiento y los materiales empleados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Participaron voluntariamente en el estudio un total de 55 deportistas de sexo masculino y femenino, todos ellos ciclistas habituales y experimentados (tabla 4). Los criterios de exclusión fueron:

- Ser menor de 18 años.
- Haber padecido alguna lesión del aparato locomotor durante los últimos 2 años (Takaishi et al., 2002).
- Tomar medicamentos que pudieran afectar al sistema neuromuscular y padecer enfermedad metabólica o cualquier otra que altere las funciones muscular y circulatoria.
- No tener una estatura comprendida entre los 168 y 178 cm, puesto que las bicicletas empleadas han sido talla M y así lo define el fabricante.
- No tener un nivel técnico mínimo adecuado para la práctica del deporte tratado. Para tratar esta exclusión, se preguntó en el formulario de participación el nivel técnico que pensaba que tenía cada persona (de 1 a 10), se habló previamente con los que indicaron que tenían un nivel inferior a 5, se les proporcionó la posibilidad de probar previamente la primera de las pruebas de la fase 1 (subida embarcadero), ya que era la prueba más complicada a nivel técnico y se descartó a aquellos deportistas que no se veían seguros o que ellos mismos se echaban atrás.

Material y métodos

- No tener un nivel de condición física superior a 5 sobre 10, preguntado en el formulario de participación previo a las pruebas.
- No utilizar calzado de ciclismo de montaña con calas para pedales automáticos. Este punto también se preguntó en el formulario de participación.
- No disponer de calzado específico de ciclismo de montaña con cala Shimano®, ya que, las bicicletas estaban montadas con pedales de esta marca. Se optó por esta marca porque es la que utiliza la gran mayoría de los ciclistas de montaña.

Las características del grupo vienen expresadas en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción de la muestra.

| Características generales ciclistas | Total (n = 55) |
|--|-----------------------|
| Edad (años) | 35,77 (10,6) |
| Masa (kg) | 72 (8,28) |
| Altura (cm) | 174,4 (4,38) |
| Altura sínfisis púbica (cm) | 77,53 (5,33) |
| IMC (kg/m ²) | 23,68 (2,69) |
| FC reposo (ppm) | 56,80 (9,86) |
| FC máxima (ppm) | 188,77 (9,07) |
| Talla pie (cm) | 41,6 (1,25) |
| Experiencia (años) | 9,25 (6,73) |
| Nivel técnico (puntos) | 7,78 (1,38) |
| Nivel de condición física (puntos) | 7,75 (1,59) |
| Frecuencia práctica (sesiones/semana) | 3,09 (1,56) |
| Volumen semanal (km/semana) | 164,81 (185,51) |
| Volumen mensual (km/mensuales) | 456,36 (351,06) |
| Participante en alguna competición | |
| Sí | 40 |
| No | 15 |

Los datos están expresados en media (desviación típica).

Todos los participantes firmaron, previamente a su participación en el test, un consentimiento informado sobre las características de la prueba a realizar,

los beneficios y riesgos potenciales de la investigación, así como de su derecho a abandonar la investigación, sin causa justificada, cuando lo consideraran oportuno (Anexo A). La fase experimental fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de Valencia. Del mismo modo, y también con carácter previo al inicio del experimento, se informó de las generalidades del mismo y se facilitó información visual del desempeño de cada una de las pruebas, para que los días de las mediciones hubiera menor incertidumbre y todos supieran lo que iban a hacer.

Finalmente, durante todo el proceso se garantizó el respeto a lo establecido en la Declaración de Helsinki sobre investigación humana; a los requisitos de carácter ético establecidos por la Universidad de Valencia, que aprobó los protocolos y a los principios establecidos a este respecto por la UNESCO.

2.2 INSTRUMENTAL

A continuación, se detalla el instrumental que se utilizó para el registro de las diferentes variables de investigación que se estudiaron en este trabajo:

- Bicicletas de montaña Commençal® Supernormal 26” 2013 y Commençal® Supernormal 29” 2013 (figura 8), de la talla M (17,5”), con cuadros fabricados en aluminio 6061 triple conificado, horquilla delantera Fox®, montadas con grupo SRAM® de 2 platos y 10 piñones y bielas de 175 mm. Con una masa de 10,8 kg para la 26” y 11,5 kg para la 29”. Ambas bicicletas tenían montado el mismo equipamiento.

Material y métodos



Figura 8. Izquierda, *Commençal Supernormal 2013 de 26"*. Derecha, *Commençal Supernormal 2013 de 29"*.

Se les instalaron pedales automáticos Shimano® XT con una masa de 343 g. La precarga del muelle del mecanismo de sujeción de la cala, se ajustó en la posición más floja posible, para facilitar la fácil extracción de la zapatilla.

Las horquillas se ajustaron a 70 PSI y rebote abierto, correspondiéndose a una precarga adecuada para la masa medio de la muestra. La presión de los neumáticos se definió en 2 bares, pensando también en la masa de los participantes, en la prevención de pinchazos y en la comodidad de rodaje, ya que las pruebas se desarrollaban por lo general en terreno muy duro y compacto. El sillín se instaló en posición horizontal con respecto al suelo y centrado en sus railes. La angulación del manillar, manetas de freno y cambio se ajustaron también de forma idéntica en ambas bicicletas, respetando la morfología y buscando la facilidad de accionamiento de un ciclista de una talla media con respecto a la muestra.

- Ocho ACC Actigraph® wGT3X-BT (figura 9). Estos dispositivos se programaron para registrar aceleraciones en los 3 ejes con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Todos se colocaron siempre en la

misma posición en todas las sesiones de medición. En cuanto al ámbito de la salud y en relación con la magnitud de la frecuencia utilizada para medir la vibración en nuestro estudio, seguimos las indicaciones más comunes utilizadas en la literatura científica, realizando el corte en 5 Hz, correspondiéndose este valor al límite superior de los movimientos voluntarios (Hines, O'Hara-Hines, & Brooke, 1987; Jäncke, Steinmetz, Benilow, & Ziemann, 2004; Kay, Saltzman, & Kelso, 1991).



Figura 9. ACC Actigraph® wGT3x-BT.

Se instalaron 2 en la bicicleta, uno junto al buje delantero, en la parte inferior de la botella derecha de la horquilla, próximo al eje del buje delantero (ED) y el otro junto al eje del buje trasero (ET), en el triángulo formado por las vainas con los tirantes y la pinza del freno de disco posterior.

Los otros 6 fueron utilizados sobre el ciclista (figura 10). Se instalaron en el casco (CA) y junto a los 5 puntos de contacto con la bicicleta: muñecas (MI, muñeca izquierda y MD, muñeca derecha) tobillos (TI, tobillo izquierdo y TD, tobillo derecho) y coxis (CO).

Material y métodos

El ACC del CA se instaló en la parte anterior del mismo, delante de la frente del ciclista. En un primer momento, se pensó en la opción de pegarlo con cinta de doble cara a la frente del participante, pero, tras realizar algunos ensayos previos, se percibió el riesgo de perder el elemento por la sudoración. Se revisó a cada voluntario la firmeza de las cintas de sujeción de este accesorio que, además de facilitar la instalación del ACC, era un elemento de seguridad obligatorio.



Figura 10. Posición de los ACC en la bicicleta y los participantes.

Para asegurarnos de la buena colocación del ACC del CO, se hizo el mismo test previo que para el del casco, con cinta de doble cara adherida sobre el coxis, pero ocurrió el mismo problema, se despegaba por el calor y el sudor, con lo que se utilizó un cinturón elástico ajustable con bolsillo incorporado (accesorio porta objetos para carrera a pie) y una plantilla con un hueco para introducir el ACC y colocarlo siempre en la misma posición, dentro del cinturón (figura 11).



Figura 11. Cinturón elástico y plantilla para la instalación del ACC del coxis.

Este cinturón se colocó firmemente sobre el ciclista, por debajo del maillot. Se prohibió guardar objetos en el bolsillo posterior del maillot (cartera, llaves, móvil, monedas, etc.) para evitar golpes involuntarios sobre el dispositivo.

Los ACC de la MD y MI se colocaron con firmeza, pero respetando la movilidad de la articulación y sin producir molestias. Se prohibió el uso de pulseras, relojes u otros objetos que pudieran estar en contacto con el dispositivo. Por último, los ACC del TD y TI se instalaron firmemente, pero respetando la movilidad articular.

Material y métodos

- Potenciómetros Rotor® inpower rex 1.2 (figura 12) para ambas bicicletas, montando platos circulares con el mismo desarrollo que los SRAM® que llevaba de serie: 39-26 para la 26" y 38-24 para la 29". Este dispositivo es compatible con ANT+™ y nos aportó registro de la potencia de pedaleo en vatios y cadencia media (C_{med}) y cadencia máxima (C_{max}) en rpm.



Figura 12. Potenciómetro Rotor® inpower rex 1.2.

- Ciclo computador Garmin® Edge 520 pack (figura 13), dispositivo que permite la conexión a través de ANT+ con el potenciómetro Rotor®. Al disponer de *global position system* (GPS), registró V_{med} , velocidades máximas (V_{max}), mide distancia, altimetría, etc. También dispone de banda con sensor de FC (figura 13) para el registro de pulsaciones por minuto (ppm), cadenciómetro (rpm) el cual no se instaló, pues los potenciómetros ya realizaron esta función y así no había que cambiar dispositivos de una bicicleta a otra. Y sensor de velocidad (km/h), que tampoco se instaló, pues era complicado de cambiar cada vez de una rueda a otra en el circuito CT en poco tiempo (se instalaba con una goma elástica fuerte en el buje delantero) y la función estaba cubierta por el GPS integrado.



Figura 13. Conjunto de accesorios y dispositivos de Garmin® Edge 520 pack

- Software Garmin® Express, para descargar los datos registrados con el Garmin® Edge 520, instalado en el manillar de la bicicleta.
- Plataforma en red Garmin® Connect, diseñada para consultar, editar y descargar los registros realizados con dispositivos Garmin®.
- Equipo de cronometraje mediante fotocélulas (Chronojump Bosco System, Chronojump Photocell, precisión 1ms, voltage 12-220 DC/AC) facilitado por el Laboratorio de Biomecánica de la UV (figura 14). Se tuvieron que hacer algunas modificaciones al conjunto de elementos que conformaban el equipo, para hacerlo autónomo y adaptarlo a las necesidades de las pruebas. Al no tener toma de corriente, se tuvo que buscar unas baterías para alimentar a las fotocélulas. Se tuvo que fabricar un cable de comunicación de 60 m para conectar ambas fotocélulas y se emplearon unos trípodes para alzarlas a 50 cm del suelo.
- Software Chronojump® para evitar que la fotocélula tomara varios registros en el paso del conjunto bicicleta-ciclista, se seleccionó la

Material y métodos

opción de “Evitar contactos dobles, corregir cuando ocurran dos o más contactos en 2000 ms” y “considerar el primer contacto”.



Figura 14. Sistema de cronometraje con fotocélula, conectado a ordenador portátil y a batería, para el suministro de electricidad.

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.3.1 PROCEDIMIENTO

Todos los candidatos completaron un cuestionario que contemplaba datos personales, características antropométricas y cuestiones relacionadas con su práctica deportiva (Anexo B). Estos datos, sirvieron para hacer un primer descarte de aquellos deportistas no aptos para las pruebas y para caracterizar a los participantes.

Previamente a las sesiones de campo, a los deportistas que se consideró aptos para la realización de las pruebas, se les facilitó la descripción de las mismas en texto y en video, para que el día acordado tuvieran menos incertidumbre y se invirtiera menos tiempo en explicaciones.

Durante las 48 horas anteriores a la realización del experimento, los participantes siguieron su dieta habitual y no realizaron ningún ejercicio extenuante (Coso et al., 2017).

2.3.2 PRUEBAS DE CAMPO

El trabajo experimental se dividió en 3 fases, debido al gran número de pruebas que lo componían (un total de 10). Las dos primeras fases se correspondieron a las pruebas analíticas de comportamientos aislados y la tercera fase fue la prueba global (circuito CT). Para el diseño de las pruebas analíticas, se pensó en algunas de las situaciones en las que el ciclista se veía involucrado durante el transcurso de la práctica de su deporte. Para el diseño del circuito CT, se analizó el tipo de terreno por el que se desarrollan las competiciones de esta especialidad deportiva y se definió un recorrido compuesto por diferentes secciones, con diferentes perfiles, discurriendo por tierra en su totalidad.

Para cada una de las 10 pruebas, se realizaron 6 repeticiones, 3 con cada bicicleta, en modo alterno y la primera repetición de cada una de las pruebas estaba aleatorizada. El tiempo total medio empleado por cada participante para la realización de todos los tests, osciló entre 8 y 10 horas.

Para que las fotocélulas se colocaran siempre en el mismo punto, se realizaron marcas y se clavaron piquetas rojas en todos y cada uno de los puntos necesarios. Así mismo, se realizaron marcas en los puntos de salida y en los metros enteros de la prueba 4 (estabilidad/precisión), estas últimas para suplir la cinta métrica y agilizar el proceso de medición.

2.3.2.1 Descripción de las diferentes fases

- *Fase 1:* pruebas de la 1 a la 4. Se llevó a cabo en el Jardín del Turia, tramo Torres de Serrano, Valencia capital. Esta fase la componían las 4 primeras pruebas de campo: subida y bajada sobre superficie bacheada (embarcadero), prueba de adaptación al giro (recorrido con forma de rombo) y estabilidad. Para completar esta fase se empleó

Material y métodos

un tiempo comprendido entre las 3 y 4 horas, en función del número de participantes de esa sesión.

- *Fase 2:* pruebas de la 5 a la 9. Se desarrolló en el mismo lugar que la fase 1. Este grupo de 5 pruebas, estaba confeccionado por una subida sobre superficie homogénea, bajada sobre superficie homogénea, dos pruebas de aceleración (tipo “drag race”) sobre superficie de alta y baja adherencia (adoquines y graba) y el eslalon lineal. Para completar esta fase se empleó un tiempo comprendido entre las 3 y 4 horas, en función del número de participantes de esa sesión.
- *Fase 3:* circuito CT. ubicado en la localidad próxima de Paterna, la parcela de “Pla del Retor”, antiguo campo de tiro militar, dio cabida al diseño de un circuito de 2,11 km y 38 m de desnivel positivo, con zonas de diferente dificultad técnica, firmeza e inclinación y tramos de pista y senda. Para la realización de esta última prueba, se empleó alrededor de una hora para completar las vueltas y otra hora para la instalación de instrumentos de medición, vuelta de reconocimiento y explicaciones.

2.3.2.2 Indicaciones generales para todas las pruebas

- El orden en cuanto al uso de una bicicleta u otra para cada una de las pruebas, estaba preestablecido y randomizado (Lucas, Pérez, Priego, & Llana, 2014).
- No se permitía modificar los ajustes de la suspensión delantera, de hecho, se tapó con cinta los diales para evitar su manipulación.
- Era requisito disponer de zapatillas automáticas con calas Shimano®.

- El uso del casco fue obligatorio en todo momento.
- También se exigió el uso de prendas específicas de ciclismo (maillot y culotte).
- Se recomendó el uso de guantes y gafas deportivas.
- Durante el transcurso de una prueba, no se podía alterar la vestimenta.
- Se permitió tomar algún líquido o sólido ligero entre una prueba y otra, pero no en el transcurso de las mismas.
- En el inicio de cada medición, la ayuda entre los participantes era necesaria, ya que las pruebas se iniciaban desde parado, con lo que se sujetaban la bicicleta de la rueda posterior y el sillín los unos a los otros, tipo contra-reloj.
- A la hora de seleccionar el desarrollo adecuado para cada una de las pruebas, se consideró el piñón más grande como primero (1º) o 1 y el más pequeño como décimo o 10.
- Debido a la cantidad de dispositivos que se emplearon, se pidió la colaboración de los participantes a la hora de trasladar el material de una prueba a otra.

2.3.2.3 Indicaciones específicas fase 1 y 2

- Analizando la tipología de las pruebas que se iban a llevar a cabo, al tratarse de pruebas de corto recorrido en las que el ciclista tenía que ir lo más rápido posible y tras varios días de ensayos, se decidió no modificar la altura del asiento, puesto que los participantes no tenían que sentarse en ningún momento en ninguna de las pruebas. Así pues, el asiento se colocó en una posición baja, correspondiéndose al ajuste de los ciclistas de menor estatura.

Material y métodos

- No estaba permitido cambiar de plato, para evitar enganchones o salidas de cadena, pero sí se podía cambiar de piñón en algunas pruebas. Esta decisión se tomó tras varios ensayos, en los que se apreció que el cambio de plato para las distancias a recorrer, era innecesario y menos efectivo.
- En cuanto al cambio de piñón, estaba permitido el cambio en las pruebas 1, 5, 7 y 8, utilizando como desarrollo inicial el segundo. No se optó por el primer piñón por el riesgo que conlleva para la conservación de la cadena, al estar bastante cruzada y ejercer mucha tensión en el arranque, ya que fueron pruebas de gran aceleración. Tampoco se apreció mayor rendimiento en los ensayos previos por empezar con el piñón más grande. En la prueba 2, 4 y 6 no se permitió pedalear, con lo que tampoco se podía cambiar. Y en las pruebas 3 y 9, tras diversas pruebas pre-test con diversos voluntarios, se llegó a la conclusión de que se perdía más tiempo si se cambiaba, con lo que se decidió utilizar un desarrollo fijo, adecuado para la realización de las pruebas.
- Exceptuando las dos primeras pruebas (ascenso y descenso del embarcadero) el orden de los participantes era siempre el mismo y se iban alternando. En las 2 primeras pruebas no hubo alternancia, cada participante realizó las 6 mediciones ascendentes y las 6 descendentes seguidas y luego pasó el turno al siguiente participante. Esto es debido a la instalación de los ACC, que iban colocados en el participante. Habría aumentado la imprecisión de la medición si se hubieran cambiado cada vez a cada ciclista en cada una de las repeticiones, los 6 ACC que iban instalados en las distintas partes de su cuerpo.

2.3.2.4 Indicaciones específicas fase 3, prueba 10, circuito CT

- Los participantes realizaron una primera vuelta de reconocimiento guiada a intensidad baja, que les sirvió también de calentamiento (alrededor de 12 minutos). Antes de iniciar esta vuelta, se instalaron todos los dispositivos de monitorización y seguimiento, con lo que se comprobó su correcto registro con esta misma acción.
- Se indicó que realizasen las vueltas lo más rápido posible, siempre dentro de sus posibilidades, sin poner en peligro su integridad física y recordando que eran un total de 6 repeticiones.
- Entre una vuelta y otra, se permitía beber agua o bebida isotónica, pero no comer.
- Se indicó que, si se sufría caída, confusión en el recorrido o se producía algún tipo de inconveniente técnico (pinchazo, salida de cadena, etc.) se volviera al punto de salida para repetir la vuelta.
- El desarrollo elegido para comenzar esta prueba fue el plato grande y el quinto piñón, pudiendo cambiar a su antojo a partir de la salida.

2.3.2.5 Descripción de las pruebas

- a) Prueba 1: ascenso sobre superficie bacheada (ascenso embarcadero).

El participante tuvo que ascender lo más rápido posible por una rampa de 52,3 m y una inclinación del 16%. En ella se encontraban 30 escalones de piedra de unos 10 cm de altura. El inicio de la ascensión no estaba bacheado y tras 15,73 m comenzaba el primer obstáculo. El tiempo empezó a contar desde la base de la rampa. Se instalaron dos fotocélulas, una al inicio y otra al final. El desarrollo inicial fue plato grande y piñón 2 y se permitió cambiar de piñón, una vez iniciada la subida. La fotocélula inicial se situó a 1 m del punto de salida, coincidiendo con una trapa metálica, para evitar que se

Material y métodos

activara el cronometraje por movimientos involuntarios de la rueda delantera de la bicicleta. La fotocélula final, se situó en el antepenúltimo escalón, para evitar que el ciclista llegase con demasiada velocidad al final de la rampa y pudiera provocar un accidente con los peatones. No obstante, había buena visibilidad del tránsito peatonal y había un compañero en la parte superior para asegurar la llegada y asistir al participante para el inicio de la bajada.

La trazada correcta se delimitó con dos cuerdas naranjas colocadas en paralelo y separadas a 1 m de distancia una de otra. Se consideró nulo si el ciclista se detenía antes de llegar a la fotocélula superior o si se salía de la zona acotada por las cuerdas naranjas.

b) Prueba 2: descenso sobre superficie bacheada (descenso embarcadero).

Se realizó en la misma rampa que la prueba 1, pero en sentido inverso. Las fotocélulas estaban colocadas en el mismo sitio. El participante colocó su pierna dominante delante y no pudo pedalear, ya que, el descenso fue únicamente gravitatorio, para comprobar la capacidad de aceleración de ambas bicicletas en superficie bacheada. La rueda delantera de la bicicleta, se situó en el escalón anterior al de la fotocélula inicial (1 m). Al estar sobre el escalón, el inicio del movimiento fue sencillo, sin necesidad de aplicar energía por parte del deportista. No se utilizaron los cambios de marcha. Se indicó que se adoptara una postura firme, para sortear obstáculos, pero no aerodinámica. No estuvo permitido accionar los frenos, salvo en caso de emergencia, lo que habría supuesto la anulación de la medición. También se consideró nulo cuando el ciclista se salió de la trayectoria delimitada por las cuerdas naranjas.

c) Prueba 3: adaptación al giro (Rombo).

Esta prueba se desarrolló en una zona arbolada y con tierra y césped. Se realizaron diversos giros, rodeando los árboles. El primer árbol se rodeó por la izquierda, el segundo por la derecha, el tercero por la izquierda y el cuarto por la derecha, con lo que se realizó un total de 4 giros. El primer giro suponía una maniobra de 180° , el segundo y el tercero de 270° y el cuarto de 360° (figura 15). El desarrollo elegido fue plato grande y piñón 3º y no se permitió cambiar.

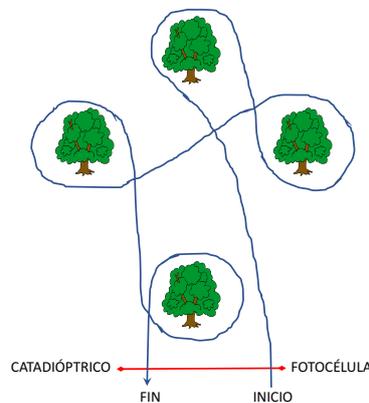


Figura 15. Recorrido rombo.

d) Prueba 4: estabilidad/precisión.

Desde un montículo del carril bici, el ciclista se tenía que dejar caer, con un “golpe de riñón”, sin pedalear, siguiendo una línea de adoquines de 20 cm, sin salirse. Se consideró una prueba de estabilidad puesto que se iniciaba desde parado con el único impulso de un “golpe de riñón” y se terminaba, en el caso de llegar hasta el final del recorrido marcado, a muy baja velocidad, sin salirse de la línea de adoquines.

Material y métodos

Esta prueba no se cronometró, tan solo se contaron los metros enteros que hizo cada participante en cada uno de los intentos, con un máximo de 60 m. Cada uno de los metros, estaba previamente marcado sobre el suelo, con lo que era muy sencillo anotar la distancia tras cada repetición. En el caso de hacer menos de 2 m, se consideró nulo y se repitió la medición.

e) Prueba 5: ascenso sobre superficie homogénea.

Se desarrolló en una de las rampas de acceso al Jardín del Turia, junto a las Torres de Serranos y se midió el tiempo en completar un tramo de 50 m, con una pendiente del 12%, sin llegar al final de la subida, para evitar accidentes. Se instaló una fotocélula en la base y otra en la parte superior. La primera fotocélula se colocó a 1 m de la rueda delantera de la bicicleta, con una marca en el suelo. El desarrollo inicial de la bicicleta fue plato grande y piñón 2°. El ciclista permaneció de pie estático, ayudado por un compañero, con su pierna fuerte preparada para arrancar.

f) Prueba 6: descenso sobre superficie homogénea.

Esta prueba se realizó en la misma rampa que la prueba anterior, pero en sentido descendente. El ciclista se dejó caer hasta completar el recorrido de 50 m, únicamente con la acción de la gravedad. Se partió de posición estática, con ayuda de un asistente, el ciclista fue de pie en todo momento, con los brazos extendidos y los pies paralelos al suelo. No se pudo adoptar ninguna posición más aerodinámica que la natural, con el tronco erguido. Tampoco se pudo pedalear, ni accionar los frenos. La primera fotocélula se situó en la parte superior de la rampa y la segunda en la base de la misma.

g) Prueba 7: aceleración sobre superficie de buena adherencia (drag race carril bici):

Se desarrolló en el carril bici llano y se midió el tiempo en completar un tramo de 50 m, colocando una fotocélula en el inicio y otra en el fin del recorrido. La primera fotocélula se colocó a 1 m de la rueda delantera de la bicicleta, con una marca en el suelo. El desarrollo inicial de la bicicleta fue plato grande y piñón 2°. El ciclista permaneció de pie estático, ayudado por un auxiliar, con su pierna fuerte preparada para arrancar. Tenía que recorrer una trayectoria lo más rectilínea posible, mirando siempre al frente, no al suelo, para evitar accidentes.

- h) Prueba 8: aceleración sobre superficie de baja adherencia (drag race grava/arena compacta):

Las características de este test fueron las mismas que en superficie con buena adherencia, pero el recorrido se llevó a cabo junto al carril bici, sobre superficie de arena/grava fina compacta, lo que provocó pérdidas de tracción, sobre todo, en la salida.

- i) Prueba 9: eslalon lineal con conos.

Se delimitó un espacio y se colocaron 10 conos, separados 2 m cada uno. El primer cono se situó a 1 m de la línea de salida y la línea de llegada estaba 1 m después del último cono, a la altura de la fotocélula más distal. El ciclista partió desde posición estática, de pie, con su pierna dominante preparada para arrancar, con la ayuda de un compañero, para mantener el equilibrio. No se permitió cambiar de marcha ni sentarse. Se consideró nulo cuando se desplazó algún cono y cuando el ciclista se salió de la trayectoria indicada.

- j) Prueba 10: circuito CT.

En esta prueba, se realizó un simulacro de competición CT, pero con menor longitud. Los participantes se tuvieron que desplazar hasta la localidad de Paterna, en la parcela denominada “Pla del Retor”. El recorrido total fue de

Material y métodos

2,11 km y el desnivel acumulado positivo fue de 38 m (figura 16 y 17). En el diseño del recorrido se tuvo en cuenta tener un buen control visual del participante para poder solventar cualquier incidencia, además de definir un recorrido de un nivel técnico medio, para minimizar el riesgo de accidente y que todos los ciclistas pudieran completarlo sin problemas, independientemente de su condición física y nivel técnico.



Figura 16. Recorrido circuito CT.

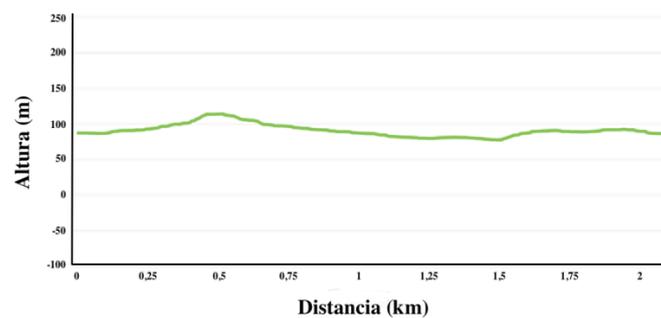


Figura 17. Perfil circuito CT.

Se realizó una vuelta completa previa de reconocimiento junto al responsable del estudio, para que no hubiera dudas del recorrido y para dar las indicaciones precisas sobre el terreno. Todo el recorrido estaba marcado con flechas y puntos rojos, las cuales se repasaron en varias ocasiones para que estuvieran siempre bien visibles.

Esta primera vuelta se hizo con los equipos de medición instalados tanto en la bicicleta como en el ciclista, para comprobar su correcto funcionamiento y para que el deportista no se enfriara tras el calentamiento.

Se dieron 6 vueltas, empezando con una de las dos bicicletas, orden randomizado y alternado, como el resto de pruebas. La línea de salida y llegada fue la misma y el ciclista tenía orden de detenerse por completo antes de pulsar el stop del Garmin®, para evitar accidentes y para detectar con precisión el instante de llegada en el registro de los ACC.

Además del registro general de cada vuelta, se realizaron registros parciales de diferentes secciones del trazado en función de la inclinación del terreno [ascenso, llano (pendiente inferior al 1%) o descenso]. A continuación, se describen las características de estos 8 segmentos, en orden según el recorrido.

- Segmento 1: Ascenso 1.

Recorrido de 460 m, desde el punto de salida hasta la cumbre de la “Mola de Paterna”. Todo el recorrido se desarrolló por pista de unos 3 m de anchura, con una inclinación media del 4,2% sobre terreno duro con piedra suelta y un repecho final de un 20%, ganando 21 m de desnivel positivo (figura 18). Fue la subida más intensa (como demostraron los resultados, pues se registró una V_{med} máxima de 18,70 km/h y una potencia más alta desarrollada de 470 W de media, aunque hubo picos de potencia máxima

Material y métodos

(P_{\max}) superiores a los 1000 W, correspondientes a fuertes pedaladas por pérdidas de tracción).

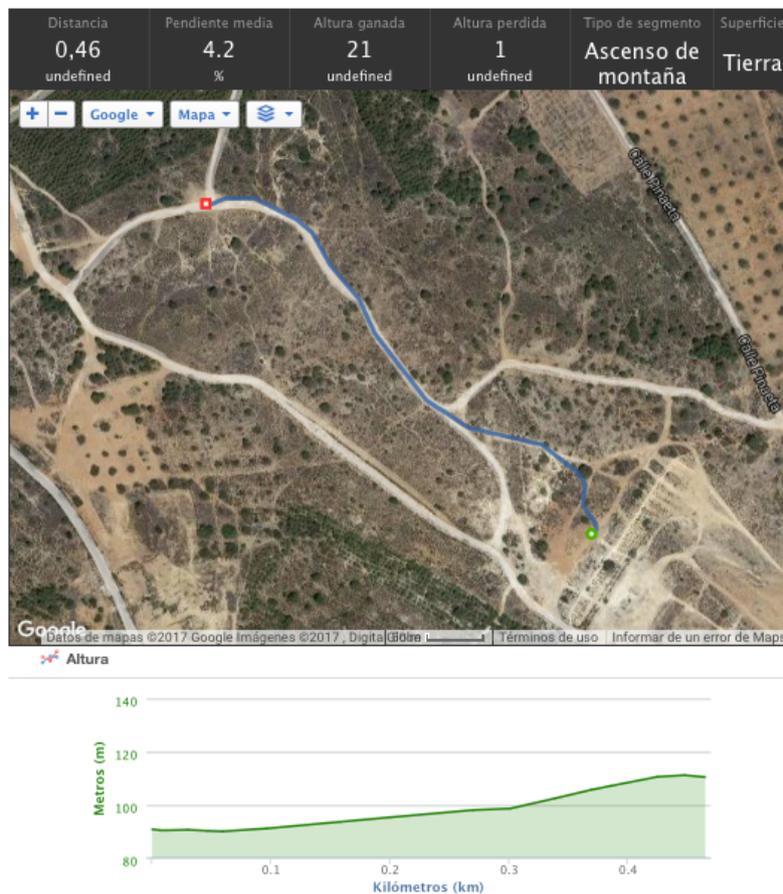


Figura 18. Segmento 1.

- Segmento 2: Descenso 1.

Primer descenso del recorrido. Fue el más largo, con 590 m de longitud y 22 m de desnivel negativo. Aunque la pendiente media fue del 3,7%, hubo puntos en los que se sobrepasó el 15% (figura 19). Discurrió en su mayoría por senda estrecha de aproximadamente 1 m de anchura, con constantes cambios de dirección sobre curvas semiperaltadas, arenosas, alcanzando

algunas de ellas los 90° de giro (lo que se reflejó en los resultados, con V_{med} bajas, aportando el ciclista más rápido un valor de 20,74 km/h).

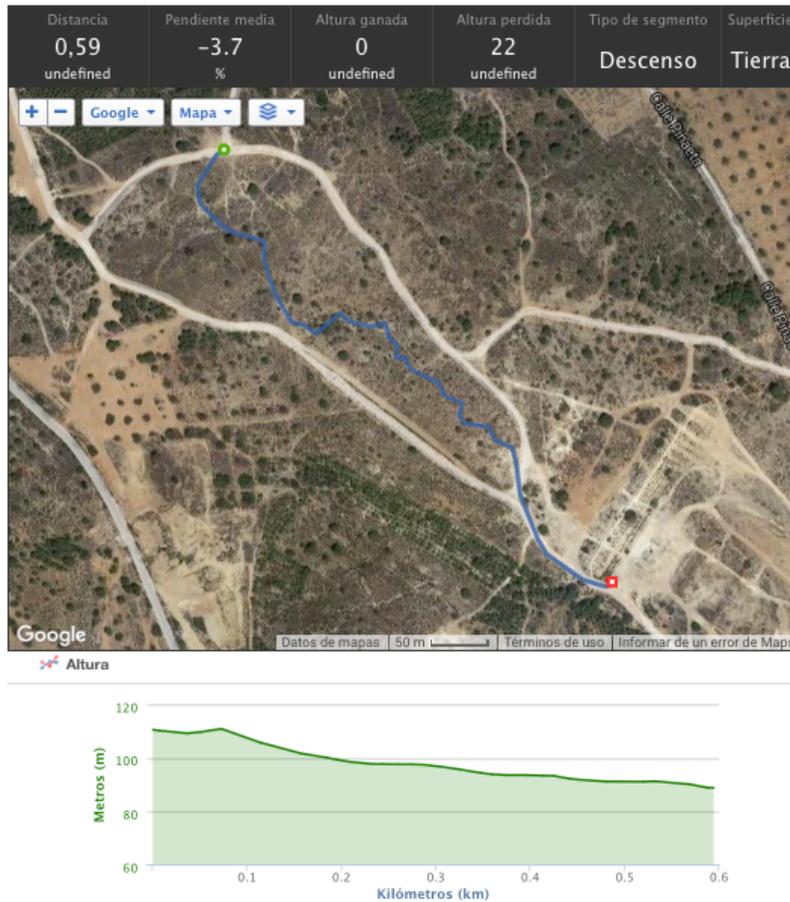


Figura 19. Segmento 2.

- Segmento 3: Llano 1.

Transcurrió por pista ancha en su primera parte y por sendero los últimos 90 m (figura 20). Recorrido bastante rectilíneo con dos curvas importantes, pero sin dificultad técnica (se alcanzó una V_{med} máxima de 23,88 km/h).

Material y métodos

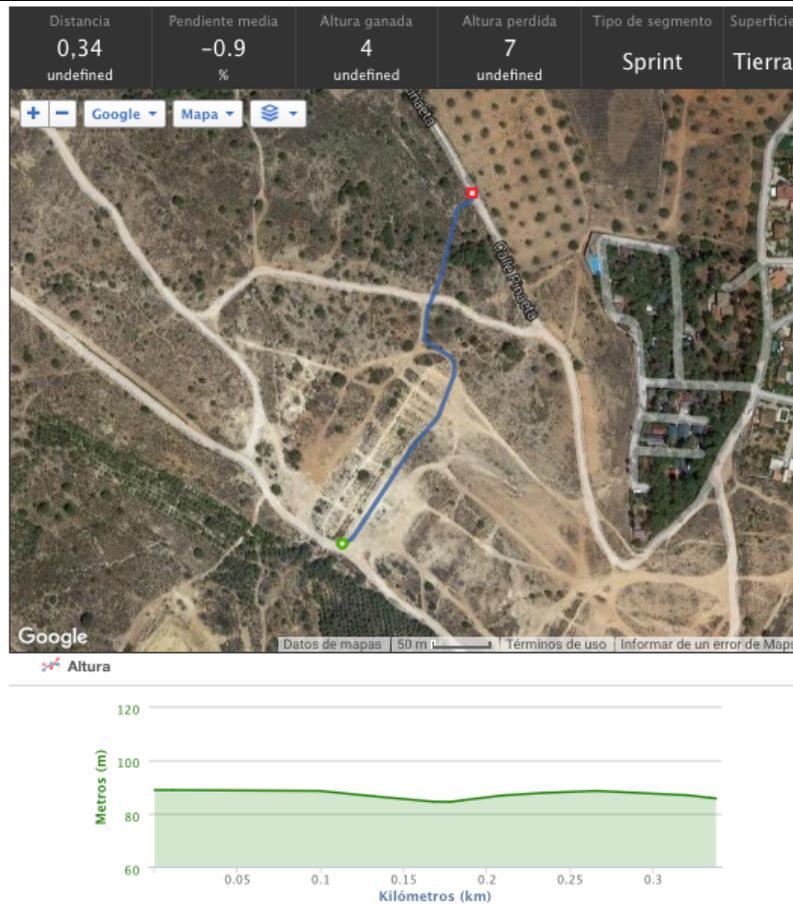


Figura 20. Segmento 3.

- Segmento 4: Ascenso 2.

Esta segunda subida, se correspondió en su primera parte por un tramo de carril bien definido de tierra compacta, de unos 2 m de anchura y 120 m de recorrido, con una inclinación prácticamente constante del 2,6%, ascendiendo 3 m, sumado a una segunda sección de senda estrecha, de 130 m con un 5,8% de inclinación media y 8 m de altura ganada, lo que supuso un recorrido total de 250 m y una ganancia de altura total de 11 m (figura 21)

(La mejor V_{med} fue de 17,81 km/h y el valor más alto de potencia se situó en 416 W de media).

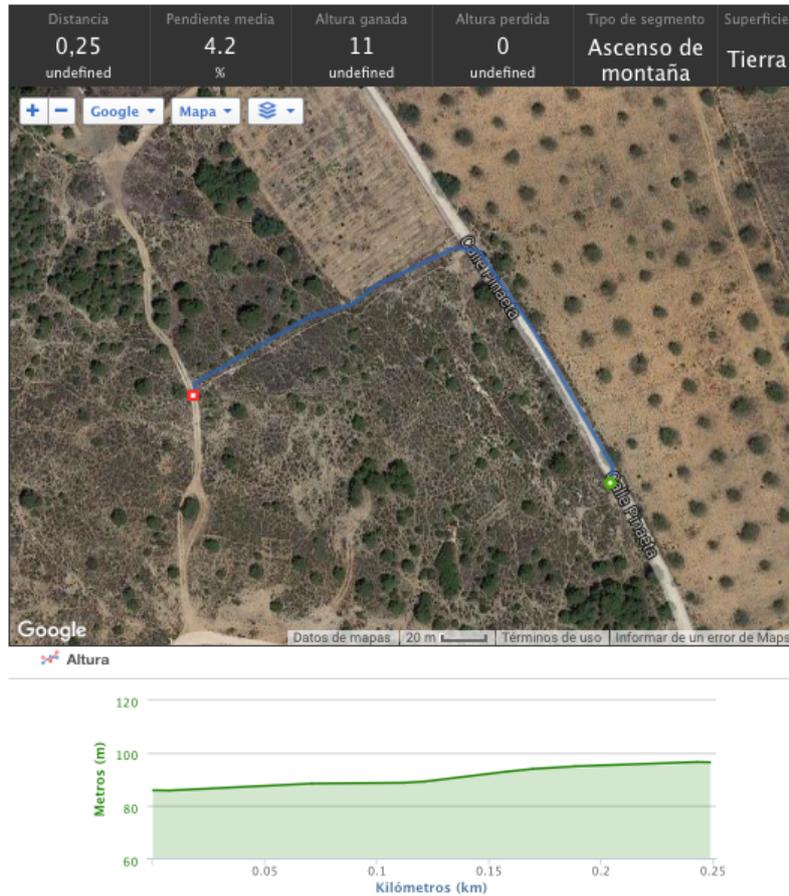


Figura 21. Segmento 4.

- Segmento 5: Descenso 2.

Este tramo, con una longitud de 100 m, transcurrió por carril de unos 2 m de ancho, de tierra compacta y limpio de piedras o materiales sueltos, con una ligera pendiente negativa de alrededor del 2%, perdiendo un total de 2 m de altura (figura 22) (la V_{med} máxima alcanzada fue de 22,96 km/h).

Material y métodos

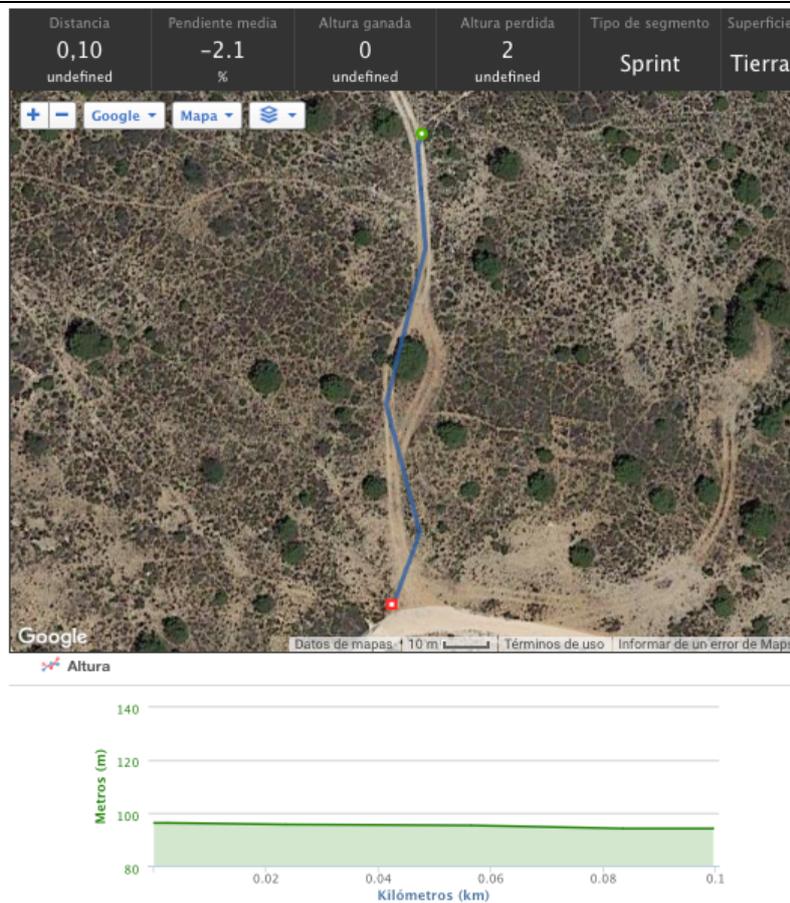


Figura 22: Segmento 5.

- Segmento 6: Ascenso 3.

Este fragmento del recorrido, se corresponde con la subida más liviana, con una inclinación media del 1% y un aumento de altura casi inapreciable, aunque al ser la última subida, los ciclistas notaron el relieve e incluso llegaban a ponerse de pie para aumentar la velocidad. Discurrió por pista ancha de unos 3 m, fragmentada por surcos pluviales de profundidad considerable, lo que provocó que los deportistas se decantaran por circular

por los márgenes más que por el centro (figura 23) (se alcanzó una V_{med} máxima de 24,89 km/h y una P_{med} máxima de 492 W).

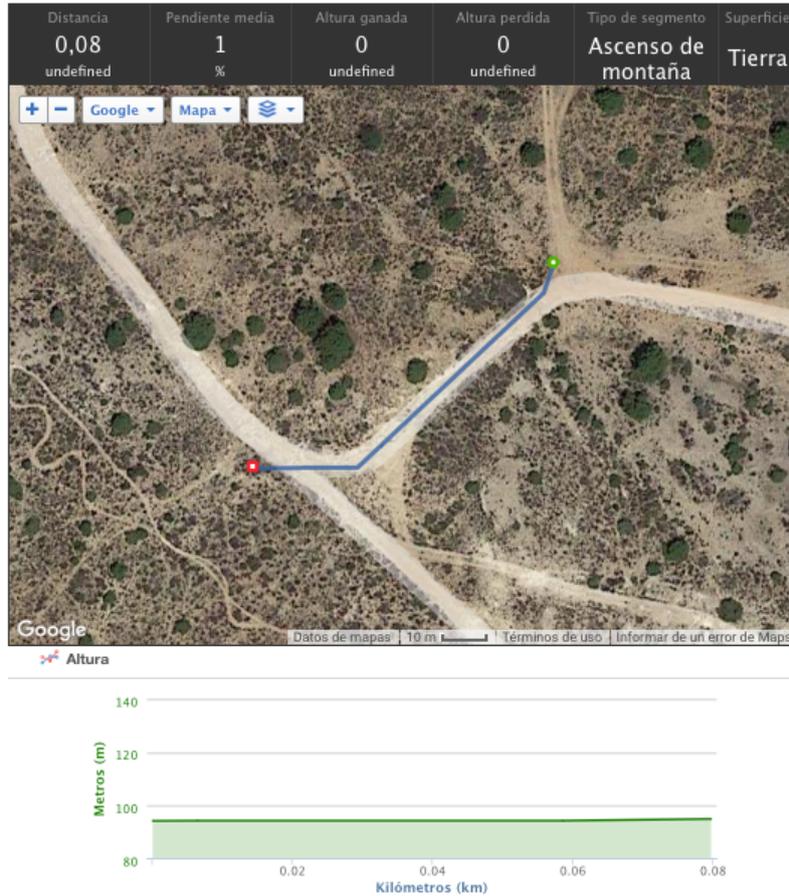


Figura 23: Segmento 6.

- Segmento 7: Llano 2.

Esta sección del recorrido, la más corta de todas, discurrió en su totalidad por un carril de unos 2 m de anchura, de tierra dura, pendiente media inapreciable (0,6%) y vegetación en la zona central, lo que provocó la decantación de los participantes por circular por una de las dos huellas (figura 24) (se alcanzó una V_{med} máxima de 22.49 km/h).

Material y métodos

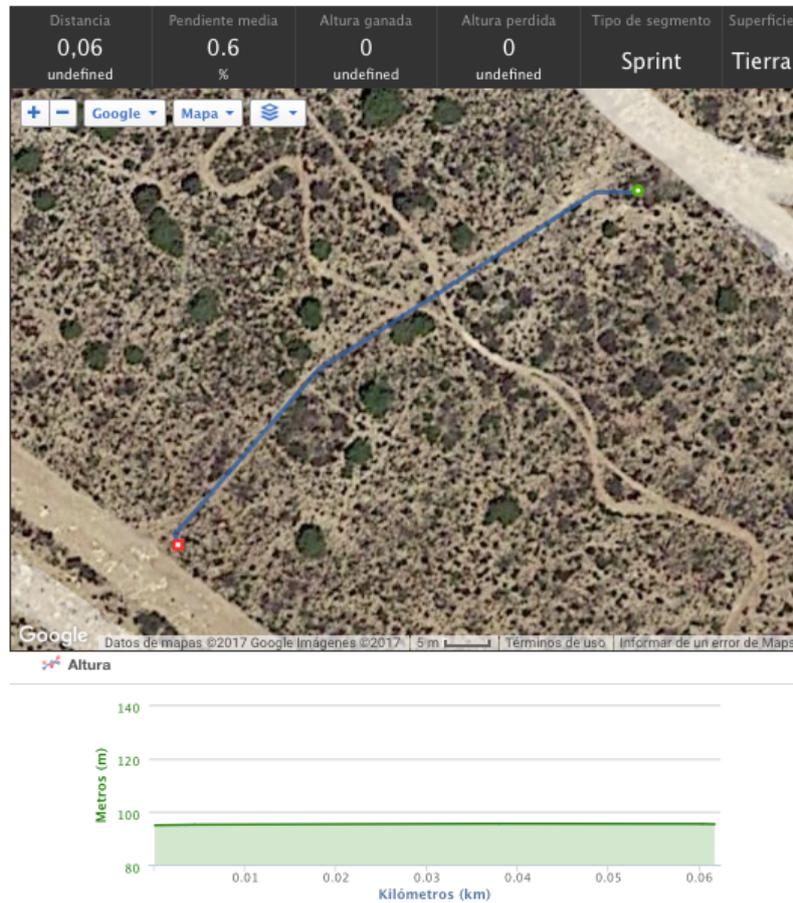


Figura 24: Segmento 7.

- Segmento 8: Descenso 3.

Último segmento del circuito, con un recorrido de 220 m, una ligera pendiente media del 1,9% y 4 m de desnivel negativo (figura 25) (fue el tramo más rápido, alcanzándose una V_{med} máxima de 28,35 km/h y V_{max} superiores a los 35 km/h).

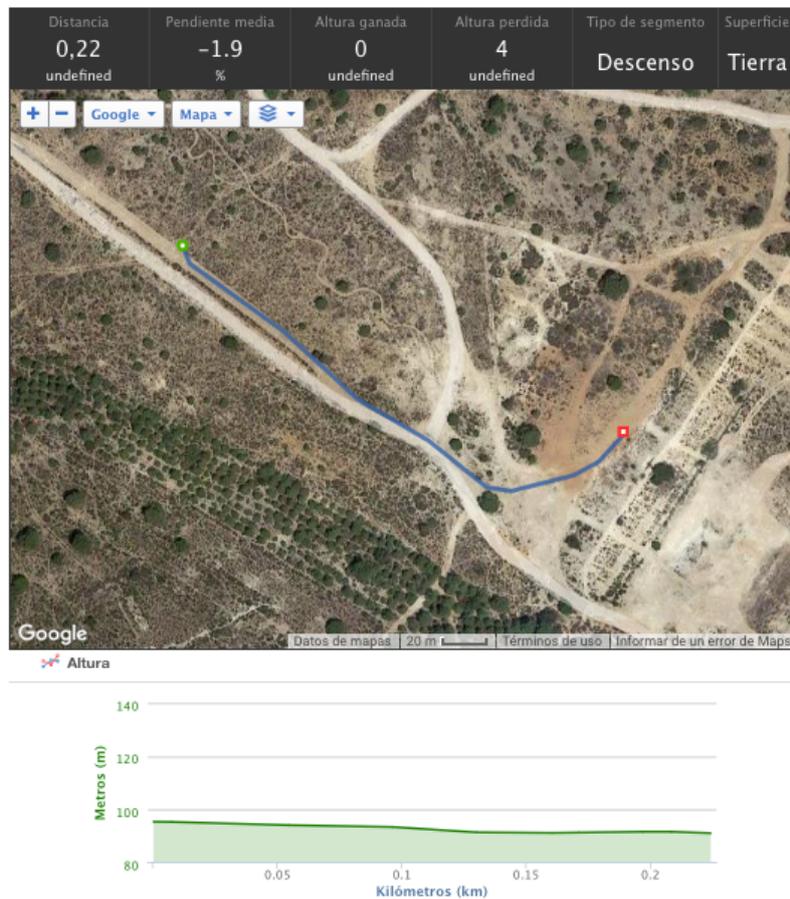


Figura 25: Segmento 8.

2.3.3 VARIABLES MEDIDAS EN CADA PRUEBA

En cuanto a las pruebas analíticas 3, 5, 6, 7, 8 y 9 se midió el tiempo, con precisión de milésimas de segundo utilizando las fotocélulas.

En la prueba 1 y 2, además del tiempo, se midió la vibración con los ACC en 8 puntos y a 3 ejes (X, Y, Z), con una frecuencia de muestreo de 100 Hz.

En la prueba 10, además de vibración y tiempo, se midió V_{med} , V_{max} , C_{med} , C_{max} , P_{med} , P_{max} , frecuencia cardíaca media (FC_{med}) y FC_{max} . Además de estas variables, el dispositivo GPS aportaba datos de altimetría (altura perdida y

Material y métodos

ganada), y distancia recorrida, datos que nos sirvieron para comprobar que la vuelta la habían realizado sin equivocarse de recorrido.

En la prueba 4, solo se midió la distancia, en metros enteros.

2.4. ANÁLISIS DE DATOS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se va a describir el análisis realizado de las señales de acelerometría, así como las variables extraídas de los diferentes instrumentales y que se utilizaron como variables dependientes en esta investigación.

En primer lugar, describiremos las variables que informan sobre el rendimiento y la eficacia de los ciclistas durante las pruebas. Estas variables se han seleccionado por su relevancia para alcanzar los objetivos de este estudio, y por su utilización y aceptación generalizada de su importancia por parte de la comunidad científica. En la tabla 5 se describen las variables y además se indica el instrumental empleado para su medición y las pruebas en las que fueron obtenidas.

Por lo que respecta a las señales de aceleración, fueron analizadas con el programa Matlab 2015 (Mathworks inc, Natick, MA, USA). En primer lugar, se calculó la aceleración resultante al combinar las aceleraciones producidas en los 3 ejes del espacio. Esto se realizó de esta forma porque durante la realización de las pruebas los ACC podían perder la orientación en el espacio (e.g., al inclinar la bicicleta para girar) y por tanto carecía de sentido clasificar los ejes como horizontal, vertical y antero-posterior. Al calcular el vector resultante (VR; ecuación 1) no se tiene en cuenta la posición del ACC, sino únicamente la magnitud total de la aceleración.

$$VR_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \quad \text{Ec (1)}$$

Tabla 5. Variables de rendimiento utilizadas en el estudio.

| Variable | Descripción | Instrumental | Pruebas |
|--|--|---|---------|
| Tiempo | Duración medida en milésimas de segundo en las pruebas analíticas y en segundos en el circuito CT. | - Chronojump® en las pruebas analíticas. - Garmin® Edge 520 en el circuito CT. | Todas |
| Distancia | Espacio recorrido en metros | Metros marcados previamente con cinta métrica. | 4 |
| Velocidad Media (V_{med}) | Relación entre el espacio recorrido y el tiempo empleado. | Garmin® Edge 520 | CT |
| Velocidad Máxima (V_{max}) | Máxima velocidad alcanzada durante el recorrido | Garmin® Edge 520 | CT |
| Cadencia Media (C_{med}) | Frecuencia con la que se realiza el pedaleo medida en rpm | Rotor® inpower REX 1.2, Garmin® Edge 520 | CT |
| Cadencia Máxima (C_{max}) | Mayor valor durante cada vuelta en rpm | Rotor® inpower REX 1.2, Garmin® Edge 520 | CT |
| Potencia Media (P_{med}) | promedio de W empleados para la realización del recorrido | Rotor® inpower REX 1.2, Garmin® Edge 520 | CT |
| Potencia Máxima (P_{max}) | máxima potencia alcanzada durante el transcurso de cada vuelta. | Rotor® inpower REX 1.2, Garmin® Edge 520 | CT |
| Frecuencia Cardiaca Media (FC_{med}) | valor medio de ppm registrado en el desarrollo de cada vuelta | Garmin® Edge 520 | CT |
| Frecuencia Cardiaca Máxima (FC_{max}) | valor máximo de ppm alcanzado en cada vuelta | Garmin® Edge 520 | CT |

Material y métodos

En segundo lugar, para eliminar los componentes derivados de la fuerza de la gravedad, las señales fueron filtradas con un filtro paso-alto con una frecuencia de corte de 0,25 Hz. A continuación, se seleccionaron de forma visual, contrastando la hora del ACC con la de realización de los test, los periodos de tiempo en los que los sujetos realizaron las diferentes pruebas y repeticiones. En cada uno de estos segmentos se calculó la raíz cuadrática media (RMS) para cuantificar la magnitud de las vibraciones experimentadas por los participantes. Además, se obtuvo la densidad espectral de potencia mediante la función “periodogram” utilizando una ventana “hanning” de la misma longitud que el segmento de datos utilizados. Una vez calculado el espectro, se calculó la frecuencia mediana. Además, se dividió en dos partes utilizando como umbral la máxima amplitud y la frecuencia de 5 Hz. En cada una de las partes del espectro se obtuvo la máxima amplitud y la frecuencia a la que se produjo. Esta división en dos partes del espectro se realizó porque se considera que en frecuencias por debajo de 5 Hz se producen las aceleraciones generadas por el propio individuo además de las vibraciones, pero por encima de 5 Hz solo se producen vibraciones y temblor fisiológico (Hines et al., 1987; Jäncke et al., 2004; Kay et al., 1991). De esta forma, se obtuvieron, en cierto grado, variables de aceleraciones que informan del desempeño del ciclista y otras que proporcionan información sobre la magnitud de las vibraciones. En la tabla 6 se describen las variables extraídas de las señales de aceleración.

Tabla 6. Variables extraídas de las señales de aceleración

| Variable | Descripción |
|-------------------|--|
| RMS | Raíz cuadrática media. Se calcula como la raíz cuadrada del promedio de los datos al cuadrado. |
| FR _{med} | Frecuencia mediana del espectro de frecuencias. Es la frecuencia que divide al espectro en dos partes con la misma energía cada una. |
| AMP ₁ | Máxima amplitud del espectro en frecuencias por debajo de los 5 Hz. |
| FR ₁ | Frecuencia a la que se produjo la máxima amplitud en el ancho de banda que va de los 0,25 a los 5 Hz. |
| AMP ₂ | Máxima amplitud del espectro en frecuencias por encima de los 5 Hz. |
| FR ₂ | Frecuencia a la que se produjo la máxima amplitud en el ancho de banda que va de los 5 a los 50 Hz. |

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SPSS 20 para Mac OSx® (IBM Inc., Chicago, IL, USA). En primer lugar, se obtuvieron estadísticos descriptivos básicos. Como medida de tendencia central se obtuvo la media y la mediana, mientras que como medida de dispersión se calcularon la desviación típica y el rango intercuartílico.

A continuación, y antes de realizar la estadística inferencial, se comprobó el supuesto de normalidad. Todas las variables de acelerometría cumplieron con el supuesto de normalidad, sin embargo, algunas de las variables de rendimiento no lo hicieron. Por tanto, para analizar el efecto del diámetro de la rueda sobre las vibraciones se utilizaron pruebas paramétricas. No obstante, para comprobar el efecto del diámetro de la rueda sobre las variables de rendimiento, se utilizaron pruebas no paramétricas.

Material y métodos

Por lo que respecta al análisis de las vibraciones, se aplicó un MANOVA de medidas repetidas para comprobar el efecto de la posición de los ACC (i.e., 8 posiciones diferentes) y el efecto del diámetro de la bicicleta (i.e., 26" y 29") sobre las variables dependientes (i.e., RMS, AMP₁, AMP₂, FR₁, FR₂, FR_{med}). El seguimiento de los contrastes multivariados se realizó mediante los contrastes univariados, que permitieron saber sobre cuáles de las variables dependientes en concreto se mostraba el efecto encontrado en los contrastes multivariados. Finalmente, el seguimiento de los contrastes univariados se realizó mediante comparaciones por pares con el ajuste de Bonferroni, para evitar el aumento de las posibilidades de cometer un error de tipo I.

Por lo que respecta a las variables de rendimiento durante las pruebas analíticas, se aplicaron pruebas de los rangos con signo de Wilcoxon. En este caso, debido a que las pruebas no paramétricas son más conservadoras, no se aplicó la corrección de Bonferroni. Sin embargo, se han proporcionado los valores de probabilidad de cada contraste para que el lector pueda aplicar dicho ajuste si quiere hacer una interpretación propia de los resultados.

Finalmente, las variables de rendimiento durante el circuito CT fueron analizadas de dos formas diferentes. En primer lugar, para obtener diferencias entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables de rendimiento durante la realización del circuito, se aplicaron pruebas de los rangos con signo de Wilcoxon. Además, para valorar si las diferencias encontradas entre las bicicletas dependen del perfil del circuito, se obtuvieron los valores de rendimiento para cada tipo de perfil. Es decir, cada una de las variables fue obtenida para los segmentos de ascenso (i.e., 3), los de descenso (i.e., 3) y los llanos (i.e., 2). Cada uno de los perfiles fue estudiado por separado, y se compararon los valores de las variables de rendimiento obtenidos con la bicicleta de 26" y la de 29". Estas

comparaciones fueron realizadas mediante la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. El nivel de significación se fijó en $p = 0,05$ en todos los análisis.



Participante realizando una de las pruebas

3. RESULTADOS

3.1 VIBRACIÓN PRUEBA 1

Se encontró un efecto del diámetro de la rueda sobre las variables dependientes ($F_{6,41} = 2,97$; $p = 0,017$, $\eta^2_p = 0,3$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable FR_2 ($F_{1,46} = 4,71$; $p = 0,035$; $\eta^2_p = 0,093$) y FR_{med} ($F_{1,46} = 12,36$; $p = 0,001$; $\eta^2_p = 0,21$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la tabla 7.

Tabla 7. Comparaciones entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables que informan sobre la aceleración durante el ascenso en superficie bacheada.

| | Bicicleta de 26" | Bicicleta de 29" |
|---|------------------|------------------|
| RMS ($m \cdot s^{-2}$) | 8,97 (0,2) | 8,98 (1,1) |
| AMP₁ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 59,63 (22,82) | 59,11 (23,45) |
| AMP₂ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 35,3 (13,45) | 37,37 (15,22) |
| FR₁ (Hz) | 3,33 (0,72) | 3,25 (0,68) |
| FR₂ (Hz) | 7,08 (1,6) * | 7,41 (1,7) |
| FR_{med} (Hz) | 8,11 (1,31) * | 8,53 (1,58) |

*Los datos están expresados en media (desviación típica). RMS = root mean square; AMP₁ = máxima amplitud del espectro por debajo de 5 Hz; AMP₂ = máxima amplitud del espectro por encima de 5 Hz; FR₁ = frecuencia en la que se produce AMP₁; FR₂ = frecuencia a la que se produce AMP₂; FR_{med} = frecuencia mediana. * Indica diferencias significativas entre las bicicletas ($p < 0,05$).*

Asimismo, se encontró un efecto de la posición del ACC sobre las variables dependientes ($F_{42,5} = 70,74$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,99$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{7,322} = 556,88$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,92$), AMP₁ ($F_{7,322} = 86,13$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,65$), AMP₂ ($F_{7,322} = 178,34$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,79$), FR₁ ($F_{7,322} = 45,18$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,5$), FR₂ ($F_{7,322} = 26,38$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,36$) y FR_{med} ($F_{7,322} = 170,68$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,79$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la figura 26.

Resultados

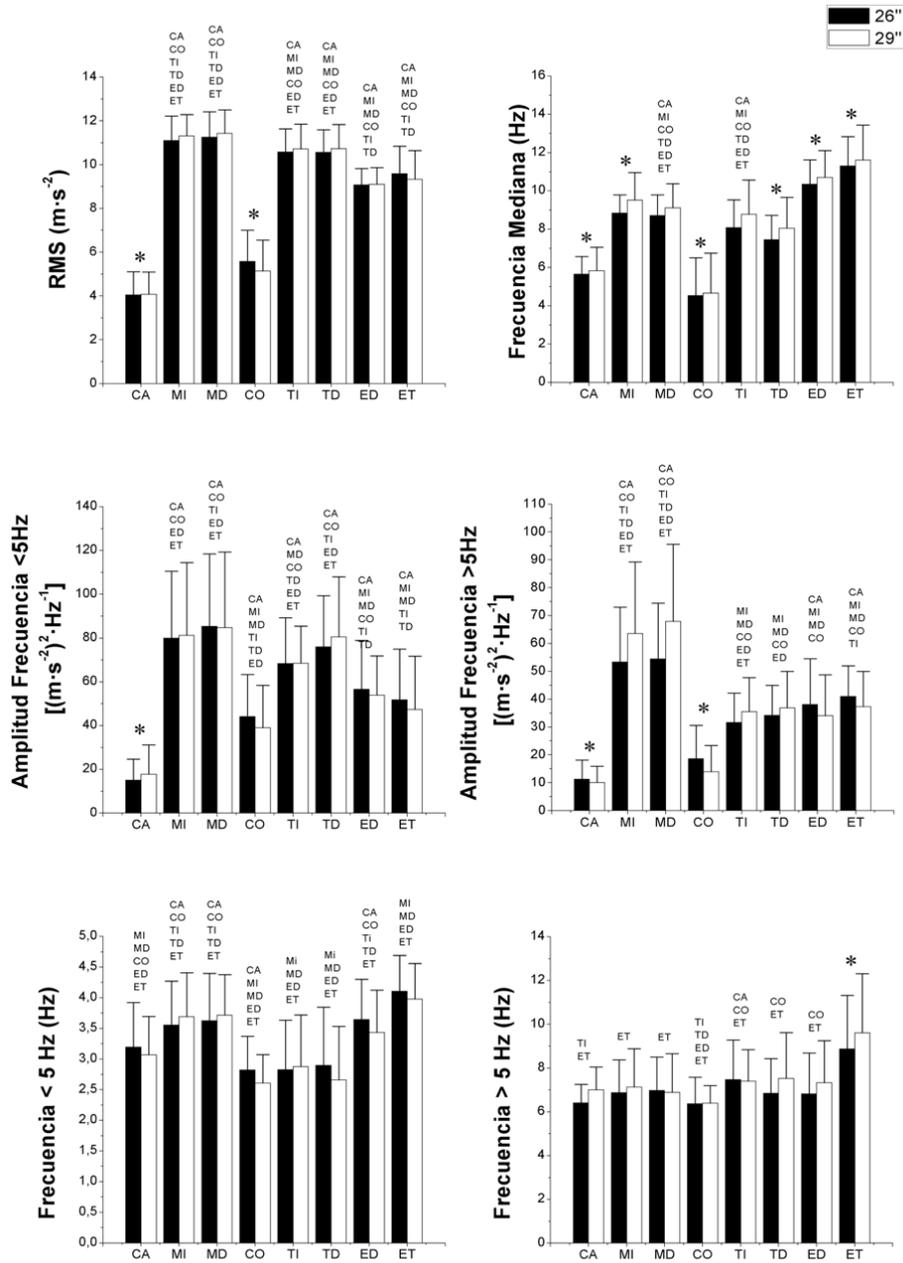


Figura 26. Comparaciones por pares entre las posiciones de los ACC para ambas bicicletas durante el ascenso sobre superficie bacheada. * indica diferencias significativas con el resto de ACC. CA indica diferencias significativas con el ACC del casco. CO indica diferencias significativas con el ACC del coxis. MI indica diferencias significativas con el ACC de la muñeca izquierda. MD indica diferencias

significativas con el ACC de la muñeca derecha. TD indica diferencias significativas con el ACC del tobillo derecho. TI indica diferencias significativas con el ACC del tobillo izquierdo. ET indica diferencias significativas con el ACC del eje trasero. ED indica diferencias significativas con el ACC del eje delantero.

3.2 VIBRACIÓN PRUEBA 2

Se encontró un efecto del diámetro de la rueda sobre las variables dependientes ($F_{6,41} = 5,39$; $p < 0,001$, $\eta^2_p = 0,44$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{1,46} = 14,66$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,24$), AMP_2 ($F_{1,46} = 5,88$; $p = 0,019$; $\eta^2_p = 0,11$) y FR_{med} ($F_{1,46} = 5,25$; $p = 0,027$; $\eta^2_p = 0,102$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la tabla 8.

Tabla 8. Comparaciones entre la bicicleta de 26” y la de 29” en las variables que informan sobre la aceleración durante el descenso en superficie bacheada.

| | Bicicleta de 26” | Bicicleta de 29” |
|---|------------------|------------------|
| RMS ($m \cdot s^{-2}$) | 10,04 (0,49) * | 10,16 (1,17) |
| AMP₁ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 75,72 (38,8) | 78,46 (40,52) |
| AMP₂ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 78,81 (38,76) * | 83,73 (39,69) |
| FR₁ (Hz) | 3,02 (0,31) | 3,05 (0,27) |
| FR₂ (Hz) | 6,84 (1,7) | 6,91 (1,72) |
| FR_{med} (Hz) | 9,18 (1,82) * | 9,03 (1,93) |

*Los datos están expresados en media (desviación típica). RMS = root mean square; AMP₁ = máxima amplitud del espectro por debajo de 5 Hz; AMP₂ = máxima amplitud del espectro por encima de 5 Hz; FR₁ = frecuencia en la que se produce AMP₁; FR₂ = frecuencia a la que se produce AMP₂; FR_{med} = frecuencia mediana. * Indica diferencias significativas entre las bicicletas ($p < 0,05$).*

Además, se encontró un efecto de la posición del ACC sobre las variables dependientes ($F_{42,5} = 185,2$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,99$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{7,322} = 381,98$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,89$), AMP_1 ($F_{7,322} = 58,09$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,56$), AMP_2 ($F_{7,322} = 84,09$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,65$), FR_1 ($F_{7,322} = 4,31$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,09$), FR_2 ($F_{7,322} = 9,75$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,17$) y FR_{med} ($F_{7,322} = 191,91$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,81$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la figura 27.

Resultados

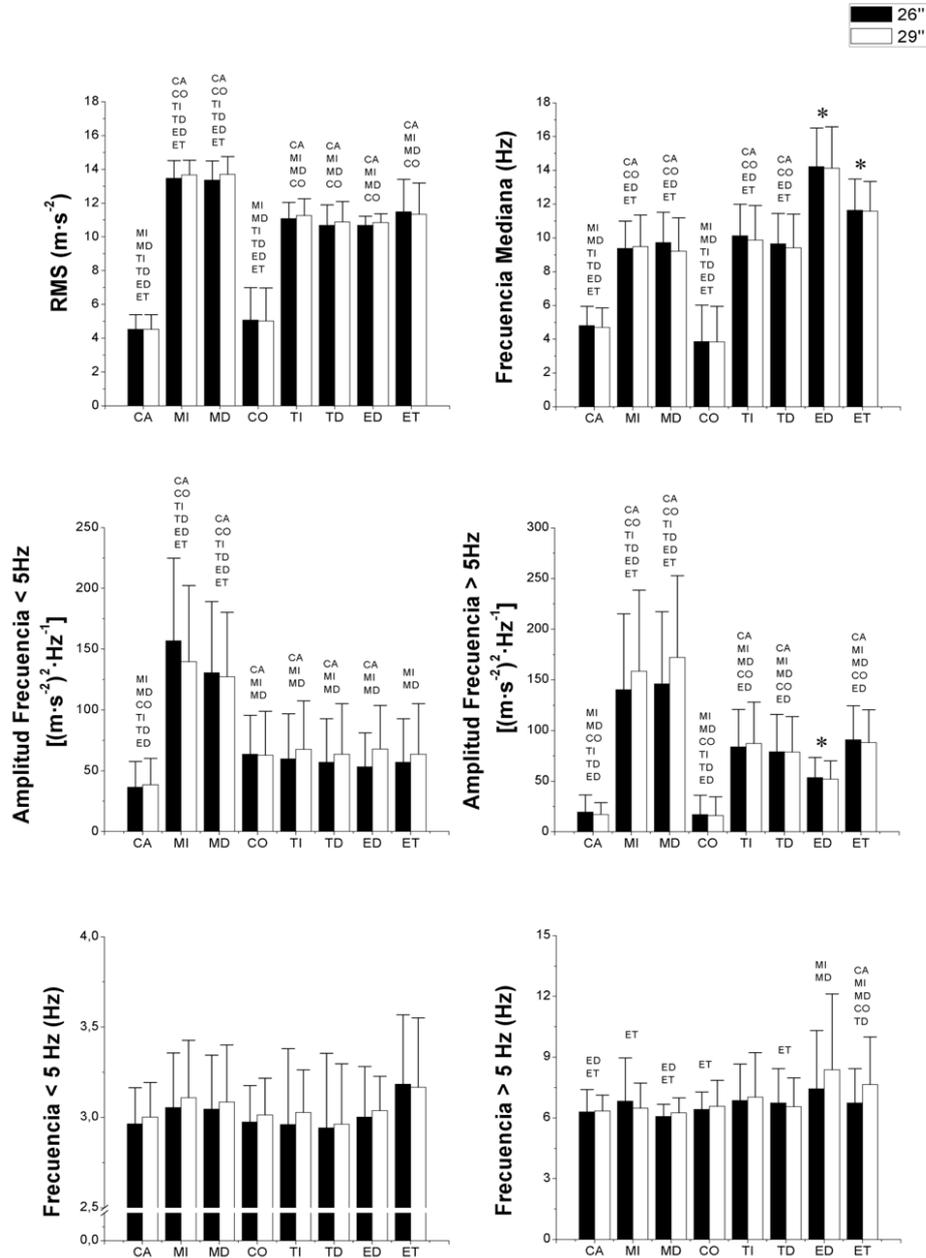


Figura 27. Comparaciones por pares entre las posiciones de los ACC para ambas bicicletas durante el descenso sobre superficie bacheada. * indica diferencias significativas con el resto de ACC. CA indica diferencias significativas con el ACC del casco. CO indica diferencias significativas con el ACC del coxis. MI indica diferencias significativas con el ACC de la muñeca izquierda. MD indica diferencias

significativas con el ACC de la muñeca derecha. TD indica diferencias significativas con el ACC del tobillo derecho. TI indica diferencias significativas con el ACC del tobillo izquierdo. ET indica diferencias significativas con el ACC del eje trasero. ED indica diferencias significativas con el ACC del eje delantero.

3.3 VIBRACIÓN CIRCUITO CT

Se encontró un efecto del diámetro de la rueda sobre las variables dependientes ($F_{6,47} = 6,63$; $p < 0,001$, $\eta^2_p = 0,46$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{1,52} = 13,04$; $p = 0,001$; $\eta^2_p = 0,2$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la tabla 9.

Tabla 9. Comparaciones entre la bicicleta de 26" y la de 29" en las variables que informan sobre la aceleración durante el circuito CT.

| | Bicicleta de 26" | Bicicleta de 29" |
|---|------------------|------------------|
| RMS ($m \cdot s^{-2}$) | 6,79 (1,45) * | 6,88 (1,45) |
| AMP₁ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 69,41 (26,21) | 68,89 (24,98) |
| AMP₂ ($m^2 \cdot s^{-4} \cdot Hz^{-1}$) | 18,54 (5,88) | 18,9 (5,85) |
| FR₁ (Hz) | 1,91 (0,4) | 1,92 (0,39) |
| FR₂ (Hz) | 9,35 (1,83) | 9,19 (1,81) |
| FR_{med} (Hz) | 9,6 (1,11) | 9,58 (1,06) |

*Los datos están expresados en media (desviación típica). RMS = root mean square; AMP₁ = máxima amplitud del espectro por debajo de 5 Hz; AMP₂ = máxima amplitud del espectro por encima de 5 Hz; FR₁ = frecuencia en la que se produce AMP₁; FR₂ = frecuencia a la que se produce AMP₂; FR_{med} = frecuencia mediana. * Indica diferencias significativas entre las bicicletas ($p < 0,05$).*

Además, se encontró un efecto de la posición del ACC sobre las variables dependientes ($F_{42,2184} = 42,71$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,45$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{7,364} = 614,64$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,92$), AMP₁ ($F_{7,364} = 327,11$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,86$), AMP₂ ($F_{7,364} = 213,66$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,8$), FR₁ ($F_{7,364} = 273,59$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,84$), FR₂ ($F_{7,364} =$

Resultados

179,0; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,77$) y FR_{med} ($F_{7,364} = 908,31$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,95$).

Las comparaciones por pares pueden observarse en la Tabla 10.

Tabla 10. Comparaciones entre las posiciones de los ACC durante el circuito CT.

| | RMS (m/s ²) | AMP₁ (m ² /s ⁴ /Hz) | AMP₂ (m ² /s ⁴ /Hz) | FR₁ (Hz) | FR₂ (Hz) | FR_{med} (Hz) |
|-----------|-----------------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| CA | 3,16 (1,53)* | 15,10 (6,81)* | 5,82 (5,64)* | 2,74 (0,62)* | 7,22 (1,61) | 5,34 (0,85) |
| | | | | | MI,MD,CO,TD, ED,ET | MI,MD,CO,TD, ED,ET |
| MI | 8,50 (1,9) | 39,94 (15,07) | 26,37 (7,84) | 1,47 (0,47) | 11,73 (2,57) | 13,15 (0,95)* |
| | CA,CO,TD,ED, ET | CA,TI,TD,ED,ET | CA,CO,TI,TD, ED,ET | CA,CO,ET | CA,CO,TI,TD | |
| MD | 8,30 (1,87) | 40,72 (15,92) | 25,18 (7,37) | 1,48 (0,48) | 10,86 (2,64) | 12,80 (0,93)* |
| | CA,CO,ED,ET | CA,TI,TD,ED,ET | CA,CO,TI,TD, ED,ET | CA,CO,ET | CA,CO,TI,TD, ED,ET | |
| CO | 4,26 (0,76)* | 37,77 (8,26) | 10,99 (2,48)* | 3,21 (0,46)* | 5,81 (1,54)* | 4,13 (1,26)* |
| | | CA,TI,TD,ED,ET | | | | |
| TI | 8,19 (0,9) | 184,68 (14,05) | 19,97 (4,43) | 1,43 (0,24) | 7,31 (0,42) | 6,96 (0,43)* |
| | CA,CO,TD,ED, ET | CA,MI,MD,CO, ED,ET | CA,MI,MD,CO | CA,CO,ED,ET | MI,MD,CO,ED, ET | |
| TD | 8,01 (1,64) | 192,15 (70,08) | 19,38 (6,48) | 1,43 (0,15) | 6,40 (2,63) | 5,87 (2,10) |
| | CA,MI,CO,TI, ED,ET | CA,MI,MD,CO, ED,ET | CA,MI,MD,CO | CA,CO,ED,ET | CA,MI,MD,CO, ED,ET | MI,MD,CO,TD, ED,ET |
| ED | 7,59 (1,39)* | 22,83 (6,40)* | 21,44 (5,91) | 1,7 (0,62) | 12,16 (1,66) | 14,89 (0,62)* |
| | | | CA,MI,MD,CO | CA,CO,TI,TD | CA,MD,CO,TI, TD | |
| ET | 6,67 (1,6)* | 20,03 (68,14)* | 20,63 (6,75) | 1,87 (0,14) | 12,69 (1,51) | 13,68 (1,54)* |
| | | | CA,MI,MD,CO | CA,MI,MD,CO, TI,TD | CA,MD,CO,TI, TD | |

Los datos están expresados en media (desviación típica). RMS = root mean square; AMP₁ = máxima amplitud del espectro por debajo de 5 Hz; AMP₂ = máxima amplitud del espectro por encima de 5 Hz; FR₁ = frecuencia en la que se

*produce AMP₁; FR₂ = frecuencia a la que se produce AMP₂; FR_{med} = frecuencia mediana. * indica diferencias significativas con el resto de ACC. CA indica diferencias significativas con el ACC del casco. CO indica diferencias significativas con el ACC del coxis. MI indica diferencias significativas con el ACC de la muñeca izquierda. MD indica diferencias significativas con el ACC de la muñeca derecha. TD indica diferencias significativas con el ACC del tobillo derecho. TI indica diferencias significativas con el ACC del tobillo izquierdo. ET indica diferencias significativas con el ACC del eje trasero. ED indica diferencias significativas con el ACC del eje delantero.*

Finalmente, se encontró un efecto de la interacción entre la posición del ACC y el diámetro de la rueda sobre las variables dependientes ($F_{42,2184} = 8,82$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,14$). Concretamente este efecto se presentó sobre la variable RMS ($F_{7,364} = 50,26$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,49$), AMP₁ ($F_{7,364} = 2,15$; $p = 0,038$; $\eta^2_p = 0,04$), AMP₂ ($F_{7,364} = 2,63$; $p = 0,012$; $\eta^2_p = 0,05$) y FR_{med} ($F_{7,364} = 28,75$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,36$). Las comparaciones por pares pueden observarse en la Figura 28.

3.4 RENDIMIENTO PRUEBAS ANALÍTICAS

Por lo que respecta al rendimiento que tuvieron los ciclistas durante las pruebas analíticas, se observaron algunas diferencias significativas entre la bicicleta de 26" y la de 29". Concretamente, el rendimiento fue mayor en la bicicleta de 29" en las pruebas adaptación al giro (prueba 3) y aceleración sobre superficie de buena adherencia (prueba 7). Sin embargo, el rendimiento fue mayor en la bicicleta de 26" que en la de 29" en las pruebas descenso sobre superficie homogénea (prueba 6) y en el eslalon lineal con conos (prueba 9). En la tabla 11 y 12 se muestran los descriptivos de dichas comparaciones.

Resultados

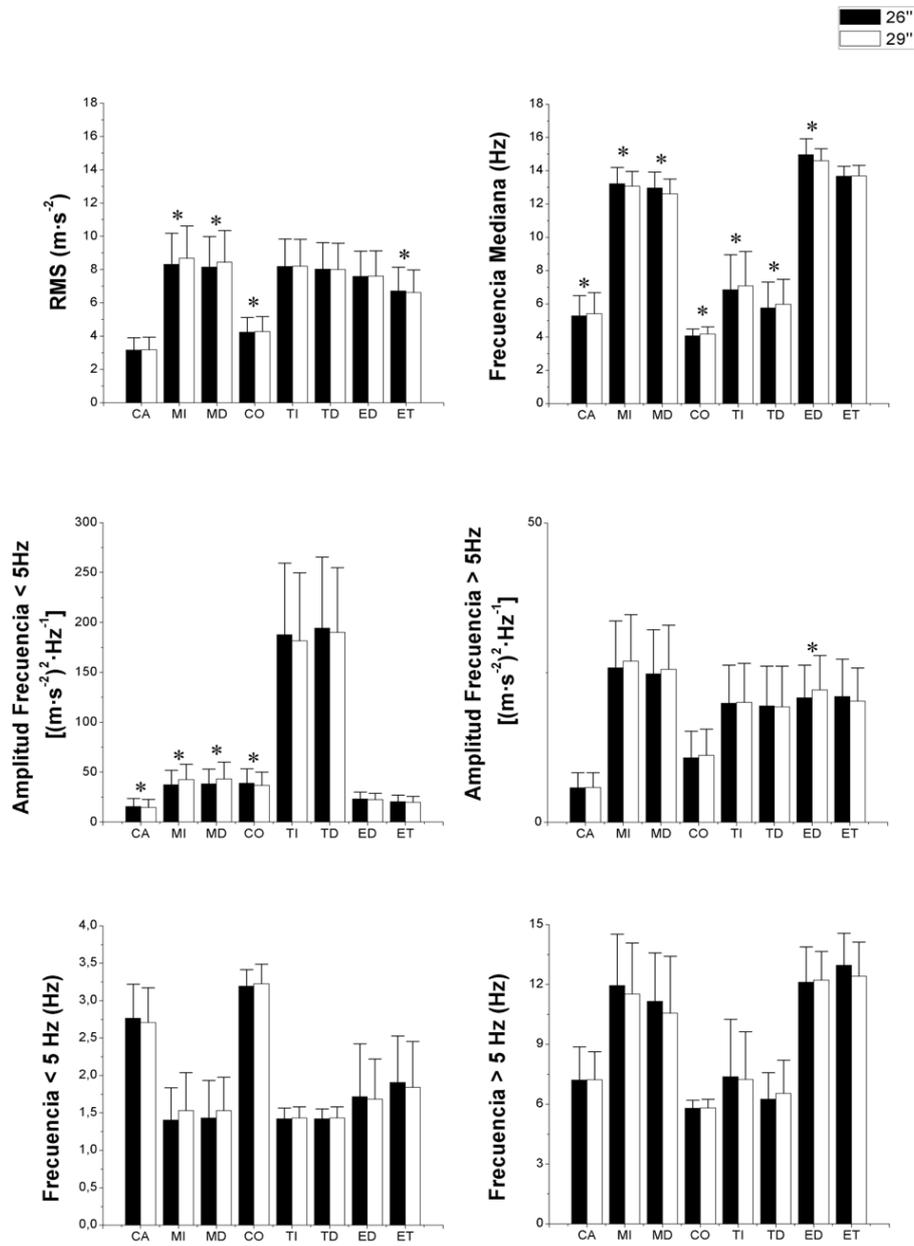


Figura 28. Comparaciones por pares entre las bicicletas en función de la posición de colocación de los ACC.

* indica diferencias significativas entre bicicletas.

Tabla 11. Comparaciones entre los tiempos de realización de las pruebas analíticas.

| | | Tiempo (s) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|---|----------------|------------|-------|---------|---------|---------|
| | | 26" | 29" | | | |
| 1 | <i>Media</i> | 14,54 | 14,43 | -0,99 | 0,32 | -0,14 |
| | <i>Mediana</i> | 14,66 | 14,01 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,83 | 2,18 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 2,37 | 2,78 | | | |
| 2 | <i>Media</i> | 12,35 | 12,40 | -0,85 | 0,39 | -0,12 |
| | <i>Mediana</i> | 12,30 | 12,32 | | | |
| | <i>SD</i> | 0,87 | 0,64 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 0,86 | 0,89 | | | |
| 3 | <i>Media</i> | 22,89 | 22,70 | -2,42 | 0,015 | -0,35 |
| | <i>Mediana</i> | 23,34 | 23,07 | | | |
| | <i>SD</i> | 3,96 | 3,89 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 3,18 | 2,75 | | | |
| 5 | <i>Media</i> | 7,68 | 7,65 | -1,58 | 0,11 | -0,23 |
| | <i>Mediana</i> | 7,92 | 7,88 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,72 | 1,70 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 0,95 | 0,89 | | | |
| 6 | <i>Media</i> | 12,97 | 13,05 | -2,73 | 0,006 | -0,39 |
| | <i>Mediana</i> | 13,52 | 13,62 | | | |
| | <i>SD</i> | 2,71 | 2,73 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 0,31 | 0,27 | | | |
| 7 | <i>Media</i> | 6,91 | 6,86 | -2,67 | 0,008 | -0,38 |
| | <i>Mediana</i> | 7,06 | 7,07 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,50 | 1,49 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 0,57 | 0,45 | | | |
| 8 | <i>Media</i> | 6,86 | 6,83 | -1,24 | 0,21 | -0,18 |
| | <i>Mediana</i> | 7,05 | 7,01 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,50 | 1,49 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 0,64 | 0,50 | | | |
| 9 | <i>Media</i> | 5,35 | 5,55 | -3,59 | <0,001 | -0,51 |
| | <i>Mediana</i> | 5,50 | 5,70 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,40 | 1,54 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 1,25 | 1,46 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.

Resultados

Tabla 12. Comparación en la distancia recorrida en la prueba estabilidad/precisión.

| | Distancia (m) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|---------|---------------|-------|---------|---------|---------|
| | 26" | 29" | | | |
| Media | 28,50 | 29,07 | | | |
| Mediana | 30,67 | 23,33 | | | |
| 4 SD | 16,67 | 19,32 | -0,11 | 0,91 | -0,02 |
| RIQ | 25,17 | 33,17 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.

3.5 RENDIMIENTO CIRCUITO CT VUELTA COMPLETA

Por lo que respecta a las variables de rendimiento durante el circuito CT, se encontraron diferencias significativas entre la bicicleta de 26" y la de 29". Como puede observarse en la tabla 13, con la bicicleta de 29" se obtuvieron valores más altos en la V_{med} , FC_{med} y la FC_{max} .

3.6 RENDIMIENTO CIRCUITO CT SEGMENTOS

Por lo que respecta a las diferencias entre las bicicletas en función del perfil del terreno durante el circuito CT, se encontraron diferencias significativas en los segmentos de ascenso y llano. Durante el ascenso, la bicicleta de 29" ha mostrado una V_{med} y FC_{med} más alta ($p < 0,05$). Sin embargo, la C_{med} fue más alta con la bicicleta de 26" (tabla 14).

Tabla 13. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante el circuito CT.

| | | Tiempo (s) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|-------------------|----------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | | 26'' | 29'' | | | |
| V _{med} | <i>Media</i> | 15,74 | 15,92 | -4,03 | <0,001 | -0,14 |
| | <i>Mediana</i> | 15,63 | 15,97 | | | |
| | <i>SD</i> | 1,98 | 1,95 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 2,57 | 2,64 | | | |
| V _{max} | <i>Media</i> | 29,76 | 29,52 | -0,69 | 0,49 | -0,12 |
| | <i>Mediana</i> | 29,43 | 29,73 | | | |
| | <i>SD</i> | 3,09 | 2,27 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 3,10 | 2,79 | | | |
| FC _{med} | <i>Media</i> | 167,19 | 167,84 | -2,43 | 0,015 | -0,35 |
| | <i>Mediana</i> | 169,67 | 169,67 | | | |
| | <i>SD</i> | 11,99 | 11,76 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 15,83 | 16,17 | | | |
| FC _{max} | <i>Media</i> | 179,81 | 180,55 | -2,62 | 0,009 | -0,23 |
| | <i>Mediana</i> | 181,00 | 182,00 | | | |
| | <i>SD</i> | 10,51 | 10,52 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 17,00 | 14,83 | | | |
| P _{med} | <i>Media</i> | 249,49 | 248,85 | -0,022 | 0,98 | -0,39 |
| | <i>Mediana</i> | 241,67 | 249,67 | | | |
| | <i>SD</i> | 45,74 | 45,70 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 65,17 | 67,83 | | | |
| P _{max} | <i>Media</i> | 571,40 | 564,89 | -0,46 | 0,64 | -0,38 |
| | <i>Mediana</i> | 574,00 | 549,67 | | | |
| | <i>SD</i> | 109,81 | 100,32 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 140,34 | 115,00 | | | |
| C _{med} | <i>Media</i> | 78,33 | 77,84 | -1,78 | 0,07 | -0,18 |
| | <i>Mediana</i> | 77,67 | 77,67 | | | |
| | <i>SD</i> | 8,11 | 7,97 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 10,16 | 9,84 | | | |
| C _{max} | <i>Media</i> | 109,99 | 108,85 | -1,34 | 0,18 | -0,51 |
| | <i>Mediana</i> | 108,67 | 106,33 | | | |
| | <i>SD</i> | 12,06 | 10,82 | | | |
| | <i>RIQ</i> | 16,84 | 10,33 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.

Resultados

Tabla 14. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de ascenso en el circuito CT.

| | | Tiempo (s) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|-------------------|----------------|-------------------|--------|----------------|----------------|----------------|
| | | 26'' | 29'' | | | |
| V _{med} | <i>Media</i> | 14,19 | 14,37 | | | |
| | <i>Mediana</i> | 14,09 | 14,68 | | | |
| | <i>SD</i> | 2,14 | 2,12 | -2,85 | 0,004 | -0,28 |
| | <i>RIQ</i> | 2,78 | 2,61 | | | |
| FC _{med} | <i>Media</i> | 171,81 | 172,58 | | | |
| | <i>Mediana</i> | 174,00 | 174,00 | | | |
| | <i>SD</i> | 11,07 | 11,09 | -2,84 | 0,005 | -0,28 |
| | <i>RIQ</i> | 15,28 | 15,33 | | | |
| P _{med} | <i>Media</i> | 279,82 | 279,62 | | | |
| | <i>Mediana</i> | 271,56 | 281,33 | | | |
| | <i>SD</i> | 54,76 | 54,45 | -0,022 | 0,98 | -0,002 |
| | <i>RIQ</i> | 76,44 | 84,17 | | | |
| C _{med} | <i>Media</i> | 77,70 | 76,83 | | | |
| | <i>Mediana</i> | 78,89 | 77,89 | | | |
| | <i>SD</i> | 9,86 | 10,05 | -2,08 | 0,037 | -0,20 |
| | <i>RIQ</i> | 14,56 | 15,11 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.

Sin embargo, como puede apreciarse en la tabla 15, no se encontraron diferencias significativas entre las bicicletas en ninguna de las variables estudiadas durante el descenso.

Tabla 15. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de descenso en el circuito CT.

| | | Tiempo (s) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|-------------------|---------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | | 26" | 29" | | | |
| V _{med} | Media | 19,30 | 19,46 | | | |
| | Mediana | 19,09 | 19,36 | | | |
| | SD | 1,62 | 1,41 | -1,82 | 0,07 | -0,18 |
| | RIQ | 2,09 | 2,26 | | | |
| FC _{med} | Media | 169,70 | 170,17 | | | |
| | Mediana | 173,11 | 172,11 | | | |
| | SD | 11,40 | 9,23 | -0,96 | 0,34 | -0,09 |
| | RIQ | 12,28 | 14,28 | | | |
| P _{med} | Media | 120,69 | 117,29 | | | |
| | Mediana | 122,11 | 114,11 | | | |
| | SD | 38,89 | 32,09 | -1,34 | 0,18 | -0,13 |
| | RIQ | 63,83 | 47,83 | | | |
| C _{med} | Media | 51,75 | 51,20 | | | |
| | Mediana | 52,00 | 50,67 | | | |
| | SD | 12,58 | 11,22 | -0,5 | 0,62 | -0,05 |
| | RIQ | 16,83 | 16,94 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.

Por último, durante los segmentos llanos la bicicleta de 29" obtuvo una mayor V_{med} y una mayor FC_{med} que la bicicleta de 26". Los estadísticos descriptivos, así como los parámetros de las comparaciones, pueden observarse en la tabla 16.

Resultados

Tabla 16. Comparaciones entre las bicicletas en las variables de rendimiento durante los segmentos de llano en el circuito CT.

| | | Tiempo (s) | | z-valor | p-valor | r-valor |
|------------|---------|-------------------|--------|----------------|----------------|----------------|
| | | 26'' | 29'' | | | |
| V_{med} | Media | 17,71 | 17,98 | | | |
| | Mediana | 17,92 | 17,93 | | | |
| | SD | 2,08 | 2,09 | -3,96 | <0,001 | -0,38 |
| | RIQ | 2,84 | 2,66 | | | |
| FC_{med} | Media | 170,17 | 171,03 | | | |
| | Mediana | 172,00 | 173,17 | | | |
| | SD | 12,28 | 12,03 | -2,55 | 0,011 | -0,25 |
| | RIQ | 15,00 | 15,58 | | | |
| P_{med} | Media | 166,16 | 165,65 | | | |
| | Mediana | 162,50 | 161,00 | | | |
| | SD | 37,48 | 36,84 | -0,04 | 0,97 | -0,004 |
| | RIQ | 54,92 | 50,50 | | | |
| C_{med} | Media | 62,93 | 62,83 | | | |
| | Mediana | 63,33 | 61,83 | | | |
| | SD | 8,71 | 9,02 | -0,14 | 0,89 | -0,013 |
| | RIQ | 11,00 | 11,92 | | | |

SD = desviación típica; RIQ= rango intercuartílico.



Autor principal del trabajo discutiendo los resultados con un ciclista

4. DISCUSIÓN

Nuestro estudio ha sido el primero en el que se han comparado dos bicicletas equivalentes en todos los aspectos excepto en el diámetro de la rueda sin realizar ninguna modificación o adaptación al montaje original, para comprobar si este factor influye en las vibraciones que llegan al deportista como resultado de las superficies irregulares, así como sobre el rendimiento que se genera en pruebas de diferente índole, tanto en gestos aislados como en un circuito similar al de una prueba CT. En general, hemos observado que el diámetro de la rueda influye sobre estos parámetros. Concretamente, se han observado vibraciones más bajas en la bicicleta de 26" así como un menor rendimiento en la mayoría de las pruebas.

Debido a la gran cantidad de resultados incluidos en este trabajo, se ha decidido realizar una discusión dividida en sub-apartados en los que se proporcionará información sobre cada una de las pruebas realizadas. Se comenzará por el análisis de vibraciones, aspecto más relacionado con el área de salud, para pasar después al rendimiento deportivo.

4.1. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

4.1.1. PRUEBA 1, ASCENSO SOBRE SUPERFICIE BACHEADA

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en la frecuencia FR_2 , frecuencia mayor de 5 Hz y en la FR_{med} , frecuencia mediana lo que está en línea con los resultados reportados en la investigación realizada por Macdermid et al., (2014), quien indica que las bicicletas de 29" amortiguan menos las vibraciones y, en consecuencia, estas llegan más acentuadas al cuerpo del ciclista.

Además, se encontró un efecto en la posición de los ACC sobre las variables dependientes RMS, AMP_1 , AMP_2 , FR_1 , FR_2 y FR_{med} . Cabe destacar que las

Discusión

diferencias encontradas entre las diferentes posiciones fueron las mismas para ambas bicicletas. La aceleración de las muñecas fue muy alta durante esta prueba posiblemente debido al braceo que generan los ciclistas para acelerar la bicicleta. Además, las aceleraciones más bajas se obtuvieron en la cabeza y el coxis indicando que se produce una absorción de las vibraciones por parte del cuerpo desde los puntos de contacto con la bicicleta hasta dichas posiciones. Es también destacable que la FR_{med} más alta se encontró en los ACC situados en la bicicleta. Este incremento de la FR_{med} puede deberse a que estos ACC registran en mayor medida aceleraciones producidas por las vibraciones derivadas de la superficie y obstáculos.

Tras el análisis de los factores que influyen en la transmisión de vibraciones presentado en el estado del arte, este era un resultado esperable. Comparando dos ruedas de 26 y 29" que monten el mismo neumático, la rueda de mayor diámetro tiene un balón más pequeño (en proporción) y mayor volumen de aire, lo que ocasiona una mayor presión por cm^2 , que se traduce en una menor absorción de las irregularidades del terreno, debido a que el neumático sufre menor deformación (Macdermid et al., 2014; Steyn & Warnich, 2014). Este hecho coincide con la creencia popular de que las ruedas de 29" necesitan menor presión de aire, en comparación a las 26".

Cabe indicar que el artículo de Hurst, Atkins, et al., (2016), en su triple comparativa (26, 27.5 y 29"), no encontraron diferencias significativas en este parámetro. No obstante, esta discrepancia en el resultado podría explicarse por diferencias metodológicas, ya que emplearon bicicletas de doble suspensión, lo que podría contaminar el valor de las vibraciones que absorbe la bicicleta con respecto a las que se transmiten al ciclista. Además, se lastraron las bicicletas empleadas para igualar las masas, lo que, desde

nuestro punto de vista, se traduce en una manipulación inadecuada de la bicicleta.

4.1.2 PRUEBA 2, DESCENSO SOBRE SUPERFICIE BACHEADA

Al igual que en la prueba anterior, se encontraron diferencias significativas entre las dos bicicletas, siendo la 29" la que mayor vibración aporta al ciclista, con valores superiores en RMS y AMP₂. La justificación vendría a ser la misma: la cubierta de mayor diámetro sufre menor deformación y se adapta menos a los baches, lo que produce mayor vibración en el ciclista (Macdermid et al., 2014).

Del mismo modo que en la prueba anterior, se encontró un efecto de la posición de los ACC sobre las variables dependientes RMS, AMP₁, AMP₂, FR₁, FR₂ y FR_{med}. Cabe destacar que las diferencias encontradas entre las diferentes posiciones fueron las mismas para ambas bicicletas. Del mismo modo que en la prueba anterior, las aceleraciones más altas se produjeron en las muñecas. Sin embargo, en este caso los ciclistas no bracearon y por tanto estas aceleraciones se deben principalmente a las vibraciones producidas por la superficie bacheada. En este caso, el casco y el coxis volvieron a ser las posiciones en las que se registraron valores más bajos de aceleración.

4.1.3 CIRCUITO CT, VUELTA COMPLETA

En esta prueba de campo y al igual que en las pruebas analíticas de ascenso y descenso sobre superficie bacheada, se ha vuelto a demostrar que las bicicletas de 29" transmiten mayor vibración al ciclista en circuitos CT. En concreto, se observan diferencias significativas en la variable RMS, cuya magnitud es superior para la 29". Estos resultados van en la misma línea que los obtenidos por Macdermid et al., (2014), pero nuevamente van en desacuerdo con los resultados reportados por Hurst, Atkins, et al., (2016).

Discusión

No obstante, la comparativa con la literatura científica es complicada, debido a diferencias metodológicas importantes. Así, Macdermid et al., (2014), realiza las pruebas de campo con una única bicicleta de 29" y, a esta bicicleta, le instala un juego de ruedas de 26", para hacer la comparativa, podemos deducir que el nuestro es el primer estudio de campo que ha realizado una comparativa entre dos bicicletas de montaña de 26 y 29" equivalentes y con equipamiento inalterado. Cabe mencionar que el hecho de montar unas ruedas de 26" sobre un cuadro de 29" puede llegar a ser un procedimiento peligroso, según las indicaciones de los fabricantes e ingenieros, ya que, se puede producir golpes en el suelo con el pedal, debido a la baja altura del pedalier, al disminuir el tamaño de las ruedas. Evidentemente, el centro de masas también queda alterado. No obstante, el experimento demuestra que las ruedas, por sí solas, alteran la transmisión de la vibración al ciclista, resultado que concuerda con nuestro estudio.

En cuanto a la investigación de Hurst, Atkins, et al., (2016), podemos indicar que la utilización de bicicletas de doble suspensión, para medir la variable vibración, no es lo más adecuado. De hecho, bajo nuestro punto de vista, lo ideal para nuestro estudio habría sido instalar horquillas rígidas en ambas bicicletas, para aislar factores contaminantes. Cualquier elemento amortiguador instalado en la bicicleta, es un factor distorsionante para la medición de la vibración. No obstante, decidimos no alterar el producto del fabricante y aun así se pudo comprobar la magnitud de la variable y su relación con el diferente diámetro de rueda.

Por otro lado, consideramos que igualar las masas de las bicicletas no ha sido un procedimiento adecuado, desde nuestro punto de vista, pues las bicicletas de 29" son más pesadas que las de 26".

Con respecto a la colocación de los ACC en la bicicleta, consideramos que el punto de sujeción debía estar lo más cercano posible del centro de las ruedas, ya que son las que perciben los impactos en primera instancia. Por este motivo, instalamos ambos ACC lo más cerca posible de estos centros, sin que el movimiento de las ruedas pudiera alterar el registro. De este modo, consideramos que el registro de estos dispositivos, ha sido mucho más preciso que en el caso de Macdermid et al., (2014), puesto que colocaron el ACC delantero en el manillar, teniendo incluso un elemento amortiguador entre el centro de la rueda delantera y el manillar (horquilla con suspensión), lo que podría haber alterado en gran medida los valores obtenidos.

Del mismo modo, el ACC instalado en la tija, podría ser considerado un punto bastante distal con respecto al centro de la rueda trasera, a no ser que su principal objetivo hubiera sido medir el diferencial de vibración entre la tija y la zona baja de la espalda, cuantificando así la capacidad de absorción del sillín, glúteos y otras estructuras adjuntas, pero no hace referencia a este tipo de percepción en la discusión de su artículo.

En relación con este aspecto, utilizaron una disposición de ACC totalmente diferente: Gastrocnemio, Vasto Lateral, Bíceps Braquial y Tríceps Braquial, puesto que su objetivo era registrar la actividad muscular y no cuantificar la transmisión de la vibración, como en el caso de Macdermid et al., (2014) y en nuestro estudio.

4.1.4 ANÁLISIS DE LA VIBRACIÓN SEGÚN LA POSICIÓN DEL ACC

Se encontró un efecto de la posición del ACC sobre todas las variables dependientes RMS, AMP₁, AMP₂, FR₁, FR₂ y FR_{med}. Las diferencias

Discusión

encontradas entre las diferentes posiciones fueron las mismas para las dos bicicletas.

Además, podemos apreciar que los resultados son coincidentes a los de Macdermid et al., (2014). La vibración registrada por el ACC del casco y del coxis, han registrado valores inferiores que en el resto de puntos analizados como se ha observado en las dos pruebas descritas anteriormente. Por otro lado, se observó que los ACC colocados en la bicicleta fueron los que tuvieron una mayor FR_{med} . Este hecho se debe, posiblemente, a que en estas posiciones se registran en mayor medida las vibraciones producidas por el terreno que son de alta frecuencia tal y como hemos observado en las pruebas de subida y bajada bacheadas. Finalmente, se observa que la amplitud de las frecuencias bajas, que se corresponden en mayor medida con el movimiento voluntario, es más alta en los ACC colocados en los tobillos posiblemente debido al pedaleo de los participantes.

4.2 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

4.2.1 PRUEBA 1, ASCENSO SOBRE SUPERFICIE BACHEADA

En nuestra investigación, no se han encontrado diferencias significativas entre las dos condiciones de estudio. Dada la carencia de referencias bibliográficas al respecto, se puede hipotetizar sobre los motivos de este resultado: por un lado, la bicicleta de menor masa debería subir más rápido y, además, la rueda de menor diámetro se acelera con menos cantidad de energía que la de mayor diámetro, pero, por otro lado, la rueda de mayor diámetro debe pasar con mayor facilidad los obstáculos y, una vez acelerada, su mayor momento angular también debería ayudar a pasar los obstáculos con mayor facilidad. Por tanto, es probable que unos efectos y otros se hayan contrarrestado, lo que justificaría el resultado obtenido.

En cuanto a la hipotética mejor tracción de la 29" reportada por Steiner et al., (2015), debido a su huella más alargada, queda demostrado que no es así, al menos en el paso de escalones con cierto deslizamiento (piedra poco rugosa). De hecho, durante el desarrollo de las pruebas, la rueda de mayor diámetro denotó un mayor deslizamiento sobre esta superficie y sobre este tipo de obstáculos, aspecto razonable si pensamos en su menor deformación (Macdermid et al., 2014; Steyn & Warnich, 2014).

4.2.2 PRUEBA 2, DESCENSO SOBRE SUPERFICIE BACHEADA

Al igual que en el ascenso sobre superficie bacheada, no se han encontrado diferencias significativas para las dos condiciones de estudio y tampoco existe bibliografía con la que comparar los resultados. En este caso parece que el mejor paso de obstáculos de la 29" no ha sido superior a la mejor aceleración de la 26" en este tipo de segmentos con perfil descendente, ya que, así como en descenso sobre superficie homogénea (prueba 6) la BTT de 26" obtiene mejores tiempos, en el descenso bacheado no.

4.2.3 PRUEBA 3, ADAPTACIÓN AL GIRO SOBRE CÉSPED

Esta prueba, pionera en este campo, trata de medir el comportamiento en giro sobre superficie de alta resistencia a la rodadura (Bertucci et al., 2013) de forma aislada y el análisis estadístico muestra diferencias significativas a favor de la 29".

No es posible comparar con bibliografía en la que se haya realizado una prueba similar, pero los expertos indican que este tipo de acciones dependen de cuatro variables: el ángulo de la dirección (Martínez, 2012), el momento angular de la rueda (Randløv, Jette & Alstrøm, Preben, 1998), las dimensiones generales y la masa de la bicicleta (Berry et al., 2000; Ferraresi, Garibaldi, Perocchio, & Piombo, 1998; Zarzoso et al., 2014).

Discusión

Centrándonos en el primer factor, el ángulo de la dirección de las bicicletas empleadas es de $68,5^\circ$ para la 26" y de $69,5^\circ$ para la 29", lo que se considera ventajoso para la 29". Respecto del momento angular, este será mayor para la de 29", por lo que su capacidad de cambiar la trayectoria de la rueda delantera debería ser inferior. Con respecto a las dimensiones y a la masa de las bicicletas (tabla 17), cabe pensar que la de 26" es más favorable a la hora de hacer giros.

Tabla 17. Comparativa entre geometrías de la Commençal® Supernormal 2013 de 26" vs 29"

| Geometría | 26" | 29" | Mejor |
|-----------------------------------|---------|---------|-------|
| Longitud del tubo del sillín | 450 mm | 450 mm | = |
| Longitud del tubo de la dirección | 120 mm | 110 mm | 29" |
| Longitud de ejes | 1083 mm | 1092 mm | 26" |
| Longitud del tubo superior | 580 mm | 595 mm | 26" |
| Longitud de la vaina | 425 mm | 440 mm | 26" |
| Altura de la caja de pedalier | -30 mm | -60 mm | 26" |
| Longitud de la horquilla | 490 mm | 510 mm | 26" |
| Masa | 10,8 kg | 11,5 kg | 26" |

Parece que ni el mayor momento angular de las ruedas, ni las mayores dimensiones, ni la mayor masa de la bicicleta de 29", le han restado rendimiento. Esto podría ser justificado por la baja velocidad alcanzada durante el recorrido, ya que, el momento angular es proporcional a la velocidad de giro de la rueda y el hecho de ser giros tan pronunciados a velocidad baja, puede ser el motivo de que la mayor estabilidad (debido a su mayor longitud de ejes) y el ángulo de dirección mayor (69,5° vs 68,5°) de la 29" hayan sido factores a su favor. Aunque cabe pensar que ha sido otro el principal motivo que ha podido contribuir en el resultado, ya que, la superficie donde se ha desarrollado la prueba, ha sido césped. Teniendo en cuenta que según Bertucci et al., (2013), la resistencia a la rodadura sobre esta superficie se corresponde al $65 \pm 7\%$ de la totalidad de las resistencias, cabe nombrarlo como el factor determinante, para el resultado obtenido.

4.2.4 PRUEBA 4, ESTABILIDAD/PRECISIÓN

No se han encontrado diferencias significativas en nuestras mediciones y no existen estudios con los que comparar. No obstante, tanto entre los usuarios como en literatura no científica, se suele asumir que la bicicleta de 29" debería comportarse mejor en una prueba de estas características.

Cabe pensar que los factores que influyen en la estabilidad y la precisión de la bicicleta (longitud de ejes, altura de pedaliar, altura del centro de gravedad, masa, fricción del neumático...) están compensados, lo que justificaría el resultado obtenido.

4.2.5 PRUEBA 5, ASCENSO SOBRE SUPERFICIE HOMOGÉNEA

Una vez más, no se han encontrado diferencias significativas para un ascenso con pendiente del 12 % y 50 m de longitud. Cabría esperar un mejor registro para la bicicleta de 26", pues es más ligera y las ruedas de menor

Discusión

tamaño deberían permitir una más rápida aceleración, pero los resultados no lo han corroborado. Por su parte, la huella más alargada de la 29" podría aportar mejor tracción (Steiner et al., 2015). Podemos hipotetizar que se han compensado ambos factores, la mejor aceleración de la 26" con la mejor tracción de la 29".

4.2.6 PRUEBA 6, DESCENSO SOBRE SUPERFICIE HOMOGÉNEA

Esta prueba, se realizó sobre la misma rampa que la prueba 5, pero en sentido inverso y, en este caso, los resultados sí que han mostrado diferencias significativas a favor de la bicicleta de 26".

A día de hoy no hay ningún estudio con el que poder comparar este resultado, pero el razonamiento de que en un descenso corto (50 m) y únicamente con la acción de la gravedad, la bicicleta más ligera y con ruedas de menor diámetro debería acelerarse antes que una más pesada y con ruedas de mayor diámetro, podría explicar este resultado.

4.2.7 PRUEBA 7, ACELERACIÓN SOBRE SUPERFICIE DE BUENA ADHERENCIA

Para esta prueba se han encontrado diferencias significativas a favor de la bicicleta de 29". Parece que la mejor tracción de esta bicicleta (Steiner et al., 2015), ha sido un factor más importante que la mayor masa (Berry et al., 2000; Zarzoso et al., 2014) y el mayor momento de inercia (Steiner et al., 2015).

4.2.8 PRUEBA 8, ACELERACIÓN SOBRE SUPERFICIE DE BAJA ADHERENCIA

En este caso, no se encontraron diferencias significativas.

Según los estudios relacionados con la resistencia a la rodadura y con los componentes que afectan a la tracción del neumático (Steiner et al., 2015), la rueda de 29" debería aportar mejor tracción que la de 26". Sin embargo, en condiciones de baja adherencia, podemos hipotetizar que influye más la capacidad de deformación del neumático que las mínimas diferencias en cuanto a dimensiones de la huella. La cubierta de la rueda de 29" sufre una menor deformación (Macdermid et al., 2014; Steyn & Warnich, 2014), puesto que también tiene una menor resistencia a la rodadura (Bertucci et al., 2013; Di Prampero, 2000; Faria et al., 2005; Kyle, 2003; Steyn & Warnich, 2014; Whitt & Wilson, 1982) y mayor presión por cm^2 , con lo que podemos llegar a pensar que la bicicleta de 29" no tiene tal ventaja, lo que viene a reflejarse en el resultado obtenido, desmitificando la creencia popular de que las bicicletas de 29" tienen una tracción superior en terreno de baja adherencia, por tener una huella más alargada (Steiner et al., 2015). Este resultado coincide con el obtenido en el ascenso sobre superficie bacheada (prueba 1), lo que nos sugiere una mayor certeza a la hora de sugerir que las ruedas de 29" no poseen mejor tracción.

4.2.9 PRUEBA 9, ESLALON

Los resultados muestran que la bicicleta de 26" es más rápida en este tipo de movimiento, coincidiendo con los resultados esperados. Este eslalon lineal de 10 conos no tiene referencia de estudios anteriores, pero el resultado obtenido era esperable debido a que las ruedas de 26" tienen menor momento angular (Kyle, 2003; Steiner et al., 2015), lo que hace que los cambios de dirección consecutivos y con poca distancia de separación sean más ágiles. Relacionando esta prueba con la número 3 (adaptación al giro sobre césped), cabe pensar que la BTT de 26" es más ágil en este tipo de

Discusión

recorridos, pero la resistencia a la rodadura es también un factor determinante.

4.2.10 PRUEBA 10, CIRCUITO CT

4.2.10.1 Vuelta completa

Se han encontrado diferencias significativas para algunas de las variables estudiadas. En concreto, se obtuvieron valores más altos en la V_{med} , FC_{med} y la FC_{max} para la bicicleta de 29”.

Con respecto a la variable referente a la velocidad (V_{med}), podemos apreciar que la bicicleta de 29” ha sido un 1,13% más rápida que la 26” (0,18 km/h), resultado que coincide con los de Macdermid et al., (2014), Steiner et al., (2015) y Taylor et al., (2016), pero que contrasta con los de Hurst, Sinclair, et al., (2016).

En el caso de las variables de carácter fisiológico (FC_{med} y FC_{max}), las diferencias han sido de 0,38% mayor para la 29” (FC_{med} : 167,19 ppm para la 26” vs 167,84 ppm para la 29”) y 0,41% mayor para la 29” (FC_{max} : 179,81 ppm para la 26” vs 180,55 ppm para la 29”). Estas pequeñas diferencias, podrían justificarse por la mayor demanda muscular de la 29” relacionada con la mayor vibración (Hurst et al., 2012; Hurst & Atkins, 2006; Macdermid et al., 2015; Mester et al., 1999; Titlestad et al., 2003; Wakeling et al., 2002).

Cabe indicar que los valores de P_{med} obtenidos, no muestran diferencias significativas por lo que la potencia desarrollada ha sido similar con ambas bicicletas. Además, dichos valores (249,49 W para la 26” vs 248,85 W para la 29”) son similares a los reportados en estudios previos (Macdermid et al., 2014; Stapelfeldt et al., 2004; Steiner et al., 2015) realizados en condiciones de competición sobre este tipo de disciplina (también son similares los valores de FC_{med}).

Los resultados indican que, desde un punto de vista estricto de rendimiento, la bicicleta de 29" ha tenido un rendimiento superior, al igual que en estudios previos (Macdermid et al., 2014; Steiner et al., 2015; Taylor et al., 2016). Mientras que, desde un punto de vista fisiológico, la FC_{med} ha sido ligeramente mayor, lo que podría justificarse por un mayor trabajo muscular para absorber la mayor vibración del ciclista (Hurst et al., 2012; Hurst & Atkins, 2006; Macdermid et al., 2015; Mester et al., 1999; Titlestad et al., 2003; Wakeling et al., 2002).

4.2.10.2 Rendimiento en segmentos de ascenso

Se encontraron diferencias significativas en los segmentos de ascenso en la V_{med} (14,19 km/h para la 26" vs 14,37 km/h para la 29") y en la FC_{med} (171,81 ppm para la 26" vs 172,58 ppm para la 29"). Por el contrario, se obtuvieron valores superiores para la bicicleta de 26" en la C_{med} (77,70 rpm para la 26" vs 76,83 rpm para la 29"). Sin embargo, la P_{med} no ha sido significativamente diferente (279,82 W para la 26" vs 279,62 W para la 29"). Una vez más, estos resultados concuerdan con los de Macdermid et al., (2014), Steiner et al., (2015) y Taylor et al., (2016), mientras que difieren de los de Hurst, Sinclair, et al., (2016).

Parece que, en este tipo de recorridos, el mayor momento angular de la 29" y la menor resistencia a la rodadura siguen siendo los factores clave de los mejores resultados. Aunque se sigue denotando que, la mayor transmisión de vibraciones producidas por la 29", producen un mayor esfuerzo cardiovascular (como se puede apreciar por una FC_{med} mayor) en P_{med} equivalentes.

Con respecto a la C_{med} superior para la 26" es comprensible si tenemos en cuenta que el terreno por donde se ha desarrollado es pedregoso y con escalones. Cabe pensar que, la rueda de menor diámetro, tiene más

Discusión

dificultades para pasar obstáculos, lo que se compensa con revoluciones en aras de evitar atrancamientos.

4.2.10.3 Rendimiento en segmentos de descenso

No se han encontrado diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas en los segmentos de descenso, coincidiendo con el trabajo de Hurst, Sinclair, et al., (2016) y Taylor et al., (2016) discrepando con los resultados de Macdermid et al., (2014) y Steiner et al., (2015), los cuales obtuvieron mejores tiempos en las secciones de descenso de sus respectivos circuitos con la BTT de 29”.

Los descensos del recorrido no eran largos y de pista ancha, sino sendas estrechas y con muchas curvas en la mayor parte del recorrido. De hecho, las velocidades máximas alcanzadas, fueron de unos 35 km/h. Por este motivo, cabe pensar que la mayor agilidad y aceleración de la 26”, frente a la posible mayor estabilidad y mejor paso de obstáculos de la 29”, se compensaron.

4.2.10.4 Rendimiento en segmentos llanos

En los segmentos llanos se encontraron diferencias significativas en algunas variables, en concreto, se obtuvieron valores superiores para la bicicleta de 29” en la V_{med} (17,71 km/h para la 26” vs 17,98 km/h para la 29”) y en la FC_{med} (170,17 ppm para la 26” vs 171,03 ppm para la 29”). En cuanto a la P_{med} , no se encontraron diferencias significativas (166,16 W para la 26” vs 165,65 W para la 29”).

En este tipo de segmentos, ocurre como en los ascensos, la 29” parece ser algo más rápida, pero, al mismo tiempo, denota signos fisiológicos de mayor esfuerzo, lo que puede estar causado por la mayor vibración.



Ciclista realizando una de las vueltas del circuito CT

5. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de esta Tesis Doctoral, también se contrastan las hipótesis planteadas tras la elaboración del marco teórico. En relación con las 10 hipótesis postuladas:

1. Se confirma que la transmisión de las vibraciones es mayor para las bicicletas de 29" en segmentos bacheados, tanto de ascenso como de descenso, así como durante el circuito CT.
2. Se confirma que el registro de los ACC según la posición es similar en ambas bicicletas.
3. Se ha podido comprobar que las vibraciones que transmite la bicicleta al ciclista son menores en el coxis y en la cabeza que en el resto de puntos registrados con independencia del tamaño de la rueda.
4. No se ha podido identificar que las BTT de 29" sean más rápidas en un ascenso ni en un descenso pronunciado bacheado.
5. Se ha podido demostrar que las BTT de 29" son más rápidas en un recorrido sobre césped con curvas pronunciadas.
6. No se ha podido comprobar que las BTT de 29" sean más estables.
7. No hemos hallado evidencias significativas que demuestren que las BTT de 26" sean más rápidas en un ascenso corto sin baches, pero sí que son más rápidas durante el descenso.
8. Se confirma que las BTT de 29" son más rápidas en pruebas de aceleración cortas, sobre superficie de alta adherencia, pero no en superficies de baja adherencia.
9. Se demuestra que las BTT de 26" son más rápidas en un eslon lineal.

Conclusiones

10. Queda demostrado que las BTT de 29" tienen mayor rendimiento en un circuito CT completo, así como en los segmentos con perfil ascendente y llano, pero no en los de perfil descendente.



Vista de la colocación de algunos ACC

6. LIMITACIONES

En esta sección se van a comentar algunas limitaciones o consideraciones que hemos podido observar durante el desarrollo de este trabajo. Estas aportaciones deben ser tenidas muy en cuenta en futuros trabajos ya que podrían ayudar en su diseño.

En primer lugar, a la hora de cuantificar en qué medida afecta el diferente diámetro de rueda sobre la vibración de dos BTT equivalentes, consideramos oportuno haber instalado horquillas rígidas en lugar de las horquillas que montan de serie, para, de esta forma, haber podido medir las vibraciones sin haber pasado por un elemento amortiguador.

En segundo lugar, se podría haber incluido los ACC en todas las pruebas. De esta forma se podría comprobar si las vibraciones son mayores en las bicicletas de 29" también en pruebas con diferentes superficies. Haber podido registrar la señal de los ACC según segmentos del circuito CT, nos podría haber aportado más información de la transmisión de la vibración según perfiles.

En tercer lugar, se podría haber utilizado los potenciómetros para todas las pruebas analíticas, no solo para el circuito CT, pero en el inicio del estudio no se disponía de este equipamiento.

En cuarto lugar y en cuanto a las pruebas de habilidad (prueba 3 y 9), se han utilizado superficies diferentes (césped y tierra). Para una mejor comparativa del rendimiento de las bicicletas, se podía haber realizado las dos pruebas en las dos superficies, pero debido a la cantidad de pruebas realizadas, número de participantes y tiempo empleado, se decidió utilizar un único tipo de superficie por prueba.

Limitaciones

Y en quinto lugar y en cuanto a las variables fisiológicas medidas, ha sido la FC la única que hemos registrado, lo que no permite medir el gasto energético real de los ciclistas. Habría sido mejor haber medido el consumo de oxígeno, pero en el momento de iniciar la fase experimental no disponíamos de este equipamiento.



Marcas de neumáticos de bicicletas de montaña

7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Consideramos que, un factor importante a tener en cuenta para futuras investigaciones relacionadas con diferentes diámetros de rueda, sería la resistencia a la rodadura. Poder medir este factor podría ser determinante en aras de mejorar el rendimiento.

Así mismo, realizar mediciones de comportamientos aislados, tal y como se ha hecho en las pruebas analíticas, pero en recorridos de mayor longitud, desde una velocidad inicial determinada distinta de cero y monitorizando la potencia, podría aportar información valiosa.

Plantear nuevos circuitos CT con distintos perfiles y segmentos de mayor longitud, también podrían ser acciones oportunas. Especialmente si se midieran variables fisiológicas encaminadas a medir con mayor precisión el gasto energético de los ciclistas (por ejemplo, midiendo el consumo de oxígeno).

En la presente Tesis Doctoral la presión de las ruedas ha sido la misma en ambas bicicletas. Sin embargo, entre la comunidad ciclista se suele aceptar que la presión de las ruedas de 29" debe ser inferior a las de 26". Sería interesante comprobar si este factor modifica sustancialmente la transmisión de vibraciones y el rendimiento.

Comprobar si el mayor rendimiento reportado por la 29" en el circuito CT se consigue también con grupos diferentes de participantes que empleen bicicletas de otras tallas mayores o menores que la que nosotros hemos utilizado (por ejemplo, S y L), es decir, si también se obtienen diferencias significativas a favor de la 29" en tallas menores o mayores que la M.



Uno de los participantes del estudio en su última vuelta

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2007 Bike Archive - Trek Bicycle. (s. f.). Recuperado 24 de mayo de 2017, a partir de <http://archive.trekbikes.com/es/es/2007>
- Abbiss, C. R., Ross, M. L. R., Garvican, L. A., Ross, N., Pottgiesser, T., Gregory, J., & Martin, D. T. (2013). The distribution of pace adopted by cyclists during a cross-country mountain bike World Championships. *Journal of Sports Sciences*, *31*(7), 787-794. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.751118>
- Berry, M. J., Koves, T. R., & Benedetto, J. J. (2000). The influence of speed, grade and mass during simulated off road bicycling. *Applied Ergonomics*, *31*(5), 531-536. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00022-3)
- Bertucci, W. M., Rogier, S., & Reiser, R. F. (2013). Evaluation of aerodynamic and rolling resistances in mountain-bike field conditions. *Journal of Sports Sciences*, *31*(14), 1606-1613. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.792945>
- Candau, R. B., Grappe, F., Menard, M., Barbier, B., Millet, G. Y., Hoffman, M. D., ... Rouillon, J. D. (1999). Simplified deceleration method for assessment of resistive forces in cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, *31*, 1441-1447.
- Coso, J. D., Valero, M., Salinero, J. J., Lara, B., Díaz, G., Gallo-Salazar, C., ... Cacabelos, R. (2017). ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition. *European Journal of Applied Physiology*, *117*(3), 409-416. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3542-z>

Referencias Bibliográficas

- De Lorenzo, D. S., & Hull, M. L. (1999). Quantification of structural loading during off-road cycling. *Journal of Biomechanical Engineering*, 121, 399–405.
- Debraux, P., Grappe, F., Manolova, A. V., & Bertucci, W. (2011). Aerodynamic drag in cycling: methods of assessment. *Sports Biomechanics*, 10(3), 197–218.
- Di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7(2), 55–72.
- Di Prampero, P. E. (2000). Cycling on Earth, in space, on the Moon. *European Journal of Applied Physiology*, 82(5-6), 345-360. <https://doi.org/10.1007/s004210000220>
- Faiss, R., Praz, M., Meichtry, A., Gobelet, C., & Deriaz, O. (2007). The effect of mountain bike suspensions on vibrations and off-road uphill performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47,151-8.
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: factors affecting performance--Part 2. *Sports Medicine*, 35(4), 313-338.
- Ferraresi, C., Garibaldi, L., Perocchio, D., & Piombo, B. A. D. (1998). Dynamic behaviour and optimisation of frames for road and mountain bikes. En *Society for Experimental Mechanics, Inc, 16 th International Modal Analysis Conference*. (Vol. 1, pp. 387–393).
- Gregory, J., Johns, D. P., & Walls, J. T. (2007). Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 17–22.

-
- Herlihy, D. V. (2004). *Bicycle: The History*. Yale University Press.
- Hines, W. G. S., O'Hara-Hines, R. J., & Brooke, J. D. (1987). A multivariate solution for cyclic data, applied in modelling locomotor forces. *Biological Cybernetics*, *56*(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/BF00333062>
- Huang, J. (2011). Tech feature: The work of Wheel Energy. Recuperado 21 de abril de 2017, a partir de <http://www.cyclingnews.com/features/tech-feature-the-work-of-wheel-energy/>
- Hurst, H. T., & Atkins, S. (2006). Power output of field-based downhill mountain biking. *Journal of Sports Sciences*, *24*(10), 1047-1053. <https://doi.org/10.1080/02640410500431997>
- Hurst, H. T., Atkins, S., Metcalfe, J., Sinclair, J., & Rylands, L. (2016). Influence of wheel size on muscle activity and tri-axial accelerations during cross-country mountain biking. *Journal of Sports Sciences*, *35*, 1342-1348. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215497>
- Hurst, H. T., Sinclair, J., Atkins, S., Rylands, L., & Metcalfe, J. (2016). The effect of mountain bike wheel size on cross-country performance. *Journal of Sports Sciences*, *35*, 1349-1354.
- Hurst, H. T., Swarén, M., Hébert-Losier, K., Ericsson, F., Sinclair, J., Atkins, A., & Holmberg, H. C. (2012). Influence of course type on upper body muscle activity in elite Cross-Country and Downhill mountain bikers during off Road Downhill Cycling. *Journal of Science and Cycling*, *1*, 2-9.
- Impellizzeri, F. M., & Marcora, S. M. (2007). The Physiology of Mountain Biking. *Sports Medicine*, *37*(1), 59-71. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737010-00005>
-

Referencias Bibliográficas

- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Sassi, A., Mognoni, P., & Marcora, S. (2005). Physiological correlates to off-road cycling performance. *Journal of Sports Sciences*, 23(1), 41-47. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730061>
- Issurin, V. B. (2005). Vibrations and their applications in sport: a review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(3), 324.
- Jäncke, L., Steinmetz, H., Benilow, S., & Ziemann, U. (2004). Slowing fastest finger movements of the dominant hand with low-frequency rTMS of the hand area of the primary motor cortex. *Experimental brain research*, 155(2), 196–203.
- Johanning, E. (2015). Whole-body vibration-related health disorders in occupational medicine--an international comparison. *Ergonomics*, 58(7), 1239-1252. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1005170>
- Kay, B. A., Saltzman, E. L., & Kelso, J. A. (1991). Steady-state and perturbed rhythmical movements: A dynamical analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(1), 183.
- Kyle, C. R. (2003). *High-tech Cycling*. Human Kinetics.
- Levy, M., & Smith, G. A. (2005). Effectiveness of vibration damping with bicycle suspension systems. *Sports Engineering*, 8(2), 99. <https://doi.org/10.1007/BF02844008>
- Lucas, A. G., Pérez, P., Priego, J. I., & Llana, S. (2014). Influence of foot orthosis customisation on perceived comfort during running. *Ergonomics*, 57(10), 1590-1596. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.938129>
- Macdermid, P. W., Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2014). Transference of
-

- 3D accelerations during cross country mountain biking. *Journal of Biomechanics*, 47(8), 1829-1837.
- Macdermid, P. W., Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2015). The Effects of Vibrations Experienced during Road vs. Off-road Cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 94(10), 783-788. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398534>
- Macdermind, P. W., & Stannard, S. R. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1491-1501. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711487>
- Martin, J. C., Gardner, A. S., Barras, M., & Martin, D. T. (2006). Modeling sprint cycling using field-derived parameters and forward integration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 592.
- Martínez, D. A. L. (2012). *Modelado y simulación dinámica de bicicletas de montaña* (proyecto fin de carrera). Universidad de Almería, España.
- Mester, J., Spitzenfeil, P., Schwarzer, J., & Seifriz, F. (1999). Biological reaction to vibration - implications for sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3), 211-226. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(99\)80174-1](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(99)80174-1)
- Millet, G. P., & Candau, R. (2002). Facteurs mécaniques du coût énergétique dans trois locomotions humaines. *Science & sports*, 17(4), 166-176.
- Munera, M., Chimentin, X., Crequy, S., & Bertucci, W. (2014). Physical risk associated with vibration at cycling. *Mechanics & Industry*, 15(6), 535-540. <https://doi.org/10.1051/meca/2014057>
- Museum of Mountain Bike Art & Technology. (s. f.). Recuperado a partir de
-

Referencias Bibliográficas

<http://mombat.org/MOMBAT/BikeHistoryPages/29er.html>

- Nielens, H., & Lejeune, T. (2004). Bicycle Shock Absorption Systems and Energy Expended by the Cyclist. *Sports Medicine*, 34(2), 71-80. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434020-00001>
- Randløv, Jette, & Alstrøm, Preben. (1998). Learning to Drive a Bicycle Using Reinforcement Learning and Shaping. En ICLM (vol. 98, pp. 463-471).
- Savage, W. (2007). *Klunkerz*.
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y. O., & Hillebrecht, M. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *International Journal of Sports Medicine*, 25(4), 294–300.
- Steiner, T., Müller, B., Maier, T., & Wehrlin, J. P. (2015). Performance differences when using 26- and 29-inch-wheel bikes in Swiss National Team cross-country mountain bikers. *Journal of Sports Sciences*, 34(15), 1438-1444.
- Stewart, A. D., & Hannan, J. (2000). Total and regional bone density in male runners, cyclists, and controls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(8), 1373-1377. <https://doi.org/10.1097/00005768-200008000-00003>
- Steyn, W. J., & Warnich, J. (2014). Comparison of tyre rolling resistance for different mountain bike tyre diameters and surface conditions. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education & Recreation*, 36(2), 179-183.
- Takaishi, T., Ishida, K., Katayama, K., Yamazaki, K., Yamamoto, T., & Moritani, T. (2002). Effect of cycling experience and pedal cadence
-

- on the near-infrared spectroscopy parameters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2062-2071.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000039304.91231.76>
- Taylor, J. E., Manning, J. W., & Thomas, C. (2016). Impact of Wheel Size (26 vs 29 inch) on Energy Expenditure during Mountain Bike Trail Riding. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(5 Suppl 1), 707.
- Titlestad, J., Fairlie-Clarke, T., Davie, M., Whittaker, A., & Grant, S. (2003). Experimental evaluation of mountain bike suspension systems. *Acta Polytechnica*, 43(5). Recuperado a partir de <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/468>
- UCI. (2007). Practical guide for commissaires in mountain bike events. Recuperado 14 de abril de 2017, a partir de https://www.google.es/search?client=safari&rls=en&q=www.uci.ch_Modules_BUILTIN&ie=UTF-8&oe=UTF-8&gfe_rd=cr&ei=UdjwWJ7oKc-p8wfSx6DIBA#q=Practical+guide+for+commissaires+in+mountain+bike+events
- Wakeling, J. M., Nigg, B. M., & Rozitis, A. I. (2002). Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 1093-1103.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00142.2002>
- Warner, S. E., Shaw, J. M., & Dalsky, G. P. (2002). Bone mineral density of competitive male mountain and road cyclists. *Bone*, 30(1), 281-286.
[https://doi.org/10.1016/S8756-3282\(01\)00704-9](https://doi.org/10.1016/S8756-3282(01)00704-9)
- Whitt, F. R., & Wilson, D. G. (1982). *Bicycling science. 2nd edition*. MIT Press.
- Zarzos, M., Pérez, P., & Llana, S. (2014). La biomecánica en el ciclismo. En

Referencias Bibliográficas

Biomecánica Básica Aplicada a la actividad física y el deporte. (p. 681).
Paidotribo.



Sombra de un ciclista

9. ANEXOS

ANEXO A: DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Estudio del efecto del diámetro de las ruedas en BTT

INFORMACIÓN

La Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Valencia, a través de su Departamento de Educación Física y Deportiva, está desarrollando una investigación en la que se estudian el comportamiento de dos bicicletas de montaña equivalentes, pero con distinto diámetro de rueda.

Las pruebas de la citada investigación consisten en una decena de tests, 9 analíticas que se realizarán en el Jardín del Turia, junto a las Torres de Serrano y un circuito CT que se desarrollará en la localidad cercana de Paterna, parcela de “Pla del Retor”. Los datos se registrarán mediante cronometraje electrónico, ACC, ciclo computador con GPS y potenciómetro que, lo que nos permitirá tener registro tanto de variables de rendimiento, como fisiológicas y de vibración. Cada una de las pruebas ha sido filmada y colgada en YouTube, para que puedan ser consultadas y así se evite la mayor incertidumbre posible en las mediciones.

El tiempo estimado de realización de las pruebas variará según el número de participantes de cada sesión. Así las pruebas están agrupadas en 3 fases para realizarlas en mejores condiciones y que no se prolongue la sesión en exceso. La primera fase (pruebas de la 1 a la 4), requerirá de 3 a 4 horas. Para la fase 2 (pruebas de la 5 a la 9), se necesitará también entre 3 y 4 horas. Y para la fase 3 (circuito CT), será necesario unas 2 horas.

RIESGOS

Debido a la naturaleza del deporte analizado, las pruebas implican un cierto riesgo de carácter intrínseco. Ni las pruebas analíticas ni el circuito CT poseen una dificultad excesiva, aunque se requiere de experiencia y condición física, para evitar riesgos innecesarios. El uso de casco es obligatorio en todas las pruebas y se recomienda llevar guantes y gafas. También será necesaria la ropa específica para la práctica del ciclismo.

En el caso de tener dudas sobre la superación de los test, cualquier participante podrá acudir con antelación a alguna de las sesiones y probar la realización de alguna de las pruebas en las que tenga dudas, sin compromiso alguno.

BENEFICIOS

Los resultados obtenidos en la investigación serán de gran utilidad para la aclaración de la situación actual del BTT. La gran incertidumbre ocasionada por los diferentes diámetros de rueda desde 2010, ha provocado que los ciclistas hayan tenido que realizar desembolsos económicos para adaptarse o cambiarse de bicicleta, especialmente en competición. En la mayoría de ocasiones, el asesoramiento de los diferentes puntos de venta no es el más adecuado y las marcas no se dignan a aportar datos fidedignos que sostengan el mayor cambio en los estándares del BTT de su historia. Con el presente estudio, se contribuirá a mejorar el conocimiento científico del BTT y se aportará información que será de gran utilidad para toda la comunidad ciclista.

CONFIDENCIALIDAD

Todos aquellos datos recogidos en el estudio serán analizados confidencialmente y con fines exclusivamente científicos. Los datos serán

confidenciales y estarán controlados exclusivamente por miembros del equipo de investigación. Cualquier dato que pueda ser identificativo de los participantes no será publicado en ningún informe, memoria o artículo. Durante los ensayos podrán realizarse fotografías que permitan ilustrar la metodología utilizada en posteriores publicaciones científicas, para lo cual se solicitará permiso previo a los participantes. En este caso, se garantizará la salvaguarda de su anonimato.

CONTACTOS

Si tuviera alguna cuestión que plantear acerca del estudio puede dirigirse al investigador responsable del proyecto Don Enrique Moreno Mañas (enmoma@alumni.uv.es; 645973378), en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Valencia.

PARTICIPACIÓN

La participación en este estudio es voluntaria y, por tanto, todo participante podrá comunicar su deseo de no continuar en cualquier momento.

CONSENTIMIENTO

Después de leído el presente informe y recibido una copia del mismo, declaro que las condiciones expuestas son satisfactorias y declaro mi disposición a participar en el mismo.

Fdo: _____ DNI: _____

Fecha: _____

ANEXO B: FORMULARIO DE PARTICIPACIÓN



Formulario participación pruebas MTB
commençal 26-29" 2015

Datos antropométricos y cardiovasculares

Estatura:

En centímetros

Peso:

En kg.

Talla de pie:

Tiro de pierna (longitud entre la base de la cadera y el suelo en cm):

¿Cómo obtenerla?: con calcetines que habitualmente emplees para ir en bici, de pie y de espaldas contra una pared. Los pies ligeramente separados (anchura similar a la distancia entre los pedales). Te pones un libro gordo entre las piernas (paralelo al suelo), realizando presión vertical ascendente (para que sientas la presión como al estar sentado en el sillín), y a continuación medir la distancia desde la parte superior del lomo del libro al suelo. Si te puede ayudar alguien con el libro y la cinta métrica, es mucho más sencillo.

Frecuencia cardiaca en reposo:

Frecuencia cardiaca máxima:

(Si se conoce)

« Atrás

Continuar »



40% completado



Formulario participación pruebas MTB commençal 26-29" 2015

Datos personales y de contacto

NIF:

Nombre y apellidos:

Sexo:

Fecha de nacimiento:

Separado con barras Ej. 07/09/1975

Dirección:

Correo electrónico habitual:

Teléfono:

¿Usuario de wasap?



Formulario participación pruebas MTB commençal 26-29" 2015

Información ajustes bici y práctica deportiva

Bici actual:

Marca, modelo y diámetro de rueda

Talla bici actual:

En pulgadas. Si no se conoce, medir distancia de eje de pedallier a cierre de sillín y dividir entre 2.54 (para pasar a pulgadas). No pongáis "M", ya que cada marca talla de una forma.

Diámetro de rueda:

Longitud de biela

Debe estar troquelada en la cara interna de una de las bielas.

- 162.5
- 165
- 167.5
- 170
- 172.5
- 175
- 177.5

Altura del sillín:

Máxima longitud entre el pedal y el sillín, en centímetros. Se mide la longitud desde la parte superior del sillín al centro del pedalier y se le suma la longitud de la biela.

¿Cuántos años llevas practicando BTT?

Frecuencia de práctica:

En general, ¿cuánto sales en bici?

Volumen mensual:

¿Cuántos kilómetros haces al mes, de media, tanto de BTT como de Carretera, Ciclocrós, etc.?

¿Has participado en alguna competición o prueba organizada?

Marcha, Carrera, Open, etc...

Si la respuesta anterior es positiva, dínos en cuál:

« Atrás

Continuar »





Formulario participación pruebas MTB commençal 26-29" 2015

Nivel técnico y de condición física

¿Qué nivel técnico consideras que tienes de 1 a 10?

1 se correspondería con: "sólo puedo ir por pista ancha con perfil suave".
10 se correspondería con: "subo pendientes con gran dificultad, estrechas con terreno movido y soy capaz de bajar por sendas estrechas, abruptas, con escalones y mucha inclinación (trialeras)".

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

¿Qué nivel crees que tienes de 1 a 10?

1 significaría: "sólo puedo ir por el carril bici o por el cauce del río, poca distancia y parando para descansar". 10 significaría: "podría hacer salidas de más de 100 km con un desnivel positivo acumulado de más de 2000m, vamos, lo que me echen".

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

[« Atrás](#)

[Continuar »](#)


80% completado



Formulario participación pruebas MTB commençal 26-29" 2015

Equipamiento necesario para la realización de las pruebas:

Zapatillas con calas SHIMANO

Sí

Casco:

El casco deberá ser ventilado (como todos, con huecos), pero no debe tener rejilla anti-insectos. Si no, no podremos instalar el acelerómetro. En el caso de que no sea así, te podemos dejar uno, pero es mucho mejor que traigas el tuyo, bien ajustado.

Guantes

Sí

Gafas de sol para prácticas deportivas

Sí

Maillot y Culotte

Sí

[« Atrás](#)

[Enviar](#)

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

100%: has terminado.