

# Caracterización cinemática, estabilométrica y electromiográfica del pedaleo en bicicleta de ruta. Presentación de caso

Julianba Castellanos Ruiz <sup>▼</sup>, Daniela López Londoño, José Luis Rodríguez Sotelo,  
Luis Daniel Gallo Cardona, Liliana Patricia Escobar Serna

*Universidad Autónoma de Manizales, Colombia*

Recibido 2 de febrero de 2019. Aceptado 29 de julio de 2019

---

**Resumen**—Objetivo: Determinar las características de potencia, velocidad, frecuencia cardíaca, cinemáticas, estabilométricas y electromiográficas del pedaleo en bicicleta de ruta en ciclista profesional y amateur. Metodología: Estudio tipo reporte de caso, realizado con 2 ciclistas (profesional y amateur) a quienes se les realizan pruebas de cinemática, estabilometría y electromiografía, con tecnología Bioengineering. Resultados: La potencia muestra tendencia lineal siendo mayor en el ciclista profesional en comparación con el amateur; la velocidad con comportamiento lineal es mayor en el ciclista profesional. El análisis cinemático presenta mayor consistencia en los movimientos realizados por el ciclista profesional, las diferencias son más evidentes en tronco y tobillo, articulaciones extremas-proximal y distal- de la cadena cinética. La actividad muscular mostró patrones más estables y amplitudes con mayor tamaño en el ciclista profesional, de acuerdo con la estabilidad, el índice de Romberg en ambos ciclistas es normal con un valor de 0,879 para el profesional y 0,704 para el amateur. Conclusión: La resistencia se relaciona con el nivel de entrenamiento del deportista, indicando que a mayor entrenamiento menor compensación con otros segmentos corporales, optimizando el gesto deportivo y el rendimiento. En relación con la estabilidad estática y dinámica no se evidencian diferencias relevantes entre los participantes.

**Palabras claves**— ciclismo, cinemática, electromiografía, estabilidad.

## KINEMATIC, STABILOMETRIC AND ELECTROMYOGRAPHIC CHARACTERIZATION OF ROAD BIKE PEDALING. CASE REPORT

---

**Abstract**— Objective: To determine the characteristics of power, speed, heart rate, kinematics, stabilometric and electromyographic pedaling on a road bike in a professional and amateur cyclists. Methodology: The study type is a case study conducted with 2 cyclists (one professional and one amateur) who are tested for kinematics, stabilometry and electromyography with Bioengineering technology. Results: The power shows linear tendency being greater in the professional cyclist compared to the amateur. The speed with linear behavior is greater in the professional cyclist. The kinematic analysis shows greater consistency in the movements performed by the professional cyclist. The differences are more evident in the trunk and ankle, extreme-proximal and distal joints of the kinetic chain. Muscle activity showed more stable patterns and larger amplitudes in the professional cyclist,

---

<sup>▼</sup> Dirección para correspondencia: jcastellanos@autonoma.edu.co  
DOI: <https://doi.org/10.24050/19099762.n26.2019.1369>

according to stability, the Romberg index in both cyclists is normal with a value of 0,879 for the professional and 0,704 for the amateur. Conclusion: The resistance is related to the level of training of the athlete, indicating that the greater the training, the less compensation with other body segments; optimizing the sporting gesture and performance. In relation to static and dynamic stability, there are no relevant differences between the participants.

**Keywords**— cycling, kinematics, electromyography, stability

## CARACTERIZAÇÃO CINEMÁTICA, ESTABILOMÉTRICA E ELETROMIOGRÁFICA DO PEDAL DE BICICLETA DE ESTRADA. RELATO DE CASO

**Resumo**—Objetivo: Determinar las características de potência, velocidade, frequência cardíaca, cinemática, pedalada estabilométrica e eletromiográfica em uma bicicleta de estrada em ciclistas profissionais e amadores. Metodologia: O tipo de estudo é um estudo de caso realizado com 2 ciclistas (um profissional e um amador) que são testados para cinemática, abilometria e eletromiografia com tecnologia de Bioengenharia. Resultados: O poder mostra uma tendência linear maior no ciclista profissional em comparação ao amador. A velocidade com comportamento linear é maior no ciclista profissional. A análise cinemática mostra maior consistência nos movimentos realizados pelo ciclista profissional. As diferenças são mais evidentes no tronco e no tornozelo, nas articulações extremo-proximal e distal da cadeia cinética. A atividade muscular mostrou padrões mais estáveis e amplitudes maiores no ciclista profissional, de acordo com a estabilidade, o índice de Romberg em ambos os ciclistas é normal, com um valor de 0,879 para o profissional e 0,704 para o amador. Conclusão: A resistência está relacionada ao nível de treinamento do atleta, indicando que quanto maior o treinamento, menor a compensação com outros segmentos corporais; otimizando o gesto esportivo e o desempenho. Em relação à estabilidade estática e dinâmica, não há diferenças relevantes entre os participantes

**Palavras-chave**—ciclismo, cinemática, eletromiografia, estabilidade.

### I. INTRODUCCIÓN

El ciclismo merece particular atención desde el componente científico, no sólo por ser un deporte olímpico de alta competencia, sino por el impacto que tiene el uso de la bicicleta como medio de transporte y recreación; temas de gran interés económico y social [1]. Desde sus comienzos el ciclismo ha tenido múltiples cambios, tanto en la conformación de la bicicleta como en la técnica que usan las personas para desarrollar esta actividad, lo que ha llevado a la concepción del deporte que actualmente se practica [2], en el cual, se emplea una postura diferenciada y patrones de movimiento simétricos, condicionados por la relación persona-bicicleta, diferenciando esta actividad de otras, fundamentando variadas modalidades claramente diferenciadas; tales como por el ciclismo de montaña, el Bike Motocross (BMX), ciclismo de pista, ciclismo de ruta, entre otras.

Como deporte de alta competencia, la práctica del ciclismo requiere de personas preparadas fisiológica, técnica, táctica y psicológicamente para emplear la bicicleta en contextos donde usualmente se debe recorrer una distancia determinada en el menor tiempo posible [3]. Es evidente entonces que la generación y aplicación de conocimiento científico relacionado con el estudio de los deportistas, la bicicleta y la interacción entre ambos, son ejes fundamentales que permiten potenciar los procesos de preparación y competencia con el fin de alcanzar el rendimiento máximo [4], [5]. En este sentido, para potenciar el gesto deportivo de los ciclistas y establecer la conformación de la bicicleta

de manera adecuada, con el propósito de optimizar la relación entre coordinación muscular, cinemática articular y cinética corporal [6], y de esta manera mejorar el rendimiento deportivo, es fundamental emplear los conocimientos propios de la biomecánica, como área que se encarga de estudiar el movimiento corporal, las cargas mecánicas y la dinámica muscular que inciden sobre el desarrollo de una actividad motriz [4].

Uno de los métodos más utilizados en la actualidad para recolectar la información necesaria en el análisis biomecánico, es la implementación de sistemas de análisis de movimiento [7], en los cuales, se realizan análisis cinemáticos colocando marcadores reflectivos en las personas a examinar y luego traduciendo el movimiento de los marcadores a un sistema de coordenadas digitales, el cual se puede vincular con herramientas como electromiógrafos de superficie, para examinar la actividad muscular y dispositivos como potenciómetros y placas de fuerza, que permiten examinar variables cinéticas que condicionan el movimiento examinado. De allí, que el presente reporte de caso pretende determinar las características de potencia, velocidad, frecuencia cardíaca, cinemáticas, electromiografías durante el pedaleo en bicicleta de ruta y la estabilidad estática y dinámica en posición bípeda en dos ciclistas (profesional y un amateur).

### II. METODOLOGÍA

**Tipo de estudio:** Investigación enmarcada en un enfoque cuantitativo y el tipo de estudio es reporte de caso,

en el cual, se realiza una descripción de las características de potencia, velocidad, frecuencia cardiaca, cinemáticas, electromiográficas; además de pruebas de estabilidad que permitieran confirmar la no alteración del equilibrio en un ciclista profesional y uno amateur.

**Sujetos:** Dos ciclistas masculinos sanos que cumplen con los criterios de inclusión propuestos en el estudio, así: el ciclista profesional de 21 años de edad con una práctica deportiva de más de 3 años y una periodicidad de entrenamiento semanal de 3 veces por semana, con más de 1 hora por sesión entrenamiento, quien refiere dolor a nivel de rodilla. El ciclista amateur, de 22 años de edad con práctica deportiva de más de 3 años y periodicidad de entrenamiento semanal 1 vez por semana, más de 1 hora por sesión entrenamiento.

Este reporte de caso fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Manizales con el acta número 080 de septiembre 26 de 2018, a los participantes se les explicó el procedimiento a seguir, acompañado de la firma del consentimiento informado; de igual manera, se elaboró protocolo para la prevención y manejo de incidentes y eventos adversos.

**Instrumentos:** Para la captura del movimiento y adquisición de la información cinemática del pedaleo se utilizó el sistema SMART DX 400 *BTS Bioengineering*, compuesto por 6 cámaras optoelectrónicas, 4 plataformas de fuerza P600, 2 cámaras de video de alta resolución Vixta. Para el estudio electromiográfico se empleó un electromiógrafo de superficie FREEEMG 300 de marca *BTS Bioengineering*, que permite captar la actividad eléctrica muscular.

Para el registro de la posición en bípedo y la cuantificación de los desplazamientos del centro de presión se empleó la plataforma baropodometría modular PWALK, *BTS Bioengineering*.

Cada deportista fue evaluado en su bicicleta de ruta con un procedimiento *fit*, es decir, conservando las dimensiones y características de acuerdo con las medidas antropométricas del deportista y las condiciones con las que viene. La relación de transmisión de las bicicletas es de 2 platos en la parte de adelante con 53 y 39 dientes cada uno y de 11 piñones en la parte de atrás con 11 y 28 dientes entre el más pequeño y más grande respectivamente. Se utilizó un rodillo profesional marca BKOOL SMART *pro* en conjunto con el software que trae incluido. Este permite obtener datos cuantitativos entre otros, como potencia, velocidad y cadencia. Para las mediciones de frecuencia cardiaca se empleó el sensor FC-*Garmin* ubicado en la parte torácica del ciclista, conectado a un ciclocomputador marca *Garmin* de referencia *EDGE 530* y este a su vez sincronizada con el software BKOOL.

### Procedimientos

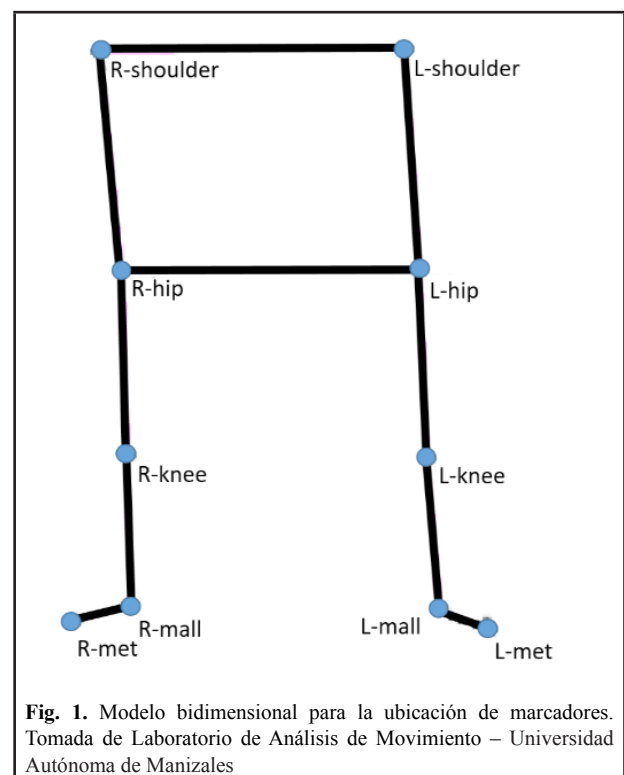
Las pruebas fueron realizadas por dos ciclistas, quienes al responder la encuesta de aspectos sociodemográficos y relacionados con la salud fueron aptos para realizar las pruebas mencionadas en el presente reporte de caso.

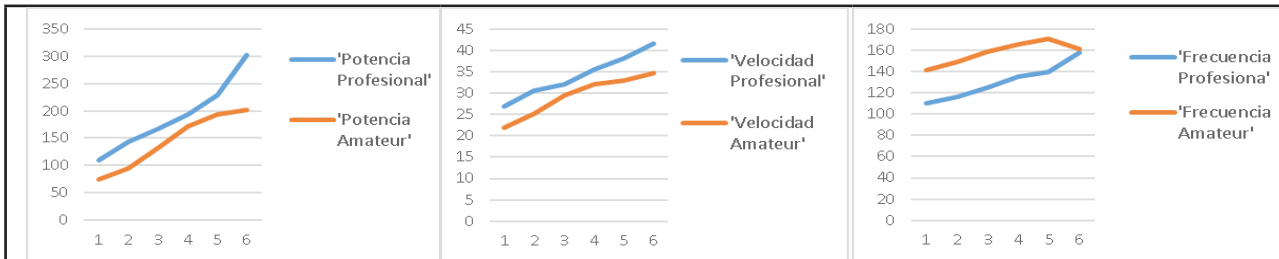
**Pruebas de elasticidad:** Permiten valorar la longitud muscular pasiva, la cual determina junto con el arco de movilidad articular la flexibilidad alrededor de una articulación [8]. Se realizan pruebas para flexores de cadera (prueba de thomas), aductores de cadera (test de mariposa) y cadena posterior de miembros inferiores (test de wells). La selección de estos grupos musculares está en relación con la activación durante el gesto deportivo.

### Instrumentación

Para la ejecución de las pruebas de electromiografía y análisis cinemático, se realizó la ubicación de marcadores reflectivos en los sitios anatómicos recomendados por el sistema, así como la ubicación de las sondas de electromiografía en los grupos musculares estudiados.

**Evaluación cinemática de ciclismo en ruta:** Para el registro cinemático se empleó el protocolo *Bike On Rolls* de la plataforma *Smart Performance*, el cual tiene como referencias anatómicas para el posicionamiento de los marcadores: acromion, trocánter mayor, epicóndilo lateral de fémur, maléolo lateral y base del quinto metatarsiano (ver Fig. 1)





**Fig. 2** Gráfico comparativo de las variables de los ciclistas profesional y amateur. Tomada del Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

**Tabla 1.** Análisis de las variables de potencia, velocidad y frecuencia cardíaca en relación con el incremento en la resistencia

Ciclistas		Profesional	Amateur	Profesional	Amateur	Profesional	Amateur	Profesional	Amateur
Prueba	Piñón	Dientes		Potencia (Watts)		Velocidad (km/h)		Frecuencia cardíaca (bpm)	
1	5	17	19	110	75	27,0	22,0	110	141
2	6	15	17	144	94	30,5	25,2	116	149
3	7	14	15	166	132	32,2	29,5	125	159
4	8	13	14	194	171	35,5	32,2	135	166
5	9	12	13	229	194	38,2	32,9	140	171
6	10	11	12	302	202	41,6	34,6	158	161
<b>Máxima resistencia</b>	10	11	12	703	441	58,2	38,4	165	186

Se aplicó prueba de ciclismo de ruta, que consistió en incrementar la resistencia en intervalos de 30 segundos identificando variables de frecuencia cardíaca, potencia, velocidad, y cadencia. La resistencia se incrementó a través de 6 ensayos, donde se utilizó de una combinación de plato-piñones de la siguiente manera: plato grande (53 dientes) constante y piñones variables, donde el primero corresponde a 19 dientes y el último a 11 dientes. En cada ensayo los ciclistas debieron mantener cadencia constante en términos de revoluciones por minuto (RPM) incrementando gradualmente la resistencia de la bicicleta, tomando como base los protocolos de medición de potencia de deportistas de alto rendimiento, como el FTP [9].

**Estabilometría y límites de estabilidad:** La prueba de estabilometría se realizó sobre plataformas baropodométricas sin calzado en posición bípeda y estática con ojos abiertos por 30 segundos, seguido de otros 30 segundos con ojos cerrados, que permite evaluar la estabilidad estática de los deportistas, se califica con el Índice de Romberg [10], posteriormente, se hizo prueba de límites de estabilidad en la misma plataforma, con desplazamiento de tronco en sentido anteroposterior y medio lateral por 30 segundos cada uno, con ojos abiertos y ojos cerrados, para permite reconocer los límites en que el cuerpo puede mantener su posición sin cambiar la base de la sustentación.

**Electromiografía de superficie:** La prueba de electromiografía de superficie, permitió registrar la actividad eléctrica muscular del tibial anterior, recto femoral, bíceps femoral de manera bilateral y gastrocnemio derecho. La ubicación de los electrodos se realizó con base en el protocolo de colocación de sensores de EMG del *surface electromyography for the non-invasive assesment of muscles* [11].

### III. RESULTADOS

**Pruebas de elasticidad:** Se evidencia mayor alteración de los aductores de cadera con retracción moderada bilateral de predominio derecho para el ciclista profesional y del lado izquierdo para el amateur. El test de Thomas fue positivo en ambos participantes, con resultado de retracción leve bilateral. El test de Wells mostró una adecuada elasticidad de la cadena posterior en ambos ciclistas, teniendo mejores resultados el ciclista profesional.

Variables de potencia, velocidad y frecuencia cardíaca: Los resultados indican un mejor desarrollo de potencia y velocidad del ciclista profesional en el 100 % de la prueba, de igual manera el comportamiento de la variable de frecuencia cardíaca mostró menores valores en el profesional (ver Tabla 1).

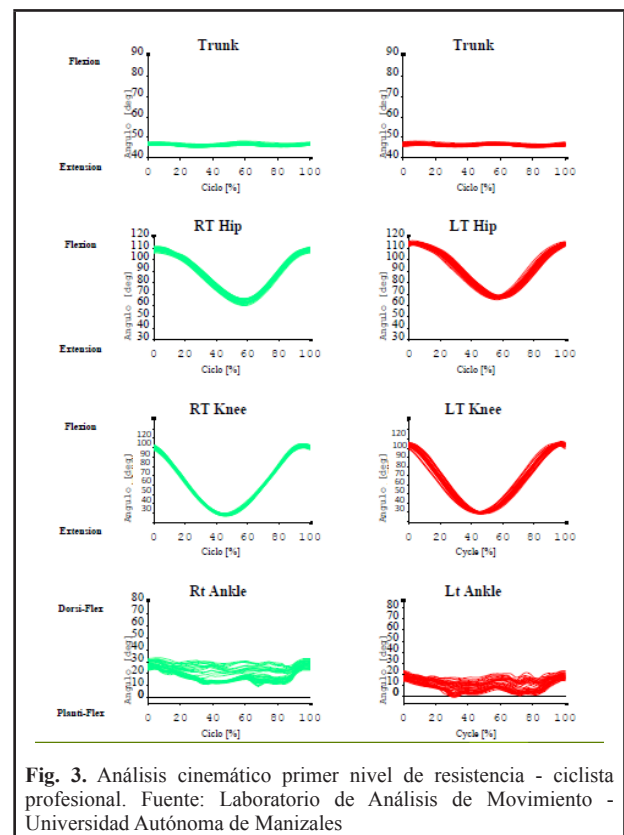
**Análisis cinemático:** Se llevó a cabo en dos momentos relacionados con la aplicación de la resistencia (inicial y máxima). Según lo descrito por Hamil y Knutzen en 2015 [12], quienes plantean que un ciclo del pedaleo corresponde a un círculo completo realizado con el pedal, donde se pueden describir cuatro fases partiendo de un eje vertical ( $0^\circ$  en la parte superior y  $180^\circ$  en la parte inferior). La fase I es una fase de potencia que va desde los  $20^\circ$  a  $145^\circ$ , en la cual la extremidad empuja y requiere la activación de los grupos musculares extensores de cadera, extensores de rodilla y plantiflexores de tobillo. La segunda fase va desde  $145^\circ$  a  $215^\circ$ , también llamada “punto muerto inferior” que corresponde a la posición alta y baja de la biela, en esta fase se invierte el patrón extensor ( $145^\circ$  a  $180^\circ$ ) de una extremidad para comenzar el flexor ( $180^\circ$  a  $215^\circ$ ). La fase III va desde los  $215^\circ$  a los  $325^\circ$  y es la fase opuesta a la I donde actúan los grupos musculares antagonistas, flexores de cadera, flexores de rodilla y dorsiflexores, los cuales se contraen en una acción de tirar. Para terminar, la fase IV “punto muerto superior” va desde los  $325^\circ$  a los  $20^\circ$ , los cambios en la amplitud de los movimientos son mínimos a nivel de cadera y rodilla y los principales cambios están dados en el tobillo.

En el primer nivel de resistencia se evidencia mayor consistencia en los movimientos realizados por el ciclista profesional, las mayores diferencias entre los ciclistas están en el tronco y el tobillo, las cuales son las articulaciones proximal y distal de la cadena cinética.

La cinemática se describe en el plano sagital (movimientos de flexión y extensión) debido a que los movimientos se realizan principalmente en este plano. En los planos coronal y transversal, referidos en especial a los movimientos de la columna y extremidades superiores, tienen relevancia en la estabilización del cuerpo para realizar los movimientos de la extremidad inferior, permitiendo que el ciclista aplique mayor fuerza en los pedales.

El ciclista profesional en el primer nivel de resistencia realizó movimientos de tronco, los cuales tuvieron una mínima variación alrededor de los  $45^\circ$ , siendo simétrico para la vista lateral izquierda y derecha. En la gráfica del movimiento a nivel de cadera derecha se evidencia mayor consistencia y el arco de movilidad osciló entre  $108^\circ$  a  $60^\circ$  (el primer valor corresponde al 0 % y el segundo al 60 % del ciclo del pedaleo), en el lado izquierdo el movimiento se realiza entre  $114^\circ$  y  $68^\circ$  (el primer valor corresponde al 0 % y el segundo oscila entre 57 % al 61 % del ciclo del pedaleo), para lo cual se puede afirmar que la cadera derecha recorre un arco de movilidad aproximado de  $48^\circ$  mientras que en la cadera izquierda recorre aproximadamente  $46^\circ$ . Por otra parte, a nivel de rodilla el movimiento para ambas articulaciones es consistente, siendo mayor para la rodilla derecha, ambas articulaciones recorren un

arco de movilidad aproximado de  $100^\circ$  hasta  $30^\circ$ , este último ubicado aproximadamente en el 45 % del ciclo del pedaleo, realizando un recorrido de movimiento de  $70^\circ$ . La homogeneidad en el movimiento derecho e izquierdo podría estar sustentada en la altura del sillín, la utilización de *shoe cleats* y una pelvis estable durante el movimiento. A nivel del tobillo se evidencia menor consistencia y la variabilidad en el arco de movilidad es de aproximadamente  $20^\circ$  para ambos tobillos. Al analizar los tres componentes articulares de la cadena cinética, el que tiene mayor variabilidad es el tobillo (ver Fig. 3).



**Fig. 3.** Análisis cinemático primer nivel de resistencia - ciclista profesional. Fuente: Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

El ciclista profesional en el máximo nivel de resistencia muestra a nivel de tronco y tobillo en los test de consistencia la mayor variabilidad, siendo más evidente en el lado derecho. Se hace difícil identificar el patrón, la mayor consistencia se evidencia en la rodilla con una variabilidad de  $120^\circ$  al inicio del ciclo (0 %) hasta aproximadamente  $10^\circ$  en el 50 % del ciclo del movimiento (ver Fig. 4).

En el primer nivel de resistencia los resultados del ciclista amateur evidencian movimientos con mayor consistencia a nivel de las rodillas, seguido de las caderas. De forma similar al comportamiento del deportista profesional la menor consistencia se evidenció en los componentes distal y proximal de las cadenas cinéticas de los miembros inferiores.

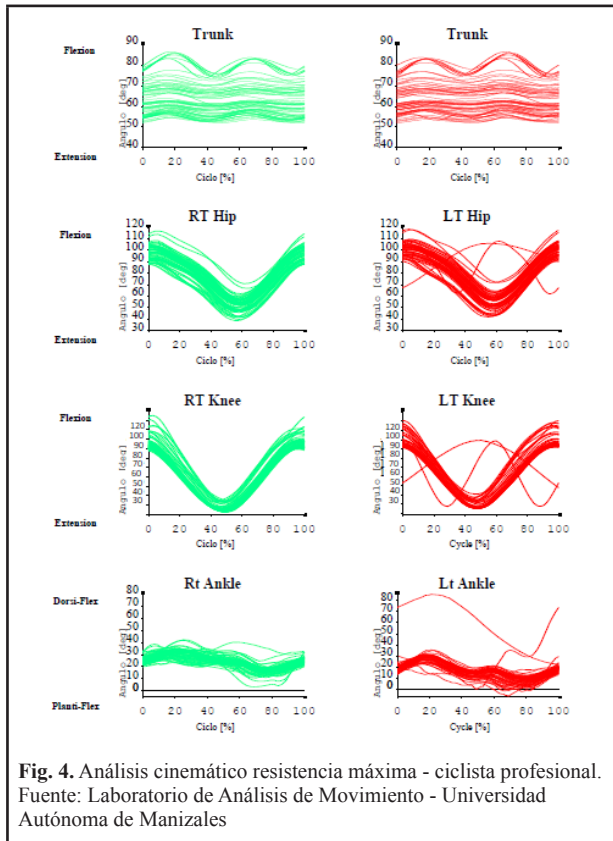


Fig. 4. Análisis cinemático resistencia máxima - ciclista profesional. Fuente: Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

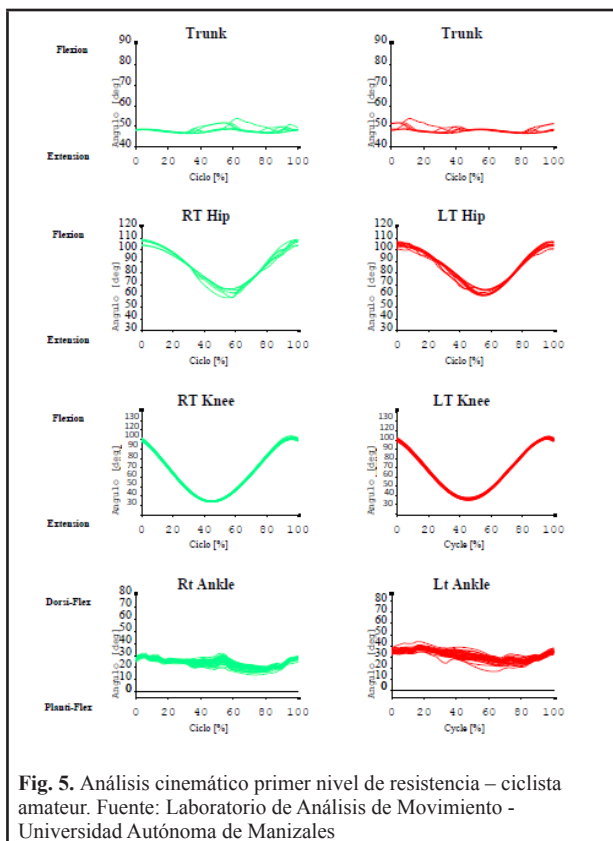


Fig. 5. Análisis cinemático primer nivel de resistencia – ciclista amateur. Fuente: Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

En el movimiento de la cadera derecha el arco de movilidad osciló entre 100° a 65° (el primer valor corresponde al 0 % y el segundo al 58% del ciclo del pedaleo), en el lado izquierdo el movimiento se realiza entre 100° y 60° (el primer valor corresponde al 0 % y el segundo al 56 % del ciclo del pedaleo), para lo cual se puede afirmar que la cadera derecha recorre un arco de movilidad aproximado de 35° mientras que en la cadera izquierda recorre aproximadamente 40°. Por otra parte, a nivel de rodilla ambas articulaciones recorren un arco de movilidad 95° hasta 35°, este último ubicado aproximado en el 45 % del ciclo del pedaleo, realizando un recorrido de movimiento de 60° (ver Fig. 5).

El ciclista amateur en el máximo nivel de resistencia muestra a nivel de tronco y de tobillo en los test de consistencia la mayor variabilidad, siendo más evidente en el tronco hacia el lado izquierdo. La mayor consistencia se evidencia en la rodilla, ambas articulaciones recorren un arco de movilidad aproximado de 60° iniciando en 90° hasta 30°, este último ubicado aproximado en el 45% del ciclo del pedaleo. En el movimiento de las caderas el arco de movilidad osciló entre 95° a 50° (el primer valor corresponde al 0 % y el segundo al 56 % del ciclo del pedaleo), recorriendo un arco de movilidad aproximado de 45° (ver Fig. 6).

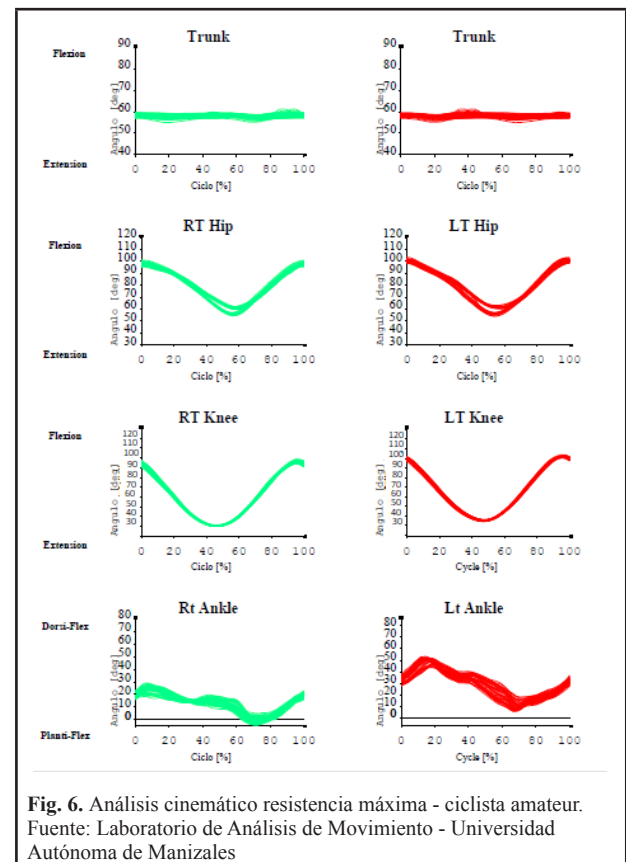


Fig. 6. Análisis cinemático resistencia máxima - ciclista amateur. Fuente: Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

**Tabla 2.** Datos estabilométrico y baropodométricos

<b>Presiones Plantares/Estabilometría estática</b>		<b>Profesional</b>	<b>Amateur</b>
% Apoyo pie Ojos Abiertos	Izquierdo	34,3	40,2
	Derecho	65,7	59,8
Superficie de elipse Baricentro (mm <sup>2</sup> ) Ojos Abiertos	Izquierda	40,3	9,3
	Derecha	14,1	1,4
	Total	103,8	11,0
CoP Distancia (mm) Ojos Abiertos		207,9	210,7
DE X(mm) Ojos Abiertos		0,8	0,6
DE Y(mm) Ojos Abiertos		6,2	0,9
Velocidad media (mm/s) Ojos Abiertos		6,9	7,0
Índice de Romberg		0,9	0,7

La diferencia en el test de consistencia entre el pedaleo del ciclista profesional con respecto al amateur en la prueba de máximo esfuerzo radica principalmente a nivel de tronco y rodilla. Esto se debe a que el ciclista profesional se focaliza en producir máxima potencia en sus miembros inferiores y el gesto deportivo se vuelve secundario, aunque no menos importante, recurriendo a utilizar otros grupos musculares con lo cual pierde precisión el gesto, mientras que la máxima potencia para el ciclista amateur es más conservadora dadas las condiciones de experiencia y de simulación.

### **Resultados de Estabilometría**

Con respecto a la estabilidad el ciclista profesional presenta un índice de Romberg de 0,9 y en el Amateur de 0,7, indicando en ambos una adecuada estabilidad en posición estática. Con respecto a la distribución del peso, referido al porcentaje de apoyo en miembros inferiores, el

ciclista profesional realiza más apoyo en miembro inferior derecho (65,7 %).

Se encontró que el porcentaje de peso corporal apoyado sobre el miembro inferior derecho fue mayor respecto al contralateral en ambos participantes, sin embargo, en el ciclista profesional se evidenció esta diferencia acentuada. En cuanto a la superficie de elipse del baricentro corporal en la prueba de estabilometría estática, fue menor en el ciclista amateur respecto al profesional. En miembros inferiores la media de la superficie de elipse del baricentro del pie izquierdo fue mayor a la del pie derecho.

La estabilidad del ciclista profesional presentó un índice de Romberg de 0,9 y en el Amateur de 0,7, indicando en ambos el uso de los sistemas, visual, somatosensorial y vestibular, de manera coordinada para mantener el equilibrio.

**Tabla 3.** Datos de límites de estabilidad de ambos ciclistas

<b>Resultados</b>	<b>Ciclista profesional</b>				<b>Ciclista amateur</b>			
	<b>Ojos abiertos</b>		<b>Ojos cerrados</b>		<b>Ojos abiertos</b>		<b>Ojos cerrados</b>	
	<b>Anteroposterior</b>	<b>Medio lateral</b>	<b>Anteroposterior</b>	<b>Medio lateral</b>	<b>Anteroposterior</b>	<b>Medio lateral</b>	<b>Anteroposterior</b>	<b>Medio lateral</b>
<b>Mínimo</b>	-19,5	-24,7	-36,0	-36,9	-56,5	-60,2	-41,6	-46,2
<b>Máximo</b>	36,1	24,7	38,8	43,1	70,3	56,1	59,2	42,1
<b>Amplitud de balanceo</b>	13,2	10,5	22,5	19,2	48,2	43,0	36,0	29,0
<b>Número de oscilaciones</b>	19	32	16	21	28	13	28	19
<b>Frecuencia de balanceo</b>	1,7	0,9	1,9	1,4	1,0	2,3	1,0	1,6

### Límites de estabilidad:

La amplitud de balanceo en el ciclista profesional con ojos abiertos y con ojos cerrados es menor en comparación con el ciclista amateur, tanto en sentido anteroposterior como lateral, al igual que el número de oscilaciones. En la frecuencia de balanceo, el profesional tiende a presentar mayor frecuencia de balanceo con ojos cerrados que con ojos abiertos al igual que el ciclista amateur.

En cuanto a la prueba de estabilidad dinámica, los límites de estabilidad en anteroposterior, presentaron una media menor en sentido posterior que en anterior. Sumado a ello, se evidenció que los valores alcanzados en sentido anteroposterior fueron mayores con ojos cerrados en el ciclista profesional.

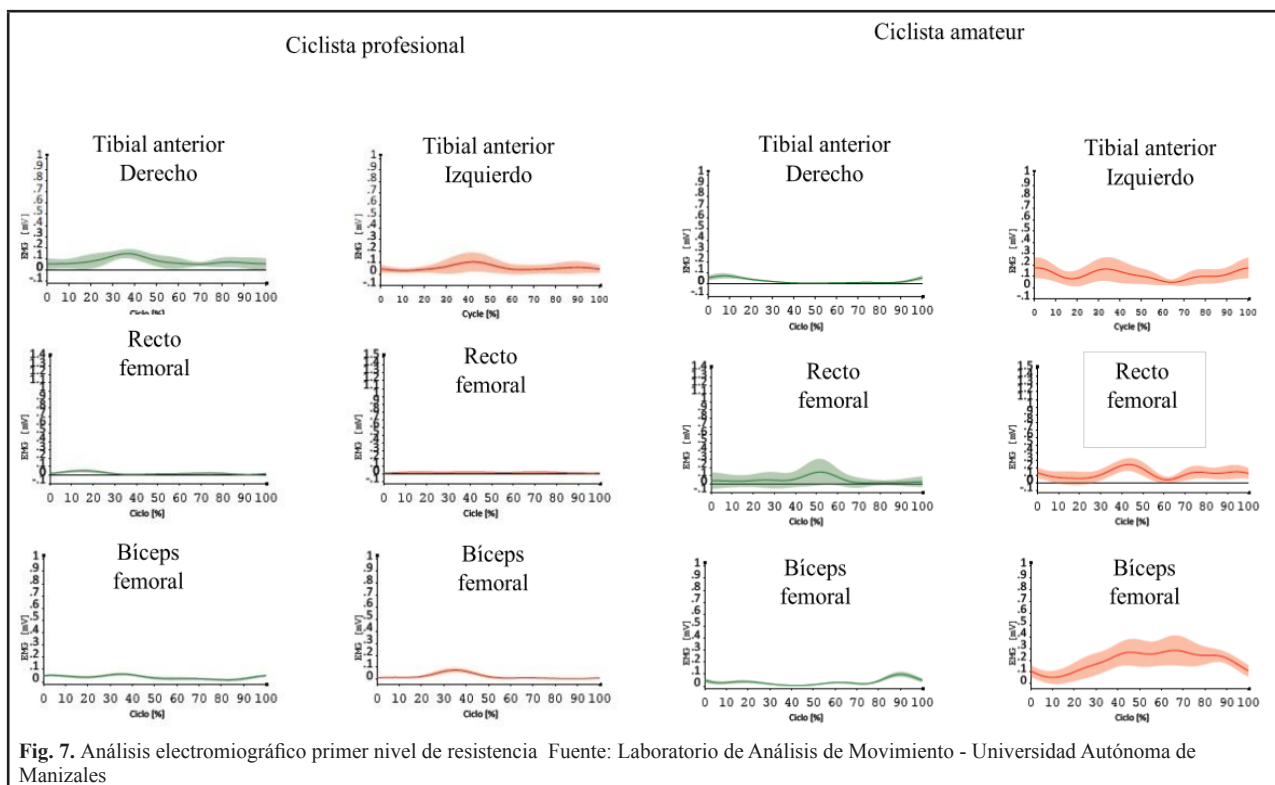
En relación con los límites de estabilidad en mediolateral fue variable, en el ciclista profesional fue mayor hacia el lado derecho en la prueba con ojos cerrados, mientras que en el ciclista amateur el límite hacia el lado izquierdo fue mayor tanto con ojos abiertos como cerrados.

**Resultados de electromiografía:** Los datos de electromiografía guardan correspondencia con las dos mediciones realizadas (primer y máximo nivel de resistencia). En la figura 5 se presentan la información relacionada con el primer nivel de resistencia, evidenciándose un análisis en función del tiempo (representado en el eje

X, en porcentaje del ciclo del pedaleo) y la relación esfuerzo-amplitud de la señal electromiografía por medio de la envolvente siendo esta el promedio de varios ciclos consecutivos de pedaleo para obtener la curva [13]. Al analizar en la curva de la envolvente, la máxima amplitud ante una flexión voluntaria durante el ejercicio del pedaleo, se observa que el ciclista profesional presenta mayor actividad eléctrica muscular en el miembro inferior derecho, extremidad dominante del ciclista. La actividad eléctrica con mayor amplitud se localiza en el bíceps femoral derecho con valores de  $0,50\text{ mV}$  entre el 80 % y 90 % del ciclo del pedaleo, seguido del recto anterior derecho con una amplitud máxima de  $0,27\text{ mV}$  en el 50 % del ciclo.

De otra parte, el ciclista amateur tiene mayor amplitud en los registros del miembro inferior izquierdo, presentando mayor actividad eléctrica en el recto femoral  $0,25\text{ mV}$  alrededor del 40 % del ciclo del pedaleo y en el bíceps femoral con amplitud máxima de  $0,30\text{ mV}$  entre el 60 % y 70 % del ciclo.

En general, se puede apreciar que ambos ciclistas presentan mayor actividad eléctrica en el músculo bíceps femoral siendo más pronunciados los picos de amplitud en el ciclista profesional ( $0,5\text{ mV}$  derecho,  $1,0\text{ mV}$  izquierdo) en comparación con las amplitudes manejadas por el amateur ( $1\text{ mV}$  derecho y  $0,3\text{ mV}$  izquierdo).





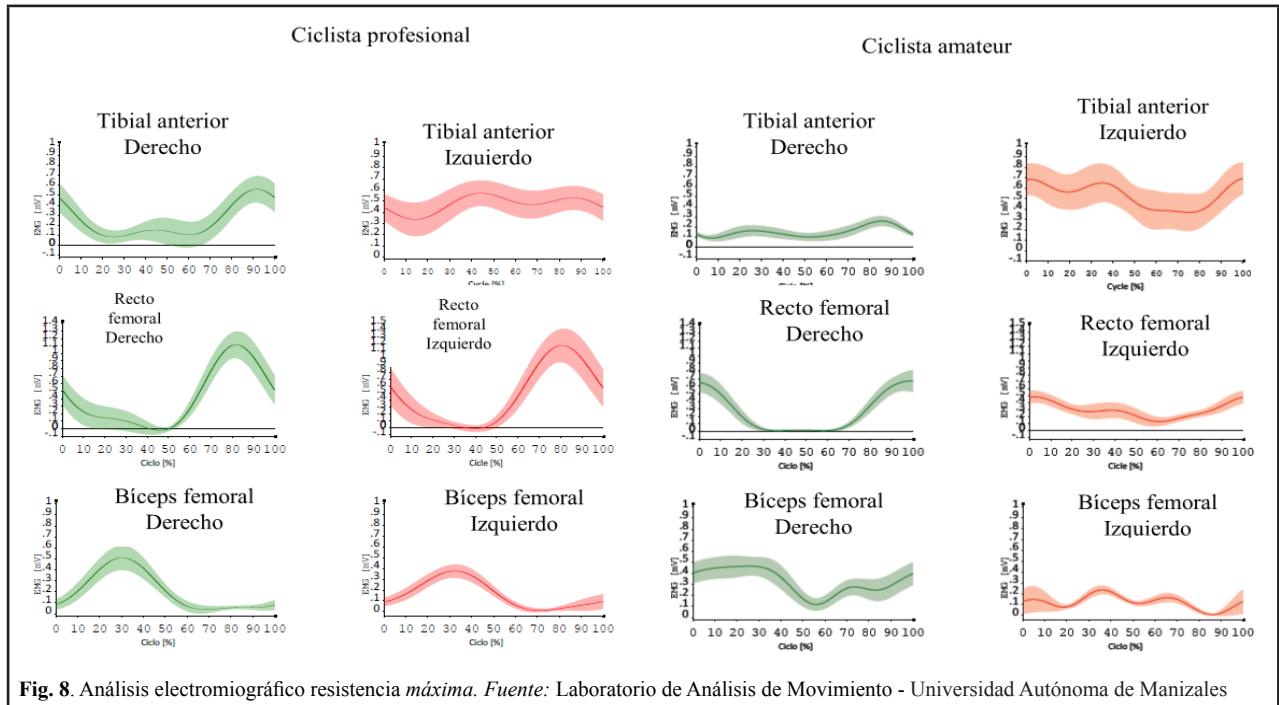


Fig. 8. Análisis electromiográfico resistencia máxima. Fuente: Laboratorio de Análisis de Movimiento - Universidad Autónoma de Manizales

En el nivel de resistencia máxima se llevó la combinación de piñones al máximo; posteriormente se pidió a los participantes pedalear con su *máxima* capacidad, encontrando que el ciclista profesional mejora la distribución de fuerzas en los miembros inferiores, haciendo que la actividad eléctrica muscular presente similitudes en las amplitudes máximas medidas en milivoltios [ $mV$ ]. La actividad eléctrica muscular es mayor en recto femoral izquierdo con amplitud máxima de  $1,16 mV$  y  $1,10 mV$  en el derecho, en el 80 % del ciclo del pedaleo. Seguido del bíceps femoral con  $0,50 mV$  para el miembro inferior derecho y  $0,40 mV$  en el izquierdo, ambas amplitudes correspondientes al 30 % del ciclo del pedaleo.

Así mismo, el ciclista amateur presenta mayor actividad eléctrica muscular en el recto femoral derecho  $0,65 mV$  en la parte final del ciclo del pedaleo, en el miembro inferior izquierdo la amplitud máxima es de  $0,50 mV$  correspondiente al 10 % inicial y 30 % final del ciclo. La segunda mayor contracción se refleja en el bíceps femoral derecho con  $0,45 mV$  y en el izquierdo con  $0,25 mV$  en el 30 y 40 % del ciclo, siendo mayor la actividad eléctrica muscular en el miembro inferior derecho. Ver figura 6. Ambos ciclistas presentan mayor contracción en el recto femoral seguido del bíceps femoral, existe una diferencia y ésta radica en que el ciclista profesional refleja una mejor distribución de fuerzas, la cual podría estar asociada con la cantidad de horas de entrenamiento que tiene el ciclista profesional.

Al realizar el patrón de movimiento del pedaleo y su análisis electromiográfico, en la Fig. 5, donde se

muestra la ejecución con un nivel de resistencia bajo, se puede observar que la activación neuromuscular es poco consistente entre las extremidades derecha e izquierda de cada sujeto, así como entre los dos sujetos valorados. Este comportamiento varió al adicionar carga externa, la cual se observa en figura 6, donde se puede apreciar que el patrón de activación neuromuscular del ciclista profesional es más uniforme entre las dos extremidades. A nivel del músculo Tibial anterior se presentan mayores diferencias, principalmente en el eslabón proximal de la cadena muscular, mientras que en los músculos recto femoral y bíceps femoral, que representan los eslabones intermedio y distal de la cadena muscular, se evidencia una activación neuromuscular simétrica. El patrón de activación del ciclista amateur es asimétrico cuando se comparan las dos extremidades, presentando mayor variabilidad en los músculos del miembro inferior izquierdo.

#### IV. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente caso fue determinar las características de potencia, velocidad, frecuencia cardíaca, cinemáticas, estabilométricas y electromiográficas del pedaleo en bicicleta de ruta en ciclista profesional y amateur, a continuación, se presenta la discusión a la luz de los resultados obtenidos y la literatura disponible en esta temática.

Con respecto a las pruebas de elasticidad, si bien en el presente estudio no se encontraron diferencias signifi-

cativas que pudieran comprometer el gesto deportivo en ambos ciclistas, es importante anotar que en el ciclismo requiere que los deportistas realicen movimientos articulares repetidos de alta intensidad, acompañados de aceleraciones y desaceleraciones repentinas; la facilidad y/o limitación para realizar estos movimientos de manera amplia y suavizada depende de la flexibilidad [14]. Como lo informa Allen en 2002 [15]. La flexibilidad muscular es uno de los componentes clave de la condición física y del rendimiento para los deportistas de élite, junto con la fuerza, la resistencia y la velocidad.

Por otro lado se ha demostrado que los movimientos repetitivos que se desarrollan en el ciclismo pueden causar asimetrías en la fuerza muscular y la flexibilidad [16] conduciendo a que los deportistas forjen asimetrías corporales, condicionando la cinemática o gesto deportivo de los mismos.

El ciclista profesional desarrolla mejores valores de potencia y velocidad, así como menor carga al sistema cardiovascular representado en los valores de frecuencia cardíaca registrados en comparación con el ciclista amateur. Datos similares son reportados por autores como [17] quienes al realizar un estudio con 72 deportistas (ciclistas de ruta) encontraron una relación directa entre el nivel de entrenamiento y nivel de potencia desarrollados y una relación inversa con los resultados de frecuencia cardíaca. Además de esto, Lucía y colaboradores en 2000 [18], sustentan dichos resultados en el proceso de adaptación anatómica y fisiológica desarrollados en la capacidad aeróbica y en el músculo entrenado.

Se observa que la velocidad aumenta de forma constante durante todos los experimentos, ya que para una cadencia constante asociada a un incremento en la relación plato-piñón, la velocidad aumenta en dicha proporción, cumpliéndose para ambos deportistas. Por otra parte, la frecuencia cardíaca (FC) aumenta con una tendencia lineal hasta el experimento 5 y en el 6 aumenta ligeramente. Sin embargo, la FC máxima en el intento 6, es menor que la FC máxima del amateur. Posiblemente porque el profesional requiere menos fuerza para mover la relación a la cadencia requerida. Con respecto a la potencia, esta presenta un aumento con tendencia lineal hasta el experimento 5 y luego aumenta relativamente en el 6. Se puede observar que, en comparación al amateur, la potencia del ciclista profesional es mayor. Esto es consecuencia del entrenamiento y la preparación del ciclista. Finalmente, la cadencia se mantuvo constante para ambos ciclistas con un valor de referencia de 70 Revoluciones por Minuto (RPM) [19], [20].

En relación con las variables cinemáticas, los hallazgos de la valoración realizada guardan correspondencia

con la información de [21], donde se describe el análisis biomecánico según las fases del pedaleo. Se ha demostrado que el gesto deportivo y la configuración de la bicicleta pueden condicionar el rendimiento físico de los ciclistas [22]–[25]; ejemplo de ello es lo encontrado por Bini y colaboradores [26], quienes informaron que la cinemática articular de miembros inferiores puede cambiar al modificar las dimensiones y longitudes de la bicicleta, así como las cargas de trabajo e intensidades de ejercicio, y por tanto condicionar la eficacia biomecánica y la posible aparición de lesiones.

Es de mencionar que los análisis biomecánicos en la mayoría de las investigaciones realizadas en ciclismo se han enfocado en evaluar los movimiento en el plano sagital [22], [27]–[29]; y pocos estudios informaron sobre el movimiento en los planos frontal y coronal [30], probablemente, porque al realizar la práctica los movimientos más amplios y la mayor carga de trabajo se genera en el plano sagital [22], [28].

Se ha demostrado que el entrenamiento del ciclista, a largo plazo modifica el patrón de movimiento y por tanto la cinemática y el reclutamiento muscular [31], [32]. Al respecto Bini y colaboradores [33], observaron una mayor inclinación lateral de la pelvis, mayor rotación y flexión lateral de la columna vertebral, rotación del muslo y de la pierna para ciclistas recreativos en comparación con ciclistas competitivos. Así mismo, las diferencias se reflejan en un reclutamiento muscular menos eficiente para los ciclistas novatos [31], [34]. Se ha demostrado que en los ciclistas el reclutamiento muscular y la coordinación muscular están condicionados por el nivel de entrenamiento, la modalidad deportiva y la intensidad [35]. Estos aportes podrían explicar en el presente estudio los mejores resultados obtenidos por el ciclista profesional en lo relacionado con los reportes de cinemática y actividad electromiográfica.

Con respecto a los datos obtenidos en la valoración estabilométrica, a pesar de que el equilibrio estático y/o dinámico es uno de los factores limitantes del rendimiento deportivo [36], ya que su deterioro no solo puede afectar los resultados, sino que también puede aumentar el riesgo de lesiones, no se encontraron estudios en los que se evaluara y/o analizara los efectos de la estabilidad sobre el rendimiento de ciclistas, como sucede en otras disciplinas [37], investigando la relación entre estabilidad y rendimiento deportivo.

En este estudio, la elipse de baricentro corporal fue mayor en el ciclista profesional respecto al ciclista amateur; a pesar de que se ha encontrado que los atletas de alto rendimiento generalmente tienen una capacidad de equilibrio superior en comparación con los sujetos de control [37]; lo que implica que la participación deportiva de elite

mejora el equilibrio, resultado relacionado posiblemente con una experiencia repetitiva que influye en las respuestas motoras y la capacidad del atleta para atender a las aferencias propioceptivas y visuales, además de la experiencia deportiva, que puede aumentar la coordinación, la fuerza y los rangos de movimiento [38], condicionando de esta manera la estabilidad de manera indirecta. En el actual estudio se encontró que las oscilaciones antero-posteriores predominan sobre las medio-laterales, este resultado puede asociarse como señaló Uimonen [39], a que la oscilación postural antero-posterior estaría más facilitada por la disposición de la articulación de tobillo.

Adicionalmente, en los participantes incluidos en este estudio, la superficie de elipse del baricentro fue mayor en el miembro inferior izquierdo, indicando que estas personas hacen mayor uso de correcciones posturales desde el tobillo izquierdo, aumentando el movimiento del centro de presión de esta extremidad como mecanismo para corregir el movimiento del centro de gravedad corporal [40]. Aun así, esta investigación reveló la preferencia de los participantes por apoyar mayor porcentaje de peso corporal sobre el miembro inferior derecho, lo que se relaciona con lo postulado por Nederhand y colaboradores [41], el equilibrio real de cada pierna no está estrechamente relacionado con contribución de la carga de peso; sugiriendo que ambos parámetros representan diferentes aspectos al mantener una postura erguida.

La distribución del peso y la superficie de elipse del baricentro entre los pies es el resultado de una compleja relación entre los componentes propioceptivos, el sistema de control motor y la memoria kinestésica [42], por ejemplo, las personas tienden a liderar ciertas actividades con la denominada “extremidad dominante” [43]. Es de anotar que en este estudio el ciclista profesional presentaba dolor en la rodilla izquierda.

Cuando se anula una entrada sensorial, lo normal es que la superficie y/o la longitud del desplazamiento del centro de presión aumente por la pérdida de información del sistema; este cambio es el que se mide al aplicar el índice de Romberg. Aun así, en el presente estudio, los resultados derivados del índice de Romberg, sugieren que ambos participantes usan el sistema visual, somatosensorial y vestibular de manera coordinada para mantener el equilibrio.

La reducción significativa de los límites de estabilidad aumenta el riesgo de caídas; en este reporte de caso, tuvieron la tendencia a ser menores en sentido posterior que en anterior, y variables en dirección mediolateral, especialmente en el ciclista profesional. En la prueba de límites de estabilidad se evidenció un mayor desplazamiento en la dirección medio-lateral que en la dirección antero-posterior, debido probablemente a que en el estudio de los

límites de estabilidad influye más la disposición de la base de sustentación, que el origen del movimiento, ya sea de tobillo o de cadera [44].

En relación con la actividad eléctrica muscular, la variabilidad interindividual de las grabaciones de electromiografía proporciona una mejor comprensión de la diferencia en la efectividad del pedaleo [45], [46]. De allí que para evaluar la actividad eléctrica muscular se haga con el promedio de varios ciclos consecutivos del pedaleo para obtener una sola curva que permita definir la envolvente y así observar el comportamiento de la amplitud de la señal electromiográfica obtenida de los músculos del miembro inferior mediante la producción de fuerza orientada sobre los pedales que incrementan la potencia del pedaleo [45], [46]. Al comparar los resultados con un primer nivel de resistencia, los cuales oscilan entre 0,25 y 0,50 *mV* respecto a cuándo el ejercicio exige la máxima potencia, donde los valores de amplitud máxima se establecen entre 0,50 *mV* a 1,16 *mV*. Se puede determinar que el ciclista profesional sigue patrones más definidos en las dos extremidades y contracciones musculares de mayor amplitud, esto puede deberse a factores que durante el pedaleo pueden persistir como lo es una posición adecuada en la bicicleta, la cual es fundamental para el rendimiento, además de las horas de entrenamiento relacionadas con ciclistas altamente entrenados que mejoran la tasa de pedaleo o cadencia y la fatiga muscular Hug y Dorel [47].

## V. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el análisis de las variables de este estudio, se puede concluir que el aumento de la resistencia se relaciona directamente con el nivel de entrenamiento del deportista, lo cual se evidenció en los resultados de potencia, velocidad y frecuencia cardiaca; además los resultados electromiográficos y el test de consistencia en el análisis cinemático, indican que a mayor entrenamiento menor necesidad de compensación con otros segmentos corporales, lo cual se hace visible en una optimización del gesto deportivo y por tanto mejor rendimiento. En relación con la estabilidad estática y dinámica no se evidencian diferencias relevantes entre los participantes, lo cual se evidencia en el resultado del índice de Romberg menor a uno que indica un buen control postural, siendo este la base neuromuscular en la comprensión del equilibrio necesarios en la ejecución del gesto deportivo en los ciclistas.

La variabilidad del tobillo, representada en la gráfica cinemática podría explicarse por una falta de control en la articulación que alteraría el pivote distal de la cadena cinemática del miembro inferior, lo cual influye en la efectividad del movimiento. El test de consistencia de la cinemática del tobillo en el deportista amateur presenta mayor

variabilidad, lo cual indicaría que se debe mejorar el control del pivote distal y con ello mejorar la eficiencia de la cadena mixta en la fase de empuje. Sin embargo, por ser un reporte de caso se sugiere continuar esta línea de investigación con una muestra significativa que permita generalizaciones de los hallazgos a la población objeto de estudio.

### TRABAJO FUTURO

Para mejorar la precisión del protocolo y la comparación del mismo con otros estudios, se recomienda usar alguna prueba incluida en el software del ciclo-simulador para medir el desempeño del deportista en términos de potencia, como por ejemplo el Functional Threshold Power (FTP).

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionados con el contenido de este reporte de caso.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Autónoma de Manizales, al Laboratorio de Análisis de Movimiento de la Universidad Autónoma de Manizales por el apoyo así como al entrenador Santiago Asmar y su empresa de entrenamiento personalizado *Mindlegs (mindlegs.com)* por facilitar el tiempo del ciclista profesional y sus conocimientos y a los ciclistas que permitieron realizar la evaluación para caracterizar los gestos deportivos permitiendo la culminación de los objetivos con éxito.

### FINANCIACIÓN

Este estudio fue financiado por la Universidad Autónoma de Manizales.

### REFERENCIAS

- [1]. Faúndez C.A., Intereses económicos y sociales que rodean el ciclismo de competencia. *Revista Presentaciones: Periodismo, Comunicación y Sociedad*, 3, 167–183, 2007.
- [2]. de Waard D., Cycling futures. *Transport Reviews*, 37,3, 403–405, May 2017.
- [3]. Charpentier A.O., La lucha ha de ser a muerte (y por puro prestigio). Reflexiones sobre la competencia deportiva femenina, *Revista de investigación y divulgación sobre los estudios de género*, 22,17, 75–101, 2015.
- [4]. Carpes F., Dagnese F., Bini R., Diefenthaler F., Rossato M., Mota C., Guimarães A. Pedaling kinematics characteristics of competitive cyclists of different disciplines. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6,1, 7–14, 2006.
- [5]. Bini R.R., Diefenthaler F., Mota C.B. Fatigue effects on the coordinative pattern during cycling: Kinetics and kinematics evaluation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20,1, 102–107, Feb. 2010.
- [6]. Rassier D.E., MacIntosh B.R., Herzog W. Length dependence of active force production in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 86,5, 1445–1457, May 1999.
- [7]. Haro M., Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25, 2, 237–247, Mar. 2014.
- [8]. Magee D. *Orthopedic physical assessment*. Saunders, 2008. Capítulo 12, 727-843.
- [9]. Yoshimoto., Uchihara H., Nomura Y., Yasuda N. Associations between functional threshold power, autonomic activation and immune function in aerobically trained cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19, e67, Dec. 2015.
- [10]. Ortiz-Corredor F., Rincón-Roncancio M., Mendoza-Pulido J.C. *Texto de medicina física y rehabilitación*. El Manual Moderno, 2016. Capítulo 14, 182-201.
- [11]. Biomedical Health and Research Program (BIOMED II) of the European Union. Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles (2006). Consultado el 12 de Agosto de 2019. <http://www.seniam.org/>
- [12]. Hamill J., Knutzen K. *Biomechanical basis of human movement*. Wolters Kluwer Health, 2015. Capítulo 9, 318-345.
- [13]. Córdova A., Nuin I., Fernández-Lázaro D., Latasa I., Rodríguez-Falces J., Actividad electromiográfica (EMG) durante el pedaleo, su utilidad en el diagnóstico de la fatiga en ciclistas. *Archivos de Medicina del Deporte*, 34,4., 217–223, 2017.
- [14]. McNeal J.R., Sands W.A. Stretching for Performance Enhancement. *Current Sports Medicine Reports*, 5,3,141–146, 2006.
- [15]. Allen H. Flexibility Training for Range of Motion. *NCSA Performance Training Journal*, 1,2, 13–20, 2002.
- [16]. Tashiro Y., Hasegawa S., Nishiguchi S., Fukutani N., Adachi D., Hotta T., Morino S., Shirooka H., Nozaki Y., Hirata H., Yamaguchi M., Tasaka S., Matsushita T., Matsubara K., Aoyama T. Body Characteristics of Professional Japanese Keirin Cyclists: Flexibility, Pelvic Tilt, and Muscle Strength. *Journal of Sports Science*, 4, 341–345, 2016.
- [17]. Perez-Landaluce J., Fernández-García B., Rodríguez-Alonso M., García-Herrero F., García-Zapico P., Patterson A.M., Terrados N. Physiological differences and rating of perceived exertion (RPE) in professional, amateur and young cyclists. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42, 4, 389–395, 2002.
- [18]. Lucia A., Joyos H., Chicharro J.L. Physiological response to professional road cycling: Climbers vs. Time trialists. *International Journal of Sports Medicine*, 21,7, 505–512, Oct. 2000.
- [19]. Meyer D., Dungs C., Senner V. Estimating the relationship between heart rate and power output for short term cycling exercises. *Procedia Engineering*, 2015, 112, 237–243.
- [20]. Tiwari P.S., Gite L.P., Pandey M.M., Shrivastava A.K. Pedal power for occupational activities: Effect of power output and pedalling rate on physiological responses. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41,3, 261–267, May 2011.
- [21]. Castellote-Olivito J. M. Biomecánica de la extremidad inferior en el ciclista. *Archivos de Medicina del Deporte*, 3,11, 233–238.

- [22]. Bini R., Hume P.A., Croft J. L. Effects of Bicycle Saddle Height on Knee Injury Risk and Cycling Performance. *Sports Medicine*, 41,6, 463–476, Jun. 2011.
- [23]. Peveler W.W., Pounders J.D., Bishop P.A., Effects of Saddle Height on Anaerobic Power Production in Cycling. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 4, 1023, Nov. 2007.
- [24]. Schweltnus M., Derman E. Common injuries in cycling: Prevention, diagnosis and management. *South African Family Practice*, 47,7, 14–19, Aug. 2005.
- [25]. Bini R.R., Tamborindéguy A.C., Mota C.B. Effects of saddle height, pedaling cadence, and workload on joint kinetics and kinematics during cycling. *Journal of sport rehabilitation*, 19,3, 301–14, Aug. 2010.
- [26]. Bini R.R., Senger D., Lanferdini F., Lopes A.L. Joint kinematics assessment during cycling incremental test to exhaustion. *Isokinetics and Exercise Science*, 20,1, 99–105, 2012.
- [27]. Tamborindéguy A.C. Bini R.R. Does saddle height affect patellofemoral and tibiofemoral forces during bicycling for rehabilitation? *J. Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 15,2, 186–191, Apr. 2011.
- [28]. Bini R.R., Hume P.A., Kilding A.E. Saddle height effects on pedal forces, joint mechanical work and kinematics of cyclists and triathletes. *European Journal of Sport Science*, 14,1, 44–52, Jan. 2014.
- [29]. Sanderson D.J., Martin P.E., Honeyman G., Keefer J. Gastrocnemius and soleus muscle length, velocity, and EMG responses to changes in pedalling cadence. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16,6, 642–649, Dec. 2006.
- [30]. Bailey M.P., Maillardet F.J., Messenger N. Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of Sports Sciences*, 21, 8, 649–57, Aug. 2003.
- [31]. Chapman A., Vicenzino B., Blanch P., Hodges P. Do differences in muscle recruitment between novice and elite cyclists reflect different movement patterns or less skilled muscle recruitment? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12,1, 31–34, Jan. 2009.
- [32]. Takaishi T., Yamamoto T., Ono T., Ito T., Moritani T. Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 30,3, 442–9, Mar. 1998.
- [33]. Bini R.R., Dagnese F., Rocha E., Silveira M.C., Carpes F.P., Mota C.B. Three-dimensional kinematics of competitive and recreational cyclists across different workloads during cycling. *European Journal of Sport Science*, 16,5, 553–559, Jul. 2016.
- [34]. Lima J.C., Ekblom M.M., Tarassova O., Andersson E., Rönquist G., Grundström H., Arndt A. Effect of increasing workload on knee extensor and flexor muscular activity during cycling as measured with intramuscular electromyography. *PLoS One*, 13,8, e0201014, Aug. 2018.
- [35]. Chapman A.R., Vicenzino B., Blanch P., Hodges P.W. Leg muscle recruitment during cycling is less developed in triathletes than cyclists despite matched cycling training loads. *Experimental Brain Research*, 181,3, 503–518, Jul. 2007.
- [36]. Zemková E. Sport-specific balance. *Sports Medicine*, 44,5, 579–590, 2014.
- [37]. Hrysonmallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, 41,3, 221–232, 2011.
- [38]. Bressel E., Yonker J.C., Kras J., Heath E.M. Comparison of static and dynamic balance in female. *Journal of Athletic Training*, 42,1, 42–46, 2007.
- [39]. Uimonen S., Laitakari K., Sorri M., Bloigu R., Palva A. Effect of positioning of the feet in posturography. *Journal of vestibular research: equilibrium & orientation*, 2,4, 349–56, 1992.
- [40]. Karlsson A., Lanshammar H. Analysis of postural sway strategies using an inverted pendulum model and force plate data. *Gait Posture*, 5,3, 198–203, Jun. 1997.
- [41]. Nederhand M.J., Van Asseldonk E.H.F., van der Kooij H., Rietman H.S. Dynamic Balance Control (DBC) in lower leg amputee subjects; contribution of the regulatory activity of the prosthesis side. *Clinical Biomechanics*. 27,1, 40–45, Jan. 2012.
- [42]. Peterka R.J. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 88,3, 1097–1118, 2002.
- [43]. De Asha A.R., Buckley J.G. The effects of laterality on obstacle crossing performance in unilateral trans-tibial amputees. *Clinical Biomechanics*, 30,4, 343–346, May 2015.
- [44]. Baydal-Bertomeu J.M., Barberà I Guillem R., Soler-Gracia C., Peydro De Moya M.F., Prat J.M., Barona De Guzmán R. Determinación de los patrones de comportamiento postural en población sana Española. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 55,6, 260–269, Jun. 2004.
- [45]. De Marchis C., Schmid M., Bibbo D., Bernabucci I., Conforto S. Inter-individual variability of forces and modular muscle coordination in cycling: A study on untrained subjects. *Human Movement Science*, 32,6, 1480–1494, Dec. 2013.
- [46]. Hug F., Turpin N.A., Guével A., Dorel S. Is interindividual variability of EMG patterns in trained cyclists related to different muscle synergies? *Journal of Applied Physiology*, 108,6, 1727–1736, Jun. 2010.
- [47]. Hug F., Dorel S. Electromyographic analysis of pedaling: A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19,2, 182–198, Apr. 2009.