

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE  
LA TÉCNICA DE EJECUCIÓN EN  
EL ARRANQUE DE CICLISMO  
DE PISTA ENTRE DEPORTISTA  
SEMI-PROFESIONAL Y AMATEUR**

**BIOMECHANICAL ANALYSIS OF  
THE EXECUTION TECHNIQUE IN  
THE START OF TRACK CYCLING  
BETWEEN SEMI-PROFESSIONAL  
AND AMATEUR SPORTSMEN**

**ANÁLISE BIOMECÂNICA DA  
TÉCNICA DE EXECUÇÃO NO  
INÍCIO DO CICLISMO DE TRILHA  
ENTRE DESPORTISTAS SEMI-  
PROFISSIONAIS E AMADORES**

**Ricardo García Coronado**

Facultad de Ingeniería Mecánica,  
Grupo de Investigación GIDINT,  
Universidad Santo Tomas Seccional Tunja  
[ricardo.garcia@usantoto.edu.co](mailto:ricardo.garcia@usantoto.edu.co)

**Julián A. Parra Borda**

Facultad de Ingeniería Mecánica,  
Grupo de Investigación GIDINT,  
Universidad Santo Tomas Seccional Tunja  
[julian.parrab@usantoto.edu.co](mailto:julian.parrab@usantoto.edu.co)

**Yolanda Torres Pérez**

Escuela de Ingeniería Electromecánica, Grupo de  
Investigación GENTE, Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
[yolanda.torres01@uptc.edu.co](mailto:yolanda.torres01@uptc.edu.co)  
<https://orcid.org/0000-0002-3526-8491>

*Fecha de recepción:* 11 de septiembre 2018

*Fecha de aprobación:* 26 de octubre 2018

## Resumen

En este trabajo se realizó el estudio biomecánico del arranque en ciclismo de pista, este estudio se fundamentó en el análisis del movimiento por videometría. Para el análisis se utilizó Kinovea, este es un software gratuito de código abierto. Kinovea permite analizar ángulos y trayectorias presentes en un video. El estudio se fundamentó en el arranque de ciclismo de pista en dos deportistas, una niña integrante de la selección Boyacá de menores Raza de campeones con nivel semiprofesional, el otro deportista es un estudiante universitario con poca experiencia en el ámbito del ciclismo de pista. Se presenta la comparación que hay entre estos dos competidores con el fin de establecer ciertas características que pueden llegar a ser factores muy importantes y determinantes en la ejecución del arranque de esta gesta deportiva. Se encontró que el torque ejercido del pie en relación con el pedal de la deportista semiprofesional es mayor que el del deportista amateur, esto se debe a la angulación que se formó al momento de generar el pedaleo. Al estudiar los resultados iniciales se llega a la conclusión de hacer una post intervención que busca mejorar la capacidad de ejecución en el arranque de ciclismo de pista, para esta intervención se cambian las alturas del sillín en el deportista amateur, además de esto se corrige el agarre del manillar (ergopower) ya que esto es un factor muy importante que afecta la posición del sillín como la postura del pie en relación con el pedal. Se llega a la conclusión de que al hacer medidas correctivas que mejoren errores posturales se tendrá buen rendimiento y buena ejecución de la gesta deportiva, además de esto se evitaran lesiones y alteraciones en la técnica de ejecución del arranque en ciclismo de pista.

**Palabras clave:** Análisis biomecánico, ciclismo de pista, curvas cinemáticas, deportista amateur, deportista semiprofesional.

## Summary

In this work, the biomechanical study of track cycling start was carried out, this study was based on the analysis of motion by videometry. For the analysis, Kinovea was used, a free open source software. Kinovea allows us to analyze angles and trajectories present in a video. The study was based on the start of track cycling in two athletes, a girl member of the Boyacá selection of minors, race of champions with semiprofessional level and the other athlete is a university student with little experience in the field of track cycling. The comparison between these two competitors is presented in order to establish certain characteristics that can become very important and determining factors in the execution of the start of this sport. It was found that the torque exerted by the foot in relation to the pedal of the semi-professional athlete is greater than that of the amateur athlete, this is due to the angulation that was formed at the moment of generating the pedaling. When studying the initial results, we reach the conclusion of a post intervention that seeks to improve the execution capacity in the start of track cycling, for this intervention the heights of the saddle are changed in the amateur athlete, in addition to this, the grip of the handlebar (ergopower) since this is a very important factor that affects the position of the saddle as the position of the foot in relation to the pedal. It is concluded that by making corrective measures that

improve postural errors good performance and good execution of the sport, in addition to this, injuries and alterations in the execution technique of the start of track cycling will be avoided.

**Key Words:** Biomechanical Analysis, Track Cycling, Kinematic Curves, *Amateur Athlete*, *Semi-Professional Athlete*

## Resumo

Neste trabalho, iniciou-se o estudo biomecânico do ciclismo de pista, este estudo foi baseado na análise de movimento por videometria. Para a análise de Kinovea foi usado, este é um software livre de código aberto. Kinovea nos permite analisar ângulos e trajetórias presentes em um vídeo. O estudo foi baseado no Ciclismo em Pista começando dois atletas, um membro menina da seleção Boyacá de menor Corrida dos Campeões com nível semiprofissional, o outro atleta é um estudante universitário com pouca experiência no campo do ciclismo de pista. A comparação entre estes dois competidores é apresentada a fim de estabelecer certas características que podem se tornar muito importantes e determinantes na execução do início deste esporte. Verificou-se que o binário exercido pé em relação ao atleta semiprofissional pedal é maior do que o atleta amador, isto é devido ao ângulo que se formou quando a geração de pedalar. Ao estudar os resultados iniciais, conclui-se para fazer uma pós-intervenção que visa melhorar a capacidade de execução no início do ciclismo de pista, para este assento alturas de intervenção no atleta amador são alteradas, além de que é corrigido grip do manillar (ergopower) já que este é um fator muito importante que afeta a posição do selim como a posição do pé em relação ao pedal. Conclui-se que, ao realizar medidas corretivas que melhorem os erros posturais, haverá bom desempenho e boa execução do esporte, além de evitar lesões e alterações na técnica de execução da bota no ciclismo de pista.

**Palavras chave:** Análise biomecânica, ciclismo de pista, curvas cinematográficas, atleta amador, atleta semi-profissional.

## I. INTRODUCCIÓN

El ciclismo es una forma popular de ejercicio utilizado para el acondicionamiento aeróbico, para el deporte competitivo y una modalidad de rehabilitación a la terapia física (Márquez C.J. et al. 2018) En la competición, el mayor enfoque está en el rendimiento, en el cual el atleta adopta una postura aerodinámica para minimizar la resistencia del aire y potenciar la producción de energía en el pie de vela (Cordeiro I. 2005). El rendimiento en ciclismo

depende, entre otros, de factores biomecánicos y fisiológicos (Faria I. E. 2002). Varios estudios han mostrado la importancia de factores biomecánicos como la aerodinámica, las dimensiones de la bicicleta (García-López J. 2008), (R Gregor. J. et al. 1991), (Zameziati K. 2006) o la utilización de sistemas de pedaleo no circulares que mejoran el rendimiento en este deporte (Rodríguez-Marroyo J. 2008). Sin embargo, existen muchos escepticismos acerca de que la aplicación de fuerzas en los pedales/bielas o eficiencia mecánica sea un

indicador útil de la eficiencia de pedaleo del ciclista (Growney E. 2007). Esto contrasta con el relativo consenso que existe acerca de que la eficiencia muscular sea un factor determinante para el rendimiento en ciclismo, el cual puede llegar a mejorar con el entrenamiento (Hull M. et al. 2008). Mientras algunos estudios han encontrado relación entre la eficiencia muscular y la eficiencia mecánica (Candotti, Ribeiro T. 2007), otros estudios no han observado esta relación (Neptune R. R. and Herzog W. 2009). La mayoría de libros de biomecánica del ciclismo (Burke E. 2003) afirman que la eficiencia mecánica debe de ser mayor en ciclistas de alto rendimiento en comparación con amateurs, pero los escasos estudios experimentales no han podido determinar estas diferencias (D. J. Sanderson 2010), (Santalla A. 2009).

En la actualidad, se han venido aplicando metodologías técnicas en el ciclismo como la biomecánica, cineantropometría y videometría, estos son aspectos de estudio que se deben a la evolución que ha mantenido el ciclismo en los últimos años; estas metodologías se consideran factores importantes a tener en cuenta para evitar que el rendimiento deportivo se vea afectado en cada uno de los ciclistas. En las etapas de inicio de esta disciplina deportiva se evidencian limitadas aplicaciones de estudios cineantropométricos que permitan establecer el somatotipo de los deportistas y de esta manera direccionarlos a las pruebas de pista o ruta, así como la falta del uso de la biomecánica para optimizar el gesto deportivo del pedaleo en el ciclismo con el objetivo de mejorar su rendimiento y a la vez prevenir lesiones por un mal posicionamiento sobre su bicicleta (Gutiérrez, M. 1994), la biomecánica se define como el estudio de la aplicación de las leyes de la mecánica a la estructura y movimiento de los seres vivos.

La biomecánica es un campo de estudio muy extenso y abarca muchas disciplinas (Yanci J. 2015). Este proyecto se enfoca en el estudio del movimiento generado en el arranque del ciclismo de pista, el estudio va desde el enfoque puramente del profesional o deportivo con el fin de mejorar la eficiencia de la actividad que se está evaluando y de esta manera evitar lesiones y medicina terapéutica, esta puede ser de tipo quirúrgica o de rehabilitación (García A. 2016), permitiendo mejorar tanto la gesta deportiva como la calidad de vida del deportista, además se busca mejorar la técnica de ejecución en el arranque de ciclismo de pista con el fin de poder alcanzar niveles óptimos de rendimiento en esta disciplina.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este proyecto, primero se seleccionaron dos ciclistas a evaluar, la deportista semiprofesional pertenecen al equipo de la Liga de la Selección Boyacá “Raza de Campeones” (Fig.1) y el deportista amateur está dando hasta hora sus primeros pasos en esta disciplina.





**Figura 1.** Deportistas Amateur (Izq.) y Semiprofesional (Der.)

**Fuente:** Autores del proyecto

La ciclista semiprofesional fue evaluada luego de un periodo competitivo, es por esto que se encuentra en niveles altos de desempeño, por lo que los resultados que se esperan obtener serán de gran calidad, el deportista amateur ha tenido bastante recorrido en otras disciplinas deportivas, siendo esto un factor que le permite la facilidad de ejecución en ciclismo de pista. Para empezar, se tomaron medidas antropométricas (talla, longitudes y perímetros de segmentos y masa corporal) para cada deportista. También, se tomaron medidas de las bicicletas utilizadas en la ejecución de la gesta deportiva, para el deportista amateur se usó una bicicleta talla 50 XS y para la deportista semiprofesional se usó una talla 45 XS.

Las pruebas se hicieron en diferentes sesiones, cada prueba estaba acompañada de un calentamiento de 10 minutos con potencia constante, el calentamiento se hizo para evitar lesiones en el momento de generar esfuerzos

grandes en la arrancada. Para empezar a hacer la toma de los videos se tuvo que tener en cuenta el ambiente en donde se iba grabar, ya que la luz del lugar es un factor muy importante el cual puede afectar o mejorar la calidad de la imagen de los videos.

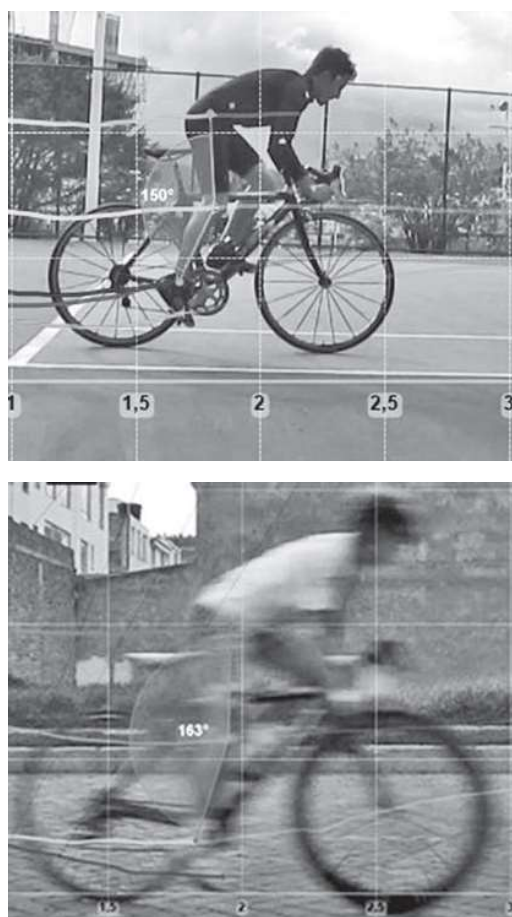
Luego de tener las condiciones lumínicas óptimas para la grabación, se colocaron los marcadores de interés en puntos estratégicos del cuerpo de los deportistas. Los puntos de interés fueron las articulaciones de la cadera, rodilla, tobillo, y muñeca, los marcadores tienen que ser vistosos para facilitar el procesamiento de los videos en el Software libre Kinovea 8.24 (Fig. 2), que permite mostrar los ángulos y trayectorias presentes en la ejecución del movimiento.



**Figura 2.** Marcadores en las articulaciones requeridas  
**Fuente:** Autores del proyecto

Los videos se realizaron con una cámara digital profesional Canon PowerShot SX160 IS. Después, se procedió a procesar las grabaciones en el Software Kinovea, en donde se procesaron cada uno de los marcadores

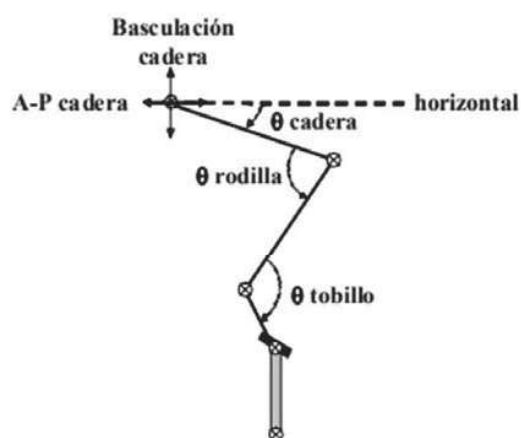
colocados en el deportista. Mediante el software, se determinaron ángulos articulares y trayectorias de marcadores de los deportistas en movimiento.



**Figura 3.** Trayectorias y ángulos articulares en los deportistas amateur (Izq.) y semi profesional (Der)  
Fuente: Autores del proyecto

### III. RESULTADOS

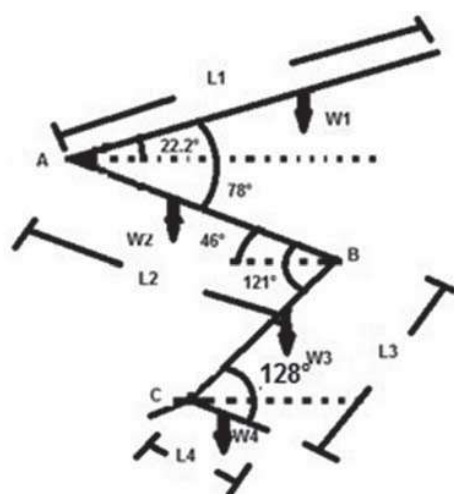
Se realizarón cálculos estáticos para determinar el torque que ejecutan los dos deportistas al momento del arranque en la pista. La Figura 4 es una representación del diagrama de cuerpo libre de la fuerza ejercida en el pedal de la bicicleta.

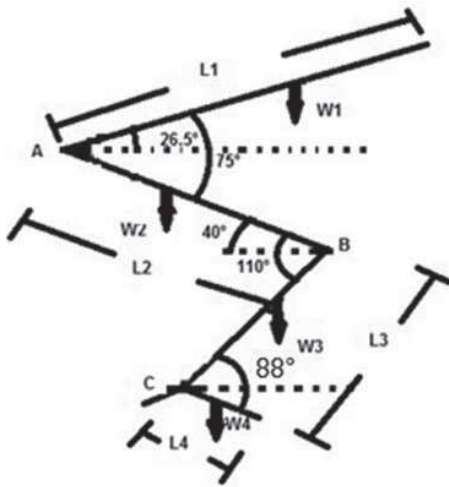


**Figura 4.** Diagrama de cuerpo libre tren inferior de un ciclista

Fuente: Autores del proyecto

Buscando analizar los torques ejercidos en los tres puntos (Cadera, Rodilla y tobillo). Para dar una conclusión acerca de cuál de los dos deportistas posee más fuerza al realizar la arrancada en pista. En la Figura 5, se realiza el diagrama de cuerpo libre de los dos deportistas basados en los ángulos goniométricos y antropométricos medidos por videometría.





**Figura 5.** Diagrama de fuerzas Amateur (Superior) y Deportista Semiprofesional (Inferior)  
Fuente: Autores del proyecto

Los torques una vez calculados se clasificaron en la tabla 1 donde W (1,2,3) son los pesos que tiene las partes del cuerpo evaluadas y M (1,2,3) son los momentos que se ejercen en cada articulación. Para el cálculo del contacto del pie con el pedal, se basa en la ecuación de pedaleo:

$$F = 0.5 C_d A_p v^2 \quad (1)$$

Donde F es la fuerza de arrastre,  $C_d$  el coeficiente de rozamiento,  $A_p$  la densidad del aire y v la velocidad relativa del aire.

**Tabla 1.** Peso y torques ejercidos por las partes del cuerpo que intervienen en el proceso.

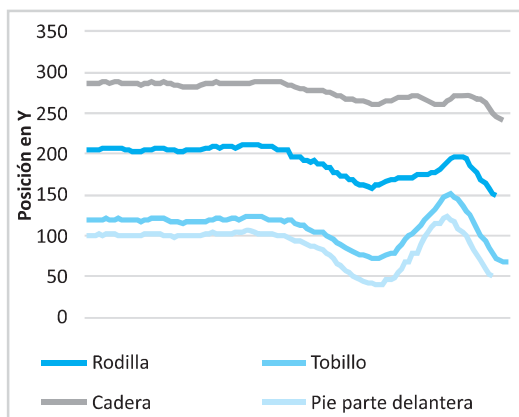
DEPORTISTA	Tabla de Cálculos						
	W1 (N)	W2 (N)	W3 (N)	W4 (N)	M1 (N.m)	M2 (N.m)	M3 (N.m)
AMATEUR	334.54	57.87	26.62	8.103	170	41.199	1.7
SEMI PROFESIONAL	238.14	41.2	20.31	8.1	166	2.712	1.77

El pico máximo de fuerza contra el pedal depende de la técnica individual utilizada por el ciclista, aunque se puede decir que está comprendida entre  $100^\circ$  y  $105^\circ$  del ciclo de pedaleo [16]. La intensidad de la fuerza es diferente según la posición adoptada por el ciclista, el sentado sobre el sillín, la fuerza efectiva es de 0,8 el peso corporal (PW) a 90 rpm, de cadencia y 434 W de potencia, mientras que cuando la potencia se incrementa, la fuerza se aproxima al peso corporal y, cuando se pedalea de pie, ascendiendo una pendiente, la fuerza puede llegar a 3.1 PW.

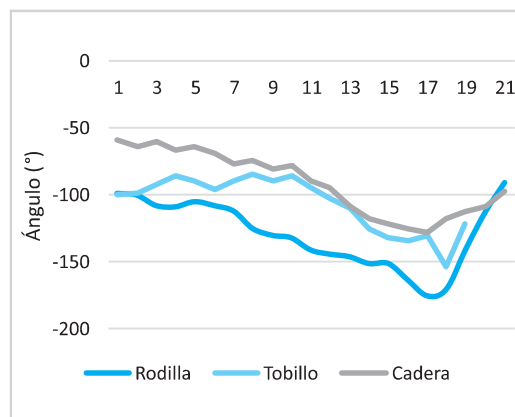
**Tabla 2.** Cálculos para pie en contacto con pedal.

F (N)	$C_d$	$A_p$ (Kg/m <sup>3</sup> )	v (m/s)
0.0386	0.7	1.225	0.09
0.0656	1.19	1.225	0.09

Las curvas que arrojo el software Kinovea comparando al deportista amateur con la semiprofesional, se puede observar movimientos diferentes debido a la manera en que se ejecutaron lo movimientos (Grafica 1). A continuación, se presentan algunas de las gráficas biocinémicas generadas y estudiadas.

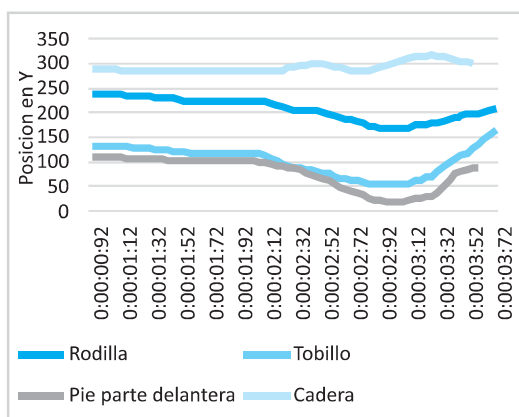


**Gráfica 1.** Trayectorias del deportista amateur  
Fuente: Autor del proyecto



**Gráfica 3.** Ángulos articulares de la deportista semiprofesional  
Fuente: Autor del proyecto

Las trayectorias y curvas cinemáticas realizadas por la deportista semiprofesional se observan en la Gráfica 2, se evidencia que son más claras y armónicas



**Gráfica 2.** Trayectorias del deportista Semi-profesional en las cuatro partes del cuerpo estudiadas.

Fuente: Autor del proyecto

Por medio del software Kinovea también fue posible hallar las curvas cinemáticas de ángulos que intervienen durante el movimiento, estos demuestran las posiciones de las articulaciones que intervienen, al estar realizando el movimiento de la manera correcta Gráfica 3.

Una vez analizadas las trayectorias y ángulos articulares se llevó a cabo una modificación a la altura del sillín del deportista amateur con el fin de mejorar la postura del pie en relación con el pedal de la bicicleta. Es de anotar que si el deportista no está ergonómicamente cómodo, podría generar enfermedades como una endofibrosis de la arteria iliaca externa, induraciones perineales, infecciones con supuración (foliculitis, forúnculos, etc.) (Ferrer V. y García J. 2017) Para mejorar la biomecánica del pedaleo, el pie debe encontrarse en la posición superior del pedaleo, la rodilla en flexión aproximadamente a 115° y cuando el pie se encuentra en posición inferior del pedaleo, esta aproximadamente a 30° (B McLean. D. and Parker A.W. 2009).

Para hacer la modificación del sillín se inicia tomando la altura perineal (AP) del deportista, esta altura se toma con el deportista descalzo y pegado a una pared, la medida se toma del periné al suelo. Para modificar la altura del sillín se tiene en cuenta la ecuación ( $A_p$  (cm) x 0.885) (Yanci J. 2015), (Aström K.J., Lenartsson A. Klein R.E. (2005). El deportista

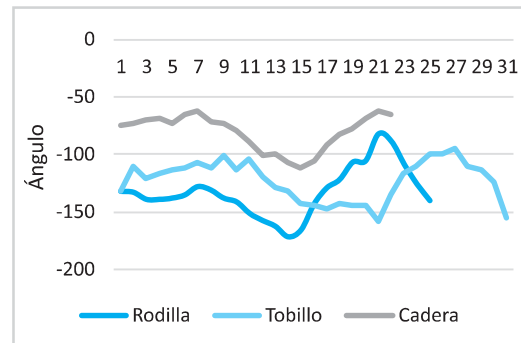




amateur presentó mala postura de la planta del pie en relación con el pedal, es por esto que se debe aumentar la altura del sillín en tres centímetros, se buscó que el contacto de la planta del pie fuera mayor que la articulación metatarso falángica, de esta manera puede llegar a ejercer más fuerza y torque de tal forma que mejore la potencia en el pedaleo llegando a obtener mayores niveles de eficiencia en la ejecución de la arrancada del ciclismo de pista. Se modificará el agarre del manillar (ergopower) en el ciclista amateur ya que esto es un factor muy importante que afecta tanto la posición en el sillín como la postura del pie en relación con el pedal.

Hay estudios como el de Sonden y Adeyefa (1979) en donde ponen de manifiesto como las fuerzas ejercidas sobre el manillar de la bicicleta son asimétricas y conducentes a compensar las fuerzas, también asimétricas, aplicadas contra los pedales. Estos estudios afirman que la fuerza de empuje sobre el manillar es de 29 % y las de tracción de un 71 %, cuando se realiza una salida máxima (Gómez-Puerto J. 2008). Es por esto, que al ciclista amateur se le dieron las indicaciones del agarre del manillar de la bicicleta en la parte baja curvada, esto con el fin de tener un mejor posicionamiento en relación con el sillín y de esta forma mejorar el ángulo de inclinación de la espalda y tener una mejor aerodinámica del arranque en la pista.

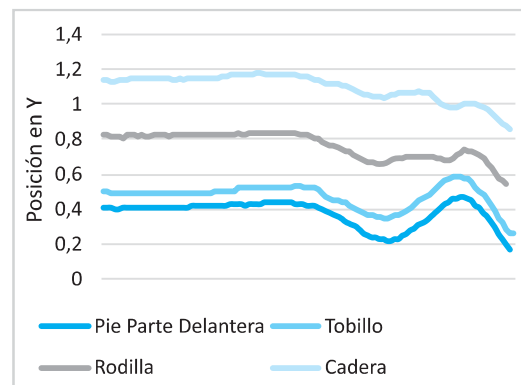
Una vez se realizó la intervención (corrección de postura), se realizaron los cambios pertinentes con el deportista amateur y se revisaron videos para un nuevo análisis de las trayectorias y ángulos articulares por medio del software Kinovea.



**Gráfica 4.** Ángulos articulares con nueva alineación del deportista amateur.

Fuente: Autor del proyecto

En la Gráfica 5, se observan las trayectorias del deportista amateur una vez se realizaron las correcciones propuestas.



**Gráfica 5.** Trayectorias del deportista amateur en las cuatros partes del cuerpo estudiadas

Fuente: Autor del proyecto

## IV. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis de los resultados de ángulos articulares y trayectorias; se encontró que el torque ejercido del pie en relación con el pedal es mayor en el deportista semiprofesional, esto se debe al ángulo que se forma a la hora de generar el pedaleo de arrancada, el torque del deportista amateur fue de 1.7 Nm

y el de la deportista semiprofesional fue de 1.77Nm.

La alienación de las bicicletas y postura ergonómica del deportista son factores importantes que afectan el rendimiento y potencia de los deportistas. Por otro lado, el aumento de la longitud del sillín en 3 cm realizada en el deportista amateur cambio totalmente las curvas de las trayectorias, creando gran semejanza con los datos obtenidos de la deportista semiprofesional.

Es primordial garantizar un adecuado contacto de la planta del pie del deportista con el pedal de la bicicleta para que el deportista pueda ejercer más fuerza y mayor torque en el momento de la arrancada, de tal forma que mejore la potencia en el pedaleo llegando a tener así una mayor ventaja competitiva en las competencias de ciclismo de pista, en donde cada segundo es fundamental para ganar.

La técnica de ejecución en ciclismo de pista y los años de experiencia y entrenamiento en esta disciplina son factores muy importantes que afectan la eficiencia y potencia generada en el arranque, para llegar a niveles óptimos de competición. Al tener una buena técnica y ejecución en el movimiento de esta disciplina, ayudan a generar buena flexibilidad y musculatura generando mayores torques al momento del arranque.

## V. REFERENCIAS

Aström K.J., Lennartsson A. Klein R.E. (2005) Bicycle dynamics and control: Adapted bicycles for education and research. *IEEE Control systems* 25 (4), 26-47.

B. McLean. D. and Parker A.W. (2009) An anthropometric analysis of elite Australian track cyclists. *J. Sports Sci.*, vol. 7, no. 3, 247–255.

Burke E. (2003) *High-Tech Cycling. The science of riding faster*. 2 Ed. Editor Edmund R. Burke. University of Colorado at Colorado Springs. Recuperado el 3 de julio de 2018, de <https://books.google.com.co/books?id=msdT4iQ-50cgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

C Candotti, Ribeiro T., J., Soares D. P., De Oliveira Á. R., Loss J. F., and Guimarães A. C. S. (2007) Effective force and economy of triathletes and cyclists. *Sport. Biomech.*, vol. 6, no. 1, 31–43

Cordeiro I. (2005). *Biomecanica do ciclismo*. Trabajo de Grado de Educación Física y Ciencias del Deporte. Pontificia Universidad de Católica do Rio Grande do Sul, recuperado 3 de julio 2018, de [http://esportes.universoef.com.br/container/gerenciador\\_de\\_arquivos/arquivos/263/biomecanica-do-ciclismo.pdf](http://esportes.universoef.com.br/container/gerenciador_de_arquivos/arquivos/263/biomecanica-do-ciclismo.pdf)

D. J. Sanderson (2010) The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclists. *J. Sports Sci.*, vol. 9, no. 2, 191–203

Faria I. E. (2002) Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Med.*, vol. 14, no. 1, 43–63.

Ferrer V. y García J. (2017) Comparación de diferentes métodos de ajuste de la bicicleta en ciclistas entrenados: influencia de factores biomecánicos y energéticos. Tesis doctoral. Universidad de León.



- García A. (2016) Estudio de la cinemática del ciclista mediante análisis de componentes principales. Proyecto fin de carrera Ingeniería Aeronáutica. Universidad de Sevilla. Recuperado el 20 de junio 2018, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60357/fichero/Proyecto+Fin+de+Carrera+-+A-dri%C3%A1n+Garc%C3%ADa+Priego.pdf>
- García-López J., Rodríguez-Marroyo J. A. Ju-  
neau C., Peleteiro J., Martínez A. C., and Villa  
J. G. (2008) Reference values and improve-  
ment of aerodynamic drag in professional cy-  
clists, *J. Sports Sci.*, vol. 26, no. 3, 277–286
- Gómez-Puerto J.R., Da Silva M., Viana B., Vaa-  
monde D. y Alvero J.R. (2008) La importancia  
de los ajustes de la bicicleta en la prevención  
de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones  
prácticas. *Revista Andaluza de Medicina del  
Deporte*. Vol. 1 No. 2, 73-81
- Growney E., Meglan D., Johnson M., Cahalan  
T., and An K.-N. (2007) Repeated measures  
of adult normal walking using a video tracking  
system. *Gait Posture*, vol. 6, no. 2, 147–162.
- Gutiérrez, M. (1994) Biomecánica y ciclismo.  
*Revista Motricidad*. Vol. 1 77-94. Recuperado  
el 5 septiembre 2018, de [file:///D:/YTP2018-II/  
ART\\_CICLISMO/Dialnet-BiomecanicaYCicli-  
simo-2278324.pdf](file:///D:/YTP2018-II/ART_CICLISMO/Dialnet-BiomecanicaYCiclismo-2278324.pdf)
- Hull M. L. and González H. (2008) Bivariate  
optimization of pedalling rate and crank arm  
length in cycling. *Biomech.*, vol. 21, no. 10,  
839–49
- Márquez C.J., Pérez L. y Tocina D. (2017)  
Análisis biomecánico para ciclistas. Tra-  
bajo de Fin de Grado de Ingeniería Informá-  
tica. Universidad Complutense de Madrid,  
recuperado 13 agosto 2018, de [https://  
eprints.ucm.es/44668/1/Memoria.pdf](https://eprints.ucm.es/44668/1/Memoria.pdf)
- Neptune R. R. and Herzog W. (2009) The as-  
sociation between negative muscle work and  
pedaling rate. *J. Biomech.*, vol. 32, no. 10,  
1021–6
- Price D. and Donne B. (1997) Effect of varia-  
tion in seat tube angle at different seat heights  
on submaximal cycling performance in man.  
*J. Sports Sci.*, vol. 15, no. 4, 395–402
- R. Gregor. J., Broker J. P., and Ryan M. M.  
(1991) The biomechanics of cycling. *Exerc.  
Sport Sci. Rev.*, vol. 19, 127–69, 1991.
- Rodríguez-Marroyo J. A., García-Lopez J., Vi-  
lla J. G., and Córdova A. (2008) Adaptation of  
pedaling rate of professional cyclist in moun-  
tain passes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 103,  
no. 5, 515–522
- Santalla A., Naranjo J., and Terrados N. (2009)  
Muscle Efficiency Improves over Time in  
World-Class Cyclists. *Med. Sci. Sport. Exerc.*,  
vol. 41, no. 5, 1096–1101
- Yanci J. (2015) Análisis cinemático y difere-  
cias bilaterales en la técnica de pedaleo de ci-  
clistas profesionales. *Revista de Ciencias del  
Ejercicio y la Salud* Vo. 13. No. 2, 1-12
- Zameziati K., Mornieux G., Rouffet D., and Be-  
lli A. (2006) Relationship between the increa-  
se of effectiveness indexes and the increase of  
muscular efficiency with cycling power. *Eur. J.  
Appl. Physiol.*, vol. 96, no. 3, 274–281