



universidad
de león



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

Curso Académico 2014/2015

ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL PEDALEO DEL CICLISTA MEDIANTE
UN SISTEMA DE BAJO COSTE

KINEMATIC ANALISYS OF PEDALING WITH A LOW COST SYSTEM

Autor/a: Ana Viña García

Tutor/a: Juan García López

Fecha: 8 de julio de 2015

VºBº TUTOR/A: Juan García López

VºBº AUTOR/A: Ana Viña García



Resumen/Abstract

1. Introducción.....	3-4
2. Objetivos del trabajo y competencias a desarrollar por el estudiante	5-6
3. Metodología	
3.1 Sujetos	7
3.2 Procedimiento.....	7
3.2.1 Desarrollo de la metodología de bajo coste.....	7-8-9
3.2.2 Filmación y análisis del pedaleo.....	9-10-11
3.3 Análisis gráfico y estadístico de los resultados.....	11
4. Resultados	12-13
5. Discusión	14-15
6. Conclusiones	16
7. Limitaciones y perspectivas futuras	17
8. Bibliografía	18



RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo ha sido perfeccionar una metodología de bajo coste para valorar la cinemática del pedaleo en dos dimensiones, de manera que permita la evaluación simultánea de la flexo-extensión de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera en el plano sagital mientras el ciclista pedalea. Además se ha pretendido determinar si existe asimetría cinemática durante el pedaleo, comprobando los valores de ambas piernas; y comprobar la sensibilidad del método para detectar cambios en la altura del sillín. Dos ciclistas amateurs han sido analizados en tres posiciones diferentes (altura habitual, 1,5 cm más alta y 1,5 más baja), en todas ellas se mantuvo la misma cadencia (90-100 rpm). El sistema de bajo coste demostró una alta sensibilidad para detectar los cambios en la altura del sillín. Y siguiendo la línea de estudios anteriores se comprobó que no existe asimetría cinemática durante el pedaleo. En conclusión, en el presente TFG se ha mejorado una herramienta de bajo coste accesible a todos aquellos profesionales de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte que pretendan llevar a cabo un análisis cinemático del pedaleo del ciclista con el objetivo de ajustar las medidas correctas de la bicicleta.

Palabras clave: ciclismo, biomecánica, cinemática 2D, tecnología de bajo coste, asimetría.

ABSTRACT

The main purpose was to improve a low cost method to evaluate the 2D kinematics during pedaling (i.e. the analysis of the flexion-extension movements of the hip, knee and ankle in the sagittal plane). The secondary purpose was to analyze if there is kinematics asymmetry during pedaling, and to test the sensitivity of this method to detect small changes in saddle height. Two recreational cyclists participated, and were analyzed in three saddle height positions (preferred, 1.5 cm higher and 1.5 lower) while pedaling at a constant cadence (90-100 rpm). The low cost system showed a high sensitivity to detect small changes in saddle height. Besides, there was not bilateral kinematic asymmetry during pedaling. In conclusion, the present work improved the low cost method, which was available to the Sports Sciences professionals in order to evaluate the 2D kinematics during pedaling. This method will be useful to perform a correct bike fit.

Keywords: cycling, biomechanics, 2D kinematics, low cost technology, asymmetry.



1. INTRODUCCIÓN

En un Trabajo Fin de Grado (TFG) del Curso 2013-14 (Bartol, 2014) se consiguió validar un sistema de bajo coste para realizar el análisis cinemático del pedaleo ciclista. El sistema consistía en utilizar un software libre (Kinovea v0.8.21), una cámara de alta velocidad de bajo coste (Casio Exilim < 200 €) y 4 diodos led (hechos a mano, con un coste de 2€ la unidad). Dicho sistema se comparó con un software profesional (Kinescan-IBV v2001), utilizando tres posiciones de pedaleo para cada ciclista, modificando la altura del sillín (preferida, 2% más alta y 2% más baja). Las conclusiones fueron que el sistema resultó ser totalmente válido, porque sus resultados concordaron con los del sistema profesional, por lo que se creó una herramienta de bajo coste que permite un ajuste de la altura del sillín más adecuado que los métodos de análisis estático utilizados hasta entonces (véase Ferrer-Roca et al., 2012 y 2014). Además, el sistema de bajo coste resultó sensible al cambio de la altura del sillín, en la misma medida que otros estudios realizados con sistemas profesionales (Ferrer-Roca et al., 2014).

Partiendo del TFG mencionado, se han observado una serie de limitaciones o puntos de mejora que pretenden ser abordados en el presente TFG. En primer lugar, la tarjeta de memoria de la cámara debía ser extraída en cada filmación, con el consiguiente movimiento de la cámara, que dificulta la comparación cualitativa de varias posiciones de pedaleo, además de obligar a recalibrar el plano de filmación cada vez (con el consiguiente aumento de tiempo en la evaluación). En segundo lugar, la filmación del ciclista se realizó solamente sobre una pierna, asumiendo simetría en el pedaleo con la pierna contralateral (García-López *et al.*, 2009). En el caso de querer evaluar ambas piernas durante el pedaleo, era necesario girar al ciclista y su bicicleta, aumentando el esfuerzo y el tiempo en el que se lleva a cabo el proceso.

Relacionado con el primer punto de mejora, para la adquisición directa del vídeo/imagen al PC sin modificar la posición de la cámara en Biomecánica se han venido utilizando diferentes sistemas. Los más antiguos, basados en cámaras de vídeo analógicas, utilizaban una capturadora de vídeo analógico/digital, de forma que la imagen podía ser visualizada y capturada directamente en el ordenador. El problema de estos es que no son compatibles con sistemas de vídeo de alta velocidad (ej. videocámaras Casio Exilim), ya que sólo muestran la imagen en el ordenador a la misma velocidad que se está visualizando.



Posteriormente, basados en cámaras de vídeo digitales, se utilizaron sistemas conectados a los ordenadores a través de puerto firewire. Los inconvenientes relativos a la alta velocidad eran los mismos que se han comentado anteriormente, si bien permitían un control de la cámara una vez finalizada la filmación, pudiendo recuperar el archivo grabado a alta velocidad. En la actualidad, los sistemas de vídeo digital no pueden conectarse a los ordenadores mediante firewire, ya que muchas de las videocámaras carecen de este tipo de salida, y muchos de los ordenadores también carecen de este tipo de entrada. Los sistemas de comunicación entre videocámara y ordenador utilizan tecnología “bluetooth” o “wifi”, no solucionando los problemas de inmediatez en la visualización de la grabación (es decir, la grabación no puede verse a alta velocidad y a tiempo real), pero sí los de comunicación entre videocámara y ordenador una vez finalizada la grabación, puesto que muchas videocámaras y ordenadores tienen este tipo de dispositivos, y si no, hay periféricos que pueden hacer esta función. Partiendo de esta premisa, en el presente trabajo se pretende adaptar una solución estándar para la comunicación entre videocámara y ordenador.

Relacionado con el segundo punto de mejora (valoración de la simetría/asimetría cinemática bilateral), revisando la bibliografía, hemos hallado un único estudio que analizó la simetría cinemática durante el pedaleo del ciclista (Edeline et al, 20014). Este estudio se realizó sobre nadadores, no sobre ciclistas, que carecían de experiencia en la práctica de ciclismo. Utilizaron un sistema de análisis tridimensional (ViconMotionAnalysis) registrando los ángulos y el movimiento de las principales articulaciones implicadas en el pedaleo (tobillo, rodilla y cadera) en los diferentes planos de movimiento (frontal, transversal y sagital). Se analizaron diferentes potencias de pedaleo (55, 65 y 75% del VO_{2max}), con el objetivo de evaluar si esta variable podría influir en la simetría cinemática. Relacionado con el plano sagital, que es el plano que se analiza con la metodología del presente TFG, los resultados fueron que la potencia no tenía influencia en la simetría cinemática, y que sólo se observó asimetría cinemática en la articulación del tobillo, y no en la rodilla y la cadera. Las diferencias observadas en el tobillo fueron explicadas afirmando que el tobillo es la extremidad que finalmente intenta compensar con un mayor rango de movimiento las desigualdades existentes entre la pierna dominante y la no dominante.



2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS

El objetivo principal del trabajo es perfeccionar una metodología de bajo coste para valorar la cinemática del pedaleo en dos dimensiones, de manera que permita la evaluación simultánea de la flexo-extensión de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera en el plano sagital y en ambas piernas mientras el ciclista pedalea.

Los objetivos secundarios del trabajo son: determinar si existe asimetría cinemática durante el pedaleo, realizando una comparación entre los registros obtenidos en las piernas dominante y no dominante; comprobar la sensibilidad del método para detectar cambios en la altura del sillín de la bicicleta.

Las competencias generales a desarrollar en este TFG se basan en la selección y dominio de una serie de instrumentos, que permitan el desarrollo de una metodología para una actividad concreta; así como la aproximación a la investigación y la formación científica. Destacan las siguientes:

- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Conocer y comprender los efectos y los factores fisiológicos y biomecánicos que condicionan la práctica de la actividad física y del deporte.
- Identificar y saber utilizar los principios mecánicos de las fuerzas (cinética), el movimiento (cinemática) y el equilibrio (estática), y aplicarlos tanto para maximizar el rendimiento físico como para minimizar la realización de actividades físicas inadecuadas desde un punto de vista biomecánico.
- Aplicar los principios biomecánicos a los diferentes campos de la actividad física y del deporte (educativo, entrenamiento, salud y recreación)
- Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en sus futuras tareas.
- Seleccionar y saber utilizar los recursos, instrumentos, herramientas y equipamientos adecuados para cada tipo de persona y de actividad, identificando críticamente y en equipo multidisciplinar el marco adecuado para las mismas.



Así mismo, el desarrollo de este TFG requiere de unas competencias específicas, relacionadas con la capacidad de llevar a cabo un análisis cinemático del pedaleo ciclista de bajo coste que valore las posibles asimetrías del ciclista, mediante la utilización de herramientas (software y hardware).

- Realizar un análisis biomecánico del pedaleo ciclista, obtener conclusiones y retroalimentar al ciclista con posibles soluciones de ajuste.
- Dominar una serie de instrumentos y herramientas, que faciliten el desarrollo de una metodología de bajo coste.
- Diseñar un protocolo de actuación “científico”, para comprobar que las herramientas seleccionadas son válidas, fiables y sensibles.



3. METODOLOGIA

3.1 Sujetos

En el estudio participaron dos ciclistas, que se identificarán por las siglas P (23.0 años, 68.0 kg, 172.0 cm, 4 años de experiencia en ciclismo y diestro) y M (24.0 años, 56 kg, 175.0 cm, 18 años de experiencia en ciclismo y diestro). Fueron informados de los objetivos del estudio, dando su consentimiento para participar en el mismo.

3.2 Procedimiento

Este trabajo se realizó en dos fases. En primer lugar se llevó a cabo el desarrollo de una metodología de bajo coste que permitió realizar el análisis cinemático de pedaleo de ambos hemicuerpos a la vez. Para ello se construyeron unos led (autoalimentados mediante pila) que permitieron un buen seguimiento por el software de análisis del movimiento. Además, fue necesario encontrar un sistema de transferencia de las imágenes de vídeo al ordenador sin necesidad de tocar las cámaras. En segundo lugar, tras haber finalizado el proceso anterior, se realizó el proceso de filmación y análisis del pedaleo.

3.2.1 Desarrollo de la metodología de bajo coste

En una primera fase, anterior al desarrollo de los leds, se probó si el software de análisis del movimiento era capaz de detectar únicamente un contraste de color. Para ello se probaron diferentes marcadores de carácter pasivo (kinesiotaping y pegatinas de varios colores). Estos no fueron detectados ni seguidos por el software, sobretodo el marcador del pedal de la bicicleta que es el que más rápido se mueve durante el pedaleo. Como esto no fue posible, decidimos retomar la utilización de los leds (marcadores activos), y partimos de las características de los mismos que fueron reflejadas en el TFG de Bartol (2014) (Figura A y B). La ventaja de estos es que no requieren de ningún tipo de luz por parte de la cámara, además se reduce el número de reflejos que puedan interferir en el desarrollo del software, beneficiando así la posibilidad de filmación ambos hemicuerpos sin que la fuente de luz se dirija de una cámara hacia otra (Zatsiorsky y Fortney, 1993). Se decidió mejorar estos leds con modificaciones relativas a su formato y construcción (Figura C y D). Básicamente la mayor diferencia respecto a los anteriores estuvo en su aspecto, partimos de los mismos materiales, sin embargo, se sustituye la cinta adhesiva por la resina. El aspecto de los led mejoró, aunque es necesario destacar que ambos dispositivos eran igualmente seguidos por el software.

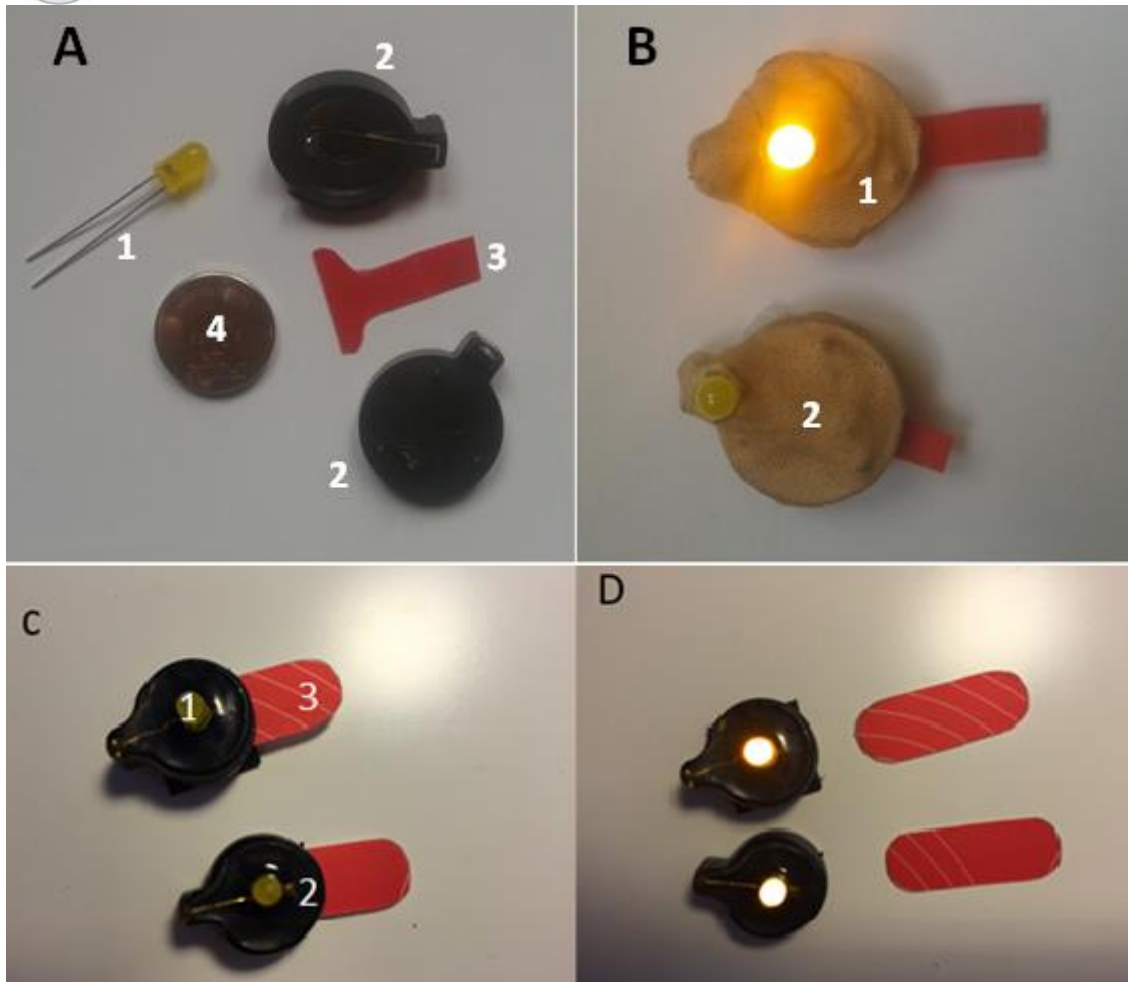


Figura A.-Elementos utilizados para la construcción del dispositivo de bajo coste en Bartol (2014): diodo led (1), carcasa portapilas (2), interruptor aislante (3), pila (4). Figura B.- Dispositivo de bajo coste utilizado diseñado por Bartol (2014) para marcar las articulaciones del ciclista (1) y el eje de rotación del pedal (2). Figura C.- Dispositivo de bajo coste diseñado para el presente Trabajo Fin de Grado: Diodo led (1), resina (2), interruptor aislante (3). Figura D.-Diodos led en funcionamiento (iluminados), listos para ser colocados sobre las articulaciones del ciclista y/o pedal.

En definitiva, se construyeron 8 leds cuyo coste fue similar al TFG anteriormente referido (~2 € por unidad). El diodo led se trata de una luz naranja con un ángulo de visión de 60°, autoalimentado con una pila CR2032 de 3V y 200mA y de fabricación propia (Figura 1). El tamaño del dispositivo es de 25 mm de diámetro por 20 mm de altura. La principal característica de este led de bajo coste es que su intensidad luminosa le permite ser



detectado por el software Kinovea. Además, en el TFG anterior (Bartol, 2014) fue testado en durabilidad, comparándolo con otros dispositivos leds de mayor coste (~ 250 € cada unidad) y comprobando que la duración real del led de bajo coste fue superior a la de los leds profesionales, a pesar de que se detectó una caída de la luminosidad del mismo a partir de unas 10 h de uso. Por lo tanto, con este tipo de led, al menos, se garantiza un uso continuado de 10 h.

En una segunda fase, se buscó un sistema que permitiera la adquisición directa del vídeo/imagen al PC sin modificar la posición de la cámara, ya que esto optimizaría la comparación cualitativa de varias posiciones de pedaleo y no obligaba a recalibrar el plano de filmación cada vez que se realicen nuevas filmaciones. Por ello, solucionamos esta deficiencia utilizando tarjetas SD de 4 y 8 GB de memoria con conexión Wifi (Eye-Fi, SanDisk Corporation). En un primer lugar se instaló en el ordenador el software de las tarjetas Wifi y se establecieron todos los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento. A continuación se insertaron las tarjetas en las cámaras de alta velocidad con las que realizamos las filmaciones (Casio Exilim EX - FH20, Casio Europe, 120 Hz y 640 × 480 píxeles) y se realizaron diversas pruebas para comprobar su funcionamiento y conocer la metodología requerida para volcar los videos directamente al ordenador. A la hora de realizar el análisis cinemático del pedaleo del ciclista su funcionamiento resultó muy rápido y eficaz. Una vez realizadas las filmaciones por cada lado del ciclista, activamos en el ordenador, mediante la tecnología wifi, la tarjeta de la que queríamos obtener los vídeos, inmediatamente tras ser conectada, el video fue volcado al ordenador automáticamente. De este modo pudimos comenzar con el análisis de los videos pocos segundos después de haber sido grabados. Por tanto, esta metodología aporta varias ventajas; por un lado evita la necesidad de extraer la tarjeta de la cámara y por otro lado permite obtener los videos en el ordenador poco tiempo después de su grabación.

3.2.2 Filmación y análisis del pedaleo.

Antes del inicio del estudio fue necesario llevar a cabo la correcta colocación de las cámaras de video de alta velocidad, perpendicularmente a ambos lados del ciclista para filmar el plano sagital del pedaleo, y a una misma distancia (3-4 m) y altura (75-80 cm). La



angulación de estas cámaras abarcó todos los puntos marcados en el ciclista, asegurándose que ninguno de estos se perdía durante la grabación durante el pedaleo. Una vez colocadas, se procedió a la configuración de las tarjetas de Wifi en el ordenador para poder volcar los videos al mismo.

Concluidos todos los pasos anteriores, se procedió a la colocación de los leds en el pedal (eje de rotación) y las articulaciones (*rodilla, tobillo y cadera*) de ambos lados del ciclista (Figura 2). Previamente a la colocación de los mismos, se fijó en las articulaciones del deportista un kinesiotaping negro de 40 mm de diámetro. Con este material, además de dar más contraste a la zona, se evitó que los leds se despegaran y se cayeran durante el test (dado que el kinesiotaping es bastante resistente a la sudoración). Una vez colocado el kinesiotaping, situamos encima los leds, los cuales fueron pegados con cinta autoadhesiva de doble cara. Para llevar a cabo este proceso el ciclista se encontró sentado sobre la bicicleta con los pedales anclados y la biela colocada a 90º del ciclo de rotación.



Figura 2. Diodos leds colocados en las diferentes articulaciones (rodilla, tobillo y cadera) y en el eje de rotación del pedal. Filmación del perfil derecho e izquierdo.

Tras un periodo de calentamiento por parte del ciclista de 10 minutos. Comenzaron las filmaciones; realizando tres grabaciones por cada lado a diferentes alturas del sillín (habitual, 1.5 cm más alta y 1.5 cm más baja). Todas las filmaciones fueron realizadas a la misma potencia (150 y 170 W para los ciclistas P y M, respectivamente). En el momento que finalizó cada una de ellas, se volcaron inmediatamente los vídeos al ordenador. El ciclista utilizó la misma posición sobre la bicicleta, con las manos sobre las manetas, no modificándola durante todo el proceso.



Los ángulos de cadera, rodilla y tobillo fueron determinados mediante el software libre Kinovea v0.8.23 (www.kinovea.org) siguiendo convenciones previas (García-López *et al.*, 2009) (Figura 3). Este software es libre y de carácter gratuito, permitiendo el seguimiento automático de la flexo-extensión de las articulaciones. Así se obtuvieron los ángulos máximos y mínimos de cada articulación durante el pedaleo, que se producían aproximadamente en los siguientes puntos de rotación de la biela (considerando 0° el punto donde esta se encontraba a la máxima altura): cadera (180 y 0°, respectivamente), rodilla (160 y 340°, respectivamente) y tobillo (180 y primeros 90°, respectivamente). Como valor de referencia de los ángulos máximos y mínimos se analizaron tres revoluciones completas, tomando como valor la media de las tres.



Figura 3. Convención utilizada para el análisis de los ángulos máximos (extensión) y mínimos (flexión) de cada articulación (izquierda). Ejemplo de ángulos tomados con el software Kinovea sobre la propia imagen del ciclista (derecha).

3.3 Análisis gráfico y estadístico de los resultados.

Los resultados son expresados como Media \pm DE. Se ha utilizado el software Microsoft Excel 2010 para obtener dichos resultados, e igualmente para realizar el análisis gráfico de los mismos.



4. RESULTADOS

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, ha sido posible construir diodos leds de bajo coste (~ 2€ / unidad) para llevar a cabo un análisis cinemático del pedaleo ciclista, y adaptar una metodología que permitiera hacerlo con los perfiles o planos sagital derecho e izquierdo del ciclista simultáneamente, sin necesidad de tocar las cámaras durante el análisis. Igualmente el coste de las cámaras (~ 150 € / unidad) y de las tarjetas wifi (~ 60 € / unidad), lo que nos permitiría hacer un análisis biomecánico del pedaleo por un coste total inferior a 500 €.

Los resultados obtenidos en el análisis cinemático de los dos ciclistas se reflejan en la *Tabla 1*. En el Ciclista P no se observan diferencias importantes en la flexo-extensión de las articulaciones de rodilla y cadera (máxima diferencia 2°), pero sí en el tobillo (hasta 6°). En el Ciclista M se observaron diferencias en la extensión de rodilla (hasta 5°). A pesar de ello, al analizar los valores medios de extensión de rodilla, cadera y tobillo en las tres posiciones, la máxima diferencia encontrada fue de 3° en la extensión de tobillo del Ciclista P (Figura 4).

		Baja			Habitual			Alta		
		Derecha	Izquierda	Media	Derecha	Izquierda	Media	Derecha	Izquierda	Media
CICLISTA P	Extensión rodilla (°)	127	126	127	133	133	133	134	135	135
	Flexión rodilla (°)	60	61	61	62	63	63	63	65	64
	Extensión cadera (°)	53	54	54	56	56	56	57	58	58
	Flexión cadera (°)	15	17	16	16	17	17	16	18	17
	Extensión tobillo (°)	125	123	124	130	125	128	132	130	131
	Flexión tobillo (°)	112	108	110	114	108	111	111	112	112
CICLISTA M	Extensión rodilla (°)	135	131	133	136	135	136	144	139	142
	Flexión rodilla (°)	64	66	65	67	67	67	68	69	69
	Extensión cadera (°)	57	57	57	61	59	60	61	61	61
	Flexión cadera (°)	16	16	16	17	18	18	19	20	20
	Extensión tobillo (°)	130	130	130	134	132	133	135	133	134
	Flexión tobillo (°)	120	118	119	116	116	116	122	119	121

Tabla 1.-. *Ángulos de las articulaciones de la rodilla, tobillo y cadera (Derecha, Izquierda y Media) de los dos ciclistas (P y M) en las tres alturas de sillín (Baja, Habitual y Alta).*



En la Tabla 1 también se observa que, al aumentar la altura del sillín ambos ciclistas aumentaron la extensión de rodilla, cadera y tobillo entre 1 y 6° entre una posición y la inmediatamente más elevada. La rodilla aumentó la extensión en $4\pm 2^\circ$, la cadera en $2\pm 0.8^\circ$ y el tobillo en $3\pm 1^\circ$ al aumentar 1.5 cm la altura del sillín.

Por último, los valores de extensión de rodilla en la posición habitual de los ciclistas son 133° y 136° (para el Ciclista P y M, respectivamente), y los valores de extensión de cadera de 56° y 60° , respectivamente.

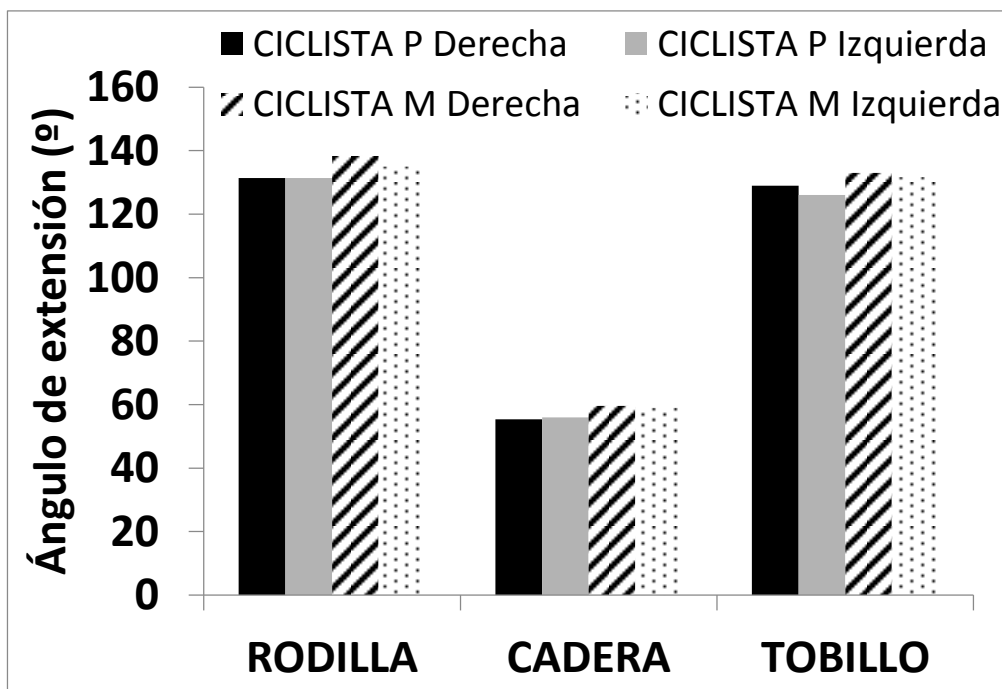


Figura 4. Comparación de los ángulos de extensión de las articulaciones de la rodilla, cadera y tobillo en ambas piernas (Derecha e Izquierda) en los dos ciclistas analizados (P y M).



5. DISCUSIÓN

La principal aportación de este trabajo ha sido desarrollar un sistema de bajo coste (< 500 €) que permitiera realizar un análisis cinemático del pedaleo a alta velocidad, simultáneamente en las piernas derecha e izquierda. Esto ha sido posible gracias al uso de software libre, así como al diseño de nuestros propios diodos leds, y la adaptación de otras tecnologías (cámaras de vídeo y tarjetas wifi). En un futuro no muy lejano, las cámaras de vídeo de alta velocidad estarán integradas en los propios teléfonos móviles, que tienen conectividad directa con los ordenadores (mediante Bluetooth o Wifi), con lo cual será posible abaratar, todavía más si cabe, el coste de esta metodología.

Respecto a la asimetría, en el ciclista P sólo se observaron diferencias en la articulación del tobillo (Tabla 1). Esta observación coincide con la de trabajos anteriores (Edeline et al, 2014) que encontraron diferencias en los movimientos de abducción/aducción, pero no en los movimientos de flexión/extensión, exceptuando la extensión del tobillo. Tal y como se apunta en dicho estudio, estas diferencias pueden ser justificadas atendiendo a que la articulación del tobillo es la que tiende a compensar las desigualdades que se dan entre la pierna dominante y la no dominante, alterando por tanto el rango movimiento del tobillo de una pierna a otra. A diferencia del ciclista P, en el ciclista M se observaron diferencias cinemáticas en la articulación de la rodilla (Tabla 1 y Figura 4). Esta cuestión puede ser explicada porque el ciclista informó de una pequeña disimetría en la pierna derecha (~ 1 cm más corta), lo que podría justificar la mayor extensión de la rodilla en esta pierna. Sin embargo, y siguiendo los últimos hallazgos en la materia lo normal es que no exista asimetría cinemática en el pedaleo en una muestra más amplia de practicantes de ciclismo (García-López et al., 2015). En dicho estudio se constató que no existe asimetría cinemática del pedaleo en los movimientos de flexión-extensión de las extremidades inferiores derecha e izquierda en 131 ciclistas, independientemente de su nivel de rendimiento.

En el presente trabajo se ha comprobado la sensibilidad del método utilizado para detectar cambios en la altura del sillín. Haciendo una comparación con estudios anteriores que siguieron la misma metodología (Bartol, 2014; Ferrer-Roca et al., 2014) los cambios



cinemáticos observados son muy similares. Ferrer-Roca *et al.* (2014) observaron que la cadera, rodilla y tobillo aumentaban su extensión en ~ 2 , 3.5 y 4° al aumentar la altura del sillín 1.5 cm, y en el presente trabajo se obtuvieron $2 \pm 0.8^\circ$, $4 \pm 2^\circ$ y $3 \pm 1^\circ$, respectivamente. De la misma forma, Bartol (2014) obtuvo $2 \pm 1^\circ$, $5 \pm 2^\circ$, $4 \pm 2^\circ$. A diferencia de trabajos previos (Fonda *et al.*, 2014), en el presente TFG y en el trabajo de Bartol (2014) se consideran los cambios en la cinemática del pedaleo de más articulaciones que la rodilla. A diferencia del trabajo de Bartol (2014), que sólo tuvo en cuenta la flexo-extensión de todas las articulaciones implicadas de un solo lado del ciclista, el presente TFG ha dado un paso más analizando el comportamiento cinemático de ambas piernas.

Tras analizar los datos de las filmaciones realizadas y siguiendo las convenciones (García-López *et al.*, 2009) pudimos constatar que la posición de ambos ciclistas, P y M, resultó ser baja. Respecto a la extensión de rodilla ambos ciclistas presentaron 133 y 136° (para el Ciclista P y M, respectivamente) por lo que no alcanzaron el ángulo mínimo establecido para la extensión de la rodilla (140°). Lo mismo sucedió con los ángulos de extensión de la cadera 56° para el ciclista P y 60° para el ciclista M, siendo el ángulo mínimo de (60°). En estudios anteriores los ángulos de extensión de estas articulaciones se encontraban dentro de los rangos establecidos (60 - 65°) para extensión de cadera y (140 - 150°) para rodilla. En un estudio realizado sobre ciclistas amateurs los ángulos de la pierna dominante y no dominante para la extensión de cadera (61.8 ± 3.8 y 61.9 ± 3.7 , respectivamente) y la rodilla (142.2 ± 5.9 y 142.1 ± 5.8 , respectivamente) fueron superiores a los que se han comentado para los ciclistas P y M (García-López *et al.*, 2015). En la misma línea, García-López *et al.* (2009) en un estudio sobre ciclistas profesionales obtuvieron mayor extensión de cadera (64.9 ± 0.5) y rodilla (146.4 ± 0.9). Por tanto, podemos justificar la posición baja de nuestros sujetos haciendo alusión a que los ciclistas de recreación, haciendo preferencia sobre la comodidad, tienden a llevar una posición más baja a la establecida.



6. CONCLUSIONES

En general, en el presente TFG se ha conseguido el perfeccionamiento de una metodología de bajo coste para valorar la cinemática del pedaleo en dos dimensiones, consiguiendo por tanto valorar simultáneamente en ambas piernas la flexo-extensión de las articulaciones de la rodilla, tobillo y cadera. Con tan solo dos cámaras convencionales (Casio Exilim EX - FH20, ~ 150 € / unidad), dos tarjetas wifi (Eye-Fi, SanDisk. ~ 60 € / unidad) y 8 diodos led (~ 2€ / unidad), los profesionales de la Actividad Física y del Deporte podrán llevar a cabo un análisis cinemático del pedaleo, ya que tendrán a su disposición una herramienta útil y asequible.

A su vez, hemos sido capaces de comprobar la sensibilidad de este método para detectar cambios en la altura del sillín. Por consiguiente, tras comprobar los registros obtenidos en la pierna dominante y no dominante, y siguiendo la línea de estudios anteriores, pudimos constatar que no existe asimetría cinemática del pedaleo en los movimientos de flexión-extensión de las extremidades inferiores.



7. LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En el presente trabajo hemos analizado los videos segundos más tarde de haber sido grabados gracias a la tecnología Wifi de las tarjetas de memoria. Una posible mejora y avance sobre este aspecto sería poder visualizar y analizar los videos a tiempo real de grabación.

Otra perspectiva futura podría ser abaratar y hacer más accesible aún esta metodología. Por un lado podría ser mediante la utilización de las cámaras de los dispositivos móviles que permitieran una grabación lenta (es decir, la parte hardware). Por el otro, tal y como se intentó al principio de este trabajo, los leds utilizados podrían ser sustituidos por otro tipo de marcador pasivo que permitiera el seguimiento automático por el software libre (es decir, la mejora del software).

Al margen del contexto del presente TFG, se podrían desarrollar otras metodologías que permitieran el análisis cinemático del pedaleo en situación real de campo. Posiblemente cambiando el tipo de sensores utilizados (de marcadores de luz a sensores inerciales) e integrándolos en aplicaciones de móviles que pueden ser utilizados durante la práctica.



8. BIBLIOGRAFÍA

Bartol A. Diseño y validación de un sistema de bajo coste para el análisis cinemático 2D del pedaleo ciclista. Trabajo Fin de Grado 2014; Universidad de León. <<http://www.sibbmadrid2014.co.nf/Libro%20de%20Actas%20del%20XXXVII%20Congreso%20de%20la%20SIBB.pdf#page=36>>

Edeline O, Polin D, Tourny-Chollet C, Weber J. Effect of workload on bilateral pedaling kinematics in non-trained cyclists. *J Hum Mov Stud* 2004;46(6):493-517.

Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. Accésit 1o XXXII Congreso de la SIBB: SIBB; 2009.

Ferrer-Roca V, Bescos R, Roig A, Galilea P, Valero O, Garcia-Lopez J. Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics. *J Strength Cond Res* 2014;28(3):784-791.

Ferrer-Roca V, Roig A, Galilea P, Garcia-Lopez J. Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *J Strength Cond Res* 2012;26(11):3025-3029.

García-López J, Díez-Leal S, Larrazabal J, Ogueta-Alday A. No bilateral asymmetry during pedalling in healthy cyclists of different performance levels. *International Symposium of Biomechanics* 2015; pendiente de publicación.