

# SISTEMA DE DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE POSTURA DE CICLISTAS, BIKE FIT, MEDIANTE KINECT V.2 Y REDES NEURONALES.

**Jorge Santiago Carranco Zumba, Francisco David Salgado Castillo, Carlos Santiago Zeas Carrillo, Omar Santiago Alvarado Cando.**

Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencia y Tecnología  
Universidad del Azuay, Ecuador

Email: sant.carranco@gmail.com; f.d.salgado@ieee.org; tamanq@gmail.com; oalvarado@uazuay.com.ec

## RESUMEN

La correcta ergonomía que alcanza una persona en la práctica del ciclismo depende de factores limitados por la propia estructura anatómica de cada individuo y de la geometría de la máquina que utiliza, teniendo ésta última que acoplarse a la biomecánica del usuario para disminuir la posibilidad de lesiones. Los métodos existentes en el mercado para acoplamiento hombre-máquina en ciclistas, *Bikefit*, debido a su elevado costo, están reservados a deportistas de alto rendimiento o son poco accesibles para deportistas amateurs. Es, por tal motivo, que para llegar a más usuarios se hace indispensable el desarrollo de un sistema ágil y de bajo coste.

El presente trabajo muestra un sistema para la clasificación de la postura en ciclistas empleando el sensor *Kinect* para la detección en 3D del esqueleto y redes neuronales para la clasificación de la postura. La clasificación entrega resultados de postura: "Buena", "Regular", "Mala" y "Muy Mala" del usuario.

**PALABRAS CLAVE:** Postura en ciclistas; Bike fit; Kinect; Redes neuronales; Biomecánica.

## ABSTRACT

The fit ergonomics that a cyclist reaches is limited by the anatomical structure of each person and by the geometry of the bicycle itself. The bike have to adapt to the biomechanics of the user with the purpose of decreasing chances of injury. Existing methods on the market for "bike fitting" are reserved for high-performance cyclists and are inaccessible for most amateur athletes due to its high cost. For this reason, a low-cost and agile system is proposed in pursuance of a broader population of cyclists. This study presents a posture-classifying system for cyclists using Kinect for skeleton detection; a neural network classifier. User posture has been rated in terms of "good", "fair", "poor" and "deficient

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas computacionales que permiten analizar el desempeño de atletas de alto rendimiento ha venido mejorando y siendo cada vez más meticuloso y preciso con el afán de medir cada variación que afecte el rendimiento de los deportistas [1]. Estos complejos sistemas están reservados, debido a sus altos costos y extenso proceso de ejecución, a un selecto grupo de deportistas, y dejando de lado al grupo amateur, el cual representa una población considerable.

Lo correspondiente sucede en el ciclismo, por lo que el propósito de desarrollar un sistema de ágil empleo y bajo coste es llegar a un mayor grupo de personas, amateurs y profesionales, para corregir su postura en la ejecución de éste deporte y consecuentemente que le permita mejorar su rendimiento, sabiendo que un ciclista usando una bicicleta de muy buenas características, pero en una mala posición, anula muchas de las ventajas de una máquina tan potente, así como horas de entrenamiento invertidas y exponerse a lesiones [2].

Según los autores [3], [4], una de las afecciones más comunes en ciclistas, son en cuanto a dolores de espalda; lumbares y cervicodorsalgias, éstas, relacionadas a una incorrecta localización de la columna vertebral debido a una hiperextensión de la misma para alcanzar la longitud del manillar. De similar forma, la presencia de cuadros de afección en la zona inferior del cuerpo como dolores intensos en el muslo debido a una endofibrosis de la arteria iliaca, induraciones periniales y demás patologías en el sistema genitourinario, éstas, igualmente por un incorrecto ajuste de la altura del sillín [5]. Sin dejar de considerar los problemas que se pueden generar en la rodilla que pueden abarcar, según [6], tendinopatías del aparato extensor, y demás patologías de los rotadores interno y externos.

Al emplear la tecnología Kinect de Xbox se puede realizar el reconocimiento de las articulaciones del cuerpo y graficar una aproximación del esqueleto de la persona visualizada, gracias al sensor de profundidad que está compuesto de un proyector infrarrojo y una cámara, además del microchip incorporado para seguimiento de movimiento de objetos e individuos en tres dimensiones [7], lo cual, al ser un método no invasivo, genera un punto de partida para el desarrollo del sistema en tiempo real.

Así, tras reconocer las articulaciones de la persona, se grafica el ángulo generado entre las extremidades que intervienen. Estos valores determinados por el sistema pasan a ser clasificados por una red neuronal y ésta retorna la denominación de la postura: "Buena", "Regular", "Mala" y "Muy Mala"

## 2. BIOMECÁNICA DEL BIKEFIT

En cuanto a la biomecánica que se maneja al momento de montar una bicicleta podemos recalcar ciertos puntos críticos que son de suma importancia para sistemas de Bikefit ya que las fuerzas que actúan sobre la persona pueden contribuir o comprometer un ejercicio. Por tal motivo se mencionan aquí los roles de ciertos músculos, articulaciones y tendones que influyen en la producción de fuerza, torque, estabilidad y postura al montar bicicleta. Para crear el movimiento de rotación del pedal, anatómicamente, es necesaria la intervención coordinada de elementos en el cuerpo de manera que la mayor cantidad de torque sea transmitido a los pedales, de forma que la fuerza creada por los músculos y transmitida mediante los huesos, llegue a su destino. Los tendones por su parte, son quienes se encuentran uniendo a los músculos, generadores de fuerza, con los huesos [8].



*Ilustración 1: Grupos musculares de la extremidad inferior que intervienen en el ciclo del pedaleo: A.- Flexores de la cadera. B.- Extensores de cadera. C.- Cuádriceps. D.- Flexores de la rodilla. E.- Flexores plantares del tobillo. F.- Dorsiflexores del tobillo.*

Cabe mencionar que las articulaciones son elementos que permiten varios ejes de libertad, la distribución de estos, y su coordinación, permiten la ejecución de movimientos complejos que envuelven varios elementos como músculos y nervios, de igual manera, una mala realización de movimiento como muy excesiva o muy comprimida puede afectar estas articulaciones y desempeño de los movimientos que se mencionan [9], [10].

### **Cadera:**

La cadera es una parte de la pelvis y se puede decir que es el inicio de la cadena de torque que generará impulso sobre los pedales. La pelvis posee una especie de conector que permite su junta con la cabeza del fémur, formando la junta pélvica, la cual permite y guía el movimiento de flexión y rotación de la pierna en el ejercicio del ciclismo, además, debido a la cantidad de músculos que rodean al conjunto de la pelvis, tales como los glúteos y cuádriceps, se aporta de gran manera al torque generado [10]. Como se mencionó anteriormente, si existiera un problema en este componente del cuerpo, se limitarían otros movimientos del mismo como por ejemplo el desplazamiento completo de la pierna sobre el pedal.

### **Rodilla y Pierna:**

La rodilla se la puede considerar conformada por tres huesos que son el fémur, en la zona del muslo; la tibia, en la canilla; y la rótula, que es donde se asientan dos huesos y que actúa como un punto de apoyo

donde la fuerza generada por los glúteos y cuádriceps son transmitidos hacia la tibia [11] y consiguiente, al pedal.

Debido a que el fémur es el hueso más largo del cuerpo humano, el torque generado está directamente relacionado a la longitud de éste.

#### **Cuádriceps y Esquiotibiales:**

El cuádriceps es un músculo importante debido a que uno de sus componentes, el recto femoral, es un músculo bi-articular que va desde la rodilla y cruza la cadera permitiendo el movimiento de esta. Dicho músculo, al no encontrarse trabajando correctamente, es el responsable del dolor de rodilla ya que ejerce una mala fuerza sobre la articulación [11]. Los músculos esquiotibiales son quienes estabilizan la rodilla durante la presión sobre el pedal.

#### **Torso y la espalda:**

Los músculos conformantes del tronco son quienes ayudan a estabilizar la espina al ejecutarse movimientos rotacionales y laterales, así mismo, en el ejercicio del ciclismo, estos músculos ayudan a mantener una postura y estabilidad mientras se realiza el ejercicio. En parte, los músculos abdominales también ayudan a la estabilidad del torso cuando se generan fuerzas en éste [11].

#### **Postura:**

La postura es mantener una cierta posición del cuerpo y por tal motivo requiere una apropiada movilidad de las articulaciones, coordinación entre articulaciones y músculos y desempeño muscular. Cualquier déficit en los anteriormente citados puede desembocar en irregularidades de la postura. Así mismo, para alcanzar una buena postura es necesaria una buena flexibilidad de los músculos que intervienen, para que así la pelvis pueda moverse libremente sin comprometer la espalda, y mantenerla en una posición correcta, a la hora de alcanzar el manubrio.

### **3. ESTADO DEL ARTE**

Los campeonatos mundiales de ciclismo son de suma importancia para los fabricantes ya que aquí se pone a prueba lo mejor de lo mejor, se comprueba si la ingeniería aplicada en cada componente de la bicicleta ha tenido efecto y de esta manera ganar relevancia como marca, lo cual contribuye a que las ventas de todos sus productos aumenten. Sin embargo, no solo interesa que la bicicleta posea las mejores características sino también a los mejores corredores en su mejor estado físico y adaptados perfectamente a su máquina. Por tales motivos los principales fabricantes de bicicletas tienen convenios con importantes desarrolladores de productos de bikefit y sus formas de realizar el ajuste se queda hermético, en ciertas ocasiones, para uso único de la marca.

En la ciudad de Cuenca, el campo del bikefit ha crecido y se pueden encontrar lugares especializados que brindan este servicio, inclusive cumpliendo requerimientos similares a los ofrecidos a atletas de élite.

#### **Herramientas:**

Algunas de las técnicas más comunes de realizar bikefit, que podemos encontrar en el mercado, son mediante el uso de herramientas como cintas de medir, graduadores, nivel, plomadas, rodillos estáticos [12]. Dichas herramientas tienen usos específicos, el flexómetro por ejemplo permite medir longitudes del ciclista; el graduador, los ángulos generados por la flexión de las extremidades; el nivel, para obtener una referencia correcta con respecto a la horizontal a la hora de realizar medidas; la plomada, que permite obtener referencias con respecto a la vertical; el rodillo estático, que permite equilibrar la bicicleta para realizar las mediciones correspondientes.



Ilustración 2: Herramientas para realizar bikefit. De izquierda a derecha: Graduador, rodillo estático, nivel, cinta para medir, plomada, flexómetro [13].

### Máquinas:

Todas estas herramientas se fueron mejorando con el tiempo y hoy en la actualidad se usan diferentes métodos para llevar a cabo un bikefit convirtiéndose en máquina que realiza todas estas medidas sin necesidad de las herramientas.

A esto se le puede sumar la gran cantidad de estadísticas que se pueden obtener mediante análisis computacional y que le permiten, tanto al operador como al usuario, tener una mejor noción de las correcciones que se deben tener.

Otras máquinas, sin embargo, mezclan el uso de la visión artificial con herramientas más precisas y especializadas, como el Trek Precision Fit o el Retul Muve SL Dynamic Fit Bike, que primero obtienen las medidas exactas de los parámetros correspondiente luego de varios ajustes y estos los transmiten luego a la bicicleta, así el resultado es más preciso, cabe recalcar que estas máquinas son más costosas debido a su construcción y costos elevados de los fabricantes.



Ilustración 3: Máquinas especializadas de bikefit. Izq.- Trek Precision Fit System. Der.- Retul Muve SL Dynamic Fit Bike.

## 4. MÉTODO PROPUESTO

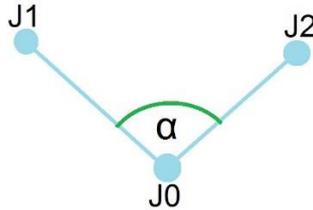
El propósito del trabajo, es desarrollar un sistema de instrucción de postura para ciclismo de montaña, empleando un sensor Kinect v2 como dispositivo de entrada para detección del cuerpo humano. Se ha considerado trabajos anteriores en los que se ha trabajado con la versión anterior de Kinect, el cual presentaba algunos problemas [14] siendo necesario introducir algoritmos para ajuste en la detección [15]. Por lo que las capacidades de la nueva versión de Kinect resultan, en un principio, suficientes para el objetivo planteado.

## Detección del Esqueleto y Medición de Ángulos Articulares

La detección del esqueleto del usuario se consigue con el SDK 2.0 de Kinect, permitiendo detectar hasta 25 articulaciones, incluyendo palmas y pulgares.

En lo que respecta a la postura en ciclismo, este trabajo se concentra en las articulaciones derechas de la rodilla, cadera y codo. Una vez que obtenemos sus coordenadas espaciales (x, y, z), se puede calcular los ángulos formados en dichas articulaciones.

Para inferir el ángulo entre dos articulaciones, se necesitan 3 puntos de coordenadas articulares ubicadas en el plano tridimensional, como se muestra en la *Ilustración 4*, la cual representa el ángulo  $\alpha$  en la articulación J0 formado entre las articulaciones J1 y J2.



*Ilustración 4: Ángulo formado entre tres puntos (articulaciones).*

Se forman los vectores (1) y (2) de cada uno de los puntos con el vértice o articulación central:

$$V_1 = (x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0) \quad (1)$$

$$V_2 = (x_2 - x_0, y_2 - y_0, z_2 - z_0) \quad (2)$$

El producto escalar entre (1) y (2) es:

$$V_1 V_2 = V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y} + V_{1Z} V_{2Z} \quad (3)$$

Se iguala (3) al módulo de (1) por el módulo de (2) multiplicados por el coseno del ángulo que forman, obteniendo (4):

$$|V_1| |V_2| \cos \alpha = V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y} + V_{1Z} V_{2Z} \quad (4)$$

Despejando  $\alpha$  en (4):

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y} + V_{1Z} V_{2Z}}{|V_1| |V_2|} \right] \quad (5)$$

Reemplazando las componentes de (1) y (2) en (5):

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{(x_1 - x_0)(x_2 - x_0) + (y_1 - y_0)(y_2 - y_0) + (z_1 - z_0)(z_2 - z_0)}{|V_1| |V_2|} \right] \quad (6)$$

Se grafica en tiempo real las articulaciones y los "huesos" como se ve en la *Ilustración 5.A*. Luego, mediante los cálculos mencionados, se grafica el ángulo inferido como se ejemplifica en la *Ilustración 5.B*. Vangos Pterneas explica este proceso a detalle en [16].



Ilustración 5: Izq.- (A) Detección de extremidades (rectas) y articulaciones (puntos). Der.- (B) Dibujo del ángulo entre articulaciones.

### Clasificación de la postura del ciclista mediante Redes Neuronales.

Según la medida de los ángulos ya mencionados de la rodilla, cadera y codo; Se realiza una clasificación por rangos. La *Tabla 1* contiene los rangos de dicha clasificación para ser empleada como datos de entrenamiento de una red neuronal.

	MUY LARGA				LARGA				CORRECTA				CORTA				MUY CORTA			
RODILLA	180	178,5	178,2	175,8	175	170,8	170,1	165,2	164	157	156	150	149	144,8	144,2	140,6	136	121	118,5	101
CADERA	150	143,5	142,2	131,8	130	124,4	125,1	130	100	109,8	111,2	119,6	79,4	89,2	87,8	79,4	78	70,2	68,9	60
CODO	180	178,5	178,2	175,8	175	173,2	172,9	170,8	169,5	160,4	159,1	151,3	150	145,1	144,4	140,2	140	132,2	130,9	121,8

Tabla 1. Rangos de valores de ángulos para el entrenamiento de la red neuronal.

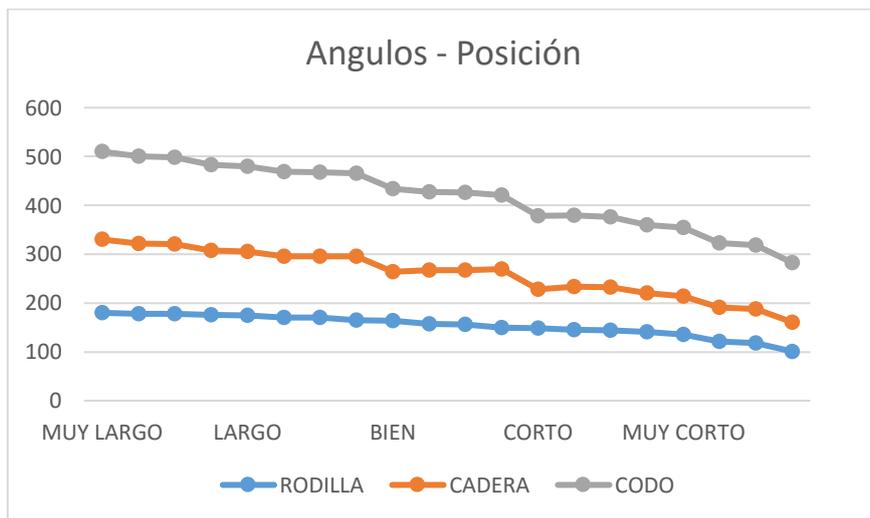


Ilustración 6. Gráfica que muestra los Ángulos y su clasificación.

Con estos valores se califica zonas de postura perteneciendo a estas:

- Zona Verde: para la postura correcta
- Zona Naranja: para las posturas corta y larga
- Zona Roja: para las posturas muy larga y muy corta

Se procede a definir los parámetros de la red neuronal:

Las entradas son:

- Angulo Rodilla
- Angulo Cadera
- Angulo Codo

La salida se define con los números [0 1 2 3] que se define de la siguiente forma:

- 0.- si todos los ángulos están en la zona verde.
- 1.- si 2 ángulos están en la zona verde y 1 está en la zona naranja.
- 2.- si 2 o 3 ángulos están en la zona naranja.
- 3.- si cualquier ángulo está en la zona roja.

La red se implementa con 50 neuronas y dos capas sigmoides. Se ingresaron 20475 datos con los cuales se entrenó a la red. El objetivo son las salidas [0 1 2 3] dependiendo de los ángulos que se ingresen.

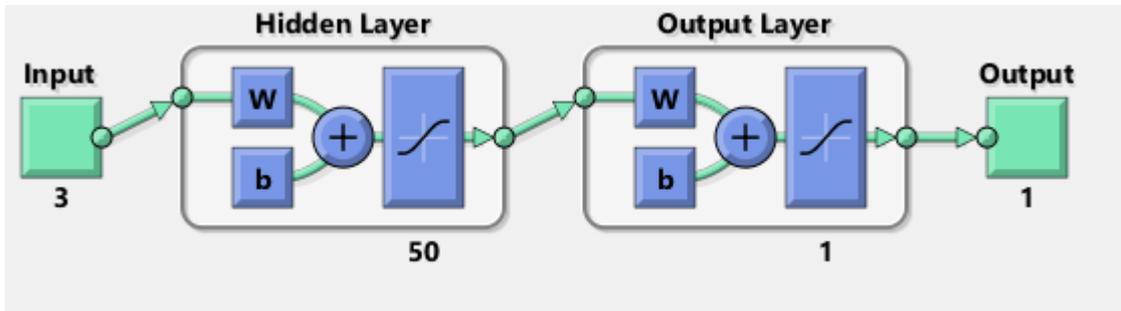


Ilustración 7. Esquema de la Red Neuronal empleada.

La superficie de respuesta de la Red Neuronal para un rango específico de valores se presenta graficando los ángulos permitidos de las articulaciones, frente a la clasificación previamente mencionada.

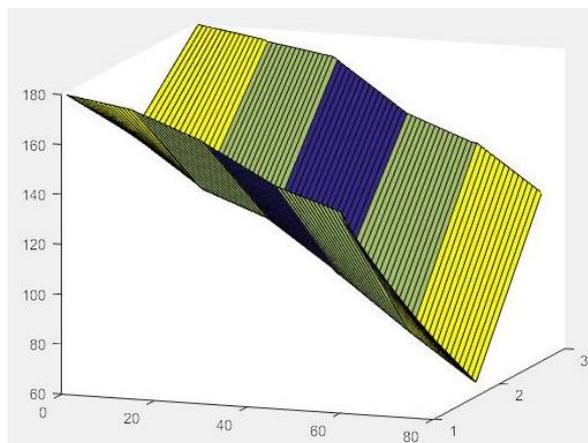


Ilustración 8: Superficie de respuesta de la Red Neuronal.

## 5. MUESTREO Y EXPERIMENTACIÓN

El muestreo respectivo consiste en tomar una posición habitual de pedaleo y se sitúa la pierna extendida hasta el punto muerto inferior al que llega el pedal, manteniendo la columna y los hombros relajados. Se procede a realizar la medición y se obtiene un resultado.

## 6. EVALUACIÓN

En la experimentación, los resultados obtenidos son favorables. En el caso de que el ciclista se encuentre en una postura muy contraída, *Ilustración 9*, el sistema dibuja los ángulos generados y los muestra de un color azul, lo que representa un ángulo muy corto. En el caso que la postura se encuentre muy extendida los ángulos graficados son de color rojo, lo que representa un ángulo muy amplio.

En los dos casos extremos la red neuronal clasifica la postura como *Muy Mala* y la lógica difusa señala los parámetros que deben corregirse, en el caso de que la postura sea correcta los ángulos son graficados de color verde.



*Ilustración 9: Variaciones de postura y visualización de ángulos de articulaciones de un ciclista. Izq.- Postura contraída. Centro.- Postura correcta. Der.- Postura extendida.*

En las pruebas realizadas se identificaron 3 casos puntuales:

**Postura muy contraída:**

Considerando la existencia de 3 ángulos incorrectos que se encuentran en valores inferiores a los límites recomendados, la respuesta del sistema es: "Postura Muy Mala".

**Postura correcta:**

Los ángulos generados por las articulaciones del ciclista son correctos, por lo tanto la respuesta del sistema es: "Postura Correcta".

**Postura muy extendida:**

De similar forma, al existir más de un ángulo entre valores superior a los límites recomendados, la respuesta del sistema es: "Postura Muy Mala".

**7. TRABAJO FUTURO**

Se pretende extender el estudio para realizar un muestreo más amplio de casos y vincular el trabajo con proyectos de ciclismo en la ciudad. El presente estudio muestra ciertas falencias debido a las limitaciones del Kinect ya que este no es tan preciso en la disposición de articulaciones en el cuerpo por lo que se espera trabajar en la mejora de la adquisición del esqueleto en 3D. Por otra parte se espera incluir la red neuronal dentro de la programación en software libre. Adicionalmente, se pretende incorporar un sistema que calcule un valor de corrección en la longitud de los elementos ajustables de la bicicleta, para que el ciclista adopte una postura correcta.

**8. CONCLUSIONES**

Una buena postura de la persona en conjunto con su bicicleta ayudará a que mejorar el rendimiento a la hora de realizar el ejercicio, además contribuye a evitar lesiones y a prevenir futuros desgastes del cuerpo.

Al poder realizar un sistema que permita realizar bikefit con un costo mucho menor a los actuales que están presentes en el mercado, se podrá permitir el acceso a ciclistas amateur y aficionados, los cuales podrían hacer uso de este sistema a costo accesible.

Para la correcta ejecución de este sistema y posterior servicio es indispensable el conocimiento básico de los huesos, músculos, tendones y demás elementos biomecánicos del cuerpo que influyen en la práctica de este deporte, así como de los componentes de una bicicleta. Por lo que el sistema ayudará a la decisión del clínico o entrenador sobre si la postura es correcta o no.

Debido a las limitaciones en cuanto a la detección del esqueleto en 3D por parte del Kinect, es necesario trabajar en sistemas de corrección por software para que la adquisición de datos sea más precisa. De la misma manera, la eficiencia de red neuronal (clasificación) puede ser mejorada analizando nuevos espectros o rangos de datos.

En futuros trabajos, se podría incluir el estudio de la postura para las diferentes categorías de ciclismo, analizando, además del confort, técnicas de profesionalismo deportivo.

## 9. REFERENCIAS

1. DUNCAN MACDOUGALL, J; WENGER, Howard A; GREEN, Howard. "Evaluación fisiológica del deportista". Badalona : Editorial Paidotribo, 2005.
2. GÓMEZ-PUERTO, J. R.; DA SILVA-GRIGOLETTO, M. E., VIANA-MONTANER, B. H., VAAMONDE, D., & ALVERO-CRUZ, J. R. s.l: "La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas". Centro Andaluz de Medicina del Deporte, 2008, Revista Andaluza de Medicina del Deporte, págs. 73-81.
3. OLIVÉ, R. "Patología en Medicina del deporte". Badalona : Laboratorios Menarini, S.A., 2000.
4. MOLINA, A. Iniciación a la Medicina Deportiva. s.l. : Valladolid, 1991.
5. SOMMER,F; KONIG, D; GRAFT, C; SCHWARZER, U; BERTRAM, C; KLOTZ, T. "Impotence and genital numbness in cyclists". s.l. : Int J Sports Med, 2011.
6. MANDROUKAS, K. "Some effects of knee angle and foot placement in bicycle". J Sports Med Phys Fitness. 1990, págs. 9-155.
7. MICROSOFT CORP. "Kinect for XBOX 360". Redmond, WA, Estado Unidos : s.n.
8. WEINECK, Jurgen. "La Anatomía Deportiva". Barcelona : Editorial Paidotribo, 2004.
9. DANE, Şeno; CAN, Süleyman; KARSAN, Orhan. "Relations of Body Mass Index, Body Fat, and Power of Various Muscles to Sport Injuries", 2002. Perceptual and motor skills, págs. 329-334.
10. ALVERO, JR; GARCÍA, J; CARRILLO DE ALBORNOZ, M. "Lesiones del ciclista. Tecnopatías del ciclismo". 2007. Lesiones deportivas: mecanismo, clínica y rehabilitación, págs. 409-22.
11. KENNEY, W. Larry; WILMORE, Jack H; COSTILL, David. "Physiology of Sport and Exercise". s.l. : Human Kinetics, 2015.
12. IRIBERRI, Jon; MURIEL, Xabier; LARRAZABAL, Iosu. "The bike fit of the road professional cyclist related to anthropometric measurements and the Torque of de Crank". The Engineering of sport 7. s.l. : Springer, 2008, págs. 483-488.
13. COMPETITIVE CYCLIST. Fit Calculator. [En línea] <http://www.competitivecyclist.com/>.
14. KAEWPLEE, K.; KHAMSEMANAN, N.; NATTEE, C. "Muay thai posture classification using skeletal data from kinect and k-nearest neighbors". 2014, ICICTES.
15. KAEWPLEE, K.; KHAMSEMANAN, N.; NATTEE, C. "A rule-based approach for improving Kinect Skeletal Tracking system with an application on standard Muay Thai maneuvers". 2014, Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS), 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (IEEE), págs. 281-285.
16. PTERNEAS, V. "Kinect for Windows Version 2: Color, Depth and Infrared Streams". Международный ресурс программистов. [En línea] 05 de 02 de 2015. <http://www.codeproject.com/Articles/730842/Kinect-for-Windows-version-Color-depth-and-infra>.