

# Diseño E Implementación De Un Sistema De Visión Artificial Para El Análisis Biomecánico-Cinemático Y La Medición De Variables De Esfuerzo Físico En Ciclistas

*Design And Implementation Of An Artificial Vision System For Biomechanical-Cinematic Analysis And The Measurement Of Physical Effort Variables In Cyclists*

**Andres Fernando Hincapie Melo<sup>1\*</sup>**   
Universidad de Pamplona

**Cristhiam Fabian Gómez Llanes<sup>1</sup>**   
Universidad de Pamplona

**Oscar Manuel Duque Suarez<sup>2</sup>**   
SENA, SENNOVA

© 2021 Universidad de Córdoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

---

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería mecatrónica.

<sup>2</sup> \*\* SENA, SENNOVA, Tecnoacademia Cúcuta, Grupo CEDRUM NDS, Cúcuta, Regional Norte de Santander

## RESUMEN

En este artículo se implementó un sistema de visión artificial para el análisis biomecánico en ciclistas, este análisis consiste en evaluar los gestos generados por el ciclista durante el proceso de pedaleo, el propósito del análisis es conocer la postura del deportista. Todos los resultados obtenidos se visualizarán en una Interfaz Humano-Maquina (HMI), se generará un reporte al finalizar la prueba biomecánico- cinemático del deportista, este reporte tiene como función que sea de apoyo de diagnóstico para un terapeuta especializado en el tema del ciclismo.

**PALABRAS CLAVE:** Biomecánica, gesto deportivo visión artificial, HMI

## ABSTRACT

In this article an artificial vision system was implemented for biomechanical analysis in cyclists, this analysis consists in evaluating the gestures generated by the cyclist during the pedaling process, the purpose of the analysis is to know the athlete's posture. All the results obtained will be visualized in a Human-Machine Interface (HMI), a report will be generated at the end of the athlete's biomechanical-kinematic test, this report has the function of being diagnostic support for a therapist specialized in the subject of cycling.

**KEYWORDS:** Biomechanics, artificial vision sports gesture, HMI.

## INTRODUCTION

El ciclismo es un deporte de alto rendimiento físico por lo que una mala postura puede provocar lesiones e incomodidad sobre la bicicleta. La necesidad de encontrar la mejor adaptación sobre la bicicleta ha provocado la evolución de diferentes métodos de estudio sobre la postura del ciclista. La biomecánica deportiva ha permitido un avance significativo sobre el ciclismo puesto que al incorporar herramientas tecnológicas de fotogrametría de video facilita el análisis del gesto deportivo.

Es así como se plantea la integración del diseño e implementación de un sistema de visión artificial para el análisis biomecánico-cinemático, para lo que se requiere la realización de un estudio sobre los gestos

deportivos asociados al ciclismo y métodos de análisis biomecánicos pertinentes, selección del sistema de percepción y software necesarios para el diseño de visión artificial, diseño del sistema de percepción con visión artificial para la captura y análisis biomecánico-cinemático del ciclista, creación de una HMI que genere las trayectorias, resultados del análisis biomecánico-cinemático, manual de uso y la validación del sistema de visión de artificial para el análisis biomecánico-cinemático en ciclistas.

## 1. GESTO DEPORTIVO

El gesto deportivo se compone de una serie de movimientos encadenados que se ejecutan con un objetivo final. Realizar este gesto de forma eficiente y eficaz hará que el gesto sea de más o menos calidad e influirá directamente en el resultado obtenido.[1]

Articulaciones	Descripción lesión más común por el gesto deportivo
Cadera	Molestias en la zona lumbar. Si el sillín se encuentra demasiado alto, el ciclista puede necesitar incluso una ligera oscilación en sentido lateral de las caderas para llegar al pedal cuando este se encuentra en el punto más bajo de su recorrido, ya que con ello ganara algún centímetro en la extensión de la pierna. Esta oscilación de las caderas produce una sobrecarga en la musculatura de la zona lumbar, concretamente en el cuadrado lumbar, que ya está en tensión por la inclinación hacia delante del tronco, la fijación de las caderas durante el pedaleo y la absorción de las vibraciones transmitidas por la parte trasera de la bicicleta
Rodilla	La flexión y extensión de la rodilla determina si el sillín está demasiado alto o bajo. Condrogafía rotuliana: cada vez que flexionamos o extendemos la rodilla, la cara posterior de la rótula desliza sobre la cara anterior del fémur. Para facilitar dicho deslizamiento, las dos superficies óseas en contacto están recubiertas de cartilago que actúa como una superficie enjabonada.
Tobillo	Tendinitis en el tendón de Aquiles, los músculos que se encargan de realizar la flexión plantar del pie (ponerlo de puntillas) son el gemelo y el sóleo. Estos dos van a parar al tendón de Aquiles, que atraviesa el tobillo por su cara posterior y se fija en el talón. La tendinitis surge cuando el ciclista, al estirar el pie para poder llegar al pedal en el punto bajo de su recorrido, somete dicho tendón a un estiramiento forzado.
Hombro, Codo, Muñeca	Dolor y adormecimiento de manos y dedos. Cuando la parte delantera del sillín (punta) se encuentra más baja que la parte trasera, el peso del ciclista cae hacia delante, con lo que la presión que deben soportar los brazos y las manos sobre el manillar aumenta considerablemente.

**Figura 1.** Tabla de lesiones mas comunes en cada articulación durante la ejecución del gesto deportivo en el ciclismo.[2]

De acuerdo con la tabla de la figura 1, el desarrollo del sistema de visión artificial para el análisis biomecánico se evaluará las posiciones angulares de las articulaciones nombradas, con el fin de generar un reporte donde un especialista en deporte pueda evaluar la postura del ciclista.

### 1.1. Métodos de análisis biomecánico

Para estudiar el movimiento humano, la biomecánica deportiva utiliza dos procedimientos: el análisis cuantitativo y el cualitativo. El análisis cuantitativo implica la descripción de los movimientos del cuerpo o sus partes en términos numéricos. Tal

cuantificación de las características del movimiento ayuda a eliminar las descripciones subjetivas ya que los datos son obtenidos mediante el uso de instrumentos. El observador puede entonces usar esta cuantificación para explicar o describir la situación actual. Usualmente, este análisis tiene algunos inconvenientes como no ser económico por el uso de los instrumentos, requerir mucho tiempo o por la dificultad para llevar los instrumentos al campo. El análisis cualitativo intenta describir un movimiento en términos no numéricos. Los datos obtenidos de un análisis cualitativo pueden ser sustentados con un análisis cuantitativo y muchos proyectos de investigación son formulados de esta manera. La evaluación de un análisis cualitativo se basa en la habilidad del entrenador para reconocer los momentos críticos de la ejecución o del gesto deportivo. Las conclusiones subjetivas basadas en este tipo de análisis pueden ser rechazadas o confirmadas por un estudio cuantitativo. [3-4]

### 1.2. Postura sobre la bicicleta

Debido a la cantidad de tiempo que el ciclista pasa sobre la bicicleta es importante evitar posiciones forzadas sobre la misma que, desde un punto de vista anatómico, provoquen la aparición de sobrecargas por un exceso de tensión o presión en determinadas estructuras corporales, y que puedan dar lugar a la aparición de molestias físicas, e incluso lesiones de diferente consideración. [5]

Existen tres componentes de la bicicleta que sirven de puntos de contacto entre el ciclista y su máquina, son el sillín, el manillar y el pedal. Su colocación condicionara directamente la posición adoptada por el ciclista sobre la bicicleta; tanto que, una colocación inadecuada de alguno de estos tres componentes podría desencadenar lesiones asociadas a posiciones incorrectas.[6]

### 1.3. Técnicas de captación del movimiento

Existen diferentes técnicas que registran el movimiento humano, las más destacadas en el ámbito de investigación en el gesto deportivo son: [7-8]

- Acelerometría
- Células fotoeléctricas
- Electrogoniometría
- Fotogrametría

## 2. MATERIALES

### 2.1. Selección de software

Para la selección de software se toma en cuenta la familia de normas ISO/IEC 25000, esta familia es la evolución de la antigua norma ISO/IEC 9126.[9] Esta ley tiene como objetivo evaluar la calidad del producto software mediante la evaluación de características de calidad. Los criterios evaluados son: Funcionalidad, rendimiento, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad, portabilidad. Estos criterios poseen unas subcaracterísticas que fueron evaluados de acuerdo con la relevancia que tuvieron en el proyecto.

### 2.2. Lenguajes de programación

Los entornos de trabajo que fueron evaluados para el diseño de visión artificial e interfaz fueron:

- Matlab
- OpenCV
- LabView

Como resultado de la matriz de selección de software el entorno de trabajo con mayor puntuación fue Matlab.

Matlab es un lenguaje de alto desempeño diseñado para realizar cálculos técnicos. Matlab integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente fácil de utilizar donde los problemas y las soluciones se expresan en una notación matemática. Matlab es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es el arreglo que no requiere de dimensionamiento previo. Esto permite resolver muchos problemas computacionales, específicamente aquellos que involucren vectores y matrices, en un tiempo mucho menor al requerido para escribir un programa en un lenguaje escalar no interactivo tal como C o Fortran. Matlab se utiliza ampliamente en: Cálculos numéricos, Desarrollo de algoritmos, Modelado, simulación y prueba de prototipos, Análisis de datos, exploración y visualización, Graficación de datos con fines científicos o de ingeniería, Desarrollo de aplicaciones que requieran de una interfaz gráfica de usuario.[10]

### 2.3. Selección de Hardware

Las cámaras evaluadas para el diseño de visión artificial son las siguientes:

- Cámara matricial.
- Cámara lineal.
- Kinect
- Cámara de alta velocidad
- Cámara 3D
- Cámara infrarrojo
- Cámara térmica

Para la matriz de selección se tuvo en cuenta los siguientes criterios: Interfaz de comunicación, resolución, velocidad, espectro, costo. Con el fin de obtener el mejor costo – beneficio se determinó que el sensor más apropiado para este proyecto es el Kinect.

Sistema de visión artificial

## Diseño ergonómico

Para el desarrollo del algoritmo de visión artificial se tuvo en cuenta un diseño ergonómico donde se pudiera captar todo el cuerpo del ciclista durante la ejecución del gesto deportivo.



**Figura 2.** Ubicación cámara.

Como se indica en la figura 2, la cámara se ubicó en frente de la bicicleta con el fin de que el rastreo del esqueleto tuviera la mayor exactitud en la identificación de la zona izquierda y derecha del deportista.

Anteriormente se hizo la selección del sistema de percepción que es el Kinect, este dispositivo posee una cámara infrarrojo y un sensor de profundidad, y por medio de las librerías que este dispositivo posee de rastreo de esqueleto, no fue necesario utilizar marcadores articulares y tampoco realizar un control de la iluminación.

## 3. Diseño del algoritmo

### 3.1. Etapas de funcionamiento

Etapas de configuración y visión: En esta etapa por medio de la interfaz se inicia la cámara Kinect y se activa el rastreo del esqueleto, los cuales deben ser integrados por medio de código, se capta la imagen y luego es rastreada. (ver figura 3.)

```

imgreset;
depthVid= videoinput('kinect',2,'Depth_512x424');
handles.depthVid=depthVid;
guidata(hObject,handles);
triggerconfig(handles.depthVid,'immediate');
handles.depthVid.FramesPerTrigger = 1;
handles.depthVid.TriggerRepeat= inf;
src = getselectedsource(handles.depthVid);
src.EnableBodyTracking = 'on';
pause(0.5)
colorVid= videoinput('kinect',1);
handles.colorVid=colorVid;
guidata(hObject,handles);
vidRes = get(handles.colorVid, 'VideoResolution');
imWidth = vidRes(1);
imHeight = vidRes(2);
nBands = get(handles.colorVid, 'NumberOfBands');
hImage = image( zeros(imHeight, imWidth, nBands), 'Parent', handles.axes1 );
preview(handles.colorVid,hImage);
start(handles.depthVid);

```

**Figura 3.** Etapa de visión

Etapas de captación del movimiento: Esta etapa consiste en recoger la información de los fotogramas captados por la cámara, el sistema de rastreo que posee la cámara Kinect nos genera una matriz de 25x3 donde el 25 equivale a las articulaciones rastreadas (ver figura 4.) y 3 a la posición en el espacio en las dimensiones x, y, z (3D).

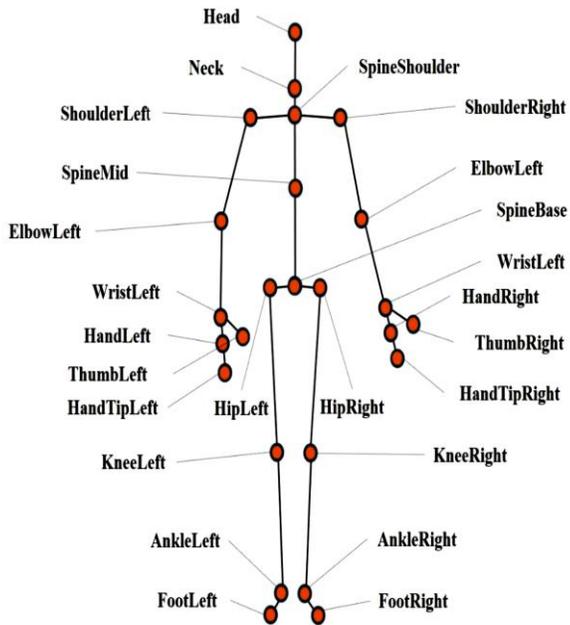


Figura 4. Articulaciones rastreadas [11]

Esta matriz nos permite reconstruir el esqueleto en el espacio 3D, lo que posibilita visualizar el esqueleto desde los tres planos anatómicos que son: plano sagital, plano transversal, y plano frontal. (Figura 5).

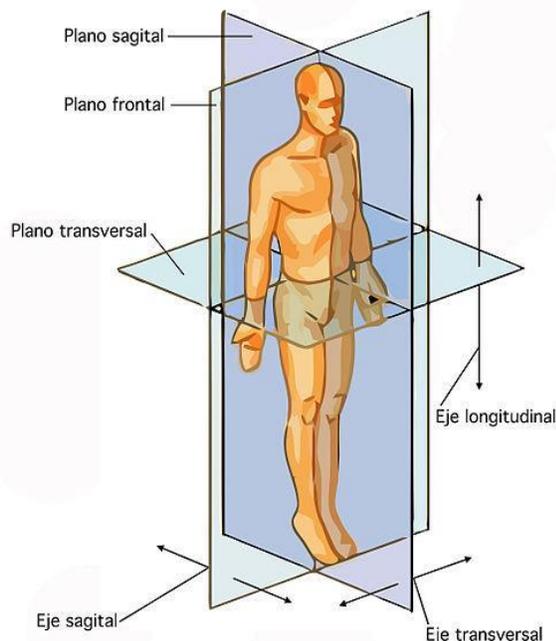


Figura 5. Planos anatómicos.[12]

Etapa procesamiento matemático: Una vez terminado la etapa anterior, se procede a realizar los cálculo matemáticos para hallar las magnitudes angulares generadas durante la ejecución del gesto deportivo.

Al reconstruir el esqueleto, la unión de cada articulación permite definir un vector, por medio del producto escalar se puede calcular el ángulo que se forma en la unión de dos vectores (ver figura 6), Esta propiedad es muy utilizada en Biomecánica Deportiva para definir el desplazamiento angular en las técnicas cinematográficas. [13- 14].

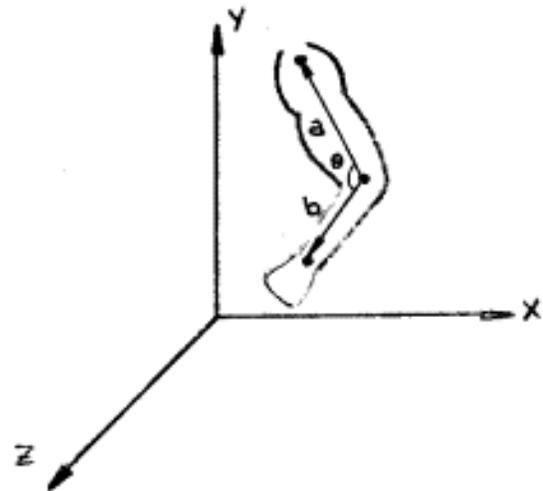


Figura 6. Ejemplo de determinación de ángulo formado por el segmento brazo y antebrazo.[13]

### 3.2. Interfaz del sistema de visión artificial

La interfaz se desarrollo con el software Matlab y su ventana principal se presenta en la figura 7.

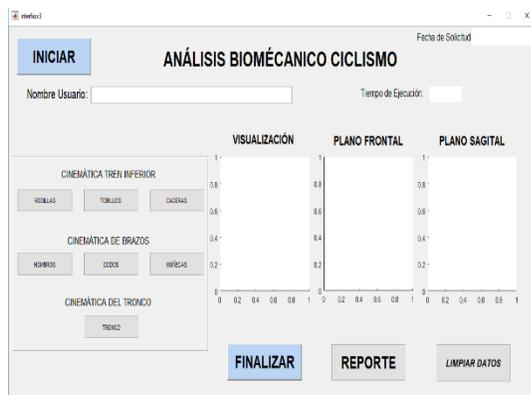


Figura 7. HMI del análisis biomecánico.

En la interfaz se presenta los siguientes aspectos:

- El título del proyecto resumido “análisis biomecánico ciclismo”.
- Se digita el nombre del usuario al que se le va a realizar el análisis.
- El inicio del análisis biomecánico, se activa la cámara Kinect y el rastreo del esqueleto.
- Una vez iniciado el análisis, se visualiza la fecha de solicitud, el tiempo de ejecución y el cuerpo del ciclista en el esquema llamado visualización.
- Cuando los puntos articulares del ciclista sean rastreados se empezará a visualizar el esqueleto visto desde el plano frontal y sagital, hasta que finalice el análisis biomecánico.
- Al finalizar el análisis se procede a realizar el procedimiento matemático para el cálculo de posición angular de las articulaciones que son afectadas por el gesto. Se clasifico el esqueleto en tres partes: tren inferior, tren superior, tronco como se ve en la figura 8.

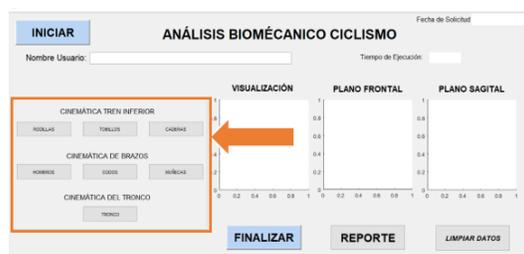


Figura 8. Clasificación del esqueleto

Para cada articulación se genera la trayectoria angular en función con la cantidad de muestras recogidas durante el análisis, en la figura 9 se puede observar un ejemplo de la trayectoria angular de las rodillas de un ciclista durante la ejecución del gesto. Para el guiado se estudio el proceso de percepción y captura de trabajos de Casadiego SAC, Rondón CVN en el 2020 [15] y también de EDL García y JLL Plata en el 2017 [16].

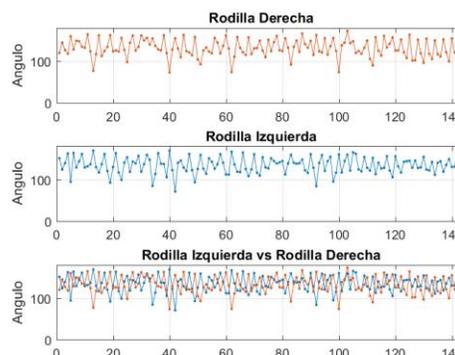


Figura 9. Trayectoria angular de la articulación de la rodilla.

- Terminado de generar todas las trayectorias se procede a realizar el reporte que servirá de apoyo diagnóstico para profesionales especializados en el deporte. Para la creación del reporte se extraen los valores más relevantes de flexión y extensión que ejecutaron las articulaciones durante el gesto deportivo (ver figura 10).

ANÁLISIS BIOMECÁNICO CICLISMO			
NOMBRE COMPLETO:		Juan Manuel	
FECHA DE INFORME:		31-Aug-2019 17:03:07	
TIEMPO DE GRABACIÓN:		401 segundos	
Cinemática del Tren Inferior			
FLEXIÓN DE TOBILLO (Min/Max)			
	Flexión	Extensión	Rango de movimiento
IZQUIERDA	58,81708845	147,1798882	88,36273974
DERECHA	34,14576735	143,6669311	109,5211632
INCLINACIÓN DEL PIE (respecto a la horizontal)			
	Ángulo Mínimo	Ángulo Máximo	Rango de movimiento
IZQUIERDA	1,180681903	78,51146278	77,33078088
DERECHA	1,084712148	89,64293564	88,55822349
FLEXIÓN DE RODILLA (Min/Max)			
	Flexión	Extensión	Rango de movimiento
IZQUIERDA	100,2591262	172,2646935	72,00556734
DERECHA	69,98260021	166,4749332	96,49233898
FLEXIÓN DE CADERA (Min/Max)			
	Flexión	Extensión	Rango de movimiento
IZQUIERDA	123,8964436	160,9635771	31,06713351
DERECHA	107,1495161	159,0495434	51,90002726

Figura 10. Ejemplo de reporte de una prueba realizada.

#### 4. Resultados y validación

Se realizaron varias pruebas para comprobar la exactitud de las medidas evaluadas, para esto se tomaron las medidas reales de un segmento del esqueleto para comparar con las medidas tomadas digitalmente.



Figura 11. Comparación magnitud física vs magnitud digital

En la figura 11 se comparó la medida de la rodilla al tobillo izquierdo y se comparó con la calculada en el sistema de visión, este procedimiento se realizó varias veces sobre diferentes individuos en la que se presentó una variación  $\pm 5.6371\%$  en las medidas

antropométricas.

Para la validación del sistema se hizo uso de un fisioterapeuta profesional el cual se encargo validar el sistema y generar conclusiones acerca del proyecto, en la encuesta de validación se evaluaron las siguientes preguntas:

Describe su concepto como herramienta de diagnóstico del proyecto.

Emita su concepto sobre los datos generados por el aplicativo y su correspondencia con las evaluaciones clínicas convencionales del análisis biomecánico del ciclista.

¿Qué tal eficiente o asertivo considera que son los resultados del análisis biomecánico y la prueba de esfuerzos en ciclistas?

Considera que el aplicativo del proyecto y el resultado de los cálculos y variables a nivel de medición fueron realizado usando protocolos clínicos y escalas de medición pertinentes

¿considera que el sistema y método de medición aparte de efectivo es mas práctico que las pruebas convencionales?

¿comparado con softwares o sistemas de medición para el análisis biomecánico y las variables físicas, considera que hay cercanía en cuanto a prestaciones y aportes como herramientas de diagnóstico?

En el anexo 1 se encuentra la encuesta firmada por el evaluador con su respectiva firma de aprobación.

## 5. Conclusiones

En la etapa de diseño de visión artificial fue necesario reunir las selecciones de equipo y software desarrolladas en los objetivos anteriores. Durante el desarrollo del sistema de visión artificial se determinó que el procesamiento matemático para el análisis cinemático de la postura del deportista se debe realizar después de recoger la información de todos los fotogramas, esto fue con el fin de no perder eficiencia en la velocidad de adquisición, debido al límite de memoria computacional.

Con el objetivo de establecer una comunicación entre el sistema de visión artificial y el usuario se implementó un HMI. Para la creación de las trayectorias y generar los resultados del reporte de apoyo médico, se hizo previamente una investigación exhaustiva en libros y sitios web de laboratorios de análisis biomecánico, de acuerdo con la investigación se determinó los movimientos articulares más importantes que afectan la salud y rendimiento del ciclista. Debido a funciones del software los resultados de apoyo diagnóstico se generaron en una hoja de Excel.

Se recomienda profundizar en el análisis biomecánico donde se incluya las fases de pedaleo: avance, empuje, tracción y empuje, en el que se evalué la fuerza generada por los músculos.

## REFERENCIAS

- [1]. UCOTRACK. (s.f.). ucotrack. Obtenido de <http://www.ucotrack.es/joomla/index.php/es/menu-gesto-tecnico>
- [2]. Dr. hera, L. (11 de mayo de 2015). Medicina de Familia en la RED. Obtenido de <https://www.drlopezheras.com/2015/05/postura-adecuada-bicicleta.html>
- [3]. Dr. Ramón Suarez, G. (2009). Biomecánica Deportiva y Control de Entrenamiento. medellin: Fonámbulos editores.
- [4]. Aguado, X. (1993). Eficacia y tecnica deportiva: analisis del movimiento humano. Barcelona: Inde.
- [5]. Alcalde, Y. (10 de Abril de 2013). ciclismoyrendimiento. revistabiciport, 99. Obtenido de <https://www.ciclismoyrendimiento.com/>
- [6]. Saez, M. A. (2008). ERGONOMÍA DE LA BICICLETA DE MONTAÑA. De cómo montar y, además, hacerlo bien. curriqui, 13.
- [7]. Gutiérrez Dávila, M. (1998). BIOMECÁNICA DEPORTIVA. Granada: editorial sintesis.
- [8]. alvarez, J. a. (2001). Apuntes de fotogrametría III. merida: Universidad de Extremadura.
- [9]. ISO25000. (2019). ISO25000. Obtenido de <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- [10]. M. C. Esqueda Elizondo, J. J. (2002). Matlab e Interfaces Gráficas. Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana, 4.
- [11]. ResearchGate. (2019).

- Researchgate.net. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/3D-skeleton-joints-tracked-by-the-Kinect-v2-sensor\\_fig1\\_282503184](https://www.researchgate.net/figure/3D-skeleton-joints-tracked-by-the-Kinect-v2-sensor_fig1_282503184)
- [12]. Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. (2005). Planos Anatómicos. En GRAY Anatomía para estudiantes (pág. 4). Madrid: ELSEVIER.
- [13]. Minuchin, D. P. (s.f.). <http://www.patriciaminuchin.com.ar>. Obtenido de [http://www.patriciaminuchin.com.ar/Publicado/09bFundamentos\\_de\\_biomec%C3%A1nica.htm](http://www.patriciaminuchin.com.ar/Publicado/09bFundamentos_de_biomec%C3%A1nica.htm)
- [14]. Dávila, M. G. (1998). Biomecánica Deportiva. Editorial Síntesis.
- [15]. Casadiego SAC, Rondón CVN. Caracterización para la ubicación en la captura de video aplicado a técnicas de visión artificial en la detección de personas Revista Tecnologías de Avanzada - Uipamplona - Journal2020 ISSN: 1692-7257 - Vol2 – N 36 - 2020.
- [16]. F. A. Guasmayan y N. A. González, “Estado del arte de redes educativas para el intercambio de conocimientos en robótica educativa”, Ingeniería E Innovación, vol. 7, n.º 2, pp. 17-21, 2019. <https://doi.org/10.21897/23460466.1784>
- [17]. García EDL, Plata JLL. Revisión de técnicas de sistemas de visión artificial para la inspección de procesos de soldadura tipo GMAW Revista Tecnologías de Avanzada - Uipamplona - Journal 2017 ISSN: 1692-7257 - Vol 1 – N 29 - 2017.