



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA
E INDUSTRIAL
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE POSICIÓN ANGULAR
Y ERGONOMÍA DE CICLISTAS EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL**

Trabajo de Integración Curricular Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado
previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de comunicación

AUTOR: Joseph David Briseño Sánchez

TUTOR: Ing. Edgar Patricio Cordova Cordova

AMBATO – ECUADOR

marzo – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE POSICIÓN ANGULAR Y ERGONOMÍA DE CICLISTAS EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL, desarrollado bajo la modalidad de Proyecto de Investigación por el señor Joseph David Briseño Sánchez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 7.4 del respectivo instructivo del reglamento.

Ambato, marzo 2023.

Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de Integración Curricular titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN ANGULAR Y ERGONOMÍA DE CICLISTAS EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023.



.....
Joseph David Briseño Sánchez

C.C. 1805393491

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Integración Curricular como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Integración Curricular en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023.



.....
Joseph David Briseño Sánchez

C.C. 1805393491

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Integración Curricular presentado por el señor Joseph David Briseño Sánchez, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN ANGULAR Y ERGONOMÍA DE CICLISTAS EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y sus reformas y al numeral 7.6 del respectivo instructivo del reglamento. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, marzo 2023.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Santiago Altamirano
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Jaime Guilcapi
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico a Dios quien ha sido el responsable de que todas mis metas se vayan cumpliendo.

A mi familia, especialmente a mi hermana por el gran apoyo al iniciar mi trayectoria universitaria, mis hermanos quienes fueron mi inspiración para lograr grandes propósitos.

A mi novia, por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, siempre estaré muy agradecido mi amor.

David BrisS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi familia por el gran apoyo que me han brindado para lograr este objetivo.

A mis amigos, quienes han estado desde el inicio de mi vida universitaria, en los momentos de alegría, sufrimiento y melancolía. Gracias por todo, de corazón “Ingeniebrios”.

A mi docente tutor, Ing. Patricio Cordova por su guía profesional en el desarrollo de mi proyecto de investigación.

David BrisS

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tema de investigación	1
1.2 Antecedentes Investigativos	1
1.3 Contextualización del problema	4
1.4 Fundamentación teórica	5
1.4.1 Componentes básicos de una bicicleta	5
1.4.2 Ergonomía en la bicicleta	6
1.4.3 Lesiones frecuentes por llevar una postura incorrecta en la bicicleta	6
1.4.4 Puntos geométricos del cuerpo que interviene al montar en la bicicleta ..	8
1.4.5 Biomecánica del ciclismo	9
1.4.6 Anatomía	10
1.4.7 BikeFitting	12
1.4.8 Ajustes del sillín y manillar de la bicicleta	13

1.4.9	Métodos y equipos usados para el análisis biomecánico	16
1.4.10	Inteligencia Artificial (IA).....	18
1.4.11	Estimación de poses guiada por comprensión	18
1.4.12	Espacios del color.....	19
1.4.13	LAMP	21
1.5	Objetivos.....	23
1.5.1	Objetivo general.....	23
1.5.2	Objetivos específicos	23
CAPITULO II.....		24
METODOLOGÍA.....		24
2.1	Materiales	24
2.2	Métodos.....	28
2.2.1	Modalidad de Investigación	28
2.2.2	Recolección de Información	29
2.2.3	Procesamiento y Análisis de Datos	29
CAPITULO III		30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		30
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	30
3.2	Desarrollo de la propuesta.....	30
3.2.1	Descripción de los requerimientos o especificaciones necesarios para el desarrollo del sistema.....	30
3.2.2	Algoritmo de programación y procesamiento.....	36
3.2.3	Interfaz de usuario GUI.....	46
3.2.4	Base de datos.....	50
1.1.1	Verificación del funcionamiento del sistema.....	54
3.3	Verificación de hipótesis.....	60
3.3.1	Pruebas de funcionamiento.....	60

3.3.2	Porcentaje de error del sistema electrónico.....	69
3.3.3	Validación del sistema.....	75
3.3.4	Presupuesto.....	78
CAPITULO IV.....		81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones.....	82
ANEXO A.....		89
ANEXO B.....		90
ANEXO C.....		93
ANEXO D.....		94
ANEXO E.....		99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Articulaciones del esqueleto humano en 3D.	9
Tabla 2 Análisis anatómico del cuerpo humano en el ciclismo.	11
Tabla 3 Métodos de ajuste.....	17
Tabla 4 Parámetros principales de las mini computadoras.	25
Tabla 5 Parámetros principales de las cámaras.	27
Tabla 6 Modalidades del ciclismo.....	31
Tabla 7 Ángulos adecuados y recomendaciones.....	33
Tabla 8 Partes de los puntos de referencia (Landmarks)	42
Tabla 9 Análisis de error del ángulo en el codo.....	71
Tabla 10 Análisis de error del ángulo en el hombro.	72
Tabla 11 Análisis de error del ángulo en la cadera.	73
Tabla 12 Análisis de error del ángulo en la rodilla.	74
Tabla 13 Error total del sistema.	75
Tabla 14 Presupuesto de construcción del sistema electrónico.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de una bicicleta.....	5
Figura 2. Articulaciones de esqueleto humano en 3D.....	8
Figura 3. Ángulos característicos del pedaleo.....	9
Figura 4. 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	10
Figura 5. Puntos anatómicos y ángulos de las articulaciones.	12
Figura 6. Ángulo óptimo de la rodilla en su extensión.	14
Figura 7. Ángulo óptimo de la rodilla en su flexión.	14
Figura 8. Ajuste correcto del retroceso del sillín.	14
Figura 9. Ángulo óptimo de la cadera en flexión.	15
Figura 10. Ángulo óptimo de la cadera en extensión.	15
Figura 11. Ángulo óptimo del hombro.	16
Figura 12 Marco de la máscara guiada por comprensión.	19
Figura 13 Ilustración de un cubo del espacio de color RGB.....	20
Figura 14 Referencia espacial del pixel (0, 0).....	21
Figura 15 Logotipos del servidor LAMP	22
Figura 16 Ajustes de la bicicleta.	32
Figura 17 Dimensiones del codo.....	32
Figura 18 Espaciadores de codo.....	32
Figura 19 Escala de los ángulos.	33
Figura 20 Escenario para el sistema electrónico.	34
Figura 21 Conexión de los elementos del sistema electrónico.....	35
Figura 22 Diseño de la carcasa en 2D.	36
Figura 23 Ensamble de la carcasa.	36
Figura 24 Puntos de referencia de BlazePose	37
Figura 25 Resultados de BlazePose en casos de usos de fitness y baile.	38
Figura 26 Nombre de la cámara conectada a la Jetson nano	39
Figura 27 Captura de los fotogramas capturados por la cámara.	39
Figura 28 Imagen a usar para pasar de BGR a RGB.....	40

Figura 29 Canales RGB de la imagen leída y canales BGR después de aplicar la función cv2.cvtColor.....	41
Figura 30 Procesamiento de los fotogramas para trabajar en OpenCV.	41
Figura 31 Determinación de los puntos de referencia de la persona.....	42
Figura 32 Puntos de referencia en el ciclista: A: Muñeca, B: Codo, C: Hombro, D: Cadera, E: Rodilla, F: Tobillo.	43
Figura 33 Ángulo formado entre tres puntos de una articulación.	43
Figura 34 Función para calcular el ángulo en tres puntos.....	45
Figura 35 Proceso de renderización para visualizar los puntos de las articulaciones y sus uniones.	45
Figura 36 Proceso de renderización para visualizar el valor del ángulo de cada articulación.	45
Figura 37 Detección en tiempo real de articulaciones (puntos), extremidades (rectas) y ángulos (texto).....	46
Figura 38 Portada principal de la interfaz del sistema electrónico.	47
Figura 39 Secciones de la interfaz del sistema electrónico.	47
Figura 40 Interfaz de ingreso de datos del ciclista.	48
Figura 41 Registro del reporte inicial de la base de datos.....	49
Figura 42 Registro del reporte final de la base de datos.....	49
Figura 43 Tabla de la base de datos de los usuarios registrados.....	50
Figura 44 Tabla de la base de datos del registro inicial.	51
Figura 45 Tabla de la base de datos del registro final.	51
Figura 46 Flujoograma del proceso de detección angular.....	52
Figura 47 Flujoograma del proceso de GUI y BDD.....	53
Figura 48 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Disminuir la longitud del manubrio.....	54
Figura 49 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Aumentar la longitud del manubrio.....	55
Figura 50 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Correcto.....	55
Figura 51 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Disminuir longitud del codo.....	56
Figura 52 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Aumentar longitud del codo.....	56

Figura 53 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Correcto.	57
Figura 54 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Disminuir altura del manillar.....	57
Figura 55 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Aumentar altura del manillar.....	58
Figura 56 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Correcto.....	58
Figura 57 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: Subir altura del sillín. ...	59
Figura 58 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: Bajar altura del sillín. ...	59
Figura 59 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: correcto.....	60
Figura 60 Sistema electrónico con todos los periféricos conectados.	60
Figura 61 Correcto posicionamiento de la bicicleta en el rodillo estático.	60
Figura 62 Datos ingresado en la primera prueba de funcionamiento.....	61
Figura 63 Interfaz del análisis de la primera prueba de funcionamiento.	62
Figura 64 Ajuste de la altura del sillín en la primera prueba.	62
Figura 65 Ajuste del retroceso del sillín en la primera prueba.	62
Figura 66 Reporte inicial en la primera prueba.	63
Figura 67 Reporte final en la primera prueba.	64
Figura 68 Ciclista antes del bikefit en la primera prueba.	65
Figura 69 Ciclista después del bikefit en la primera prueba.	65
Figura 70 Datos ingresado en la segunda prueba de funcionamiento.	65
Figura 71 Interfaz del análisis de la segunda prueba de funcionamiento.....	66
Figura 72 Ajuste de la altura del sillín en la segunda prueba.	66
Figura 73 Reporte inicial en la segunda prueba.	67
Figura 74 Reporte final en la segunda prueba.	68
Figura 75 Ciclista antes del bikefit en la segunda prueba.	69
Figura 76 Ciclista después del bikefit en la segunda prueba.....	69
Figura 77 Ángulos medidos por el sistema electrónico.	70
Figura 78 Ángulos medidos manualmente con un goniómetro.....	70
Figura 79 Arquitectura del sistema de detección del ángulo a comparar.....	76
Figura 80 Esqueleto en 2D del algoritmo Openpose.....	77
Figura 81 Ángulos formados por el vector del brazo y antebrazo	77

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación propone la implementación de un sistema electrónico para la detección angular y ergonomía de ciclistas empleando visión artificial, de tal manera que los ajustes recomendados por el mismo ayuden a tener un correcto posicionamiento ergonómico al momento de realizar las rutas ciclistas. Por tanto, es de mucha importancia realizar un análisis biomecánico de los gestos corporales generados por el ciclista durante el proceso de pedaleo.

El sistema electrónico para el acoplamiento hombre-maquina en ciclistas, bikefit, consta de una mini computadora Jetson Nano la cual está conectada a diferentes periféricos de entrada y salida que permite la detección en 2D del esqueleto del deportista a ser analizado. Se muestra en video y en tiempo real los diferentes puntos de las articulaciones que permite calcular los ángulos generados en cada extremidad, obteniendo así valores que pueden ser comparados con estudios previos y establecer recomendaciones para los ajustes de la bicicleta. Esto con el fin de tener una posición óptima para aumentar el rendimiento y evitar lesiones a corto o largo plazo.

Todos los datos obtenidos se muestran en una interfaz fácil de interpretar, tanto para la persona que realiza el análisis como para la persona analizada. Se genera dos reportes, el reporte inicial que indica los ajustes y ángulos con los que ha llegado el ciclista y el reporte final que muestra el proceso de fitting con los ángulos y recomendaciones ejecutadas, este reporte tiene como función dar a conocer al ciclista las variaciones realizadas en su bicicleta.

Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento tienen coherencia demostrando que el sistema tiene un valor de confianza del 95,22%, luego de realizar la comparación con un método de medición manual con un goniómetro, demostrando que el prototipo es válido para realizar análisis de bike fitting.

Palabras clave: Visión artificial, bike fitting, biomecánica, ciclismo, Jetson Nano.

ABSTRACT

This research project proposes the implementation of an electronic system for the angular detection and ergonomics of cyclists using artificial vision, so that the adjustments recommended by it help to have a correct ergonomic positioning at the time of cycling routes. Therefore, it is very important to perform a biomechanical analysis of the body gestures generated by the cyclist during the pedaling process.

The electronic system for man-machine coupling in cyclists, bikefit, consists of a mini computer Jetson Nano which is connected to different input and output peripherals that allows 2D detection of the skeleton of the athlete to be analyzed. It shows in video and in real time the different points of the joints that allows to calculate the angles generated in each limb, thus obtaining values that can be compared with previous studies and establish recommendations for bicycle adjustments. This in order to have an optimal position to increase performance and avoid injuries in the short or long term.

All the data obtained are displayed in an easy to interpret interface, both for the person performing the analysis and for the person being analyzed. Two reports are generated, the initial report that indicates the adjustments and angles with which the cyclist has arrived and the final report that shows the fitting process with the angles and recommendations executed, this report has the function of informing the cyclist of the variations made on his bicycle.

The results obtained in the performance tests are consistent, showing that the system has a confidence value of 95.22%, after comparison with a manual measurement method with a goniometer, demonstrating that the prototype is valid for bike fitting analysis.

Keywords: Machine vision, bike fitting, biomechanics, cycling, Jetson Nano.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETECCIÓN DE POSICIÓN ANGULAR Y ERGONOMÍA DE CICLISTAS EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL

1.2 Antecedentes Investigativos

Una vez finalizado la investigación bibliográfica en diferentes bases de datos y repositorios de universidades nacionales e internacionales se encontró trabajos similares referentes al estudio biomecánico en ciclistas y visión artificial, los mismos que sirvieron de guía para enriquecer el desarrollo del proyecto.

En la Universidad Técnica de Ambato, en el año 2017 Santiago Carrasco en su investigación con el tema “Análisis Biomecánico en los ciclistas de ruta categoría master” afirma que es imprescindible un estudio biomecánico tanto para el ciclista como para su entrenador por la razón que al realizar movimientos éstos deben ser precisos para que el nivel de esfuerzo rendimiento sea equitativo. Este estudio de la geometría del cuerpo interpreta el comportamiento de la fuerza aplicada en base a la longitud de la biela, ángulos de brazos y espalda; así como también una talla adecuada de la bicicleta. Concluye que el 27% de ciclistas master si han optado por un bike fitting considerando que es fundamental este análisis antes de comenzar en el ciclismo como práctica deportiva [1].

En la universidad de San Buenaventura Colombia, en el año 2018, Camilo Salguero en su investigación denominada “Sistema de bajos recursos para el análisis biomecánico de ciclistas de ruta”, el cual tiene como objetivo implementar un prototipo de bike fitting para ciclistas principiantes y de competencia, ha implementado un sistema que cuenta con un monitor, una computadora y una cámara para enfocar al ciclista en la bicicleta. Este estudio utiliza visión artificial y realidad aumentada para el proceso de identificación de los ángulos que se forman en las articulaciones del ciclista. Establece un análisis para calcular los ángulos máximos y mínimos que se debe generar al momento de pedalear. Como resultado encuentra que

los ciclistas pueden contar con una alternativa de análisis biomecánico menos costoso que permita adecuar de manera más conveniente su bicicleta, y así potenciar su rendimiento y disminuir riesgos de lesiones [2].

En la ciudad de Ambato, en el año 2019, Elmer Barahona de la Universidad Técnica de Ambato realizó la investigación con el tema “Navegación autónoma basada en maniobras bajo estimación de posturas humanas para un robot omnidireccional kuka youbot”. El cual tuvo como objetivo la implementación de un sistema de navegación autónoma, empleando visión artificial para la detección de posturas humanas y determinar los movimientos del robot. Dicho estudio establece estrategias de Machine Learning para mejorar el control de navegación autónoma. En su investigación utiliza algoritmos de código abierto, gracias al uso de la tarjeta de desarrollo Nvidia Jetson Nano que es utilizada específicamente para procesos de inteligencia artificial. Como resultados encuentra que el proceso de visión artificial es estable y en tiempo real gracias al procesamiento de imágenes de las posturas del cuerpo humano para generar acciones de movimiento al robot KuKa [3].

En el año 2020 Gil Serranoli, Peter Bogatikov, y Joana Palés del grupo de Laboratoristas de la Universidad Politécnica de Catalunya en su artículo “Marker-Less Monitoring Protocol to Analyze Biomechanical Joint Metrics During Pedaling” en la ciudad de Barcelona deducen que se torna complejo estudiar la forma de pedaleo de los ciclistas por los escasos sistemas instrumentados que el mercado oferta, mencionando únicamente los sistemas Smart Power Force creado en Alemania y el I – Crankset de Francia, siendo sistemas costosos. Por lo que, en su investigación ocupan sensores Flexiforce A201 para capturar la fuerza aplicada, colocan tres sensores en el sillín y dos sensores en cada pedal con unos tornillos para asegurarlo a la bicicleta, estos datos de voltaje tomados los convierten en fuerza utilizando curvas polinomiales procesadas con un Arduino DUE. Como resultados encuentran que los errores frecuentes se ajustan en posiciones incorrectas en los puntos de los pies (metatarsianos, talón) que se logra compensar en base a algoritmos correctivos que detectan la cadera, rodilla, puntos estratégicos del tobillo, metatarso y talón consiguiendo corregir la fuerza que se debe aplicar en función de la anatomía de cada ciclista [4].

En la investigación desarrollada por Diana Torres y Cristian Ruiz de la Universidad de Pamplona en el año 2021 con el tema “Development Of A Multi-Profile Artificial Vision System For The Sports Analysis Of Volleyball”, en donde desarrollan un sistema de visión artificial multiperfil empleando dos dispositivos Kinect V2 para la obtención de las imágenes, estas se capturan de manera frontal y lateral del movimiento de la persona, con el fin de tener una visión 3D para el análisis de diferentes variables en las articulaciones del deportista. Para el diseño del algoritmo se establecieron diferentes puntos anatómicos de la estructura del esqueleto, con el fin de calcular la distancia entre cada punto y con un análisis matemático encontrar los ángulos que forman las articulaciones. Se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo del sistema, generando un reporte con sus eficiencias y deficiencias, para garantizar un reporte del análisis físico y estadístico para el mejoramiento técnico táctico del deportista. Como resultado establece que las técnicas para entender los movimientos a nivel de programación hacen posible el diseño de un algoritmo para capturar los gestos deportivos de remate y bloqueo, el sistema tiene una precisión la cual permite realizar análisis aceptables para los movimientos requeridos [5].

En la ciudad de Ambato, en el año 2022, Marcelo Corella de la Universidad Técnica de Ambato en su proyecto de investigación titulado “Sistema electrónico para la medición de posición angular en ciclistas amateur para evitar lesiones de rodillas” en donde realizó un sistema electrónico para la detección del ángulo de la rodilla del ciclista, este sistema consta de una rodillera en donde están situados los elementos electrónicos como la batería, ESP32 y potenciómetro para enviar los datos por medio de comunicación wifi a un dispositivo móvil, en donde dispone de una interfaz gráfica para un mejor manejo del sistema. Con las mediciones obtenidas realiza una serie de cálculos para obtener la altura adecuada del sillín. Como resultado encuentra que los ángulos de la rodilla generados con el sistema electrónico coinciden con los recomendados por los expertos en bike fitting [6].

1.3 Contextualización del problema

Actualmente, el andar en bicicleta ha tenido un crecimiento constante a nivel mundial, ya sea porque es un medio de transporte seguro que no contamina y beneficia a la salud en medio de la crisis sanitaria. Según la encuesta Global Consumer Survey, el territorio líder en el uso de la bicicleta es Países Bajos, con un 53% de personas entrevistadas que aseguran usar su propia bicicleta dos o más veces por semana. Bogotá y São Paulo, son las ciudades de Latinoamérica donde más se usa este medio de transporte con un porcentaje de 4,5% [7].

En el país, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en conjunto con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales y Cantonales ha implementado en varias de sus carreteras infraestructura ciclista con el fin de proporcionar espacios seguros para la circulación de bicicletas, con un modelo de movilidad menos contaminante, menos costoso, más eficaz y más amigable [8]. Al mismo tiempo, el uso de la bicicleta se incrementó en contexto de la pandemia y específicamente en Quito este incremento significó un alto porcentaje del 700%, siendo el medio más seguro para evitar la transmisión del COVID-19 [9].

La provincia de Tungurahua al ser una zona céntrica y de gran afluencia comercial existe una gran variedad de tiendas que se dedican a la venta específica de bicicletas de varias dimensiones y de diferentes modalidades, uno de los principales problemas al momento de adquirir una bicicleta nueva es que no dan a conocer los ajustes básicos necesarios acorde a la fisiología de la persona y que al momento de manifestar acerca de esto lo vendan como un servicio adicional denominado análisis biomecánico.

El bike fitting o análisis biomecánico es un servicio personalizado que realiza una evaluación física del ciclista y, con base en los resultados, se adapta la bicicleta a la necesidad de su cuerpo [10]. Un deportista de alto rendimiento no solo necesita de un entrenador calificado, también necesita de un médico deportólogo, un fisioterapeuta y un nutricionista, con el fin de tener una guía profesional y desempeñar al máximo su carrera deportiva [11]. Por otra parte, en ciclistas amateur, el nivel de conocimiento sobre estas actividades es bajo, o nulo, se desconoce de los ajustes básicos como la

El cuadro de la bicicleta es la parte más importante, ya que es el eje que sostiene y mantiene unidos a todos los componentes, según algunos autores lo describen como el “corazón de la bicicleta” aunque otros también lo mencionan como “el esqueleto”. La horquilla delantera se articula para sujetar la rueda, en la parte trasera se sujeta del cuadro, las dos ruedas definen la capacidad del ciclista para conducir en diferentes terrenos [14].

El sillín o asiento tiene la función de mantener al ciclista sentado en una posición cómoda que le permita mover sin dificultad sus piernas. El manillar tiene la función de tener un adecuado control en cuanto a la conducción y dirección. Con respecto a los pedales, bielas, conjunto de cadenas, platos y piñones se encargan de realizar la fuerza de tracción para mover la bicicleta y los frenos realizan la función contraria, estos componentes tienen varios diseños y seguirán modernizándose con la evolución del mercado y los requerimientos del ciclista, como se observa en la Figura 1 [14].

1.4.2 Ergonomía en la bicicleta

El trabajo muscular y la distribución de toda su fuerza repartida por todo el cuerpo es un aspecto esencial cuando montamos en bicicleta. En una bicicleta todo el cuerpo está en acción, cuando nos montamos a la misma e iniciamos el pedaleo, cuando frenamos o finalmente cuando nos apeamos. El trabajo de toda la musculatura que interviene en este trabajo debe ser de forma equilibrada. La ergonomía es la ciencia que estudia precisamente como mantener estas fuerzas musculares en armonía a la vez que señala la mejor forma para que nuestro cuerpo se comporte con la máxima eficacia en la tarea que realiza. Cuando todas las fuerzas musculares están trabajando de forma equilibrada experimentamos, a pesar del esfuerzo que realicemos, una sensación de confort [15].

1.4.3 Lesiones frecuentes por llevar una postura incorrecta en la bicicleta

Cuando se realiza actividad física en la bicicleta por mucho tiempo, conlleva un estrés para nuestros músculos y articulaciones que se agrava si la bicicleta tiene unos ajustes incorrectos para las dimensiones de nuestro cuerpo. Por este motivo se debe elegir la talla de bicicleta correcta en función de nuestra altura, longitud de piernas y otros factores. Además, se debe tomar en cuenta los ajustes de los elementos como la altura

del sillín, altura del manillar y distancias entre estos. Las lesiones más frecuentes que se dan por llevar una mala posición en la bicicleta son:

Dolores de rodilla

La rodilla es la articulación esencial para pedalear y la que está sometida a un mayor desgaste. Por eso es primordial adoptar una buena postura sobre la bicicleta que permita una correcta flexión de la rodilla al pedalear. La lesión de rodilla más frecuente debido a una mala postura es la tendinopatía rotuliana o tendinitis de la rodilla [16]. Según el especialista en fisioterapia Jordi Soriano, los síntomas más frecuentes que pueden indicar la aparición de una tendinitis en la rodilla es el dolor punzante y localizado en la parte inferior de la rótula, puede hacerse más intenso en reposo [17].

Dolores cervicales

Estas molestias están localizadas en el cuello o en la zona del trapecio, se puede dar por una postura demasiado inclinada o demasiado recta al sentarse en la bicicleta. Una buena elección de la talla de la bicicleta o los ajustes adecuados de sus elementos que garantice la distancia correcta entre el sillín y manillar puede evitar este tipo de lesiones [16].

Lesiones lumbares

La aparición de dolores en esta zona está relacionada estrechamente a montar en bicicleta en una mala postura. Son varias las causas de estas molestias en ciclistas, pero se destacan cinco de acuerdo a expertos de ciclismo y rendimiento [18].

- Pedalear con el tronco muy erguido debido a un manillar demasiado elevado.
- Brazos muy extendidos por tener el manillar muy alejado del sillín.
- Sillín demasiado retrasado.
- Sillín desnivelado, con la punta más elevada que la parte trasera.
- Asimetría sobre el sillín.

Lesiones de cardera

Puede darse por una postura demasiado acoplada sobre el manillar, donde se realice mayor fuerza con la cadera, puede ocasionar importantes molestias en la zona derivando incluso en deformaciones de la columna como una lordosis. Para prevenir estas lesiones se debe principalmente tener colocado el sillín en una altura correcta, de tal manera que el ciclista se sienta cómodo [16].

Adormecimiento de manos y pies

Es común que tras largas horas montado en la bicicleta el ciclista comience a notar hormigueo y debilidad en manos o pies, esto se da por una fuerte compresión con el manillar o el pedal con trabas. A esta dolencia se le llama parestesia y no es otra cosa que el adormecimiento de una parte del cuerpo debido a la compresión de un nervio o a una mala circulación de la sangre [16].

1.4.4 Puntos geométricos del cuerpo que interviene al montar en la bicicleta

Para el análisis de la descomposición estructural del cuerpo humano se muestra en la Figura 2 los puntos en donde se tiene las articulaciones en el cuerpo y en la Tabla 1 se muestran los nombres de cada uno.

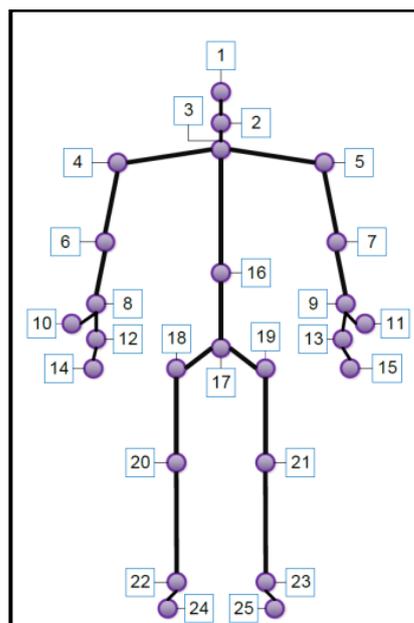


Figura 2. Articulaciones de esqueleto humano en 3D. [11]

Tabla 1 Articulaciones del esqueleto humano en 3D. [19]

1	Cabeza	10	Pulgar izquierdo	19	Cadera derecha
2	Cuello	11	Pulgar derecho	20	Rodilla izquierda
3	Columna	12	Mano izquierda	21	Rodilla derecha
4	Hombro izquierdo	13	Mano derecha	22	Tobillo izquierdo
5	Hombro derecho	14	Punta mano izquierda	23	Tobillo derecho
6	Codo izquierdo	15	Punta mano derecha	24	Pie izquierdo
7	Codo derecho	16	Columna media	25	Pie derecho
8	Muñeca izquierda	17	Base de la columna		
9	Muñeca derecha	18	Cadera izquierda		

1.4.5 Biomecánica del ciclismo

El cuerpo humano se puede considerar como un mecanismo que aplicará una determinada fuerza en el sistema de transmisión de la bicicleta. Realizando técnicas de cinematografía para observar por medio de fotografías a los atletas en movimiento y poder identificar los rangos de los ángulos que forman en sus articulaciones en los puntos muertos superiores e inferiores. Se pueden observar que los ángulos máximos y mínimos del muslo respecto a la horizontal son -19° cuando el pedal está en el punto muerto superior y -62° en el punto muerto inferior, pero lo más importante es que la cadera nunca llega a su verdadera extensión puesto que ésta comienza al moverse el muslo por la misma línea que pasa por el centro del tronco. Si ahora nos fijamos en la rodilla, vemos que el rango del movimiento va desde los 37° a los 111° tal como se puede ver en la Figura 3 [20].

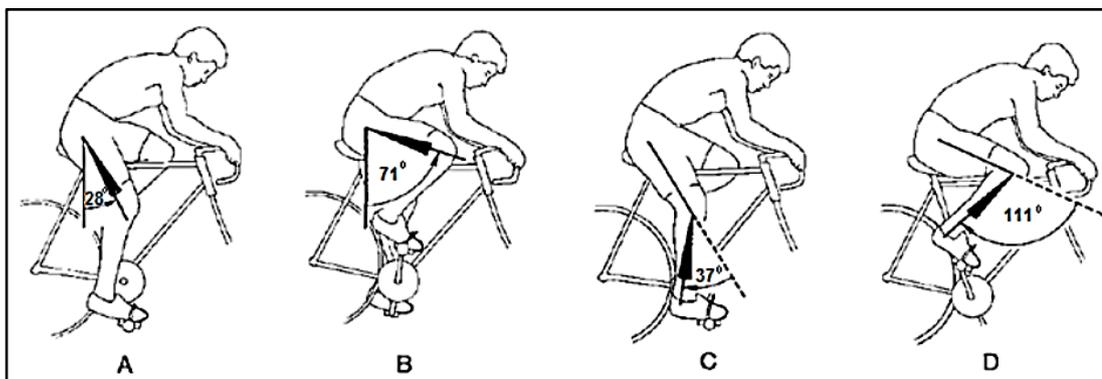


Figura 3. Ángulos característicos del pedaleo. [20]

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 [21].

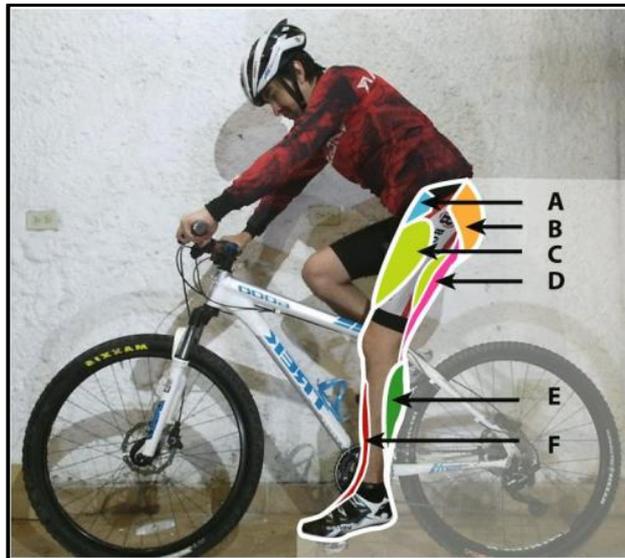


Figura 4. Grupos musculares de la extremidad inferior que intervienen en el ciclo del pedaleo: A.- Flexores de la cadera. B.- Extensores de cadera. C.- Cuádriceps. D.- Flexores de la rodilla. E.- Flexores plantares del tobillo. F.- Dorsiflexores del tobillo. [21]

1.4.6 Anatomía

Se puede dividir el cuerpo para su análisis anatómico en el ciclismo en tres grandes partes: tren inferior, tren superior y puntos de contacto. Se muestra en la Tabla 2 su respectivo análisis de cada uno de estos.

Tabla 2 Análisis anatómico del cuerpo humano en el ciclismo. [22]

Tren inferior	
Cadera	La cadera hace parte de la pelvis y es la que da inicio a la cadena de torsión a la hora de pedalear. La pelvis posee una cavidad llamada acetábulo la cual sostiene la cabeza del fémur para así formar la articulación de la cadera.
Pelvis	La pelvis se compone de dos regiones óseas: el isquion y el ilion; estos huesos se articulan entre el sacro y la base de la columna vertebral en lo que llamamos articulación sacroilíaca.
Rodilla y pierna superior	La rodilla consta de tres huesos: el fémur, la tibia y la rótula. Por una parte, el fémur está relacionado con la palanca producida a la hora de pedalear. La rótula por su parte es un punto de apoyo a través del cual la fuerza producida por los cuádriceps y los glúteos es transferida a la tibia y finalmente al pedal.
Articulación rótulo femoral	Es la articulación de la cual más frecuentemente se habla en el ciclismo debido a su papel como el fulcro de transferencia y empuje al pedal. Esta articulación es un punto de unión de los músculos principales productores de torque (cuádriceps y glúteos).
Cuádriceps	Estos se ubican en la parte delantera del muslo y están compuestos por 4 músculos: el vasto lateral, el vasto medial y el vasto intermedio. Esta serie de músculos están involucrados con la extensión de la rodilla además se ha de tener en cuenta que estos cruzan la cadera y la rodilla por lo cual se consideran músculos biarticulares.
Isquiotibiales	Está compuesto por el bíceps femoral, los semimembranosos y las semitendinosas. Este se encarga de estabilizar la rodilla durante la parte inferior de la carrera del pedal y dirigir la pierna a través de la parte trasera del pedal.
Pierna inferior	En el ciclismo esta se encarga de la transmisión de la fuerza de los cuádriceps y glúteos a el pedal. La pierna inferior consiste en la tibia, peroné, tobillo y pie. Por un lado, el pie se divide generalmente en tres regiones: trasero, medio y antepié. Un correcto posicionamiento de ellos, influye en el correcto apoyo sobre el pedal.
Tren superior	
	<ul style="list-style-type: none"> • El tren superior consta de diversos músculos esenciales para el ciclismo. En donde se encuentra la espalda baja, los músculos multifidos y el cuadrado lumbar. Estos músculos ayudan a estabilizar la columna vertebral bajo cargas laterales y rotacionales. • La siguiente capa de músculos son los longísimos, estos músculos son extensores de múltiples segmentos de la espalda y ayudan a mantener la postura y estabilidad durante el ejercicio. • Mientras tanto la musculatura abdominal ayuda a mantener el tronco estable en momentos de alta fuerza y para la contracción del diafragma en la respiración. Si seguimos subiendo encontramos el trapecio y el dorsal ancho. Estos son estabilizadores de los brazos y el cuerpo en general. <p>Los bíceps por su parte también funcionan como estabilizadores contrarrestando la producción de torque de las piernas.</p>
Puntos de contacto	
	Estos son los puntos donde el cuerpo toca la bicicleta, los tres puntos de contacto anatómicos principales pueden ser las fuentes donde se encuentran con más recurrencia dolores y lesiones. Estos puntos son: pie-pedal, mano-manubrio, pelvis-silla.

1.4.7 BikeFitting

El bikefit es una herramienta que nos permite hallar una óptima posición en una bicicleta, lo cual es fundamental para el desempeño, ergonomía y prevención de lesiones. Sin embargo, no hay una posición correcta, ni un estándar único para hallar este bikefit. Es por ello que el bikefit está relacionado estrechamente con la anatomía del cuerpo, debido a que en la locomoción en el ciclismo es posible gracias a la coordinación de una serie de elementos contráctiles (músculos) creando una fuerza, que se transfiere a través de una serie de palancas (huesos) a través de juntas para crear torque en los pedales [22].

Cuando se debe aplicar un BikeFitting

Es indispensable realizarlo cuando el ciclista ha sentido molestias, cuando experimenta algún dolor, cuando tiene la sensación de que su bicicleta no avanza como debería, o en el caso de un triatlón siente que su posición aerodinámica no es la adecuada; en este último caso es preciso realizar el chequeo con el casco que se utilizará en la práctica de esta modalidad. Los ángulos de las distintas articulaciones del cuerpo son utilizados en una gran cantidad de las técnicas de bike fitting y a partir de ellos se obtienen los resultados de las medidas correctas de la bicicleta. Las articulaciones y sus ángulos a medir se presentan en la Figura 5 [6].



Figura 5. Puntos anatómicos y ángulos de las articulaciones. [2]

Las articulaciones y los ángulos a medir que se observa en la Figura 5 deben ser marcadas y referenciadas en las siguientes partes de los huesos del cuerpo [2].

- A. Muñeca - Apófisis estiloides del cúbito.
- B. Codo – Olecranon.
- C. Hombro – Acromion
- D. Cadera - Trocánter Mayor.
- E. Rodilla - Cóndilo Femoral.
- F. Tobillo – Maléolo.
- G. Pie - Cabeza metatarsiano.

1.4.8 Ajustes del sillín y manillar de la bicicleta

A continuación, se observa los rangos correctos de los ángulos corporales del ciclista para definir cada medida de la bicicleta.

A. Altura del sillín.

Para ajustar la altura correcta del sillín se debe tener en cuenta el ángulo de la rodilla cuando el pedal está en su punto más bajo esto es, cuando el plato tiene una rotación de 180° , el ángulo de la rodilla se debe mantener entre los 140° y los 150° como se observa en la Figura 6. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el ángulo de flexión máxima de la rodilla, el cual concierne a un ángulo de rotación de 0° del plato, el ángulo de flexión de la rodilla debe ser mayor a 70° de acuerdo a la Figura 7 [2].

Al momento que el resultado de la medición del ángulo sea inferior al límite inferior del rango correcto, se tiene que ajustar la altura del sillín para que esta sea mayor. Si el ángulo es mayor al límite superior del rango, se tiene que ajustar para que la medida sea menor, de todas maneras, se debe medir nuevamente el ángulo y comprobar que se encuentra en el rango correcto luego de ajustar la altura del sillín [2].



Figura 6. Ángulo óptimo de la rodilla en su extensión. [23]



Figura 7. Ángulo óptimo de la rodilla en su flexión. [23]

B. Retroceso del sillín

Para ajustar el retroceso del sillín, se toma como punto de referencia la posición más avanzada del pedal, es decir cuando el plato está a una rotación de 90° . En esta posición la rótula debe coincidir en su eje vertical con la posición del eje del pedal tal y como se observa en la Figura 8. Cuando la rótula se encuentre en una posición más avanzada en el eje vertical se debe ajustar el retroceso del sillín, retardando un poco su posición. Al momento de que la rótula se encuentre en una posición más retrasada en relación con el eje del pedal se debe ajustar el retraso del sillín para que quede en una posición más avanzada. En ambas ocasiones, después de realizar el ajuste, se debe realizar la medición nuevamente para verificar que el eje vertical de la rótula se ajuste con el del pedal [2].



Figura 8. Ajuste correcto del retroceso del sillín. [23]

C. Altura del manillar.

Para ajustar la altura del manillar se debe medir el ángulo de la cadera en dos puntos: en el punto más alto, es decir, 0° de rotación del plato y más bajo que corresponde a 180° de rotación del plato de la posición del pedal. El ángulo cuando el pedal está en su posición más alta debe ser de un ángulo cercano a 50° como se presenta en la Figura 9 y en su posición más baja debe ser un ángulo cercano a 110° como se puede observar en la Figura 10. [2].

El manillar deberá tener una altura que se ajuste con la utilización de espaciadores entre el marco y el codo, si el número de espaciadores es mayor, la altura del manillar aumentará, pero si es menor, disminuirá. Influye también el ángulo de inclinación del codo, entre más positivo sea el ángulo, más altura tendrá el manillar y entre más negativo sea el valor de la altura del manillar disminuirá [2].

Cuando estos resultados de la medición del ángulo de la cadera sean inferiores a lo recomendado, se debe aumentar la altura del manillar, y cuando sean superiores se debe disminuir, en ambos casos se debe realizar la medición nuevamente para comprobar que el resultado se encuentre cercano a lo recomendado [2].



Figura 9. Ángulo óptimo de la cadera en flexión. [23]



Figura 10. Ángulo óptimo de la cadera en extensión. [23]

D. Distancia del sillín al manillar.

Para ajustar la distancia del sillín al manillar se debe tener en cuenta el ángulo entre el húmero y el torso, este debe mantenerse entre 80° y 90° , como se observa en la Figura 11. Cuando el resultado de la medición sea menor al rango recomendado, se debe probar con un codo de mayor longitud, cuando sea mayor al rango, se debe probar con un codo de longitud menor, en ambos casos se debe verificar con una nueva medición para tener una medición correcta [2].



Figura 11. Ángulo óptimo del hombro. [23]

1.4.9 Métodos y equipos usados para el análisis biomecánico

Algunas técnicas existentes para el análisis biomecánico más comunes que se puede encontrar en el mercado son; cintas de medir, goniómetros, nivel, plomadas, graduadores, rodillo estático, etc. Dichas herramientas permiten medir varios parámetros del ciclista, por ejemplo, la cinta permite medir longitudes, el goniómetro permite medir ángulos generados por la flexión de las extremidades, el nivel para obtener una referencia exacta con la horizontal a la hora de realizar medidas, la plomada permite tener referencias con respecto de la vertical [24].

Actualmente según Phil Burt en su libro “Bike fit” nos menciona 4 métodos de ajuste, los mismos que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3 Métodos de ajuste. [25]

MÉTODOS DE AJUSTE				
	Concepto	Ventajas	Desventajas	
Tradicional	Este método se rige mediante el uso del manual CONI, un libro italiano de ciclismo que se concentra en la posición de montura y el posicionamiento del pie.	Fácil y rápido.	No toma en cuenta biotipos individuales, por lo cual fuerza al cuerpo a adaptarse a la cicla.	
Observacional	Se basa en las creencias del corredor respecto a cómo se debería ver y cómo se debería sentir.	Mejora respecto al tradicional debido a que se observa al individuo a la hora de realizar el ajuste.	No son datos objetivos, por lo cual la mayoría de los ciclistas terminan luciendo igual.	
Genérico	Este método se basa en ecuaciones de ajuste (de la CONI y Bioracer) basadas en medidas de segmentos de cuerpos.	Mejora respecto al observacional debido a que en este caso se reconocen proporciones, un elemento importante a la hora del bikefit.	Son mediciones estáticas, por lo anterior no se tiene en cuenta la interacción del corredor con la bicicleta.	
Ajuste individual	Estático	En este método se emplea una plumb bob (una cuerda con un peso al final que permite encontrar posiciones verticales) y goniometría.	Se tienen en cuenta ángulos de las articulaciones, lo cual optimiza el ajuste.	Se posee una naturaleza estática, por lo cual solo se emplea una posición teórica, la cual muchas veces no es una posición real de un ciclista en movimiento.
	Dinámico	En este método se emplea un video o un análisis de movimiento el cual permite ajusta la bicicleta al corredor mientras este está montando.	Posee datos objetivos debido a que se tiene en cuenta al ciclista en movimiento y su biotipo.	Posee un alto costo.

1.4.10 Inteligencia Artificial (IA)

Se define la inteligencia artificial como la habilidad de los ordenadores para hacer actividades que usualmente requiere inteligencia humana. Específicamente, la IA es la capacidad de las máquinas para utilizar algoritmos, para aprender de los datos y usar lo aprendido para la toma de decisiones de manera automática de acuerdo a como lo haría un ser humano [26].

Visión artificial

La visión artificial consigue información del ambiente mediante imágenes que es capaz de analizar. Por ende, acude a diferentes tipos de sensores a partir de los cuales se obtienen resultados con una gran precisión. En la industria forma parte de todo el proceso de producción gracias a datos que recibe y envía [27].

La visión artificial la componen un grupo de procesos orientados a realizar el análisis de imágenes. Aquellos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesamiento de resultados e interpretación de los mismos. A continuación, se enlista las acciones que se pueden realizar con visión artificial: [28]

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Control de calidad de productos que no es posible verificar por métodos tradicionales.
- Inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Inspección de la producción a gran velocidad.
- Inspección en procesos en donde existen diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

1.4.11 Estimación de poses guiada por comprensión

El detector de poses propone una estrategia de Greedy Box Generation (GBR) para retener a los candidatos más necesarios. La rama de regresión compensada clasifica el mapa de calor, mientras que la rama de clasificación guía la rama de regresión compensada para enfocarse en la vecindad del campo a analizar. Se colocan miles de cajas candidatas para la selección de la persona. En primer lugar, se filtran las casillas

cuyo tamaño es inferior al umbral mínimo, luego, se selecciona las casillas que tienen un puntaje de confianza mayor a 0.8, después de eso, se elimina otras casillas que tienen un nivel de confianza menos a 0.5, finalmente, los cuadros restantes se dividen en grupos en donde cada cuadro va a tener un nivel de confianza mayor a 0.7 [29].

Para la rama clasificación, cada punto clave se establece mediante un mapa de calor $L_k H$ (W : es el ancho, H : es el alto). La otra rama de calor se utiliza para generar mapas en $2K$. Cada par de ellos representa el desplazamiento en los planos x , y de la posición correspondiente en L_k . Se emplea un filtro gaussiano para suavizar los mapas de calor de salida, los resultados finales se obtienen fusionando dos ramas utilizando un método de fusión intuitivo muy efectivo, como se observa en la Figura 12 [29].

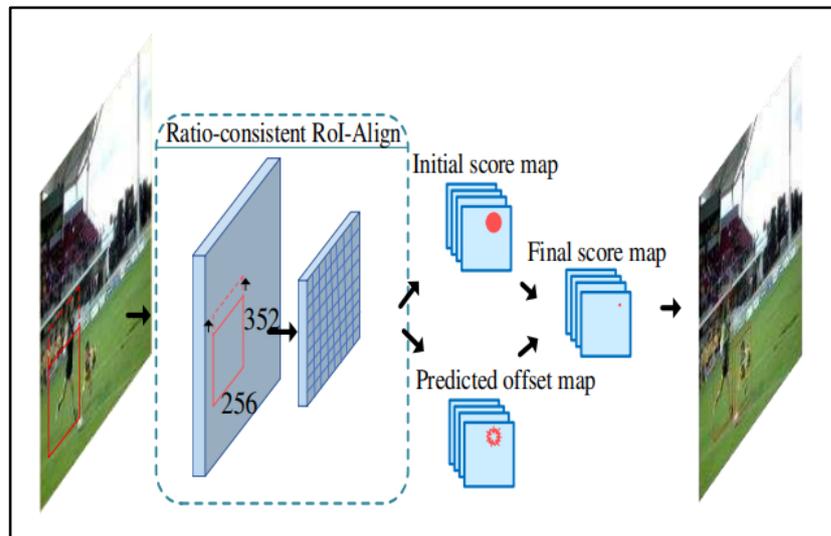


Figura 12 Marco de la máscara guiada por comprensión. [29]

1.4.12 Espacios del color

El modelo de color más conocido y utilizado es el espacio RGB. Está representado por tres valores de rojo (R), verde (G) y azul (G), situados a lo largo del eje de las coordenadas cartesianas en forma de un cubo. Los valores de RGB van representados en un rango de $(0,1)$ o de $[0,255]$. De esta manera, el negro se representa como $[0,0,0]$ y el blanco se representa como $(1,1,1)$ o $[255,255,255]$. El color negro y blanco están representados en las dos esquinas opuestas del cubo que se puede definir por los ejes R, G, B del sistema de coordenadas cartesianas (Figura 13). Las otras esquinas del

cubo representan el rojo, verde, azul, cian, magenta y amarillo. Los colores en escala de grises se representan con componentes idénticas a R, G, B [30].

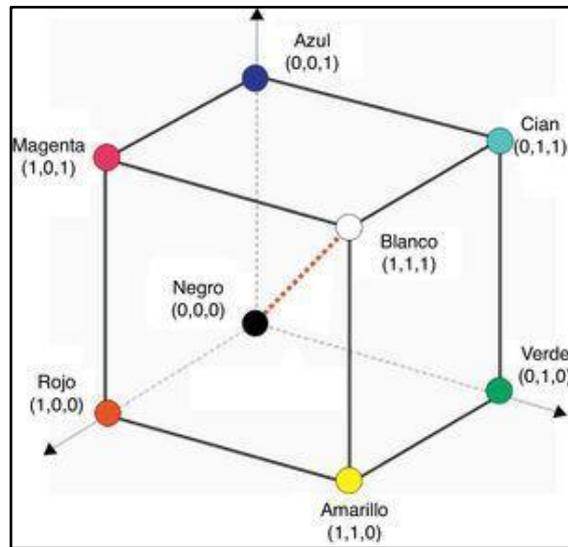


Figura 13 Ilustración de un cubo del espacio de color RGB. [30]

Para convertir una imagen en color en blanco y negro, se realiza un proceso que muchos editores disponen y se denomina “convertir a escala de grises”. La forma en que un programa convierte a grises no es un gran misterio, en realidad hace un mezclado de los tres canales (RGB) para obtener un solo gris tomando estos porcentajes: Rojo 30%, Verde 59%, Azul 11%, que es lo que denominan los expertos lo más parecido a como captan nuestros ojos la proporción del color [31].

La siguiente expresión matemática 1 de la luminancia muestra la ponderación de cada componente de color. Para realizar esta conversión basta con aplicar esta función a cada pixel de la imagen RGB [31].

$$Y = R * 0.3 + G * 0.59 + B * 0.11 \quad (1)$$

Una imagen digital es una celda compuesta por unos elementos denominados pixeles, estos son los componentes más pequeños de una imagen digital. Cada pixel almacena un espacio de memoria en la computadora que representa la definición de color y brillo de una parte de la imagen [31].

Una imagen es una función de la intensidad de luz $f(x, y)$, donde f representa el brillo y (x, y) las coordenadas espaciales de un elemento de la imagen. Por convención, la

referencia espacial del pixel con las coordenadas (0, 0) es localizada en el lado superior izquierdo de la imagen. Nótese en la Figura 14 el valor de x se incrementa moviéndose a la izquierda a derecha y el valor de y se incrementa de arriba hacia abajo [31].

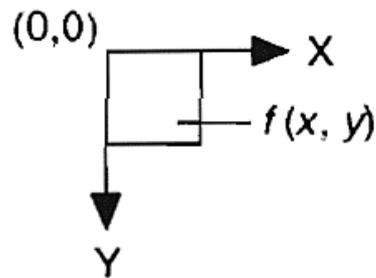


Figura 14 Referencia espacial del pixel (0, 0). [31]

Toda imagen digital tiene tres componentes que son: resolución, definición y números de planos [31].

- a) **Resolución de imagen:** Es determinada por su número de filas (m) y columnas (n) de pixeles.
- b) **Definición de imagen:** Indica el número de sombras que puede tener en una imagen, es decir, un pixel puede tener 256 valores diferentes que van desde los límites de 0 a 255.
- c) **Número de planos:** Una escala de grises está compuesta por un solo plano, mientras que una imagen con verdadero color se compone de tres RGB.

1.4.13 LAMP

En la Figura 15 se muestra los logotipos del servidor LAMP necesarios para gestionar los datos del proyecto de investigación.



Figura 15 Logotipos del servidor LAMP [32]

Debian GNU/Linux

Debian GNU/Linux es una distribución formada por la unión de la filosofía y metodología de Debian; así como las herramientas GNU, el núcleo Linux, y otro software libre. Debian da origen a una distribución de alta calidad, estable y escalable. Dando origen a una fácil instalación para servir a varios perfiles, con cortafuegos reducidos, estaciones de trabajos científicas y hasta servidores de red de alta escala. La diferencia con otros sistemas es que su sistema permite gestionar los paquetes, sus herramientas dan control al administrador sobre sus paquetes instalados en el sistema. Ubuntu es una distribución de Linux que incluye principalmente software libre y de código abierto, se puede usar en ordenadores y servidores [32].

Apache

Apache es uno de los servidores más populares y de altas prestaciones para HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Tiene un diseño modular y soporta extensiones dinámicas de módulos durante su ejecución. Es muy fácil de configurar en la mayoría de servidores ya que cuenta con varios módulos de soporte para mecanismos de autenticación, control de acceso, proxy, servidores virtuales, etc. Apache permite el hospedaje de páginas web en la computadora donde se tenga instalado el servicio [32].

MySQL

MySQL es el sistema gestor de base de datos de código abierto más utilizado en la actualidad, una de las características por la que grandes empresas usan este tipo de software es por su gran velocidad y flexibilidad de poder instalar en diferentes sistemas operativos [32].

PHP

PHP (Hiptertext Preprocessor) es un lenguaje de programación diseñado para el desarrollo de páginas Web, facilita el diseño de páginas dinámicas de servidor. phpMyAdmin es una herramienta escrita en PHP que sirve para administrar bases de datos de MySQL de forma sencilla y con una interfaz amigable para gestionar los datos utilizando un navegador web [32].

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema electrónico para la detección de posición angular y ergonomía de ciclistas empleando visión artificial.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar la ergonomía adecuada en ciclistas y las causas de lesiones por una mala posición en la bicicleta.
- Seleccionar el hardware y software de inteligencia artificial necesarios para tomar mediciones angulares en los ciclistas.
- Implementar un algoritmo de visión artificial para detectar diferentes posiciones del ciclista.
- Diseñar una interfaz gráfica para la notificación del ajuste a realizar en la bicicleta.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo del proyecto de investigación se va a realizar un análisis de diferentes dispositivos relacionados a la aplicación de visión artificial, con el fin de seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades requeridas.

Jetson Nano: Jetson Nano Developer Kit es una mini computadora pequeña y poderosa destinada al desarrollo de inteligencia artificial (IA), brinda el rendimiento informático para desenvolver tareas como clasificación de imágenes, detección de objetos, segmentación y procesamiento de voz. Permite ejecutar múltiples redes neuronales en paralelo con tan solo 5 vatios [33].

Raspberry PI: La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y pequeñas dimensiones, con sus múltiples entradas y salidas puede ser conectada a un monitor o Tv, ser controlada por un mouse y un teclado estándar. Corre un sistema operativo Linux capaz de explorar la computación y programar en lenguajes como Scratch y Python. Tiene la habilidad de interactuar con el mundo exterior, puede ser usada en una gran variedad de proyectos digitales al conectar actuadores y sensores [34].

Gigabyte Brix: La mini computadora Brix tiene distintos usos como: PC de escritorio, computadoras para oficina, publicidad digital, etc. Es de bajo consumo y ocupa poco espacio. Está equipado con un procesador Intel, compatible con diferentes gamas desde Intel Celeron hasta Intel i7. La calidad visual esta incorporada ya que posee una tarjeta gráfica de Intel HD Graphics. Dispone de un módulo wifi y bluetooth 4.2, varios puertos USB y salida HDMI para video. Soporta varios sistemas operativos como Windows 10, Linux Ubuntu, Sistema Android y Google System [35].

Tabla 4 Parámetros principales de las mini computadoras. [33],[34],[35]

	Raspberry Pi 4	Jetson Nano	Brix Celeron BPCE 3455C
Fabricante	Raspberry Pi	NVIDIA	GIGABYTE
GPU	VideoCore VI 500 MHz	128 core Maxwell	-
CPU	1.5-GHz, 4-core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	Quad-Core ARM A57 @ 1.43 GHz	Procesador Intel® Celeron® J4105 hasta 2.5GHz
Puertos USB	2x USB 3.0 2x USB 2.0 2x micro HDMI	4x USB 3.0 1x USB 2.0 Micro B	4x USB 3.0 1 Puerto Micro SD
Otros puertos	2 carriles para cámara MIPI. 2 × puertos micro- hdmi (admite hasta 4kp60)	2 carriles para cámara MIPI CSI- 2 Puerto de salida HDMI	1 Puerto HDMI y 1 Puerto VGA
Conectividad	Puerto Gigabit Ethernet. Wi-Fi 802.11ac Bluetooth 5.0	Puerto Gigabit Ethernet M.2 Key E	Puerto Gigabit Ethernet. Wi-Fi 802.11ac Bluetooth 4.0
Memoria	4 GB LPDDR4- 3200	4GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s	4 GB SO-DIMM DDR4 2400 MH
Medidas	22.00 cm x 11 cm x 6 cm	6.91 cm x 4.50 cm x 4.50 mm	11.6 cm x 10.3 cm x 5.6 cm
Almacenamiento	microSD (no incluye)	microSD (no incluye)	Disco duro de 2.5 pulgadas mecánico o SSD (no incluye)
Precio	\$250.00	\$173.50	\$175.00

En la Tabla 4 se muestra las características de las microcomputadoras para un análisis de la mejor opción de acuerdo a los requerimientos para el desarrollo del proyecto. Se eligió como microcomputadora la Jetson Nano principalmente a su poderosa GPU que es netamente desarrollada para aplicaciones de visión artificial, lo que destaca con respecto a sus similares, además su precio es más accesible que las demás.

En el mercado existe una gran variedad de dispositivos para la obtención de video, estos varían de acuerdo a sus características, funcionalidades y costo. A continuación, se muestra tres cámaras de diferentes gamas para seleccionar la que mejor se adapte al sistema.

Cámara web digital: Una cámara digital es un dispositivo de hardware que por medio de componentes ópticos digitales registra la intensidad y el color de la luz, y los convierte en datos de píxeles para ser guardado en una memoria dentro de un dispositivo. La cámara web siempre está conectada a la computadora a la espera de recolectar imágenes en tiempo real para mostrar en una pantalla de forma inmediata. Las imágenes se graban en un dispositivo de almacenamiento para ser procesadas o archivadas [36].

Cámara Kinect: La cámara Kinect es un periférico de entrada desarrollada por Microsoft para la consola de videojuegos de Xbox 360, esta dispone de dos cámaras frontales, una convencional de RGB, un sensor de distancia y un arreglo de micrófonos. Consta de un microchip que procesa la información del proyector laser de infrarrojos y el sensor CMOS [37].

Cámara StereoLabs ZED: La cámara ZED está llena de tecnología de punta ya que lleva la percepción espacial a un nivel completamente nuevo. Dispone de detección de profundidad neuronal utilizando redes neuronales para reproducir la visión humana, recopila datos de inercia, elevación y campo magnético sincronizados con la imagen y profundidad. Tiene sensores avanzados y calibración térmica para una precisión de seguimiento posicional mejorada, es una de las cámaras más usadas para proyectos de desarrollo con visión artificial, se emplea en las industrias por sus características de gran nivel [38].

Tabla 5 Parámetros principales de las cámaras. [36],[37],[38]

	Cámara web digital	Cámara Kinect	Cámara StereoLabs ZED
Sensores	No	Lentes de color y sensación de profundidad. Ajuste de sensor con motor de inclinación.	No
Campo de visión	90°	57°	120°
Resolución	90 fps 4096 px x 2160 px	640 × 480 píxeles a 30fps y una doble cámara de profundidad 3D de 640 × 480 píxeles a 30fps	90 fps 4.096 x 2.160 px
Sistema de seguimiento	No	Rastrea hasta 6 personas. Rastrea 20 articulaciones por persona activa.	Neuronal de detección de profundidad. Objeto espacial de detección
Sistema de audio	Si	Si Reconocimiento de voz múltiple.	Si
Costo	\$30.00	\$60.00	\$600.00

En la Tabla 5 se observan los parámetros principales para la selección de la cámara a utilizar. Se elige la cámara digital debido a que el campo de visión no excede los 90°, no se va a utilizar sensores ya que la detección del movimiento se lo va a realizar mediante un algoritmo de visión artificial y también su precio es accesible con respecto a las demás.

Periféricos de entrada y salida

Mouse: El mouse o ratón es un dispositivo de entrada que está diseñado para manipular objetos en el monitor de la computadora con la finalidad de que exista una interacción entre el usuario y la computadora [39].

Teclado: El teclado es un dispositivo de entrada y es una de las principales herramientas que el usuario utiliza para interactuar e introducir datos en el computador de manera instantánea [39].

Monitor: El monitor o pantalla de computadora muestra al usuario la información del equipo, tanto imágenes como texto, los cuales son generados mediante una tarjeta de video que se encuentra en el interior de la carcasa del computador [39].

Rodillo estático para bicicleta: Para mejorar la destreza, velocidad, resistencia y potencia en el ciclismo se utilizan los rodillos para bicicletas, los cuales son un tipo de conjunto de ejercicio. A continuación, se destacan los motivos por los cuales se recomienda utilizar los rodillos para bicicletas: [40].

- Son un gran procedimiento para perfeccionar la técnica de ciclismo.
- Se los puede utilizar para aumentar la velocidad, resistencia y potencia.
- Son idóneos para calentar o enfriar luego de dar un paseo.
- Pueden ayudar a entrenar para competencias en carreteras o contrarrelojes.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de Investigación

En el presente proyecto se utilizará la metodología de investigación aplicada, ya que se aplicarán conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria como son las comunicaciones avanzadas, en donde se levantará servicios en una máquina local para la gestión, procesamiento y análisis de datos.

La investigación de campo tipo bibliográfica será muy útil para nuestro proyecto, ya que se centrará en temas relacionados con la visión artificial y la ergonomía en ciclistas. Para ello, se revisarán estudios más recientes, como tesis, artículos científicos, revistas, entrevistas, libros y publicaciones en internet. El objetivo de esta investigación es explorar y conocer temas relevantes que puedan contribuir al éxito del proyecto.

Investigación experimental, ya que el proyecto dependerá de una serie de pruebas para determinar el algoritmo de inteligencia artificial capaz de detectar correctamente los ángulos generados en las articulaciones del ciclista.

2.2.2 Recolección de Información

Para la recolección de información se emplearán libros, revistas, artículos científicos, tesis, manuales de construcción, proyectos desarrollados u otras fuentes bibliográficas confiables. Además, se recogerá información de ciclistas expertos que previamente se hayan realizado procesos profesionales de bike fitting y que manejen una postura y talla correcta de la bicicleta.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se llevará a cabo los siguientes ítems:

- Recopilación de investigaciones previas que más se asemejen al presente proyecto.
- Estudio de las posibles propuestas de solución para una óptima posición ergonómica del ciclista.
- Determinación de los elementos que intervendrán en el desarrollo del sistema electrónico.
- Planteamiento de la propuesta de solución.
- Pruebas y validación del sistema de visión artificial mediante el análisis y verificación de los datos obtenidos.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

El desarrollo de un sistema electrónico para la detección de posición angular y ergonomía de ciclistas empleando visión artificial, permitirá obtener datos de los ángulos que se forman en las articulaciones mediante una cámara que enfocará al ciclista mientras monta su bicicleta anclada a un rodillo estático. Estos datos serán analizados y procesados en una mini computadora mediante algoritmos de visión artificial, y posteriormente serán enviados a un monitor para visualizar los resultados, esto con el fin de detectar los ajustes necesarios a calibrar en la bicicleta, garantizando que el ciclista se encuentre en una posición óptima para potenciar su rendimiento y disminuir el riesgo de lesiones.

3.2 Desarrollo de la propuesta

El proyecto se lo llevó a cabo mediante un análisis de los requerimientos y especificaciones de parámetros esenciales para el desarrollo del sistema de detección angular para una posición óptima en ciclistas, esta información tomada de diferentes proyectos de investigación y artículos realizados en Ecuador y otros países ayudará a fundamentar el desarrollo del prototipo. Los algoritmos de programación se ejecutarán en una mini computadora diseñada específicamente para proyectos de visión artificial. Esta computadora utiliza un sistema operativo de código abierto que resulta ideal para levantar los servicios necesarios para gestionar la información.

3.2.1 Descripción de los requerimientos o especificaciones necesarios para el desarrollo del sistema

Modalidades del ciclismo

El ciclismo es un deporte muy versátil, por lo que existe una gran variedad de bicicletas para cada modalidad, no es lo mismo una bici de montaña que una de BMX, cada una

debe adecuarse a su ambiente y su propósito. En la Tabla 6 se muestra las modalidades del ciclismo más practicadas.

Tabla 6 Modalidades del ciclismo [41]

Modalidades del ciclismo que más se practican	
Ruta	Es la forma más conocida, se practica en carreteras pavimentadas y a grandes velocidades, consiste en distancias largas. Las características de esta bicicleta son las llantas grandes y delgadas con una estructura de la bici más liviano.
Montaña	Es una de las modalidades más extremas, el objetivo es cubrir una ruta que incluya descensos de una montaña y que no haya carreteras de asfalto. La bici debe tener llantas grandes y anchas, pesada por su estructura y por lo menos debe tener amortiguadores delanteros.
Enduro	Es una modalidad de montaña que además de tener bajadas tiene ascenso. La bici tiene amortiguadores adelante y atrás con llantas grandes y anchas. La posición del ciclista debe ser más cómoda para poder pedalear en caso de tener que subir una montaña.
Trial	Esta modalidad consiste en pasar obstáculos como como tubos, tablas, piedras, etc. Se requiere una bici muy ligera, algunas sin sillín o con sillín muy bajo.
BMX	Es una modalidad urbana, consta de pasar obstáculos y hacer trucos a través de parques o calles. La bici es ligera con llantas de tamaño mediano.

El sistema de detección de posición angular y ergonomía está diseñado para la modalidad de ruta y algunas de montaña y enduro que impliquen pedalear por largas distancias. En otras modalidades el cuerpo del ciclista debe estar en posiciones que impliquen contracciones y expansiones considerables de los ángulos que se forman en las extremidades por cortos periodos de tiempo.

Ajustes que se pueden modificar en la bicicleta

La bicicleta consta de diferentes partes móviles que se pueden ajustar para cumplir unas condiciones óptimas: comodidad, naturalidad, seguridad y maniobrabilidad. Todo ello depende de: La talla del cuadro, la altura del sillín, el retroceso del sillín, la

distancia sillín-manillar, el desnivel sillín-manillar, y la longitud de las bielas como se muestra en la Figura 16 [42].

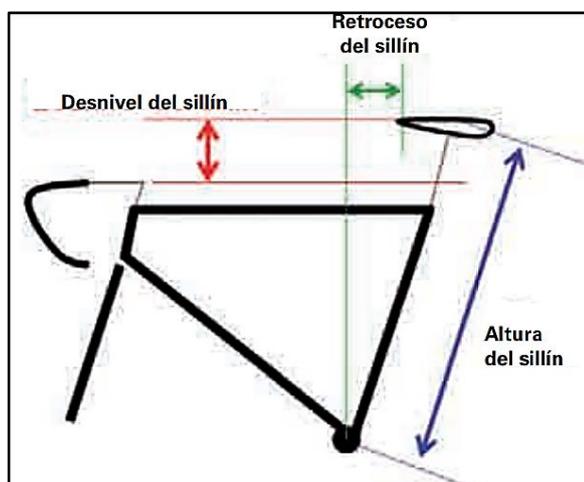


Figura 16 Ajustes de la bicicleta. [42]

Los ajustes que se pueden modificar para tener una posición óptima sin cambiar piezas en la bicicleta es la altura y retroceso del sillín y la altura del manillar. Si se requiere realizar un retroceso del manillar se debe cambiar el codo o potencia de la bicicleta por un más corto o largo como se muestra en la Figura 17, este cambio se debe realizar en situaciones que no se pueda corregir con otros ajustes. Para elevar o disminuir el alto del manillar se debe intercambiar los espaciadores de la caña del manubrio, de tal forma que se obtenga la altura ideal. (Figura 18).



Figura 17 Dimensiones del codo. [42]

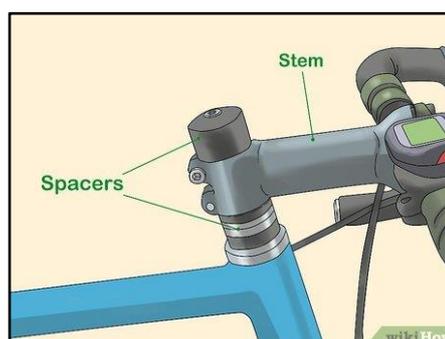


Figura 18 Espaciadores de codo. [42]

Ángulos adecuados para una posición óptima del ciclista

Los ángulos adecuados para tener una ergonomía óptima en la bicicleta según bikeitalia.it en un estudio realizado por: Omar Gatti, Giuliano Martiniani y Paolo

Gaffurini, en donde muestran la biomecánica del ciclismo, las normas de ajuste y el procesamiento de ajuste de la bicicleta. Se muestra en la Tabla 7 los rangos de los ángulos que debe cumplir las articulaciones y la recomendación del ajuste a realizar en la bicicleta en caso de no cumplir con el rango indicado [23].

Tabla 7 Ángulos adecuados y recomendaciones [23]

Ángulos adecuados y recomendaciones			
Ángulo	Ajuste a modificar	Nivel del ángulo	¿Qué hacer?
Angulo codo	Longitud del manillar	Max: 165°	>165°: Disminuir longitud del manillar
		Min: 150°	<150°: Aumentar longitud del manillar
Angulo hombro	Longitud del codo	Max: 60°	>60°: Disminuir longitud del codo o potencia
		Min: 50°	<50°: Aumentar longitud del codo o potencia
Angulo cintura	Altura del manillar	Max: 110°	>110°: Disminuir altura del manillar
		Min: 50°	<50°: Aumentar altura del manillar
Angulo rodilla	Altura del sillín	Max: 155°	>155°: Bajar altura del sillín
		Min: 70°	<70°: Subir altura del sillín

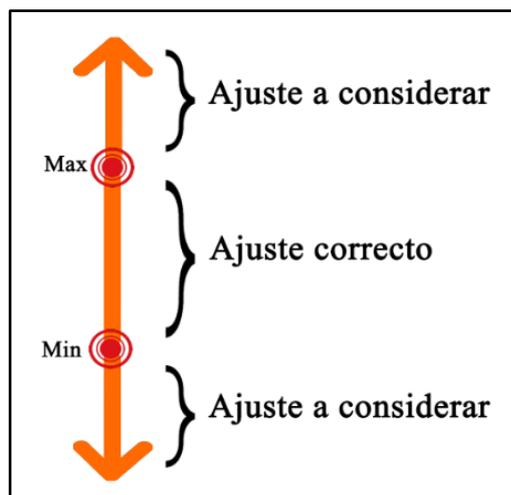


Figura 19 Escala de los ángulos.
Elaborado por: El investigador

Para tener una mejor comprensión de la variación de los ángulos y las recomendaciones, se muestra en la Figura 19 la escala y que ajuste se debe considerar.

Escenario para las pruebas de funcionamiento

El escenario para la instalación del sistema electrónico para la detección angular y ergonomía en ciclistas es similar a la Figura 20. La habitación debe ser amplia y con una buena iluminación para tener una mejor precisión al momento de realizar los análisis de bike fitting. La arquitectura consta de un trípode en donde se coloca la cámara para tener un enfoque total del ciclista en su bicicleta anclada al rodillo estático, se tiene un monitor para observar los datos adquiridos y las recomendaciones de ajuste a realizar, en una mesa pequeña esta la Jetson nano con los periféricos de entrada como el teclado y mouse.



Figura 20 Escenario para el sistema electrónico.
Elaborado por: El investigador

Para tener un enfoque total, la cámara debe estar a una distancia de 2,5 metros del ciclista, esta magnitud puede variar de acuerdo al tipo de cámara que se utilice ya que tienen diferentes lentes y la captación de la imagen es otra.

Jetson Nano

La mini computadora Jetson Nano tiene la función de interconectar los componentes del sistema de detección angular, tanto los periféricos de entrada como los de salida. Además, se encarga de ejecutar el código de visión artificial y analizar imágenes, lo que la hace ideal para proyectos que requieren procesar múltiples cámaras en tiempo real. Su capacidad de procesamiento es muy alta, lo que permite realizar una gran cantidad de cálculos en poco tiempo, lo que la convierte en una herramienta valiosa para aplicaciones que necesitan una respuesta rápida y eficiente.

Diagrama de conexiones del sistema electrónico

El sistema que realizará la medición y procesamiento de los ángulos en las articulaciones del ciclista es la mini computadora Jetson nano. La Jetson nano tiene una alimentación de 12V a 4A en corriente continua y el monitor tiene una alimentación de 120V en corriente alterna.

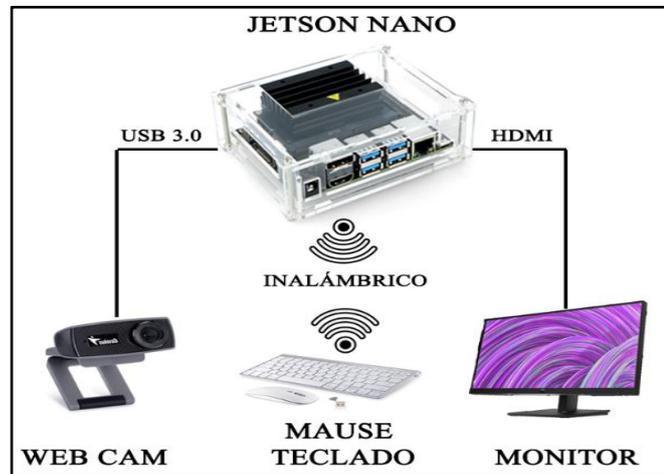


Figura 21 Conexión de los elementos del sistema electrónico.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 21 se muestra las conexiones de los diferentes periféricos de salida como de entrada, para la WEB CAM se tiene una conexión por cable USB 3.0, el MAUSE Y TECLADO tienen una conexión USB 3.0 pero dispone de un adaptador para utilizarlo de manera inalámbrica, esto con el fin de movilizar libremente los dispositivos para controlar desde cualquier posición. El periférico de salida es el

MONITOR el cual se establece una conexión por medio del cable HDMI para la transmisión de datos de video y audio.

Carcasa protectora para el kit de desarrollo Jetson nano

El kit de desarrollo Jetson nano necesario para la elaboración del proyecto está conformado por la tarjeta Jetson, un módulo wifi con sus antenas y una tarjeta micro SD de 64 GB. Estos componentes se deben proteger con una carcasa de un material aislante (acrílico) para no provocar corto circuitos por accidente. Con el programa de diseño AutoCAD se ha creado un diseño en 2D correspondiente a las diferentes piezas que conforman la carcasa protectora (Figura 22), el diseño se ha ajustado a los requerimientos necesarios para las conexiones de los elementos que conforma el sistema. En la Figura 23 se muestra el ensamble de las partes sujetado con pernos pequeños. Revisar ANEXO A.

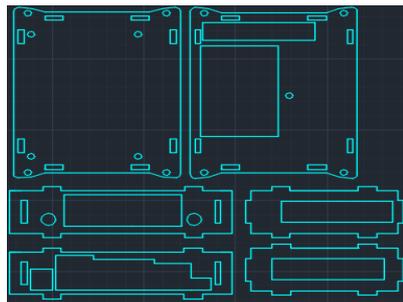


Figura 22 Diseño de la carcasa en 2D.
Elaborado por: El investigador

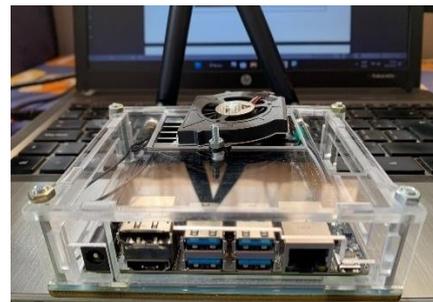


Figura 23 Ensamble de la carcasa.
Elaborado por: El investigador

3.2.2 Algoritmo de programación y procesamiento

Librerías de visión artificial

OpenCV: OpenCV (Biblioteca de visión artificial de código abierto) es una biblioteca de software de aprendizaje automático y visión artificial de código abierto. Esta herramienta fue creada para proporcionar una infraestructura común para las aplicaciones de visión por computadora y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales. La biblioteca tiene más de 2500 algoritmos optimizados, que incluyen un conjunto completo de algoritmos de aprendizaje automático y visión por computadora clásicos y de última generación [43].

MediaPipe: MediaPipe es una solución de ML(Machine Learning) para el seguimiento de la postura del cuerpo de alta fidelidad, los puntos de referencia constan de 33 puntos (Figura 24) a partir de un solo cuadro y una máscara de segmentación de fondo en todo el cuerpo a partir de fotogramas de video RGB utilizando en la investigación BlazePose que también impulsa la API de detección de postura del kit de ML.

El método logra un rendimiento en tiempo real en la mayoría de dispositivos móviles, computadoras, Python y hasta en la web [44].

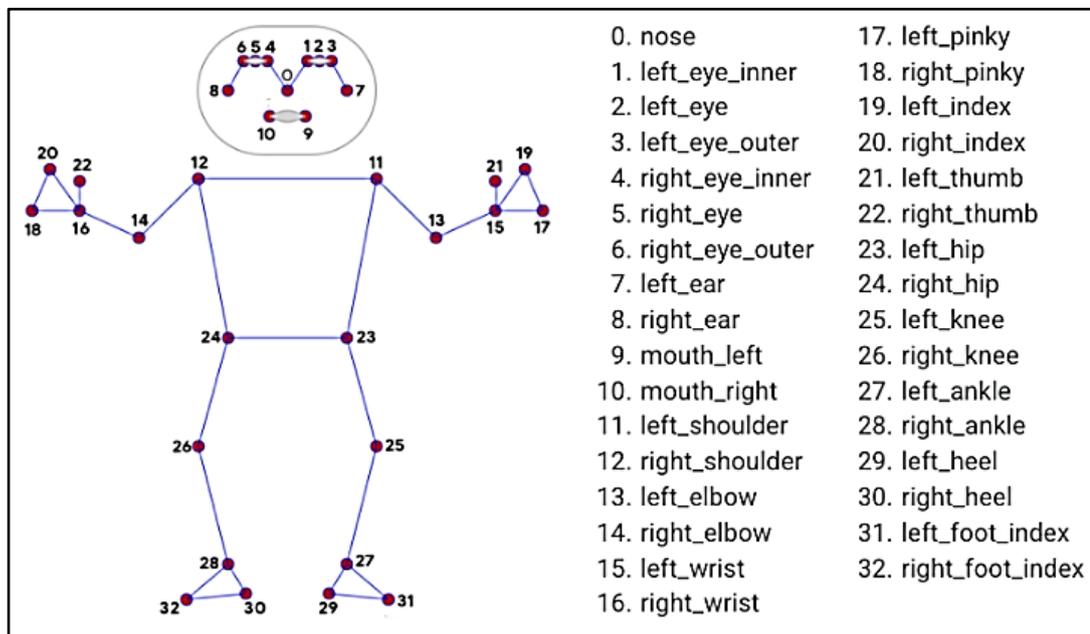


Figura 24 Puntos de referencia de BlazePose [44]

BlazePose: localiza con exactitud más puntos clave en el cuerpo, lo que lo hace ideal para aplicaciones de fitness (Figura 25). Logra un rendimiento en tiempo super real lo que le permite realizar el seguimiento de rostro y extremidades con exactitud [45].



Figura 25 Resultados de BlazePose en casos de usos de fitness y baile. [45]

El algoritmo empleado para la detección de las articulaciones del ciclista es BlazePose ya que utiliza una red neuronal convolucional para identificar y rastrear las partes del cuerpo humano, como los hombros, codos, muñecas, caderas, rodillas y tobillos a partir de imágenes de video en tiempo real. BlazePose utiliza un enfoque multi-etapa para detectar las articulaciones del cuerpo humano. En la primera etapa, se utiliza la red BlazeFace para detectar la posición de la cabeza y la cara. Luego, se utiliza otra red neuronal para detectar la posición de las partes del cuerpo humano. A continuación, se describe su funcionamiento de manera más detallada: [45]

1. **Detección de la cara y la cabeza:** El algoritmo utiliza una versión modificada de la red BlazeFace para detectar la posición de la cabeza y la cara en la imagen de video.
2. **Detección de las partes del cuerpo:** Una vez detectada la cabeza y la cara, el algoritmo utiliza una red neuronal llamada OpenPose para detectar las partes del cuerpo.
3. **Conexión de las partes del cuerpo:** Después de detectar las partes del cuerpo, el algoritmo utiliza un grafo de articulaciones para conectar las partes y crear un esqueleto 3D que representa la postura del cuerpo humano en tiempo real.
4. **Refinamiento de la postura:** Finalmente, el algoritmo utiliza técnicas de suavizado y refinamiento para mejorar la precisión de la postura detectada. También puede utilizar información contextual, como la forma del cuerpo humano y la posición de las articulaciones, para mejorar la precisión de la postura.

Obtención de los fotogramas

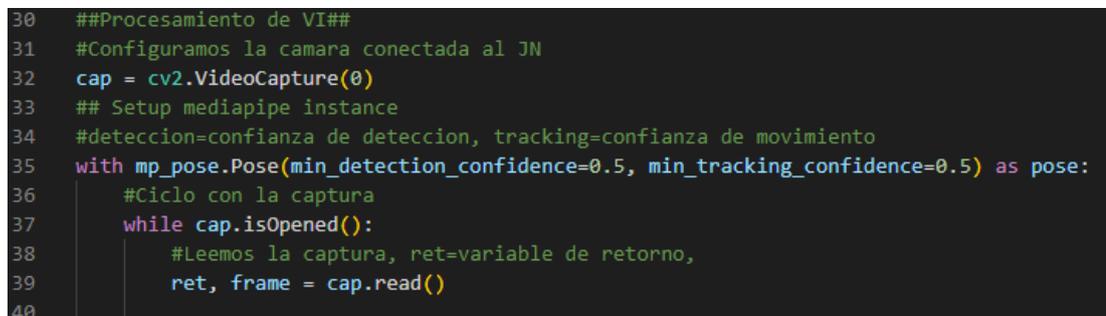
La mini computadora Jetson nano es compatible con diferentes tipos de cámaras ya que en su sistema operativo de Ubuntu 20.04 viene implementado los drivers para que sea reconocido sin necesidad de instalar alguna extensión adicional. Para detectar que la cámara está conectada a la Jetson nano se debe ejecutar un comando en la terminal (`ls /dev/video`), en la Figura 26 se observa que la cámara conectada está registrada como `video0`.



```
jetson@nano: ~  
jetson@nano:~$ ls /dev/video0  
/dev/video0  
jetson@nano:~$
```

Figura 26 Nombre de la cámara conectada a la Jetson nano
Elaborado por: El investigador

En la Figura 27 se presenta el código en donde se crea una variable denominada `cap` para que almacene los fotogramas o frames que son enviados por la cámara para un posterior análisis. Para tener una constante obtención de los fotogramas la lectura debe estar en un bucle indefinido. Además, se puede variar los parámetros de confianza de detección de personas para que la detección se considere exitosa y movimiento para que los puntos de referencia de la pose se consideren rastreados correctamente, estos valores están en el rango de mínimo [0.1] y máximo [1.0], predeterminado [0.5].



```
30  ##Procesamiento de VI##  
31  #Configuramos la camara conectada al JN  
32  cap = cv2.VideoCapture(0)  
33  ## Setup mediapipe instance  
34  #deteccion=confianza de deteccion, tracking=confianza de movimiento  
35  with mp_pose.Pose(min_detection_confidence=0.5, min_tracking_confidence=0.5) as pose:  
36      #Ciclo con la captura  
37      while cap.isOpened():  
38          #Leemos la captura, ret=variable de retorno,  
39          ret, frame = cap.read()  
40
```

Figura 27 Captura de los fotogramas capturados por la cámara .
Elaborado por: El investigador

Procesamiento de los fotogramas

Una imagen es un conjunto de píxeles distribuidos en forma de cuadrícula, cada píxel está conformado por diferentes componentes que estructuran un color, principalmente RGB, por ello es importante conocer cómo se maneja este espacio de color en la librería de OpenCV. Algo importante a tomar en cuenta es el orden en que OpenCV usa estos componentes, el orden de los canales es BGR y no RGB. Para pasar una imagen de BGR a RGB o viceversa se necesita la función `cv2.cvtColor`, a la cual se debe entregar la imagen a la cual queremos procesar, seguido de `cv2.COLOR_BGR2RGB` (Figura 30) [46].



Figura 28 Imagen a usar para pasar de BGR a RGB. [46]

Tomando como referencia la Figura 28, se puede descomponer en sus 3 componentes de color, en la Figura 29 se puede observar el diferente orden de los canales de BGR y RGB. Se observa cada componente en escala de grises, esto debido a que por separado se visualiza de esa manera, mientras que cuando se integran las 3 componentes se puede ver una imagen a color [46].



Figura 29 Canales RGB de la imagen leída y canales BGR después de aplicar la función `cv2.cvtColor [46]`

En la Figura 30 se muestra una variable `image` que toma los fotogramas y ordena los componentes en RGB, estas capas son almacenadas en una matriz para luego ser ordenadas en componentes BGR. Es decir, en el primer paso se descompone el frame en el orden de los diferentes canales, se guarda las capas en una matriz y se vuelve a ordenar los canales en BGR para que se procese por OpenCV y se pueda detectar los puntos de referencia del cuerpo.

```

41 # Recolor image to RGB para reordenar la matrices de colores
42 image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
43 image.flags.writeable = False
44
45 # Realiza la deteccion en una matriz
46 results = pose.process(image)
47
48 # Recolor back to BGR para que procese opencv
49 image.flags.writeable = True
50 image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)

```

Figura 30 Procesamiento de los fotogramas para trabajar en OpenCV.

Elaborado por: El investigador

Establecer los puntos de referencia

El modelo de detección de persona o postura BlazePose identifica a la persona dentro de una imagen, una vez se identifique la región de interés se procede a aplicar el “pose

landmark model”, que permitirá identificar los 33 puntos distribuidos en el cuerpo (Figura 24), cada uno de estos puntos tendrá un nombre asociado que se puede identificar para tomar sus valores (Tabla 8). Cuando se tiene como entrada un video, el detector de la persona se aplicará a los primeros fotogramas para determinar sus puntos clave, para que en fotogramas posteriores dichos puntos sean rastreados, de tal manera que solo se invoque al detector de personas cuando se haya perdido dichos puntos [47].

Tabla 8 Partes de los puntos de referencia (Landmarks) [44]

Partes de los puntos de referencia (Landmarks)	
x, y	Coordenadas del punto de referencia normalizadas [0.0, 1.0] por el ancho y la altura de la imagen, respectivamente.
z	Representa la profundidad del punto de referencia, cuanto menor sea el valor, más cerca estará el punto de referencia de la cámara. La magnitud de Z utiliza aproximadamente la misma escala que X.
Visibility	Un valor [0.0, 1.0] que indica la probabilidad de que el punto de referencia sea visible (presente y no ocluido) en la imagen.

En el código desarrollado (Figura 31) se tiene los puntos de referencia del lateral izquierdo necesarios para calcular los ángulos. Se toma solo los valores de X y Y que conforman las coordenadas de un punto en un plano 2D. En la Figura 32 se muestra los seis puntos de referencia del ciclista: muñeca, codo, hombro, cadera, rodilla y tobillo.

```

52 # Extraer puntos de referencia
53 try:
54     landmarks = results.pose_landmarks.landmark
55
56     ## Get coordinates 3 puntos para obtener el ángulo
57     #Puntos para angulo brazo
58     shoulder = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].y]
59     elbow = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].y]
60     wrist = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST.value].y]
61     #puntos para angulo hombro
62     hip = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].y]
63     #puntos para angulo en cadera
64     knee = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value].y]
65     #puntos para angulo en rodilla
66     ankle = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.value].x,landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.value].y]

```

Figura 31 Determinación de los puntos de referencia de la persona.

Elaborado por: El investigador



Figura 32 Puntos de referencia en el ciclista: A: Muñeca, B: Codo, C: Hombro, D: Cadera, E: Rodilla, F: Tobillo.

Elaborado por: El investigador

Cálculo del ángulo entre los puntos de referencia

Este trabajo se concentra en las articulaciones de la parte izquierda del codo, hombro, cadera y rodilla. Una vez establecidos los puntos en sus coordenadas (x, y) , se puede encontrar los ángulos de las articulaciones mediante cálculos matemáticos y trigonometría. Para inferir el ángulo en una articulación, se necesita de 3 puntos de coordenadas articulares ubicadas en el plano bidimensional.

En la Figura 33 se muestra el ángulo que se forma en J_0 establecido por el vector V_1 conformado por la unión de los puntos J_1 y J_0 y el vector V_2 conformado por la unión de los puntos J_2 y J_0 .

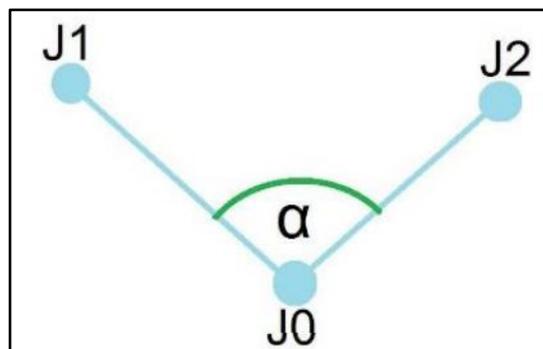


Figura 33 Ángulo formado entre tres puntos de una articulación. [24]

Se tiene los vectores V_1 y V_2 con las coordenadas cartesianas en la articulación central:

$$V_1 = (x_1 - x_0, y_1 - y_0) \quad (2)$$

$$V_2 = (x_2 - x_0, y_2 - y_0) \quad (3)$$

El producto escalar entre la ecuación 2 y 3 es:

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

Por definición de producto escalar entre dos vectores $a \cdot b = |a||b|\cos \alpha$. Se iguala la ecuación 4 aplicando el producto escalar entre V_1 y V_2 para obteniendo la ecuación 5:

$$|V_1||V_2|\cos \alpha = V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y} \quad (5)$$

Despejando el $\cos \alpha$ se obtiene la ecuación 6:

$$\cos \alpha = \frac{V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y}}{|V_1||V_2|} \quad (6)$$

Despejando el ángulo α en la ecuación 6:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{V_{1X} V_{2X} + V_{1Y} V_{2Y}}{|V_1||V_2|} \right] \quad (7)$$

Remplazando las componentes de la ecuación 2 y 3 en la ecuación 7 se tiene:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{(x_1 - x_0)(x_2 - x_0) + (y_1 - y_0)(y_2 - y_0)}{|(x_1 - x_0, y_1 - y_0)| |(x_2 - x_0, y_2 - y_0)|} \right] \quad (8)$$

Se grafica en tiempo real las articulaciones con el ángulo correspondiente mediante los cálculos mencionados. [24] En la Figura 34 se muestra la función para calcular el ángulo entre tres puntos de las articulaciones, estos forman dos vectores, en la determinación de puntos se obtiene las coordenadas en (x, y) necesarias para el cálculo del ángulo. Se establece una condición para que el ángulo no exceda de 180° ya que las articulaciones no sobrepasan este rango.

```

233 # Funcion para calcular el angulo#
234 def calculate_angle(a, b, c):
235     a = np.array(a) # First
236     b = np.array(b) # Mid
237     c = np.array(c) # End
238
239     radians = np.arccos2(c[1]-b[1], c[0]-b[0]) - \
240             np.arccos2(a[1]-b[1], a[0]-b[0])
241     angle = np.abs(radians*180.0/np.pi)
242
243     if angle > 180.0:
244         angle = 360-angle
245
246     return angle

```

Figura 34 Función para calcular el ángulo en tres puntos.
Elaborado por: El investigador

Ilustración de los puntos, uniones y ángulos.

En la Figura 35 se muestra el proceso de renderización de la detección de landmarks, se puede modificar el color, grosor y radio de los puntos detectados en las articulaciones y sus uniones. Para visualizar el valor del ángulo se realiza el mismo proceso, pero con una variable de texto en donde se puede modificar sus características de presentación (Figura 36). Revisar código completo, ANEXO D.

```

486 # Render detections
487 # Dibuja en el feed, resultados numericos de las posiciones, puntos conectados.
488 mp_drawing.draw_landmarks(image, results.pose_landmarks, mp_pose.POSE_CONNECTIONS,
489                           # Caracteristicas de dibujo articulacion; color, grosor, radio
490                           mp_drawing.DrawingSpec(
491                               color=(245, 117, 66), thickness=2, circle_radius=2),
492                           # Caracteristicas de dibujo conexiön; color, grosor, radio
493                           mp_drawing.DrawingSpec(
494                               color=(245, 66, 230), thickness=2, circle_radius=2)
495                           )

```

Figura 35 Proceso de renderización para visualizar los puntos de las articulaciones y sus uniones.
Elaborado por: El investigador

```

372 # Visualize angle codo
373 cv2.putText(image, str(angle_elbow),
374            tuple(np.multiply(elbow, [640, 480]).astype(int)),
375            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 2, cv2.LINE_AA
376            )
377

```

Figura 36 Proceso de renderización para visualizar el valor del ángulo de cada articulación.
Elaborado por: El investigador

Una vez realizado el proceso de detección, análisis, y cálculo de los ángulos se tiene como salida en el monitor una proyección en tiempo real de la persona siendo analizada. Como se observa en la Figura 37.

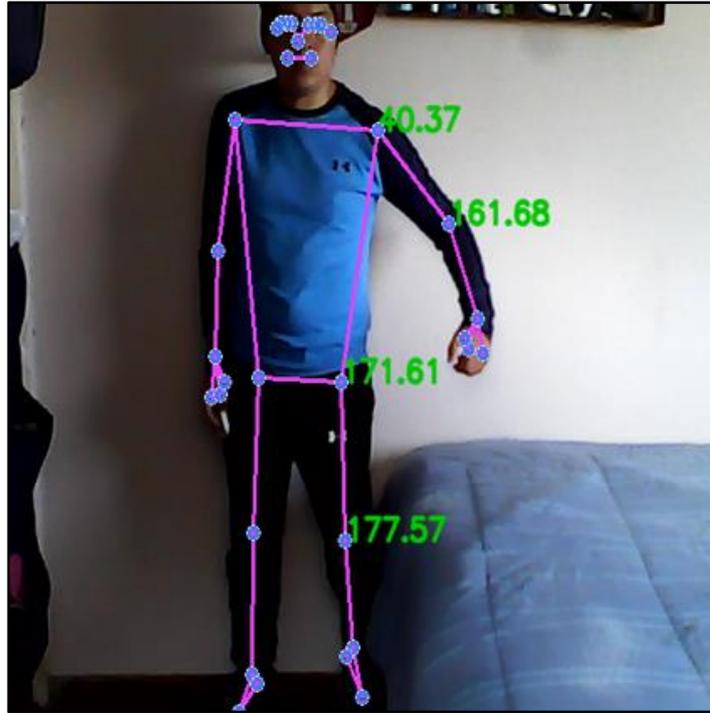


Figura 37 Detección en tiempo real de articulaciones (puntos), extremidades (rectas) y ángulos (texto).

Elaborado por: El investigador

3.2.3 Interfaz de usuario GUI

Para la visualización e ingreso de datos se ha desarrollado una interfaz de usuario fácil de utilizar para que tanto el operador como el ciclista puedan interpretar los resultados. Se utilizó la biblioteca Tkinter, que contiene un kit de desarrollo para interfaz de usuario GUI en el intérprete de Python.

A continuación, se mostrará de manera unificada las ventanas con las que cuenta el sistema y su funcionalidad.

En la Figura 38 se muestra la ventana principal al momento de ejecutar el archivo desarrollado de Python, consta de una carátula acerca del proyecto y un botón denominado siguiente para arrancar el programa.



Figura 38 Portada principal de la interfaz del sistema electrónico.
Elaborado por: El investigador

Una vez iniciado el programa se muestra cuatro secciones (Figura 39), la sección de visualización de video, la sección de registro y búsqueda, la visualización de ángulos y recomendaciones y los siete botones que se denominan: iniciar, registrar, tomar ángulo inicial, tomar ángulo, reporte inicial, reporte y salir.

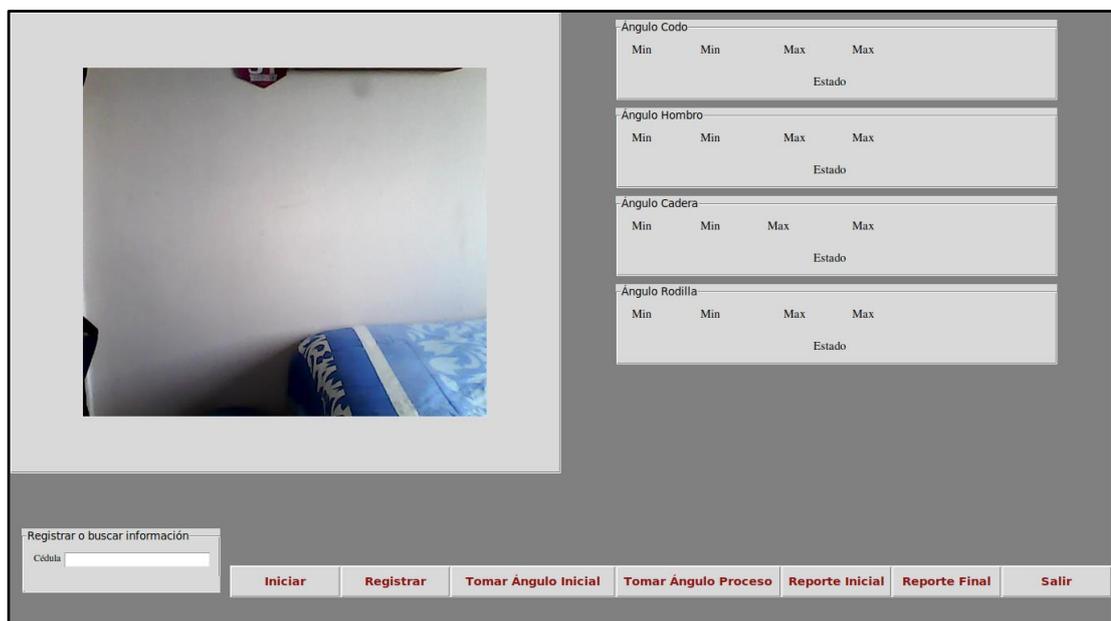
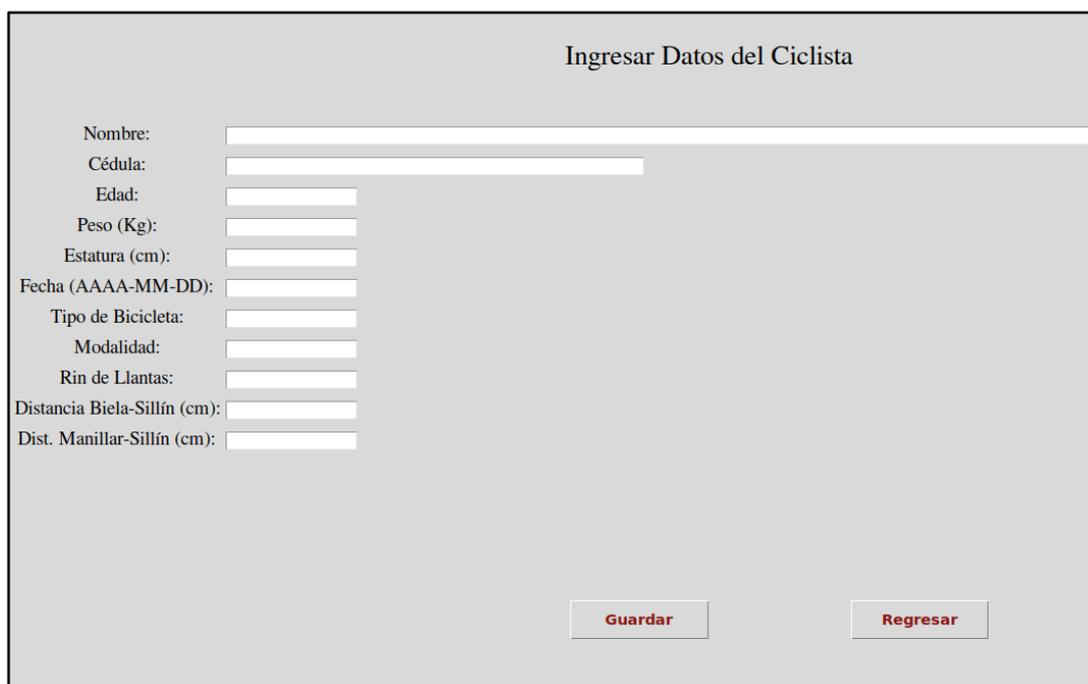


Figura 39 Secciones de la interfaz del sistema electrónico.
Elaborado por: El investigador

Lo primero que se debe hacer es ingresar el dato de identificación que es la cédula en caso no se ingrese algún dato, se muestra un mensaje emergente en la parte inferior. Al presionar el botón iniciar se debe asegurar que el ciclista este correctamente posicionado en la bicicleta de tal manera que tenga un enfoque total de la cámara.

Registro de datos

Al presionar el botón registrar se abre una nueva interfaz en donde se debe registrar algunos datos del ciclista como; nombre, cédula, edad, peso, estatura, fecha, tipo de bicicleta, modalidad, rin de llantas, distancia biela-sillín y distancia manillar-sillín. Una vez ingresado de manera correcta todos los datos se proceden a guardar y el usuario nuevo se registra. En la Figura 40 se muestra la ventana de registro.



Interfaz de ingreso de datos del ciclista. El formulario contiene los siguientes campos de entrada:

- Nombre:
- Cédula:
- Edad:
- Peso (Kg):
- Estatura (cm):
- Fecha (AAAA-MM-DD):
- Tipo de Bicicleta:
- Modalidad:
- Rin de Llantas:
- Distancia Biela-Sillín (cm):
- Dist. Manillar-Sillín (cm):

En la parte inferior del formulario se encuentran dos botones: **Guardar** y **Regresar**.

Figura 40 Interfaz de ingreso de datos del ciclista.

Elaborado por: El investigador

Al presionar el botón tomar ángulo inicial se va a guardar en una base de datos los valores de los ángulos mínimos, máximos y las recomendaciones con las que el usuario ingresa al proceso. Una vez tomada las muestras suficientes, al presionar el botón de reporte inicial se puede visualizar los datos registrados en la base de datos y continuar con el proceso (Figura 41).

----- Datos de Usuario - Reporte Inicial-----

Usuario: David

Cédula: 1805393491

Edad: 24 Peso: 23 Estatura: 23 Fecha: 2023-02-06

Tipo: ndida Mod: mtb Rin: 26

Dis B-S: 23 Dis M-s: 23

Cedula	AC Max	AC Min	AC Estado	AH Ma/AH M	AH Estado	ACa ACa	ACa Estado	AR MAR M	AR Estado
1805393491	159	149	CODO: Correcto	18 16	HOMBRO: Aumentar_longitud_cox	170 169	CINTURA: Disminuir_altura_mar	180 178	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	155	153	CODO: Correcto	18 17	HOMBRO: Aumentar_longitud_cox	172 171	CINTURA: Disminuir_altura_mar	180 179	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	176	168	CODO: Disminuir_longitud_manu	18 15	HOMBRO: Aumentar_longitud_cox	175 173	CINTURA: Disminuir_altura_mar	179 176	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	174	173	CODO: Disminuir_longitud_manu	16 14	HOMBRO: Aumentar_longitud_cox	174 174	CINTURA: Disminuir_altura_mar	179 178	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin

Figura 41 Registro del reporte inicial de la base de datos.

Elaborado por: El investigador

El proceso de las pruebas se lleva a cabo de tal forma que se tome muestras de los ángulos y se realice los ajustes recomendados hasta que se tenga en todas las recomendaciones “Correcto”. Ya finalizada las pruebas necesarias para tener una posición correcta se presiona el botón de reporte final para que se muestre todos los datos adquiridos en el proceso (Figura 42). Una vez concluido el análisis de fitting se presiona el botón salir para cerrar el programa y la interfaz. Revisar ANEXO E.

----- Datos de Usuario - Reporte Final-----

Usuario: David

Cédula: 1805393491

Edad: 24 Peso: 23 Estatura: 23 Fecha: 2023-02-06

Tipo: ndida Mod: mtb Rin: 26

Dis B-S: 23 Dis M-s: 23

Cedula	AC Max	AC Min	AC Estado	AH MAH Mi	AH Estado	ACa ACa	ACa Estado	AR M AR M	AR Estado
1805393491	163	157	CODO: Correcto	18 17	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	170 169	CINTURA: Disminuir_altura_mar	178 177	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	166	162	CODO: Correcto	16 15	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	171 170	CINTURA: Disminuir_altura_mar	178 177	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	172	164	CODO: Disminuir_longitud_man	17 16	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	172 171	CINTURA: Disminuir_altura_mar	179 178	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	130	87	CODO: Aumentar_longitud_man	61 30	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	175 159	CINTURA: Disminuir_altura_mar	149 100	RODILLA: Correcto
1805393491	175	169	CODO: Disminuir_longitud_man	16 15	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	175 174	CINTURA: Disminuir_altura_mar	179 178	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	174	171	CODO: Disminuir_longitud_man	16 15	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	175 174	CINTURA: Disminuir_altura_mar	178 177	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin
1805393491	171	166	CODO: Disminuir_longitud_man	17 16	HOMBRO: Aumentar_longitud_cod	175 174	CINTURA: Disminuir_altura_mar	178 176	RODILLA: Bajar_altura_del_sillin

Figura 42 Registro del reporte final de la base de datos.

Elaborado por: El investigador

3.2.4 Base de datos

Para el desarrollo de un sistema de infraestructura de internet se debe adquirir una aplicación de servicios y tecnologías que se denomina LAMP, este servicio usa las herramientas de: Linux, sistema operativo; Apache, el servidor web; MySQL, el gestor de base de datos; PHP, el lenguaje de programación. Se levanta un servidor local (apache2) en la tarjeta de desarrollo Jetson nano. Al realizar el proceso de la obtención de los ángulos y recomendaciones se guarda en una base de datos en MySQL, finalmente para mostrar en la interfaz de usuario. Los datos que se guardan se detallan a continuación.

- Número de prueba
- Angulo codo mínimo (Ac min)
- Angulo codo máximo (Ac max)
- Estado ángulo codo (e_codo)
- Angulo hombro mínimo (Ah min)
- Angulo hombro máximo (Ah max)
- Estado ángulo hombro (e_hombro)
- Angulo cadera mínimo (Ak min)
- Angulo cadera máximo (Ak max)
- Estado ángulo cadera (e_cadera)
- Angulo rodilla mínimo (Ar min)
- Angulo rodilla máximo (Ar max)
- Estado ángulo rodilla (e_rodilla)

A continuación, se muestran las tablas creadas en la base de datos de MySQL, los datos se pueden visualizar ingresando al navegador con la dirección de localhost y phpmyadmin con la cuenta registrada posteriormente. En la Figura 43 se muestra la tabla de los datos del ciclista que se han registrado.



Mostrando filas 0 - 1 (total de 2, La consulta tardó 0.0011 segundos.)

```
SELECT * FROM `usuario`
```

Perfilando [Editar en línea] [Editar] [Explicar SQL] [Crear código PHP] [Actualizar]

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave: Ninguna

+ Opciones												
	id	Nombres	Cedula	Edad	Peso	Estatura	Fecha	TBicicleta	Modalidad	Rin	DistanciaS	DistanciaM
<input type="checkbox"/>	7	David	1805393491	24	23	23	2023-02-06	ridida	mtb	26	23	23
<input type="checkbox"/>	8	joseph	1805393492	23	23	23	2023-02-06	ri	mtb	29	24	24

Seleccionar todo | Para los elementos que están marcados: Editar Copiar Borrar Exportar

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave: Ninguna

Figura 43 Tabla de la base de datos de los usuarios registrados.

Elaborado por: El investigador

En la Figura 44 se muestra la tabla en donde se va a guardar los datos iniciales del ciclista, como identificación de cada usuario registrado se tiene el número de cédula ya que es un número único con el cual se podrá registrar o consultar los procesos de fitting. También, en la Figura 45 se muestra una tabla similar, en donde se va a guardar el proceso final de fitting.

	id	IDusuario	acmax	acmin	e_codo	ahmax	ahmin	e_hombro	akmax
<input type="checkbox"/>	14	1805393491	174	173	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	16	14	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	174
<input type="checkbox"/>	15	1805393491	176	168	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	18	15	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	175
<input type="checkbox"/>	16	1805393492	180	0	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	28	0	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	174
<input type="checkbox"/>	17	1805393492	180	162	CODO:_Correcto	25	21	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	171
<input type="checkbox"/>	18	1805393491	155	153	CODO:_Correcto	18	17	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	172
<input type="checkbox"/>	19	1805393491	159	149	CODO:_Correcto	18	16	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	170

Figura 44 Tabla de la base de datos del registro inicial.
Elaborado por: El investigador

	id	IDusuario	acmax	acmin	e_codo	ahmax	ahmin	e_hombro	akmax
<input type="checkbox"/>	21	1805393491	171	166	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	17	16	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	175
<input type="checkbox"/>	22	1805393491	174	171	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	16	15	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	175
<input type="checkbox"/>	23	1805393491	175	169	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	16	15	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	175
<input type="checkbox"/>	24	1805393491	130	87	CODO:_Aumentar_longitud_manubrio	61	30	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	175
<input type="checkbox"/>	25	1805393492	180	174	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	24	22	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	171
<input type="checkbox"/>	26	1805393492	176	141	CODO:_Correcto	24	23	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	170
<input type="checkbox"/>	27	1805393492	164	149	CODO:_Correcto	23	22	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	169
<input type="checkbox"/>	28	1805393492	178	163	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	15	11	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	169
<input type="checkbox"/>	29	1805393492	172	163	CODO:_Correcto	17	16	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	169
<input type="checkbox"/>	30	1805393492	166	159	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	18	15	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	169
<input type="checkbox"/>	31	1805393491	172	164	CODO:_Disminuir_longitud_manubrio	17	16	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	172
<input type="checkbox"/>	32	1805393491	166	162	CODO:_Correcto	16	15	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	171
<input type="checkbox"/>	33	1805393491	163	157	CODO:_Correcto	18	17	HOMBRO:_Aumentar_longitud_codo	170

Figura 45 Tabla de la base de datos del registro final.
Elaborado por: El investigador

Flujogramas de jerarquización de procesos

Los algoritmos de programación empleados para el sistema de detección, la interfaz y la gestión de datos se ejecutan mediante ciclos, envío y recepción de variables. En este apartado se analiza los procesos mediante flujogramas.

Detección de articulaciones, extremidades y ángulos

En la Figura 46 se describe el proceso para la detección de articulaciones, extremidades y ángulos, se representa el proceso inicial desde la identificación de la cámara hasta su proceso final que es la representación de los datos calculados.

En la Figura 47 se presenta el proceso que se ejecuta en la interfaz de usuario (GUI) y en la base de datos (BDD), se tiene las condiciones que se debe realizar para tener el registro adecuado de los datos, en donde cada proceso se guarda en una base de datos independiente que al ingresar al registro se muestra en una sola ventana.

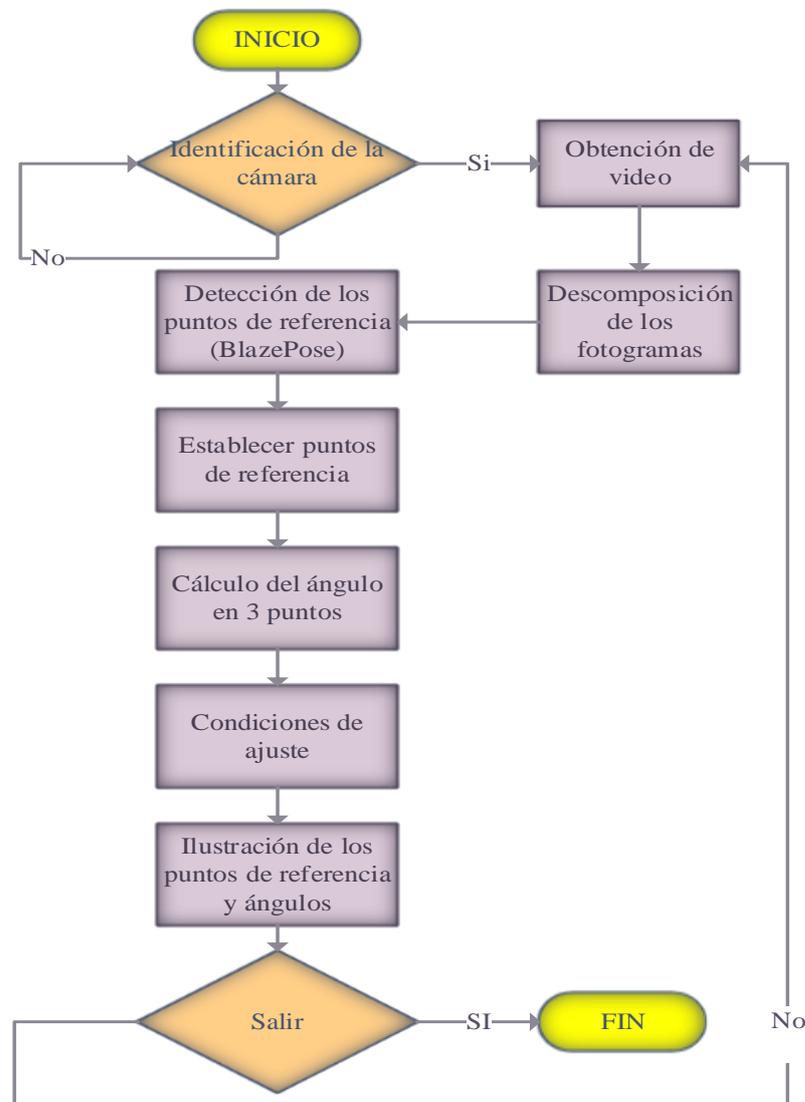


Figura 46 Flujograma del proceso de detección angular.
Elaborado por: El investigador

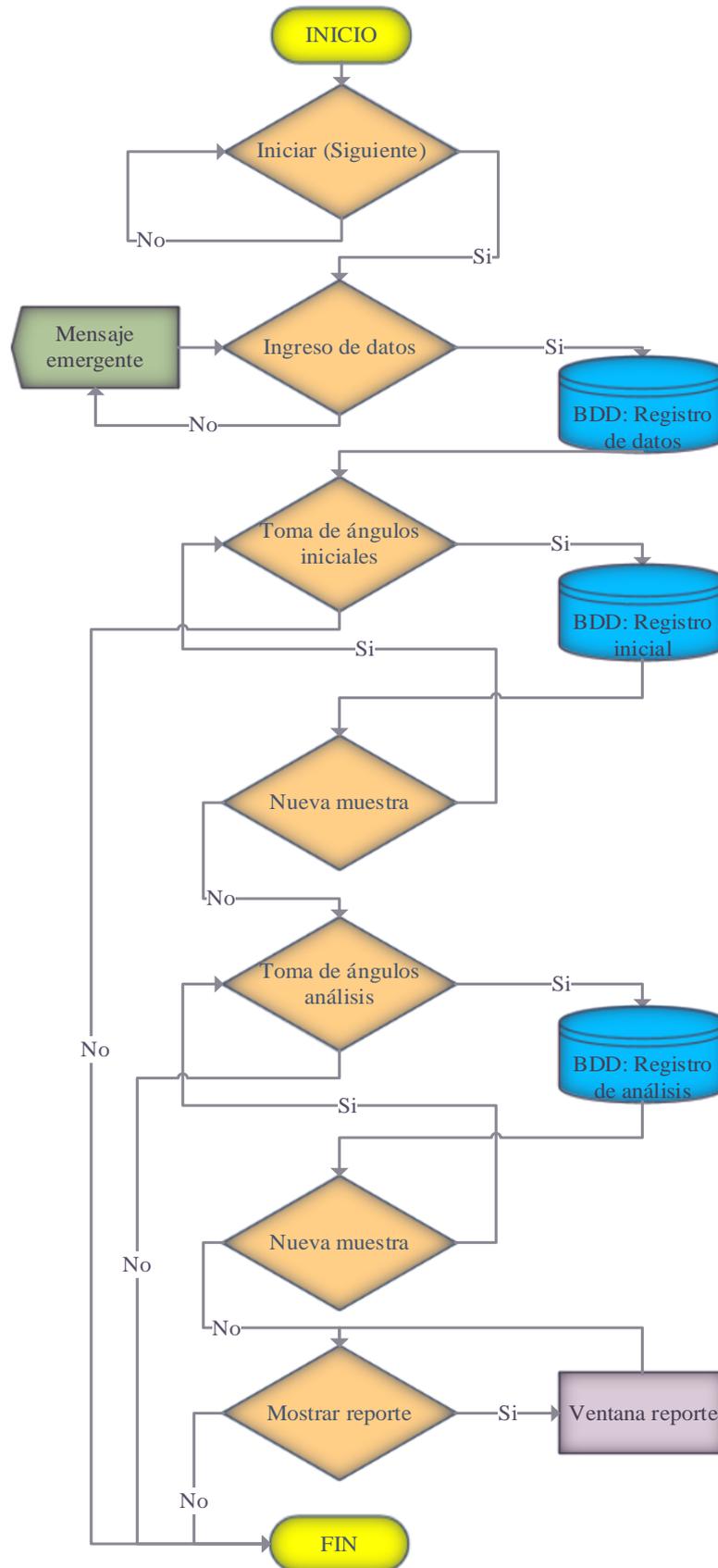


Figura 47 Flujograma del proceso de GUI y BDD.
Elaborado por: El investigador

1.1.1 Verificación del funcionamiento del sistema

La verificación del correcto funcionamiento del sistema se realiza con pruebas en donde el ciclista toma posiciones exageradas que sobrepasen el ángulo mínimo, máximo y correcto para observar las recomendaciones de los ajustes que se debe realizar a la bicicleta.

Ángulo formado en el codo

En la Figura 48 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del codo que es; Disminuir la longitud del manubrio.

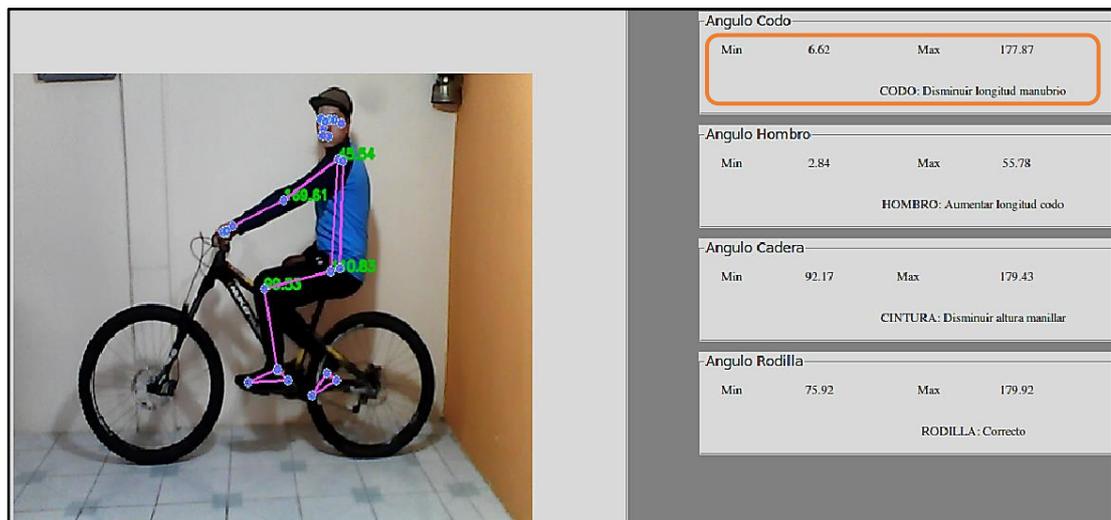


Figura 48 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Disminuir la longitud del manubrio.

Elaborado por: El investigador

En la Figura 49 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del codo que es; Aumentar la longitud del manubrio.

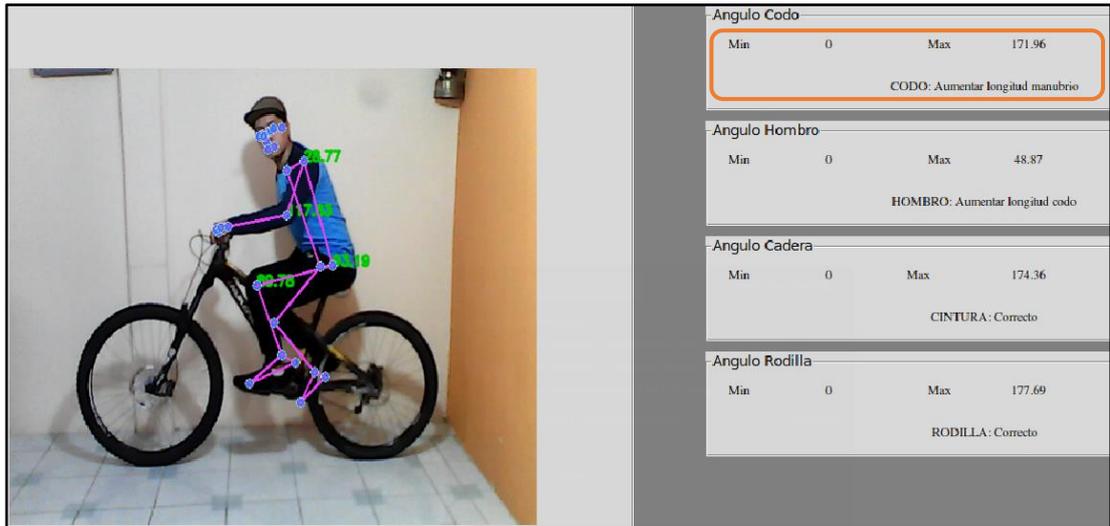


Figura 49 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Aumentar la longitud del manubrio.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 50 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del codo que es; Correcto.

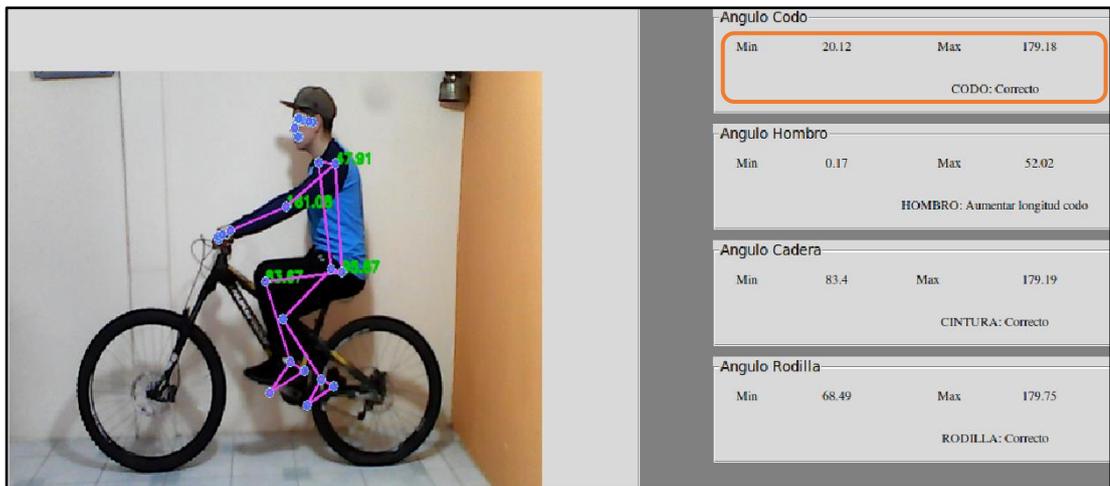


Figura 50 Ajuste recomendado con el ángulo del codo: Correcto.
Elaborado por: El investigador

Ángulo formado en el hombro

En la Figura 51 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del hombro que es; Disminuir la longitud del codo.

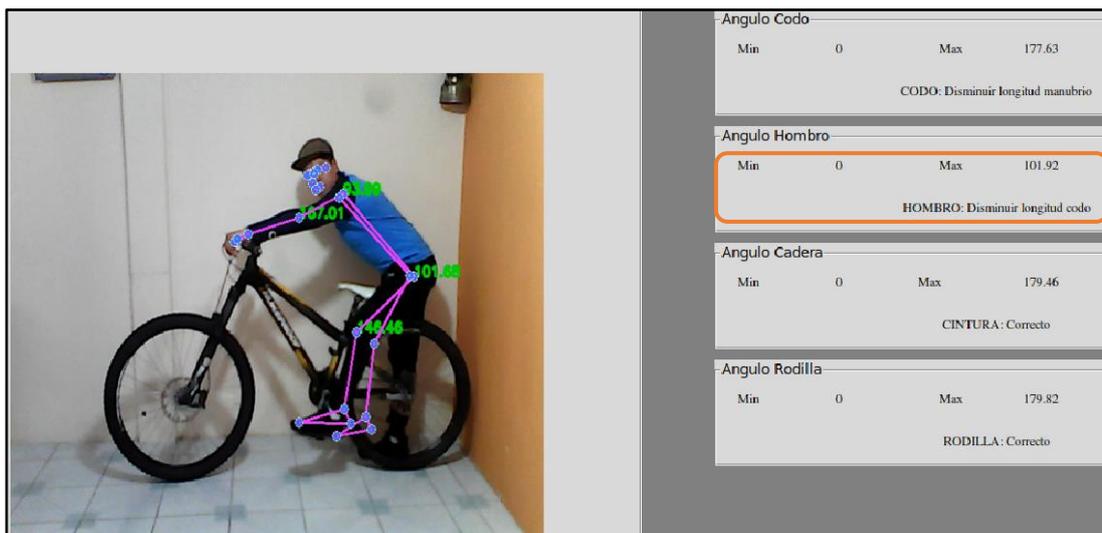


Figura 51 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Disminuir longitud del codo.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 52 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del hombro que es; Aumentar la longitud del codo.

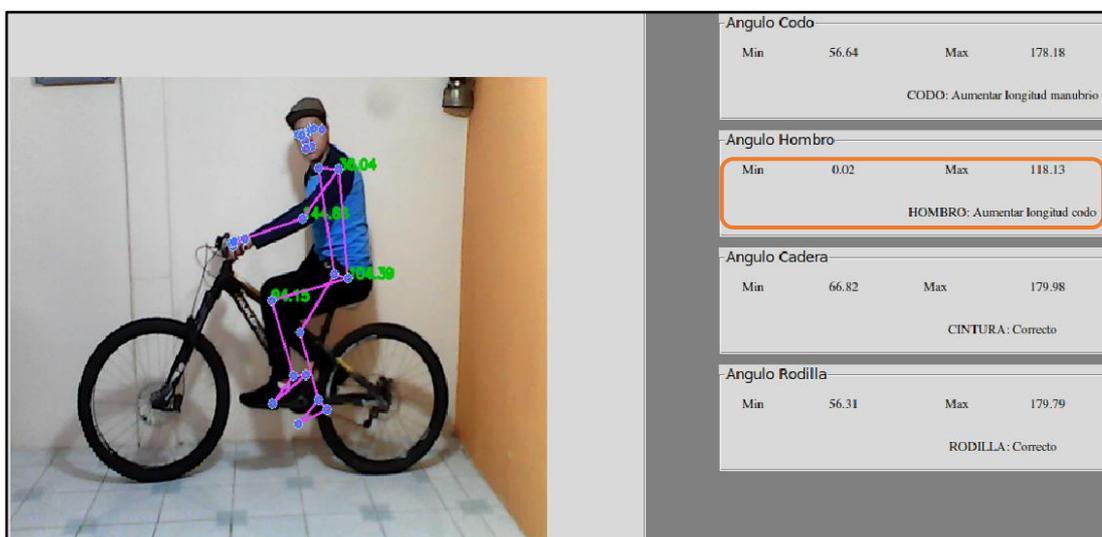


Figura 52 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Aumentar longitud del codo.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 53 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición del hombro que es; Correcto.

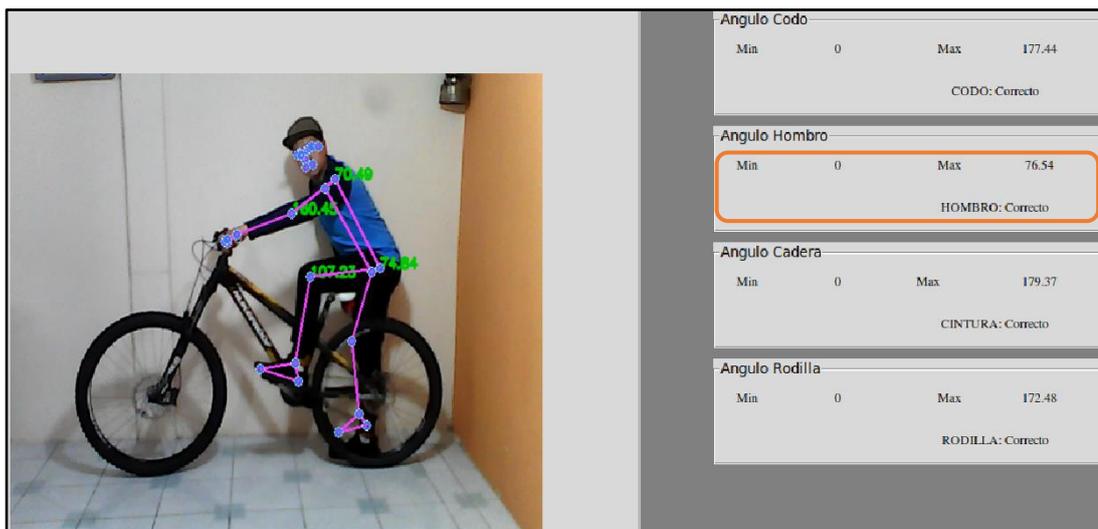


Figura 53 Ajuste recomendado con el ángulo del hombro: Correcto.
Elaborado por: El investigador

Ángulo formado en la cadera

En la Figura 54 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la cadera que es; Disminuir altura del manillar.

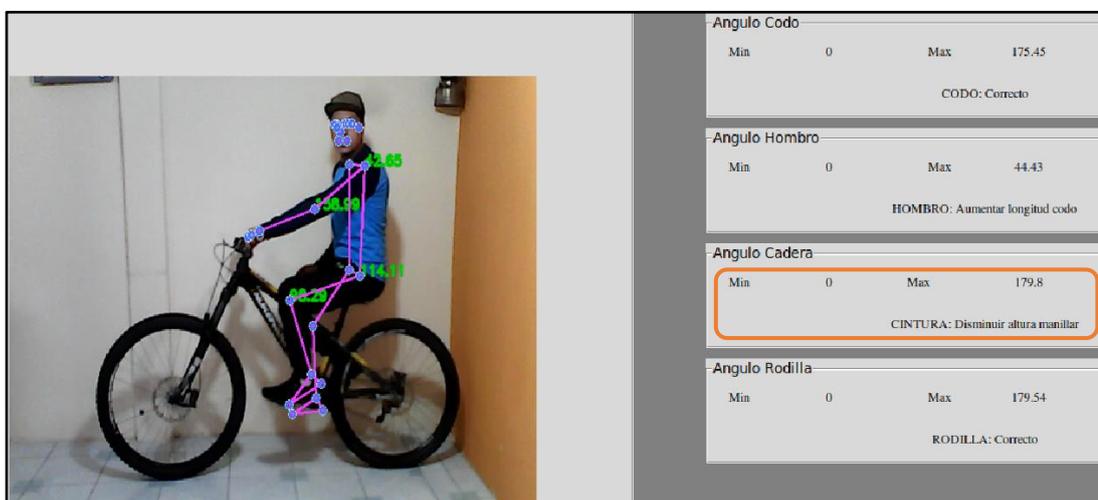


Figura 54 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Disminuir altura del manillar.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 55 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la cadera que es; Aumentar altura del manillar.

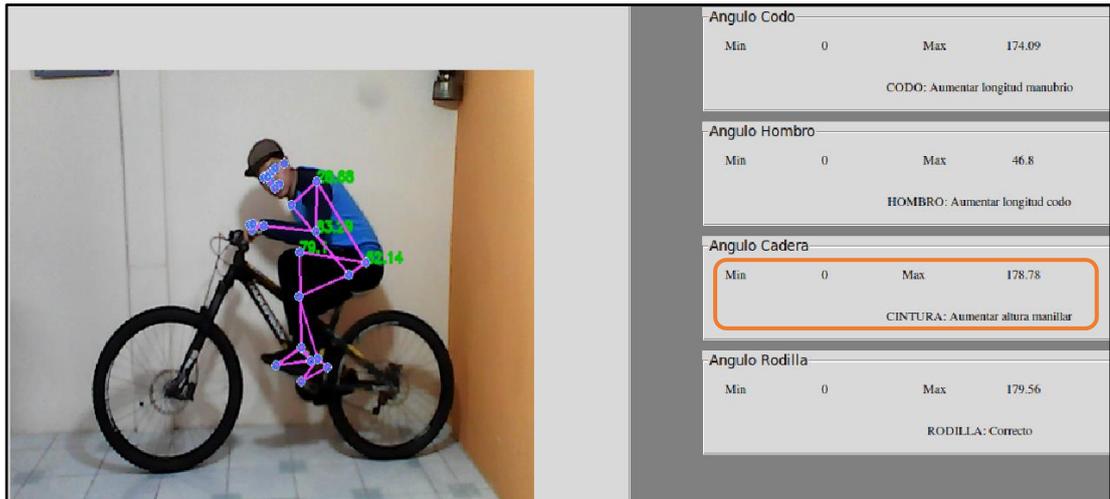


Figura 55 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Aumentar altura del manillar.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 56 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la cadera que es; Correcto.



Figura 56 Ajuste recomendado con el ángulo de la cadera: Correcto.
Elaborado por: El investigador

Ángulo formado en la rodilla

En la Figura 57 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la rodilla que es; Subir altura del sillín.



Figura 57 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: Subir altura del sillín.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 58 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la rodilla que es; Bajar altura del sillín.

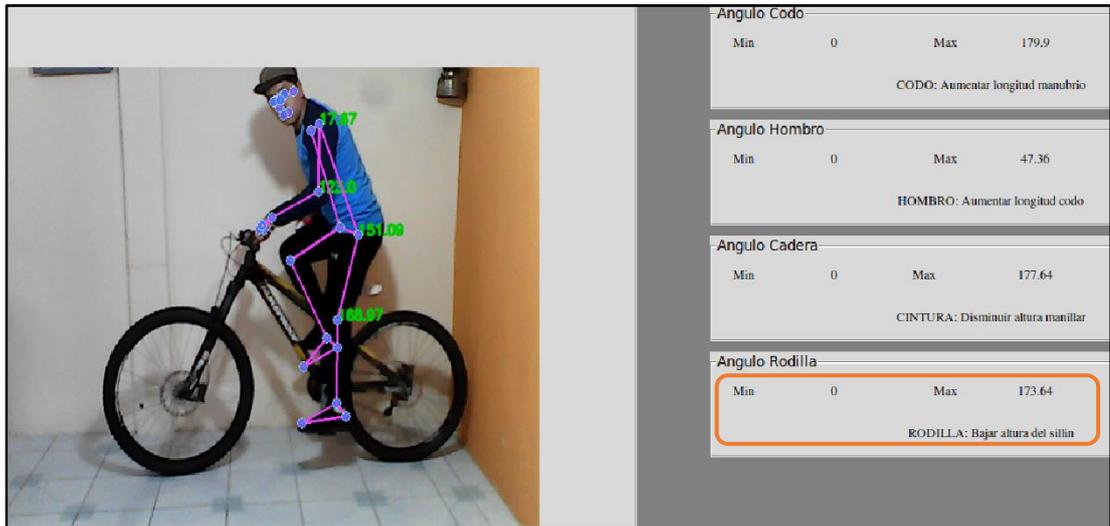


Figura 58 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: Bajar altura del sillín.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 59 se muestra la detección de las articulaciones, extremidades y los ángulos, en la señal anaranjada se muestra el ángulo mínimo, máximo y la condición de la rodilla que es; Correcto.

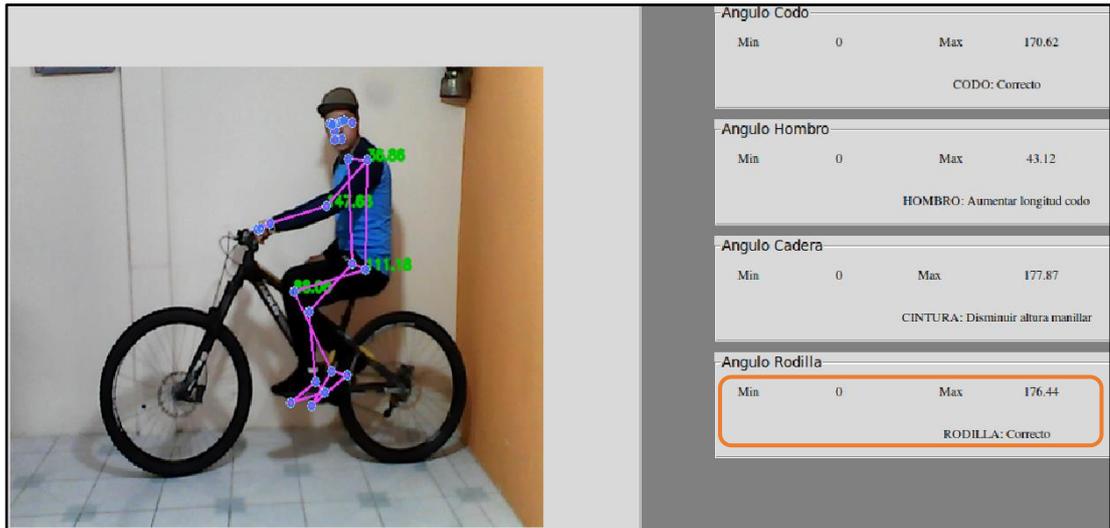


Figura 59 Ajuste recomendado con el ángulo de la rodilla: correcto.
Elaborado por: El investigador

3.3 Verificación de hipótesis

3.3.1 Pruebas de funcionamiento

Para realizar el proceso de bike fitting se debe asegurar de que todos los componentes estén instalados de manera correcta, tanto el sistema electrónico con todos los periféricos conectados (Figura 60) y bicicleta con el rodillo estático, como se observa en la figura en la Figura 61.

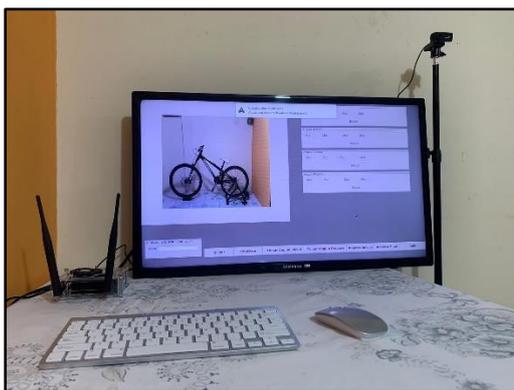


Figura 60 Sistema electrónico con todos los periféricos conectados.
Elaborado por: El investigador



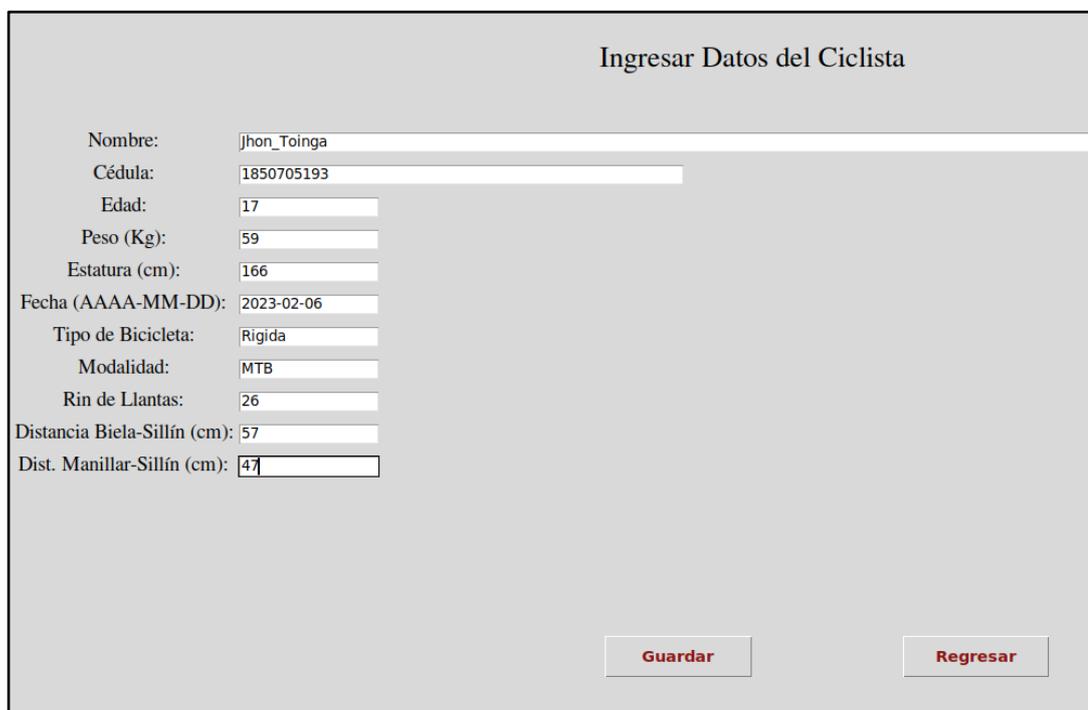
Figura 61 Correcto posicionamiento de la bicicleta en el rodillo estático.
Elaborado por: El investigador

Prueba 1

El proceso de pruebas del primer ciclista en el sistema electrónico se realiza en base a seis etapas de manera cronológica que se detalla a continuación:

1. Registro de datos

Al iniciar la aplicación, lo primero que se debe hacer es registrar los datos del ciclista y algunas características de la bicicleta. Además, se debe tener muy en cuenta de digitar correctamente el número de cédula ya que con ese dato se podrá realizar consultas del proceso en caso de requerir en algún momento. En la Figura 62 se muestra los datos ingresados de la persona a ser analizado.



The image shows a web form titled "Ingresar Datos del Ciclista". The form contains the following fields and values:

Field	Value
Nombre:	Jhon_Toinga
Cédula:	1850705193
Edad:	17
Peso (Kg):	59
Estatura (cm):	166
Fecha (AAAA-MM-DD):	2023-02-06
Tipo de Bicicleta:	Rígida
Modalidad:	MTB
Rin de Llantas:	26
Distancia Biela-Sillín (cm):	57
Dist. Manillar-Sillín (cm):	47

At the bottom right of the form, there are two buttons: "Guardar" and "Regresar".

Figura 62 Datos ingresado en la primera prueba de funcionamiento.

Elaborado por: El investigador

2. Toma de ángulos iniciales

Al iniciar el proceso de fitting es necesario conocer los ángulos y las recomendaciones con las que ingresa el ciclista, para ello se toma muestras de los ángulos que se generan para que se guarde en la base de datos y tener un reporte inicial. En la Figura 63 se presenta el análisis con el prototipo.

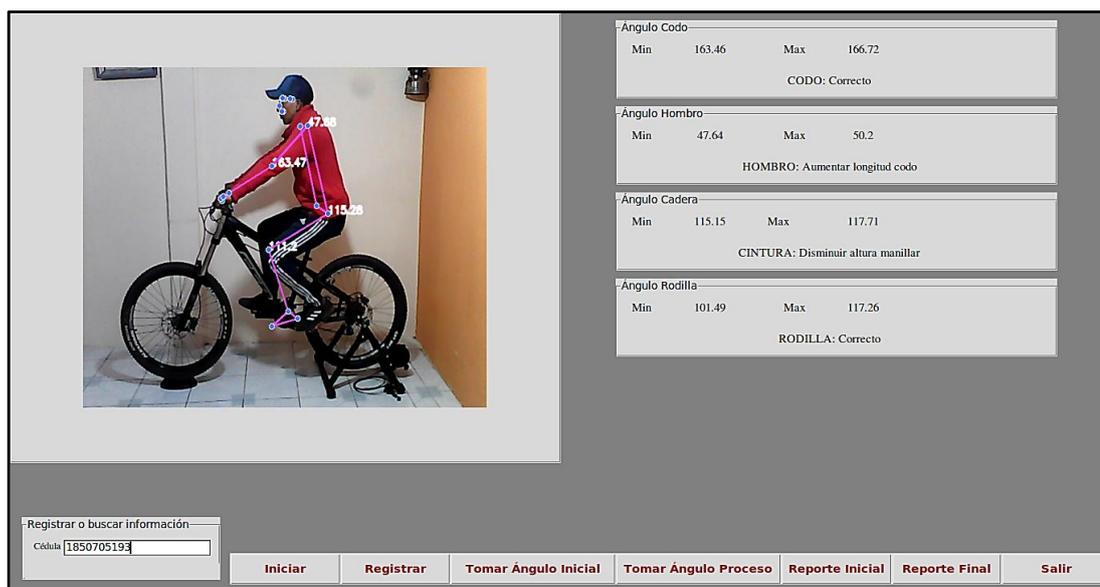


Figura 63 Interfaz del análisis de la primera prueba de funcionamiento.
Elaborado por: El investigador

3. Toma de ángulo del proceso

Al momento de ejecutar el proceso de fitting se toma muestras de los ángulos generados y se va desarrollando las recomendaciones que se muestra en el sistema. En la Figura 64 se muestra el ajuste del sillín de la bicicleta, en este caso el sistema ha recomendado que se debe elevar su altura. En la Figura 65 se muestra el ajuste correspondiente a el retroceso del sillín.



Figura 64 Ajuste de la altura del sillín en la primera prueba.
Elaborado por: El investigador



Figura 65 Ajuste del retroceso del sillín en la primera prueba.
Elaborado por: El investigador

4. Análisis del reporte inicial

Se da por finalizado el proceso de fitting cuando en lo posible las cuatro recomendaciones se tenga el mensaje “Correcto” al momento de realizar el proceso de pedaleo en el rodillo estático. Se puede verificar el reporte inicial con los ángulos y las recomendaciones a realizar.

----- Datos de Usuario - Reporte Inicial-----																								
Usuario: Jhon_Toinga																								
Cédula: 1850705193																								
Edad: 17			Peso: 59			Estatura: 166			Fecha: 2023-02-06															
Tipo: Rígida				Mod: MTB				Kin: 26																
Dis B-S: 57				Dis M-s: 47																				
Cedula	AC	Ma	AC	Mi	AC	Estado	AH	Ma	AH	Mi	AH	Estado	ACa	Mi	ACa	Mi	ACa	Estado	AR	MAR	M	AR	Estado	
1850705193	167	164	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	48	47	HOMBRO_	Correcto	133	91	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	138	89	RODILLA_	Correcto								
1850705193	168	166	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	49	48	HOMBRO_	Correcto	98	85	CINTURA_	Correcto	88	76	RODILLA_	Correcto								
1850705193	168	165	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	49	47	HOMBRO_	Correcto	133	97	CINTURA_	Correcto	133	93	RODILLA_	Subir_altura_del_								
1850705193	167	164	CODO_	Correcto	49	47	HOMBRO_	Correcto	129	84	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	133	77	RODILLA_	Correcto								
1850705193	178	0	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	53	0	HOMBRO_	Correcto	179	0	CINTURA_	Correcto	180	0	RODILLA_	Correcto								
1850705193	169	165	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	50	49	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	137	115	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	138	97	RODILLA_	Subir_altura_del_								
1850705193	168	163	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	50	48	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	136	108	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	138	117	RODILLA_	Subir_altura_del_								
1850705193	168	165	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	51	50	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	108	80	CINTURA_	Correcto	119	76	RODILLA_	Subir_altura_del_								
1850705193	168	164	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	50	48	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	135	83	CINTURA_	Correcto	141	81	RODILLA_	Correcto								
1850705193	167	166	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	50	49	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	106	81	CINTURA_	Correcto	104	80	RODILLA_	Correcto								
1850705193	168	166	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	50	48	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	135	116	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	139	109	RODILLA_	Correcto								
1850705193	166	164	CODO_	Correcto	49	48	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	131	105	CINTURA_	Disminuir_altura_manilli	137	111	RODILLA_	Correcto								
1850705193	172	0	CODO_	Disminuir_longitud_manubi	52	0	HOMBRO_	Aumentar_longitud_codc	179	0	CINTURA_	Correcto	180	0	RODILLA_	Correcto								

Figura 66 Reporte inicial en la primera prueba.
Elaborado por: El investigador

Como se observa en la Figura 66 se muestra los datos del ciclista, los ángulos y recomendaciones de ajuste que se debe realizar. En algunos estados se muestran como correcto debido a que las extremidades se encuentran en un punto medio en donde el sistema lo toma en el rango de valores aceptables.

5. Análisis del reporte final

Una vez realizado los ajustes recomendados a la bicicleta y los estados de los ángulos presenten “Correcto” en el cálculo de las cuatro articulaciones, se puede visualizar el reporte final con los datos del ciclista, los ángulos y recomendaciones que varían de acuerdo al progreso del análisis.

----- Datos de Usuario - Reporte Final-----																
Usuario: Jhon_Toinga																
Cedula: 1850705193																
Edad: 17		Peso: 59		Estatura: 166		Fecha: 2023-02-06										
Tipo: Rigida		Mod: MTB		Kin: 26												
Dis B-S: 57		Dis M-s: 47														
Cedula	AC	MaxAC	Min	AC Estado	AH	MAH	Mi	AH Estado	ACa	MACa	Mi	ACa Estado	AR	MiAR	Mi	AR Estado
1850705193	163	162		CODO_Correcto	46	46		HOMBRO_Correcto	97	96		CINTURA_Correcto	94	90		RODILLA_Correcto
1850705193	164	163		CODO_Correcto	46	45		HOMBRO_Correcto	96	96		CINTURA_Correcto	91	90		RODILLA_Correcto
1850705193	164	162		CODO_Correcto	46	45		HOMBRO_Correcto	96	95		CINTURA_Correcto	93	89		RODILLA_Correcto
1850705193	163	159		CODO_Correcto	46	44		HOMBRO_Correcto	98	95		CINTURA_Correcto	96	91		RODILLA_Correcto
1850705193	166	165		CODO_Disminuir_longitud_manut	47	47		HOMBRO_Correcto	92	92		CINTURA_Correcto	82	81		RODILLA_Correcto
1850705193	165	165		CODO_Disminuir_longitud_manut	47	46		HOMBRO_Correcto	92	88		CINTURA_Correcto	84	82		RODILLA_Correcto
1850705193	165	164		CODO_Correcto	46	46		HOMBRO_Correcto	88	88		CINTURA_Correcto	83	83		RODILLA_Correcto
1850705193	165	164		CODO_Correcto	47	46		HOMBRO_Correcto	93	88		CINTURA_Correcto	84	83		RODILLA_Correcto
1850705193	168	163		CODO_Correcto	49	47		HOMBRO_Correcto	136	96		CINTURA_Correcto	143	86		RODILLA_Correcto
1850705193	165	164		CODO_Correcto	47	46		HOMBRO_Correcto	105	104		CINTURA_Correcto	116	114		RODILLA_Correcto
1850705193	163	163		CODO_Correcto	45	45		HOMBRO_Aumentar_longitud_coc	105	100		CINTURA_Correcto	114	106		RODILLA_Subir_altura_del_sillii
1850705193	165	163		CODO_Correcto	48	46		HOMBRO_Correcto	99	79		CINTURA_Correcto	102	76		RODILLA_Correcto
1850705193	165	164		CODO_Disminuir_longitud_manut	48	47		HOMBRO_Correcto	81	81		CINTURA_Correcto	81	81		RODILLA_Correcto
1850705193	163	163		CODO_Correcto	47	47		HOMBRO_Correcto	83	81		CINTURA_Correcto	82	79		RODILLA_Correcto
1850705193	166	162		CODO_Correcto	48	45		HOMBRO_Correcto	140	79		CINTURA_Correcto	149	77		RODILLA_Correcto
1850705193	172	140		CODO_Correcto	54	35		HOMBRO_Correcto	140	80		CINTURA_Disminuir_altura_rr	152	77		RODILLA_Correcto
1850705193	167	163		CODO_Correcto	50	47		HOMBRO_Correcto	125	80		CINTURA_Disminuir_altura_rr	131	85		RODILLA_Correcto
1850705193	167	164		CODO_Disminuir_longitud_manut	49	47		HOMBRO_Correcto	135	109		CINTURA_Correcto	145	103		RODILLA_Correcto
1850705193	166	164		CODO_Correcto	48	47		HOMBRO_Correcto	129	105		CINTURA_Disminuir_altura_rr	144	110		RODILLA_Subir_altura_del_sillii
1850705193	166	166		CODO_Disminuir_longitud_manut	48	48		HOMBRO_Correcto	98	80		CINTURA_Correcto	103	83		RODILLA_Subir_altura_del_sillii
1850705193	169	163		CODO_Disminuir_longitud_manut	50	47		HOMBRO_Correcto	139	80		CINTURA_Correcto	147	77		RODILLA_Subir_altura_del_sillii
1850705193	167	164		CODO_Correcto	49	48		HOMBRO_Correcto	134	111		CINTURA_Disminuir_altura_rr	125	91		RODILLA_Correcto
1850705193	166	164		CODO_Disminuir_longitud_manut	49	48		HOMBRO_Correcto	132	111		CINTURA_Disminuir_altura_rr	133	108		RODILLA_Correcto
1850705193	171	165		CODO_Correcto	52	48		HOMBRO_Correcto	111	82		CINTURA_Disminuir_altura_rr	108	76		RODILLA_Subir_altura_del_sillii
1850705193	172	164		CODO_Disminuir_longitud_manut	54	48		HOMBRO_Correcto	116	81		CINTURA_Correcto	101	73		RODILLA_5
1850705193	173	119		CODO_Disminuir_longitud_manut	56	8		HOMBRO_Correcto	121	103		CINTURA_Disminuir_altura_rr	105	90		RODI

Figura 67 Reporte final en la primera prueba.

Elaborado por: El investigador

En la Figura 67 se muestra el registro de los ángulos y las recomendaciones, se observa que los valores del final son los primeros adquiridos, en donde se tiene varias notificaciones de los ajustes que se debe realizar, en cuanto se va modificando los ajustes de la bicicleta de acuerdo a las recomendaciones, se va reduciendo las alertas hasta tener un estado de “Correcto” en su mayoría.

6. Análisis del ciclista

Al realizar el proceso de bike fitting se tiene un antes y un después, esto se puede denotar en la postura que tiene el ciclista al montar en su bicicleta.

En la Figura 68 se puede notar la ergonomía inadecuada que presenta el ciclista, tiene el sillín demasiado bajo lo que provoca que las extremidades no se flexionen en su totalidad reduciendo la potencia al momento de pedalear y podría provocar molestias en las rodillas a largo plazo. En la Figura 69 se presenta al ciclista después de realizar el proceso de bike fitting, se denota la ergonomía más adecuada al momento de realizar los ajustes de la bicicleta, en este caso se aumenta la altura del sillín y retroceder el mismo, de tal manera que las extremidades puedan flexionar en su totalidad aumentando la potencia y librando de lesiones a futuro.



Figura 68 Ciclista antes del bikefit en la primera prueba.
Elaborado por: El investigador



Figura 69 Ciclista después del bikefit en la primera prueba.
Elaborado por: El investigador

Prueba 2

1. Registro de datos

Al iniciar la aplicación, lo primero que se debe hacer es registrar los datos del ciclista y algunas características de la bicicleta. Además, se debe tener muy en cuenta de digitar correctamente el número de cédula ya que con ese dato se podrá realizar consultas del proceso en caso de requerir en algún momento. En la Figura 70 se muestra los datos ingresados de la segunda persona a ser analizado.

Ingresar Datos del Ciclista	
Nombre:	<input type="text" value="jimmt_perez"/>
Cédula:	<input type="text" value="1805393521"/>
Edad:	<input type="text" value="26"/>
Peso (Kg):	<input type="text" value="64"/>
Estatura (cm):	<input type="text" value="168"/>
Fecha (AAAA-MM-DD):	<input type="text" value="2023-02-06"/>
Tipo de Bicicleta:	<input type="text" value="Rígida"/>
Modalidad:	<input type="text" value="MTB"/>
Rin de Llantas:	<input type="text" value="27.5"/>
Distancia Biela-Sillín (cm):	<input type="text" value="48"/>
Dist. Manillar-Sillín (cm):	<input type="text" value="46"/>
<input type="button" value="Guardar"/> <input type="button" value="Regresar"/>	

Figura 70 Datos ingresado en la segunda prueba de funcionamiento.
Elaborado por: El investigador

2. Toma de ángulos iniciales

Al iniciar el proceso de fitting es necesario conocer los ángulos y las recomendaciones con las que ingresa el ciclista, para ello se toma muestras de los ángulos que se generan para que se guarde en la base de datos y tener un reporte inicial. En la Figura 71 se presenta el análisis con el prototipo.

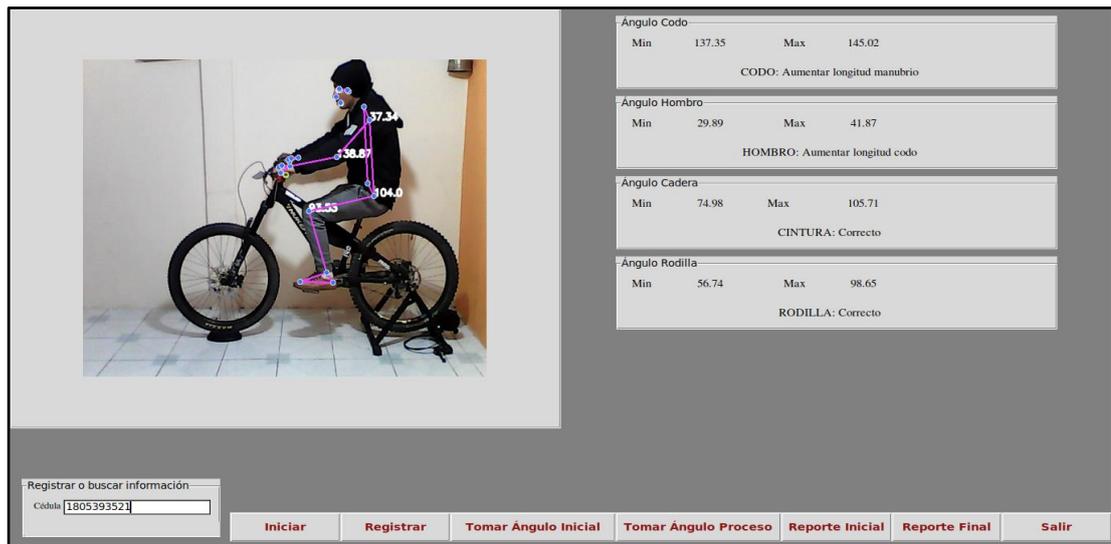


Figura 71 Interfaz del análisis de la segunda prueba de funcionamiento.
Elaborado por: El investigador

3. Toma de ángulo del proceso

Se toma muestras de los ángulos generados y se va desarrollando las recomendaciones que se muestra en el sistema. En la Figura 72 se muestra el ajuste del sillín de la bicicleta, en este caso el sistema ha recomendado que se debe elevar su altura.



Figura 72 Ajuste de la altura del sillín en la segunda prueba.

Elaborado por: El investigador

4. Análisis del reporte inicial

Se da por finalizado el proceso de fitting cuando en lo posible las cuatro recomendaciones se tenga el mensaje “Correcto” al momento de realizar el proceso de pedaleo. Se puede verificar el reporte inicial con los ángulos y las recomendaciones a realizar.

----- Datos de Usuario - Reporte Inicial-----												
Usuario: Jimnt_Perez												
Cédula: 1805393521												
Edad: 26			Peso: 64			Estatura: 168			Fecha: 2023-02-06			
Tipo: Rígida			Mod: MTB			Kin: 28						
Dis B-S: 48			Dis M-s: 46									
Cedula	AC Max	AC Min	AC Estado	AH Max	AH Min	AH Estado	ACA Max	ACA Min	ACA Estado	AR M	AR Min	AR Estado
1805393521	135	130	CODO: Aumentar_longitud_man	33	32	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	129	122	CINTURA: Disminuir_altura_ma	109	88	RODILLA: Correcto
1805393521	133	130	CODO: Aumentar_longitud_man	33	32	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	120	93	CINTURA: Disminuir_altura_ma	108	84	RODILLA: Correcto
1805393521	140	134	CODO: Aumentar_longitud_man	37	34	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	90	66	CINTURA: Correcto	81	47	RODILLA: Correcto
1805393521	134	131	CODO: Aumentar_longitud_man	34	32	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	109	74	CINTURA: Correcto	64	49	RODILLA: Subir_altura
1805393521	135	133	CODO: Aumentar_longitud_man	35	32	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	128	112	CINTURA: Disminuir_altura_ma	108	67	RODILLA: Subir_altura
1805393521	133	131	CODO: Aumentar_longitud_man	35	34	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	128	122	CINTURA: Disminuir_altura_ma	110	108	RODILLA: Correcto
1805393521	134	128	CODO: Aumentar_longitud_man	35	34	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	121	95	CINTURA: Disminuir_altura_ma	109	90	RODILLA: Correcto
1805393521	138	129	CODO: Aumentar_longitud_man	38	35	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	93	65	CINTURA: Correcto	87	49	RODILLA: Correcto
1805393521	138	130	CODO: Aumentar_longitud_man	38	34	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	95	66	CINTURA: Correcto	63	46	RODILLA: Subir_altura
1805393521	134	130	CODO: Aumentar_longitud_man	36	33	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	118	99	CINTURA: Correcto	77	62	RODILLA: Subir_altura
1805393521	139	132	CODO: Aumentar_longitud_man	40	30	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	130	102	CINTURA: Disminuir_altura_ma	113	77	RODILLA: Correcto
1805393521	141	130	CODO: Aumentar_longitud_man	39	31	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	101	71	CINTURA: Correcto	96	51	RODILLA: Correcto
1805393521	141	134	CODO: Aumentar_longitud_man	43	31	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	132	70	CINTURA: Correcto	113	50	RODILLA: Subir_altura
1805393521	136	133	CODO: Aumentar_longitud_man	34	31	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	119	101	CINTURA: Disminuir_altura_ma	105	90	RODILLA: Correcto
1805393521	141	137	CODO: Aumentar_longitud_man	36	33	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	98	74	CINTURA: Correcto	86	49	RODILLA: Correcto
1805393521	139	137	CODO: Aumentar_longitud_man	37	35	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	108	78	CINTURA: Correcto	65	51	RODILLA: Subir_altura
1805393521	138	135	CODO: Aumentar_longitud_man	35	34	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	134	112	CINTURA: Disminuir_altura_ma	113	68	RODILLA: Subir_altura
1805393521	137	134	CODO: Aumentar_longitud_man	35	31	HOMBRO: Aumentar_longitud_codo	131	109	CINTURA: Disminuir_altura_ma	112	97	RODILLA: Correcto

Regresar

Figura 73 Reporte inicial en la segunda prueba.
Elaborado por: El investigador

Como se observa en la Figura 73 se muestra los datos del ciclista, los ángulos y recomendaciones de ajuste que se debe realizar. Los datos finales de la tabla son los que primero se registran, de tal manera que los primeros datos de la tabla son los últimos en registrar. Esto se aplica para todos los procesos.

5. Análisis del reporte final

Una vez realizado los ajustes recomendados a la bicicleta y los estados de los ángulos den en “Correcto” en su mayoría, se puede visualizar el reporte final con los datos del ciclista, los ángulos y recomendaciones que se van modificando en el proceso. Se obtiene alrededor de 26 estados de ángulos hasta verificar que se cumpla la condición establecida.

----- Datos de Usuario - Reporte Final-----

Usuario: Jimmy_Perez

Cédula: 1805393521

Edad: 26 Peso: 64 Estatura: 168 Fecha: 2023-02-06

Tipo: Rígida Mod: MTB Rim: 27

Dis B-S: 48 Dis M-s: 46

Cedula	AC	Ma	AC	Mir	AC Estado	AH	Ma	AH	Mir	AH Estado	ACa	Ma	ACa	Mir	ACa Estado	AR	Ma	AR	Mir	AR Estado
1805393521	148	145			CODO:_Correcto	33	32			HOMBRO:_Correcto	90	87			CINTURA:_Correcto	82	73			RODILLA:_Correcto
1805393521	150	141			CODO:_Correcto	36	27			HOMBRO:_Correcto	154	89			CINTURA:_Correcto	174	74			RODILLA:_Correcto
1805393521	153	147			CODO:_Correcto	36	32			HOMBRO:_Correcto	99	90			CINTURA:_Correcto	102	75			RODILLA:_Correcto
1805393521	151	150			CODO:_Correcto	33	32			HOMBRO:_Correcto	96	95			CINTURA:_Correcto	76	75			RODILLA:_Correcto
1805393521	152	149			CODO:_Correcto	34	30			HOMBRO:_Correcto	141	94			CINTURA:_Correcto	127	76			RODILLA:_Correcto
1805393521	150	149			CODO:_Correcto	30	29			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	142	141			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	126	126			RODILLA:_Correcto
1805393521	152	141			CODO:_Correcto	31	27			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	143	140			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	132	126			RODILLA:_Correcto
1805393521	154	133			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	40	33			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	139	79			CINTURA:_Correcto	147	68			RODILLA:_Correcto
1805393521	148	142			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	37	33			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	84	80			CINTURA:_Correcto	73	68			RODILLA:_Correcto
1805393521	147	144			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	37	35			HOMBRO:_Correcto	83	82			CINTURA:_Correcto	71	70			RODILLA:_Subir_altura
1805393521	152	147			CODO:_Correcto	39	37			HOMBRO:_Correcto	85	82			CINTURA:_Correcto	71	70			RODILLA:_Correcto
1805393521	154	153			CODO:_Correcto	42	37			HOMBRO:_Correcto	93	85			CINTURA:_Correcto	77	71			RODILLA:_Correcto
1805393521	161	145			CODO:_Correcto	53	35			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	145	97			CINTURA:_Correcto	147	79			RODILLA:_Correcto
1805393521	157	137			CODO:_Correcto	41	32			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	137	103			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	130	104			RODILLA:_Correcto
1805393521	142	136			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	37	32			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	105	76			CINTURA:_Correcto	104	60			RODILLA:_Correcto
1805393521	142	139			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	38	36			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	78	76			CINTURA:_Correcto	62	61			RODILLA:_Subir_altura
1805393521	146	137			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	38	32			HOMBRO:_Correcto	138	77			CINTURA:_Correcto	131	61			RODILLA:_Subir_altura
1805393521	151	143			CODO:_Aumentar_longitud_manubri	37	32			HOMBRO:_Correcto	117	104			CINTURA:_Correcto	88	79			RODILLA:_Correcto
1805393521	154	139			CODO:_Correcto	48	38			HOMBRO:_Correcto	130	105			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	129	105			RODILLA:_Correcto
1805393521	150	146			CODO:_Correcto	44	41			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	108	105			CINTURA:_Correcto	110	105			RODILLA:_Correcto
1805393521	157	150			CODO:_Correcto	48	37			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	99	74			CINTURA:_Correcto	97	68			RODILLA:_Correcto
1805393521	158	148			CODO:_Correcto	47	35			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	116	74			CINTURA:_Correcto	91	63			RODILLA:_Correcto
1805393521	165	132			CODO:_Correcto	50	7			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	142	115			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	132	90			RODILLA:_Correcto
1805393521	162	155			CODO:_Correcto	7	5			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	142	141			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	126	125			RODILLA:_Correcto
1805393521	159	142			CODO:_Correcto	47	33			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	84	75			CINTURA:_Correcto	72	67			RODILLA:_Correcto
1805393521	157	148			CODO:_Correcto	49	43			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	128	107			CINTURA:_Correcto	121	83			RODILLA:_Correcto
1805393521	155	144			CODO:_Correcto	46	39			HOMBRO:_Aumentar_longitud_co	127	102			CINTURA:_Disminuir_altura_mai	121	103			RODILLA:_Correcto

[Regresar](#)

Figura 74 Reporte final en la segunda prueba.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 74 se muestra el registro de los ángulos y las recomendaciones, se observa que los valores del final son los primeros adquiridos, en donde se tiene varias notificaciones de los ajustes que se debe realizar, en cuanto se va modificando los ajustes de la bicicleta de acuerdo a las recomendaciones, se va reduciendo las alertas hasta tener un estado de “Correcto” en su mayoría.

6. Análisis del ciclista

Al realizar el proceso de bike fitting se tiene un antes y un después, esto se puede denotar en la postura que tiene el ciclista al montar en su bicicleta.

En la Figura 75 se puede notar la ergonomía inadecuada que presenta el ciclista, tiene el sillín extremadamente bajo lo que le dificulta el poder pedalear con comodidad. Esto se presenta debido a que la persona desconocía en su totalidad en análisis biomecánico que se puede realizar para que se sienta más cómodo, aumente su rendimiento en las rutas y este fuera de riesgo de contraer alguna lesión por una mala postura en la bicicleta.

En la Figura 76 se presenta al ciclista después de realizar el proceso de bike fitting, se denota el cambio en su ergonomía, ya que se aumentó la altura del sillín de acuerdo a

las recomendaciones del sistema, el ciclista presenta una mayor comodidad y rendimiento al momento de pedalear.



Figura 75 Ciclista antes del bikefit en la segunda prueba.
Elaborado por: El investigador



Figura 76 Ciclista después del bikefit en la segunda prueba.
Elaborado por: El investigador

Para revisar más pruebas del funcionamiento revisar el ANEXO B.

3.3.2 Porcentaje de error del sistema electrónico

Una vez realizado la verificación y pruebas de funcionamiento del prototipo como del almacenamiento de datos y su interfaz, se procede a determinar la fiabilidad y porcentaje de error del sistema electrónico con respecto a mediciones manuales con un goniómetro.

Para determinar los errores estimados de una magnitud se aplica métodos estadísticos, en donde se compara el valor verdadero con el valor estimado de una medición, para esto se debe considerar los dos siguientes conceptos.

Error absoluto (e): El error absoluto se lo define como la diferencia positiva del valor real (x_v) y el valor medido (x), su valor puede ser positivo o negativo, pero se establece su valor absoluto $|e| \ll x$. Como se observa en la ecuación 9. [48]

$$|e| = x - x_v \quad (9)$$

Error relativo (E): El error relativo se lo define como el cociente del valor absoluto dividido con el valor verdadero. Como se observa en la ecuación 10.

$$E_x = \frac{|e|}{x_v} \quad (10)$$

Para que el error relativo se muestre representado en porcentaje de error se debe multiplicar por 100 y se tendrá la siguiente ecuación 11.

$$E_x = \frac{|e|}{x_v} * 100 \quad (11)$$

Aplicando las ecuaciones 9 y 11 se calcula los errores de las medidas en los diferentes ángulos de las articulaciones.

El sistema electrónico para la detección angular desarrollado muestra en la pantalla los ángulos que se forman en las articulaciones establecidas. En la Figura 77 se muestra la forma en que se presentan los ángulos de las cuatro articulaciones del ciclista en el monitor, se va a tomar cada uno de estos ángulos con variaciones de movimientos para comparar con los valores reales medidos con un goniómetro (Figura 78).



Figura 77 Ángulos medidos por el sistema electrónico.
Elaborado por: El investigador



Figura 78 Ángulos medidos manualmente con un goniómetro.
Elaborado por: El investigador

De esta manera se realiza 15 muestras de cada articulación, se toma el ángulo del sistema electrónico y el ángulo medido para realizar los cálculos de error. A continuación, se muestran tablas con los porcentajes de error. Revisar ANEXO C

A. Error del ángulo en el codo

Los ángulos medidos en la articulación del codo son de extensión grande, por lo que no va a existir gran variación.

Para calcular el error absoluto [e] se va a tomar como ejemplo la primera prueba y reemplazamos los valores en la ecuación 9. Tomando como valor real la medida del goniómetro y valor medido el del sistema.

$$|e| = 157 - 160,23 = |-3,23| = 3,23$$

Para calcular el error relativo [E] se reemplaza los valores en la ecuación 11 obtenidos del error absoluto y el valor real que es la medición del goniómetro.

$$E_x = \frac{3,23}{157} * 100 = 2,0573\%$$

Tabla 9 Análisis de error del ángulo en el codo.

N°	Prototipo [grados]	Goniómetro [grados]	Error absoluto [e]	Error relativo [E]
1	160,23	157,00	3,23	2,0573
2	163,76	155,50	8,26	5,3119
3	155,45	148,00	7,45	5,0338
4	140,98	135,00	5,98	4,4296
5	120,67	124,50	3,83	3,0763
6	115,27	120,00	4,73	3,9417
7	112,59	115,50	2,91	2,5195
8	96,36	101,50	5,14	5,0640
9	176,87	170,00	6,87	4,0412
10	154,28	150,00	4,28	2,8533
11	163,20	160	3,2	2,0000
12	150,30	152,5	2,2	1,4426
13	145,34	145,5	0,16	0,1100
14	139,67	138	1,67	1,2101
15	133,69	130	3,69	2,8385
			4,24	3,0620

Elaborado por: El investigador

En los resultados mostrados en la Tabla 9 se determina que el sistema de detección angular presenta un porcentaje de error del 3,06% en comparación con las mediciones de manera manual con un goniómetro, este error se debe a que la perspectiva del brazo del ciclista no se da a notar el ángulo que forma.

B. Error del ángulo en el hombro

Analizando los datos de manera detallada se puede observar que en ciertos ángulos existe gran diferencia de error y en otros es muy poca, esto se debe a que el algoritmo de programación establece diferentes puntos ubicados en el hombro, por lo que, varía en el ángulo que se forma.

Tabla 10 Análisis de error del ángulo en el hombro.

N°	Prototipo [grados]	Goniómetro [grados]	Error absoluto [e]	Error relativo [E]
1	39,23	48,50	9,27	19,1134
2	52,54	49,00	3,54	7,2245
3	40,34	35,00	5,34	15,2571
4	33,58	33,50	0,08	0,2388
5	52,87	48,00	4,87	10,1458
6	26,23	20,50	5,73	27,9512
7	50,34	46,00	4,34	9,4348
8	45,23	43,00	2,23	5,1860
9	51,30	52,00	0,70	1,3462
10	49,29	51,50	2,21	4,2913
11	46,78	44,00	2,78	6,3182
12	41,40	38,00	3,40	8,9474
13	37,57	37,50	0,07	0,1867
14	35,20	38,00	2,80	7,3684
15	33,56	36,00	2,44	6,7778
			3,32	8,6525

Elaborado por: El investigador

Los resultados que se muestran en la Tabla 10 se determina que el sistema de detección angular presenta un porcentaje de error del 8,65% en comparación con las mediciones de manera manual con un goniómetro, este porcentaje de error elevado se debe a la perspectiva del ciclista ya que el ángulo no se forma en su totalidad en el plano bidimensional (x, y) presentando alteraciones considerables en las mediciones.

C. Error del ángulo en la cadera

Referente a los ángulos que se forman en las articulaciones de la cadera y rodilla, estos se forman en el plano bidimensional, por lo que la detección del algoritmo de programación permite reconocer con mayor exactitud estos puntos y por ende el cálculo del ángulo resulta más exacto.

Tabla 11 Análisis de error del ángulo en la cadera.

N°	Prototipo [grados]	Goniómetro [grados]	Error absoluto [e]	Error relativo [E]
1	138,00	136,50	1,50	1,0989
2	82,45	80,00	2,45	3,0625
3	89,58	95,50	5,92	6,1990
4	98,27	104,00	5,73	5,5096
5	104,27	110,00	5,73	5,2091
6	125,26	132,00	6,74	5,1061
7	131,87	135,50	3,63	2,6790
8	115,94	112,00	3,94	3,5179
9	96,58	99,00	2,42	2,4444
10	125,23	121,00	4,23	3,4959
11	114,36	113,00	1,36	1,2035
12	112,74	110,50	2,24	2,0271
13	109,37	111,00	1,63	1,4685
14	101,34	105,50	4,16	3,9431
15	94,93	98,50	3,57	3,6244
			3,68	3,3726

Elaborado por: El investigador

Los resultados del análisis de error mostrado en la Tabla 11 indica que el sistema de detección angular presenta un porcentaje de error del 3,37% en comparación con las mediciones realizadas de manera manual con un goniómetro.

D. Error del ángulo en la rodilla

En algunas pruebas se observa que existe un valor de error elevado, esto se debe a que el algoritmo de detección tiende a confundir las extremidades inferiores izquierda con derecha, esto se debe a que la persona a analizar se encuentra de perfil y al realizar el ciclo de pedaleo se cambian los valores de los ángulos y se tiene una medida con un error eminente.

Tabla 12 Análisis de error del ángulo en la rodilla.

N°	Prototipo [grados]	Goniómetro [grados]	Error absoluto [e]	Error relativo [E]
1	62,83	68,00	5,17	7,6029
2	80,37	87,50	7,13	8,1486
3	110,29	116,00	5,71	4,9224
4	118,23	126,00	7,77	6,1667
5	100,32	102,50	2,18	2,1268
6	79,00	80,00	1,00	1,2500
7	69,48	72,00	2,52	3,5000
8	71,92	75,00	3,08	4,1067
9	62,45	66,50	4,05	6,0902
10	65,19	68,00	2,81	4,1324
11	69,20	67,00	2,20	3,2836
12	74,93	71,50	3,43	4,7972
13	81,45	83,00	1,55	1,8675
14	90,30	90,00	0,30	0,3333
15	97,30	100,00	2,70	2,7000
			3,44	4,0686

Elaborado por: El investigador

Una vez realizada las pruebas correspondientes del cálculo de error en el ángulo de cada extremidad, se procede a determinar el promedio del error total del sistema, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13 Error total del sistema.

Articulación	Error absoluto [e]	Error relativo [E] %
Codo	4,24	3,0620
Hombro	3,32	8,6525
Cadera	3,68	3,3726
Rodilla	3,44	4,0686
TOTAL	3,67	4,78

Elaborado por: El investigador

Se tiene como resultado un error promedio de 4,78%. Si el sistema trabajara al 100% el porcentaje de error sería 0%. Entonces, para obtener el porcentaje de confiabilidad del sistema se aplica la ecuación 12.

$$\text{Confiabilidad} = 100\% - \text{Error} \quad (12)$$

$$\text{Confiabilidad} = 100\% - 4,78\%$$

$$\text{Confiabilidad} = 95,22\%$$

Es decir que el sistema tiene una confiabilidad de que los ángulos medidos sean correctos del 95,22% al momento de realizar el análisis de bikefitting.

3.3.3 Validación del sistema

Para validar el sistema de detección angular, se lleva a cabo una comparación con otro proyecto similar que también utiliza algoritmos de visión artificial para detectar los ángulos en ciertas articulaciones. Este proceso de comparación ayuda a evaluar el rendimiento y la precisión del sistema, y permite identificar áreas donde se puede mejorar el desempeño del sistema de detección angular. La comparación de dos sistemas implica la evaluación y análisis de las características, rendimiento y

funcionalidades de cada uno de ellos para determinar cuál es la mejor opción para realizar futuros proyectos.

El trabajo de investigación desarrollado por José Luis Jarrín Chacón de la Universidad Técnica del Norte de Ibarra denominada “SISTEMA DE DETECCIÓN DEL ÁNGULO ARTICULAR EN LOS MOVIMIENTOS DE MIEMBRO SUPERIOR PARA EVALUACION EN FISIOTERAPIA MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL” emplea un sistema un poco similar al desarrollado [49].

El sistema utiliza una cámara web digital Logitech y un ordenador de escritorio para procesar y gestionar los datos. Además, se emplean periféricos de entrada y salida que se conectan al sistema para controlar su funcionamiento. Figura 79

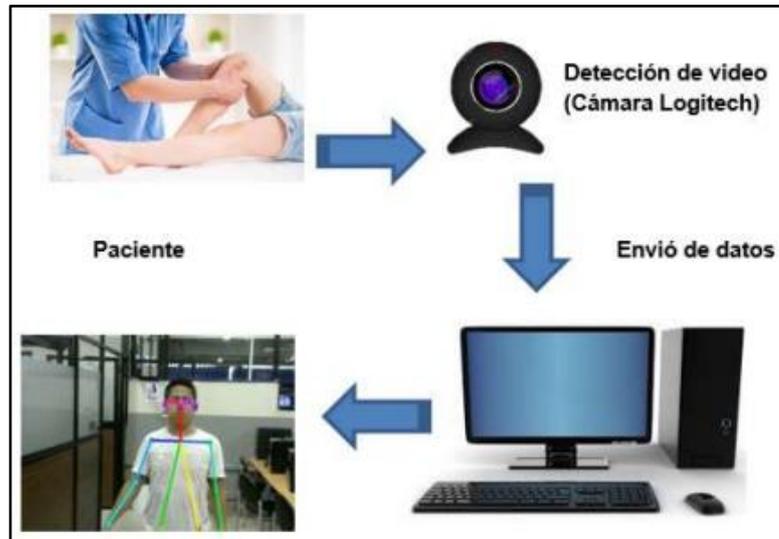


Figura 79 Arquitectura del sistema de detección del ángulo a comparar [49]

El sistema utiliza el algoritmo de visión artificial Openpose, que consta de tres módulos entrenados. Uno para la estimación de la postura humana, otro para las manos y un último para las caras. El algoritmo se basa en el reconocimiento de partes para formar el esqueleto en 2D de la persona identificada, representado en 18 puntos. En la Figura 80 se muestra la detección del algoritmo Openpose en el autor.



Figura 80 Esqueleto en 2D del algoritmo Openpose [49]

La ecuación utilizada para calcular el ángulo que se forma en las articulaciones es la misma que se ha desarrollado previamente. Esta ecuación se basa en la unión de tres puntos en un plano para formar dos vectores, en los cuales se genera un ángulo. La fórmula para calcular dicho ángulo es la siguiente $\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{V_1X V_2X + V_1Y V_2Y}{|V_1| |V_2|} \right]$. El proceso para calcular los ángulos en las articulaciones es similar y se observa en la Figura 81 la disposición de los vectores.

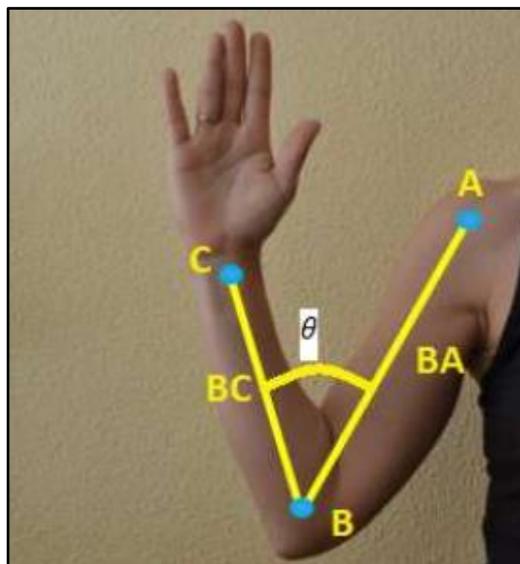


Figura 81 Ángulos formados por el vector del brazo y antebrazo [49]

Las pruebas de funcionamiento se componen de diez pruebas, en las que se miden los ángulos del codo derecho e izquierdo, así como los ángulos del hombro derecho e izquierdo, generados por el sistema. Para determinar la confiabilidad, se calcula el error comparando las medidas obtenidas con un goniómetro y las obtenidas por el

sistema. Dando como resultado que el sistema tiene un porcentaje de confiabilidad del 92,60% debido a factores como: la postura del paciente en el eje z, la masa muscular diferente de cada paciente y los ambientes no controlados de luz.

Por otra parte, el sistema de detección angular para ciclistas presenta algunas diferencias notables. En primer lugar, utiliza una mini computadora Jetson Nano, la cual es ideal para proyectos de visión artificial, en lugar de una computadora de mesa convencional. Además, el algoritmo BlazePose funciona de manera distinta al algoritmo Openpose, aunque ambos trabajan con cámaras de características similares. No obstante, la ecuación para calcular los ángulos que se forman en los vectores es la misma en ambos sistemas. En general, el sistema de detección angular para ciclistas tiene un alto grado de confiabilidad, alcanzando un 95,22% al realizar las pruebas de funcionamiento.

3.3.4 Presupuesto

Para calcular el presupuesto total de la implementación del sistema electrónico para la detección angular y ergonomía de ciclistas se debe tomar en cuenta el presupuesto de diseño y el de construcción. El diseño de construcción se establece con los materiales necesarios para montar el sistema y el presupuesto de diseño se establece con el total de horas necesario para la elaboración del mismo. Primero, se debe conocer el salario básico de un ingeniero en Telecomunicaciones enfocado en el área de programación según el Ministerio del Trabajo en su tabla Sectorial Salarios Mínimos 2023 que corresponde a \$483, tomando como base el nuevo salario básico unificado (SBU) que es de \$450 [50]. Se considera 5 días laborables por semana y un promedio de 21 días laborables por mes, en base a estos datos se puede calcular el salario diario aplicando la ecuación 13.

$$\text{Salario}_{diario} = \frac{\text{Salario}_{mensual}}{\text{Días}_{laborables}} \quad (13)$$

$$\text{Salario}_{diario} = \frac{483 \text{ [dólares]}}{21 \text{ [días]}}$$

$$\text{Salario}_{diario} = 23 \text{ [dólares]}$$

Se conoce que las horas laborables son 8 en un día, aplicando la ecuación 14 se obtiene la remuneración por hora.

$$Salario_{hora} = \frac{Salario_{diario}}{Horas_{laborables}} \quad (14)$$

$$Salario_{hora} = \frac{23}{8}$$

$$Salario_{hora} = \frac{23 \text{ [dólares]}}{8 \text{ [horas]}}$$

$$Salario_{hora} = 2,87 \text{ [dólares]}$$

En el proceso de investigación, elaboración y pruebas de funcionamiento se establece un tiempo estimado de 120 horas. Con la ecuación 15 se obtiene el valor total del presupuesto de diseño del sistema electrónico.

$$Presupuesto_{diseño} = Horas_{investigación} * Salario_{hora} \quad (15)$$

$$Presupuesto_{diseño} = 120 \text{ [horas]} * 2,87 \text{ [dólares]}$$

$$Presupuesto_{diseño} = 344,4 \text{ [dólares]}$$

En la Tabla 14 se muestra el los elementos utilizados en la construcción del sistema electrónico.

Tabla 14 Presupuesto de construcción del sistema electrónico.

N°	Detalle	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
1	Kit de desarrollo Jetson Nano	1	173,50	173,50
2	Case (Acrílico)	1	15	15
3	Cámara (webcam)	1	20	20
4	Monitor	1	70	70
5	Mause y teclado	1	20	20
6	Fuente de 5V - 4A	1	10	10
7	Cable HDMI	1	5	5
	Subtotal			313,50
	Iva (12%)			37,62
	Total			351,12
	Imprevistos (3%)			10,53
	TOTAL			361,65

Elaborado por: El investigador

Finalmente, con la ecuación 16 calculamos el presupuesto total del proyecto de investigación.

$$Presupuesto_{total} = Presupuesto_{diseño} + Presupuesto_{construcción} \quad (16)$$

$$Presupuesto_{total} = 344,40 \text{ [dólares]} + 361,65 \text{ [dólares]}$$

$$\mathbf{Presupuesto_{total} = 706,05 \text{ [dólares]}}$$

Por consiguiente, el presupuesto para implementar el sistema electrónico para la detección de posición angular y ergonomía de ciclistas empleado visión artificial es de 706,05 dólares. Este valor es bajo en comparación con otros sistemas de bike fitting que emplean cámaras de alta resolución de alto valor para sus análisis y generalmente están disponibles en otros países más desarrollados. Si se llegara a implementar el sistema en tiendas o talleres de ciclismo el valor sería relativamente bajo ya que no se consideraría el presupuesto de diseño en su totalidad y por ende el sistema estaría disponible en el país a un precio accesible a las personas que deseen implementar un nuevo sistema de análisis biomecánico.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La investigación bibliográfica realizada para desarrollar el prototipo de análisis biomecánico en ciclistas que emplea visión artificial, permitió determinar que el enfoque propuesto por Giuliano Martiniani, un fisioterapeuta y asesor de bikefitting y postura, resultó adecuado para el proyecto. En su artículo publicado en Bikeitalia, Martiniani establece los ángulos máximos y mínimos que deben adoptarse en las articulaciones para lograr una posición óptima del ciclista en la bicicleta. Dicha posición no solo contribuye a evitar lesiones futuras, sino que también permite mejorar el rendimiento del ciclista.
- El proceso de selección del hardware y software necesarios para tomar mediciones angulares en ciclistas ha sido fundamental para identificar las herramientas más adecuadas para el proyecto. La mini computadora Jetson Nano resultó ser la opción ideal gracias a su gran capacidad de memoria y su tarjeta de video incorporada. Además, la elección del software libre y de código abierto Ubuntu, permitió instalar diferentes servicios esenciales para el análisis y gestión de datos. Gracias a esta selección de herramientas, se logró realizar un análisis biomecánico completo y detallado de la posición de los ciclistas en la bicicleta.
- El algoritmo de visión por computadora BlazePose en conjunto con operaciones matemáticas desarrolladas en Python fueron necesarios para tomar mediciones angulares, las cuales fueron comparadas con un método de medición manual con un goniómetro para validar el sistema de captura, determinando que el sistema tiene un porcentaje de error del 4,78% al analizar las pruebas de funcionamiento, se obtiene una precisión que permite realizar análisis aceptables para los movimientos requeridos. El algoritmo desarrollado puede ser potencializado con mayor profundidad para futuros análisis de bikefitting.

- En este proyecto se ha desarrollado una interfaz gráfica para establecer una comunicación entre el usuario y el sistema de visión artificial, la cual permite mostrar los ángulos y las recomendaciones a modificar en la bicicleta, y además permite gestionar y visualizar los datos adquiridos en una base de datos local. Esta interfaz gráfica tiene la ventaja de proporcionar una experiencia de usuario más atractiva y amigable, lo que puede aumentar la satisfacción del usuario y mejorar su percepción del sistema.

4.2 Recomendaciones

- Para analizar las causas de lesiones en ciclistas debido a una mala posición en la bicicleta, se recomienda el artículo de Giuliano Martiniani en Bikeitalia para obtener información sobre los ángulos óptimos que deben adoptarse en las articulaciones para lograr una posición adecuada del ciclista en la bicicleta y mejorar su rendimiento, así como para prevenir lesiones futuras. Este estudio está disponible en bikeitalia.it y puede ser de gran ayuda para futuros estudios de bike fitting.
- La elección de la Jetson Nano como hardware para un proyecto de procesamiento de datos es una excelente decisión, gracias a su capacidad de memoria y su tarjeta de video incorporada que le permite manejar grandes cantidades de información de manera eficiente. Además, el uso de software libre y de código abierto también es una gran ventaja, ya que permite la instalación de diferentes servicios y herramientas necesarias para el análisis y la gestión de datos.
- BlazePose es un algoritmo de visión por computadora de última generación que permite la detección precisa de poses humanas, incluyendo la detección de articulaciones y la estimación de sus ángulos, lo que resulta muy útil en proyectos de análisis biomecánicos y de fitness. En definitiva, se recomienda el uso de BlazePose para proyectos que impliquen la detección precisa de poses humanas en tiempo real.
- Es crucial crear una interfaz de usuario sencilla e intuitiva para el proyecto. Se debe evitar sobrecargar la pantalla con demasiados elementos y opciones, y en su lugar, priorizar las funciones principales y más importantes para el usuario, lo que aumentará la satisfacción y la usabilidad del sistema en general.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Carrasco, «ANÁLISIS BIOMECÁNICO EN LOS CICLISTAS DE RUTA CATEGORÍA,» p. 240, 2017.
- [2] C. Salguero Marín, «Sistema de bajos recursos para el análisis biomecánico de ciclistas de ruta,» Cali, 2018.
- [3] E. S. Barahona Guamani, «NAVEGACIÓN AUTÓNOMA BASADA EN MANIOBRAS BAJO,» Ambato, 2019.
- [4] G. Serranoli, «Marker-Less Monitoring Protocol to Analyze,» p. 240, 2020.
- [5] D. M. Torres Rondon y C. K. Ruiz Henao, «Development Of A Multi-Profile Artificial Vision System For The Sports Analysis Of Volleybal,» *R/INN*, vol. I, pp. 1-13, 2021.
- [6] M. Corella, «SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE RODILLAS,» Ambato, 2022.
- [7] M. Mena, «Statista,» 2 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/grafico/24960/porcentaje-de-encuestados-que-usan-su-bicicleta-como-medio-de-transporte-dos-o-mas-veces-por-semana/>. [Último acceso: 3 Julio 2022].
- [8] M. Transporte, «obraspublicas,» Agosto 2012. [En línea]. Available: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/31-08-2012_Especial_Ciclovias.pdf.
- [9] A. Díaz, «Quito incrementó 700 por ciento el uso de la bicicleta en el contexto de la pandemia,» *Edición Médica*, pp. 1-3, 03 Julio 2022.
- [10] SURA, «Segurossura,» 27 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://segurossura.com/co/blog/movilidad/que-es-el-bike-fitting-y-para-que-sirve/#:~:text=Pensado%20para%20ciclistas%20profesionales%20y,que%20hace%20el%20bike%20fitting..>

- [11] V. Vargas, «Charla con un duro de la bici de ruta, el deporte de moda,» *El tiempo*, pp. 1-3, 4 Marzo 2017.
- [12] J. Reyero, «elgurudelabici,» 27 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://elgurudelabici.com/ergonomia-ajustes-basicos-de-la-bicicleta/>.
- [13] A. Serra, «Sport.es,» 8 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.sport.es/bicio/distancia-entre-sillin-y-manillar-calculo/>.
- [14] F. S. Rodríguez, «Ajustes de la bicicleta en relación con las lesiones y molestias en el ciclista,» Buenos Aires, 2020.
- [15] C. Christopher, «Terra Ecología Práctica,» 30 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.terra.org/categorias/articulos/ergonomia-en-la-bicicleta-la-importancia-de-los-componentes>. [Último acceso: 16 Agosto 2022].
- [16] J. Ruiz, «Tuvalum,» 23 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://tuvalum.com/blog/lesiones-mala-postura-bicicleta/>. [Último acceso: 18 Octubre 2022].
- [17] j. Soriano, «Fisio Jordi Soriano,» 14 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.fisiojordisoriano.com/author/fisio-jordi-soriano/>. [Último acceso: 18 Octubre 2022].
- [18] J. Blasco, «Ciclismo y Rendimiento,» 09 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.ciclismoyrendimiento.com/como-eliminar-el-dolor-de-espalda/>. [Último acceso: 18 Octubre 2022].
- [19] F. Ahmed, P. Padma Polash y M. Gavrilova, «Kinect-Based Gait Recognition Using Sequence of the Most Relevant Joint Relative Angles,» *Journal of WSCG*, Calgary, 2016.
- [20] F. J. GESÉ BORDILS, «ESTUDIO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN UNA BIELA DE BICICLETA,» Madrid, 2013.
- [21] J. Weineck, *Anatomía deportiva*, Bilingen: Paidotribo, 2014.
- [22] P. Burt, *Bike Fit 2nd Edition: : Optimise Your Bike Position for High Performance and Injury Avoidance*, Bloomsbury USA, 2022.

- [23] O. Gatti, G. Martiniani y P. Gaffurini, «Introduction to cycling biomchanics and bikefitting,» bikenomist, Italy, 2017.
- [24] J. Carranco Zumba, D. Salgado Castillo, C. Zeas Carrillo y O. Alvarado Cando, «SISTEMA DE DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE POSTURA DE CICLISTAS, BIKE FIT, MEDIANTE KINEC V.2 Y REDES NEURONALES,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2016.
- [25] K. P. Sánchez Melo, «Desarrollo de un sistema bikefit de bajo costo mediante un análisis biomecánico,» bogotá, 2021.
- [26] L. Rouhiainen, Inteligencia artificial, Madrid: Alienta Editorial, 2018.
- [27] UNIR, «La visión artificial: una revolución en la Industria 4.0,» *UNIR REVISTA*, 2021.
- [28] Etitudela, «CIP Etitudela,» [En línea]. Available: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>. [Último acceso: 01 05 2023].
- [29] R. Zhang, Z. Zhu, P. Li, R. Wu, C. Guo, G. Huang y H. Xia, «Exploiting Offset-guided Network for Pose Estimation and Tracking,» vol. 1, pp. 32-12, 2019.
- [30] J. A. Cortés Osorio, W. Ardila Urueña y J. A. Mendoza Vargas, «TÉCNICAS ALTERNATIVA PARA LA CONVERSIÓN DE IMÁGENES A COLOR A ESCALA DE GRISES EN EL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES,» *Scientia et Technica*, vol. 1, nº 47, pp. 207-212, 2011.
- [31] J. . G. FLORES ERAÑA, «SIN TESIS DIGITAL DE COLOR UTILIZANDO TONOS DE GRIS,» Potosi, 2009.
- [32] D. Guzmán Reyes, «Bases de datos distribuidas con una solución LAMP (Linux, Apache, MySQL y PHP),» Pachuca de Soto Hidalgo, 2006.
- [33] NVIDIA, «NVIDIA DEVELOPER,» [En línea]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [34] MCIelectronics, «raspberrypi.cl,» [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2022].

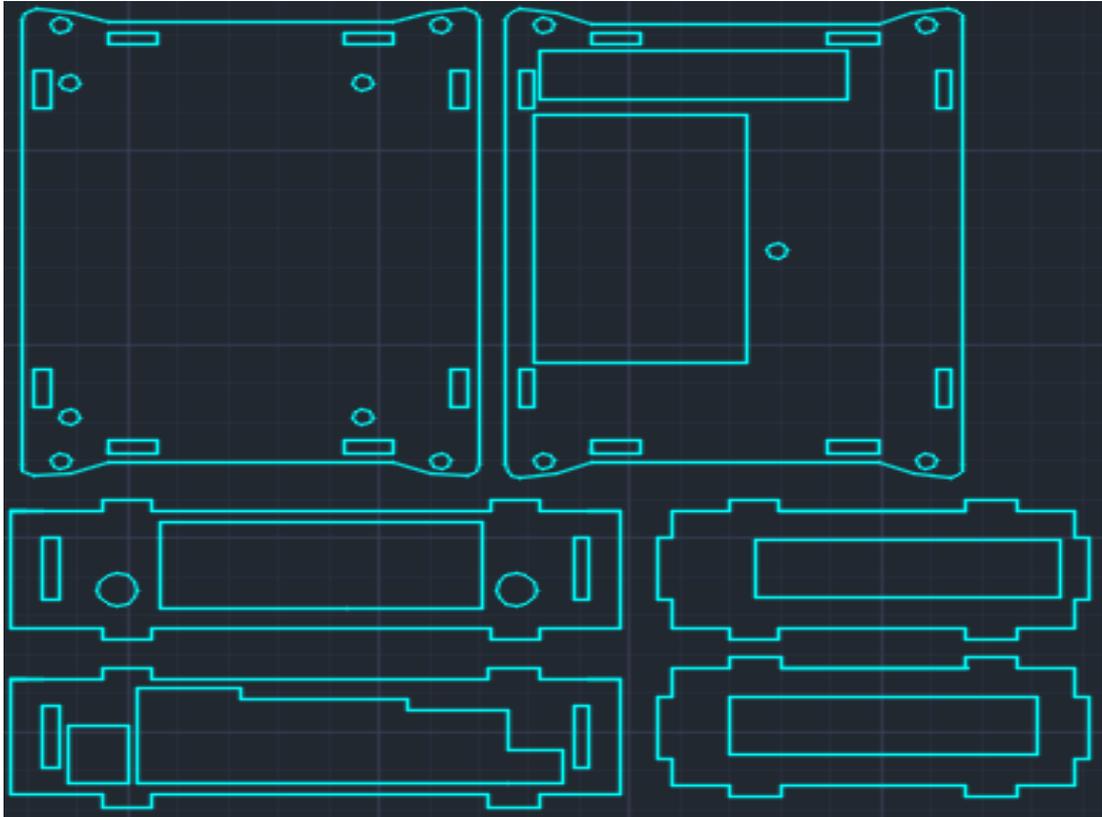
- [35] gigabyte, «gigabyte,» [En línea]. Available: <https://www.gigabyte.com/ar/MicroSite/-25/index.html#1>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [36] B. R. Palacios Sánchez, «Sistema electrónico de monitoreo para la detección y corrección de posturas en ejercicios de levantamiento de potencia para deportistas,» Ambato, 2021.
- [37] E. Montijano Muñoz, «zagan.unizar,» [En línea]. Available: https://zagan.unizar.es/record/12845/files/TAZ-PFC-2013-649_ANE.pdf. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [38] stereolabs, «stereolabs,» [En línea]. Available: <https://www.stereolabs.com/zed-2/>. [Último acceso: 07 Diciembre 2022].
- [39] G. Fernández Fernández, «Elementos de sistemas operativos, de representación de la información y de procesadores hardware y software,» Creative Commons, Madrid, 2015.
- [40] Bicis Ec, «Bicis Ec,» [En línea]. Available: <https://www.bicis.ec/collections/rodillos-para-bicicleta>. [Último acceso: 02 01 2023].
- [41] ThePersonTube, «marchasyrutas,» [En línea]. Available: <https://www.marchasyrutas.es/blog/modalidades-del-ciclismo/>. [Último acceso: 24 Enero 2023].
- [42] J. Gómez Puerto, M. Silva Grigoletto, . H. Viana Montaner y J. Alvero Cruz, «La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo,» *Andaluz de Medicina del Deporte*, vol. I, nº 2, pp. 73-81, 2008.
- [43] opencv, «opencv.org,» [En línea]. Available: <https://opencv.org/about/>. [Último acceso 26 Enero 2023].
- [44] MediaPipe, «MediaPipe,» [En línea]. Available: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose>. [Último acceso: 26 Enero 2023].
- [45] V. Bazarevsky y I. Grishchenko, «Google Research,» 13 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://ai.googleblog.com/2020/08/on-device-real-time-body-pose-tracking.html>. [Último acceso: 26 Enero 2023].

- [46] G. Solano, «OMES,» 04 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://omes-va.com/rgb/>. [Último acceso: 26 Enero 2023].
- [47] G. Solano, «OMES,» 30 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://omes-va.com/estimacion-postura-mediapipe-python/>. [Último acceso: 27 Enero 2023].
- [48] C. Gutiérrez Aranzeta, «Introducción a la metodología experimental,» de *METODOLOGIA EXPERIMENTAL*, vol. II, Mexico, LIMUSA, S.A., 2005, pp. 33-35.
- [49] J. L. Jarrín Chacón, «SISTEMA DE DETECCIÓN DEL ÁNGULO ARTICULAR EN LOS,» Ibarra, 2020.
- [50] M. d. Trabajo, «Salarios mínimos sectoriales 2023,» Quito, 2023.

ANEXOS

ANEXO A

Esquema de la carcasa protectora del kit de desarrollo Jetson Nano



Case ensamblado para el kit de desarrollo Jetson Nano



ANEXO B

Registro de datos del ciclista

Ingresar Datos del Ciclista

Nombre:

Cédula:

Edad:

Peso (Kg):

Estatura (cm):

Fecha (AAAA-MM-DD):

Tipo de Bicicleta:

Modalidad:

Rin de Llantas:

Distancia Biela-Sillín (cm):

Dist. Manillar-Sillín (cm):

Reporte inicial del ciclista

----- Datos de Usuario - Reporte Inicial-----

Usuario: Ismael_Guato

Cédula: 1850627173

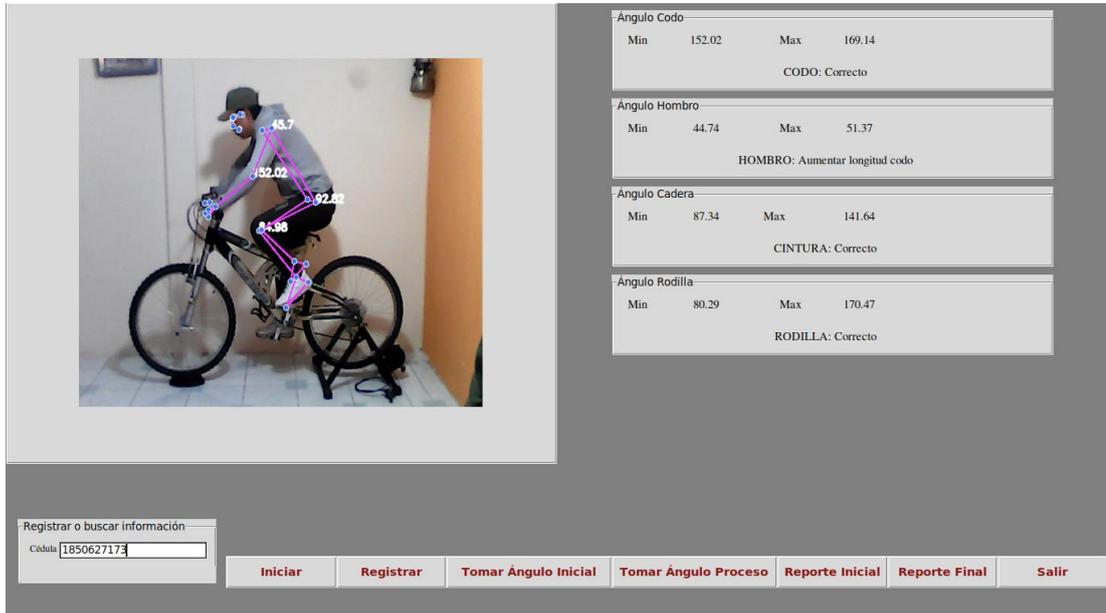
Edad: 23 Peso: 54 Estatura: 162 Fecha: 2023-02-07

Tipo: Montanera Mod: Ruta Rin: 26

Dis B-S: 61 Dis M-S: 50

Cedula	AC	IAC	N	AC Estado	AH	M	AH	M	AH Estado	ACa	Mai	ACa	ACa Estado	AR	Ma	AR	N	AR Estado	
185062;168	165	CODO	Disminuir	longitud_manub	51	47	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	131	86	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	153	83	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;168	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	53	49	HOMBRO	Correcto		129	86	CINTURA	Correcto		124	77	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	53	HOMBRO	Correcto		138	133	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	158	137	RODILLA	Correcto	
185062;170	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	49	HOMBRO	Correcto		133	86	CINTURA	Correcto		139	79	RODILLA	Correcto	
185062;170	165	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	48	HOMBRO	Correcto		138	128	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	162	149	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	50	49	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	116	88	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	134	80	RODILLA	Correcto	
185062;170	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	48	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	136	98	CINTURA	Correcto		150	79	RODILLA	Correcto	
185062;170	165	CODO	Disminuir	longitud_manub	53	49	HOMBRO	Correcto		139	117	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	162	133	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	50	48	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	111	87	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	124	79	RODILLA	Correcto	
185062;167	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	50	48	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	108	88	CINTURA	Correcto		89	79	RODILLA	Correcto	
185062;169	169	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	52	HOMBRO	Correcto		138	112	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	160	93	RODILLA	Correcto	
185062;169	168	CODO	Disminuir	longitud_manub	52	49	HOMBRO	Correcto		138	100	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	163	107	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	50	49	HOMBRO	Correcto		96	88	CINTURA	Correcto		98	80	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	49	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	135	100	CINTURA	Correcto		146	81	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	49	HOMBRO	Correcto		140	130	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	166	149	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	49	49	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	126	94	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	147	100	RODILLA	Correcto	
185062;169	168	CODO	Disminuir	longitud_manub	51	48	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	120	86	CINTURA	Correcto		102	77	RODILLA	Correcto	
185062;169	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	52	50	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	120	85	CINTURA	Correcto		101	78	RODILLA	Correcto	
185062;168	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	53	50	HOMBRO	Correcto		139	128	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	163	116	RODILLA	Correcto	
185062;168	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	50	48	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	130	86	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	156	80	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;171	165	CODO	Disminuir	longitud_manub	55	47	HOMBRO	Aumentar	longitud_codo	138	85	CINTURA	Correcto		168	79	RODILLA	Correcto	
185062;168	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	53	51	HOMBRO	Correcto		131	85	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	160	82	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;170	167	CODO	Disminuir	longitud_manub	52	52	HOMBRO	Correcto		114	87	CINTURA	Correcto		95	80	RODILLA	Correcto	
185062;170	166	CODO	Disminuir	longitud_manub	55	52	HOMBRO	Correcto		138	118	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	163	100	RODILLA	Correcto	
185062;169	164	CODO	Disminuir	longitud_manub	54	50	HOMBRO	Correcto		140	83	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	168	80	RODILLA	Bajar	altura_del_sillin
185062;168	165	CODO	Correcto		55	53	HOMBRO	Correcto		129	125	CINTURA	Disminuir	altura_manillar	124	119	RODILLA	Correcto	Regresar

Interfaz del análisis



-Angulo Codo-			
Min	152.02	Max	169.14
CODO: Correcto			

-Angulo Hombro-			
Min	44.74	Max	51.37
HOMBRO: Aumentar longitud codo			

-Angulo Cadera-			
Min	87.34	Max	141.64
CINTURA: Correcto			

-Angulo Rodilla-			
Min	80.29	Max	170.47
RODILLA: Correcto			

Registrar o buscar información
Cédula:

Iniciar **Registrar** **Tomar Angulo Inicial** **Tomar Angulo Proceso** **Reporte Inicial** **Reporte Final** **Salir**

Ajustes a modificar en la bicicleta



Reporte final del ciclista

----- Datos de Usuario - Reporte Final-----

Usuario: Ismael_Guato

Cedula: 1850627173

Edad: 23 Peso: 54 Estatura: 162 Fecha: 2023-02-07

Tipo: Montanera Mod: Ruta Rin: 26

Dis B-S: 61 Dis M-s: 50

CeduAC	MAC M	AC Estado	AH MAH h	AH Estado	ACa ACa	ACa Estado	AR Max	AR Min	AR Estado
18: 167	165	CODO_Correcto	51 50	HOMBRO_Correcto	137 136	CINTURA_Correcto	143	142	RODILLA_Correcto
18: 165	165	CODO_Correcto	51 50	HOMBRO_Correcto	137 137	CINTURA_Correcto	143	143	RODILLA_Correcto
18: 165	164	CODO_Correcto	51 50	HOMBRO_Correcto	137 137	CINTURA_Correcto	143	143	RODILLA_Correcto
18: 164	164	CODO_Correcto	50 50	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	137 137	CINTURA_Correcto	145	143	RODILLA_Correcto
18: 164	160	CODO_Correcto	51 45	HOMBRO_Correcto	138 114	CINTURA_Correcto	163	131	RODILLA_Correcto
18: 162	160	CODO_Correcto	45 44	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	111 100	CINTURA_Correcto	127	108	RODILLA_Correcto
18: 166	163	CODO_Correcto	48 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	97 87	CINTURA_Correcto	103	79	RODILLA_Correcto
18: 167	161	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	50 47	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	130 92	CINTURA_Correcto	124	77	RODILLA_Correcto
18: 166	160	CODO_Correcto	52 46	HOMBRO_Correcto	144 96	CINTURA_Disminuir_altura_manill	172	102	RODILLA_Correcto
18: 165	164	CODO_Correcto	47 47	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	91 84	CINTURA_Correcto	96	79	RODILLA_Correcto
18: 164	161	CODO_Correcto	47 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	101 86	CINTURA_Correcto	82	78	RODILLA_Correcto
18: 164	158	CODO_Correcto	49 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	140 103	CINTURA_Correcto	173	84	RODILLA_Correcto
18: 158	157	CODO_Correcto	47 47	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	132 128	CINTURA_Disminuir_altura_manill	159	156	RODILLA_Bajar_altura_del
18: 157	153	CODO_Correcto	47 43	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	125 84	CINTURA_Disminuir_altura_manill	152	84	RODILLA_Correcto
18: 157	157	CODO_Correcto	46 45	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	84 84	CINTURA_Correcto	82	82	RODILLA_Correcto
18: 168	158	CODO_Correcto	50 44	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	140 84	CINTURA_Correcto	161	78	RODILLA_Correcto
18: 165	164	CODO_Correcto	45 43	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	107 106	CINTURA_Correcto	85	84	RODILLA_Correcto
18: 169	156	CODO_Correcto	46 43	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	110 103	CINTURA_Correcto	85	83	RODILLA_Correcto
18: 163	162	CODO_Correcto	45 45	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	103 103	CINTURA_Correcto	84	84	RODILLA_Correcto
18: 171	166	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	49 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	142 90	CINTURA_Correcto	161	79	RODILLA_Correcto
18: 170	168	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	49 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	121 87	CINTURA_Correcto	98	78	RODILLA_Correcto
18: 171	170	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	50 49	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	139 127	CINTURA_Disminuir_altura_manill	151	110	RODILLA_Correcto
18: 172	171	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	50 49	HOMBRO_Correcto	140 138	CINTURA_Disminuir_altura_manill	158	151	RODILLA_Correcto
18: 170	166	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	49 47	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	141 90	CINTURA_Disminuir_altura_manill	163	84	RODILLA_Bajar_altura_del
18: 170	167	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	48 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	126 91	CINTURA_Correcto	105	82	RC
18: 171	168	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	49 46	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	144 128	CINTURA_Disminuir_altura_manill	164	108	RC Regresar
18: 171	164	CODO_Disminuir_longitud_manubrio	54 47	HOMBRO_Aumentar_longitud_codo	144 83	CINTURA_Disminuir_altura_manill	174	74	RODILLA_Bajar_altura_del

Antes y después del ciclista



ANEXO C

Medición de los ángulos de forma manual con el goniómetro



ANEXO D

Algoritmo de detección BlazePose en el lenguaje Python

```
cap = cv2.VideoCapture(0)

# Setup mediapipe instance
# deteccion=confianza de deteccion, tracking=confianza de
movimiento
with mp_pose.Pose(min_detection_confidence=0.5,
min_tracking_confidence=0.5) as pose:
    # Ciclo con la captura
    while cap.isOpened():
        # Leemos la captura, ret=variable de retorno,
        ret, frame = cap.read()

        # Recolor image to RGB para reordenar la matrices de
colores
        image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        image.flags.writeable = False

        # Realiza la deteccion en una matriz
        results = pose.process(image)

        # Recolor back to BGR para que procese opencv
        image.flags.writeable = True
        image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)

        # Extraer puntos de referencia
        try:
            controlProceso = controlProceso+1

            landmarks = results.pose_landmarks.landmark

            # Get coordinates 3 puntos para obtener el ángulo
            # Puntos para angulo brazo
            shoulder =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].x,
landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].y]

            elbow =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].x,
landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].y]

            wrist =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST.value].x,
landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST.value].y]
```

```

        # puntos para angulo hombro
        hip =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].x,
        landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].y
]

        # puntos para angulo en cadera
        knee =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value].x,
        landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value]
.y]

        # puntos para angulo en rodilla
        ankle =
[landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.value].x,
        landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.valu
e].y]

        # Calculate angle
        angle_elbow = round(calculate_angle(shoulder, elbow,
wrist), 2)

        angle_shoulder = round(
            calculate_angle(hip, shoulder, elbow), 2)
        angle_hip = round(calculate_angle(knee, hip, shoulder),
2)

        angle_knee = round(calculate_angle(ankle, knee, hip),
2)

        # Visualize angle codo
        cv2.putText(image, str(angle_elbow),
                    tuple(np.multiply(elbow, [640,
480])).astype(int)),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255,
                    255, 255),
2, cv2.LINE_AA
                    )

        # Angulo hombro
        cv2.putText(image, str(angle_shoulder),
                    tuple(np.multiply(
                    shoulder, [640, 480])).astype(int)),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255,
                    255, 255),
2, cv2.LINE_AA
                    )

        # Angulo cadera
        cv2.putText(image, str(angle_hip),
                    tuple(np.multiply(hip, [640,
480])).astype(int)),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255,

```

```

2, cv2.LINE_AA
                                )
                                # Angulo rodilla
                                cv2.putText(image, str(angle_knee),
                                tuple(np.multiply(knee, [640,
480])).astype(int)),
                                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255,
                                255, 255),
2, cv2.LINE_AA
                                )
                                # Condiciones de angulos
                                # codo
                                if controlProceso == 1:
                                    minAC = angle_elbow
                                    maxAC = angle_elbow
                                    minAH = angle_shoulder
                                    maxAH = angle_shoulder
                                    minACa = angle_hip
                                    maxACa = angle_hip
                                    minAR = angle_knee
                                    maxAR = angle_knee
                                else:
                                    if angle_elbow > maxAC:
                                        maxAC = angle_elbow
                                    if angle_elbow < minAC:
                                        minAC = angle_elbow
                                    if angle_shoulder > maxAH:
                                        maxAH = angle_shoulder
                                    if angle_shoulder < minAH:
                                        minAH = angle_shoulder
                                    if angle_hip > maxACa:
                                        maxACa = angle_hip
                                    if angle_hip < minACa:
                                        minACa = angle_hip
                                    if angle_knee > maxAR:
                                        maxAR = angle_knee
                                    if angle_knee < minAR:
                                        minAR = angle_knee

                                if angle_elbow > 165:
                                    codo = "CODO: Disminuir longitud manubrio"
                                    # print(codo)
                                if angle_elbow < 145:
                                    codo = "CODO: Aumentar longitud manubrio"
                                    # print(codo)
                                if angle_elbow < 165 and angle_elbow > 145:
                                    codo = "CODO: Correcto"

```

```

        # print(codo)

# hombro
if angle_shoulder > 90:
    hombro = "HOMBRO: Disminuir longitud codo"
    # print(hombro)
if angle_shoulder < 80:
    hombro = "HOMBRO: Aumentar longitud codo"
    # print(hombro)
if angle_shoulder < 90 and angle_shoulder > 80:
    hombro = "HOMBRO: Correcto"
    # print(hombro)

# cintura
if angle_hip > 110:
    cintura = "CINTURA: Disminuir altura manillar"
    # print(cintura)
if angle_hip < 50:
    cintura = "CINTURA: Aumentar altura manillar"
    # print(cintura)
if angle_hip < 110 and angle_hip > 50:
    cintura = "CINTURA: Correcto"
    # print(cintura)

# rodilla
if angle_knee > 155:
    rodilla = "RODILLA: Bajar altura del sillin"
    # print(rodilla)
if angle_knee < 70:
    rodilla = "RODILLA: Subir altura del sillin"
    # print(rodilla)
if angle_knee < 155 and angle_knee > 70:
    rodilla = "RODILLA: Correcto"
    # print(rodilla)

# print(procesoIniciar)
if procesoIniciar == 1:
    entMinAC.config(text=str(minAC))
    entMaxAC.config(text=str(maxAC))
    entMinAH.config(text=str(minAH))
    entMaxAH.config(text=str(maxAH))
    entMinACa.config(text=str(minACa))
    entMaxACa.config(text=str(maxACa))
    entMinAR.config(text=str(minAR))
    entMaxAR.config(text=str(maxAR))
    lblEstadoAC.config(text=str(codo))
    lblEstadoAH.config(text=str(hombro))
    lblEstadoACa.config(text=str(cintura))

```

```

        lblEstadoAR.config(text=str(rodilla))
    except:
        pass

    # Render detections
    # Dibuja en el feed, resultados numericos de las
    posiciones, puntos conectados.
    mp_drawing.draw_landmarks(image, results.pose_landmarks,
mp_pose.POSE_CONNECTIONS,
                                # Caracteristicas de dibujo
articulacion; color, grosor, radio
                                mp_drawing.DrawingSpec(
                                    color=(245, 117, 66),
thickness=2, circle_radius=2),
                                # Caracteristicas de dibujo
conexión; color, grosor, radio
                                mp_drawing.DrawingSpec(
                                    color=(245, 66, 230),
thickness=2, circle_radius=2)
                                )

    # Muestra la ventana emergente
    # cv2.imshow('Estimacion de poses', image)
    # cv2.imwrite("grado.png", image)
    # blue, green, red = cv2.split(img)
    # cv2.merge((red, green, blue))
    imageRGB = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    im = Image.fromarray(imageRGB)
    im = im.resize((500, 435))

    # imgCam2 = Image.open('grado.png')
    # imgCam2 = imgCam2.resize((250, 150))
    imgCam2 = ImageTk.PhotoImage(im)
    lblImgCamVi.config(image=imgCam2)
    # lblImgCamVi.image = imgCam2

    # Sale del bucle
    if cv2.waitKey(10) & 0xFF == ord('q'):
        break

# Libera la cámara
cap.release()

```

ANEXO E

Archivos de PHP; Conexión, datos, Registro, Registro Datos, Registro Inicial, respectivamente.

```
<?php
$servername = "localhost";
$dbname = "deteccion";
$username = "root";
$password = "";

$conn = mysqli_connect($servername,$username,$password,$dbname);
mysqli = new mysqli($servername,$username,$password,$dbname);
mysqli->set_charset("utf8");
if(!$mysqli){

    die("Error ".mysqli_connect_error());
}
?>
```

```
<?php
include 'conexion.php';
$json = file_get_contents('php://input');
$array=[];
$cedula = $_GET['cedula'];
$sql = "select U.*,I.*
FROM ajustesvi I, usuario U WHERE U.cedula=I.IDusuario AND
I.IDusuario=$cedula ORDER BY I.id DESC";

if ($result = $mysqli->query($sql)){

    while($row = $result->fetch_assoc()) {

        $array[] = $row;
    }

    echo json_encode($array);
}
else{
    echo json_encode(array('mens'=>"no hay datos"+$sql));
}
mysqli->close();
?>
```

```

<?php
include 'conexion.php';
$json = file_get_contents('php://input');
$obj = json_decode($json,true);
$cedula = $_GET['cedula'];
$acmax = $_GET['acmax'];
$acmin = $_GET['acmin'];
$e_codo = $_GET['e_codo'];
$ahmax = $_GET['ahmax'];
$ahmin = $_GET['ahmin'];
$e_hombro = $_GET['e_hombro'];
$akmax = $_GET['akmax'];
$akmin = $_GET['akmin'];
$e_cadera = $_GET['e_cadera'];
$armax = $_GET['armax'];
$armin = $_GET['armin'];
$e_rodilla = $_GET['e_rodilla'];

$sql = "INSERT INTO ajustesvi(IDusuario, acmax, acmin, e_codo, ahmax,
ahmin, e_hombro, akmax, akmin, e_cadera, armax, armin, e_rodilla)
VALUES($cedula,$acmax,$acmin, $e_codo, $ahmax, $ahmin, $e_hombro,
$akmax, $akmin, $e_cadera, $armax, $armin, $e_rodilla)";

try {
    if($mysqli->multi_query($sql) === TRUE){
        echo json_encode(array('ok' => true, 'mensaje' => "Registro
Correcto"));
    }else{
        echo json_encode(array('ok'=> false, 'errorMsg' =>$sql)) ;
    }
} catch (\Throwable $th) {

    echo json_encode("Error"+$sql) ;
}
$mysqli->close();
?>

```

```

<?php
include 'conexion.php';
$json = file_get_contents('php://input');
$obj = json_decode($json,true);

```

```

$nombre = $_GET['nombre'];
$cedula = $_GET['cedula'];
$edad = $_GET['edad'];
$peso = $_GET['peso'];
$estatura = $_GET['estatura'];
$fecha = $_GET['fecha'];
$tbicicleta = $_GET['tbicicleta'];
$modalidad = $_GET['modalidad'];
$rin = $_GET['rin'];
$distanciaS = $_GET['distanciaS'];
$distanciaM = $_GET['distanciaM'];

$sql = "INSERT INTO usuario(Nombres, Edad, Cedula, Peso, Estatura,
Fecha, TBicicleta, Modalidad, Rin, DistanciaS, DistanciaM)
VALUES($nombre,$edad,$cedula,$peso,$estatura,$fecha,$tbicicleta,$modali
dad, $rin, $distanciaS, $distanciaM)";

try {
    if($mysqli->multi_query($sql) === TRUE){
        echo json_encode(array('ok' => true, 'mensaje' => "Registro
Correcto"));
    }else{
        echo json_encode(array('ok'=> false, 'errorMsg' =>$sql));
    }
} catch (\Throwable $th) {

    echo json_encode("Error"+$sql);
}
$mysqli->close();
?>

```

```

<?php
include 'conexion.php';
$json = file_get_contents('php://input');
$obj = json_decode($json,true);
$cedula = $_GET['cedula'];
$acmax = $_GET['acmax'];
$acmin = $_GET['acmin'];
$e_codo = $_GET['e_codo'];
$ahmax = $_GET['ahmax'];
$ahmin = $_GET['ahmin'];
$e_hombro = $_GET['e_hombro'];

```

```

$akmax = $_GET['akmax'];
$akmin = $_GET['akmin'];
$e_cadera = $_GET['e_cadera'];
$armax = $_GET['armax'];
$armin = $_GET['armin'];
$e_rodilla = $_GET['e_rodilla'];

$sql = "INSERT INTO ajustesviinicial(IDusuario, acmax, acmin, e_codo,
ahmax, ahmin, e_hombro, akmax, akmin, e_cadera, armax, armin,
e_rodilla)
VALUES($cedula,$acmax,$acmin, $e_codo, $ahmax, $ahmin, $e_hombro,
$akmax, $akmin, $e_cadera, $armax, $armin, $e_rodilla);";

try {
    if($mysqli->multi_query($sql) === TRUE){
        echo json_encode(array('ok' => true, 'mensaje' => "Registro
Correcto")); ;

    }else{
        echo json_encode(array('ok'=> false, 'errorMsg' =>$sql)) ;

    }
} catch (\Throwable $th) {

    echo json_encode("Error"+$sql) ;
}
$mysqli->close();
?>

```