



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA
E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES**

Tema:

**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN
ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE
RODILLAS**

Trabajo de Titulación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Electrónicos

AUTOR: Marcelo Leonardo Corella Moncada

TUTOR: Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova

Ambato – Ecuador

septiembre - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE RODILLAS, desarrollado bajo la modalidad de Proyecto de Investigación por el señor Marcelo Leonardo Corella Moncada, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, 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 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, septiembre 2022

Ing. Edgar Patricio Córdova Córdova

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE RODILLAS, es absolutamente original, autentico y personal. En tal virtud, el contenido efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, septiembre 2022

Marcelo Leonardo Corella Moncada

C.I: 1803426608

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Marcelo Leonardo Corella Moncada, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE RODILLAS, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, septiembre 2022

Ing. Carlos Sánchez, Mg.

PRESIDENTE SUBROGANTE DEL TRIBUNAL

Ing. Santiago Altamirano

PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Jaime Guilcapi

PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación 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, septiembre 2022

Marcelo Leonardo Corella Moncada

C.I: 1803426608

AUTOR

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	15
1. MARCO TEÓRICO.....	15
1.1. Tema de investigación.....	15
1.2. Antecedentes Investigativos	15
1.2.1 Contextualización del problema	17
1.2.2 Fundamentación teórica.....	18
Elementos básicos del ciclismo	18
La otra cara del ciclismo	18
Dolor de rodillas.....	19
Lesiones de Rodillas.....	19
Condromalacia rotuliana	19
Tendinopatía rotuliana.....	20
Tendinitis de la Pata de Ganso	20
Pasos al adquirir una bicicleta	20
BikeFitting	21
Cuándo se debe aplicar un BikeFitting	22
Fases en el BikeFitting	22
Posición de la traba	22
¿Por qué no se hace Fitting sin trabas?	22
Sillín.....	23
Talla del sillín.....	23
Altura del sillín.....	23
Errores en el ajuste de la altura del sillín	25
Inclinación del sillín	25
Retroceso del sillín	25

Goniómetro	26
Protocolos y conectividad de IoT (Internet of Things)	26
Puertas de enlace en IoT	26
Protocolos de comunicación de los dispositivos IoT con la red	26
Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport)	27
Protocolo CoAP (Constrained Application Protocol)	28
Protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol)	28
Comunicación Inalámbrica	28
NFC (Near Field Communication)	28
RFID (Radio Frequency Identification)	28
ZIGBEE	28
WIFI	29
BLUETOOTH	29
CELULAR	29
LoRaWAN	30
Servidor Web	31
1.3. Objetivos	31
1.3.1. Objetivo general	31
1.3.2. Objetivos específicos	31
CAPÍTULO II	32
2. METODOLOGÍA	32
2.1 Materiales	32
2.2 Métodos	32
2.2.1 Modalidad de Investigación	32
2.2.2 Recolección de Información	32
2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos	33
CAPÍTULO III	34
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Análisis y discusión de los resultados	34
3.1.1 Desarrollo de la propuesta	34
Diagrama de bloque del sistema electrónico	34
Arquitectura del sistema electrónico de medición angular	35
Análisis de los sistemas de medición angular en ciclistas	35
Cycling 3DMA	35
Sistema Biomecánico Retul	37
Bikefitting con sistema 2d y láser	38

Requerimientos del sistema	46
Requerimientos de hardware	46
Requerimientos de software	47
Selección de elementos	48
Tarjeta de control	48
Sensores para detección de ángulos.....	49
Comunicación inalámbrica	50
Circuito del sistema electrónico	51
Etapas de Programación.....	52
Cálculo para la obtención del ángulo.....	52
Diagrama de flujo de la aplicación	54
Interfaz de la aplicación móvil	55
Interfaz del servidor web	57
Alimentación del circuito electrónico.....	59
Montaje del circuito	61
Presentación del Prototipo.....	62
Evaluación de prototipo.....	63
Presupuesto de construcción del prototipo	72
CAPÍTULO IV	74
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1 Conclusiones	74
4.2 Recomendaciones.....	74
Bibliografía	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa entre Tecnologías Inalámbricas para IoT	30
Tabla 2 Parámetros de hardware presentes en el proyecto	46
Tabla 3 Características técnicas requeridas en el desarrollo del proyecto	47
Tabla 4 Cuadro comparativo de las tarjetas de control	48
Tabla 5 Cuadro comparativo de los sensores giroscopios acelerómetros	49
Tabla 6 Cuadro comparativo de las tarjetas para comunicación inalámbrica	50
Tabla 7 Consumo Energético del Sistema Electrónico	59
Tabla 8 Muestras de las mediciones de ángulo de rodilla.....	64
Tabla 9 Presupuesto del sistema electrónico	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Ulceración condral con espesores del cartílago. Mora R. [12].....	19
Ilustración 2 Inflamación del tendón rotuliano. Bonilla P. [13]	20
Ilustración 3 Sesión de BikeFitting en The Cyclist Center Quito. Araujo R. [14]	21
Ilustración 4 Medición de la longitud del sillín. Alcalde Y. [15].....	23
Ilustración 5 Punto medio del sillín. Alcalde Y. [15]	24
Ilustración 6 Medición de longitud entre la biela y el sillín. Alcalde Y. [15]	24
Ilustración 7 Método de la plomada para la comprobación del avance de la cala. Martínez P. [17]	25
Ilustración 8 Método Holmes utilizando goniómetro. Ibense R. [19].....	26
Ilustración 9 Modo de funcionamiento de MQTT.	27
Ilustración 10 Diagrama de flujo general del sistema electrónico.	34
Ilustración 11 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.	35
Ilustración 12 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.	36
Ilustración 13 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.	36
Ilustración 14 Anclaje de la bicicleta al rodillo.	38
Ilustración 15 Diálogo con el Fitter antes de la sesión.	39
Ilustración 16 Primera grabación del pedaleo.	39
Ilustración 17 Medición del ángulo de la rodilla con el goniómetro.....	40
Ilustración 18 Ángulo de la rodilla con el que se llegó al estudio.	40
Ilustración 19 Láser para alineación de pie y rodilla.	41
Ilustración 20 Ubicación de los metatarsos.	42
Ilustración 21 Análisis baropodométrico.....	42
Ilustración 22 Revisión de errores en el pedaleo.	43
Ilustración 23 Ajuste de la inclinación y altura del sillín.....	43
Ilustración 24 Ajuste del volante y la potencia.....	44
Ilustración 25 Ajuste de las manetas del volante.....	45
Ilustración 26 Comparación del antes y después de la sesión de Bikefitting.	45
Ilustración 27 Esquema del sistema electrónico.	52
Ilustración 28 Diagrama de funcionamiento de la aplicación móvil.	54
Ilustración 29 Ventana principal de la aplicación móvil.....	55
Ilustración 30 Ventana de registro en la aplicación móvil.....	56
Ilustración 31 Ventana de inicio de sesión en la aplicación móvil.	56
Ilustración 32 Ventana de visualización del ángulo de la rodilla.....	57

Ilustración 33 Ventana de inicio de sesión.	58
Ilustración 34 Ventana de registro de un nuevo usuario.	58
Ilustración 35 Ventana para activación del usuario.	59
Ilustración 36 Registro de código recibido en el correo del usuario.	59
Ilustración 37 Diagrama del circuito del sistema electrónico.	61
Ilustración 38 Brace para ligamento de rodilla.	62
Ilustración 39 Rodillo estático de entrenamiento.	62
Ilustración 40 Bicicleta fijada al rodillo estático.	63
Ilustración 41 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.	63
Ilustración 42 Medición de ángulo de rodilla en el punto más alejado.	64
Ilustración 43 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.	71
Ilustración 44 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.	72

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de investigación tiene como finalidad la implementación de un Sistema Electrónico que permita conocer la altura correcta del sillín en las bicicletas, brindando comodidad, rendimiento y evitando lesiones de rodilla en ciclistas amateur.

Debido al poco conocimiento de las personas, del casi nulo asesoramiento, se consideró el llevar a cabo este proyecto, al ser las rodillas la parte más afectada en el pedaleo, se las toma en cuenta como una variable importante a medir con el sistema electrónico.

Para dar cumplimiento al objetivo se indaga los sistemas de BikeFitting que ocupan los ciclistas profesionales, seguido las herramientas con las que adecuan el sillín, buscando en todo momento la comodidad del ciclista y los ángulos óptimos para el pedaleo.

Con los parámetros indicados se procede a diseñar un circuito que se acople a la pierna del ciclista, y permita tener un monitoreo para conocer si los ángulos que forma su pierna con el movimiento son los recomendados mediante estudios biomecánicos. La idea de este proyecto es primero incentivar a los ciclistas amateur a que conozcan cómo es que su bicicleta tiene que estar ligada respecto a su anatomía, y que si el presupuesto no les permite realizarse un BikeFitting completo puedan ocupar el sistema de medición angular para que su sillín si esté a su altura.

Como parte final, en base a un estudio profesional previamente realizado, se realizan las pruebas de funcionamiento para calibrar el sistema y se gestiona la aplicación que servirá como interfaz para comunicar al ciclista el ángulo que genera su pedaleo y las acciones recomendadas a cambiar en la altura de su sillín.

Palabras clave: BikeFitting, ciclismo, goniómetro, rodillas, posición angular.

ABSTRACT

The purpose of the research work is the implementation of an Electronic System that allows knowing the correct height of the saddle on bicycles, providing comfort, performance and avoiding knee injuries in amateur cyclists.

Due to the little knowledge of the people, of the almost null advice, it was considered to carry out this project, since the knees are the most affected part in pedaling, they are taken into account as an important variable to measure with the electronic system.

To fulfill the objective, the BikeFitting systems used by professional cyclists are investigated, followed by the tools with which they adjust the saddle, always seeking the cyclist's comfort and the optimal angles for pedaling.

With the indicated parameters, we proceed to design a circuit that is coupled to the cyclist's leg, and allows monitoring to know if the angles that his leg forms with the movement are those recommended through biomechanical studies. The idea of this project is first to encourage amateur cyclists to know how their bike has to be linked with respect to their anatomy, and that if the budget does not allow them to perform a complete BikeFitting they can use the angular measurement system so that your saddle if it is at your height.

As a final part, based on a professional study previously carried out, the performance tests are carried out to calibrate the system and the application is managed, which will serve as an interface to communicate to the cyclist the angle generated by his pedaling and the recommended actions to change in the height of your saddle.

Keywords: BikeFitting, cycling, goniometer, knees, angular position.

INTRODUCCIÓN

La pandemia mundial que llegó en el 2020, permitió un incremento en la venta de bicicletas por ser un medio de transporte personal, ya que evitaba un contacto masivo en espacios cerrados, sumado a esto, las victorias importantes de los ciclistas ecuatorianos en las grandes vueltas, fue común divisar cientos de ciclistas en las vías, trayendo como problemática las lesiones de rodillas a largo plazo, por un mal uso. La alternativa más viable en cuanto a evitar estos errores, obligatoriamente sería adquirir una bicicleta con la talla necesaria, y como recomendación realizarse un estudio de BikeFitting a manos de un profesional.

Para el desarrollo del proyecto se ha realizado una investigación detallada sobre la temática relacionada al tema, con ello se aporta al trabajo con la finalidad de dar como resultados un prototipo que brinde un buen servicio. En el primer capítulo, se explican las razones por las que se ha decidido desarrollar esta investigación, a esto se añade el planteamiento del problema, justificación, y la propuesta para suplir esta necesidad.

En el segundo capítulo, se encuentra explicado la metodología, los materiales y métodos, la información de proyectos de investigación que aporten a este sistema electrónico, posibles mejoras a investigaciones previas y con este análisis plantear un mecanismo que sirva como lineamientos a cumplir para la construcción del prototipo.

En el capítulo tres, se enumeran los procesos que articulados dieron forma al proyecto de investigación, se divide por etapas, se describen los elementos para utilizar el que más aporte al sistema, se colocan los cálculos que justifican el trabajo, y se realizan las pruebas del sistema electrónico para ubicar los resultados y discusiones a las cuales se llegó con el desarrollo del proyecto de investigación.

Por último, en el capítulo cuatro se indica las conclusiones y recomendaciones adquiridas durante el proyecto de investigación, al pie de esto se encuentra la bibliografía de la información descrita y se complementa con los anexos del proyecto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Tema de investigación

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE POSICIÓN ANGULAR EN CICLISTAS AMATEUR PARA EVITAR LESIONES DE RODILLAS.

1.2. Antecedentes Investigativos

Para el presente proyecto de investigación se analizaron artículos referentes al estudio biomecánico en ciclistas, posturas geométricas sobre la bicicleta, rendimiento y lesiones, con la finalidad de enriquecer el desarrollo de este proyecto.

En el año 2018, T.S. Huang, profesor del departamento industrial de diseño de la Universidad Tecnológica de Chaoyang en su artículo "A study comfort sensation of the road cycling body geometry fitting system" establece que es imprescindible una combinación perfecta entre el humano y la máquina para que el cuerpo concuerde con el tamaño de las piezas de la bicicleta, un desacuerdo por más mínimo que sea reduce la eficiencia deportiva y daña músculos, cartílagos y hasta el esqueleto. Agrupa de dos tipos a los ciclistas, ciclistas previos y afinados, refiriéndose a estos últimos como ciclistas con sensación de comodidad subjetiva, esto se consigue identificando una posición correcta del brazo izquierdo con el hombro, espalda y cuello, el ángulo antevertido del cuerpo se ajusta de acuerdo a la distancia entre la silla y la potencia del manillar. [1]

En el año 2017, Carlos Jaynor, Laura Pérez y Luis Fernando realizaron un estudio acerca del "Análisis biomecánico para ciclistas" en la ciudad de Madrid. Dicho estudio establece que una aplicación portátil genera un incentivo al aumento de usuarios practicando este deporte enfocándose en la portabilidad de este sistema y el bajo coste, el usuario requeriría un teléfono con Android y mediante la toma de videos que capten sus movimientos se almacenan los datos y con un procesamiento de este video se representa gráficamente brindando un resultado claro de la postura que lleva sobre la bicicleta. [2]

En la ciudad de Ambato, en el año 2017 Santiago Carrasco en su tesis "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 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. [3]

En el año 2020 Gil Serrancoli, 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 t 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 3 sensores en el sillín y 2 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 (primera tarjeta construida para ser programada en el entorno de desarrollo de Arduino). 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 ciudad de Cuenca, Jorge Carranco, Francisco Salgado, Carlos Zeas y Omar Alvarado realizaron la investigación acerca de un "Sistema de detección y clasificación de postura de ciclistas, bike fit, mediante KINECT V.2 y Redes Neuronales", la finalidad del estudio se basó en disminuir la posibilidad de lesiones presentadas en la rodilla empleando la tecnología Kinect de Xbox que detectan las articulaciones del cuerpo mediante un sensor infrarrojo con seguimiento de movimiento, con lo cual, graficar los ángulos que generan las extremidades al montar en bicicleta y llevarlos a

una clasificación en base a una red neuronal para generar una alerta de postura: buena, regular, mala, muy mala. [5]

1.2.1 Contextualización del problema

Los estudios de BikeFitting son realizados con frecuencia en centros especializados que se dedican a ello, su realización es fundamental para evitar las lesiones en las diferentes partes del cuerpo, en función del mal posicionamiento al que someten el cuerpo. Estas prácticas comienzan a tomar forma a finales de los 70 con afán de ajustar las bicicletas de los ciclistas profesionales, todo ello, en principio ocupando herramientas caseras, mientras que los científicos destinaban sus estudios a la mejora continua del proceso del bikefitting. [6]

En la actualidad el proceso comienza en el ciclista, se centra en él como un factor crucial, analizando su movimiento, el control y la costumbre que lo dirige a subirse y manejar la bicicleta de una u otra forma. El término BikeFitting y Biomecánica van estrechamente ligados con finalidad de realizar un trabajo conjunto de ciclista y bicicleta, mientras el Bikefitting coloca medidas en la bicicleta a partir de instrumentos y mediciones matemáticas, la Biomecánica estudia al ciclista manejando posturas ideales y cómodas. [6]

El problema se basa en el poco conocimiento y falta de asesoramiento por parte de algunas tiendas, donde se debería anticipar a todo ciclista que para una práctica segura de este deporte se tiene que empezar escogiendo la talla correcta, que de otra manera ni con milagros se podrá ajustar la bicicleta ni en el mejor centro de BikeFitting. [7]

El uso regular de bicicletas se convierte en un estilo de vida, por lo que no es de extrañarse que el uso constante derive en una mejor calidad de vida. Sydney un país que supera el 80% de gente utilizando bicicleta concluye en base a estudios que los hombres que la usan semanalmente tienen excelente calidad de vida tanto física como psicológica, por lo que se requiere obligatoriamente un acople ciclista bicicleta, que, si bien tiene aspectos positivos como una mejor postura y un mejor rendimiento, hay también negativos como un mal ajuste ya sea por el propio usuario, los amigos que nunca faltan o centros no profesionales. [8] Dando como consecuencia lesiones graves.

Ante esto surge una alternativa de solución para ciclistas amateur enlazando los estudios previos del Bikefitting con la parte electrónica de sensorización, en este caso, un potenciómetro, dispositivo manejable y compacto que viene presente en muchos dispositivos electrónicos.

Desarrollar un sistema electrónico de bajo coste que, en base a mediciones con ayuda de un potenciómetro bien colocado, permita obtener el ángulo de pedaleo del ciclista, el que contribuirá para el ajuste óptimo de la altura del sillín, disminuirá también el riesgo de sufrir lesiones de rodilla y permitirá mayor diversión y un mejor estilo de vida sobre la bici.

1.2.2 Fundamentación teórica

Elementos básicos del ciclismo

La bicicleta a más de ser un medio de transporte tiene sus ventajas, por el hecho de utilizarla diariamente se estimula el ejercicio, y se evitan muertes. El proverbio latino que en español quiere decir ‘mente sana en cuerpo sano’, coincide con el criterio de la sociedad occidental que resaltaban un daño mayor por el incremento de muertes a nivel mundial con 5.3 millones versus 5.1 millones causadas por el tabaco. [9]

Los profesionales de la salud destacan la buena respuesta del cuerpo al adaptarse a los entrenamientos con mejora continua a la condición física del ciclista, es importante citar varios efectos positivos que conllevan a tener buena salud, y esto es, mayor firmeza en pulmones, músculos, huesos y corazón. Además, llevando una alimentación balanceada con entrenamientos recurrentes los valores de insulina disminuyen, mejora el nivel de colesterol, se disminuye la grasa corporal y en estos tiempos de pandemia algo satisfactorio es que el sistema inmunitario se vuelve eficaz. [9]

La otra cara del ciclismo

Muchos ciclistas amateurs pueden llegar a desarrollar, vicios y molestias en el pedaleo, teniendo como consecuencia, que el ciclista lleve la idea que esto se trata de acostumbrarse, o que deberá pasar un tiempo para adaptarse a la bicicleta. Existen molestias que pueden desencadenar en lesiones a largo plazo por el mal ajuste del

sillín, a continuación, se presentan las dolencias y lesiones provocadas por este ajuste erróneo. [10]

Dolor de rodillas

Durante las rodadas el ciclista puede experimentar dolor, esto dependerá en que parte de las rodillas lo sea, en la mayoría de casos si es que no está lesionado dependerá del lugar del dolor, si es que es adelante, en la parte posterior o incluso a nivel lateral de las rodillas, esto tiene que ver directamente con la altura del sillín. [10]

Lesiones de Rodillas

Este tipo de lesión se encuentra en el grupo de las Lesiones No Traumáticas, esto quiere decir que no son causadas por golpes o caídas, más bien por sobreesfuerzos o una mala posición encima de la bicicleta. A pesar de que este tipo de lesiones afectan a cualquier región anatómica, con mayor frecuencia se verán afectadas las extremidades inferiores desencadenando lesiones como la condromalacia rotuliana, tendinopatía rotuliana. [11]

Condromalacia rotuliana

Se refiere al deterioro estructural o funcional del cartílago en la articulación femoropatelar, dolor provocado por la excesiva presión de la rótula con el fémur que se obliga a tener durante la práctica del ciclismo. Esta lesión aqueja a que la altura del sillín está muy por debajo de las medidas del ciclista obligándolo a flexionar excesivamente las rodillas durante el pedaleo.

En términos médicos la sintomatología se presenta con dolor en la parte anterior de la rodilla y puede derivar en 4 grados de afección en el desgaste de espesor del cartílago. [11]

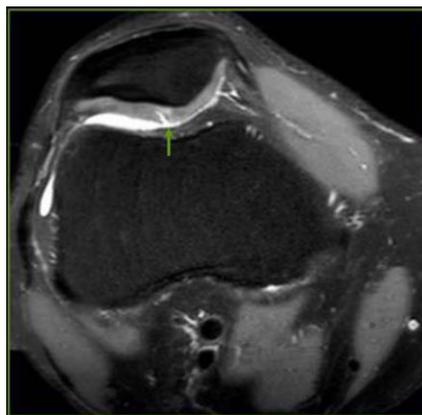


Ilustración 1 Ulceración condral con espesores del cartílago. Mora R. [12]

Tendinopatía rotuliana

Afección situada en la zona del polo inferior que conecta el tendón con la rótula, común en los ciclistas que llevan una mala posición encima de la bicicleta. Siempre se presenta por que el ciclista maneja en una posición incorrecta y en ocasiones se da porque el sillín está muy adelantado provocando que el pie se encuentre muy por delante respecto al eje del pedal.

El tendón afectado al ser una estructura superficial, es posible detectar sus lesiones con una resonancia magnética o una ecografía. Visualmente se reflejará engrosamiento del tendón con dolor presentado por el paciente. [11]

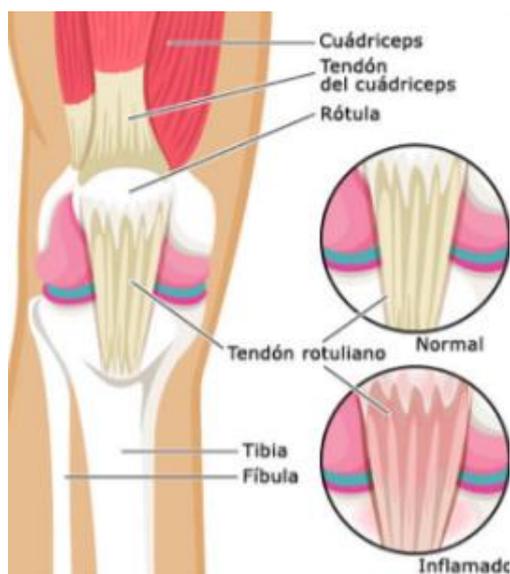


Ilustración 2 Inflamación del tendón rotuliano. Bonilla P. [13]

Tendinitis de la Pata de Ganso

Inflamación de los tendones en la rodilla que unen los músculos sartorio, semitendinoso y recto interno generando malestar en la parte interna de la rodilla con probabilidades de aumento en función de la flexión que realice. Esta patología se presenta con mayor frecuencia en mujeres con sobrepeso, y en ciclistas que flexionan inadecuadamente sus piernas por tener malas técnicas en su pedaleo. [11]

Pasos al adquirir una bicicleta

En el mercado se puede encontrar miles de tiendas que oferten variedad en marcas, pero al momento de adquirir una bicicleta hay que saber escoger la tienda pues es un eje fundamental debido a que debe existir una asesoría. Por más conocimiento que se tenga es oportuno dejarse asesorar y respetar la talla que recomienda al fabricante,

aunque se dan ocasiones donde el ciclista posee ya una bicicleta grande o pequeña en relación a su talla, pero mediante el estudio biomecánico se podría configurar la bicicleta para que pueda usarla o en el peor de los casos el BikeFitter le dirá al usuario que su bicicleta está muy grande o muy pequeña. [10]

BikeFitting

Un bikefitting aplica a todos los ciclistas, hay que tener en cuenta que para realizar este proceso es importante cumplir con varias normas como son: tener una bicicleta, haberla probado por algunos días para dar a conocer las sensaciones encima de la bicicleta, indispensable los zapatos de cleats, trabas y por último las ganas de mejorar. La ciencia de este estudio está en entender cómo trabaja cada ciclista, las posturas que adaptan son diferentes, todos son chuecos tienen las extremidades una más larga que otra, espalda doblada, hombros muy altos, en sí, varios factores que se someten a revisión para corregirlos en un BikeFitting. [10]

Cabe recalcar que un Fitting funciona en base a sensaciones, es de suma importancia probar la bicicleta unas 4 o 5 salidas para poder brindar la información necesaria de las dolencias, acalambramientos, amortiguamientos que se experimentó montando la bici, de forma que, se aprovechará mejor el Fitting. [10]

En The Cyclist Center ubicado en Quito, aseguran que su trabajo está orientado a la comodidad del ciclista, la eficiencia del ciclista y la eficacia. Ellos trabajan con un equipo completo de profesionales especializados en distintos temas que van ligados al BikeFitting, como el caso de un fisioterapeuta a causa de las autolesiones consecuencia de los malos posicionamientos. [10]



Ilustración 3 Sesión de BikeFitting en The Cyclist Center Quito. Araujo R. [14]

Cuándo se debe aplicar un BikeFitting

Muy aparte de que este estudio sea algo necesario para todos los ciclistas, se torna urgente realizarlo cuando el ciclista ha sentido molestias, cuando sufre de dolor, cuando siente que su bicicleta no avanza como debería, o en el caso de un triatlón siente que su posición aerodinámica no es la adecuada; para este último caso es obligatorio realizar el chequeo con el casco que se utilizará en la práctica de esta modalidad. [10]

Fases en el BikeFitting

El estudio profesional básicamente conlleva cumplir fases que son: control baropodométrico, y las diversas técnicas como: sistemas 3D, sistemas de posicionamiento del ciclista, ayudas manuales como el goniómetro, láseres que pueden variar entre centro y centro de BikeFitting. [10]

Posición de la traba

Este ajuste es imprescindible para obtener un mejor rendimiento en relación al esfuerzo aplicado por el ciclista, debido a que la traba en el zapato irá colocada donde se tiene que ejercer la fuerza, que por estudios se concluye que es el botón metatarsal. La consecuencia de una mala colocación de la traba deriva en que los pies se acalambran. [10]

¿Por qué no se hace Fitting sin trabas?

La transmisión de la fuerza y el acoplamiento del ciclista hacia el pedal debe ser fijo, es por esta razón la necesidad de que el ciclista cuente con trabas. El cuerpo humano de por sí es vago, un ratito se pedalea con punta, otro ratito de esta u de otra forma, por lo que las mediciones no serán reales. Con el uso de cleats, el pie va a estar posicionado siempre correctamente, se evitará lesiones, se tendrá un 30% mejor el pedaleo, siempre y cuando las trabas estén bien colocadas. [10]

Los fabricantes de bicicletas tienen las geometrías de sus cuadros diferentes o similares para relacionarlo con small, medium o large: pero dentro de esas hay diferencia en el alto y ancho de los cuadros, esto se lo puede comparar a los pares de zapatos, aduciendo que en unas marcas podemos calzar 9 y en otras 9,5 o a veces menos.

Es imposible realizar el Fitting para 2 personas en una misma bicicleta por si comparten bicicleta.

Sillín

Las bicicletas vienen con un asiento predeterminado por modelo y es decisión del ciclista usarlo o adquirir otro, por lo que hay gente que quiere cambiarlo porque no lo soporta. Un sillín puede ser excelente, pero mientras no esté bien fitteado dará dolores de cabeza, por lo que antes de pensar en un cambio de asiento hay que hacer el Fitting y darle una oportunidad al asiento. En los Fittings realizados en un 80% de los casos las molestias desaparecen. [10]

Talla del sillín

En muchas ocasiones los ciclistas mantienen la idea de que cierta talla de sillín se adapta a su cuerpo, y en esta cuestión de tallas hay gente que, si lo acierta, pero no se puede saber con exactitud cuál es el asiento adecuado, “el asiento solo lo decide tu nalga, y lo decide probando”. [10]

Altura del sillín

Para la configuración de la altura del sillín básicamente son tomadas en cuenta las 3 articulaciones que participan en el pedaleo: la cadera, la rodilla y el tobillo. A continuación, se muestra el proceso tentativo recomendado para la medición de la altura del sillín:

- Se comienza midiendo la longitud del sillín, tomar en cuenta que hay sillines que vienen marcados en el centro para evitar este primer paso. [12]



Ilustración 4 Medición de la longitud del sillín. Alcalde Y. [15]

- A continuación, se debe poner el metro en el punto centro marcado anteriormente.



Ilustración 5 Punto medio del sillín. Alcalde Y. [15]

- Por último, se mide desde el punto que se colocó el metro hasta el centro del eje de pedaliador, siguiendo su línea y esa será la medida de altura del sillín, la cual será ajustada de acuerdo a la altura del entre pierna del ciclista. [12]



Ilustración 6 Medición de longitud entre la biela y el sillín. Alcalde Y. [15]

El tener el sillín demasiado bajo trae como consecuencia que no se aprovecha toda la fuerza que producirían las piernas y desemboca en una fatiga en los cuádriceps, terminado con dolores en la parte anterior de la rodilla. Por otro lado, el llevar el sillín demasiado alto provoca que la pedaleada pierda fluidez, a simple vista el ciclista pedalea de forma que se mueve su cadera de lado a lado para compensar esta distancia, que a distancias largas aparecen dolores en la parte posterior de la rodilla y en la zona lumbar. [12]

Errores en el ajuste de la altura del sillín

Se acatan diversas recomendaciones en la configuración de la altura del sillín por parte de otros ciclistas que van desde colocar en el asiento la axila y que topemos con el dedo el eje del pedal, mirar la altura del sillín respecto a la cadera o que ponerle el puño entre el sillín y la potencia para medir el retroceso del mismo, esto en la práctica real no funciona porque todos los cuerpos son diferentes, además las marcas de bicicletas tienen diferentes cuadros de sizing, que varían de acuerdo al tipo de bicicleta por lo que siempre será prioritario asesorarse bien en la tienda y de ser posible en algún centro de BikeFitting, para evitar una compra errónea. [10]

Inclinación del sillín

Para el ajuste de este parámetro se utiliza un nivel ya sea el de burbuja o un digital, de acuerdo a los expertos el sillín deberá situarse de manera horizontal o a su vez con una pequeña inclinación hacia delante, eso sí, evitando pasar los 2-4 grados de inclinación que provocarían que el ciclista resbale con dirección al manillar, de otra manera si la inclinación se encuentra con la punta levantada derivará en un adormecimiento de la zona genital. [12]

Retroceso del sillín

Este parámetro posiciona el asiento hacia adelante o hacia atrás con respecto al eje del pedalier, se considera como una medida difícil de tomar. Para facilitar este ajuste se utiliza el método de la plomada, usado también para comprobar que la cala se encuentre muy bien ajustada, para ello se colocan las bielas de forma horizontal y se deja caer la plomada en la base del hueso de la rótula, y se comprueba que la plomada pase exactamente por el eje del pedalier, de esto dependerá si se debe adelantar o retroceder el sillín. [13]



Ilustración 7 Método de la plomada para la comprobación del avance de la cala. Martínez P. [17]

Goniómetro

Este instrumento con forma alargada y en la mitad un semicírculo, fue diseñado para la medición de ángulos en la parte de la salud o la topografía. En el ciclismo aún es utilizado para corroborar los datos obtenidos con los nuevos sistemas 2d o de toma de imágenes, siendo el adecuado en la medición angular de piernas y brazos buscando la ergonomía sobre la bicicleta. Método importante para la altura del sillín que se relaciona con el ángulo que flexiona la rodilla cuando se mantenga una posición estática tratando de que el ciclista se encuentre sobre un rodillo fijo para que ubique el pedal paralelo al suelo en la posición más alejada y a 180° de giro de biela. [14]

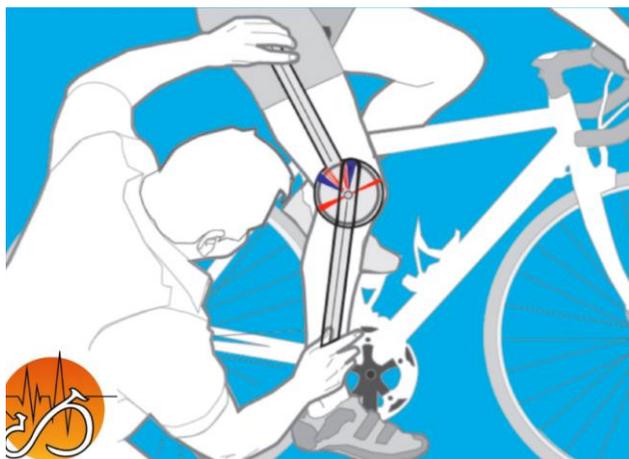


Ilustración 8 Método Holmes utilizando goniómetro. Ibense R. [19]

Protocolos y conectividad de IoT (Internet of Things)

Al realizar un proyecto inmerso en la tecnología de IoT [15], se torna adecuado contextualizar acerca de cómo se van a comunicar los dispositivos, cuál será la conexión, y dentro de IoT se topan temas sobre que la conexión se realiza a través de puertas de enlace. [16]

Puertas de enlace en IoT

Son parte de la tecnología en IoT para una sencilla conexión de dispositivos con la nube, se conoce que no todos los dispositivos van a requerir esta puerta de enlace, pero aquellos dispositivos que sí lo requieren la utilizan para enlazar dispositivos que no manejen un protocolo IP, estos datos se procesan y son enviados de inmediato a la nube, reduciendo latencias y ahorrando espacio durante la transmisión.

Protocolos de comunicación de los dispositivos IoT con la red

Para la comunicación entre dispositivos a través de la red, se utiliza la tecnología IoT

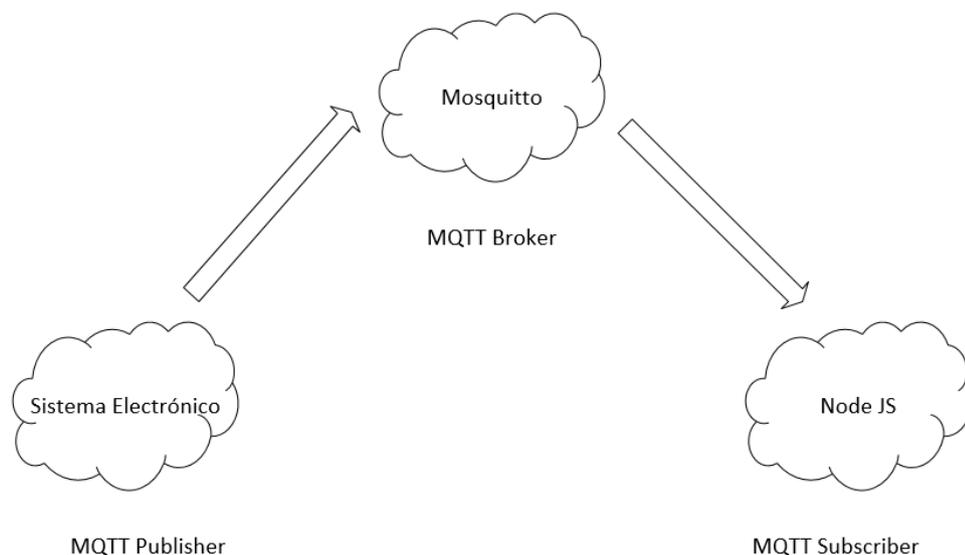
con sus diferentes protocolos, el protocolo de internet es un conjunto de reglas que analizan y envían los datos de manera ordenada. La finalidad de trabajar con protocolos es garantizar la comprensión del servicio al que le llega la información generada por un dispositivo, para el caso de este proyecto, sensores. Entre los protocolos a destacar se tienen los citados a continuación.

Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

Es un protocolo de tipo publicación/suscripción desarrollado por IBM, su arquitectura es de tipo cliente/servidor, en el que los sensores actúan como clientes para conectarse a un servidor que utiliza comunicación TCP (Protocolo de control de transmisión). Este protocolo se orienta a mensajes, donde cada mensaje se publica sobre un tema, y para tener acceso a estos temas los clientes se suscriben a los temas de su necesidad. El bróker es el encargado de tomar los mensajes publicados en los diversos temas y reenviarlos a todos los clientes que se hayan suscrito. MQTT tiene tres niveles de servicio:

- fire and forget (disparar y olvidar)
- delivered at least once (entregado al menos una vez)
- delivered exactly once (entregado exactamente una vez)

Para garantizar privacidad en MQTT, el bróker puede requerir de autenticación a los clientes para conectarse y el cifrado por lo general se lo realiza con certificado SSL/TLS. [17]



*Ilustración 9 Modo de funcionamiento de MQTT.
Elaborado por: El investigador*

Protocolo CoAP (Constrained Application Protocol)

Los paquetes a transmitir son pequeños en relación a HTTP, se ha diseñado para dispositivos limitados, para la transmisión de los datos se utilizan cadenas de enteros que permiten un ahorro de espacio. Este protocolo funciona con UDP, no con TCP, con UDP se permite radiodifusión y multidifusión que se usa para el direccionamiento, maneja un modelo cliente servidor, los clientes pueden realizar operaciones de GET, POST, DELETE y PUT.

Protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

Protocolo orientado a servicios web, transferencia de hipertexto, se puede utilizar para proporcionar notación de objetos JavaScript y XML. HTTP es la base del modelo que se maneja como un cliente, servidor en forma de petición de datos, mediante este protocolo se transfieren los datos en la web, por lo que naturalmente se utiliza para aplicaciones de IoT, una ventaja a resaltar, es capaz de transmitir cantidades grandes de información de manera eficiente. [18]

Comunicación Inalámbrica

Existen varios tipos de comunicación inalámbrica

NFC (Near Field Communication)

Es una tecnología que se la utiliza en teléfonos móviles, tarjetas inteligentes, relojes; como un sistema de comunicación sin contacto para los sistemas de pago, o según los dispositivos en algunos casos para verificar su autenticidad respecto a sus marcas. Para aplicaciones de salud, los ataques en esta tecnología se clasifican de acuerdo al modo de funcionamiento, desarrollo y nivel de programabilidad, teniendo todos como particular un ataque posible con fácil extracción de información y clonación. [19]

RFID (Radio Frequency Identification)

Dispositivo que funciona con etiquetas de identificación automática que se activan con radiofrecuencia, esta tecnología se la utiliza en las aplicaciones para seguimiento de objetos, como un tipo de cuidado en salud, logística y rastreo de vehículos. RFID en seguridad es vulnerable a ataques de clonación, denegación de servicios, omisión de archivos. [20]

ZIGBEE

Es un protocolo con estándar IEEE 802.15.4, opera a diferentes frecuencias para una

comunicación entre dispositivos de baja potencia y que consumen un bajo ancho de banda. Con velocidad de datos de hasta 250 Kb/s, esta tecnología se emplea en aplicaciones de domótica, control industrial, salud. La seguridad de Zigbee compromete la información, si un hacker monitorea y captura sus claves violando su confidencialidad. [20]

WIFI

Esta tecnología de comunicación inalámbrica se maneja con el estándar 802.11, opera a frecuencias de 2.4 o 5 GHz. Para aplicaciones en IoT, WiFi tiene un estándar específico que es el 802.11ah, éste opera por debajo de frecuencias de 1 GHz, al transportar datos a mayor distancia la seguridad es mayor, sacrificando el consumo de potencia. El utilizar WiFi en dispositivos con IoT reduce la duración de las baterías, para ello existe una versión de WiFi HaLow que entra en suspensión para ahorrar la energía. [20]

BLUETOOTH

Esta transmisión inalámbrica utiliza una corta longitud de onda UHF en el rango de 2402 – 2480 MHz, con esto permite un comunicación fácil y rápida entre dispositivos. La tecnología Bluetooth en IoT es aplicada en dispositivos en casa, enviando mensajes de alerta desde las máquinas hacia los supervisores, en el monitoreo de salud de pacientes. Entre las vulnerabilidades que se presentan en esta tecnología está el desbordamiento del búfer, ataque MitM (Man in the Middle), teniendo posibilidad un atacante de acceder a información personal mediante código malicioso.

CELULAR

La tecnología celular se ocupa en comunicaciones de largo alcance, con una frecuencia a 915 MHz que abarca de 10 a 15 Km en zonas rurales y de 2 a 5 Km en zonas urbanas debido a su alta densidad. Las últimas generaciones 4G y LTE consumen mucha energía y no son tan adaptadas en aplicaciones que transmiten pequeñas cantidades con poca frecuencia, el caso de medidores de agua, consumo de gas o electricidad.

En IoT, celular se ha diseñado para cumplir con aplicaciones de baja potencia y de largo alcance, con LTE se proporciona solución para áreas donde existe densidad de población, dando cobertura hasta 105 dispositivos en un radio de 1 Km, el problema que aún se tiene cuando la cantidad de dispositivos aumenta en una sola estación de base. [21]

LoRaWAN

Tecnología LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) creada para comunicación a largo alcance, opera a una frecuencia de 900 MHz, velocidad entre 0,3 a 50 kbps, ofrece integridad y confidencialidad de datos gracias un cifrado seguro, cuenta con una clave de aplicación (AKey) utilizando AES de 128 bits, conlleva ventajas como alta tolerancia a las interferencias, conexión punto a punto, alta sensibilidad en la recepción de datos y bajo consumo. Los ataques a esta tecnología la realizan mediante jamming, enviando potentes señales de radio en puntos cercanos del dispositivo. [21]

Tabla 1 Comparativa entre Tecnologías Inalámbricas para IoT

Tecnología	Latencia	Estándar	Seguridad	Rango físico	Consumo de energía
NFC	Baja	ISO/IEC 18092 (NFCIP-1)	SE-3DES o AES	Espectro de radio, 10 cm 13,56 MHz, tasa de datos hasta 424 Kbps	Bajo
RFID	Baja	ISO 18000-6C	AES	LF: 125KHz-134.2KHz, HF: 13.5 MHz, UHF: 860-960 MHz, SHF: 2.45 GHz	Bajo
Zigbee	Baja	IEEE 802.15.4	AES	Línea de vista 10-100m, tasa de datos hasta 250 kb/s	Bajo
Wifi	Baja	IEEE 802.11 ah	WEP, WPA, WPA2	Alcance hasta 1,5Km, rangos de frecuencia inferiores a 1 GHz	Alto
Bluetooth	Baja	Bluetooth 4.2	56/128 bit AES	Alcance de 50-150 m	Bajo en recepciones RF
Cellular	Alta	802.11	GSM-A5/1 LTE-AES	GPRS: 35-170kps, EDGE: 120-384kbps, UMTS: 384kbps-2Mbps, HSPA: 600kbps-10Mbps, LTE:	Alto

				3-10Mbps	
LoRaWAN	Alta	LoRaWAN R1.0	AES	<30KM, 0.3-50 Kb/s, 868/900 MHz	Alto

Servidor Web

Un servidor web es una máquina que proporciona un servicio, ejecutando un software que utiliza protocolo HTTP para procesar las solicitudes que recibe y retornar una respuesta. Para la operación de un servidor web se necesita un servidor de datos, a menudo los sitios utilizan una base de datos SQL. [22]

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema electrónico para la medición de posición angular en ciclistas amateur para evitar lesiones de rodillas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las causas por la que una mala posición en la bicicleta provoca lesiones de rodilla.
- Establecer los sistemas y equipamientos necesarios para tomar mediciones angulares en las rodillas de los ciclistas.
- Diseñar un sistema electrónico que se ajuste a la pierna del ciclista para la medición de los ángulos de pedaleo.
- Gestionar una aplicación para la notificación del ajuste a realizar en la bicicleta.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la elaboración de la metodología se ocupan diversas herramientas, tales como investigaciones que aborden el tema principal, testimonio de ciclistas profesionales, artículos científicos, entrevistas, proyectos de investigación e información en línea basándose en fuentes bibliográficas confiables.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de Investigación

Investigación aplicada, ya que en el presente proyecto se aplicarán conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria como lo son las comunicaciones inalámbricas, la adquisición de parámetros a través de los diferentes sensores para su posterior procesamiento.

Aportará muchísimo la investigación bibliográfica, debido a que es necesario enfocar el sistema electrónico a los estudios más recientes de tesis, revistas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet que detallen temas de interés para complementar el estudio a realizar.

Investigación de campo, que será utilizada para analizar diversos métodos que actualmente son empleados en el análisis biomecánico y los beneficios que brinda esta mejora notoria tanto en el rendimiento como en la prevención de lesiones.

El presente proyecto será desarrollado en base a una investigación experimental en función al análisis de muestras tomadas de los diferentes puntos geométricos del cuerpo de los ciclistas, habrá pruebas de control y monitorización del sistema electrónico que confirmen que los datos tomados son exactos y se controlará que la comunicación sea lo más rápida posible.

2.2.2 Recolección de Información

Se recogerá información de ciclistas experimentados que previamente se hayan realizado procesos profesionales de bike fitting y que manejen una postura y una talla correcta de la bicicleta, se emplearán revistas, artículos previos de investigaciones confiables para el desarrollo del proyecto.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se tomará en cuenta la siguiente estructura:

- Recopilación de investigaciones previas que más se asemejen al presente proyecto.
- Estudio de las posibles propuestas de solución para escoger la más viable.
- Determinación de los elementos que intervendrán en el desarrollo del sistema electrónico.
- Planteamiento de la propuesta de solución.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

En la actualidad el mercado del ciclismo se ha expandido a gran escala motivo de la pandemia y de la popularidad creciente gracias a los ciclistas ecuatorianos que han conseguido victorias importantes a nivel mundial, como se ha mencionado en esta investigación el conocimiento hasta la presente fecha sobre el BikeFitting tiene un bajo porcentaje.

3.1.1 Desarrollo de la propuesta

Diagrama de bloque del sistema electrónico

Como parte del proceso de diseño del sistema electrónico para la medición de posición angular en ciclistas amateur para evitar lesiones de rodillas se han establecido varias etapas que encierran a los procesos adecuados para llevar a cabo el funcionamiento del prototipo, se muestra en la Figura 10.

Con el diagrama de flujo se han dividido tipo etapas al sistema electrónico de forma general con la intención de ir realizando un proceso a la vez, realizando pruebas parte a parte dando como resultado una medición estable.

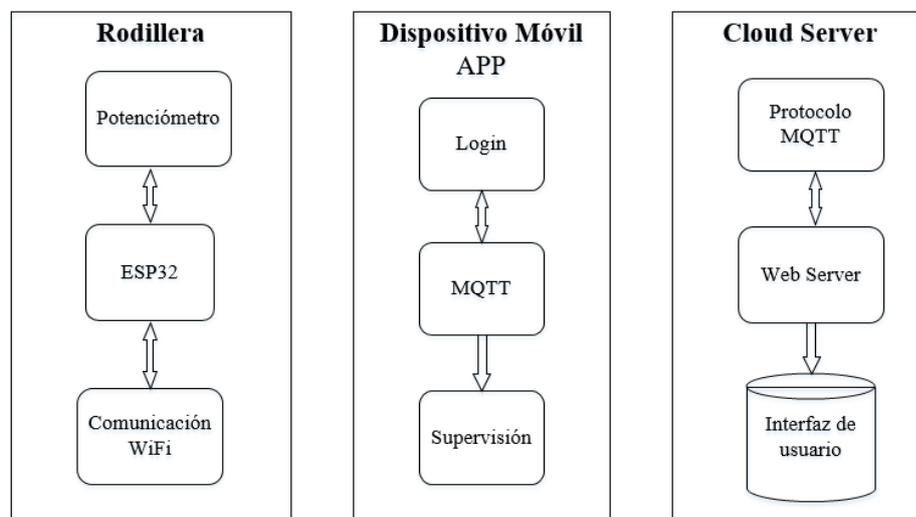


Ilustración 10 Diagrama de flujo general del sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

Arquitectura del sistema electrónico de medición angular

En la arquitectura del sistema electrónico se ha utilizado un potenciómetro, que se conecta a una ESP32 a donde llegan los datos y son controlados para que capturen ángulos en función de la variación de voltaje, estos dos valores son almacenados y enviados mediante comunicación inalámbrica a una base de datos en la nube en donde con una ecuación se obtiene el ángulo de la rodilla.

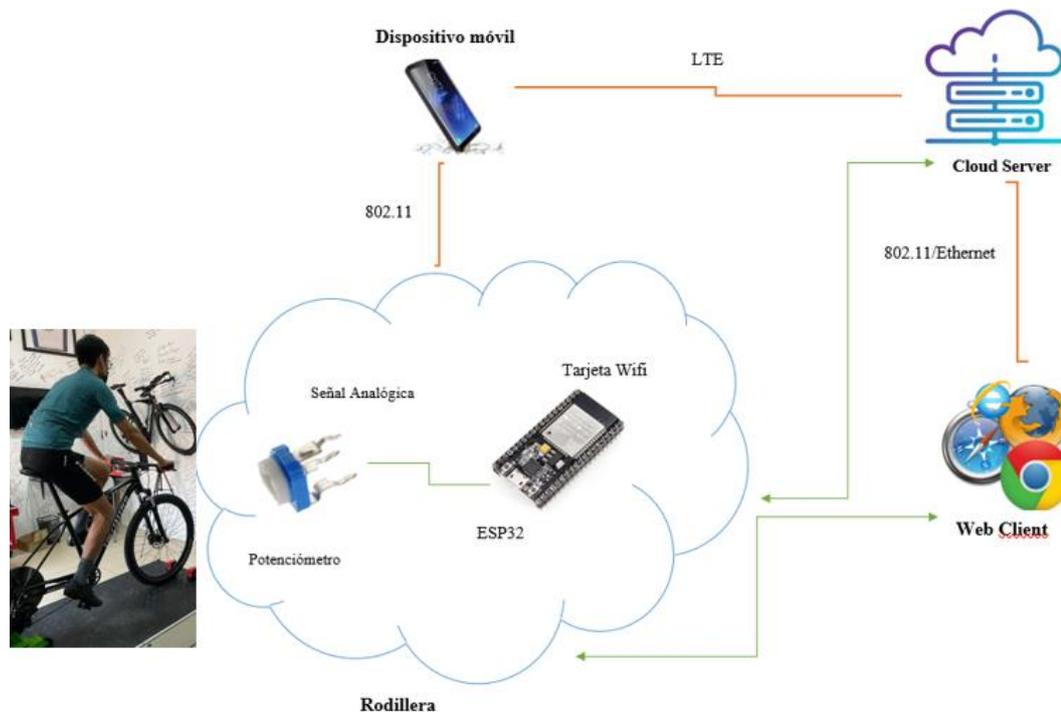


Ilustración 11 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

Análisis de los sistemas de medición angular en ciclistas

Cycling 3DMA

La empresa dueña de este sistema es stt systems, quien asegura que es una solución definitiva para el análisis del ciclismo con sistemas 3d, proporciona este sistema a bikefitters que quieran ofertar un análisis completo del pedaleo recopilando datos biomecánicos del cuerpo entero, recopilando estos datos para concluir con un informe detallado.

Los dispositivos que incluye el sistema es cámaras, dispositivos de sincronización, accesorios de seguimiento, dongle de seguridad de software, soportes de pared para

las cámaras, la herramienta de calibración, como producto final quedaría algo parecido a lo que se indica en la Figura 12.

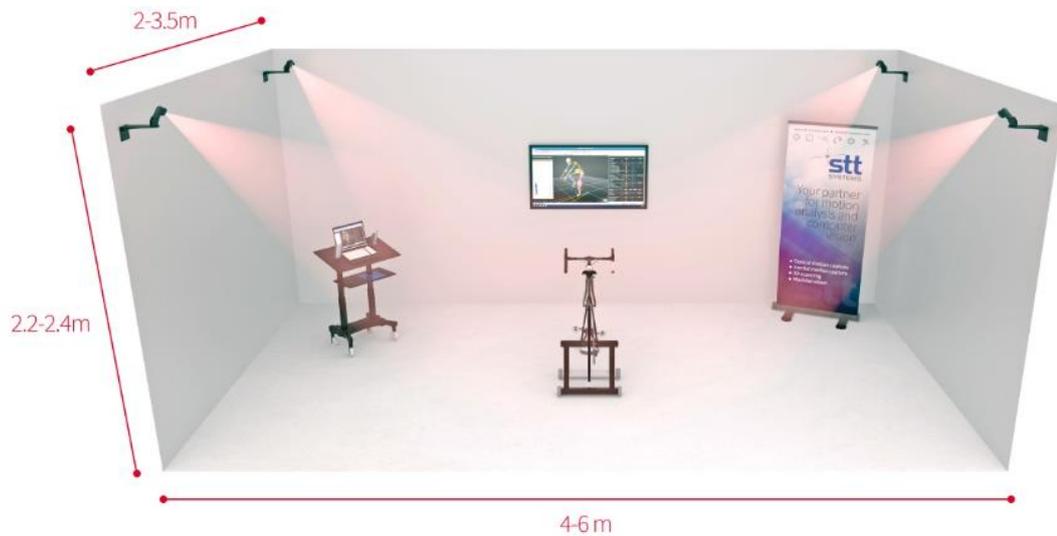


Ilustración 12 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

Este análisis de ciclismo está basado en la captura de movimiento óptico del cuerpo completo, con puntos definidos que enmarcan tanto lado izquierdo y derecho, de pies a hombros, y algo que se destaca es un detallado completo de los segmentos cervicales y lumbares de la columna, Figura 13. Los datos adquiridos mediante la grabación son procesados a 100 fps, siendo una velocidad alta para que la interpolación se realice suave hasta en las cadencias de pedaleo rápidas.

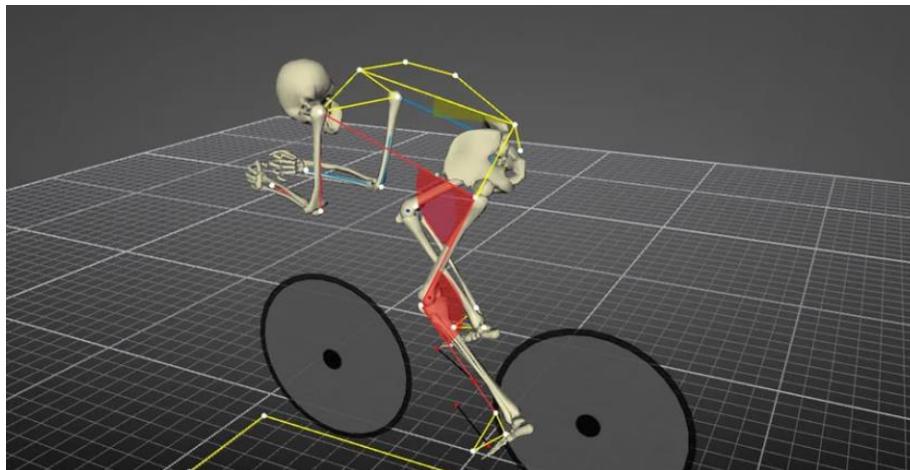


Ilustración 13 Arquitectura a construirse para el sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

Protocolos de análisis

Son una serie de herramientas que se incluyen en el software para que se facilite el funcionamiento del sistema, incluyendo en éste, análisis de cuerpo completo, análisis de lado izquierdo y derecho, medidas de bicicleta para ruta, triatlón y mtb, análisis baropodométrico. Con todo este conjunto que incorpora el sistema óptico el usuario recibe la capacitación necesaria y soporte en todo momento para mantener un funcionamiento adecuado a razón que el usuario se sienta cómodo con el uso. [23]

Sistema Biomecánico Retul

Empresa de sede en Boulder, Colorado ha venido especializándose en la tecnología de BikeFitting desde el año 2007, de la mano de Specialized se han realizado miles de fittings, prestando ya el servicio por 9 años a ciclistas profesionales, esto ha permitido ofrecer varias opciones al mercado. Retul Premium Fit es el servicio tope de gama, término empleado en el ciclismo que refiere a la máxima tecnología, rangos personalizados, evaluación por rastreo y datos en la nube.

Con su sistema se asegura una fórmula para cada tipo de estilo en la conducción, gravel, ciclocross, cross country, ruta, mtb. El sistema cuenta con captura de movimiento Vantage de tecnología led inalámbrica, un dispositivo para medir el ancho de los isquiones y recomendar un tipo y medida de asiento, dispositivo para medir la altura del arco del pie y recomendar una plantilla, estas facilitan que el pie optimice la palanca y transmisión, a mayor contacto plantar, mejor palanca y menor presión localizada. [24]

El proceso que se lleva a cabo durante una sesión comienza con una entrevista previa y evaluación física para intentar encontrar los factores que causan la posición sobre la bici, a continuación, con la herramienta Zin que se asemeja a un puntero se va tomando una medición digital de todos los puntos de contacto de la bici con respecto al eje de pedalier. Durante la sesión se muestran datos en la pantalla mediante los cuales el fitter puede ir corroborando con su apreciación inicial de que existen desalineaciones en las rodillas que ante una apreciación pareciera verse recto. [25]

Bikefitting con sistema 2d y láser

Como parte del proceso de construcción del sistema electrónico, fue importante realizar un estudio profesional de BikeFitting, mismo que se realizó en The Cyclist Center, ubicado en Quito Cumbayá. Esto con el fin de que la bicicleta que se ocupará para calibrar el sistema electrónico esté ajustada correctamente, y se conozca el ángulo al que hay que aproximarse con las mediciones.

Los requisitos para acudir a la sesión es tener bicicleta, pedales y zapatos con cleats y vestir licra corta. Cuentan con un rodillo muy realista y completo para simular un pedaleo convencional en el pavimento.

Como primer punto la bicicleta es colocada en el rodillo, sin importar el tipo de pasador que tenga, el sistema es compatible con cualquier bicicleta.



Ilustración 14 Anclaje de la bicicleta al rodillo.

Elaborado por: El investigador

Una vez fijada la bicicleta al rodillo, es importante dialogar con el experto acerca de todas las sensaciones y dolencias que se han presentado al andar en bicicleta, todo esto con afán de que el fitter sepa por donde partir, al momento de ir realizando los ajustes en la bicicleta para que al final esas molestias se solventen.



Ilustración 15 Diálogo con el Fitter antes de la sesión.
Elaborado por: El investigador

Lo siguiente ya sucede sobre la bicicleta, la pantalla de simulación se enciende, y a su vez, la parte práctica comienza, se pedalea a una marcha cómoda, con eso el experto logra una visión completa en cuestión pedaleo, postura y alineación de rodilla y pedal, apoyándose con un sistema 2d que estará tomando imágenes laterales para grabar el antes y después de la sesión.



Ilustración 16 Primera grabación del pedaleo.
Elaborado por: El investigador

Cuando se tiene la grabación del pedaleo se para la marcha y el fitter utiliza un goniómetro para corroborar el ángulo de la rodilla que se mostró previamente en las imágenes 2d.



Ilustración 17 Medición del ángulo de la rodilla con el goniómetro.

Elaborado por: El investigador

Como resultado de la primera grabación, se grafica el ángulo en la rodilla que se genera cuando el pie está lo más estirado, teniendo en este caso un ángulo de 125° .

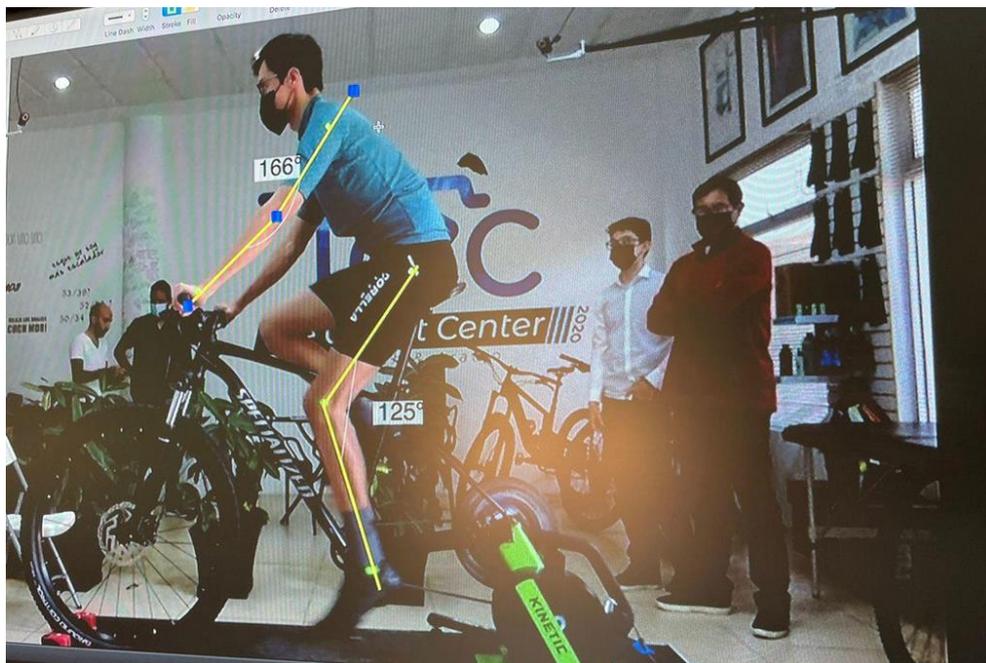


Ilustración 18 Ángulo de la rodilla con el que se llegó al estudio.

Elaborado por: El investigador

Mediante el uso de láseres colocados de frente mirando la rodilla y los pies, se facilita la visión, respecto a si existe un pedaleo con las rodillas hacia fuera o hacia dentro, es prioridad que la rodilla quede alineada con el pie, aspecto a tomar en cuenta a la hora de colocar las trabas en las zapatillas.



Ilustración 19 Láser para alineación de pie y rodilla.

Elaborado por: El investigador

Cuando el fitter pone condición que es obligatorio contar con zapatos de ciclismo para realizar la sesión, expone la razón aduciendo que el cuerpo es vago por naturaleza, refiriéndose a que con la ausencia de zapatos de ciclismo, habrá momentos donde se pedaleará con los pies rectos y bien colocados sobre el pedal, llega un semáforo o un obstáculo cualquiera, y se baja el pie para apoyarse y al momento de subir para continuar con el recorrido ya el pie irá colocado en una posición totalmente diferente a la recomendada. La base para el buen desempeño en el pedaleo y para evitar cualquier tipo de lesiones es la utilización de zapatos de ciclismo, mismos que cuentan con cleats o trabas que se ajustan a pedales contruidos con el fin de asegurar la misma posición de los pies sobre los pedales.

A continuación, se muestra el proceso que realiza el fitter para marcar los metatarsos y tener una guía para el adecuado anclaje de las trabas en los zapatos.



*Ilustración 20 Ubicación de los metatarsos.
Elaborado por: El investigador*

Como complemento para el ajuste de los cleats, es conocer la baropodometría del ciclista, su pisada y puntos de presión del pie, para asegurar el máximo rendimiento.



*Ilustración 21 Análisis baropodométrico.
Elaborado por: El investigador*

El fitter explica los errores que se están presentando, y los cambios que irá realizando para corregir estas posturas, que en la sesión fueron aumento de altura en el sillín, ubicación correcta del sillín, ajuste de las manetas del volante.



*Ilustración 22 Revisión de errores en el pedaleo.
Elaborado por: El investigador*

Con el conocimiento, se procede a realizar los ajustes en los puntos antes mencionados, se parte señalando la tija del sillín en la altura a la que llegó puesta, el fitter pide al ciclista que se suba y pedalee, esto lo realiza en varias ocasiones hasta que se quede satisfecho y el ángulo de la rodilla vaya dentro del rango recomendando. Para la inclinación del sillín se ocupa un nivel digital que va colocado sobre el mismo.



*Ilustración 23 Ajuste de la inclinación y altura del sillín.
Elaborado por: El investigador*

Cabe destacar que además de las rodillas, en el bikefitting estudian también el ángulo en los brazos para que exista un amortiguamiento en la zona de los codos, la idea de ello es que las vibraciones que se generan del terreno desaparezcan en esa parte y no lleguen a cargar los hombros.

La potencia de la bicicleta o codo es la que une el volante con la horquilla y la mayoría de las actuales se pueden invertir, obligando al ciclista a estirarse un poco más y adaptar una posición de ataque, para invertir una potencia es recomendable que el ciclista tenga flexibilidad.



Ilustración 24 Ajuste del volante y la potencia.

Elaborado por: El investigador

Cuando el sillín ya está en su posición definitiva se ajustan las manetas del volante con la intención que las muñecas vayan rectas y no hacia abajo.



Ilustración 25 Ajuste de las manetas del volante.
Elaborado por: El investigador

Finalmente, se realiza otra grabación para constatar los resultados de la sesión de bikefitting, en donde se proyectan ambas imágenes para comparar el cambio de postura.

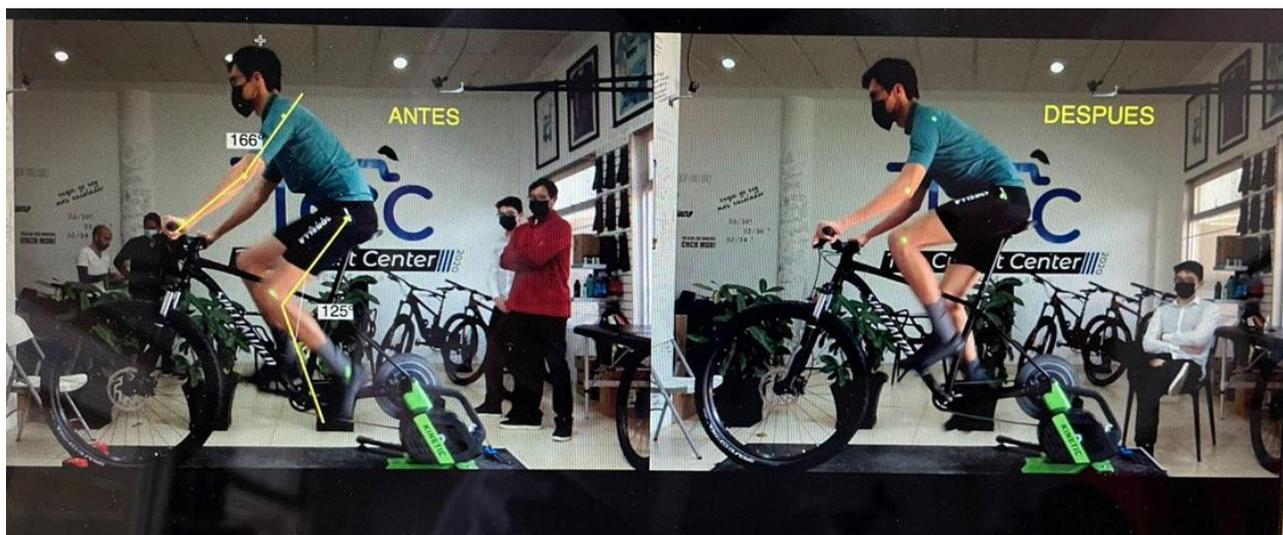


Ilustración 26 Comparación del antes y después de la sesión de Bikefitting.
Elaborado por: El investigador

Requerimientos del sistema

Requerimientos de hardware

Durante el desarrollo del proyecto se identifica requerimientos de hardware que en conjunto permiten que en el prototipo cumpla con las características deseadas, que el sistema electrónico demuestre una investigación previa sobre acoples, montaje y resultados finales.

Tabla 2 Parámetros de hardware presentes en el proyecto

Parámetros	Características	Justificación
Mecanismo físico	Articulable Resistente	El mecanismo que servirá como estructura del sistema electrónico, deberá ser de un material resistente para que se adhiera fijamente a la pierna del ciclista, y deberá tener articulaciones para que permita el movimiento al pedalear.
Tarjeta de control	Tamaño Peso	Las dimensiones y su peso permitirán que vaya en el velcro del mecanismo físico, evitando molestias durante la sesión y permitiendo un sistema electrónico limpio y portable.
Interfaz	Concisa Amigable con el usuario	Es justo contar con una interfaz que arroje

		resultados claros, y el usuario que opere el sistema pueda entenderlo sin requerir asistencia o preparación.
--	--	--

Elaborado por: El investigador

Requerimientos de software

Para la ejecución del proyecto se ha realizado un análisis de requisitos de software para que todo el proceso vaya concatenado, dentro de los requerimientos se encuentra la comunicación del potenciómetro con la tarjeta de control, transmisión de datos, y sobre cuál será la interfaz de visualización donde serán mostrados los resultados del proyecto, este análisis se enfoca también en que los tiempos de comunicación y respuesta sean rápidos.

Tabla 3 Características técnicas requeridas en el desarrollo del proyecto

Parámetros	Características	Justificación
Señal Analógica	Convertidor Análogo Digital	La lectura de ángulos de inclinación se mide en función de la resistencia variable producida por el giro de un potenciómetro ubicado en el eje de movimiento de la rodillera.
Interfaz	Dispositivo móvil	Cualquier dispositivo que utilice sistema operativo Android y su versión lo permita, será la pantalla de visualización de los resultados que se envíen desde la base de datos.

Adquisición de información	de	Identificar rangos adecuados de los ángulos	Se utiliza un potenciómetro para la adquisición de información, con ello en base a cálculos matemáticos se identifica el mejor ángulo de rodilla que el sistema electrónico pueda alcanzar.
----------------------------	----	---	---

Elaborado por: El investigador

Selección de elementos

Tarjeta de control

Para la selección de la tarjeta de control, se analizaron varias características técnicas, tales como, tipo de comunicación, número de pines adecuados.

Tabla 4 Cuadro comparativo de las tarjetas de control

Parámetros técnicos de las tarjetas de control			
Características técnicas	Arduino Nano	Raspberry Pi 4 1GB	ESP32
			
Dimensiones	18 mm ancho 45 mm largo	53 mm ancho 85 mm	31 mm ancho 58 mm largo
Peso	5 g	22,7 g	9 g
Voltaje	5 V	5 V	3.6 V
Corriente	20 mA	3 A máx.	80 mA
Procesador	ATmega328	Quad core 64-bit ARM-Cortex A72	Dual high performance Xtensa 32 bit LX6 CPU cores

Pines	14 digitales 8 analógicos	40 pines GPIO	Para múltiples periféricos
Comunicación	UART I2C SPI	UART I2C SPI Bluetooth 5.0 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN	Wi-Fi (2.4 GHz) Bluetooth I2C
Precio	\$9,50	\$83	\$15

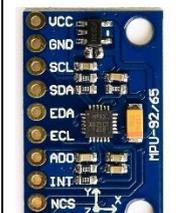
Elaborado por: El investigador

En la Tabla 4 se ha realizado la comparación de las diferentes tarjetas de control que se utilizan con frecuencia en el desarrollo de prácticas y proyectos de investigación, todas las tarjetas se ocupan para la lectura de datos provenientes de sensores, se ha mencionado los parámetros técnicos importantes a tomar en cuenta para que se integren de la mejor manera en el prototipo, tales como, pines, procesamiento, comunicación, tamaño y precio. Concluyendo que la tarjeta de control ESP32 tiene su propio compilador, permite una configuración más específica, cuenta con varios tipos de comunicación y con el número de pines suficiente, su precio es accesible y ofrece una plataforma sólida que garantiza un uso eficiente de la energía, también es confiable, seguro y con diseño compacto.

Sensores para detección de ángulos

El sistema electrónico requiere de un elemento sensor que sea el encargado de generar valores de posición angular que conlleve a obtener el ángulo de la rodilla. Los sensores y elementos disponibles en el mercado y compatibles con la tarjeta de control seleccionada se listan a continuación.

Tabla 5 Cuadro comparativo de los sensores giroscopios acelerómetros

Características técnicas	 <p>MPU 6050</p>	 <p>MPU 9250</p>	 <p>Potenciómetro</p>
--------------------------	---	--	--

Dimensiones	16 mm ancho 21 mm largo	15.5 mm ancho 26 mm largo	6 mm ancho 7 mm largo
Peso	2.1 g	2 g	1 g
Voltaje	5 V	5 V	3.3 V máx
Corriente	7.2 mA	3.2 mA	-----
Procesador	DMP	DMP	-----
Pines	1 analógico	1 analógico	analógico
Comunicación	I2C	I2C	Señal analógica
	Acelerómetro de 3 ejes Giroscopio de 3 ejes	Acelerómetro de 3 ejes Giroscopio de 3 ejes Magnetómetro de 3 ejes	-----
Captura de movimiento	9 ejes	9 ejes	-----
Precio	\$ 3,50	\$ 9,50	\$ 0,50

Elaborado por: El investigador

Poniendo a consideración los tres elementos, se escoge el potenciómetro porque es bastante simple el uso del dispositivo en el circuito, una vez montado en el eje de movimiento de la rodillera entrega valores estables y requiere de bajos recursos de procesamiento.

Comunicación inalámbrica

Los datos que ingresan a la tarjeta de control requieren ser enviados a un servidor web, donde se almacenan para ser enviados a una aplicación móvil que servirá como la interfaz del sistema electrónico. Para el envío de datos del sistema electrónico hacia la base de datos, es imprescindible que sea mediante comunicación inalámbrica, esto por motivo que el mecanismo físico se encontrara en constante movimiento debido al pedaleo durante la sesión, el tener cableada dicha comunicación, estropeará el sistema, provocando pérdida de datos e incomodidad en el ciclista, con lo que se analizan los módulos y tarjetas que tengan este tipo de comunicación.

Tabla 6 Cuadro comparativo de las tarjetas para comunicación inalámbrica

Características técnicas	Módulo Bluetooth HC05 	ESP32 	Xbee Pro
--------------------------	--	--	----------

			
Dimensiones	16 mm ancho 37 mm largo	31 mm ancho 58 mm largo	25 mm ancho 33 mm largo
Peso	3.6 g	9 g	10 g
Voltaje	3.6 V	3.6 V	3.3 V
Corriente	50 mA	80 mA	250 mA
Procesador	CSR BC417	Dual high performance Xtensa 32 bit LX6 CPU cores	ISM
Pines	RX, TX	Para múltiples periféricos	5 pines analógicos / digitales
Comunicación	UART	Wi-Fi (2.4 GHz) Bluetooth I2C	UART RF
Precio	\$11	\$15	\$50

Elaborado por: El investigador

Para la comunicación inalámbrica, se decide utilizar el tipo de comunicación Wifi debido a que con ello solo sería necesaria una única tarjeta ESP32 para la transmisión y procesamiento. Hoy en día la mayoría de usuarios dispone de datos móviles en sus dispositivos móviles y de red Wifi en sus hogares por lo que será universal esta transmisión. El costo es accesible, existe información en internet para su programación y el tiempo de respuesta ha sido favorable.

Circuito del sistema electrónico

El circuito que ejecutará las mediciones se compone de un microcontrolador ESP32, un potenciómetro, una batería tipo Lipo y cables de conexión. La tarjeta ESP32 tiene puertos analógicos para la conexión con el potenciómetro, y es por donde se da lectura a los datos. La alimentación del potenciómetro se realiza con un voltaje de 3.3 V debido a que es el voltaje máximo que soportan los pines de la ESP32, La conexión se

realiza de la siguiente manera: el primer pin se conecta a VCC, el pin intermedio es el que tendrá una variación entre 0 y 3.3 V, y el último pin se conecta a GND.

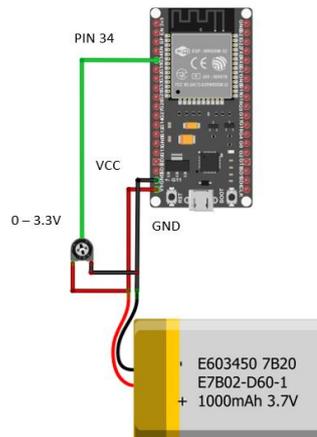


Ilustración 27 Esquema del sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

En la Figura 27 se presenta el circuito del sistema electrónico diseñado en el software fritzing, sirviendo de guía clara para el armado rápido y seguro que permita el funcionamiento óptimo de las mediciones angulares.

Etapas de Programación

Para el desarrollo del código se ha utilizado el compilador ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) para la configuración del ESP32, con una ventaja frente al compilador de Arduino, que se tiene mayor libertad para configurar las funciones del microcontrolador, el ambiente de Espressif está orientado al desarrollo de aplicaciones de IoT con Wi-Fi, Bluetooth y diversas otras características que ayude a los desarrolladores a plasmar sus ideas en el uso del hardware ESP32.

Para la lectura de los sensores se utiliza 3 librerías, la librería de control analógico para la adquisición de datos, la librería para la comunicación WiFi que es librería propia del IDE, y para los sockets se utiliza librerías de bajo nivel que son propias del lenguaje C.

Cálculo para la obtención del ángulo

El potenciómetro se ha fijado en la articulación central de la rodillera gracias a que varían los dos extremos de la rodillera uniformemente permitiendo que el potenciómetro fijado anteriormente con un acople metálico permita variar su valor al mínimo movimiento durante el pedaleo.

Una vez fijado el potenciómetro con el acople metálico al eje central de la rodillera se procede a realizar las primeras mediciones con la finalidad de ir corrigiendo su posición final, cuando ya se fija el potenciómetro se calibra colocando la rodillera en un ángulo de 90 y 180 grados, el valor binario recibido a los 90 y 180 grados se toma como referencia, luego se hace utiliza la ecuación de la recta, la pendiente, para tener una mejor relación del valor analógico al valor del ángulo.

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$$

$$m = \frac{90 - 180}{1545 - 3380}$$

$$m = \frac{90}{1835}$$

$$m = 0.0490446$$

El valor de voltaje del potenciómetro varía entre 0 y 3.3V, a esto, se le pasa a valor binario, mediante el conversor análogo digital de 12 bits con el que cuenta la tarjeta ESP32.

Para ir encontrando los valores de ángulo, se emplea el valor de pendiente obtenido y los valores que entrega el convertidor análogo digital, esto tanto en 90 y 180 grados.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y = y_1 + m(x - x_1)$$

y es el ángulo que se quiere encontrar.

x es el valor que entrega el convertidor análogo digital.

y_1 se refiere a los 90 o 180 grados.

x_1 es el correspondiente valor binario que para 90 grados es 1545, o para 180 grados, 3380 en valor de 12 bits.

Y ya es el angulo.

$$y = 90 + 0.0490446(x - 1545)$$

Diagrama de flujo de la aplicación

El diagrama a continuación, explica el proceso bajo el cual se ha diseñado la aplicación en Android Studio.

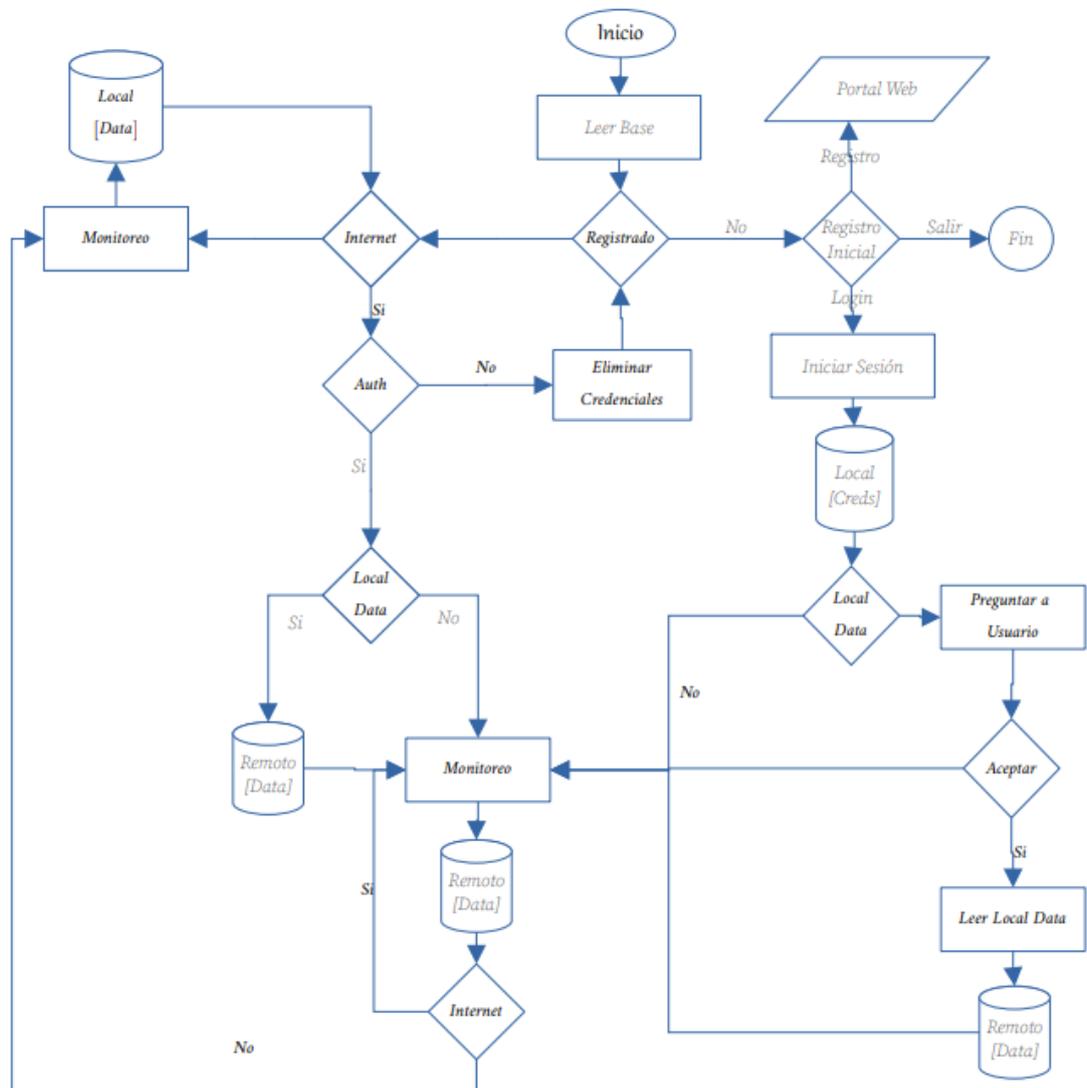


Ilustración 28 Diagrama de funcionamiento de la aplicación móvil.

Elaborado por: El investigador

La aplicación y la página web funcionan de acuerdo a un registro e historial de usuarios, en la pestaña principal de la aplicación o de la página se muestra una opción para registro en caso de requerir creación de usuario, o la de inicio de sesión si el usuario ya se encuentra registrado. Una vez la aplicación detecta un ingreso comienza el monitoreo de los datos que están siendo transmitidos por la tarjeta electrónica, el sistema cuenta también con seguridad que lo que hace es que, al momento de registrar

un nuevo usuario, éste ingresa su correo electrónico al cual se le enviará un código para validar el registro del usuario.

Interfaz de la aplicación móvil

Para la visualización de los resultados se ha creado una aplicación móvil para sistemas operativos Android, al ejecutar la app se tiene una ventana que presenta 3 botones, uno para registrar usuarios, para iniciar sesión en caso de haber creado un usuario con antelación y una pestaña para salir de la aplicación, Figura 29.



Ilustración 29 Ventana principal de la aplicación móvil.

Elaborado por: El investigador

Al tener a un nuevo usuario se escoge el botón de registrar usuario, con ello se añade a los ciclistas para su sesión de recomendación de altura del sillín, para el registro es necesario ingresar los nombres, apellidos, correo electrónico, como se muestra en la Fig 30.

Una vez realizado el registro y validada la cuenta, hay que regresar a la pestaña de inicio de sesión, Fig 31.

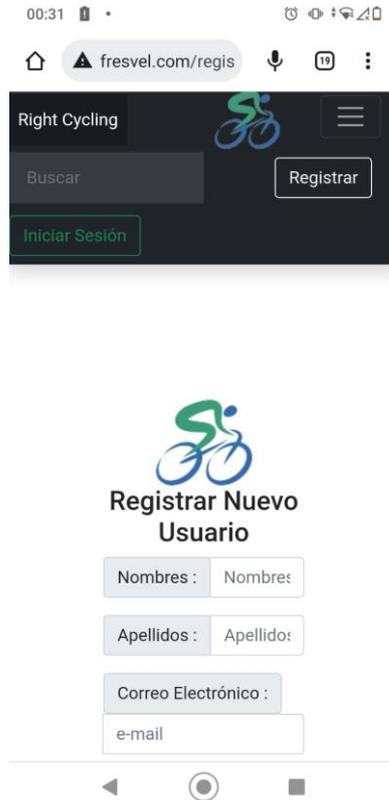


Ilustración 30 Ventana de registro en la aplicación móvil.
Elaborado por: El investigador



Ilustración 31 Ventana de inicio de sesión en la aplicación móvil.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 32 se presenta la ventana de visualización donde el ciclista comprueba el ángulo que va teniendo durante el pedaleo, cuando su pierna se encuentra lo más estirada, en un punto intermedio o recogida, en la parte superior se indica el nombre del ciclista y a su vez en la parte inferior de la interfaz se indica un mensaje con la recomendación sugerida por los profesionales de que el ángulo se encuentre dentro del rango sugerido para evitar lesiones de rodillas.



*Ilustración 32 Ventana de visualización del ángulo de la rodilla.
Elaborado por: El investigador*

Interfaz del servidor web

En la página web se tiene una ventana similar a la de la aplicación móvil, cuenta así mismo con la ventana para registro, inicio de sesión y autenticación mediante un código que se genera al momento del registro y se envía al correo electrónico del ciclista.



Iniciar Sesión

Usuario	Ingrese nombre de usuario
Contraseña	Ingrese contraseña
<input type="button" value="Iniciar Sesión"/>	

Ilustración 33 Ventana de inicio de sesión.

Elaborado por: El investigador



Registrar Nuevo Usuario

Nombres :	Nombres
Apellidos :	Apellidos
Correo Electrónico :	e-mail
Nombre de Usuario :	Nombre de Usuario
Contraseña :	Contraseña
Confirmar Contraseña :	Contraseña
Tipo :	Tipo
<input type="button" value="Registrar"/>	

Ilustración 34 Ventana de registro de un nuevo usuario.

Elaborado por: El investigador



Activar Usuario

José Andrés Corella Moncada

Ingrese el código de confirmación enviado al correo marce_corella@hotmail.es .

Código de Activación	<input type="text" value="Ingrese el código enviado al correo"/>
<input type="button" value="Activar"/>	

Ilustración 35 Ventana para activación del usuario.

Elaborado por: El investigador



Activar Usuario

José Andrés Corella Moncada

Ingrese el código de confirmación enviado al correo marce_corella@hotmail.es .

Código de Activación	<input type="text" value="wmf32po "/>
<input type="button" value="Activar"/>	

Ilustración 36 Registro de código recibido en el correo del usuario.

Elaborado por: El investigador

Alimentación del circuito electrónico

Para la alimentación del circuito se requiere el uso de una batería externa, y para ello se realiza el cálculo de la duración de la batería, para lo cual se analizan los voltajes y corrientes a los que operen los elementos electrónicos, así como también, el tiempo que debe permanecer encendido. Para ello, se realiza la investigación de cada elemento basándose en los respectivos datasheets y se los expone en la Tabla 1.

Tabla 7 Consumo Energético del Sistema Electrónico

CONSUMO DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS			
Nº	Componentes	Voltaje	Corriente
1	ESP32	3 – 3.6 V	80 mA
1	Potenciómetro	0 – 3.3 V	0.19 mA

Elaborado por: El investigador

Una vez expuestos dichos valores de voltaje y corriente se proceden con su análisis, la tarjeta electrónica ESP32 y el potenciómetro serán alimentados con voltajes bajos suministrados por una batería tipo Lipo.

Por otro lado, la corriente total del sistema electrónico se obtiene mediante una sumatoria de todos los valores presentados en la Tabla 1, dando como resultado un consumo de corriente 80.19 mA. Para seleccionar el valor de corriente de la batería se considera primero el consumo total previamente calculado y el tiempo mínimo de operación que requiere el sistema. Un análisis para saber la altura correcta del sillín toma un tiempo entre 15 y 25 minutos, pero también se requiere que el sistema pueda realizar mínimo unas 5 mediciones antes que requiera cargarse, por lo que una hora y media que se encuentre en funcionamiento será suficiente. Se realizó un análisis para conocer la duración del sistema si se utiliza una batería de 500 mAh en base a la fórmula.

$$Q(mA/h) = \frac{C \cdot T}{0.8}$$

donde:

C= miliamperios consumidos por el Sistema, suma de todas las cargas del sistema en mA

T= tiempo esperado de duración en horas

Factor 0.8= eficiencia esperada de la batería

$$Q = \frac{80.19 \cdot 1.5h}{0.8}$$

$$Q = \frac{120.28}{0.8}$$

$$Q = 150.35 mA/h$$

Teniendo presente el consumo del sistema electrónico en relación por hora, se calcula el tiempo total que éste se mantendrá encendido, esta operación se la realiza en función a los miliamperios de la batería Lipo.

$$T = \frac{\text{Capacidad de la batería(mA)}}{\text{Consumo de corriente total del circuito (mA/h)}}$$

$$T = \frac{500 \text{ mA}}{150.35 \text{ mA/h}}$$

$$T = 3.325 \text{ h}$$

Con la batería de 500 mA se llega a tener un aproximado de 3.325 horas de funcionamiento el circuito, cumpliendo las expectativas esperadas en el sistema electrónico. [20]

Montaje del circuito

Diseño que se muestra en la Figura 37. Para el montaje del circuito y probar los sensores de inclinación se armó el circuito en una placa protoboard, una vez aceptado el circuito sirvió también para alimentar el circuito con la batería Lipo y corroborar el tiempo de la misma cumpla.

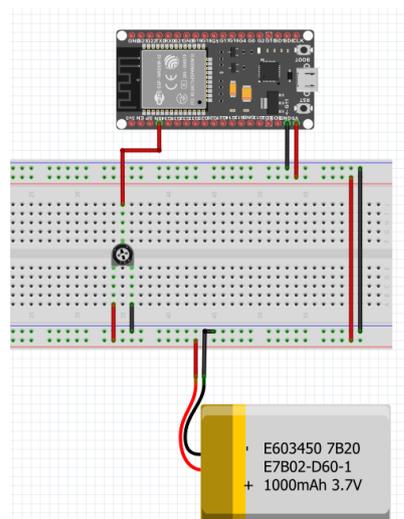


Ilustración 37 Diagrama del circuito del sistema electrónico.

Elaborado por: El investigador

Una vez probado el circuito se realizan las adaptaciones necesarias a los elementos para montarlos en la estructura del prototipo para que se mantengan fijos y que al momento del pedaleo no se muevan los elementos ni se estiren o estropeen los cables.

Presentación del Prototipo

Para la construcción del prototipo se adquirió una rodillera que se utiliza en fisioterapia para mantener fija la pierna en caso de operaciones de ligamento de rodilla, el motivo por el que fue de utilidad esta rodillera es que lleva articulaciones que permiten desbloquearlas para tener total movilidad permitiendo pedalear sin problema. En la rodillera se fijó el sistema electrónico que gracias a sus reducidos elementos no influye en peso y el ciclista se siente cómodo.



Ilustración 38 Brace para ligamento de rodilla.

Elaborado por: El investigador

Para realizar las mediciones de ángulo fue necesario el fijar la bicicleta para poder pedalear cómodamente, para ello se adquirió un rodillo estático de entrenamiento, y al realizar la prueba en bicis de montaña fue indispensable utilizar una llanta adecuada para rodillo puesto que la llanta de montaña al ser de mayor volumen y tener grip no se acopla a este tipo de rodillos.



Ilustración 39 Rodillo estático de entrenamiento.

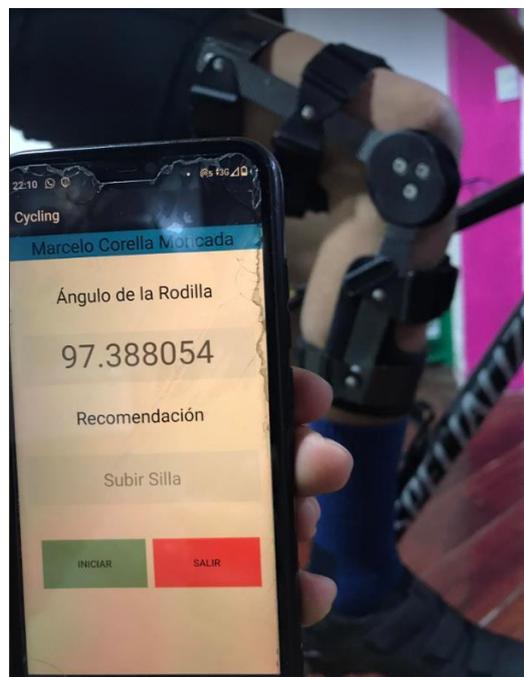
Elaborado por: El investigador



*Ilustración 40 Bicicleta fijada al rodillo estático.
Elaborado por: El investigador*

Evaluación de prototipo

Para evaluar el prototipo se tomaron distintas muestras de las mediciones en ángulos específicos de 45, 90 y 135 grados obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 8.



*Ilustración 41 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.
Elaborado por: El investigador*

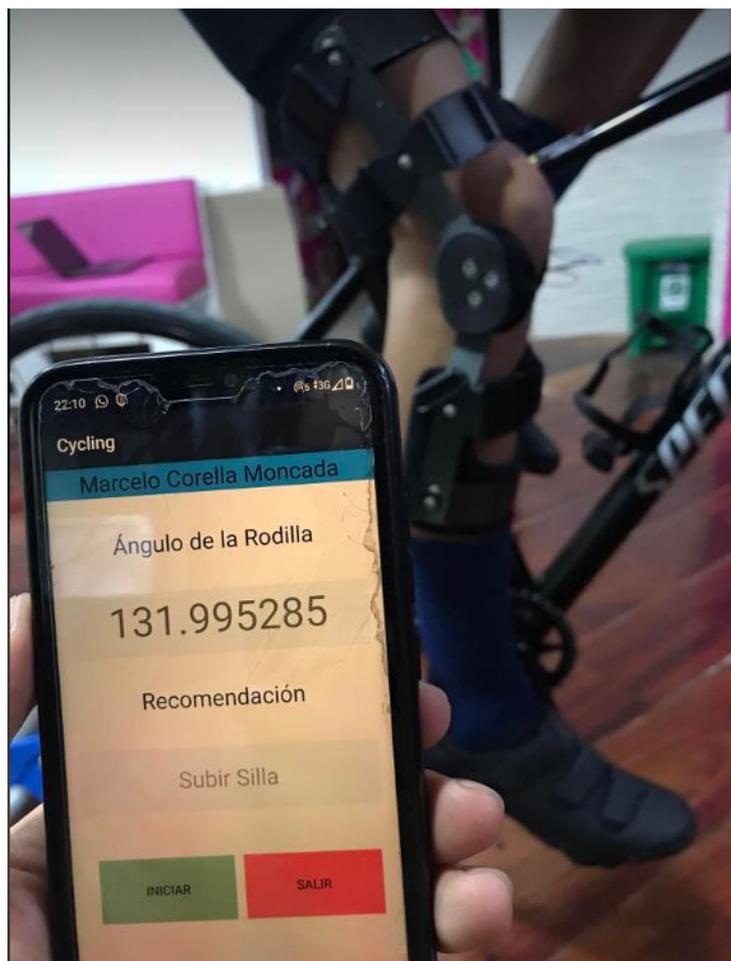


Ilustración 42 Medición de ángulo de rodilla en el punto más alejado.

Elaborado por: El investigador

Tabla 8 Muestras de las mediciones de ángulo de rodilla

90	Error	45	Error	135	Error
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,3181	-0,3181	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,2828	-0,2828	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,3181	-0,3181	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,6819	0,3181	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,0353	-0,0353
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,3181	-0,3181	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,1414	-0,1414	44,6819	0,3181	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,2828	-0,2828	44,9293	0,0707	135,1767	-0,1767

90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,2828	-0,2828	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,7172	0,2828	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,3888	-0,3888	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,2121	-0,2121
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,3535	-0,3535	44,7879	0,2121	135,0353	-0,0353
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135	0
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414

90,1767	-0,1767	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,2121	-0,2121
90,3181	-0,3181	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,2474	-0,2474	44,8232	0,1768	135,0353	-0,0353
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,3888	-0,3888	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,0353	-0,0353
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,9646	0,0354	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,0353	-0,0353	44,8939	0,1061	135,0353	-0,0353
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	45	0	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7172	0,2828	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,9646	0,0354	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767

90,2828	-0,2828	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,2828	-0,2828	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,3888	-0,3888	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8586	0,1414	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,9646	0,0354	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,7526	0,2474	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,9646	0,0354	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,9646	0,0354	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,0353	-0,0353	44,9646	0,0354	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,7172	0,2828	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,0353	-0,0353
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,7526	0,2474	135,1767	-0,1767
90,2474	-0,2474	44,9293	0,0707	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,0353	-0,0353
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106

90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,2474	-0,2474
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,7172	0,2828	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,0707	-0,0707	44,8232	0,1768	135,0353	-0,0353
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,0707	-0,0707	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90	0	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,0353	-0,0353
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,0353	-0,0353
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,2121	-0,2121
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,2121	-0,2121
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,2474	-0,2474
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,2474	-0,2474	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,7526	0,2474	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767

90,2474	-0,2474	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,0707	-0,0707	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,7526	0,2474	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,2121	-0,2121	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,7526	0,2474	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,0707	-0,0707	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,0353	-0,0353
90,1767	-0,1767	44,7172	0,2828	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,7172	0,2828	135,106	-0,106
90,0353	-0,0353	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,7526	0,2474	135,106	-0,106
90,2121	-0,2121	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90	0	44,8939	0,1061	135,0353	-0,0353
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,0707	-0,0707	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,0353	-0,0353
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,2121	-0,2121
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,9293	0,0707	135,0353	-0,0353

90,2121	-0,2121	45	0	135,0353	-0,0353
90,106	-0,106	44,7526	0,2474	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
89,9646	0,0354	44,7526	0,2474	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,9646	0,0354	135,0707	-0,0707
90,2474	-0,2474	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7526	0,2474	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,0707	-0,0707
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,0353	-0,0353
90,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,0353	-0,0353
90,106	-0,106	44,9293	0,0707	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,9293	0,0707	135,0707	-0,0707
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,1767	-0,1767	44,7526	0,2474	135,1414	-0,1414
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,106	-0,106	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,6819	0,3181	135,2474	-0,2474
90,106	-0,106	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414
90,1414	-0,1414	45	0	135,0353	-0,0353
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,1767	-0,1767
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,7879	0,2121	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8939	0,1061	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,8232	0,1768	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,106	-0,106
0,1414	-0,1414	44,8232	0,1768	135,0707	-0,0707
90,2121	-0,2121	44,7879	0,2121	135,0707	-0,0707

90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1767	-0,1767
90,2121	-0,2121	44,8232	0,1768	135,1414	-0,1414
90,1767	-0,1767	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,1414	-0,1414	44,9293	0,0707	135,106	-0,106
90,106	-0,106	44,8939	0,1061	135,106	-0,106
90,0707	-0,0707	44,7879	0,2121	135,2121	-0,2121
90,2474	-0,2474	44,8939	0,1061	135,1767	-0,1767
90,1414	-0,1414	44,7879	0,2121	135,0353	-0,0353
90,1767	-0,1767	44,8586	0,1414	135,1414	-0,1414

Promedio de errores en los diferentes ángulos

Error 90°	Error 45°	Error 135°		
-52,9824	46,5257	-37,9573		
-0,176608	0,15508567	0,12652433	-0,458218	0,15273933

Promedio de la medición angular en un punto medio del pedaleo

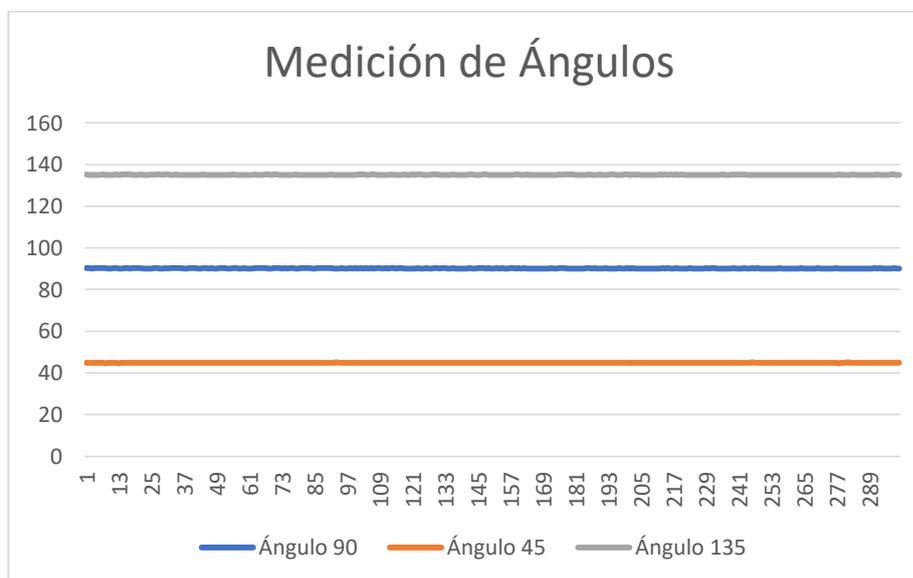


Ilustración 43 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.
Elaborado por: El investigador

En la Figura 43 se observa una gráfica en donde se resalta que la variación del valor real respecto al valor medido para los tres ángulos es imperceptible. Y en la Figura 44 se indica la gráfica de error de las mediciones, obtenidas de las muestras de la medición, derivando un error promedio de 0,15 grados, como se encuentra marcado con rojo en la Tabla 8.

Gráfica de error de medición angular en un punto medio del pedaleo

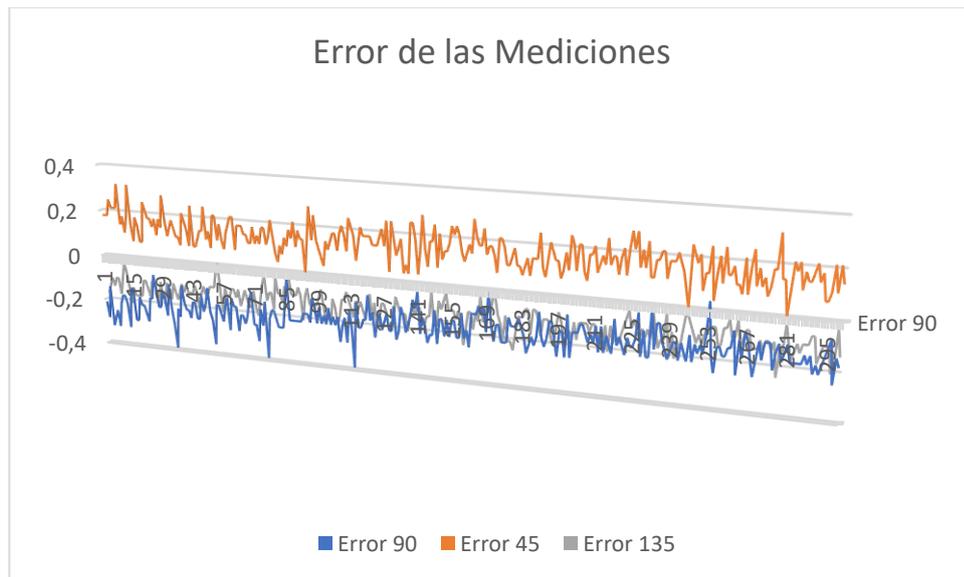


Ilustración 44 Medición del ángulo de rodilla en un punto medio del pedaleo.
Elaborado por: El investigador

Presupuesto de construcción del prototipo

En la Tabla 9 se da a conocer el presupuesto requerido para el desarrollo del sistema electrónico, se ha segmentado como elementos, materiales y otros. Se cotizó con la finalidad de obtener los mejores precios, sin dejar de lado el funcionamiento.

Tabla 9 Presupuesto del sistema electrónico

PRESUPUESTO				
Ítems	Elementos	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
		Elementos Electrónicos		
1	ESP32	1	15	\$ 15,0
2	Potenciómetro	1	0,5	\$ 0,5
3	Batería Lipo	1	11	\$ 11
4	Cargador de Lipo	1	20	\$ 20
		Materiales		
5	Rodillera	1	140	\$ 140
6	Rodillo de entrenamiento	1	152	\$ 152
7	Llanta para rodillo	1	12	\$ 12
8	Tubo para la llanta	1	5	\$ 5
9	Multímetro	1	19	\$ 19
10	Estaño	1	2	\$ 2

11	Pack de Cables	3	0,7	\$ 2
12	Goniómetro	1	15	\$ 15
13	Juego de escuadras	1	3	\$ 3
14	Pedales automáticos	1	35	\$ 35
Otros				
15	BikeFitting	1	100	\$ 100
Total				\$ 532
Imprevistos 5%				\$ 27
VALOR TOTAL				\$ 559

Elaborado por: El investigador

El sistema electrónico de medición de posición angular tiene un costo total de \$559, teniendo en cuenta que durante el desarrollo del proyecto se invirtió en diversos elementos, para realizar pruebas y calibrar como es el caso del BikeFitting a manos de un profesional, para fijar la bicicleta un rodillo estático, cabe mencionar que existen rodillos de todo tipo de precio, pero se optó por uno que tenga la posibilidad de adquirir accesorios para todo tipo de eje debido a los diferentes tipos de ejes en las bicicletas. El costo final del prototipo permite al usuario realizar estudios a costos básicos respecto al de un servicio profesional, e incluso si el usuario dispone de alguna tienda de bicicletas lo puede ofrecer como un servicio gratuito al momento de adquirir una bicicleta.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El sistema electrónico desarrollado permite a un ciclista amateur conocer la altura de sillín adecuada, tomando en cuenta los rangos de ángulos en las rodillas y las sensaciones al pedalear.
- Se identificó las diversas lesiones de rodillas provocadas por llevar un deficiente ajuste de la altura del sillín, con sillines bajos sobrecargas en los cuádriceps, y con sillines altos tendinitis rotuliana.
- El ajuste incorrecto de la altura del sillín presenta sus estragos en la mayoría de casos, cuando el ciclista lleva pedaleando más de una hora, la mala posición está asociada generalmente a dolores o molestias en la zona lumbar.
- El sistema electrónico toma mediciones angulares estables, utilizando un potenciómetro en función de la variación de voltaje.
- Se gestionó una aplicación móvil con registro de usuarios, para visualizar los ángulos de pedaleo, y jugar un poco con la altura del sillín en base a las sensaciones y ángulos recomendados.

4.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas de manejo antes de adquirir una bicicleta, visitando las tiendas para ver cuál se ajusta a sus necesidades, talla, marca, geometría del cuadro, que permitan ajustarla a medidas antropométricas.
- Durante la toma de mediciones el pedaleado debe ser, en una marcha lenta para adquirir de mejor manera los datos y que el sistema electrónico no confunda sus valores.
- Para calibrar el sistema se debe recurrir a un asesoramiento profesional, como Fitters experimentados que den a conocer el rango del ángulo adecuado para partir de ahí y saber que valores alcanzar.

Bibliografía

- [1] T. Huang, «A study on comfort sensation of the road cycling body geometry fitting system,» Chaoyang, 2018.
- [2] C. Jaynor, L. Pérez y D. Tocino, Madrid, 2017.
- [3] S. Carrasco, «ANÁLISIS BIOMECÁNICO EN LOS CICLISTAS DE RUTA CATEGORÍA MASTER,» Ambato, 2017.
- [4] G. Serrancoli, P. Bogatikov y J. Palés, «Marker-Less Monitoring Protocol to Analyze Biomechanical Joint Metrics During Pedaling,» *IEEE Access*, 2020.
- [5] J. Carranco y F. Salgado, «SISTEMA DE DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE POSTURA DE CICLISTAS, BIKE FIT, MEDIANTE KINECT V.2 Y REDES NEURONALES.,» Cuenca.
- [6] A. Muñoz, «Real Federación Española de Ciclismo,» [En línea]. Available: https://rfec.com/es/smartweb/universo_ciclista/articulo/rfec/169-Bikefitting-o-biomecanica-Que-eliges. [Último acceso: 2 Diciembre 2021].
- [7] L. Cruz, M. Betancourt, I. Fonseca, J. Bernate, C. Arias y K. Gómez, «Bike fitting para el rendimiento y la prevención de lesiones en ciclistas de ruta aficionados y profesionales,» *Viref Revista de Educación Física*, vol. 9, nº 1, 2020.
- [8] K. Lizarraga Sainz, «Uso regular de la bicicleta y calidad de vida,» de *La Bicicleta Salud, Seguridad y Movilidad Sostenible Personas, máquinas y entorno*, Bizkaia, 2020, pp. 25-30.
- [9] H. van Dijk, R. van Megen y G. Vroemen, *The secret of cycling*, Paidotribo, 2017.
- [10] R. Araujo y F. Isch, Interviewees, *Qué es el BikeFitting? Para qué sirve? Quienes necesitan?.* [Entrevista]. 5 Abril 2021.
- [11] R. Mora, J. Mora, J. Nogales y B. Martín, «Diagnóstico por imagen de las lesiones más habituales derivadas,» *SERAM*, p. 3, 2018.
- [12] Y. Alcalde, «C&R Ciclismo y Rendimiento,» [En línea]. Available: <https://www.ciclismoyrendimiento.com/category/biomecanica/page/4/>. [Último acceso: 10 Junio 2021].
- [13] P. Bueno, «Ciclismo a fondo,» 6 Enero 2020. [En línea]. Available: https://www.ciclismoafondo.es/reportajes-ciclismo/informe-la-posicion-ideal-sobre-la-bicicleta_33918_102.html. [Último acceso: 19 Agosto 2021].
- [14] Fisioonline, «fisioonline todo sobre terapia,» 12 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/goniometro-o-instrumento-de-valoracion-en-fisioterapia>. [Último acceso: 27 Enero 2022].

- [15] Oracle Argentina, «ORACLE,» [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/>. [Último acceso: 14 Agosto 2022].
- [16] Microsoft, «Azure Protocolos y tecnologías de IoT,» [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>. [Último acceso: 19 Mayo 2022].
- [17] N. Nikolov, «Research of MQTT, CoAP, HTTP and XMPP IoT Communication protocols for Embedded Systems,» *IEEE*, p. 1, 2020.
- [18] HUAWEI, «HUAWEI,» 27 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/protocolo-http-en-iot-miuconhuawei/thread/624779-100275>. [Último acceso: 30 Junio 2022].
- [19] D. Santhadevi y B. Janet, «Security Challenges in Computing System, Communication Technology and Protocols in IoT system,» *IEEE*, p. 2, 2018.
- [20] D. Santhadevi y B. Janet, «Security Challenges in Computing System, Communication Technology and Protocols in IoT system,» *IEEE*, pp. 2-3, 2018.
- [21] D. Santhadevi y B. Janet, «Security Challenges in Computing System, Communication Technology and Protocols in IoT system,» *IEEE*, pp. 3-4, 2018.
- [22] V. Padilla, «Web Server,» *Caso de Estudio: Aplicaciones en Arquitectura*, pp. 5-7, 2021.
- [23] stt systems, «stt systems,» [En línea]. Available: <https://www.stt-systems.com/es/analisis-de-movimiento/captura-de-movimiento-optico-3d/ciclismo-3dma/#analysis>. [Último acceso: 12 Abril 2022].
- [24] Retul, «Retul Premium Fit,» [En línea]. Available: <https://www.retul.com/retul-premium-fit>. [Último acceso: 5 Junio 2022].
- [25] Joaquin, Interviewee, *Biomecanica con Retul*. [Entrevista]. 15 Febrero 2019.
- [26] Digi-Key Electronics, «digikey,» [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>. [Último acceso: 3 Mayo 2022].
- [27] R. Mora, J. Mora y J. Nogales, «Diagnóstico por imagen de las lesiones más habituales derivadas,» *SERAM*, p. 16, 2018.
- [28] P. Bonilla, M. Chavarría y C. Grajales, «Tendinitis Rotuliana,» *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica LXIII*, p. 520, 2016.
- [29] P. Martínez, «Clínica del Pie La Malagueta,» [En línea]. Available: <https://clinicadelpielamalagueta.com/podologo-deportivo-malaga/estudio-biomecanico-de-la-bicicleta/>. [Último acceso: 15 Agosto 2021].

- [30] The Cyclist Center, «Red Social Instagram,» 18 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/p/CGgmBkHAfr4/>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].
- [31] R. Ibense, «Apeu Clinica Podologica,» [En línea]. Available: <https://www.apeclinicapodologica.es/2021/05/25/el-metodo-holmes%F0%9F%9A%B4-biomecanica-del-ciclismo/>. [Último acceso: 27 Enero 2022].

Anexos

Anexo 1: Sistema electrónico en funcionamiento



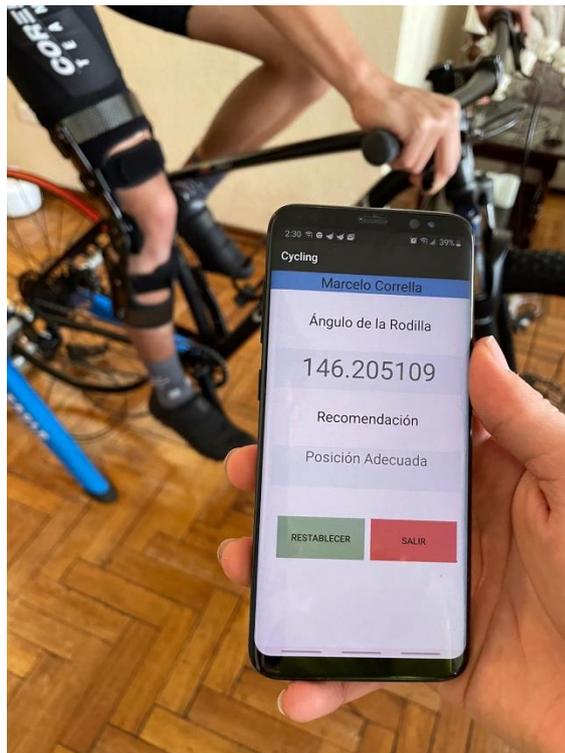
Anexo 2: Sistema electrónico



Anexo 3: Interfaz con altura de sillín elevada



Anexo 4: Prueba de referencia que el sistema se encuentra calibrado



Anexo 5: Código principal de la tarjeta electrónica ESP32

```
#include <stdio.h>
#include "esp_log.h"
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"
#include "freertos/queue.h"
#include "driver/i2c.h"
#include "nvs_flash.h"
#include "math.h"
#include "wifi_f/l_wifi.h"
#include "analog_f/l_analog.h"

void app_main(void)
{
    ESP_LOGI("MAIN", "CICLISMO");

    esp_err_t ret = nvs_flash_init();
    if (ret == ESP_ERR_NVS_NO_FREE_PAGES || ret == ESP_ERR_NVS_NEW_VERSION_FOUND)
    {
        ESP_ERROR_CHECK(nvs_flash_erase());
        ret = nvs_flash_init();
    }
    ESP_ERROR_CHECK(ret);
    //wifi_init_ap();
    wifi_init_sta();
    static uint8_t ucParameterToPass;
    TaskHandle_t xHandle = NULL;

    xTaskCreate( vtaskAnalog, "MPU_TIMER", 8196, &ucParameterToPass, tskIDLE_PRIORITY,
    &xHandle );
    configASSERT( xHandle );
    ESP_LOGW("MAIN", "FIN DE TAREA");
}
```

Anexo 6: Librería WiFi de la tarjeta electrónica ESP32

```
#include <string.h>
#include "esp_mac.h"
#include "esp_wifi.h"
#include "esp_event.h"
#include "lwip/err.h"
#include "lwip/sys.h"
#include "socket_f/l_socket.h"

static const char *TAG_AP = "Wifi Access Point";
static const char *TAG_STA = "wifi station";
```

```

static EventGroupHandle_t s_wifi_event_group;
static int s_retry_num = 0;

/*Código del Access Point*/
static void wifi_event_ap(void* arg, esp_event_base_t event_base, int32_t event_id,
void* event_data)
{

if (event_id == WIFI_EVENT_AP_STACONNECTED) {
wifi_event_ap_staconnected_t* event = (wifi_event_ap_staconnected_t*) event_data;
ESP_LOGI(TAG_AP, "station "MACSTR" join, AID=%d", MAC2STR(event-
>mac), event->aid);

} else if (event_id == WIFI_EVENT_AP_STADISCONNECTED) {
wifi_event_ap_stadisconnected_t* event = (wifi_event_ap_stadisconnected_t*)
event_data;
ESP_LOGI(TAG_AP, "station "MACSTR" leave, AID=%d",
MAC2STR(event->mac), event->aid);
}

}

void wifi_init_ap(void)
{
ESP_ERROR_CHECK(esp_netif_init());
ESP_ERROR_CHECK(esp_event_loop_create_default());
esp_netif_create_default_wifi_ap();

wifi_init_config_t cfg = WIFI_INIT_CONFIG_DEFAULT();
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_init(&cfg));

ESP_ERROR_CHECK(esp_event_handler_instance_register(WIFI_EVENT,
ESP_EVENT_ANY_ID, &wifi_event_ap, NULL, NULL));

wifi_config_t wifi_config = {
.ap = {
.ssid = CONFIG_AP_SSID,
.ssid_len = strlen(CONFIG_AP_SSID),
.channel = CONFIG_AP_CHANNEL,
.password = CONFIG_AP_PASSWORD,
.max_connection = CONFIG_AP_MAX_STA_CONN,
.authmode = WIFI_AUTH_WPA_WPA2_PSK,
.pmf_cfg = {
.required = false,
},
},
},
};

```

```

if (strlen(CONFIG_AP_PASSWORD) == 0) {
wifi_config.ap.authmode = WIFI_AUTH_OPEN;
}

ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_set_mode(WIFI_MODE_AP));
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_set_config(WIFI_IF_AP, &wifi_config));
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_start());

ESP_LOGI(TAG_AP, "Configuración de AP finalizada. SSID:%s password:%s
channel:%d",
CONFIG_AP_SSID, CONFIG_AP_PASSWORD, CONFIG_AP_CHANNEL);
}

static void wifi_event_sta(void* arg, esp_event_base_t event_base, int32_t event_id,
void* event_data)
{
if (event_base == WIFI_EVENT && event_id == WIFI_EVENT_STA_START) {
esp_wifi_connect();
} else if (event_base == WIFI_EVENT && event_id ==
WIFI_EVENT_STA_DISCONNECTED) {
if (s_retry_num < CONFIG_STA_MAXIMUM_RETRY) {
esp_wifi_connect();
s_retry_num++;
ESP_LOGI(TAG_STA, "Reconectando con AP");
} else {
xEventGroupSetBits(s_wifi_event_group, BIT1);
}
ESP_LOGI(TAG_STA, "No se puede conectar");
} else if (event_base == IP_EVENT && event_id == IP_EVENT_STA_GOT_IP) {
ip_event_got_ip_t* event = (ip_event_got_ip_t*) event_data;
ESP_LOGI(TAG_STA, "Estación conectada:" IPSTR, IP2STR(&event-
>ip_info.gw));

static char ip_str[15]="";
sprintf(ip_str, IPSTR, IP2STR(&event->ip_info.gw));
//String ucParameterToPass;
xTaskCreate(tcp_client_task, "tcp_client", 4096, &ip_str, 5, NULL);
s_retry_num = 0;
xEventGroupSetBits(s_wifi_event_group, BIT0);
}

}

void wifi_init_sta(void)
{
s_wifi_event_group = xEventGroupCreate();

```

```

ESP_ERROR_CHECK(esp_netif_init());
ESP_ERROR_CHECK(esp_event_loop_create_default());
esp_netif_create_default_wifi_sta();

wifi_init_config_t cfg = WIFI_INIT_CONFIG_DEFAULT();
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_init(&cfg));

esp_event_handler_instance_t instance_any_id;
esp_event_handler_instance_t instance_got_ip;
ESP_ERROR_CHECK(esp_event_handler_instance_register(WIFI_EVENT,
ESP_EVENT_ANY_ID,
&wifi_event_sta,
NULL,
&instance_any_id));
ESP_ERROR_CHECK(esp_event_handler_instance_register(IP_EVENT,
IP_EVENT_STA_GOT_IP,
&wifi_event_sta,
NULL,
&instance_got_ip));

wifi_config_t wifi_config = {
.sta = {
.ssid = CONFIG_STA_SSID,
.password = CONFIG_STA_PASSWORD,
//.threshold.authmode = WIFI_AUTH_WPA2_WPA3_PSK,
},
};
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_set_mode(WIFI_MODE_STA) );
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_set_config(WIFI_IF_STA, &wifi_config) );
ESP_ERROR_CHECK(esp_wifi_start() );

ESP_LOGI(TAG_STA, "Configuración de estación Wifi finalizada");

EventBits_t bits = xEventGroupWaitBits(s_wifi_event_group, BIT0 | BIT1,
pdFALSE, pdFALSE, portMAX_DELAY);

if (bits & BIT0) {
ESP_LOGI(TAG_STA, "Conectado a :%s", CONFIG_STA_SSID);
} else if (bits & BIT1) {
ESP_LOGI(TAG_STA, "Error al conectar a:%s", CONFIG_STA_SSID);
} else {
ESP_LOGE(TAG_STA, "Evento inesperado");
}
}

static void event_ap_sta(void* arg, esp_event_base_t event_base, int32_t event_id,
void* event_data)

```

```

{
}

void wifi_init_ap_sta(void)
{
}

```

Anexo 7: Librería para el control analógico

```

#include <stdlib.h>
#include "freertos/task.h"
#include "driver/gpio.h"
#include "driver/adc.h"
#include "esp_adc_cal.h"

#define DEFAULT_VREF 1100 //Use adc2_vref_to_gpio() to obtain a better
estimate
#define NO_OF_SAMPLES 500 //Multisampling

static esp_adc_cal_characteristics_t *adc_chars;
static const adc_channel_t channel = ADC_CHANNEL_6; //GPIO34 if ADC1,
GPIO14 if ADC2
static const adc_bits_width_t width = ADC_WIDTH_BIT_12;
static const adc_atten_t atten = ADC_ATTEN_DB_2_5;
static float angulo=0.000;
float escala=0.035349568;

static void check_efuse(void)
{
if (esp_adc_cal_check_efuse(ESP_ADC_CAL_VAL_EFUSE_TP) == ESP_OK) {
printf("eFuse Two Point: Supported\n");
} else {
printf("eFuse Two Point: NOT supported\n");
}
if (esp_adc_cal_check_efuse(ESP_ADC_CAL_VAL_EFUSE_VREF) == ESP_OK)
{
printf("eFuse Vref: Supported\n");
} else {
printf("eFuse Vref: NOT supported\n");
}
}

static void print_char_val_type(esp_adc_cal_value_t val_type)

```

```

{
if (val_type == ESP_ADC_CAL_VAL_EFUSE_TP) {
printf("Characterized using Two Point Value\n");
} else if (val_type == ESP_ADC_CAL_VAL_EFUSE_VREF) {
printf("Characterized using eFuse Vref\n");
} else {
printf("Characterized using Default Vref\n");
}
}

void vtaskAnalog(void)
{
//Check if Two Point or Vref are burned into eFuse
check_efuse();

adc1_config_width(width);
adc1_config_channel_atten(channel, atten);

//Characterize ADC
adc_chars = calloc(1, sizeof(esp_adc_cal_characteristics_t));
esp_adc_cal_value_t val_type = esp_adc_cal_characterize(ADC_UNIT_1, atten,
width, DEFAULT_VREF, adc_chars);
print_char_val_type(val_type);

//Continuously sample ADC1
while (1) {
uint32_t adc_reading = 0;
//Multisampling
for (int i = 0; i < NO_OF_SAMPLES; i++) {
adc_reading += adc1_get_raw((adc1_channel_t)channel);
}
adc_reading /= NO_OF_SAMPLES;
adc_reading =4095-adc_reading;
angulo=escala*adc_reading;
//Convert adc_reading to voltage in mV
//uint32_t voltage = esp_adc_cal_raw_to_voltage(adc_reading, adc_chars);
printf("Raw: %d\tVoltage: %.4f°\n", adc_reading, angulo);
vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(1000));
}

```

Anexo 8: Librería para la comunicación por sockets

```

#include <string.h>
#include <sys/param.h>
#include "freertos/event_groups.h"
#include "esp_system.h"
#include "esp_netif.h"

```

```

#include "lwip/err.h"
#include "lwip/sockets.h"

#include "../analog_f/l_analog.h"

static const char *TAG_SK = "Cliente Socket";
float sk_output= 0.000;

static void tcp_client_task(void *pvParameters)
{

ESP_LOGI(TAG_SK, "Valor recibido %s", pvParameters);
char rx_buffer[128];
//char host_ip[] = CONFIG_IPV4_SOCKET_SERVER;
char host_ip[15];
sprintf(host_ip, "%s", pvParameters);
int addr_family = 0;
int ip_protocol = 0;

while (1) {

struct sockaddr_in dest_addr;
dest_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr(host_ip);
dest_addr.sin_family = AF_INET;
dest_addr.sin_port = htons(CONFIG_PORT_SOCKET_SERVER);
addr_family = AF_INET;
ip_protocol = IPPROTO_IP;

int sock;
int err;

ESP_LOGW(TAG_SK, "##### 1 #####");
while (1)
{
sock = socket(addr_family, SOCK_STREAM, ip_protocol);
if (sock < 0) {
//ESP_LOGE(TAG_SK, "Unable to create socket: errno %d", errno);
}
//ESP_LOGI(TAG_SK, "Socket created, connecting to %s:%d", host_ip,
CONFIG_PORT_SOCKET_SERVER);

err = connect(sock, (struct sockaddr *)&dest_addr, sizeof(struct sockaddr_in6));
if (err != 0) {
//ESP_LOGE(TAG_SK, "Socket unable to connect: errno %d", errno);
shutdown(sock, 0);
close(sock);
}else {
break;
}
}
}

```

```

ESP_LOGI(TAG_SK, "Successfully connected");
}

vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
}

ESP_LOGW(TAG_SK, "##### 2 #####");
int size=0;
while (1) {

sk_output=angulo;
if(sk_output==0)
size=9;
else if(sk_output>0)
size=(int)log10(sk_output)+9;
else
size=(int)log10(abs(sk_output))+10;

char buffer[size];

sprintf(buffer, "%.6f\n", angulo);

ESP_LOGI(TAG_SK, "Valor de buffer Socket %s", buffer);

err = send(sock, buffer, size, 0);
if (err < 0) {
ESP_LOGE(TAG_SK, "Error occurred during sending: errno %d", errno);
break;
}
//ESP_LOGI(TAG_SK, "Mensaje enviado, esperando respuesta");
//shutdown(sock, 0);
//close(sock);
/*int len = recv(sock, rx_buffer, sizeof(rx_buffer) - 1, 0);
// Error occurred during receiving
if (len < 0) {
ESP_LOGE(TAG_SK, "recv failed: errno %d", errno);
break;
}
// Data received
else {
rx_buffer[len] = 0; // Null-terminate whatever we received and treat like a string
ESP_LOGI(TAG_SK, "Received %d bytes from %s:", len, host_ip);
ESP_LOGI(TAG_SK, "%s", rx_buffer);
}*/
sk_output++;

vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
}

```

```

ESP_LOGW(TAG_SK, "##### 3 #####");
if (sock != -1) {
ESP_LOGE(TAG_SK, "Shutting down socket and restarting...");
shutdown(sock, 0);
close(sock);
}
ESP_LOGW(TAG_SK, "##### 4 #####");
}
vTaskDelete(NULL);
}

```

Anexo 9: Función principal del Servidor Web

```

const express=require('express')
const body=require('body-parser')
const session=require('express-session')
const app=express()
const port=80
const { database}=require('./modelos/database/mqtt_user.js')
const MysqlSession=require('express-mysql-session')(session)

const mysqlStore=new MysqlSession(database)

```

//3.1 Peticiones Post

```

app.use(body.urlencoded({extended:false}))
app.use(body.json())

```

//1.- Rutas estáticas

```

app.use(express.static(`${__dirname}/public`))

```

//2.- Variables de entorno

```

const dotenv=require('dotenv')
const { sesionControl } = require('./funciones/session.js')
dotenv.config({path: './env/.env'})

```

//3.- Rutas dinámicas

```

app.set('view engine', 'ejs')
app.set('views', `${__dirname}/vistas`)

```

//4.- Ruteo y cookies

```

app.use(session({
key:'id_usuario',
secret:'first session',
store: mysqlStore,
saveUninitialized:true,
resave:true,
cookie:{

```

```

maxAge:60000
}
)))

app.use('/login', require('./rutas/login.js'))
app.use('/', require('./rutas/root.js'))
//app.use('/admin', './usuarios/admin.js')

//5.- Estados
app.use((req, res, next)=>{

console.log('Recurso no encontrado')
const login=sesionControl(req.session)
const sesion=Object.assign({}, login)
res.status(404).render('404',{sesion})
})

//6.- Servidor
app.listen(port, ()=>{
console.log(`Servidor de Ciclismo en puerto ${port}` )
})

//Conexión MQTT

const {pool}=require('./modelos/database/mqtt_user.js')
const mqtt=require('mqtt')
const mqtt_options={
clientId:'Nodejs Server',
username:process.env.MQ_USER,
password:process.env.MQ_PASSW,
clean:true
}

console.log('++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++\n
Conectando a Broker')
const client=mqtt.connect('mqtt://fresvel.com:1883', mqtt_options);

client.on('connect', ()=> {
client.subscribe('Usuario', function (err) {
if (!err) {
client.publish('Usuario', 'Hello mqtt')
}
}
})
})

client.on('message', (topic, message)=> {
// message is Buffer

```

```

pool.query(`SELECT    name,    lastname    FROM    mqtt_user    WHERE
username='${message}^',(err, result)=>{
console.log(result.length)
if(err || result.length===0){
console.log('Error en Base de Datos: ', err)
}else{
console.log(result);
client.publish(`${message.toLocaleString()}/nombre`,    `${result[0].name}
${result[0].lastname}`, 2)
//client.publish(`${message.toLocaleString()}/nombre`, 'Marcelo Corella')
}
console.log(`${message.toLocaleString()}/nombre`)
//client.end()

})
})

```

Anexo 10: Función principal de la aplicación móvil

```

package com.example.bikealert;

import android.content.DialogInterface;
import android.content.Intent;
import android.database.Cursor;
import android.database.sqlite.SQLiteDatabase;
import android.os.Bundle;
import android.os.SystemClock;
import android.support.v7.app.AlertDialog;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;

import com.example.bikealert.db.HelperDB;

import org.eclipse.paho.android.service.MqttAndroidClient;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.IMqttActionListener;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.IMqttToken;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttClient;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttConnectOptions;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttException;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttMessage;
import org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttPersistenceException;

import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;

```

```

import java.net.ServerSocket;
import java.net.Socket;
import java.nio.charset.StandardCharsets;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {
private static final String TAG = "Main Activity";
public static String app_nombre;
public static String app_angulo=null;
public static MqttAndroidClient mqtt_client;
private String mqtt_user="";
private String mqtt_pass="";
private LooperThread looperThread=new LooperThread();
private LooperSocket looperSocket=new LooperSocket();
TextView tvnombre;
TextView tvangulo;
public static String mqtt_url="tcp://45.79.59.12:1883";

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
super.onCreate(savedInstanceState);
setContentView(R.layout.activity_main);

if (!checkLogged()) {
Intent inicio = new Intent(this, Inicio.class);
startActivity(inicio);
finish();
}
tvnombre=(TextView)findViewById(R.id.tvTitulo);
tvangulo=(TextView)findViewById(R.id.tvAngle);
tvnombre.setText(app_nombre);
}

public boolean checkLogged(){
HelperDB helper=new HelperDB(MainActivity.this);
SQLiteDatabase db=helper.getWritableDatabase();
if(db!=null){
Log.d(TAG, "BASE DE DATOS OK");
}else {
Log.d(TAG, "Error al crear base de datos");
}
Cursor cursor=helper.readCreds();
if(cursor.getCount(>0){
cursor.moveToFirst();
app_nombre=cursor.getString(2);
mqtt_user=cursor.getString(0);
mqtt_pass=cursor.getString(1);
//Log.d(TAG, "Usuario encontrado: "+app_nombre);
return true;
}else {

```

```

Log.d(TAG,"No existe usuario");
//helper.setCreds("eviscarra", "1234567","Eliana Yadira Viscarra");
return false;
}

}

Socket clientSocket;
ServerSocket serverSocket;
InputStreamReader isr;
BufferedReader bufferedReader;
String message;
boolean keep_alive=true;

public void socketServer(){
    looperThread.start();
    looperSocket.start();
    try {
        Log.d(TAG,"Iniciando servidor");
        serverSocket =new ServerSocket(3030);
    } catch (IOException e) {
        Log.d(TAG,"Error en Servidor");
        e.printStackTrace();
    }

    looperThread.handler.post(new Runnable() {
        @Override
        public void run() {

            try {
                while (true) { //Implementar arrays
                    if(clientSocket==null){
                        Log.d(TAG,"Cliente Nulo");
                        clientSocket = serverSocket.accept();
                        isr= new InputStreamReader(clientSocket.getInputStream());
                        bufferedReader = new BufferedReader(isr);
                        Log.d(TAG,"Nuevo Cliente");
                        //bufferWriter=new PrintWriter(clientSocket.getOutputStream(),true);
                    }else {

                        looperSocket.handler.post(new Runnable() {
                            @Override
                            public void run() {

                                try{
                                    while ((message = bufferedReader.readLine())!=null){
                                        Log.d(TAG,"Datos recibidos: "+message);
                                        //output.setText(message);
                                    }
                                }
                            }
                        });
                    }
                }
            }
        }
    });
}

```

```

runOnUiThread(new Runnable() {
@Override
public void run() {
tVangulo.setText(message);

try {
if(mqtt_client.isConnected()==true){
MqttMessage mqtt_message=new MqttMessage();
mqtt_message.setPayload(message.getBytes());
mqtt_message.setQos(2);
mqtt_client.publish(mqtt_user.concat("/angulo"), mqtt_message, null, new
IMqttActionListener() {
@Override
public void onSuccess(IMqttToken asyncActionToken) {
Log.d(TAG,"Publicado");
}

@Override
public void onFailure(IMqttToken asyncActionToken, Throwable exception) {
Log.d(TAG,"error de publicación");
}
});
}else {
mqttConectar();
}
} catch (Exception e) {
e.printStackTrace();
mqttConectar();
}

}
});
keep_alive=true;
}
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
Log.d(TAG,"Fin de While");
}
}
});

while (keep_alive){
keep_alive=false;
SystemClock.sleep(10500);
}
Log.d(TAG,"Cliente perdido");
clientSocket.close();

```

```

clientSocket=null;
keep_alive=true;

}
//Toast.makeText(getBaseContext(), message, Toast.LENGTH_SHORT).show();
}
} catch (IOException e){
e.printStackTrace();
}
}
});
}

public void btnIniciar(View view){
socketServer();
}

public void mqttConectar(){

Log.d(TAG, "Mqtt, conectar");
String clientid=MqttClient.generateClientId();
mqtt_client=new MqttAndroidClient(this.getApplicationContext(), mqtt_url,
clientid);
MqttConnectOptions mqtt_options=new MqttConnectOptions();
mqtt_options.setUsername(mqtt_user);
mqtt_options.setPassword(mqtt_pass.toCharArray());

try {
IMqttToken mqtt_token=mqtt_client.connect(mqtt_options);
mqtt_token.setActionCallback(new IMqttActionListener() {
@Override
public void onSuccess(IMqttToken asyncActionToken) {
Toast.makeText(MainActivity.this, "Conectado", Toast.LENGTH_SHORT).show();
}

@Override
public void onFailure(IMqttToken asyncActionToken, Throwable exception) {

}

});

} catch (MqttException e) {
e.printStackTrace();
}
}

private void dialogUser(){
AlertDialog.Builder builder=new AlertDialog.Builder(MainActivity.this);
builder.setMessage("Se eliminará la sesión para el usuario "+app_nombre)

```

```

.setTitle("Eliminar Cuenta")
.setPositiveButton("Aceptar", new DialogInterface.OnClickListener() {
public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
HelperDB helper=new HelperDB(MainActivity.this);
SQLiteDatabase db=helper.getWritableDatabase();
helper.deleteCreds(db);
Log.d(TAG, "Reiniciando Aplicación");
Intent intent=new Intent(MainActivity.this, MainActivity.class);
}
})
.setNegativeButton("Cancelar", new DialogInterface.OnClickListener() {
public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
}
}).show();

}

public void btnLogoff(View view){

dialogUser();

}

public void btnExit(View view){

}

}

```