



**Diseño: Equipo De Apoyo Para Rehabilitación De Rodilla  
Post-Cirugía**

**Estrellita Cely Bolaños & Catalina Alba Forero**

**Universidad ECCI**

**Facultad de Ingeniería, programa de tecnología en electromedicina**

**José Fernando Ruiz Quintana**

**Ms. Didáctica digital**

**Esp. Teleinformática y seguridad redes de datos**

**Lic. Electrónica**

**Docente de Ingeniería Biomédica**

**Bogotá, Colombia.**

**2023**

## **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a Dios por darme los talentos y el carácter para realizar este proyecto y no rendirme fácilmente, de igual manera a mis amigos y las personas que amo, que me brindaron su apoyo, tanto de conocimiento como emocionalmente, por las palabras para no rendirme en este proceso, agradezco inmensamente a Erick Guillermo Bolaños por ayudarme en este proceso y por sus regaños que me ayudaron a mejorar cada aspecto de este proceso y por llenarme de conocimiento y para seguir con el mismo.

Estrellita Cely Bolaños

Agradezco a mis padres por brindarme educación y apoyarme en cada toma de decisiones. Agradezco a mis amigos más cercanos, Lugo, Nataly, Juan José, Alisson y Daniel por haberme impulsado a seguir con la carrera durante estos 4 años. A Taylor Swift y a mis mascotas por acompañarme cada una de las noches y los días que pasé investigando y redactando. También agradezco a mi compañera Estrellita Cely, por permitirme hacer parte de este proyecto y haber comprendido juntas la importancia de la innovación de tecnología biomédica en rehabilitación.

Catalina Alba Forero

## **Dedicatoria**

Este proceso se lo dedico a mi familia, Hector Bolaños, Rosa Guerrero Jose Cely, Cristina Bolaños, David Bolaños, Erick Bolaños, Angelli Cely, Ginna Cely y a Julian Sanchez que estuvieron presentes en cada etapa apoyándome y llenándome de muchas emociones, experiencias y conocimientos a lo largo de mi vida.

Estrellita Cely Bolaños

El presente proyecto está dedicado a aquellas poblaciones colombianas que se encuentran en una condición de vulnerabilidad y posiblemente requieran terapia física y se les dificulte el desplazamiento desde sus hogares a un centro asistencial.

Catalina Alba Forero

## Tabla De Contenido

Resumen	2
introducción	9
Problema	10
2.1 Descripción del problema	10
2.2. Formulación del problema.	12
3. Justificación	12
3.1 Aspecto teórico	13
3.2 Aspecto Metodológico	14
3.3 Aspecto práctico	14
4. Objetivos	15
4.1. Objetivos específicos	16
5. marcos	16
5.1. Estado del arte	16
5.1.1 Antecedentes internacionales	17
5.1.2 Antecedentes nacionales	21
5.1.3 Antecedentes regionales	22
5.2. Marco Ético y legal	23
5.3. Marco teórico	25
5.3.1. Anatomía de la Rodilla	25

5.3.2 Biomecánica de la Rodilla.	27
5.3.3. Daños en las rodillas.	28
5.3.4. Definición ortesis.	30
5.3.5. ¿Qué es Arduino?	31
5.3.6. ¿Qué es Proteus?	32
5.3.7. ¿Qué es tinkercad?	32
6. Metodología	32
9. Resultados	35
10. Conclusiones	41
Anexos	41
Lista De Referencias	9

## **Lista De Figuras**

Ilustración 1. Anatomía de la Rodilla	<b>25</b>
Ilustración 2. Biomecánica de Rodilla	<b>27</b>
Ilustración 3. Consumo de energía de las distintas placas	<b>31</b>
Ilustración 4. Tabla de pesos.	<b>34</b>
Ilustración 5. Interfaz inicial de “PhysioKnee”	<b>35</b>
Ilustración 6.Registro aplicación	<b>36</b>
Ilustración 7.Conectividad y control.	<b>37</b>
Ilustración 8. Diseño 3D proyecto para rehabilitación de rodilla (vista general)	<b>37</b>
Ilustración 9.Diseño 3D proyecto para rehabilitación de rodilla (modo para extensión)	<b>38</b>
Ilustración 10. Vista detallada de los componentes de movimiento y restricción del paciente:Fuente: Elaboración propia.	<b>39</b>

## **Lista De Anexos**

anexo 1. vista general del modelo.	<b>40</b>
anexo 2. Desarrollo circuital en circuitos tinkercad.	<b>41</b>
anexo 3. Desarrollo de código en el software arduino	<b>41</b>
anexo 4. Pantalla de inicio de la aplicación y código (bloques) respectivo:	<b>42</b>
anexo 5. Datos personales y código (bloques) respectivo:	<b>43</b>
anexo 6. Interfaz principal del usuario y código (bloques) respectivo:	<b>45</b>
anexo 7. Comunicación con el equipo y código (bloques) respectivo	<b>47</b>
anexo 8. Ejemplo de muestra de datos al profesional asistencial y código (bloques) respectivo	<b>50</b>
anexo 9. link de descarga:	<b>52</b>

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación se muestra el diseño de un prototipado de apoyo el cual realiza el movimiento de fisioterapia para la ayuda de la rehabilitación de personas luego de una operación de rodilla. Este prototipo será guiado por una aplicación y esta se encarga de programar los ángulos específicos los cuales va a hacer que el equipo encargado haga la flexión correcta de la rodilla, de igual manera se visualizará en el móvil los grados y la velocidad que se va a manejar, haciendo que su uso sea de mayor facilite al usuario.

*Palabras clave:* Rehabilitación, Rodilla, Prototipos

## **ABSTRACT**

In the present research work, the design of a support prototype is shown, which performs the physiotherapy movement to help the rehabilitation of people after a knee operation. This prototype will be guided by an application and this is in charge of programming the specific angles which will make the team in charge make the correct knee flexion, in the same way the degrees and the speed that is going to be displayed will be displayed on the mobile. handle, making its use easier for the user.

*Keywords:* Rehabilitation, Knee, Degrees

## INTRODUCCIÓN

La tecnología se aplica en muchos campos de la salud, como lo es el entretenimiento, salud en el trabajo, entre otros. Pues bien, la medicina es una de las áreas que busca mejorar la calidad de vida de los pacientes, dado que sus innovaciones van direccionadas a este objetivo, especialmente en la rehabilitación de los pacientes, actualmente con ayuda de la tecnología las terapias van mejorando para generar una mayor y pronta recuperación del paciente.

Es así que en esta investigación el objeto de estudio está enfocado en la rehabilitación post-cirugía de rodilla, teniendo en cuenta el tipo de operación donde algunas personas no se logran recuperar apropiadamente y deben someterse a terapias intensivas y de rehabilitación guiados por un fisioterapeuta dependiendo la complejidad del problema que presenta el paciente.

A medida que avanza la tecnología y se desarrollan nuevos enfoques, se han hecho progresos considerables en el campo de la ciencia médica y la tecnología biomédica en el diseño y desarrollo de ortesis de rodilla. Estos avances tienen como objetivo abordar las limitaciones de los diseños anteriores y mejorar la funcionalidad, durabilidad y comodidad de las órtesis y la calidad de vida de los pacientes que las utilizan.

Lo que se busca dar a conocer de este trabajo es explorar y analizar los aspectos teóricos, metodológicos y prácticos relacionados con la ortesis de rodilla. Se examinarán los avances en la comprensión de la anatomía y biomecánica de la rodilla, así como las patologías y lesiones que pueden requerir una ortesis. Además, se revisarán los diseños existentes y se evaluarán las limitaciones y desafíos que han surgido en su implementación.

Con este dispositivo lo que se busca es ayudar al paciente que se someta a una rehabilitación post-cirugía buscando que pueda retomar la movilidad o la elongación completa de su rodilla por

ende el equipo ayudará a este proceso prolongado y algo forzada para la rodilla teniendo como punto inicial los 90° que es el rango de flexión, luego la extensión completa que se encuentra en 10°, hasta llegar a 140° como el punto de flexión completa, esto ayudará no solo al fisioterapeuta en su productividad de rehabilitación si no un trabajo más intensivo para las limitantes del dolor que a veces impide dicha elongación y retrasa el progreso rápido de recuperación.

## **PROBLEMA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En el entorno deportivo es donde más se presentan daños en las rodillas afectando estructuras como los meniscos, rotura de ligamento lateral externo e interno, cruzado posterior y anterior y lesiones de la rótula o patela que compliquen el desarrollo motriz en actividades cotidianas y el deporte, de igual manera se presentan ciertos casos donde los deportistas de diferentes disciplinas se ven afectados por estas lesiones las cuales deben ser intervenidas por medio de cirugías para corregir el problema y poder seguir con las rutinas de la vida cotidiana, sin embargo, estas cirugías vienen acompañadas de un proceso de rehabilitación para garantizar un resultado efectivo. (OPS, 2020)

Las lesiones de ligamento cruzado anterior son los daños más comunes de rodilla en los deportes de contacto, como lo puede ser el fútbol, en este deporte uno de los modos de lesión más usuales es la declinación sobre la rodilla levemente doblada. El instituto mexicano del seguro social (2017) manifiesta “cuando ocurre esta lesión se pierde la estabilidad de la rodilla, produciendo una inestabilidad crónica y cambios en su estilo de vida” (Aldaco, García et al., 2017). Las lesiones de ligamentos se dan en un 6,7% de pacientes que practican fútbol entre 5 a 18 años, siendo el 30,8% de las lesiones de la rodilla en este grupo (Berrueta y Dupont, 2020). Al presentarse estas lesiones,

como anteriormente se menciona, se necesitan procesos de rehabilitación para ganar fuerza, resistencia, estabilidad y movimiento, estos procedimientos van guiados de los profesionales en el tema, pero también tienen que ir apoyados de esfuerzos autónomos de la persona afectada, de lo contrario no habrá la recuperación esperada (Sguerra, 2022).

Por otro lado, uno de los problemas más significativos son los costos que representa la terapia de rehabilitación puesto que se necesita de equipamientos modernizados, sistematizados, autónomos y en la actualidad (Ruiz, 2017) expresa la limitada modernización de los procesos fisioterapéuticos, afectando la etapa de recuperación postquirúrgica, sumado a esto algunas de las alternativas de prototipos para la rehabilitación solo tienen una forma de uso, como lo es en este caso, la flexión o la extensión y de igual manera tienen una interfaz difícil de entender para el paciente.

Otra problemática es la brecha en servicios de salud que dejó la pandemia, según Sguerra (2022) la situación actual del Covid-19, ocasionó la disminución de servicios de salud, y las prácticas para rehabilitación y ortopedia, de lo anterior se tiene algunos rezagos puesto que la pandemia aunque ya pasó, el proceso sigue afectando a las prácticas de rehabilitación de rodilla en los pacientes cuyas lesiones tuvieron que ser intervenidas quirúrgicamente donde se ha visto una lenta reactivación de estos medios y de igual manera la poca importancia que se le da a estas prácticas y/o campos de fisioterapias.

Estas consideraciones fundamentan la propuesta de diseñar un prototipo de apoyo para la rehabilitación de rodilla en los pacientes cuyas lesiones tuvieron que ser intervenidas quirúrgicamente y por lo tanto es necesario que para su recuperación realicen terapias de rehabilitación, con el fin de volver a sus actividades de manera exitosa.

## **2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo diseñar un prototipado mediado por una aplicación, con el fin de realizar un proceso autónomo y de fácil acceso a las terapias de rehabilitación de rodilla después de una cirugía?

## **3. JUSTIFICACIÓN**

Después de someterse a un procedimiento quirúrgico viene un tiempo necesario de reposo, tiempo que depende del tipo de operación realizada, por ejemplo, para el dolor y la disfunción de la rodilla son secuelas comunes luego de presentarse en una situación que genera a un. Estos accidentes son la causa más común de dolor de rodilla, lo que limita la movilidad y la capacidad de realizar actividades diarias.

Aunque existen tratamientos, como los analgésicos y la fisioterapia, en algunos casos, es necesaria la implementación de una ortesis de rodilla que contribuya a la fisioterapia del paciente y permita una mejora autónoma. Sin embargo, estas tienen la necesidad de revisiones posteriores.

Por lo tanto, hay una necesidad importante de desarrollar una ortesis de rodilla mejorada que pueda proporcionar una mayor funcionalidad y calidad de vida para los pacientes que la necesiten. Este proyecto de tesis se centrará en el diseño, desarrollo y evaluación de una nueva ortesis de rodilla, que pueda resolver algunas de las limitaciones de las ortesis actuales y brindar una mejor calidad de vida para las personas con problemas de rodilla.

La investigación en este proyecto puede ayudar a mejorar la comprensión de la biomecánica de la rodilla y permitir el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías para la implantación de ortesis. Además, la investigación puede tener implicaciones importantes para la atención médica y la calidad de vida de las personas que necesitan una ortesis de rodilla. En resumen, el desarrollo de

una nueva ortesis de rodilla tiene una gran importancia clínica y social y justifica el esfuerzo y la inversión necesarios para llevar a cabo este proyecto de tesis.

### **3.1 ASPECTO TEÓRICO**

La propuesta va a realizar la ayuda para estas terapias que no se pueden generar a través del contacto físico, por esta razón se realiza un equipo de rehabilitación específicamente en movilidad articular en la rodilla visto que en la disciplina deportiva se encuentran lesiones muy comunes como las que mencionamos anteriormente, el equipo de rehabilitación que se diseñó maneja un movimiento basado en grados o niveles de acuerdo a la sesión que el fisioterapeuta maneje en su rutina de rehabilitación por medio de una aplicación que tendrá las opciones de grados específicos, tiempo y complejidad del movimiento del equipo.

Con este dispositivo lo que se busca es ayudar al paciente a que postcirugía retome la movilidad o la elongación completa de su rodilla por ende el equipo ayudará a esa elongación prolongada y algo forzada para las rodilla teniendo como punto inicial de 90 grados que es el rango de flexión, luego la extensión completa que se encuentra en 10 grados, hasta llegar a 140 grados que es la flexión completa, esto ayudará no solo al fisioterapeuta en su productividad de rehabilitación si no un trabajo más intensivo para las limitantes del dolor que a veces impide dicha elongación y retrasa el progreso rápido de recuperación.

### **3.2 ASPECTO METODOLÓGICO**

Con este estudio clínico queremos obtener información detallada sobre la eficacia y funcionalidad de la órtesis de rodilla y su impacto en la calidad de vida de los pacientes en rehabilitación. Esta información nos permite mejorar nuestros diseños y promover la innovación

en ortopedia, brindando soluciones más efectivas y satisfactorias para quienes necesitan rehabilitación de rodilla.

Respecto al uso de la órtesis, se considera razonable realizar una evaluación clínica antes de introducir la ortesis en el tratamiento del paciente, donde se recoge información sobre la historia clínica de la persona, como radiografías, y se comprueba si el tratamiento puede . para ser llevado a cabo .por lo tanto. Luego hacemos una evaluación clínica del dolor del paciente antes y después de implantada la órtesis, se evalúa la movilidad del paciente con pruebas funcionales como caminar, subir escaleras y levantarse de una silla con y sin la órtesis, luego evaluamos la funcionalidad de la ortesis en la vida diaria del paciente, por lo que se realizan pruebas de resistencia en actividades cotidianas como vestirse, cocinar y trabajar. Luego, evaluamos las complicaciones que pueden ocurrir con el uso de la órtesis, como infecciones, aflojamiento de la órtesis y rechazo de la órtesis, y si no ocurre nada de lo anterior, la calidad de la órtesis. se valora la vida. Nuestro paciente lo toma después del tratamiento.

### **3.3 ASPECTO PRÁCTICO**

Para nuestro proyecto primero necesitamos diseñar un prototipo físico a base de dos piezas de madera, una de unos 50 cm y otra de 20 cm, esto es para poder arreglar nuestro servomotor MG995; También hicimos una pequeña placa para mantener el pie del paciente en su lugar durante los ejercicios pasivos. Nuestro circuito utilizó una pantalla LCD para permitir que el usuario interactúe con el prototipo, donde puede seleccionar los botones de rodilla para el movimiento deseado; Otro componente importante para nuestro proyecto es nuestro servomotor MG995, el cual tiene un control preciso de posición y velocidad, por lo que la posición la dan los botones mencionados, finalmente se utilizó un microcontrolador Arduino Uno para programar nuestro prototipo para que

funcione. movimientos de rodilla deseados, por lo que hicimos un prototipo para rehabilitación de rodilla.

El diseño de la ortesis de rodilla debe ser ergonómico y adaptarse a la anatomía y biomecánica de la rodilla, buscando que incluya componentes modulares que permitan un ajuste más preciso y adaptación a las necesidades individuales de cada paciente. Debe permitir un ajuste personalizado y cómodo para el paciente, asegurando una distribución adecuada de la carga y minimizando el estrés en las estructuras circundantes, para lograr esto, debemos hacerlo de un material que permita un movimiento fluido y natural de la rodilla, implementando resortes o sistemas de amortiguación. Los materiales utilizados en la ortesis deben ser duraderos y capaces de soportar las demandas físicas a las que se somete la rodilla. Además, deben ser biocompatibles, es decir, no causar reacciones adversas en el cuerpo y ser tolerados por el sistema inmunológico.

## **4. OBJETIVOS**

Diseñar un prototipado mediado con una aplicación, para realizar un proceso autónomo y de fácil acceso a las terapias de rehabilitación de rodilla postquirúrgica.

### **4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las estrategias fisioterapéuticas adecuadas para el tratamiento postquirúrgico de la rodilla
- Diseñar un prototipado de ortesis que asista de manera mecánica y por aplicación móvil, personalizable según las necesidades y condiciones del paciente.
- Implementar el prototipado de ortesis en pacientes

## **5. POSIBLES FALLAS**

- Problemas con la comunicación y sincronización entre la aplicación y la ortesis.
- Fallos en la exactitud de la medición en fuerza de la ortesis referente a la pierna.
- La elección errónea de los materiales para la creación del prototipo.

## **5. MARCOS**

### **5.1. ESTADO DEL ARTE**

Para esto se utilizó el motor de búsqueda ‘Google académico’, basando la bibliografía en revistas, artículos, editoriales y publicaciones que mencionan productos similares. Las palabras claves utilizadas para la investigación fueron: “Rehabilitación de rodilla”, “tratamiento pasivo”, “biomecánica”. Se tuvieron en cuenta artículos publicados en español (castellano) e inglés, que fueran de tipo investigativo, científico e informativo. Estos se seleccionaron teniendo en cuenta la información contenida, de tal forma que tuvieran coherencia y relevancia con la temática trabajada.

En la antigüedad se frecuentaba tratar las lesiones con medios dados por la naturaleza, que podrían ser remedios naturales como el calor, agua y masajes; Esto ayudó en cierta manera, sin embargo, mientras se fue progresando en el antiguo Egipto se da el primer avance en estas terapias usando la exposición del sol para fines terapéuticos. Siguiendo con este avance, en china se comenzaron a usar masajes, drogas minerales, vegetales, masaje y acupuntura, en la historia se pueden evidenciar los procesos que al final consiguen terapias físicas con tiempo determinado o con tratamientos de inmovilización y con férulas por largo tiempo (Borghi, 2018).

Para la siguiente investigación se realizó una búsqueda de fuentes en la base de datos académica Scielo, con las palabras clave tales como “Rehabilitación de Rodilla”, “ejercicios Pasivos”, “fisioterapia”, “Movimiento de Rodilla”, “Prototipos” tomando en cuenta sólo los resultados publicados en los últimos 11 años (Desde 2012), que fueran escritos en español o en inglés.

A continuación, se presentan los antecedentes de investigación, en torno al tema que venimos abordando, con los cuales se aportará una mayor comprensión en lo que respecta a nuestro objeto de estudio.

### ***5.1.1 Antecedentes internacionales***

En Venezuela (2012), fue presentado el proyecto que lleva por título “Diseño de un Rehabilitador de Rodilla” de la Universidad de Carabobo, realizado por Damo Paolo. El propósito de este proyecto es realizar el diseño de un dispositivo de rehabilitación de rodilla para el cual se seleccionaron los materiales comerciales nacionales para su diseño. La metodología que se llevó a cabo fue inicialmente la revisión bibliográfica, luego la presentación de posibles soluciones y por último el análisis del modelo seleccionado, donde realizaron el diseño de cada uno de los elementos que constituyen el rehabilitador de rodilla, donde tomaron como factor determinante la seguridad del dispositivo. En el capítulo de resultados se obtuvo un diseño que cumple con medidas antropométricas de un paciente adulto donde permite realizar los movimientos de flexión y extensión completa. (Damo, 2012)

En el artículo "Desarrollo de un Exoesqueleto para Rehabilitación de Tobillo y Rodilla" publicado en el año 2014 desde la Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica el señor Ricardo López aborda la creación de un exoesqueleto de dos grados de libertad diseñado específicamente para llevar a cabo ejercicios de rehabilitación en el tobillo y la rodilla. El exoesqueleto incorpora

sensores que miden la fuerza generada por el usuario y la amplificación de la fuerza se puede ajustar según sea necesario, lo que permite al usuario progresar gradualmente en su proceso de rehabilitación. de igual manera usaron sensores para estimar la posición y velocidad angular de las articulaciones, lo que se utiliza para controlar el movimiento de la pierna; el objetivo principal de este proyecto consiste en desarrollar un diseño autónomo y económico de un exoesqueleto que reduzca el esfuerzo requerido por el usuario para mantenerse en pie y realizar ejercicios de rehabilitación estáticos. (López et al., 2014)

En España en el año 2016, se presentó el proyecto cuyo nombre es “Diseño de un robot paralelo para aplicaciones de diagnóstico y rehabilitación de rodilla” el cual fue realizado por Pau Zamora. Que tenía por objetivo la construcción de un sistema preciso y cuantitativo para el diagnóstico y la valoración de los ACL. Posteriormente de realizar diferentes métodos se realizó la propuesta donde se destacó el presupuesto, diseño paramétrico para la realización del prototipo real. (Zamora, 2016).

En el año 2017 en Venezuela, fue presentado el proyecto de investigación titulado “Diseño de Dispositivo Robótico para la Rehabilitación y Diagnosis de Extremidades Inferiores” por Pedro Araujo, Miguel Diaz y Vicente Mata. El objetivo de este proyecto es centrarse en el diseño de dispositivos robóticos en la rehabilitación y diagnóstico de los miembros inferiores, que tenga en cuenta la movilidad de la pierna humana y las técnicas que utilizan los fisioterapeutas cuando realizan ejercicios de rehabilitación y pruebas diagnósticas. La metodología que se llevó a cabo en este es por medio de un robot paralelo RPU+3UPS capaz de hacer los procesos de rehabilitación y diagnóstico, además tuvieron en cuenta la movilidad del mecanismo esto por medio de la rodilla. Los resultados obtenidos en este implementaron un mecanismo paralelo de 4GDL, ya que luego del análisis se encontró que este es el adecuado debido a su alta capacidad de carga y estabilidad. (Araujo Gómez et al., 2017)

En el año 2017 en la Escuela Politécnica Nacional, los estudiantes Sócrates Miguel Aquino Arroba y Edwin Rodolfo Pozo Safla desarrollan el “Modelo Dinámico De Un Robot Paralelo Diseñado Específicamente Para La Rehabilitación De La Rodilla”. Este robot paralelo consiste en una combinación de componentes mecánicos y electrónicos controlados por un programa de ordenador. Su estructura mecánica consta de una plataforma fija y una plataforma móvil conectadas mediante un conjunto de actuadores. Las características de movimiento de este tipo de robots los hacen idóneos para aplicaciones en el campo de la rehabilitación médica. El robot 3UPS + RPU permite generar 4 grados de libertad, que son los principales movimientos requeridos en la rehabilitación de la rodilla (Aquino, Pozo, 2017).

En México en el año 2019, se realizó el proyecto cuyo nombre es “Desarrollo de un prototipo para rehabilitación de rodilla utilizando un robot paralelo 5R de 2 GDL”. Este es realizado por Cuevas Vásquez, Lugo Gonzales, Arias Montiel, Sosa López, Tapia Herrera. Este trabajo se presentó como el diseño mecánico, la construcción y el diseño del sistema de control de un prototipo robótico para la rehabilitación de la rodilla en pacientes intervenidos quirúrgicamente. Se usó la metodología del diseño mecatrónico para realizar el prototipo, también tiene el análisis y el sistema de control el cual se desarrolla con la lógica difusa. El exoesqueleto está diseñado para ser ajustable según la antropometría de un adulto. Finalmente, se presenta un prototipo físico del sistema de control y simulaciones. (Cuevas et al., 2019)

En el año 2019 se expone en la escuela politécnica nacional el proyecto llamado” Diseño, Construcción, Ensamble Y Pruebas De Un Robot Paralelo 3ups + 1rpu Para Rehabilitación De Rodilla” el cual fue hecho por Josué Ricardo Navarrete Cisneros y Geovanny Xavier Sánchez Ruíz los cuales realizan un diseño mecánico, construcción y pruebas mecánicas del robot paralelo tipo 3UPS+RPU para la rehabilitación de rodilla para ello elaboran cálculos de esfuerzos y

deformaciones gracias a esto obtienen el diseño y fabricación de acoples y plataformas; adicionado la selección adecuada de sus componentes. Por medio de un giroscopio se obtienen datos como ángulos de inclinación y también por medio del software Kinovea obtienen la medición de las longitudes de los actuadores prismáticos y de ciertos ángulos de inclinación (Navarrete, Sánchez, 2019).

En la pontificia universidad católica del Perú se presenta el artículo llamado "Diseño de un Exoesqueleto para Asistir la Articulación de la Rodilla al Correr", por Diego Rodrigo Torres Ricalde (2021) aborda el desarrollo de un exoesqueleto destinado a proporcionar asistencia durante la actividad de correr. Un aspecto destacado de este diseño es su capacidad para generar fuerza, a pesar de su bajo peso de 4.2 kg (1.3 kg en cada pierna y 1.6 kg en una mochila), lo cual lo distingue de otros exoesqueletos con funciones similares. Este logro ha sido posible gracias a la implementación de métodos de optimización que emplean materiales ligeros pero resistentes. El enfoque de diseño se fundamenta en un concepto de solución y se apoya en una serie de consideraciones, abarcando la selección y dimensionamiento de los componentes del exoesqueleto. Además, se han llevado a cabo simulaciones mediante el método de elementos finitos para verificar y diseñar algunos de estos componentes. Asimismo, se proporcionan los planos de ensamble y despiece necesarios para la fabricación, junto con un diagrama esquemático que facilita la producción y conexión de las tarjetas electrónicas diseñadas. El exoesqueleto presentado en este estudio es capaz de generar hasta aproximadamente 71 Nm de torque utilizando un resorte de torsión, un innovador mecanismo de transmisión y un freno electromagnético. Además, se utiliza un motor sin escobillas de rotor externo, sensores de efecto Hall y codificadores de anillo para lograr un control de fuerza basado en la deformación del resorte de torsión, lo que permite que el usuario pueda mover su pierna sin obstáculos tanto al correr como al caminar. Esta configuración,

en combinación con el mencionado freno electromagnético, garantiza una alta eficiencia del sistema, lo que se traduce en una autonomía aproximada de una hora utilizando un par de baterías (Torres, 2021).

En Ecuador, durante el año 2022 se presenta un proyecto nombrado “Diseño y construcción de un prototipo mecatrónico para la rehabilitación postquirúrgica de rodilla con movimiento continuo pasivo asistido por computador” por Kevin Yanchapaxi y Bryan Ortiz. El proyecto se enfoca en realizar un prototipo mecatrónico para la rehabilitación postquirúrgica de rodilla con movimiento continuo pasivo asistido por computador, con el fin de hacer terapias automatizadas, sin embargo para la puesta en marcha del equipo con un paciente, debe de ser supervisado por un especialista fisioterapeuta encargado de las rehabilitaciones de rodilla, quien será el encargado de ingresar los datos del paciente, como lo pueden ser, datos para registrar cada sesión, ángulo de extensión, ángulo de flexión, velocidad, número de repeticiones del movimiento y el tiempo de descanso luego de cada repetición (Yanchapaxi, Ortiz, 2022).

### ***5.1.2 Antecedentes nacionales***

En el año 2017, se presenta un proyecto llamado “diseño e implementación de un prototipo para el apoyo del proceso de enseñanza aprendizaje de las pruebas semiológicas de cajón (rodilla)” hecho en la Universidad Católica De Pereira por Johan Sebastian Moncada Trejos y Roosevelt Mauricio Rayo García, en el cual se evidencia un prototipo conformado por una rodillera la cual tiene sensores los cuales funcionan como recolectores informativos de desplazamiento y posicionamiento. Con la información obtenida se procesa en arduino y a través del software se muestran los resultados obtenidos al realizar la prueba, este proyecto tuvo como finalidad el

acompañamiento y apoyo del proceso de formación en las pruebas semiológicas de rodilla (Moncada, Rayo, 2017).

En el año 2022, se expone un proyecto llamado “Diseño de un mecanismo activo para la asistencia en rehabilitación por movimientos de flexión-extensión en pacientes con una lesión de tejido blando en la rodilla.” presentado por Carlos Nicolás Sguerra Bergsneider en la Universidad Autónoma de Bucaramanga, Aquí muestra la manera en la que él desarrolla un mecanismo activo para ayudar a la rehabilitación mediante movimientos de flexión-extensión en pacientes con una lesión de tejido blando en la rodilla haciendo uso de tecnologías de impresión 3D y materiales de bajo costo (Sguerra, 2022).

### ***5.1.3 Antecedentes regionales***

En el año 2013, se presentó el proyecto llamado “Robot Usable Como Apoyo en la Rehabilitación de Rodilla” de la Universidad de los Andes por Johann Barragán. El presente cuenta con tres objetivos, el primero es el desarrollo de un robot para el apoyo de rehabilitación de rodilla. El segundo busca implementar una estrategia de control de asistencia cuando sea necesario, y por último realizar pruebas sobre sujetos sanos para observar el desempeño del sistema. Luego en el documento se pudo evidenciar el diseño y construcción del robot, después de esto se realizó la estrategia de control y por último se realizó las pruebas del prototipo para evidenciar su correcto funcionamiento. (Barragan y Gomez, 2013)

En el año 2019 el estudiante Andres Felipe Guatibonza Artunduaga de la universidad militar nueva granada de Bogotá presenta el llamado proyecto “Modelado Cinemático, Dinámico y Validación de un Dispositivo Robótico Asistencial para Rehabilitación de Rodilla” en este proyecto se propone un diseño mecánico de un dispositivo de rehabilitación de rodilla de enlace de 5 barras

basado en la definición de los parámetros físicos de la población colombiana y/o latinoamericana, de acuerdo a los datos de antropometría en Colombia y/o Latinoamérica (Guatibonza, 2019).

En el año 2019, Karen Catalina Baquero Duarte de la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, presenta el proyecto titulado “Diseño De Un Estudio Experimental Para Rehabilitación De Rodilla Con Exoesqueleto Activo” llevó a cabo una investigación para crear un exoesqueleto de membrana inferior como parte de la Plataforma Robótica para la Marcha y la Rehabilitación (AGoRA). El exoesqueleto tiene 6 grados de libertad y fue hecho para personas que hayan sufrido de un accidente cerebrovascular (ACV) sin embargo fueron estudiados pacientes sanos para obtener datos como: la actividad muscular (EMG), parámetros espacio temporales, velocidad de marcha y longitud de zancada, también los parámetros cinemáticos. Para la realización de este proyecto se consultaron estudios anteriores de exoesqueleto del miembro inferior, con encuestas realizadas respecto al funcionamiento (ventajas y desventajas) (Baquero, 2019)

El 2019 en Bogotá es publicado “Exoesqueleto para rehabilitación de miembro inferior con dos grados de libertad orientado a pacientes con accidentes cerebrovasculares” por Diego Alexander Tibaduiza Burgos, Maribel Anaya Vejar y Pedro Antonio Aya Parra con el objetivo de asistir a pacientes con parálisis en sus miembros para realizar actividades como la marcha, el dicho trabajo fue diseñado para ayudar en la rehabilitación de pacientes que quedan con alguna secuela como consecuencia de un Accidente Cerebro Vascular (ACV)– Este proyecto se realiza para facilitar la accesibilidad en nuestro país (Colombia). (Tibaduiza et al., 2019)

## **5.2. MARCO ÉTICO Y LEGAL**

La rehabilitación es uno de los métodos y técnicas que se ha utilizado por muchos años esto debido a diversas situaciones (Gonzales Teran, 2019), utilizado por diversos profesionales y especialistas esto con la finalidad u objetivo de que el paciente pueda tener nuevamente su independencia y así recuperar sus capacidades que por alguna u otra situación se vieron afectadas en su vida (Clínica, México, 2017), es por esto que la intervención y manejo de estos casos específicos se deben regir por unas normativas para que así todo procedimiento pueda ser implementado de manera correcta.

Es por ello que en el año 2015 sale el Diario Oficial No. 49.604 de 14 de agosto, por parte del ministerio de salud y protección social donde menciona que “Se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos que elaboran y adaptan dispositivos médicos sobre medida de tecnología ortopédica externa ubicados en el territorio nacional” (MINSAL, 2015), esto como su eje principal, sin dejar de lado las demás leyes y decretos que se desarrollan en este diario del ministerio de salud y protección social, por su parte está el decreto 3275 de 2009 en cual señala “los distintos requisitos debe cumplir los dispositivos médicos para su uso, prescripción su adaptación y comercialización” (MINSAL, 2022)

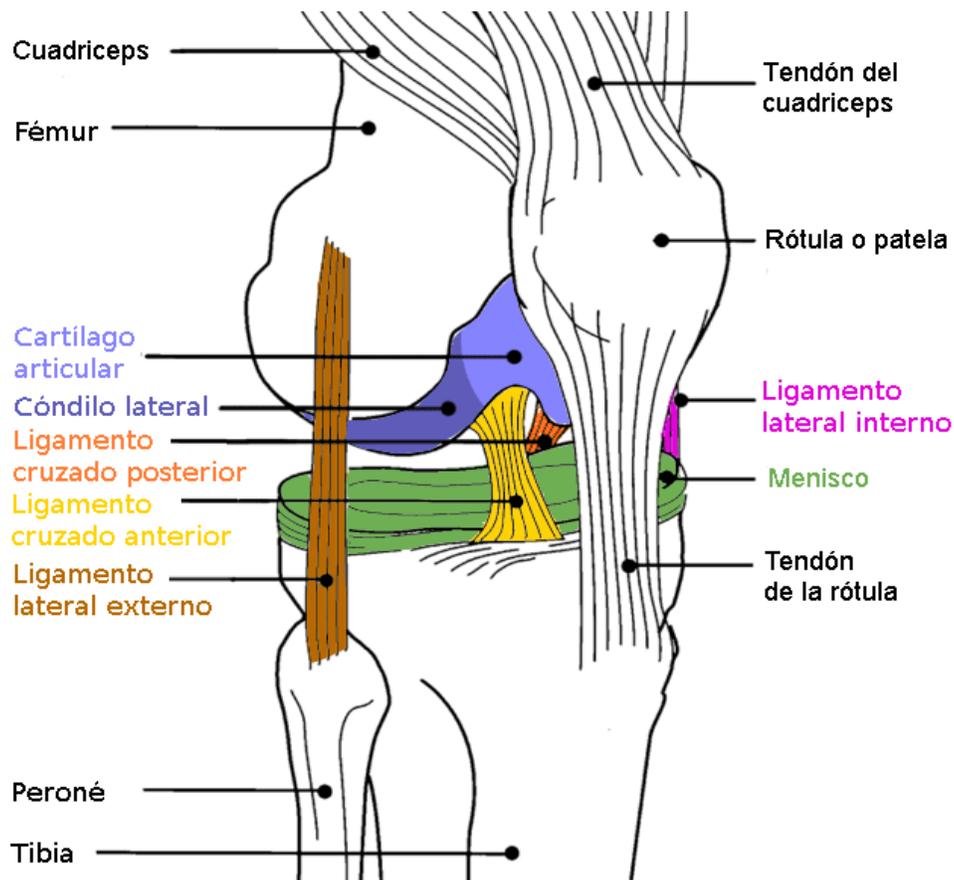
Y es por eso se adopta un manual de buenas prácticas de manufactura para la elaboración de dispositivos médicos sobre medidas de ortesis ortopédica externa, en donde señala como objetivo identificar cuáles son la herramientas e instrumentos usados (MINSAL 2022), los requisitos que se deben cumplir para obtener el específico certificado para así poder ejecutar sus distintos ejercicios sobre prótesis y ortesis ortopédica externa, esto todo es mencionado en la resolución número 1319 de 2010 de ministerio de salud y protección social.

### 5.3. MARCO TEÓRICO

#### 5.3.1. Anatomía de la Rodilla

Son tres los huesos que se unen en la rodilla: el fémur, la tibia y la rótula; Por una parte, se unen los cóndilos del fémur, la tibia y por otra la tróclea del fémur, la parte posterior de la rótula. Los ligamentos que se encuentran en cada hueso del cuerpo humano, tanto dentro de la cápsula articular como fuera de ella; son los encargados de la estabilidad de la rodilla. (Sanitas, s. f.)

**Ilustración 1. Anatomía de la Rodilla**



Fuente: [https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-se-llama-el-](https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-se-llama-el-hueso-de-la-rodilla-43095.html)

[hueso-de-la-rodilla-43095.html](https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-se-llama-el-hueso-de-la-rodilla-43095.html)

#### **5.3.1.1. Huesos.**

Fémur: Es el hueso más largo del cuerpo humano, el fémur va desde la parte superior hasta la parte inferior, donde se une a la tibia y forma la articulación (Velásquez, A, 2018).

Tibia: Junto al peroné conforma la pierna, la tibia es el hueso más ancho de los dos por esta razón es la que soporta el peso corporal y encargada de pasar las fuerzas de la rodilla al tobillo (Velásquez, A, 2018).

Rótula o patela: Es un hueso pequeño y plano de forma ovalada, donde se une el fémur y la tibia, protege la rodilla y conecta los músculos entre los huesos (Velásquez, A, 2018).

#### **5.3.1.2. Meniscos.**

Son una estructura cartilaginosa ubicada en el interior de la rodilla, estos actúan como amortiguadores y ayudan al desplazamiento entre el fémur y la tibia (Requena Palomino, 2019).

#### **5.3.1.3. Ligamentos.**

Son tiras de tejidos que conectan los huesos de extremo a extremo, a los lados de las rodillas existen dos ligamentos importantes, el ligamento lateral externo (LLE) y ligamento lateral interno (LLI) y por dentro de la rodilla existen el ligamento cruzado posterior (LCP) y ligamento cruzado anterior (LCA) (Marquet, R, 2017).

#### **5.3.1.4. Músculos y tendones.**

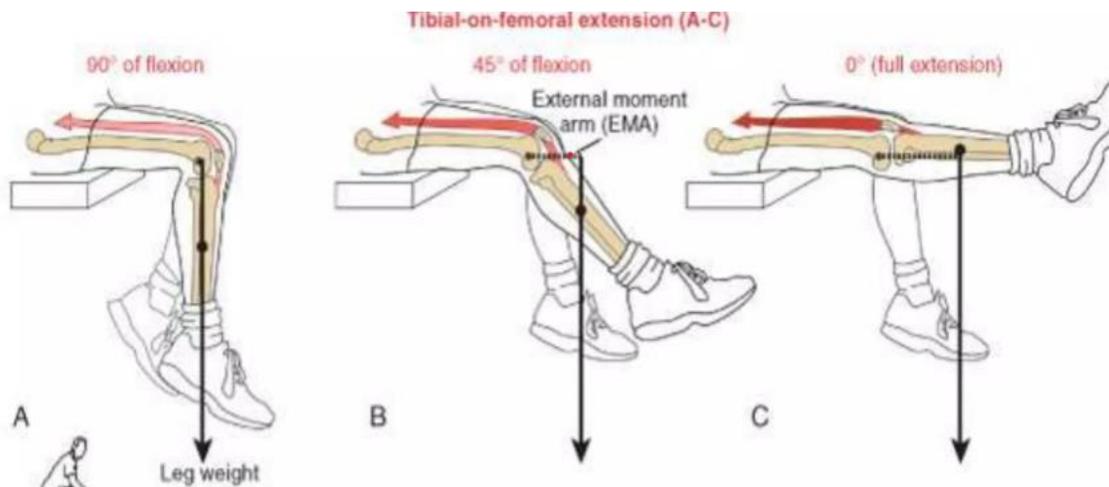
Extensores: De los músculos más importantes es cuádriceps femoral, el cual se une con el tendón del cuádriceps (tendón más grande), está sujeta la rótula por debajo y la rodea, por esta razón recibe el nombre de tendón rotuliano, la función de este es extender la rodilla manteniendo el equilibrio de la rótula (Jarmey y Sharkey, 2017).

Flexores: Los músculos semitendinoso y semimembranoso provocan la rotación cuando la pierna es flexionada, el Bíceps femoral provoca la rotación externa luego de la flexión, músculos isquiotibiales, gastrocnemio o gemelos y el poplíteo que tiene como función flexionar la rodilla y crear una rotación externa. Estos se encuentran en la parte superior del muslo (Jarmey y Sharkey, 2017).

### ***5.3.2 Biomecánica de la Rodilla.***

La rodilla cuenta con un solo grado de libertad de movimiento el cual es Flexión y Extensión estos son los movimientos normales de la rodilla, tiene una amplitud que se debe medir desde una posición de referencia que se toma cuando el eje de la pierna se encuentra en la prolongación del eje del fémur; es decir, el primero es un movimiento que aleja la cara posterior de la pierna de la cara posterior del muslo y el segundo es Movimiento que aproxima la cara posterior de la pierna a la cara posterior del muslo (Kapandji, 2021). Pero tiene otra sensación de libertad que se da únicamente en la flexión, que es la rotación (externa e interna) alrededor del eje longitudinal de la extremidad inferior.

### **Ilustración 2. Biomecánica de Rodilla**



Fuente: <https://pt.slideshare.net/saurabsharma/3-biomechanics-of-patellofemoral-joint>

### 5.3.3. Daños en las rodillas.

#### 5.3.3.1. En ligamentos.

Entre las lesiones de ligamentos más comunes se encuentran las lesiones de ligamentos de la rodilla, incluyendo la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) y la lesión del ligamento colateral medial (LCM). Estas lesiones pueden ser causadas por una fuerza excesiva en la articulación o por un movimiento brusco y repentino (Nonone Luis, 2017).

Los síntomas de una lesión de ligamentos pueden incluir dolor, hinchazón, inestabilidad de la articulación, dificultad para moverla y sensación de "chasquido" o "pop" en la articulación (Rozada.S, 2019). El tratamiento depende del tipo y gravedad de la lesión, pero puede incluir fisioterapia, medicamentos para el dolor y, en algunos casos, cirugía.

### **5.3.3.2. En rótula.**

Las lesiones de la rótula son comunes y pueden ser causadas por diversos factores, tales como lesiones agudas, sobrecarga, desalineación de la rótula o debilidad muscular. Una lesión de la rótula puede incluir dolor en la rodilla, hinchazón, rigidez, inestabilidad y dificultad para caminar o doblar la rodilla. El tratamiento depende del tipo y gravedad de la lesión, pero puede incluir reposo, fisioterapia, medicamentos para el dolor y, en algunos casos, cirugía (Paredes y Martínez, 2022).

Como mencionan Doris Paredes y Kamy Martínez (2022), Algunas de las lesiones de la rótula comunes son:

- Luxación patelar: Ocurre cuando la rótula se mueve de su ubicación anatómica en la parte frontal de la rodilla.
- Fractura de la rótula: una rotura en el hueso de la rótula.
- Condromalacia rotuliana: un desgaste de la superficie de la rótula que puede causar dolor y limitación de movimiento.
- Tendinitis rotuliana: Es un edema en el tendón el cual une la tibia con la patela .
- Síndrome de dolor patelofemoral: dolor en la parte frontal de la rodilla causado por irritación de los tejidos blandos alrededor de la rótula. (Paredes y Martínez, 2022).

### **5.3.3.3. En meniscos.**

Una de las lesiones de rodilla más comunes es el desgarro del menisco. Puede darse por cualquier actividad que origine una torsión o giro de la rodilla con fuerza, principalmente al poner todo el peso del cuerpo sobre ella, puede resultar en el desgarro del menisco (Padilla, et al, 2016).

#### ***5.3.4. Definición ortesis.***

Las Órtesis son herramientas que se adaptan a una región anatómica, con el fin de apoyar, modificar, mejorar o restaurar la función alterada de la zona que lo necesita (Rueda Torres 2021)

##### **5.3.4.1. Clasificación.**

Las ortesis se clasifican en pasivas y activas, las pasivas (no articuladas) Son los que mantienen inamovible la articulación para corregir cierto tipo de posibles deformaciones, y los dinámicos (articulados) permiten realizar determinados movimientos, facilitando la alteración de la función muscular o del movimiento articular (Galli y Pelozo, 2017).

##### **5.3.4.2. Tipos de ortesis.**

Estabilizadoras o inmovilizadoras: Permiten mantener una postura estática e impidiendo algún tipo de movimiento o desviaciones no deseados, también sirven para ayudar a inmovilizar, cicatrizar, impedir movimientos y aliviar el dolor en una inflamación (Galli y Pelozo, 2017).

Funcionales: Son dinámicos y llevan incorporados segmentos estáticos y activos que permiten realizar movimientos de algún miembro con el fin de incrementar el rango de movimiento de una articulación (Galli y Pelozo, 2017).

Correctoras: Estas permiten prevenir o corregir alguna deformidad específicamente esquelética, principalmente se usan en niños debido a que están en etapa de formación (Galli y Pelozo, 2017).

Protectoras: Se utilizan para mantener una alineación de algún miembro enfermo o lesionado para una pronta recuperación (Galli y Pelozo, 2017).

### 5.3.5. ¿Qué es Arduino?

Según el manual de usuario de Arduino (2009), se define de la siguiente manera: “Es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basada en hardware y software flexible y fácil de usar. Está destinada a artistas, diseñadores, aficionados y cualquier persona interesados en crear objetos o ambientes interactivos” (Enrique Herrador, 2009). En las partes fundamentales de un Arduino, podemos encontrar; los pines, al costado izquierdo se pueden encontrar 6 analógicos para conectar componentes externos que nos permitan obtener datos por medio de sensores en forma de variaciones continuas de voltaje. Mientras que al costado derecho se encuentran 14 pines digitales, configurables como entrada o salida para transmitir o recibir señales digitales de 0 o 5 voltios, siendo estos, capaces de leer y escribir un solo estado, ya sea encendido o apagado. El conector de alimentación, que permite proporcionar energía a la placa, distribuyendo esta misma al resto de componentes. Según el libro “Introducción a Arduino” este es el consumo que manejan las distintas placas (Peña, 2020).

**Ilustración 3. Consumo de energía de las distintas placas**

MODELO	CONSUMO EN MA	DURACION DE UNA BATERÍA DE 1200 MAH
Arduino UNO	46	26 horas
Arduino MEGA	93	Casi 13 horas
Arduino DUE	75	16 horas
Arduino Nano	15	80 horas

Fuente: (Introducción a Arduino, 2020)

El microcontrolador, es el componente al que agradecemos la inserción de la programación que nos permite ejecutar comandos. Conector USB, que es el medio de comunicación entre la placa y el PC, fundamental para la carga de nuevos programas y posible alimentación del circuito para no requerir una conexión externa. Botón de reinicio, nos permite resetear el microcontrolador e insertar un nuevo código (Peña, 2020).

### ***5.3.6. ¿Qué es Proteus?***

Es un software que permite realizar diseños electrónicos y proporciona la posibilidad de interacción con elementos que integran el circuito, con el fin de simular, diseñar y probar circuitos eléctricos en una computadora antes de implementarlos en la vida real. Este software facilita la simulación de circuitos analógicos y digitales, análisis de señales, simulación de microcontroladores y programación en lenguaje ensamblador. (Proteus VSM/s,f)

### ***5.3.7. ¿Qué es Tinkercad?***

Es un programa gratuito de diseño 2D y 3D, es un software que ayuda a personas y empresas en la industria manufacturera, en la salud, la arquitectura y la ingeniería (Radha, Pra, R, 2021). Tinkercad cuenta con más opciones como lo son la simulación de circuitos o el desarrollo de código por sistema de bloques (Costa, 2021).

## **6. METODOLOGÍA**

La metodología de investigación es una combinación de procedimientos sistemáticos y empíricos adaptados a un estudio específico. La metodología es un conjunto de procesos efectivos para un enfoque cuantitativo, secuencial y demostrable, donde parte de la idea que se esboza y

define, luego se derivan los objetivos y preguntas de investigación, y de ahí comienza la formulación de la idea del diseño metodológico. Hernández et al., (2006).

### **6.1. Paradigma de investigación**

Este estudio se basa en un paradigma cuantitativo, y los investigadores dicen que usan estadísticas descriptivas, que cuantifican las relaciones entre conceptos o variables, para analizar los datos. Esto permite la predicción y la prueba de hipótesis (si la hay). Los pasos no se pueden evitar ya que cada fase precede a la siguiente. La investigación comienza con la definición de la idea, luego aborda los objetivos y las preguntas de investigación, revisa la literatura y desarrollar marcos teóricos y perspectivas. Las hipótesis se formulan a partir de las preguntas y variables determinadas. Se hace un plan para probarlos (diseño). Las variables se miden en un contexto específico. Se analizan las mediciones obtenidas mediante métodos estadísticos y se extraen una serie de conclusiones. Monje, (2011).

### **6.2 Enfoque de investigación**

La metodología del proyecto es el modelo analítico, puesto que, este se basa en el estudio de un objeto, de forma detallada buscando obtener información, y respectivamente evaluar los diferentes métodos y resultados obtenidos, con el objetivo de llegar a una conclusión donde se afirme o no, el éxito de los métodos o hipótesis planteadas. Para esta investigación, el fin es evaluar diseños similares y actualizados, e innovar por medio del desarrollo de un prototipado que supere las limitaciones de los diseños propuestos por otros autores.

### **6.3. Tipo de investigación**

La investigación en este ámbito es de tipo exploratoria, ya que tiene como objetivo tener un acercamiento con la problemática, para estudiarla y proponer una solución. Se cree prudente realizar un estudio clínico prospectivo, previo a la implementación de la ortesis en el tratamiento fisioterapéutico del paciente. La investigación se basó en la búsqueda de rehabilitación de rodilla post-cirugía, de tal manera poder identificar y posteriormente realizar el análisis de los tratamientos pasivos beneficiosos para las personas afectadas por lesiones en la rodilla.

#### 6.4. Fases del diseño de la estrategia

#### Ilustración 4. Diseño de la estrategia



Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del prototipado se utilizó un programa de simulación de circuitos electrónicos (Proteus) y un software de modelado en 3D (Tinkercad 3D), en donde se adaptaron componentes

para suplir las necesidades terapéuticas de los pacientes, buscando reducir las limitaciones de las ortesis actualmente disponibles.

Se diseña el circuito encargado de controlar el motor que generará los movimientos de ejercicio pasivo para la rehabilitación de rodilla. Para su control se implementa el módulo Bluetooth H05, ya que este tiene la capacidad de recibir e iniciar una comunicación a diferencia de módulos bluetooth similares, además, se hace uso de el servomotor MG995 que cuenta con características ideales para el prototipado, como su voltaje de operación.

El modelo está diseñado a partir del voltaje de alimentación del Arduino UNO, con un rango de operación definido entre 4.8V a 7.2V. También cabe destacar que el servomotor usado tiene una capacidad de rotación de 180°, valor congruente con los movimientos que son característicos en el ejercicio pasivo de la rodilla.

Por último, el microcontrolador Arduino UNO fue fundamental, pues su uso permite la comunicación con la aplicación móvil para el control del prototipado realizado. De esta manera culminamos nuestra investigación de rendimiento del prototipado, para lo que se desea implementar.

La fisiología analizada durante la investigación proviene de muestras tomadas en la demográfica para la que el prototipado está destinado, Se excluye la población que utilizará este prototipado para rehabilitación de articulaciones diferentes de la rodilla, ya que los parámetros utilizados en nuestro proyecto fueron modelados a partir del sistema fisiológico específico para esta articulación.

Se cree prudente realizar un estudio clínico prospectivo, mediante el cual se evalúan las complicaciones que se pueden presentar con la implementación de la ortesis, tales como,

infecciones, aflojamiento y rechazo de la ortesis, A la par del análisis del nivel de dolor presente antes y después de la implantación, y la movilidad previa y posterior.

Todo esto mediante pruebas funcionales, incluyendo evaluaciones prácticas de la movilidad física (como caminar, subir escaleras y levantarse desde una silla), con el fin de evaluar la función de la ortesis y la capacidad del paciente para realizar actividades diarias, como vestirse, cocinar y trabajar. Determinando así la calidad de vida del paciente y a su vez midiendo la contribución que tuvo la ortesis para su rehabilitación y el impacto en su vida cotidiana.

Uno de los primeros pasos para la implementación de la ortesis para un paciente es calcular el peso de su pierna, que se encuentra entre el 60% y el 80% del peso corporal de la persona, como podemos evidenciar en esta tabla de posibles pesos.

**Ilustración 4. Tabla de pesos.**

	Para una talla promedio de 1.68 metros	
	Peso corporal (Kg)	Peso de la pierna (60%)
Bajo peso	53	31,8
Peso Normal	72	43,2
Sobrepeso	80	48
Obesidad	93	55,8

Fuente: Elaboración propia.

**9. RESULTADOS**

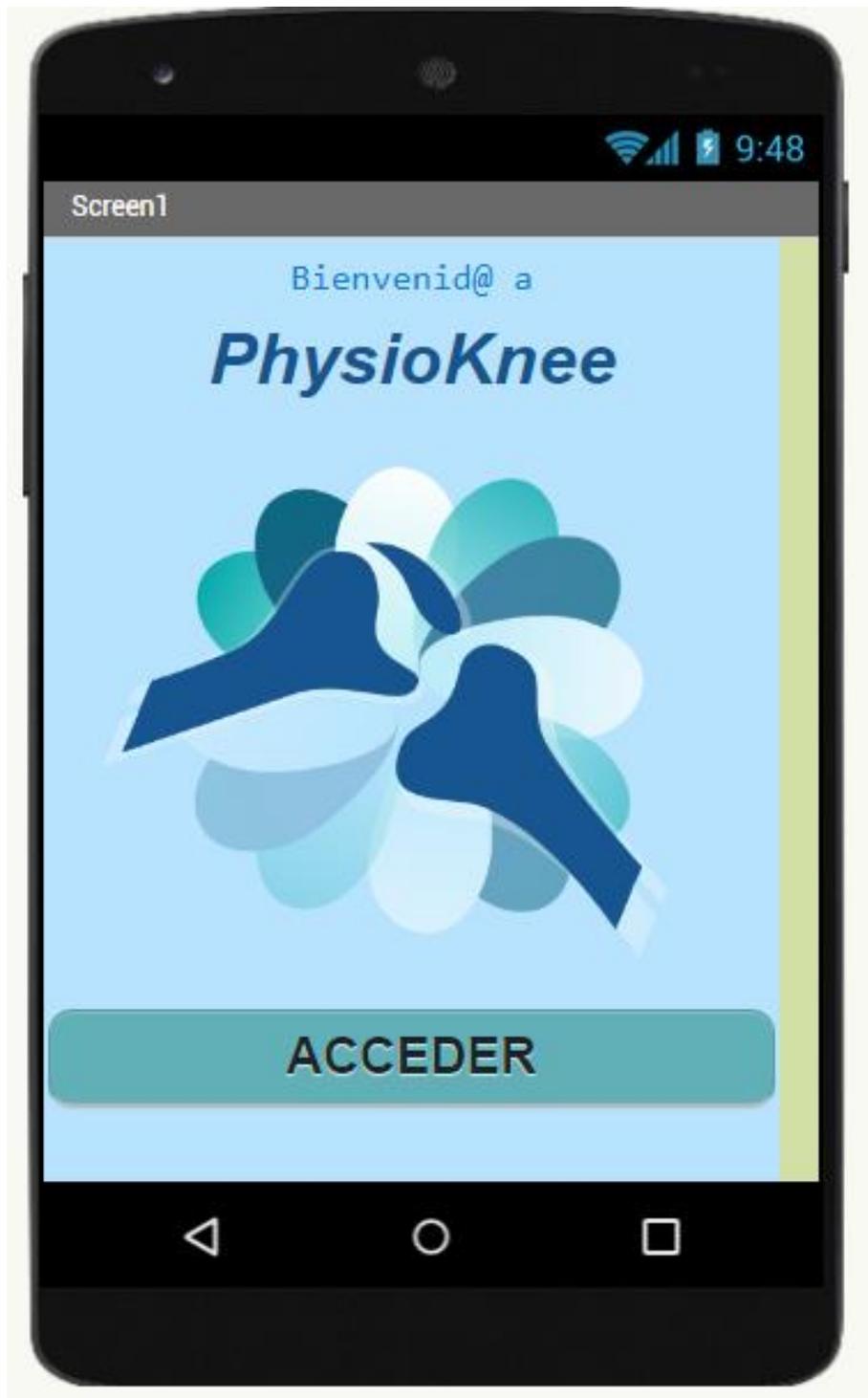
La investigación referente a la ortesis para la rehabilitación de rodilla trabajada se lleva a cabo en Bogotá, en el Club Deportivo Libertad, un reconocido centro deportivo donde se analizan los beneficios de este prototipado en pacientes que habían experimentado lesiones o daños en la

articulación debido a diferentes actividades que fueron las causales de la lesión deportiva, de esta forma también se pudo evidenciar que los beneficios que se obtienen al uso de la ortesis, pueden variar según el tipo de esta y las características individuales de los pacientes.

Según estadísticas de Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes deportivos representan una de las principales causas de lesiones en las extremidades inferiores, incluyendo la rodilla, por este motivo decidimos contribuir a una posible solución para realizar las terapias de rehabilitación física luego de tener un accidente y ser sometido a un proceso quirúrgico por esta misma razón. (Siglo, 2019) La ortesis de rodilla puede aliviar el dolor crónico y ayudar a reducir la discapacidad asociada con la pérdida de la función articular a largo plazo, permite a los pacientes recuperar la capacidad de moverse y realizar actividades físicas que antes eran difíciles o imposibles de realizar posteriormente al procedimiento quirúrgico al que fueron sometidos generando una solución efectiva para restaurar la función de la rodilla, experimentando una reducción del dolor, aumento de la movilidad y capacidad para realizar actividades diarias y participar en actividades recreativas; lo que se traduce en una mejora o restauración significativa en su calidad de vida.

Fue posible diseñar un prototipado en Tinkercad 3D que permitiera el tratamiento del paciente y acomodará diferentes alturas, pesos y tipos de cuerpo, al igual que la interfaz que hiciera posible el manejo del dispositivo y su información por medio de bluetooth, para poder dar solución a la problemática planteada.

### **Ilustración 5. Interfaz inicial de “PhysioKnee”**



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6.Registro aplicación

Screen2

**PhysioKnee**

Nombre:

Correo electrónico:

¿Es usted mayor de 60?

PhysioKnee tiene como objetivo recopilar información sobre el tratamiento de sus usuarios con el objetivo de mejorar los tratamientos que ofrece.

Acepto el tratamiento de mi información.

**CONTINUAR**

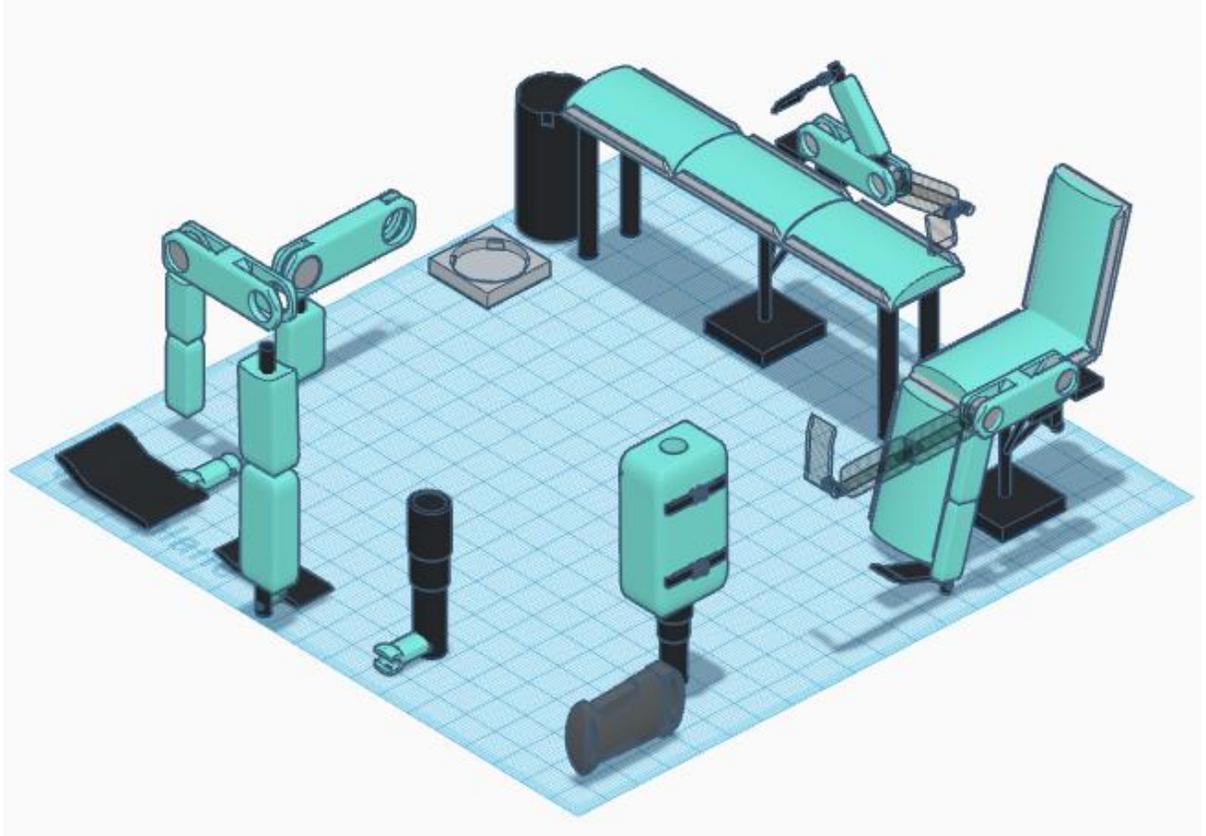
Fuente: Elaboración propia.

### Ilustración 7. Conectividad y control.



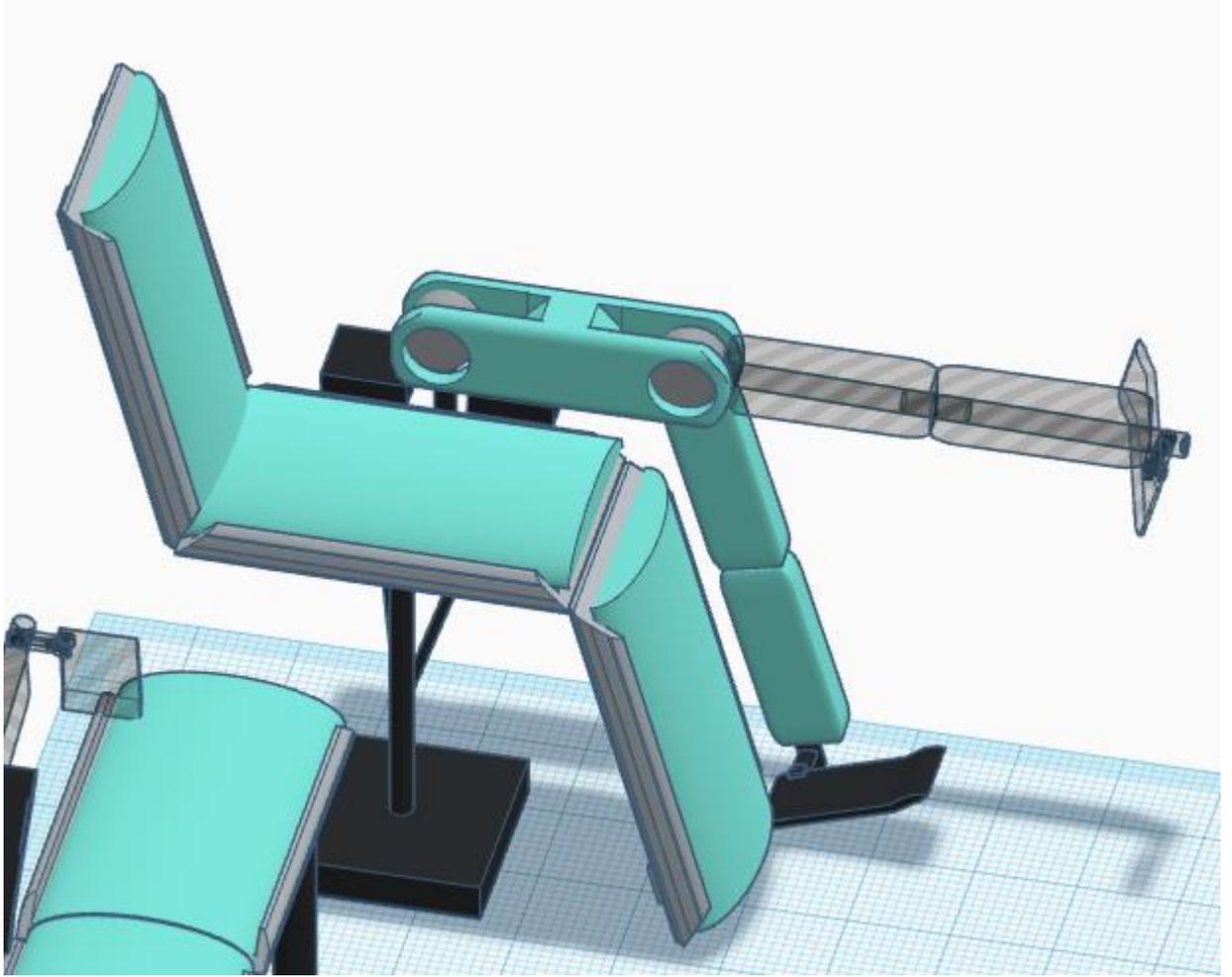
Fuente: Elaboración propia

### Ilustración 8. Diseño 3D proyecto para rehabilitación de rodilla (vista general)



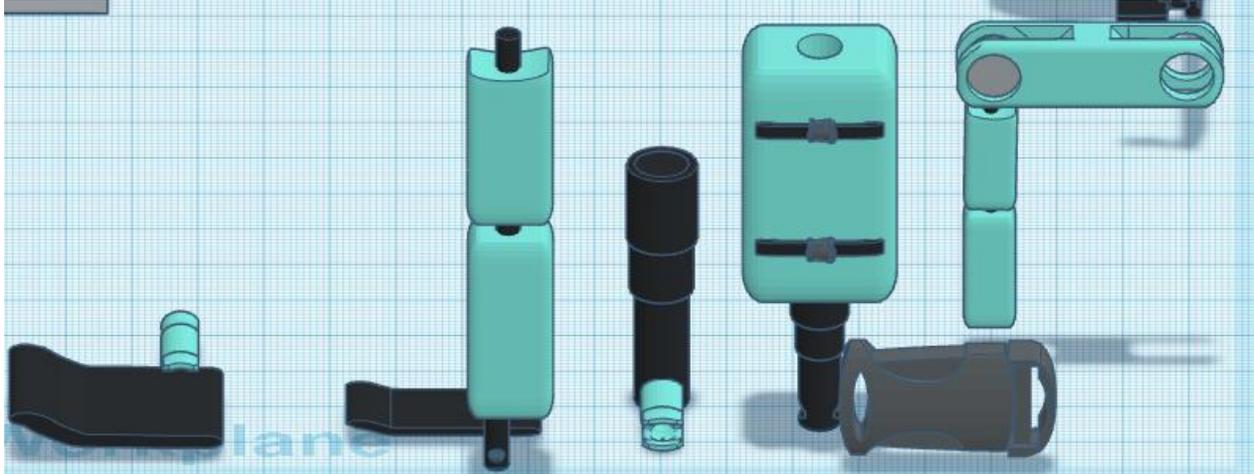
Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 9. Diseño 3D proyecto para rehabilitación de rodilla (modo para extensión)**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 10. Vista detallada de los componentes de movimiento y restricción del paciente:**



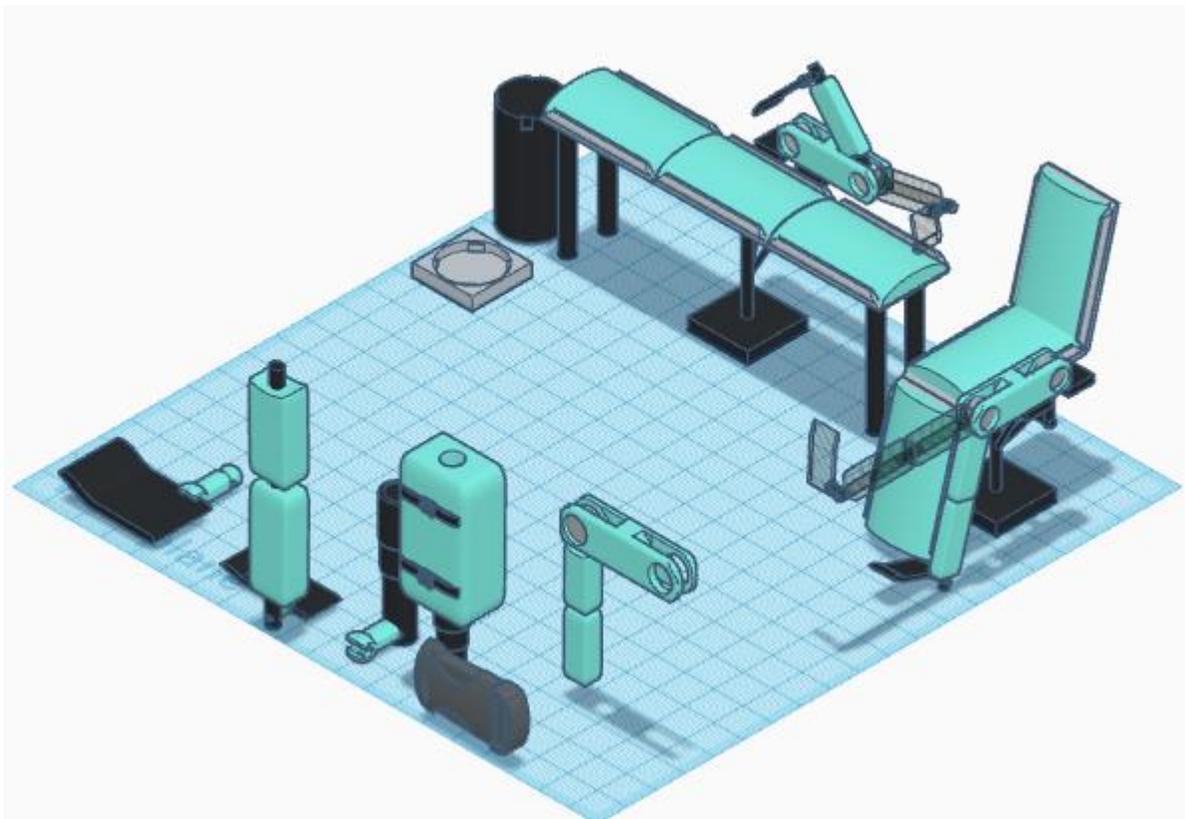
**Fuente: Elaboración propia.**

## 10. CONCLUSIONES

- Uno de los ejercicios clave utilizados en fisioterapia postquirúrgica de la rodilla, es flexo-extensor que promueve la recuperación y rehabilitación óptima. Ofreciendo fortalecimiento muscular, movilización articular y técnica de control del dolor.
- La implementación exitosa del prototipo de ortesis requiere planificación y colaboración entre profesionales de la fisioterapia e ingenieros biomédicos. Es esencial que el prototipo sea probado y validado para garantizar su seguridad, eficacia y adecuación a las necesidades de los pacientes.
- La combinación de estrategias fisioterapéuticas adecuadas con el uso de una órtesis personalizable y de uso autónomo puede permitir mejorar los resultados del tratamiento postquirúrgico de nuestro paciente.
- La órtesis proporciona apoyo mecánico durante la rehabilitación, mientras que la app permite realizar un seguimiento y ajustes personalizados en función de la evolución del paciente.

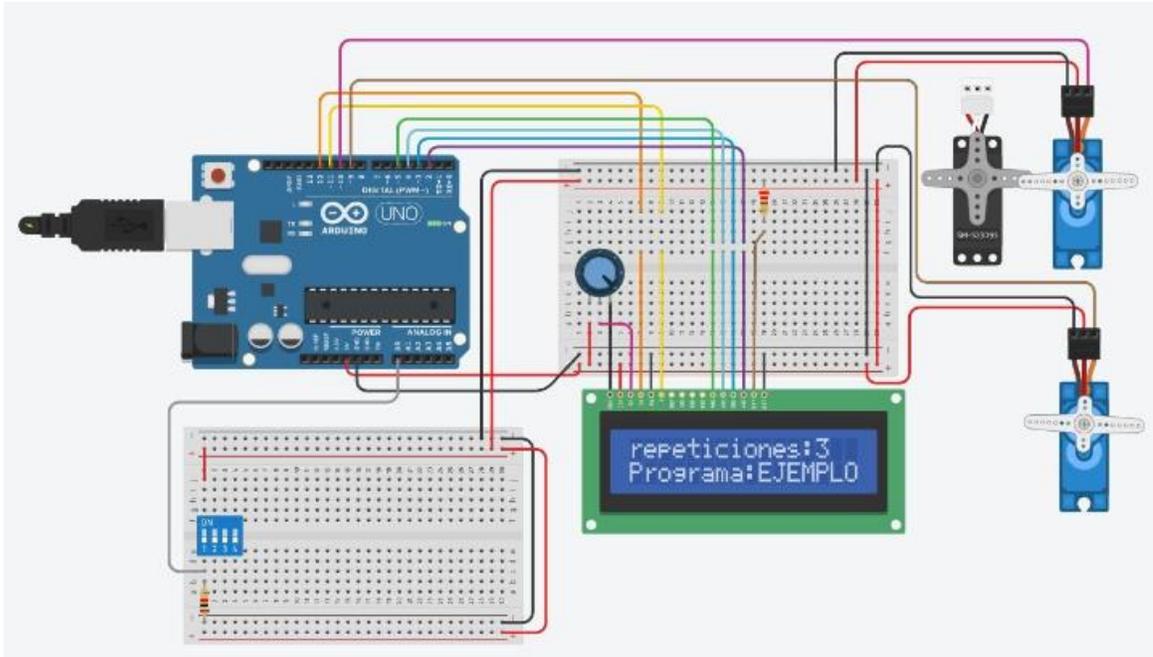
## ANEXOS

### anexo 1. vista general del modelo.



link:[https://www.tinkercad.com/things/aOgUh9FbNSh-dazzling-duup-juttuli/edit?sharecode=Xj96OltP4Gg30ZJuMWbMKU3ocBN\\_guqujVXNJWJwp8c](https://www.tinkercad.com/things/aOgUh9FbNSh-dazzling-duup-juttuli/edit?sharecode=Xj96OltP4Gg30ZJuMWbMKU3ocBN_guqujVXNJWJwp8c)

### anexo 2. Desarrollo circuital en circuitos tinkercad.



### anexo 3. Desarrollo de código en el software arduino

Código arduino:

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

```
Servo servo_9;  
Servo servo_10; int  
rep=0;  
int count=0;  
String eje; int  
pos=0;
```

```
void setup() {
```

```
  lcd.begin(16, 2);  
  servo_9.attach(9);  
  servo_10.attach(10);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  //el numero de repeticiones y
```

```
  //el programa seran datos que entraran por la aplicación (bluetooth)
```

```
  eje="a";
```

```
  rep=10;
```

```
  servo_9.write(90);
```

```
  if (eje=="a"){
```

```
    for (count=0; count<=rep; count++){
```

```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("repeticiones:");  
lcd.print(count); lcd.setCursor(0,2);  
lcd.print("Programa:");  
lcd.print("EJEMPLO");  
  
for (pos = 90; pos <= 180; pos += 1) {  
  
    servo_9.write(pos);  
    delay(50);  
}  
for (pos = 180; pos >= 90; pos -= 1) { servo_9.write(pos);  
    delay(50);  
}  
}}}
```

**anexo 4. Pantalla de inicio de la aplicación y código (bloques) respectivo:**



```
when Button1 .Click  
do open another screen screenName Screen2
```

**anexo 5. Datos personales y código (bloques) respectivo:**

# PhysioKnee



Nombre:

Correo electrónico:

¿Es usted mayor de 60?

PhysioKnee tiene como objetivo recopilar información sobre el tratamiento de sus usuarios con el objetivo de mejorar los tratamientos que ofrece.

Acepto el tratamiento de mi información.

CONTINUAR



```
inicializar global name como "" inicializar global tyc como falso
inicializar global mail como "" inicializar global senior como falso

cuando Button1 .Clic
ejecutar
  si [CheckBox1 . Verificado]
  entonces poner global senior a cierto

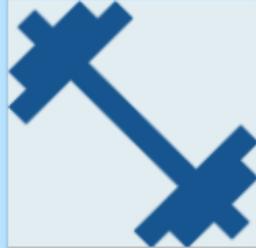
  si [CheckBox2 . Verificado]
  entonces poner global tyc a cierto

  poner global name a [TextBox1 . Texto]
  poner global mail a [TextBox2 . Texto]

  si [tomar global tyc = cierto]
  entonces abre otra pantalla con un valor inicial
    Nombre de la pantalla: Screen3
    Valor inicial: tomar global name

  sino llamar [Notifier1 .MostrarAlerta]
    aviso: "Términos y condiciones"
```

**anexo 6. Interfaz principal del usuario y código (bloques) respectivo:**



¡Hola

**Bienvenid@ !**

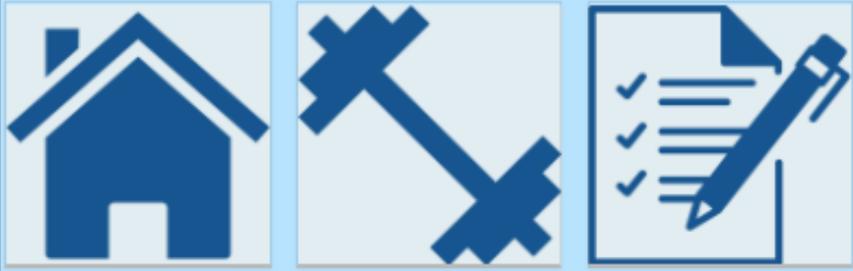
¿Qué quieres hacer hoy?

**Ejercicio**

**Revisar mi progreso**



**anexo 7. Comunicación con el equipo y código (bloques) respectivo**



Conecta tu equipo:

CONECTAR

DESCONECTAR

Estado: Desconectado

añadir elem ▼

Número de repeticiones:

COMENZAR

¿Cómo evaluarías el resultado de esta sesión?



inicializar global **name** como tomar el valor inicial

cuando **Button1** .Clic

ejecutar abre otra pantalla con un valor inicial Nombre de la pantalla **Screen3**  
Valor inicial tomar **global name**

cuando **Button2** .Clic

ejecutar abre otra pantalla con un valor inicial Nombre de la pantalla **Screen5**  
Valor inicial tomar **global name**

cuando **ListPicker1** .AntesDeSelección

ejecutar poner **ListPicker1** . Elementos como **BluetoothClient1** . DireccionesYNombres

cuando **ListPicker1** .DespuésDeSelección

ejecutar evaluar pero ignorar el resultado llamar **BluetoothClient1** .Conectar dirección **ListPicker1** . Selección

si **BluetoothClient1** . Conectado

entonces poner **Label3** . Texto como " Conectado "

poner **Clock1** . TemporizadorSiempreSeDispara como cierto

sino poner **Label3** . Texto como " Error de conexión "

```

cuando Button4 .Clic
ejecutar
  llamar BluetoothClient1 .Desconectar
  poner Label3 . Texto como " Desconectado "

inicializar global selec como " "

cuando Spinner1 .DespuésdeSeleccionar
selección
ejecutar
  si
    tomar selección = " extensión mínima "
  entonces
    poner global selec a " A "
  si no, si
    tomar selección = " extensión media "
  entonces
    poner global selec a " B "
  si no, si
    tomar selección = " extensión alta "
  entonces
    poner global selec a " C "
  llamar BluetoothClient1 .EnviarNúmero1Byte
  número tomar global selec

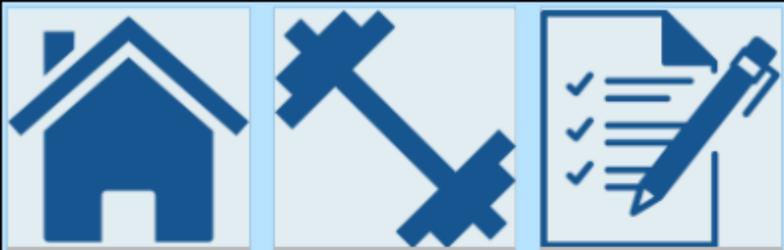
inicializar global reps como 0

cuando TextBox1 .PerderFoco
ejecutar
  poner global reps a TextBox1 . Texto
  llamar BluetoothClient1 .EnviarNúmero2Bytes
  número tomar global reps

cuando Button5 .Clic
ejecutar
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto
  texto " ON "
  poner Button5 . ColorDeFondo como

```

anexo 8. Ejemplo de muestra de datos al profesional asistencial y código (bloques) respectivo

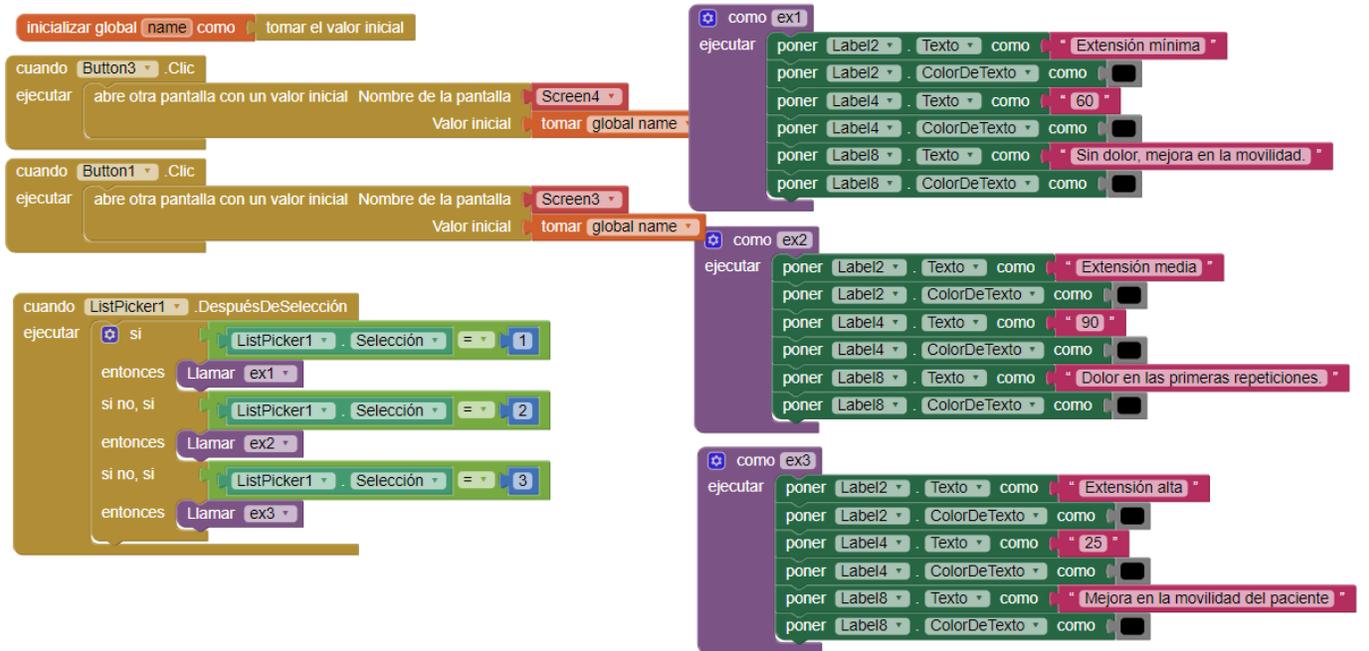


**¿Qué sesión deseas evaluar?**

Tipo de ejercicio:

Repeticiones:

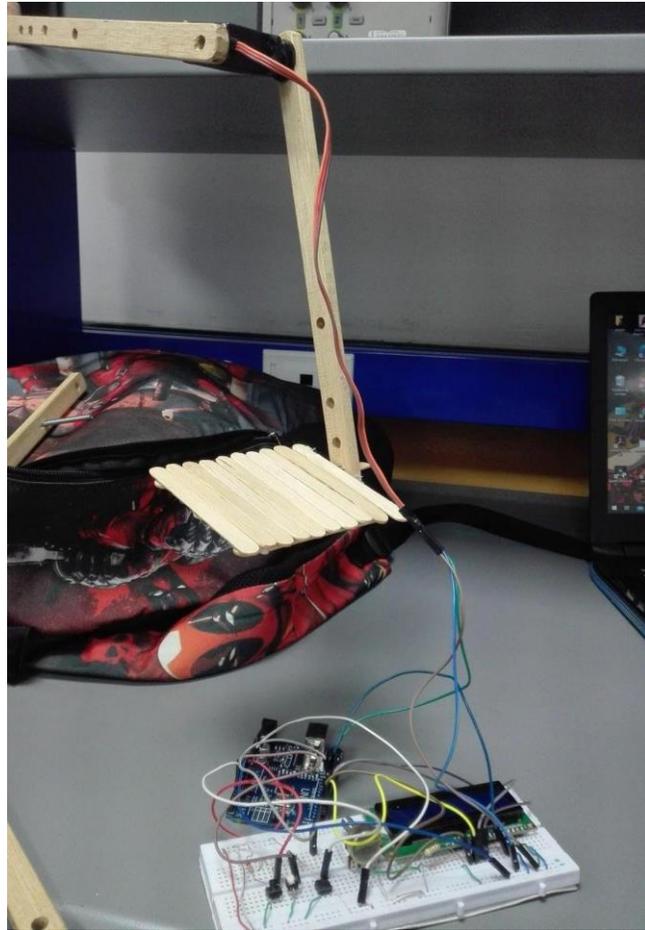
Evaluación:



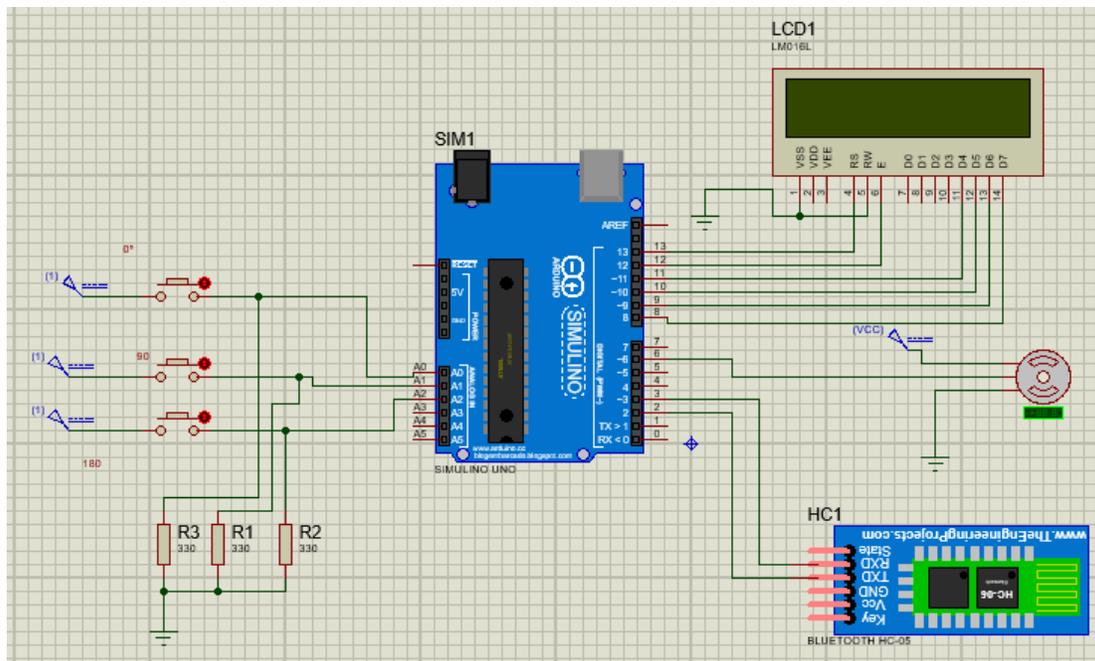
**anexo 9. link de descarga:**

<http://ai2.appinventor.mit.edu/b/2j47>

**Anexo 10. prueba física:**



Anexo 11. circuito diseñado en proteus.



## LISTA DE REFERENCIAS

- 1.
2. Vidal, M. (s.f). *¿Cómo elaborar una introducción?*, Pontificia Universidad Católica de Chile.
3. Centro de Escritura Javeriano. (2020). *Normas APA, séptima edición*. Pontificia Universidad Javeriana, seccional Cali.
4. Risco, A. A. (2020). Justificación de la Investigación. *Lima-Perú: Universidad de Lima, 1*.
5. López-Liria, R., Vega-Ramírez, F. A., Catalán-Matamoros, D., Padilla-Góngora, D., Martínez-Cortés, M. C., & Mesa-Ruiz, A. (2012, April). *La rehabilitación y fisioterapia domiciliaria en las prótesis de rodilla*. In *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* (Vol. 35, No. 1, pp. 99-113).
6. Tavares, D. (2017). *Cómo se llama el hueso de la rodilla*. unCOMO. <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-se-llama-el-hueso-de-la-rodilla-43095.html>
7. Andrade Vázquez, K. V. (2018). *Perfil epidemiológico y factores de riesgo de la fractura articular de meseta tibial en HDPNG-2 año 2016-2017 (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Médicas. Escuela de Medicina)*.
8. Cuéllar, S. Q., & Sánchez, M. G. O. (2021). *Propuesta de rediseño ergonómico del modelo de utilidad: Órtesis de rodilla para personas con discapacidad motriz*. UPIICSA. Investigación Interdisciplinaria, 7(2), 12-21.

9. Mayorga Romero, M. (2022). *Conceptualización y Diseño de una Órtesis de Rodilla para Deportistas de Élite (Doctoral dissertation)*.
10. *Biomecánica de la rodilla*. (s.f), *Capítulo 2*,  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/de\\_1\\_lm/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/de_1_lm/capitulo2.pdf)
11. Trillos, M. C., Guzman, I. A. T., Amezcuita, L. V. R., Beltrán, E., & Natera, M. C. P. (2018). *Biomecánica de la rodilla para fisioterapeutas*.
12. Healthwise. (2022, noviembre, 9) *Lesión del ligamento lateral interno*.  
cigna.<https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/temas-de-salud/lesin-del-ligamento-lateral-interno-abn2411>
13. Grevnerts, H. T., Sonesson, S., Gauffin, H., Ardern, C. L., Stålman, A., & Kvist, J. (2021). *Decision making for treatment after ACL injury from an orthopaedic surgeon and patient perspective: results from the NACOX study*. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(4), 23259671211005090.
14. Mayo Clinic. (Dec. 01, 2022). *ACL injury*.<https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/symptoms-causes/syc-20350738>
15. Santamaria, M. P. A., & Viera, C. M. E. (2022). *Manejo Integral de las lesiones (roturas) meniscales*. *RECIMUNDO*, 6(suppl 1), 331-344.
16. Valida. (2021). *¿Qué son las órtesis y qué tipos existen?*.<https://www.valida.es/blog/post/que-son-las-ortesis-y-que-tipos-existen/>
17. Ortoprono. (2022, febrero, 16). *Qué tipos de ortesis existen*.  
<https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/tipos-de-ortesis>

18. *Las funciones esenciales de la salud pública en las Américas. Una renovación para el siglo XXI. Marco conceptual y descripción. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud; 2020. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.*
19. Aldaco-García, V. D., Chávez-Covarrubias, G., Escobar-Rodríguez, D., Estrada-Malacón, C., Pérez-Hernández, C., Monroy-Centeno, J., ... & Valenzuela-Flores, A. A. (2017). *Diagnóstico y Tratamiento de las LESIONES LIGAMENTARIAS TRAUMÁTICAS EN RODILLA*. Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica: IMSS-388-10 (8, 21, 23-25). México: IMSS.
20. del Campo Berrueta, F., & Dupont, M. (2020). *Tratamiento de las lesiones del ligamento cruzado anterior y meniscales en adolescentes*. Reporte de un caso. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 7, No. 2). Universidad de la República. Facultad de Medicina.
21. Sguerra Bergsneider, C. N. (2022). *Diseño de un mecanismo activo para la asistencia en rehabilitación por movimientos de flexión-extensión en pacientes con una lesión de tejido blando en la rodilla*. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/17651>
22. Borghi, L. (2018). *Breve historia de la medicina*. Ediciones Rialp.
23. Damo ,P. (2012). *Diseño de un rehabilitador de rodilla*
24. López R, Torres J, Salazar S, et al. *Desarrollo de un Exoesqueleto para Rehabilitación de Tobillo y Rodilla*. *Rev Mex Ing Biomed*. 2014;35(1):13-28.
25. Valderrama A, E. al. (2019, diciembre). *MEMORIAS VI SIMPOSIO NACIONAL DE FORMACIÓN CON CALIDAD Y PERTINENCIA*. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/630831832/Memorias-VI-Simposio-YUDY-S0NIA-PAG249-pdf>

26. Zamora Ortiz, P. (2016). *Diseño de un robot paralelo para aplicaciones de diagnosis y rehabilitación de rodilla.*
27. Dunai, Larisa & LENGUA, ISMAEL & Peris-Fajarnés, Guillermo & Defez, B.. (2019). *DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE EXTREMIDADES INFERIORES. DYNA INGENIERIA E INDUSTRIA. 94. 297-303. 10.6036/9010.*
28. Pedro Araujo Gómez, Miguel Díaz Rodríguez, Vicente Mata Amela. *Diseño de Dispositivo Robótico para la Rehabilitación y Diagnóstico de Extremidades Inferiores.* Diseño de Dispositivos para Rehabilitación y Órtesis, pp.15-42, 2017, 978-980-11-1893-0. {hal-01617039}
29. Aquino Arroba, S. M., & Pozo Safla, E. R. (2017). *Modelo dinámico de un robot paralelo para rehabilitación de rodilla* (Master's thesis, Quito, 2017.).
30. Cuevas-Vásquez, C & Lugo, Esther & Arias-Montiel, M. & Sosa-López, E & Tapia-Herrera, Ricardo. (2019). *Desarrollo de un prototipo para rehabilitación de rodilla utilizando un robot paralelo 5R de 2 GDL.*
31. Navarrete Cisneros, J. R., & Sánchez Ruíz, G. X. (2019). *Diseño, construcción, ensamble y pruebas de un robot paralelo 3ups+ 1rpu para rehabilitación de rodilla* (Bachelor's thesis, Quito, 2019.).
32. Torres Ricalde, D. R. *Diseño de un exoesqueleto para asistir la articulación de la rodilla al correr.*
33. Yanchapaxi, C., Bernardo, K., Ortiz Cabrera, B. D., & Torres Muñoz, G. R. *Diseño y construcción de un prototipo mecatrónico para la rehabilitación postquirúrgica de rodilla con movimiento continuo pasivo asistido por computador.*

34. Moncada Trejos, J. S., & Rayo García, R. M. (2018). *Diseño e implementación de un prototipo para el apoyo del proceso de enseñanza aprendizaje de las pruebas semiológicas de cajón (rodilla)*.
35. Barragán Gómez, J. (2013). *Robot usable como apoyo en la rehabilitación de rodilla*.
36. Guatibonza Artunduaga, A. F. (2019). *Modelado cinemático, dinámico y validación de un dispositivo robótico asistencial para rehabilitación de rodilla*.
37. Baquero Duarte, K. C. (2019). *Diseño de un estudio experimental para rehabilitación de rodilla con exoesqueleto activo*.
38. Diego Alexander Tibaduiza-Burgos; Maribel Anaya-Vejar; Pedro Antonio Aya-Parra “Exoesqueleto para rehabilitación de miembro inferior con dos grados de libertad orientado a pacientes con accidentes cerebrovasculares” INGE CUC, vol. 15, no. 2, pp. 36-46, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.04>
39. González Terán, V. R., & Gómez Cardoso, Á. L. (2019). Superación del profesor de Educación Física para la rehabilitación del adulto mayor, desde una visión de ciencia, tecnología y sociedad. *Humanidades Médicas*, 19(1), 144-159.
40. Gaviria Uribe, (2015).  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/SG/GT/perfiles-directivos-minsalud.pdf>
41. D. 3275. (2009). Departamento Administrativo de la Función Pública. Gov.co.  
[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=37226](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=37226)
42. *Resolución 214 de 2022 Ministerio de Salud y Protección Social*. (2022).  
Alcaldiabogota.gov.co.  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=120837&dt=S>

43. Sanitas. (s.f.). *Anatomía de la rodilla*.  
<https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/enfermedades-y-trastornos/traumatologicas/anatomia-rodilla.html>
44. Velásquez Miranda, L. M. (2018). *Análisis del comportamiento mecánico de un prototipo de prótesis transfemoral para la Fundación Materialización 3D* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
45. Requena Palomino, Y. (2022). *Atención de enfermería en paciente post operado inmediato de artroplastia total de rodilla en el área de recuperación de una Clínica Jesús del Norte-2019*.
46. Marquet Rivera, R. A. (2017). *Análisis numérico de lesión del ligamento cruzado anterior en tres grados diferentes de daño*.
47. Jarmey, C., & Sharkey, J. (2017). *Atlas conciso de los músculos*. Paidotribo.
48. (2020) *Tipos, complicaciones y cuidados de la prótesis de rodilla*. Elgeadi Traumatología
49. (2019) *8 lesiones de rodilla más frecuentes en deportistas y tratamiento*. Eurofitness | Gimnasios y centros deportivos.
50. Nonone Barreto, L. Y. (2017). *Tratamiento fisioterapéutico en lesiones de ligamentos de la rodilla*.
51. Rozada Raneros, S. (2019). *Propuesta de diseño de una aplicación móvil para ayuda a la rehabilitación física a partir del estudio de las existentes en el mercado*.
52. Paredes Cruz, D., & Martínez Lantigua, K. (2022). *Impacto del peso en el proceso de rehabilitación y terapia física en pacientes adultos con lesiones de rodilla del Hospital Traumatológico Doctor Ney Arias Lora*. 2021-abril, 2022 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Pedro Henrique Ureña).

53. Padilla, C., Quezada, C., Flores, N., Melipillán, Y., & Ramírez, T. (2016). *Lesiones y variantes normales de la rodilla pediátrica*. *Revista chilena de radiología*, 22(3), 121-132.
54. Rueda Torres, A. J. (2021). *Ortesis para inmovilización de miembro superior*.
55. Galli, K., & Pelozo, S. (2017). *Órtesis y prótesis. Medical audit monograph*.
56. Herrador, R. E. (2009). *Guía de usuario de Arduino*.
57. Peña, C. (2020). *Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa*. RedUsers.
58. Peña, C. (2020). *Introducción a Arduino* (Vol. 88). RedUsers.
59. Proteus VSM /S/f. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/A-SISTIDO/Proteus.pdf>
60. Tinkercad / *From mind to design in minutes*. (2023). Tinkercad. <https://www.tinkercad.com/dashboard>
61. Costa, O. (2021). *Tinkercad: Dando volumen a las ideas*. Intef.
62. González Jemio, F., Mustafá Milán, O., & Antezana Arzabe, A. (2011). *Alteraciones biomecánicas articulares en la obesidad*. *Gaceta Médica Boliviana*, 34(1), 52-56.
63. *Composición Corporal* (2021, January 31). Brisport.com. <https://www.brisport.com/valoracion-fisica/composicion-corporal/>
64. Lalaguna, G. L., Aristi, I. M., & Monesma, E. P. (2021). *Efectividad de la rehabilitación en pacientes operados de prótesis total de rodilla: revisión sistemática*. *Cuestiones de fisioterapia: revista universitaria de información e investigación en Fisioterapia*, 50(3), 35-39.
65. Pareja, M. L. (2017, 9 abril). *¿Tratamiento pasivo o tratamiento activo en Fisioterapia? Vitónica*.

66. Ruiz, M. T. R., & de la Chica Aragón, M. T. (2020). *Análisis de las repercusiones en calidad de vida en pacientes en lista de espera para Prótesis de Rodilla*. *Enfermería Docente*, 11-18.
67. Estadísticas de las Lesiones Deportivas. (s/f). Stanfordchildrens.org. Recuperado el 5 de junio de 2023,  
<http://stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=estadsticadelaslesionesdeportivas-90-P04753>
68. Siglo, E. N. (2019). Lesiones deportivas: causas más frecuentes y prevención. *El Nuevo Siglo*. Recuperado el 5 de junio de 2023, de  
<https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/08-2019-lesiones-deportivas-causas-mas-frecuentes-y-prevencion>
69. VILLANUEVA VERGARA, J. C. (2017). *Diseño de un dispositivo para rehabilitación de rodilla mediante la optimización de mecanismos (Master's thesis, Universidad Autónoma del Estado de México)*.