



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

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

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y
REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL
CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniera en Telecomunicaciones

ÁREA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la información y Sistemas de control

AUTOR: Mishael Estefaní Guerrero Candilejo

TUTOR: Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios

Ambato – Ecuador

agosto - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por la señorita Mishael Estefaní Guerrero Candilejo, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del respectivo del reglamento referido.

Ambato, agosto 2023.

Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2023.



Mishael Estefani Guerrero Candilejo

C.C.1805335005

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2023.



Mishael Estefaní Guerrero Candilejo

CC: 1805335005

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por la señorita Mishael Estefaní Guerrero Candilejo, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación titulado SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2023.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez
PROFESOR CALIFICADOR

Dr. Jaime Rodrigo Guilcapi Mosquera
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

En memoria de mi amado Padre

Raúl Wladimir Guerrero Montero

A ti, exclusivamente a ti, que merecías estar presente en el momento de tu vida -y la mía- que tanto esperaste. Por aquellos desvelos, por tu resiliencia, por demostrarme de lo que es capaz el amor incondicional de un padre y de enseñarme aún en tu ausencia, de lo que yo puedo lograr. Muchas gracias amado padre por estos años de enseñanza y felicidad. A ti te debo mi victoria.

En este momento los recuerdos tocan mi corazón, tal vez en otra galaxia si fue diferente, tal vez ahí si se nos dio lo que quisimos siempre, te echo de menos, pero te recordaré cada día de mi vida con la esperanza de que en un futuro nos volveremos a encontrar, serás la estrella que guíe a nuestra familia.

Escribo esta dedicatoria como recuerdo a mi perseverancia a que los tiempos oscuros mejorarán hasta hacerse claros y cálidos.

De mi para ti hasta el cielo.

Con mucho cariño Misha

AGRADECIMIENTO

A mis padres Raulito (+) y Nancita, ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles, me enseñaron el verdadero significado de la palabra perseverancia. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Gracias por creer en mí.

A mis hermanos Antoni y María José, les agradezco por estar siempre en mi vida no solo aportando buenas cosas, sino también por su gran apoyo. Son tan increíbles y únicos, son lo mejor que la vida me ha dado, sin duda mi mejor ejemplo de amor y trabajo duro, espero que sigamos avanzando juntos en este largo camino y creciendo juntos.

A mis abuelitos Jaime (+) y Emma, mis tíos Paty, Inés, Enrique, por apoyarme y amarme desde que era una niña, este logro también es para ustedes, por permanecer junto a mí en los días más sombríos, por ser para mí y para mis hermanos como nuestros padres, los quiero muchísimo.

A mis padrinos Javier y Mercedes, por ser un gran ejemplo de superación y entrega, por estar junto a mi como una sombra que me da calma y ser mis mejores amigos.

A mi chico Christian Paul Toasa, por acompañarme cada día, darme tranquilidad y llenarme de amor sincero.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a mi Tutor de Proyecto de Titulación Dr. Freddy Benalcázar, sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado tan fácil. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, y por más de una vez brindarme una segunda oportunidad cuando más lo necesite.

A los ingenieros Julio Cuji y Jaime Guilcapi, los cuales fueron mi guía profesional en la realización de este proyecto.

A mi incondicional amigo el Ing. Cristian Bautista, con quien inicié este sueño de ser un día ingenieros, gracias por acompañarme y motivarme hasta llegar al final.

Agradezco a cada una de las personas que han estado para mí en este proceso, por creer en mí y por ser parte de este logro. Su cariño es invaluable y ha hecho posible mi investigación.

Mishael E. Guerrero

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema de investigación.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes Investigativos.....	3
1.3. Fundamentación Teórica	6
1.3.1. Artrosis de rodilla.....	6
1.3.2. Epidemiología de la artrosis de rodilla.....	7
1.3.3. Clasificación de la artrosis de rodilla	8
1.3.4. Fisiopatología de la artrosis de rodilla	8
1.3.5. Tratamientos para la artrosis de rodilla.....	9
1.3.6. Principios de biomecánica.....	11
1.3.7. Cinética de los huesos y articulaciones de la rodilla.....	13
1.3.8. Órtesis electrónicas para la rehabilitación de la artrosis de rodilla.....	14

1.3.9. Fundamentos para el diseño mecánico.....	17
1.3.10. Sistema de movimiento	18
1.3.11. Mecanismos de movimiento rotatorio a lineal	18
1.3.12. Sensores.....	19
1.3.13. Actuadores.....	19
1.3.14. Placas de desarrollo	20
1.3.15. Transmisión de datos.....	21
1.3.16. Interfaz gráfica.....	23
1.4. Objetivos	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO II	25
METODOLOGÍA	25
2.1. Materiales	25
2.2. Métodos.....	26
2.2.1. Modalidad de investigación	26
2.2.2. Recolección de información.....	26
2.2.3. Procesamiento y análisis de datos	27
CAPÍTULO III.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1. Análisis y discusión de los resultados	28
3.2. Desarrollo de la propuesta.....	29
3.2.1. Requerimiento del sistema de rehabilitación de rodilla	30
3.2.2. Esquema general del sistema de monitoreo y rehabilitación	31
3.2.3. Selección de los componentes del sistema.....	34
3.2.4. Diseño mecánico del prototipo.....	39
3.2.5. Análisis cinemático	41

3.2.6. Sistema de movimiento rotatorio	44
3.2.7. Análisis de reductor mecánico lineal	44
3.2.8. Diseño electrónico.....	47
3.2.8.1. Dimensionamiento de la fuente.....	49
3.2.9. Implementación del sistema de rehabilitación	49
3.2.9.1. Integración del prototipo de rehabilitación	49
3.2.10. Flujograma de procesos del dispositivo para rehabilitación de rodilla	
53	
3.2.11. Programación del sistema.....	55
3.2.12. Diseño de interfaz.....	61
3.2.13. Manual de uso del dispositivo	72
3.2.15. Pruebas de Funcionamiento en el Centro de Fisioterapia Toasa.....	80
3.2.16. Presupuesto.....	101
CAPÍTULO IV.....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
4.1. Conclusiones	104
4.2. Recomendaciones.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principios de la biomecánica que se aplican en las articulaciones	12
Tabla 2. Rangos de movimiento de rodilla	13
Tabla 3. Mecanismos de movimiento rotatorio a lineal	18
Tabla 4. Requerimientos mecánicos y electrónicos del sistema a implementar.....	31
Tabla 5. Motor reductor con especificaciones técnicas	34
Tabla 6. Tarjetas microcontroladoras	35
Tabla 7. Módulo de motor	36
Tabla 8. Pantallas LCD para Arduino	38
Tabla 9. Porcentaje de peso de las partes del miembro inferior.....	39
Tabla 10. Valores de la fuerza ejercida en cada parte de la extremidad inferior.....	41
Tabla 11. Valores de operación de los elementos.....	49
Tabla 12. Manual de uso del dispositivo	73
Tabla 13. Prueba de ergonomía al paciente 1.....	75
Tabla 14. Prueba de ergonomía al paciente 2.....	75
Tabla 15. Prueba de ergonomía al paciente 3.....	76
Tabla 16. Prueba de ergonomía al paciente 4.....	76
Tabla 17. Prueba de ergonomía al paciente 5.....	77
Tabla 18. Prueba de ergonomía al paciente 6.....	77
Tabla 19. Preguntas de las encuestas realizadas a los pacientes.....	78
Tabla 20. Respuesta de los pacientes a la encuesta realizada.....	79
Tabla 21. Proceso de seguimiento del paciente N.-1	86
Tabla 22. Proceso de seguimiento del paciente N.-2.....	90
Tabla 23. Proceso de seguimiento del paciente N.-3.....	93
Tabla 24. Proceso de seguimiento del paciente N.-4.....	97
Tabla 25. Comparación de intervención de tratamiento por parte del fisioterapeuta.	99

Tabla 26. Encuesta al fisioterapeuta.....	100
Tabla 27. Presupuesto del proyecto.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Articulación sana y articulación con artrosis	6
Figura 2. Clasificación de la artrosis de rodilla	8
Figura 3. Fisiopatología de la artrosis de rodilla	9
Figura 4. Rutinas de fortalecimiento de rodilla.....	10
Figura 5. Dispositivos de apoyo en lesiones de rodilla	11
Figura 6. Órtesis electrónicas para la rehabilitación de artrosis de rodilla	15
Figura 7. Dispositivo para el tratamiento de artrosis de rodilla	16
Figura 8. Prototipo de rehabilitación pasiva de rodilla	17
Figura 9. Tipos de sensores en dispositivos de rehabilitación	19
Figura 10. Tipos de actuadores para dispositivos de rehabilitación	20
Figura 11. Tipos de placas de desarrollo	20
Figura 12. Esquema de la tarjeta ESP8266	21
Figura 13. Protocolo MQTT	22
Figura 14. Servidor LAMP	23
Figura 15. Esquema de las capas de una interfaz gráfica	23
Figura 16. Diseño de la estructura mecánica del sistema rehabilitador de rodilla	30
Figura 17. Esquema general de la estructura mecánica y electrónica del sistema	32
Figura 18. Potenciómetro lineal y estructura del sensor angular.....	37
Figura 19. Esquema de teclado matricial.....	38
Figura 20. Diagrama de bloques de la estructura mecánica	42
Figura 21. Modelo cinemático del sistema.....	43
Figura 22. Análisis del tornillo de potencia.....	44
Figura 23. Rosca cuadrada.....	45
Figura 24. Tuerca de la rosca.....	47
Figura 25. Esquema general del diseño electrónico	48

Figura 26.	Estructura mecánica base del sistema con posapies.....	50
Figura 27.	Montaje electrónico y mecánico del sistema	51
Figura 28.	Diseño electrónico del sistema.....	52
Figura 29.	Flujograma del sistema	54
Figura 30.	Librerías para el arduino Mega	55
Figura 31.	Constantes de inicio	56
Figura 32.	void setup()	57
Figura 33.	Código del modo automático	58
Figura 34.	Código para el envío de datos serial	58
Figura 35.	Código para conectarse a la red wifi y servidor MQTT.....	59
Figura 36.	Código de inicialización del módulo ESP8266.....	59
Figura 37.	Función para recibir los datos	60
Figura 38.	Envío de datos mediante el protocolo MQTT	60
Figura 39.	Librerías necesarias para MySQL y MQTT.....	61
Figura 40.	Obtención de datos mediante MQTT.....	62
Figura 41.	Conexión con MySQL y peticiones SQL.....	62
Figura 42.	Tópicos y conexión con el bróker	63
Figura 43.	Código para importar los estilos	63
Figura 44.	Formulario de ingreso	64
Figura 45.	Página de inicio de sesión.	64
Figura 46.	Formulario de registro.....	65
Figura 47.	Formulario de registro edad y género.	66
Figura 48.	Formulario de registro estado y diagnóstico actual.....	66
Figura 49.	Página para el registro de pacientes.	67
Figura 50.	Programación del archivo conexión.php.....	68
Figura 51.	Programación del archivo controlador_login.php.....	68
Figura 52.	Programación del archivo controlador_registro.php.....	69

Figura 53.	Petición GET.....	69
Figura 54.	Función para guardar en una variable global.	70
Figura 55.	Datos mediante MQTT.	70
Figura 56.	Datos para la tabla.	71
Figura 57.	Estructura general del panel.	71
Figura 58.	Distribución de botones.....	72
Figura 59.	Análisis de resultados de la encuesta	79
Figura 60.	Ingreso de datos.....	81
Figura 61.	Ingreso de datos exitoso	81
Figura 62.	Inicio de sesión.....	82
Figura 63.	Dashboard del nuevo paciente	82
Figura 64.	Ingreso de datos para las repeticiones.....	83
Figura 65.	Ingreso de datos para las repeticiones.....	83
Figura 66.	Monitoreo del paciente.....	84
Figura 67.	Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-1	85
Figura 68.	Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-1	85
Figura 69.	Seguimiento del proceso en el paciente 1.	86
Figura 70.	Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-2.....	88
Figura 71.	Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-2.....	89
Figura 72.	Monitoreo del paciente 2.....	89
Figura 73.	Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-3	92
Figura 74.	Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-3	92
Figura 75.	Monitoreo del paciente 3.....	93
Figura 76.	Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-4	95
Figura 77.	Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-4	96
Figura 78.	Monitoreo del paciente 4.....	96
Figura 79.	Movimientos de flexión de forma manual.	101

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación detalla el desarrollo de un sistema electrónico para monitorización y rehabilitación de pacientes con artrosis de rodillas para el Centro de Fisioterapia Toasa con el fin de que pueda ser utilizado al momento de tratar a los pacientes con esta patología que acuden con frecuencia al centro.

El sistema electrónico para la rehabilitación de artrosis de rodilla cuenta con una estructura mecánica y se utilizó un tornillo sin fin para poder realizar el movimiento de flexión y extensión en los pacientes, este movimiento es accionado con un motor DC, para determinar el ángulo en el cual se encuentra, se usó un potenciómetro lineal. Todo el sistema es controlado por un Arduino Mega el mismo que cuenta con una pantalla LCD y un teclado matricial para poder visualizar y controlar el funcionamiento de la estructura. Una vez funcionando la estructura se realiza el envío de datos a un servidor local, para esto se envía la información mediante comunicación serial al microcontrolador ESP8266 y mediante el protocolo MQTT se realiza el envío a una máquina virtual en donde previamente se instaló un Servidor LAMP y aquí se procesa toda la información recibida en un archivo Python para posteriormente subirlo a una base de datos, después mediante programación en JavaScript, PHP y HTML se creó la interfaz para poder visualizar los datos de los pacientes, Por último, se realizó las pruebas en el Centro de Fisioterapia Toasa, constatando el correcto funcionamiento del prototipo según los parámetros solicitados por el centro.

Palabras clave: Monitorización, ortesis, artrosis, estructura, ángulo.

ABSTRACT

The present research project details the development of an electronic system for monitoring and rehabilitation of patients with knee osteoarthritis at the Toasa physiotherapy center, aiming to be useful in treating the diverse patients who come to the center.

The electronic knee rehabilitation system features a mechanical structure, and a worm screw was used to perform the flexion and extension movement in individuals. This movement is actuated by a DC motor, and a linear potentiometer was used to determine the angle at which the knee is positioned. The entire system is controlled by an Arduino Mega, which includes an LCD screen and a matrix keyboard for visualizing and controlling the structure's functioning. Once the structure is operational, data is sent to a local server. The information is transmitted via serial communication to the ESP8266 microcontroller, and using the MQTT protocol, it is sent to a virtual machine where a LAMP server has been previously installed. Here, all the received information is processed in a Python file and subsequently uploaded to a database. The interface to visualize the patients' data was created using JavaScript, PHP, and HTML programming. Finally, tests were conducted at the Toasa Physiotherapy Center, confirming its correct functioning according to the parameters set by the center.

Keywords: Monitoring, orthosis, osteoarthritis, structure, angle.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema de investigación

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA

1.1.1. Planteamiento del problema

La osteoartritis, también conocida como artrosis, es una enfermedad que afecta las articulaciones móviles del cuerpo y se caracteriza por la degradación de la matriz extracelular y el estrés celular. Esta degeneración es causada por micro y macro daños que activan vías proinflamatorias, incluyendo la inmunidad innata. La enfermedad se manifiesta inicialmente como una anomalía molecular, con un metabolismo anormal del tejido articular, y posteriormente se presenta como una anomalía anatómica y/o fisiológica. Esto se caracteriza por la degeneración del cartílago, remodelación ósea, formación de osteofitos, inflamación articular y pérdida de la función articular normal. Finalmente, la enfermedad causa síntomas y consecuencias negativas en la salud del paciente [1].

De acuerdo con la publicación de trastornos musculoesqueléticos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que alrededor de 1710 millones de personas en todo el mundo sufren de este tipo de enfermedades. Entre ellos, la artrosis de rodilla es uno de los tipos más prevalentes, y su incidencia varía en función de la edad y el diagnóstico. Los países de ingresos altos son los más afectados en términos de cantidad de personas afectadas, con 441 millones, seguidos de la región del Pacífico Occidental con 427 millones, y la región de Asia Sudoriental con 369 millones. Se ha observado que la artrosis afecta al 9,6% de los hombres y al 18% de las mujeres mayores de 60 años. Se espera que, en los próximos años, debido al aumento de la esperanza de vida y al envejecimiento de la población, la artrosis se convierta en la cuarta causa principal de discapacidad para el año 2024 [1].

En Ecuador, se estima que alrededor del 17% de la población sufre de artrosis de rodilla. Los síntomas clínicos de la artrosis pueden incluir dolor de tipo mecánico, rigidez, crujidos, bloqueo articular y, en ocasiones, inflamación local [2]. La incidencia de la artrosis de rodilla es alta y continúa aumentando. Este trastorno suele afectar a individuos sanos, activos e independientes, y se ha observado que aproximadamente el 50% de ellos experimentan dolor intenso y rigidez, lo que limita la movilidad de la articulación y la capacidad funcional. En algunos casos, las personas incluso pierden su independencia [3].

Según el reporte del Ministerio de Salud, en la provincia de Pichincha, aproximadamente entre el 50% y el 60% de las personas de entre 65 y 70 años presentan síntomas de artrosis de rodilla, cifra que se eleva hasta un 90% a partir de los 80 años. Los expertos han expresado su preocupación por la alta incidencia de esta enfermedad en personas jóvenes, lo cual puede deberse a diversos factores de riesgo, como movimientos repetitivos, debilidad muscular y microtraumatismos previos que afectan a la población vulnerable [5].

El Centro de Fisioterapia Toasa se encuentra situado en la parroquia Guayllabamba de la ciudad de Quito, y su área de terapia física y manual atiende a numerosos pacientes con diversas patologías, entre las que se destacan enfermedades degenerativas como la artrosis de rodillas. En promedio, cuatro pacientes con este diagnóstico acuden semanalmente para recibir terapia que alivie el dolor y las molestias ocasionadas por esta enfermedad. El centro emplea técnicas de electroestimulación y actividad física articular de bajo impacto para mitigar este padecimiento.

La artrosis de rodilla puede ser tratada de manera conservadora o mediante tratamiento quirúrgico, siendo el primer enfoque la elección de los pacientes, quienes buscan aliviar el dolor a través de fisioterapia. En la actualidad, la rehabilitación de artrosis de rodilla presenta varios inconvenientes, como los largos períodos de recuperación y las sesiones continuas de rehabilitación asistida [4].

1.2. Antecedentes Investigativos

El desarrollo del presente proyecto se basa en trabajos previos realizados en los últimos años que están estrechamente vinculados con proyecto, los cuales se detallan a continuación como punto de partida.

Villacrés Jerez Paul Fernando y Vásquez Alvares Juan Sebastián en el año 2017 en la ciudad de Latacunga, presentan su trabajo de investigación titulado, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ORTESIS AUTOMATIZADA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA, EN LOS PACIENTES DEL PATRONATO MUNICIPAL DE AMPARO SOCIAL DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, el objetivo principal de este trabajo fue desarrollar una órtesis automatizada para la rehabilitación de la articulación de la rodilla. Para ello, los autores diseñaron y construyeron una implementación mecatrónica, que consta de una parte mecánica y una de control, en la parte de control cuenta con un Mini PLC Unitronics, posee un display de 3 pulgadas en el cual se ejecutará toda la parte de programación de forma Leader. En las pruebas realizadas, se pudo comprobar que el sistema mecatrónico propuesto mejoró significativamente el proceso de rehabilitación de los pacientes de rodilla, reduciendo el tiempo de recuperación y brindando una mayor precisión y comodidad en el proceso. El diseño y construcción de una órtesis automatizada para la rehabilitación de la articulación de la rodilla puede ser una alternativa eficiente para la rehabilitación y recuperación de los pacientes [5].

Romero Sacoto Mónica Alexandra en el año 2018 en la ciudad de Cuenca, presenta su trabajo de investigación titulado, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ORTESIS DE RODILLA DESTINADA A LA REHABILITACIÓN AUTOMATIZADA DE LA EXTREMIDAD INFERIOR, se plantea diseñar y construir una órtesis de rodilla que permitiera la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior, controlando los movimientos mediante el estudio de las señales electromiografías de los músculos de la articulación tibio-femoral y femoro-rotuliana. Para ello, se utilizó la adquisición y procesamiento de señales EMG, una red neuronal, el controlador diseñado en MATLAB y la implementación del control en LABVIEW, utilizando sensores de ángulo y flexión. Las pruebas de funcionamiento del equipo se realizaron estableciendo diferentes trayectorias de movimiento utilizadas en rehabilitación, como

0-40, 0-60, 0-90 y 0-105 grados. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, demostrando la validez, confiabilidad y precisión del equipo para cumplir con los objetivos establecidos, cumpliendo con el objetivo principal de ser una herramienta útil para la rehabilitación de individuos con afectaciones en la articulación de la rodilla, al posibilitar un proceso automatizado y controlado que ayudo a potenciar la eficiencia y rapidez del proceso de recuperación de la movilidad. [6].

Chaparro Rico Marcela en el año 2018 en Querétaro, México, en su trabajo de Maestría en Tecnología Avanzada, titulado, DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA RODILLA BASADO EN UN MECANISMO PARALELO, presenta el desarrollo de un dispositivo innovador para la rehabilitación de la rodilla basado en un mecanismo de estructura paralela. El dispositivo consta de una estructura mecánica formada por un mecanismo paralelo de 5 barras, un gabinete de control que utiliza tarjetas PICSERVO SC para aplicar un control PID en la posición de los motores, y un software de control que permite el posicionamiento en modo cartesiano y articular, así como la reproducción de series de rehabilitación. Este proyecto brinda una solución tecnológica que cuenta con numerosas ventajas para mejorar los procesos de rehabilitación física, especialmente en la rodilla, una de las articulaciones más importantes para la movilidad y con alta propensión a sufrir lesiones. El proyecto demostró resultados positivos en las pruebas de funcionamiento, demostrando una gran precisión en el posicionamiento de la articulación y una capacidad para reproducir las series de repeticiones en la rehabilitación con alta fidelidad. Los pacientes que utilizaron el dispositivo mostraron una mejoría significativa en su proceso de rehabilitación, y se destacó la facilidad de uso del dispositivo y la posibilidad de personalizar las rutinas según las necesidades específicas de cada paciente. En resumen, este proyecto ofrece una alternativa tecnológica eficiente y con notables ventajas para la rehabilitación de la rodilla, mejorando significativamente los procesos de recuperación de los pacientes [7].

En el año 2018, en la ciudad de Quito, el investigador Ortega Changotasi Cosme Xavier en su trabajo de investigación titulado, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO TECNOLÓGICO PARA LA REHABILITACIÓN ACTIVA Y PASIVA DE RODILLA, desarrolla un prototipo biomecatrónico destinado a la terapia de rehabilitación de la rodilla, el cual se basa en la aplicación de conceptos de

diferentes áreas de ingeniería mecatrónica e ingeniería biomédica. El dispositivo permite a los usuarios interactuar con una máquina y aplicar una terapia física, con seguimiento y mejora de los prototipos aplicados. El prototipo utiliza un movimiento continuo pasivo (CPM) y un movimiento activo en extensión de la rodilla para ayudar en la terapia de rehabilitación del miembro inferior. La aplicación de este dispositivo permite prevenir los efectos negativos de una inmovilización prolongada, así como también el restablecimiento temprano de los movimientos de las articulaciones. Los protocolos de terapia de rehabilitación de rodilla utilizados con este dispositivo han sido validados por especialistas en el tema de rehabilitación, lo que demuestra la eficiencia del dispositivo tecnológico. El prototipo desarrollado fue validado mediante pruebas experimentales en pacientes que sufrieron lesiones en la rodilla, demostrando su eficiencia en la recuperación de la movilidad y la función articular. Además, el dispositivo tecnológico ofrece una alternativa de bajo costo en comparación con otros dispositivos comerciales similares en el mercado, lo que lo hace accesible a una mayor cantidad de pacientes [8].

Rea Yáñez Mercy Dalila en el año 2019 en la ciudad de Riobamba, presenta su trabajo titulado, **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT PARA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON LESIONES EN RODILLAS CONTROLADO MEDIANTE DISPOSITIVOS MÓVILES**, propone un prototipo electrónico de robot para la rehabilitación de pacientes que sufren lesiones en la rodilla. El sistema consta de tres etapas: la primera implica la estructura mecánica del robot, la segunda el diseño del controlador mediante tarjetas de programación y la tercera se divide en dos modos de operación, manual e inalámbrico, este último a través de una aplicación móvil que almacena los datos y rutinas de rehabilitación del paciente. Los resultados de las pruebas indican que el prototipo puede ser controlado mediante un dispositivo móvil hasta una distancia de 7,5 metros. El ángulo de error en la operación es de 2° y de acuerdo con expertos, no afecta el proceso de rehabilitación, lo que lo hace fiable para la terapia. El prototipo cuenta con dos modos de operación: el modo manual, que permite al terapeuta controlar el robot directamente, y el modo inalámbrico, que utiliza una aplicación móvil para controlar el robot de manera remota. La aplicación móvil almacena los datos del paciente, incluyendo la rutina de rehabilitación personalizada, lo que permite un seguimiento más preciso del progreso

del paciente. Los resultados de las pruebas indican que el prototipo puede ser controlado de manera precisa y fiable mediante un dispositivo móvil hasta una distancia de 7,5 metros con un ángulo mínimo de error, lo que permitió obtener una mayor precisión en los movimientos y series de repetición. [9].

1.3. Fundamentación Teórica

1.3.1. Artrosis de rodilla

La artrosis de rodilla, también conocida como osteoartritis, es una enfermedad degenerativa que afecta el cartílago que recubre la superficie de los huesos de la rodilla, el cual se encarga de amortiguar los movimientos. El desgaste del cartílago provoca que los huesos rocen entre sí, lo que afecta la movilidad de la articulación y causa dolor, inflamación y rigidez en el área afectada. Esta enfermedad suele presentarse con mayor frecuencia en personas mayores de 60 años, así como en personas jóvenes que hayan sufrido lesiones en la rodilla, tengan sobrepeso o practiquen deportes que generen desgaste físico. Para recuperar la movilidad perdida debido a esta enfermedad, se pueden aplicar tratamientos como fisioterapia, medicamentos o, en casos extremos, cirugía para reemplazar o reparar la articulación., en la figura 1 se observa la comparación entre una rodilla normal y una que presenta artrosis [10].



Figura 1. Articulación sana y articulación con artrosis [10].

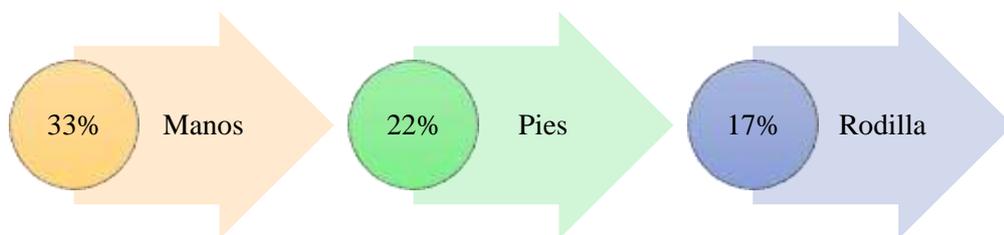
1.3.2. Epidemiología de la artrosis de rodilla

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la artrosis es una patología crónica que afecta a una proporción significativa de la población mundial, con una incidencia más frecuente en personas de edad mediana y en el género femenino. La etiología de esta afección es multifactorial, incluyendo la obesidad como un factor de riesgo relevante, ya que puede incrementar la carga sobre las articulaciones de las rodillas y contribuir al desarrollo de la enfermedad. Otras variables que también se asocian con la artrosis de rodilla son el trabajo físico extenuante y la postura inadecuada durante largos periodos de tiempo.

En lo que respecta a la epidemiología de la artrosis de rodilla, se ha estimado que su incidencia se sitúa en torno al 1% en la población mundial. El tratamiento de esta patología puede involucrar distintas modalidades terapéuticas, tales como fisioterapia, analgésicos, suplementos nutricionales y cirugía, según la gravedad de la enfermedad y las necesidades específicas del paciente. El objetivo de estas intervenciones es aliviar los síntomas, mejorar la funcionalidad articular y prevenir el deterioro progresivo del cartílago afectado, a continuación, se representa el porcentaje epidemiológico de la artrosis afectado en diferentes partes del cuerpo.

Epidemiología

- Primera causa de incapacidad en ancianos
- 1/3 de los adultos entre 25 y 60 años tiene artrosis
- Prevalencia en Ecuador de 17% padece de artrosis de rodillas y en la provincia de Pichincha el 50% de personas entre 65 a 70 años padecen artrosis de rodillas [11].



1.3.3. Clasificación de la artrosis de rodilla

La clasificación de la artrosis que afecta a la rodilla depende del criterio utilizado para evaluarla, y varía según la etapa de la enfermedad en la que se encuentre. Para ilustrar esta clasificación, se puede observar en la figura 2 un esquema que muestra las diferentes categorías de la artrosis de rodilla [12].

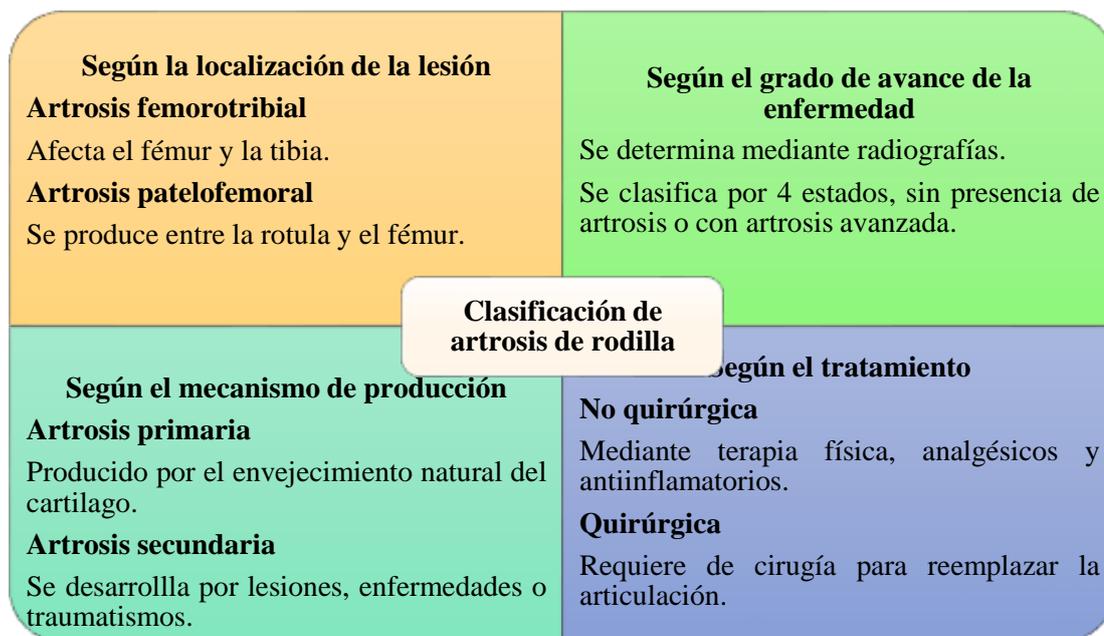


Figura 2. Clasificación de la artrosis de rodilla [12].

1.3.4. Fisiopatología de la artrosis de rodilla

La fisiopatología de la artrosis de rodilla analiza los cambios que se producen gradualmente en la estructura y función de la articulación afectada con el paso del tiempo [13]. A continuación, se detallan las principales características que presenta la fisiopatología de la artrosis de rodilla en la figura 3:



Figura 3. Fisiopatología de la artrosis de rodilla [13].

1.3.5. Tratamientos para la artrosis de rodilla

Los tratamientos para la artrosis de rodilla son diversos los cuales se enfocan en mejorar, reestablecer y recuperar la articulación afectada, a continuación, se describen algunos de los tratamientos más comunes:

Fisioterapia

La fisioterapia es un tratamiento no invasivo que puede mejorar la movilidad y la función de la articulación afectada mediante la realización de series específicas, masajes y rutinas adaptadas a las necesidades de cada persona. Estas actividades pueden ser asistidas por un fisioterapeuta o realizadas con el uso de dispositivos que estimulen y fortalezcan la articulación. La fisioterapia es un método efectivo para restaurar la articulación de manera segura y sin la necesidad de intervenciones invasivas, en la figura 4 se observan algunas rutinas para fortalecer la rodilla [14].

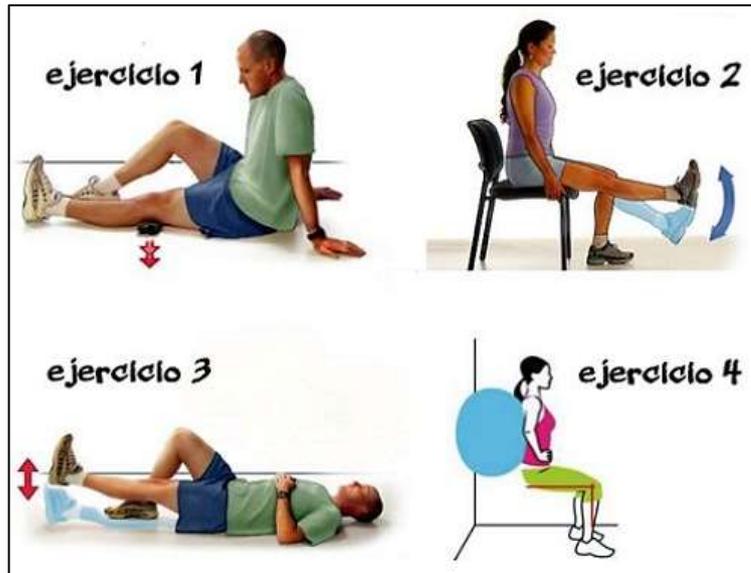


Figura 4. Rutinas de fortalecimiento de rodilla [14].

Medicamentos

Los medicamentos son fundamentales para aliviar el dolor causado por la lesión de la artrosis de rodilla, y también pueden ayudar a reducir la inflamación. Entre los medicamentos que se pueden utilizar para tratar la artrosis de rodilla se encuentran las cremas desinflamatorias y exfoliantes, los geles y los medicamentos tópicos [15].

Inyecciones interarticulares

Las inyecciones tienen la responsabilidad de eliminar el exceso de líquido sinovial que se acumula en la rodilla y provoca inflamación intensa. Entre estas inyecciones se encuentran las de corticosteroides, que ayudan a reducir la inflamación, y otras como el ácido hialurónico, que lubrican la articulación y disminuyen el dolor [16].

Dispositivos de apoyo

Los dispositivos de soporte ofrecen fuerza, movilidad, agilidad y sostenibilidad, lo que ayuda al paciente a moverse con mayor facilidad, reducir la presión sobre la articulación y mejorar la estabilidad durante el movimiento, en la figura 5 se observan algunos dispositivos de apoyo para la rodilla [17].



Figura 5. Dispositivos de apoyo en lesiones de rodilla [17].

Cirugía

Cuando la articulación está gravemente afectada, desgastada y dañada debido a la falta de tratamiento oportuno, en casos avanzados se puede recomendar la realización de procedimientos quirúrgicos. Algunas de las cirugías más comunes para la artrosis de rodilla son la artroscopia, la osteotomía y la artroplastia parcial o total de rodilla [18].

1.3.6. Principios de biomecánica

La biomecánica es un campo de estudio que aplica los principios de la mecánica a los seres vivos. A través de la combinación de diferentes ciencias como la matemática, química, física, anatomía y la ingeniería, se busca entender cómo interactúan los sistemas biológicos y sus estructuras como huesos, cartílagos, tendones y ligamentos en la acción del movimiento. La biomecánica se utiliza en diversos campos, incluyendo el deporte, la medicina, la industria, la fisioterapia y el diseño de sistemas médicos. Uno de los principales objetivos de la biomecánica es comprender las lesiones y enfermedades que afectan al movimiento, para diseñar terapias y dispositivos que satisfagan las necesidades de los pacientes [19]. En el estudio de las articulaciones del cuerpo, se aplican los principios de la biomecánica para analizar cómo estas estructuras funcionan en conjunto descritas en la tabla1.

Tabla 1. Principios de la biomecánica que se aplican en las articulaciones [20].

Principios	Definición
Ley de Hooke	La relación entre la fuerza necesaria para estirar o comprimir un objeto y la distancia de estiramiento o compresión es proporcional. Aplicado a las articulaciones, esto significa que la cantidad de movimiento realizada por la articulación se refleja en la acción de estirar o comprimir el tejido articular. En otras palabras, la fuerza necesaria para estirar o comprimir un tejido articular depende de la cantidad de movimiento que se produce en la articulación.
Ley de la Palanca	Esta ley permite la transmisión de fuerzas desde un punto a otro a lo largo de la longitud de la palanca. Aplicado a las articulaciones, esto significa que la fuerza que se aplica a través de un músculo conectado a una articulación se transmite a lo largo de la longitud de esta para lograr el movimiento deseado.
Momento de fuerza	La ley establece que para producir un momento de fuerza es necesario aplicar una fuerza en una distancia específica desde un punto determinado. Si aplicamos esto a las articulaciones, se puede decir que la fuerza aplicada por un músculo en una posición específica genera un momento de fuerza en la articulación para efectuar un movimiento.
Centros de rotación	Se ha establecido que las articulaciones tienen centros de rotación que permiten que se produzca un desplazamiento de movimiento. Los centros de rotación que se encuentran en las articulaciones permiten que se produzca el movimiento, y su ubicación y dirección tienen un efecto directo en cómo se mueve la articulación.
Ley de la conservación del momento angular	Establece que el momento angular de un objeto se mantendrá constante hasta que actúe una fuerza externa sobre él. Aplicado a las articulaciones, esto significa que una articulación seguirá moviéndose con la misma cantidad de momento rotacional a menos que se aplique una fuerza externa que cambie su dirección o velocidad.

Rangos de movimiento biomecánico aplicado a la artrosis de rodilla

Cuando una persona sufre de artrosis en la rodilla, se afecta directamente la articulación, lo que produce rigidez y limita los rangos de movimiento. Debido al dolor y la incomodidad, la persona puede permanecer inmóvil, lo que ocasiona la pérdida de cartílago articular, inflamación y pérdida de masa muscular.

Para recuperar la movilidad, la terapia física es uno de los mejores métodos, en el cual se puede evidenciar dos tipos de movimientos: flexión y extensión, que se consideran rutinas de estiramiento, se pueden adaptar a diferentes etapas y estados de la articulación y, en algunos casos, pueden requerir dispositivos de asistencia para apoyar al paciente en la recuperación del rango de movimiento perdido [21]. En la tabla 2 se muestran los movimientos adecuados y los rangos de movimiento ideales para tratar la artrosis de rodilla.

Tabla 2. Rangos de movimiento de rodilla [21].

RANGOS DE MOVIMIENTO				
	MOVIMIENTO	PLANO	GRADOS DE MOVIMIENTO	MÚSCULOS MOTORES PRINCIPALES
RODILLA	FLEXIÓN	SAGITAL	0-135°	Poplíteos (bíceps crural, isquiotibiales)
	EXTENSIÓN	SAGITAL	135-0°	Cuádriceps

1.3.7. Cinética de los huesos y articulaciones de la rodilla

La cinética se refiere al análisis del movimiento de los huesos y las articulaciones en la rodilla, y cómo la artrosis puede afectar estos movimientos. En este contexto, el dispositivo electrónico puede ser utilizado para medir y monitorear la cinética de la rodilla, incluyendo la velocidad, posición y aceleración de los movimientos realizados por el paciente. Estos datos pueden ser evaluados para determinar la eficiencia de los tratamientos de rehabilitación y ajustar el plan de tratamiento según las necesidades individuales del paciente.

La comprensión de la cinética también es fundamental para identificar qué series de repetición y terapias son más efectivos para tratar la artrosis de rodilla. Al estudiar la cinética, los fisioterapeutas pueden diseñar un plan de tratamiento personalizado que se adapte a las necesidades específicas del paciente y que tenga como objetivo obtener mejores resultados en la rehabilitación. La cinética es una herramienta valiosa para el monitoreo y la rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla, y puede ayudar a mejorar los resultados de la terapia, a continuación, se describe los diferentes tipos de cinética presentes en la rodilla de acuerdo a la dirección del movimiento y la carga aplicada en la articulación [22].

1.3.8. Órtesis electrónicas para la rehabilitación de la artrosis de rodilla

Definición

Las órtesis electrónicas son dispositivos que contienen componentes electrónicos, como sensores, controladores y actuadores, que ayudan a mejorar las funciones de movimiento de la rodilla. Estos dispositivos pueden proporcionar diferentes tipos de estímulos, como sonidos, vibraciones, compresión y calor, y se han demostrado métodos eficientes para mejorar significativamente las funciones de la rodilla en pacientes que padecen enfermedades degenerativas como la artrosis. Las órtesis electrónicas son consideradas un método eficiente y efectivo en el campo de la rehabilitación, que brindan mejorar la calidad de vida de los pacientes que las utilizan [23]. A continuación, se describen algunos de ellos en el esquema de la figura 6.



Figura 6. Órtesis electrónicas para la rehabilitación de artrosis de rodilla [23].

Beneficios y limitaciones de las órtesis electrónicas para la rehabilitación de la artrosis de rodilla

La artrosis de rodilla es una condición frecuente que limita la movilidad de la articulación de la rodilla. Las órtesis electrónicas son una opción de tratamiento de rehabilitación que puede ser utilizada para ayudar a mejorar esta condición [24]. Sin embargo, su uso conlleva beneficios y limitaciones que se explican a continuación:

Beneficios	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del dolor.-Las órtesis electrónicas aplican estimulación eléctrica transcutánea(TENS) para aliviar el dolor. • Mejorar la movilidad .- Aplican estimulación eléctrica funcional (FES) para controlar el movimiento de la rodilla. • Fortalecimiento muscular.- Ayudan a fortalecer los músculos de la rodilla por la aplicación FES aplicado a los músculos debilitados por cuasa de la artrosis de rodilla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo.- Pueden llegar a ser costosas y no estar cubiertas por el seguro médico. • Necesidad de calibración.- La órtesis requiere de calibración por parte de el especialista médico para asegurar la estimulación adecuada a los músculos y nervios. • Efectos secundarios.- Algunos pacientes pueden sufrir efectos secundarios al estar expuestos a la estimulación eléctrica, como piel irritada, sensación de hormigueo en la piel, etc.

Dispositivo de rehabilitación para la artrosis de rodilla

En Ecuador, la tecnología estructural especializada en el tratamiento de la artrosis de rodilla es limitada, a pesar de la existencia de varios dispositivos electrónicos y mecánicos que se enfocan en esta afección. Debido a esta situación, se ha llevado a cabo una investigación para estudiar los equipos especializados en rehabilitación de rodilla y fundamentar el proyecto en base a dicha investigación.

Los autores Sumet Umchid y Phongsuk Taraphongphan llevaron a cabo una investigación para desarrollar un dispositivo de movimiento continuo y pasivo para la rehabilitación de la rodilla. Fabricaron un prototipo que ayuda tanto al paciente como al médico especialista en las rutinas de fisioterapia, utilizando una estructura mecánica y electrónica que se adapta a las necesidades de los pacientes. El dispositivo tiene etapas manuales y automáticas de forma progresiva, lo que permite al paciente realizar movimientos de flexión y extensión en un rango de 0 a 120° grados con precisión en los ángulos requeridos. La estructura resultó ser óptima tanto en términos de comodidad para el paciente como para la recuperación de la extremidad afectada, con un margen de error del 1%. El dispositivo fue evaluado por médicos especialistas en la rehabilitación de la rodilla y aprobado como un dispositivo que brinda muchos beneficios y mejora significativamente la recuperación del paciente [25]. En la figura 7 se observa el dispositivo y su estructura diseñada.



Figura 7. Dispositivo para el tratamiento de artrosis de rodilla [25].

Se diseñó otro dispositivo con una estructura diferente que era capaz de tratar la artrosis de rodilla de manera efectiva. Este dispositivo se conoce como un dispositivo de rehabilitación pasiva, creado por Fernando Urgilés, quien lo adaptó para cumplir con las necesidades del paciente, brindándole la posibilidad de realizar movimientos de flexión y extensión con un grado de libertad y un rango de movimiento de 15° a 120° como se puede ver en la figura 8 del prototipo en cuestión [26]. Estos dispositivos proporcionan una base clara para la construcción del prototipo ideal del proyecto de investigación.



Figura 8. Prototipo de rehabilitación pasiva de rodilla [26].

1.3.9. Fundamentos para el diseño mecánico

Es esencial tener conocimientos en matemáticas, física, mecánica y procesos de fabricación para crear un diseño mecánico ideal, lo que permitirá un profundo análisis de los principios del diseño mecánico. Además, es importante tener conocimientos en áreas como la resistencia de materiales, dinámica, cinemática, entre otros, así como la habilidad para utilizar software y hardware para crear modelos de diseño. Es fundamental trabajar en colaboración con especialistas en la materia para lograr un diseño mecánico exitoso y viable [27]. Los fundamentos que abarca el área de diseño mecánico incluyen:

- **Estática.** - Estudia el comportamiento de los cuerpos en estado de reposo.
- **Dinámica.** - Se enfoca en el comportamiento de los cuerpos en movimiento.
- **Cinemática.** - Estudia el movimiento de los cuerpos en relación con las fuerzas que los producen, analizando la posición, velocidad, aceleración y trayectoria de los cuerpos.

- **Cinética.** - Analiza la relación entre el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que causan la aceleración y velocidad de este.

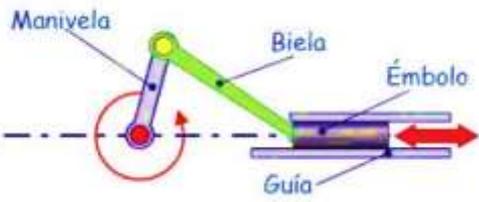
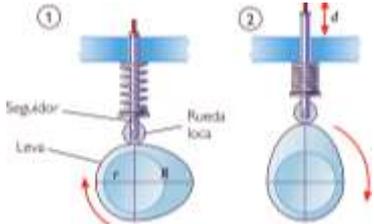
1.3.10. Sistema de movimiento

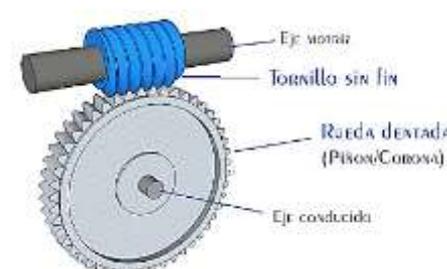
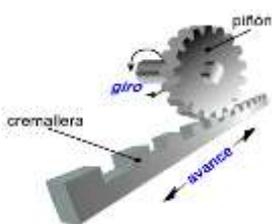
Un sistema de movimiento se define como un grupo de componentes mecánicos que operan en conjunto para generar o transferir movimiento a otras partes de un dispositivo o máquina, en diversas formas o modalidades según las necesidades específicas de la aplicación. Hay varios tipos de mecanismos de movimiento, y en este proyecto de investigación se aplica el mecanismo de movimiento rotatorio a lineal [28].

1.3.11. Mecanismos de movimiento rotatorio a lineal

Se refiere a un conjunto de elementos mecánicos que se utilizan para transformar el movimiento rotatorio en movimiento lineal o rectilíneo, con el fin de brindar funciones específicas a máquinas o dispositivos [29]. Existen diversos tipos de sistemas de movimiento rotatorio a lineal, pero para el desarrollo del proyecto se consideran los más relevantes, que se describen en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Mecanismos de movimiento rotatorio a lineal [29].

Mecanismo	Descripción
<p data-bbox="550 1350 746 1384">Biela-Manivela</p> 	<p data-bbox="954 1350 1348 1585">Convierte el movimiento rotatorio a lineal, conectando la manivela con la biela, luego a un pistón que se mueva en línea recta.</p>
<p data-bbox="550 1628 746 1662">Leva-Seguidor</p> 	<p data-bbox="954 1628 1348 1863">Trasforma el movimiento rotario en lineal y viceversa, funciona girando la leva en su propio eje empujando al seguidor en línea recta.</p>

<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin</p> 	<p>El mecanismo consiste en direccionar una tuerca a través de un tornillo el cual gira para que la tuerca se mueva en línea recta.</p>
<p style="text-align: center;">Cremallera y piñón</p> 	<p>El mecanismo se compone de dos partes principales: una cremallera que se desplaza en línea recta y un piñón conectado a un motor que gira para mover la cremallera.</p>

1.3.12. Sensores

Los sensores son una parte indispensable en los dispositivos de rehabilitación, ya que permiten monitorear parámetros importantes como el movimiento, la fuerza, la velocidad y el tiempo [30]. A continuación, en la figura 9 se detallan algunos ejemplos de sensores utilizados para este fin.

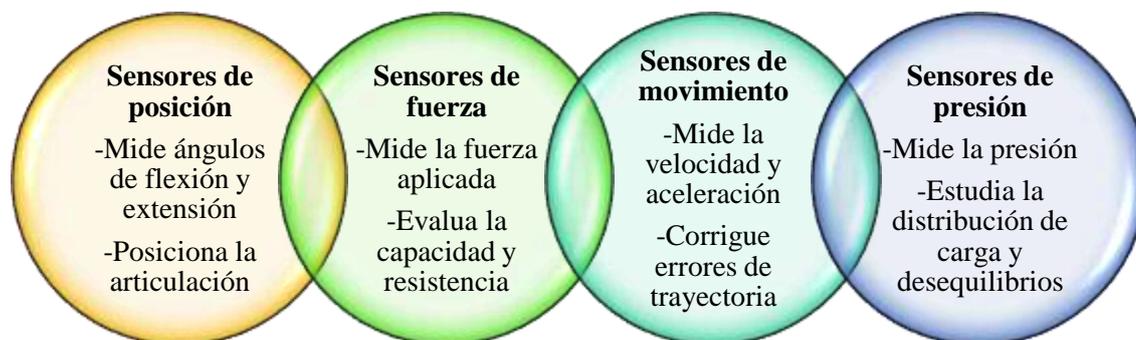


Figura 9. Tipos de sensores en dispositivos de rehabilitación [30].

1.3.13. Actuadores

Los actuadores son componentes que posibilitan generar el movimiento y proporcionar la fuerza necesaria y controlada a una máquina o sistema, de acuerdo con las necesidades específicas que se requieren. Dentro del alcance del proyecto, se describen

en el esquema de la figura 10 algunos de los actuadores más comúnmente utilizados [31].

Actuadores piezo eléctricos	Actuadores Electromagnéticos	Motores eléctricos	Actuadores hidráulicos
<ul style="list-style-type: none"> •Se basan en el efecto piezo eléctrico •Generan movimientos precisos y controlados 	<ul style="list-style-type: none"> •Se basan en la fuerza magnética •Generan fuerza y movimiento en el dispositivo 	<ul style="list-style-type: none"> •Generan movimiento •Se controlan por un circuito electrónico 	<ul style="list-style-type: none"> •Funcionan por presión de líquidos •Generan grandes fuerzas de movimiento

Figura 10. Tipos de actuadores para dispositivos de rehabilitación [31].

1.3.14. Placas de desarrollo

Las placas de desarrollo son creadas con el fin de proporcionar múltiples funcionalidades que simplifiquen el proceso de desarrollo de proyectos electrónicos. Estas placas incluyen una serie de componentes, como microcontroladores, sensores, actuadores, puertos y conectores, entre otros [32]. En la figura 11 se muestran algunas de las placas de desarrollo más utilizadas en la actualidad.

<ul style="list-style-type: none"> •Plataforma de hardware libre y código abierto •Se compone de E/S y un entorno IDE <p>Arduino</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •Bajos costo y tamaño •Funciona como un ordenador de placa única SBC <p>Raspberry</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •Bajo costo y gran capacidad de E/S digitales y analógicas •Conectividad Ethernet,USB y HDMI <p>BeagleBone</p> 
<ul style="list-style-type: none"> •Basada en el microcontrolador ESP32 •Útil para proyectos IoT •Conectividad Wi-Fi y Bluetooth <p>ESP32</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •Microcontrolador de 32 bits •Se utilizan en sistemas embebidos complejos <p>STM32</p> 	

Figura 11. Tipos de placas de desarrollo [32].

1.3.15. Transmisión de datos

El proceso mediante el cual un dispositivo se comunica con otro dispositivo a través de un medio de transmisión para compartir datos e instrucciones y, posteriormente, interpretarlos y actuar en consecuencia dentro del sistema se conoce como transmisión de datos. Para el proyecto en cuestión, se han evaluado dos elementos importantes para esta tarea:

La tarjeta ESP8266.- Cuenta con un microcontrolador y conectividad WiFi, es una excelente opción para proyectos de IoT, ya que se adapta a diferentes lenguajes de programación, incluyendo Arduino, y se integra con diversos elementos de control, como actuadores y sensores [33]. El esquema se muestra en la figura 12.

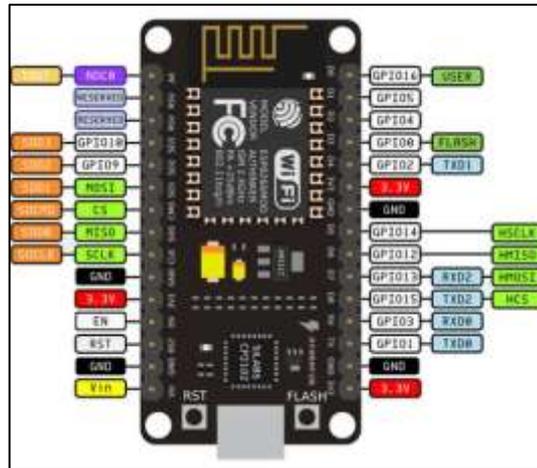


Figura 12. Esquema de la tarjeta ESP8266 [33].

El protocolo MQTT. - (Message Queuing Telemetry Transport) es fundamental para la comunicación de mensajes de IoT, ya que se basa en TCP/IP y permite a los dispositivos enviar y recibir mensajes a través de un bróker. Además, este protocolo facilita la gestión de dispositivos y garantiza la seguridad en la transmisión de datos mediante el uso de encriptación, la figura 13 muestra el protocolo MQTT [34].

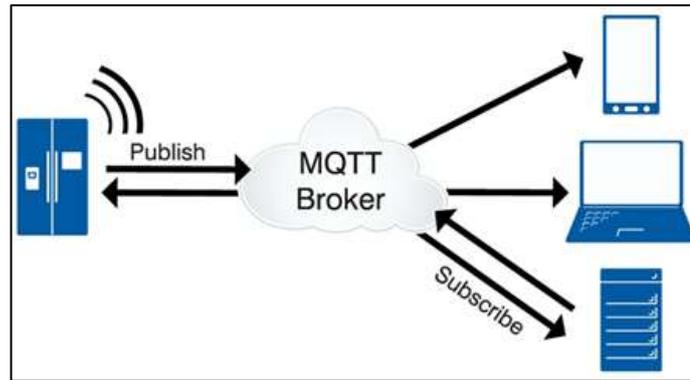


Figura 13. Protocolo MQTT [34].

Servidor

Se refiere a un software diseñado para ofrecer servicios a otros dispositivos o programas con el fin de ayudarles a desempeñar sus funciones. Este tipo de software está estrechamente relacionado con la tecnología web y su función principal es alojar contenido, como páginas web, aplicaciones y otros recursos, en la red para que estén disponibles a través de internet [35].

Servidor LAMP

Se trata de un servidor web de gran capacidad de almacenamiento de datos que utiliza software libre y de código abierto para crear y alojar aplicaciones web. Este servidor se basa en sistemas operativos como Linux, servidores web como Apache, sistemas de gestión de bases de datos como MySQL y lenguajes de programación como PHP. Su alta flexibilidad y capacidad lo hacen compatible con una amplia variedad de aplicaciones y frameworks, lo que permite su modificación y personalización según las necesidades específicas del proyecto. Como resultado, este servidor es una solución completa y versátil que ofrece beneficios significativos en el desarrollo y alojamiento de aplicaciones web, la figura 14 muestra el servidor LAMP [35].



Figura 14. Servidor LAMP [35].

1.3.16. Interfaz gráfica

Se refiere a una plataforma gráfica que permite a los usuarios interactuar con ella a través de elementos visuales, como iconos, botones, menús y ventanas, para intercambiar información o realizar tareas de manera eficiente y comprensible. Esta plataforma se puede utilizar en una amplia variedad de dispositivos tecnológicos, ya sean con conexión por cable o inalámbrica, y cuenta con elementos y herramientas para mejorar la experiencia visual e interactiva. Además, estas plataformas pueden ser personalizadas y adaptadas según las necesidades específicas del usuario [36]. En la figura 15 se representa el esquema de una interfaz gráfica.

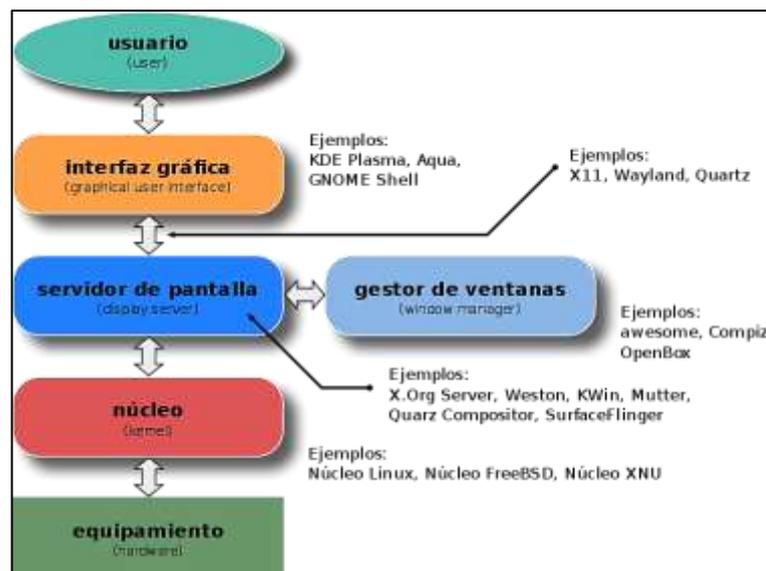


Figura 15. Esquema de las capas de una interfaz gráfica [36].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar un sistema electrónico para monitorización y rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla del Centro de Fisioterapia Toasa.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar los factores que provocan la artrosis de rodillas y el proceso de rehabilitación de artrosis de rodilla.
- Establecer los requerimientos de hardware y software que se utilizarán para el monitoreo y rehabilitación de los pacientes con artrosis de rodilla.
- Desarrollar el sistema electrónico para el monitoreo y rehabilitación de los pacientes con artrosis de rodilla que se atienden en el Centro de Fisioterapia Toasa.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para llevar a cabo el proyecto, se emplearon varios dispositivos en el ensamble electrónico y mecánico. En cuanto a la parte mecánica, se utilizó una base estructural para el posicionamiento de la extremidad inferior, junto con barras de apoyo, tornillo de potencia, cajas de reducción y chumaceras. En cuanto a la parte electrónica, se empleó un microcontrolador para el procesamiento de la información, un teclado matricial para la entrada de datos y una pantalla para la visualización. También se utilizó un motor reductor para el movimiento del sistema.

La programación se encargó de controlar las diversas acciones del prototipo, donde el motor de corriente continua (DC) fue el principal actuador para el movimiento de la rodilla, ajustándose según las necesidades del paciente. Este motor fue controlado mediante un puente H, el cual a su vez estuvo conectado al microcontrolador. Además, se empleó un potenciómetro lineal para generar la señal que determina el ángulo de inclinación. Fue fundamental utilizar una tarjeta WiFi para cargar los datos a una plataforma utilizando el protocolo MQTT.

En cuanto a la interfaz, se desarrolló para visualizar varios parámetros de operación del sistema y los datos del paciente, para esto se utilizó MySQL como gestor de base de datos para su almacenamiento, lo que permitió acceder y manipular la información de manera eficiente. Además, se empleó NodeRed para la visualización de los datos, proporcionando una interfaz intuitiva e interactiva para el usuario. De esta manera, se logró una presentación clara y concisa de los datos recopilados, lo que facilitó su análisis y comprensión por parte del personal de fisioterapia.

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de investigación

En el presente proyecto se utilizó la metodología de investigación aplicada ya que se enfocó en los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria y en temas relacionados con dispositivos tecnológicos para la rehabilitación activa de rodilla y sistemas electrónicos monitoreados con estudios más recientes de tesis, artículos científicos, revistas, libros, publicaciones en internet, para conocer y explorar temas que puedan favorecer al proyecto.

Investigación de campo, ya que el desarrollo del proyecto implicó la participación de pacientes para estudiar los diversos parámetros que involucran el análisis biomecánico y ergonomía del prototipo. De esta manera, se pudo determinar el rendimiento en la movilidad de la extremidad inferior del paciente.

La investigación experimental se llevó a cabo, ya que el proyecto dependió de una serie de pruebas tomando en cuenta características como la edad, altura, y el peso; midiendo longitudes de la extremidad inferior y realizando movimientos de flexión y extensión, observando la adaptación del prototipo a la pierna del sujeto de prueba (paciente).

2.2.2. Recolección de información

Para recopilar la información necesaria, se emplearon técnicas de revisión bibliográfica que incluyeron el análisis de libros, revistas, artículos científicos, tesis, manuales de diseño y construcción de prototipos, proyectos previos y fuentes bibliográficas confiables. Además, se llevó a cabo la recopilación de información y diagnósticos mediante grupos de enfoque específicamente dirigidos a profesionales de fisioterapia con conocimientos y experiencia en el tratamiento de la artrosis de rodilla. Esto permitió tener en consideración datos de incidencia y prevalencia para facilitar el desarrollo del proyecto.

2.2.3. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos llevo a cabo los siguientes ítems:

- Recopilación de investigaciones previas que más se asemejen al proyecto propuesto para tener una mejor comprensión del campo de estudio.
- Análisis de los diferentes factores que provocan la artrosis de rodilla.
- Estudio de las posibles propuestas de solución para la rehabilitación de pacientes con artrosis de rodillas.
- Selección de dispositivos y materiales implementados en el sistema electrónico para su adecuado funcionamiento.
- Control y verificación de los datos obtenidos mediante el testeado del dispositivo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

El enfoque del desarrollo se centra en el diseño de un sistema electrónico destinado a la monitorización y rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla en el Centro de Fisioterapia Toasa. El dispositivo propuesto se dirige específicamente al tratamiento de esta enfermedad, la cual afecta la articulación de la rodilla. Dicha articulación desempeña un papel fundamental en actividades cotidianas como caminar, correr, trotar y cargar peso, y está expuesta a lesiones traumáticas que requieren un tratamiento efectivo y oportuno. El dispositivo ha sido diseñado de manera eficiente para satisfacer las necesidades tanto del paciente como del fisioterapeuta, permitiendo la realización de terapias adecuadas para mejorar la condición del paciente. El dispositivo facilita el monitoreo de los movimientos de flexión y extensión, adecuados para tratar la articulación afectada, y controlar parámetros como la velocidad y el tiempo de las rutinas, registrando datos del paciente en cada sesión. Además, el dispositivo cumplió con los protocolos de rehabilitación recomendados por médicos especialistas y demostró ser funcional en su objetivo de facilitar la recuperación de los pacientes con artrosis de rodilla. Esto se tradujo en una reducción del tiempo necesario para la rehabilitación y una mejora en la calidad de vida de los pacientes, permitiéndoles retomar sus actividades cotidianas de manera más rápida y efectiva. Además, el dispositivo fue de apoyo como una herramienta útil para el especialista en el proceso de rehabilitación, dado que minimiza el desgaste físico y previene el esfuerzo excesivo, aspectos comunes durante la rehabilitación asistida por el fisioterapeuta, esto, a su vez, incrementa la capacidad requerida para transmitir el movimiento de forma apropiada y controlada.

3.2.Desarrollo de la propuesta

En la actualidad, hay diversos métodos y dispositivos disponibles que ayudan a tratar enfermedades de la rodilla. Sin embargo, muchos de estos no son accesibles para los pacientes debido a su alto costo, falta de disponibilidad en el mercado, o la falta de conocimientos en el desarrollo tecnológico. Por este motivo, el proyecto propuesto se enfoca en un método alternativo que beneficie tanto al paciente como al fisioterapeuta durante el proceso de rehabilitación.

La implementación de este sistema se centra en utilizar recursos accesibles esto significa que se ha buscado utilizar componentes y herramientas que sean ampliamente disponibles, de forma que el sistema pueda ser implementado de manera efectiva y económica. El sistema ha sido diseñado considerando la movilidad y portabilidad. Esto implica que el sistema puede ser fácilmente transportado y utilizado en diferentes entornos o lugares. Además, el diseño óptimo significa que el sistema ha sido optimizado en términos de eficiencia, funcionalidad y facilidad de uso, brindando una experiencia satisfactoria para los usuarios. Se busca controlar el rango de movimientos adecuados dentro del límite establecido por el médico especialista, así como la velocidad, fuerza y número de ciclos necesarios para tratar este tipo de procesos, de esta manera, se logra diseñar un prototipo funcional y alcanzable que promueve una interacción adecuada entre el paciente y el prototipo.

La figura 16 muestra el diseño de la estructura general de la propuesta en desarrollo, así como la señalización de las partes que lo componen. Este enfoque innovador permite reducir el tiempo y esfuerzo excesivo presentes en el proceso de rehabilitación, promoviendo una recuperación efectiva de la enfermedad de la rodilla.

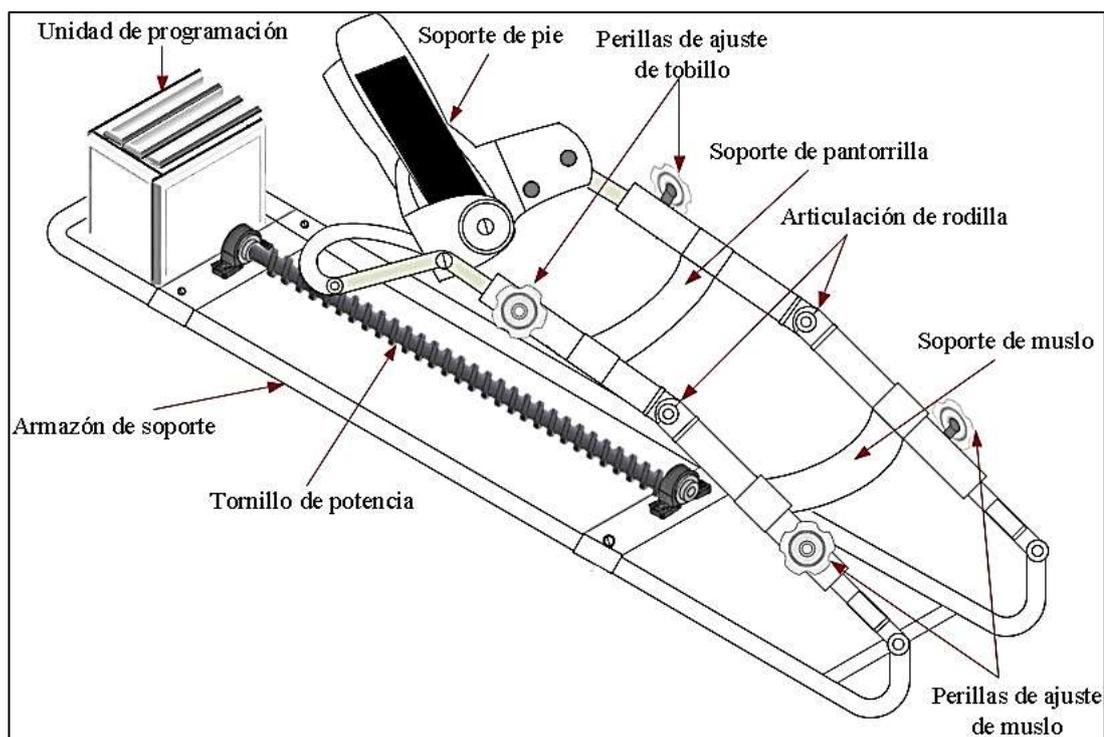


Figura 16. Diseño de la estructura mecánica del sistema rehabilitador de rodilla

Elaborado por: La Investigadora

La estructura metálica del soporte está formada por un conjunto de barras paralelas que sostienen el peso de la pierna del paciente. Además, posee dos barras ajustables con perillas para brindar comodidad en el soporte del muslo, las cuales se unen mediante pernos que permiten la articulación de la rodilla y la conexión con el soporte del tobillo y la pantorrilla. Este último también cuenta con perillas de ajuste personalizado. El soporte de pantorrilla está unido a un posapié diseñado para adaptarse a todo tipo de pies. Las barras se unen para acoplarse a la estructura base a través de una tuerca unida al tornillo de potencia, que proporciona robustez y firmeza para el movimiento de flexo extensión de la pierna del paciente. El tornillo de potencia se acopla a la unidad de programación, que incluye la parte electrónica para el monitoreo y el control del dispositivo.

3.2.1. Requerimiento del sistema de rehabilitación de rodilla

Para integrar las partes mecánicas y electrónicas específicas del sistema, es necesario considerar varios requisitos para mejorar su funcionamiento, tanto en términos estructurales como geométricos, así como seleccionar los elementos óptimos para la

parte electrónica y de control. A continuación, se detallan estas especificaciones en la tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos mecánicos y electrónicos del sistema a implementar

Especificaciones Mecánicas	
Peso liviano de la estructura	Entre 25-30 kg
Ajuste total de acuerdo con la altura	150-190 cm
Longitud del pie	20 cm
Longitud pie-pantorrilla	35-55 cm
Longitud para muslo	30-45 cm
Longitud posa pies	19 cm
Forma adaptable	Pies izquierdo y derecho
Soporte máximo de peso	100 kg
Longitud tornillo de potencia	70 cm
Longitud total de estructura	95-100 cm
Especificaciones electrónicas	
Rango de movimiento	20° en extensión hasta 90° en flexión
Variación de velocidad lineal	$V_l=3$ mm/s
Variación de fuerza	$F=100/400$ N
Visualizador de parámetros	Ángulos, tiempo y fuerza
Suministro eléctrico	110 V
Control	Manual/automático
Base de datos	Paciente y rutinas

3.2.2. Esquema general del sistema de monitoreo y rehabilitación

El sistema se fundamenta en diversas áreas de estudio, siendo la Ingeniería Mecánica y Electrónica las bases de consolidación. Por tanto, se evalúan las partes que lo conforman para estructurar cada etapa de desarrollo de manera funcional, teniendo en cuenta el área en la que se aplicará, que en este caso es la rehabilitación y traumatología en la fisioterapia asistida. Por lo tanto, se han considerado los requisitos tanto del paciente como del especialista en la materia. El sistema debe proporcionar seguridad, robustez y ser compacto, además de proteger las partes mecánicas y electrónicas que proporcionan la funcionalidad buscada durante su uso. En la figura 17 se muestra el

esquema general de la estructura del sistema y el diagrama de bloques de la parte electrónica y mecánica.

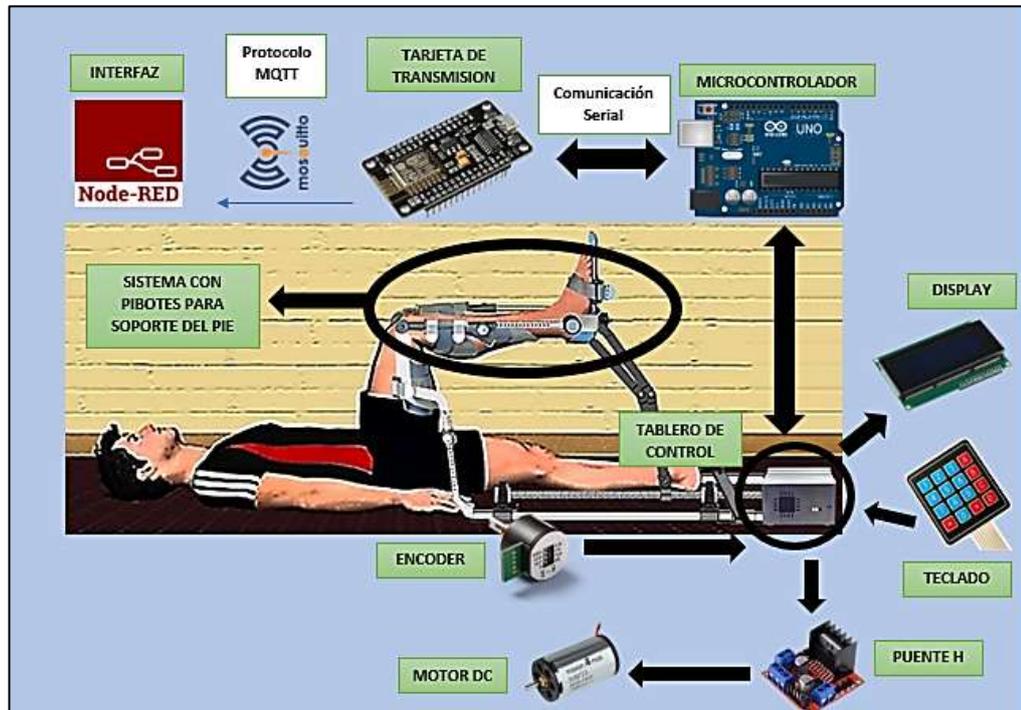


Figura 17. Esquema general de la estructura mecánica y electrónica del sistema

Elaborado por: La Investigadora

El prototipo diseñado para el sistema electrónico de monitorización y rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla es un dispositivo muy completo. El microcontrolador es el componente principal y clave en el prototipo, ya que es el encargado de controlar la velocidad y el ángulo de inclinación del soporte para la pierna afectada. La información necesaria para el control del sistema se ingresa mediante un teclado matricial, lo que permite una gestión personalizada y adaptada a las necesidades específicas de cada paciente.

La utilización de un display es una gran ventaja para este dispositivo, ya que permite visualizar las diferentes opciones y rangos de operación del sistema, lo que facilita la comprensión del funcionamiento del dispositivo y su correcta utilización. La posibilidad el ángulo de inclinación del soporte según las necesidades de cada paciente es fundamental para lograr una rehabilitación efectiva y personalizada.

El movimiento del prototipo se logra a través de un motor DC que se encarga de mover un tornillo de potencia. Este componente permite que el soporte con pivotes se ajuste a la pierna a tratar de manera precisa y segura. Para controlar el motor DC se utiliza un puente H, el cual permite variar la dirección y velocidad del motor, asegurando un movimiento suave y controlado.

El control del ángulo de inclinación de la pierna se realiza mediante un potenciómetro lineal, un componente altamente preciso que permite determinar el ángulo de inclinación de la pierna en tiempo real. Esto es esencial para ajustar la velocidad y el ángulo de inclinación del soporte según las necesidades de cada paciente de manera precisa y efectiva, el rango tomado como base de inclinación máxima y mínima es de 90° y 20° respectivamente, valores predeterminados que el médico especialista utiliza en el tratamiento de la artrosis de rodilla.

Ángulo de 20°. – En la fase de flexión este rango es el apropiado para reducir la carga sobre la articulación de la rodilla y el cartílago en esta posición se evita someterle a una presión excesiva, reduciendo el desgaste y el dolor, además de brindar comodidad menos molestias y mayor facilidad.

Ángulo de 90°. – En esta posición permite una amplitud de movimiento siendo una posición intermedia entre la flexión completa y la extensión total de la rodilla lo cual ayuda a mejorar la fuerza y la estabilidad muscular de la articulación esencial para tratar la artrosis de rodilla contribuyendo a mejorar la circulación.

Finalmente, para enviar los datos a una interfaz de monitoreo, se utiliza una tarjeta que se puede conectar mediante una red wifi. Los datos se envían mediante el protocolo MQTT, lo que asegura una comunicación rápida y segura. Para la visualización de los datos, se puede utilizar NodeRed como la opción principal. NodeRed es una herramienta de programación visual que permite la creación de flujos de datos de manera sencilla y rápida, lo que garantiza una gestión efectiva de los datos y una reducción mínima de errores.

3.2.3. Selección de los componentes del sistema

La implementación del sistema de rehabilitación se compone de varios elementos de hardware y software, por lo tanto, se realizó una comparación de las especificaciones técnicas de diversos dispositivos, con el fin de elegir aquellos más idóneos para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Motor

El motor desempeña un papel muy importante, ya que actúa como la conexión entre la parte mecánica y la parte electrónica, permitiendo generar el movimiento rotatorio necesario para el tornillo de potencia. Este tornillo, a su vez, es responsable de proporcionar el movimiento lineal a la estructura del sistema, lo cual permite llevar a cabo los movimientos de flexión y extensión [37]. Por lo que resulta esencial considerar características claves en el motor, tales como velocidad, torque y potencia, en la tabla 5 se comparan los tipos de motores.

Tabla 5. Motor reductor con especificaciones técnicas [37]

Características	Motor		
			
Marca/Modelo	LF y LQEW	EMG30	HN60GM-HN550
Voltaje	12-24 V	12 V	12 V
Carga	70 kg/cm	1,5 kg/cm	80 N
Velocidad	12 rpm-16 rpm- 27rpm-80 rpm	170 rpm	240 rpm
Precio	\$27	\$30	\$59,99

En la elección del motor, se decidió utilizar el motor LF y LQEW debido a sus características técnicas superiores. Este motor ofrece un rango de operación óptimo que se ajusta adecuadamente a los requerimientos del proyecto. Además, es capaz de proporcionar la fuerza necesaria que el paciente ejerce sobre el sistema y cuenta con una velocidad de carga que garantiza un funcionamiento eficiente [38].

Tarjeta de control

Para elegir la tarjeta de control adecuada para el sistema, se debe considerar el número de conexiones requeridas entre los actuadores y los controladores. Se busca seleccionar una tarjeta que cuente con el número adecuado de pines de entrada y salida (E/S) en la tabla 6 se muestran los tipos de tarjetas de control con sus especificaciones técnicas.

Tabla 6. Tarjetas microcontroladoras [39].

Características	Módulo		
			
Modelo	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Nano
Dimensión	2,7-2,1 pulg	4-2,1 pulg	0,7-1,9 pulg
Tabla 6. (Continuación)			
Procesador	ATmega328p	ATmega2560	ATmega32U4
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Memoria	32 kB	256 kB	32 kB
EEPROM	1 kB	4 kB	1 kB
SRAM	2 kB	8 kB	5 kB
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V
Pines Digitales I/O	14	54	20
Pines Digitales I/O con PWM	6	15	7
Pines Analógicos	6	16	12
Conexión a USB	Estándar A/B USB	Estándar A/B USB	Micro USB
Compatibilidad de escudo	Si	Si	No
Ethernet/Wifi/Bluetooth	No	No	No
Precio	\$19,99	\$36,61	\$19,80

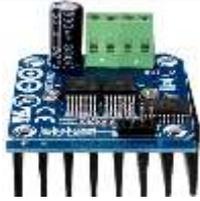
En este sentido, se optó por utilizar la tarjeta de microcontrolador Arduino Mega, como se muestra en la tabla 6 debido a que cumple con las características necesarias para satisfacer los requisitos del proyecto. Además, esta tarjeta es compatible con diversas tecnologías, proporciona amplia información y ofrece versatilidad en el manejo de

código gracias a sus librerías. Asimismo, su accesibilidad económica también fue un factor determinante en su elección [39].

Módulo para motor

El módulo del motor es una componente fundamental para el funcionamiento del circuito del motor, ya que se encarga de proporcionar el accionamiento necesario y la potencia requerida para su operación. Al seleccionar el módulo, es importante considerar las características de tensión ideales relacionadas con el motor a utilizar, especialmente en lo que respecta a la alimentación. En la tabla 7 se muestran los módulos que se utilizan para energizar el motor, y para este proyecto en particular se utiliza un circuito conocido como puente H [40].

Tabla 7. Módulo de motor [40] [41].

Características	Módulo para motor		
			
Modelo	L298N	INEEV	BTN7960B / BTS7960B.
Voltaje de operación	3.3-12 V	3.3-12 V	5.5-27 V
Potencia	48 W	48 W	1.200 W
Corriente Max	4 A	800 mA	43 A
Motores	Corriente directa, motores a pasos, solenoides y en general cualquier otra carga inductiva	Corriente continua (DC) o para motores a pasos.	Motor paso a paso BTS7960 doble BTS7960B DC 43 ^a
Precio	\$4,70	\$3,99	\$20

El módulo más adecuado para la ejecución del proyecto es el BTN7960B / BTS7960B, debido a sus características recomendables. Este módulo es capaz de controlar motores de carga pesada y ofrece la funcionalidad de invertir el sentido de operación del motor.

Dado que se requiere una potencia de torque y soporte significativos, este módulo se destaca por encima de otras opciones disponibles [42].

Sensor de posición angular

El sensor de posición angular es un dispositivo personalizado diseñado específicamente para el modelo de la estructura del proyecto, lo cual implica que no está disponible como un producto comercial en el mercado. Debido a esta razón, se optó por fabricar el sensor utilizando un potenciómetro lineal de 10 kohmios, con el fin de obtener una mayor precisión al momento de detectar los ángulos generados por la tibia y el fémur durante los movimientos terapéuticos de flexión y extensión. En la figura 18 se muestra el sensor utilizado [43].

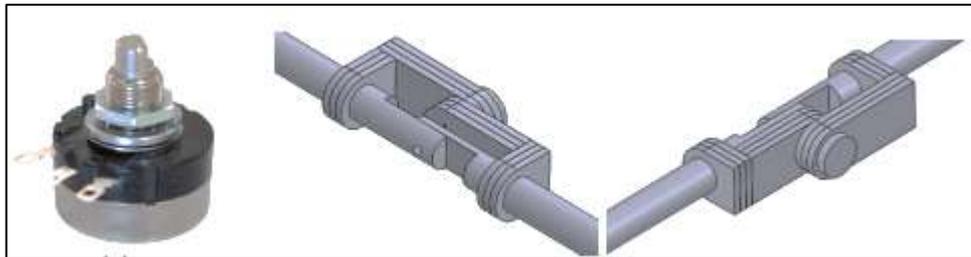


Figura 18. Potenciómetro lineal y estructura del sensor angular

Elaborado por: La Investigadora basando en [43].

Teclado

El teclado matricial se utiliza como medio de entrada para introducir datos preconfigurados y ejecutar acciones de control. A través de la pulsación de teclas, se envían comandos que generan señales de lectura, permitiendo la interacción con el sistema y la realización de las acciones correspondientes [44], en la figura 19 se muestra el teclado y pines de conexión.

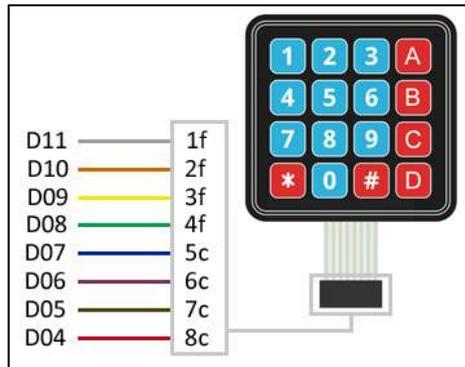


Figura 19. Esquema de teclado matricial [44].

Pantalla

La pantalla LCD proporciona una representación visual de la información deseada, organizada en filas y columnas, permitiendo visualizar los procesos en curso junto con medidas, datos e información relevante [45], para ello se presenta los tipos de pantalla LCD con sus diferentes características en la tabla 8.

Tabla 8. Pantallas LCD para Arduino [45].

Características	Pantallas		
			
Display	LCD en Líneas	Display 128x64	Display OLED
Modelos	3.3-12V 8x1, 8x2, 10x2, 16x1	128x64, 128x 64 128 x 64	128x64
Pines	16	20	4
Voltaje	5 V	5 V	3.3-5 V
Precio	\$5,75	\$19,99	\$14,99

El tipo de pantalla LCD más recomendado para la visualización y control del sistema es el LCD en líneas. Este tipo de pantalla ofrece una fácil compatibilidad, un modo de uso sencillo y un esquema de conexión conveniente. Además, existen múltiples versiones de esta pantalla, lo que la hace versátil para su implementación en diferentes

proyectos. También es compatible con la gama de placas Arduino, lo que facilita su integración en sistemas basados en Arduino [46].

Dispositivo para comunicación inalámbrica

Para la comunicación inalámbrica se utilizó el módulo ESP8266 que es un módulo Wi-Fi altamente versátil y ampliamente utilizado en el campo de la Internet de las cosas (IoT). Su función principal es actuar como una Estación de Sensores (ESP) que se conecta a una red Wi-Fi existente y utiliza el protocolo MQTT para comunicarse con un bróker central. Este bróker actúa como intermediario para el envío y recepción de datos.

El módulo ESP8266 envía los datos de forma periódica a través de un "tópico" predeterminado en el bróker MQTT. El tópico actúa como una dirección virtual dentro del bróker, permitiendo que los datos se envíen y reciban de manera ordenada y eficiente. Finalmente, la información recopilada por la ESP8266 se visualiza en una interfaz de monitorización.

3.2.4. Diseño mecánico del prototipo

El proceso de diseño mecánico se fundamentó en consideraciones ponderadas del peso distribuido en varias áreas del cuerpo, lo que posibilita el cálculo del índice de masa corporal (IMC), información crucial para determinar la fuerza ejercida por cada parte del miembro inferior que interactúa con el dispositivo. De esta forma, se puede seleccionar el material apropiado capaz de soportar la carga en un punto extremo, teniendo en cuenta los porcentajes correspondientes del peso corporal, los cuales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de peso de las partes del miembro inferior basado en [47] [48].

Porcentaje del peso corporal del miembro inferior	
Pie	1.5
Parte inferior de la pierna con el pie	5.9
Parte inferior de la pierna sin el pie	4.4
Muslo	10.1
Pierna completa	16

Para determinar la fuerza total necesaria, se utiliza como referencia el peso extremo de una persona promedio, tomando en cuenta que la condición física de cada paciente varía y que el dispositivo debe ser adaptable a sus necesidades individuales. Por consiguiente, se considera la fuerza que un paciente ejerce al mover su propio peso, lo cual implica que la estructura debe diseñarse con datos sobredimensionados que permitan soportar y ser eficiente para su aplicación en pacientes diversos. Con este propósito se emplea la Segunda Ley de Newton [49]:

$$w = F = mg \quad (1)$$

donde:

w = peso del objeto

F = fuerza

m = 100 kg

g = gravedad 9,8 m/s²

De la misma forma para calcular el peso corporal se aplica la ecuación del índice de masa corporal establecido en relación con el peso corporal total y el peso de una parte del cuerpo [48]:

$$w = \frac{PC}{(1 - PP)} \quad (2)$$

donde:

PC = peso corporal

PP = proporción peso corporal.

Con base en los registros de la tabla 10 se realiza la estimación de la fuerza ejercida por cada componente de la extremidad inferior de un individuo, tomando en cuenta un peso superior al promedio. Esta evaluación se realiza mediante la aplicación de la ecuación 3, y los resultados correspondientes se encuentran detallados en la tabla 10:

$$W_{pp} = (m_{persona}) \cdot (g) \cdot (PP) \quad (3)$$

Tabla 10. Valores de la fuerza ejercida en cada parte de la extremidad inferior

Cálculo de fuerza que ejerce cada parte de la extremidad inferior	
Pie	14.7 N
Parte inferior de la pierna con el pie	57.85 N
Parte inferior de la pierna sin el pie	43.12 N
Muslo	98.98 N
Pierna completa	156.8 N

3.2.5. Análisis cinemático

La información obtenida a partir del cálculo de la fuerza ejercida por la extremidad inferior del paciente se toma como punto de partida para dimensionar la estructura del prototipo en términos de su forma y medidas. Dado que se trata de una estructura tipo biela-manivela que transforma un movimiento rotatorio en uno lineal, es necesario calcular el número de grados de libertad (GDL) [50]. El cual se determina utilizando la ecuación de Gruebler [51]:

$$M = \text{grados de libertad} = 3(n - 1) - 2j_p - j_h \quad (4)$$

donde:

j_p = número de uniones principales

j_h = número de uniones de orden superior

n = número de eslabones en el mecanismo

$M = \text{grados de libertad} = \text{número de grados de libertad}$

En el contexto del análisis de mecanismos, se procede al cálculo de los grados de libertad. Para este propósito, se considera el diseño mecánico que consiste en cuatro eslabones. Dado que el mecanismo en cuestión se trata de una biela-manivela, se determina que existen cuatro puntos de interés, correspondientes a las uniones de cada eslabón. Se establece que cada unión posee un grado de libertad de movimiento. Sin

embargo, en el caso de las uniones especiales, no se registra ningún grado de libertad, y se realiza el cálculo en consecuencia:

$$M = 3(4 - 1) - 2(4) - 0 = 1$$

A continuación, en la figura 20 se estructura el diseño mecánico en un diagrama de bloques.

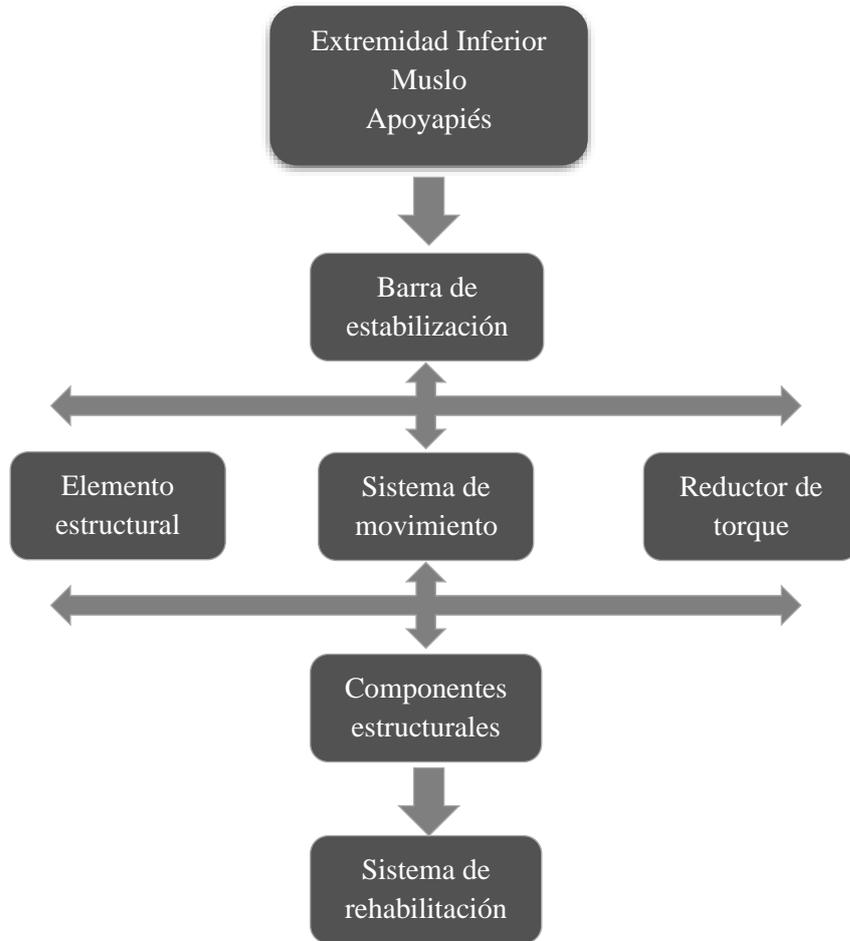
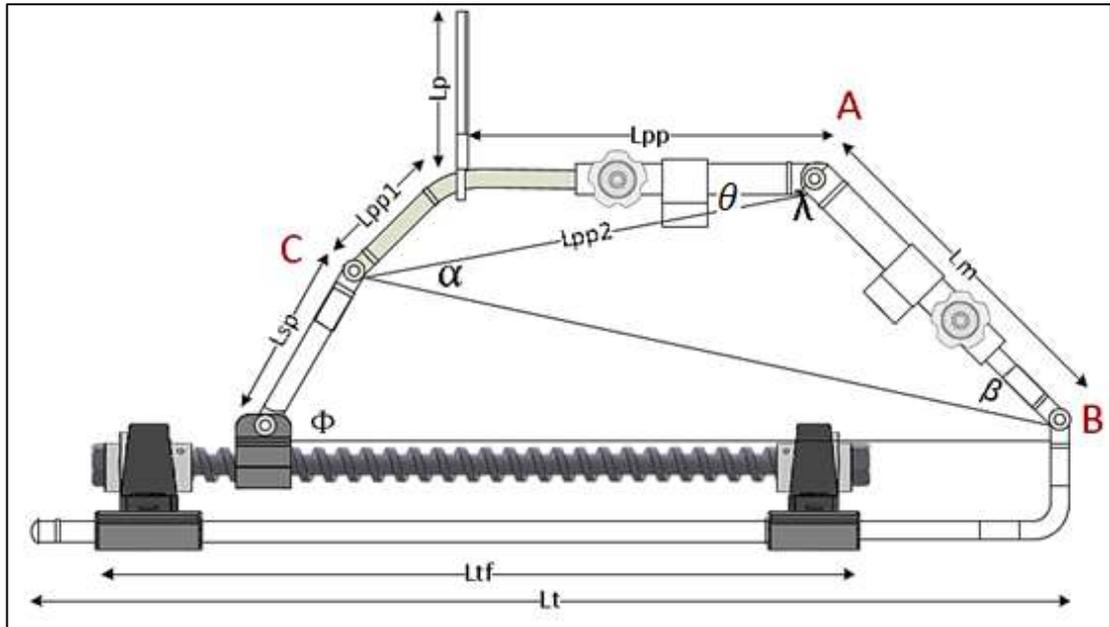


Figura 20. Diagrama de bloques de la estructura mecánica

Elaborado por: La Investigadora basado en [8]

En la figura 21 se lleva a cabo el proceso de dimensionamiento de la estructura, diseñándola de tal manera que se ajuste a la extremidad afectada y utilizando una simbología y medidas estandarizadas con relación al cuerpo humano.



SIMBOLOGÍA		MEDIDAS	
Lp=Longitud de pie		Lp=20 cm	Lt=95-100 cm
Lpp=Longitud pie-pantorrilla		Lpp=35-55 cm	$\alpha=7.123^\circ$
Lm=Longitud de muslo		Lm=30-45 cm	$\lambda_{ex}=10^\circ$
Lsp=Longitud soporte pie		Lsp=19 cm	$\lambda_{fle}=120^\circ$
Ltf=Longitud tornillos sin fin		Lpp1=15.5 cm	$\Phi=60^\circ$
Lt=95-100 cm		Lpp2=62.5 cm	$\beta=45^\circ$
Ángulo α = entre ACB		Ltf=70 cm	
Ángulo λ =entre CAB ex-flex			
Ángulo Φ =con la horizontal			
Ángulo β = entre ABC			

Figura 21. Modelo cinemático del sistema

Elaborado por: La Investigadora

El cálculo del recorrido lineal que se produce al efectuar los movimientos de flexión y extensión en la estructura del tornillo se expresa en términos del desplazamiento de la tuerca [52]:

$$Rec = Lpp2 \cdot \cos(\alpha - \theta) + Lm \cdot \cos(\beta) \quad (5)$$

De la misma manera también se lo puede interpretar como el recorrido lineal de la tuerca de acuerdo con el cálculo a partir del ángulo inicial y final generado entre el fémur y la tibia. La ecuación correspondiente se representa de la siguiente manera [52]:

$$Rec = \sqrt{Lpp^2 + Lm^2 - 2Lpp \cdot Lm \cdot \cos(\lambda_{final})} - Rec = \sqrt{Lpp^2 + Lm^2 - 2Lpp \cdot Lm \cdot \cos(\lambda_{inicial})} \quad (6)$$

Para realizar este análisis, se emplea la ley de cosenos, que se extrae del campo del diseño de ingeniería mecánica según Shigley. Esta ley se aplica para considerar el movimiento de la articulación entre diversas partes de la estructura y los ángulos λ iniciales y finales dentro de los rangos definidos para el tratamiento. De esta manera, es posible expresar el recorrido o desplazamiento efectuado por la tuerca sin fin en función de cada ángulo específico [53].

3.2.6. Sistema de movimiento rotatorio

El sistema diseñado para operar la estructura se basa en la conversión del movimiento rotatorio del eje del motor en movimiento lineal. Este mecanismo de transformación de movimiento rotatorio a lineal posibilita los movimientos de flexión y extensión de la articulación de la rodilla, permitiendo ajustar la fuerza y la velocidad en la dirección de giro correspondiente.

3.2.7. Análisis de reductor mecánico lineal

En el análisis se considera el mecanismo del tornillo de potencia, el cual posibilita el movimiento lineal del dispositivo. Se procede a realizar el cálculo y diseño de este, a fin de seleccionar los parámetros adecuados para su funcionamiento óptimo. En la figura 22 se puede apreciar el tornillo de potencia y las distintas partes que lo componen.

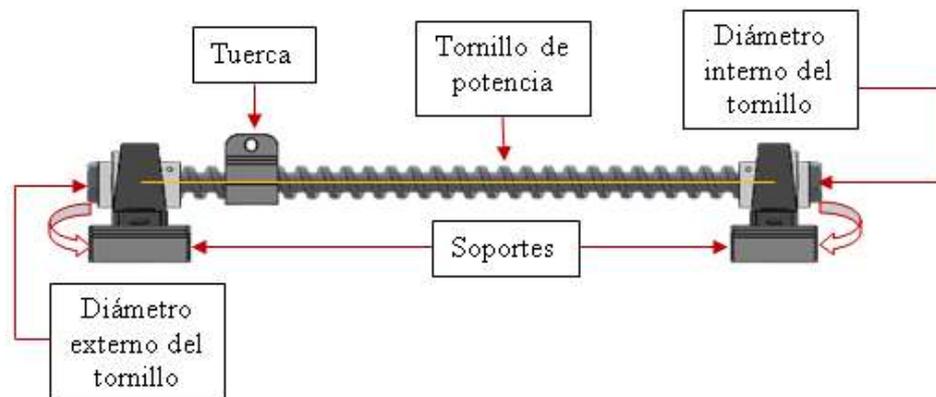


Figura 22. Análisis del tornillo de potencia

Elaborado por: La Investigadora

Tornillo de potencia

El mecanismo en cuestión permite realizar un movimiento enroscado girando la tuerca, lo que a su vez otorga una dirección lineal al tornillo de potencia. Es por esta razón que se ha diseñado este mecanismo teniendo en cuenta diversos parámetros, y para este prototipo en particular se ha seleccionado la rosca cuadrada, como se muestra en la figura 23 debido a que es capaz de transmitir eficientemente el movimiento de cargas pesadas con una gran facilidad de movimiento [53].

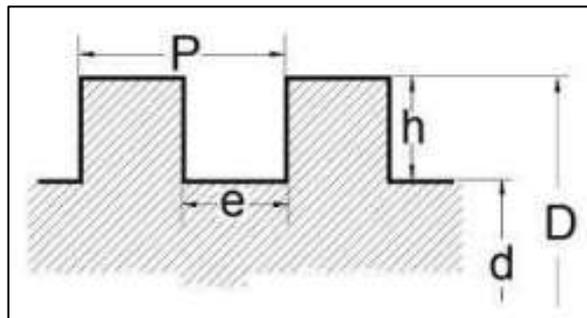


Figura 23. Rosca cuadrada [53].

Para calcular las dimensiones adecuadas del tornillo de potencia, es necesario comprender los conceptos de avance y paso del libro de máquinas y mecanismos de David Myszka, los cuales lo define de la siguiente manera:

El avance (l). - Se refiere al desplazamiento que experimenta la tuerca cuando el tornillo da una vuelta completa. La distancia recorrida durante este movimiento se conoce como el avance [55].

El paso (p). - Se define como el número de hilos que se encuentran en una pulgada medida paralelamente al eje de la rosca. La distancia entre un hilo y otro se denomina como el paso [55].

Para determinar las dimensiones adecuadas del tornillo de potencia, se toma en cuenta el tipo de rosca utilizado. En este proyecto, se emplea la rosca cuadrada, para la cual se aplican las siguientes fórmulas durante el cálculo [55].

$$D = p/0,2 \quad (7)$$

$$h = e = 0,5 * p \quad (8)$$

$$d = D - 2h \quad (9)$$

Donde:

D =diámetro exterior del tornillo

p =paso del tornillo

e =espesor del filete en el tornillo

h =altura del filete en el tornillo

d =diámetro interno del tornillo o diámetro de fondo

A partir de las fórmulas mencionadas, se ha tomado en cuenta un valor de paso de 0.2 pulgadas, equivalente a 5,08 milímetros correspondientes a las medidas tomadas por el tornillo empleado y a las constantes que se emplea para una rosca cuadrada. Al aplicar las ecuaciones (7, 8, 9), se ha logrado obtener el cálculo del tornillo correspondiente:

$$D = p/0,2$$

$$D = \frac{5,08}{0,2} = 25,4 \text{ mm} = 1 \text{ pulg}$$

$$e = h = 0,5 * 5,08$$

$$e = 2,54 \text{ mm} = 0,1 \text{ pulg}$$

$$d = 25,4 - 2 * 2,54$$

$$d = 20,32 = 0,8 \text{ pulg}$$

Se procede a calcular las holguras necesarias para lograr el acople adecuado entre la tuerca y el tornillo, tal como se ilustra en la figura 24. Para llevar a cabo este cálculo, se emplearán las fórmulas correspondientes [53]:

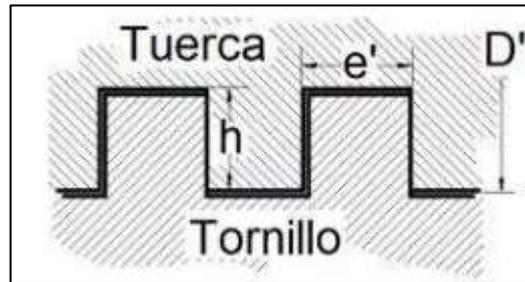


Figura 24. Tuerca de la rosca [53].

$$D' = d + 0,125 * p \quad (10)$$

$$e' = e + 0,05 \quad (11)$$

donde:

D' =diámetro a tornear la tuerca

e' =espesor del vano de la tuerca

Aplicando las fórmulas (10,11), también se calculan los parámetros de la tuerca.

$$D' = 20,32 + 0,125 * 5,08$$

$$D' = 20,955 \text{ mm} = 0,825 \text{ pulg}$$

$$e' = 2,54 + 0,05$$

$$e' = 2,59 \text{ mm} = 0,1 \text{ pulg}$$

3.2.8. Diseño electrónico

En el diseño electrónico, se consideran cuidadosamente los componentes más apropiados según las especificaciones técnicas de funcionamiento. Para lograr esto, se realiza una evaluación del mercado nacional para seleccionar aquellos que mejor satisfagan las necesidades del proyecto relacionadas con el proceso que requiere el tratamiento y rehabilitación de la artrosis de rodilla. Este enfoque se basa en la

utilización de elementos de software y hardware que permitan la interacción entre el usuario y la estructura del sistema electrónico.

De igual forma se diseñan placas para los circuitos y adaptaciones para el control de movimiento angular, de manera que se ajuste adecuadamente al diseño estructural. Además, se aplican métodos de seguridad y protección, teniendo en cuenta el rango de funcionamiento y operación de los módulos electrónicos utilizados, para lograr un mejor rendimiento del sistema. En la figura 25 se visualiza el esquema general de los componentes electrónicos que conforma el sistema [56].

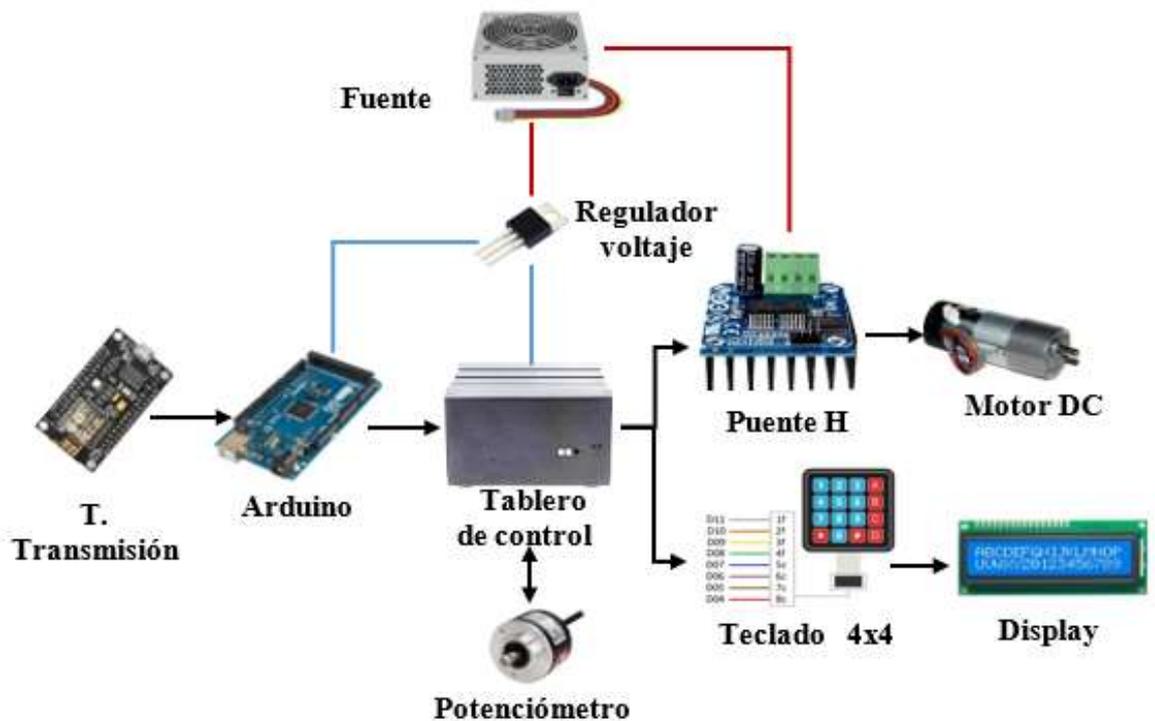


Figura 25. Esquema general del diseño electrónico

Elaborado por: La Investigadora

En la tabla 11 se muestra los valores de voltaje y corriente que consumen los dispositivos del sistema, con la finalidad de dimensionar la fuente de alimentación.

Tabla 11. Valores de operación de los elementos [39], [40], [41], [42], [43].

Elemento	Voltaje de operación de fabrica	Intensidad de fabrica
T. Transmisión	12 V	400 mA
Arduino Mega	12-24 V	435 mA
Potenciómetro	5-12 V	30 mA
Puente H	5.5-12 V	-
Motor DC	12-24 V	6 A
Display	5 V	20 mA
Teclado 4x4	24	30 mA

3.2.8.1. Dimensionamiento de la fuente

Se procede a sumar todas las corrientes de los dispositivos para así determinar la corriente total que se consumirá el prototipo, esta es una especificación importante para obtener la potencia necesaria que alimentará a todo el sistema mediante el concepto de potencia disipada. El voltaje de operación al revisar la tabla 11 se establece en 12 V.

$$I = 6,915 A$$

$$P = 12 V \times 6,915 A$$

$$P = 82.98 W$$

Al realizar la suma de todos los valores de la corriente se puede determinar la corriente necesaria para la fuente, tomando en consideración la potencia consumida por el prototipo con el voltaje máximo de alimentación, se obtiene un consumo de 82.98 W.

3.2.9. Implementación del sistema de rehabilitación

3.2.9.1. Integración del prototipo de rehabilitación

Con el fin de implementar el prototipo propuesto para la rehabilitación, se lleva a cabo la integración de cada uno de los sistemas que lo componen, como la parte electrónica, mecánica y de control. Cada uno de estos sistemas desempeñan funciones

interrelacionadas que colaboran en el diseño del sistema en su conjunto. El primer paso consiste en establecer la arquitectura mecánica como base del sistema, la cual se encarga de posicionar la extremidad de manera óptima para los movimientos de flexión y extensión. Esta arquitectura mecánica también funciona como soporte para la extremidad y cuenta con un posapié ajustable que se adapta a diferentes tamaños ergonómicos de la pierna. En la figura 26 se muestra el diseño de la mencionada estructura.



Figura 26. Estructura mecánica base del sistema con posapiés

Elaborado por: La Investigadora

A continuación, se procede a la instalación de los dispositivos electrónicos, que incluye los elementos de control y programación necesarios para el funcionamiento del sistema. Esto permite la interacción con la parte mecánica, en particular con el motor, que se posiciona de manera que engrane con el tornillo de potencia. El objetivo del motor es proporcionar el movimiento rotatorio, que a su vez se traduce en un movimiento lineal de la extremidad a través del diseño estructural. Además, mediante los componentes electrónicos, se puede medir el ángulo de flexión. Estos parámetros

se combinan para el correcto funcionamiento del sistema, por lo cual se llevan a cabo el montaje y accionamiento mostradas en la figura 27.



Figura 27. Montaje electrónico y mecánico del sistema

Elaborado por: La Investigadora

Después de realizar la parte mecánica del prototipo se procede a realizar el esquema electrónico de los diferentes elementos a usar, considerando los pines y las diferentes conexiones entre los dispositivos. En la figura 28 se presenta el diagrama esquemático de los componentes electrónicos del sistema con sus respectivas conexiones para su correcto funcionamiento.

Inicialmente, se establece la conexión entre el pin 2 del potenciómetro y el pin A0 del Arduino Mega, con el propósito de medir el voltaje en función de la variación de la resistencia en dicho potenciómetro. Asimismo, se dispone de las salidas pwm1 y pwm2, que se encuentran en los pines 10 y 9, respectivamente, los mismos que se conectan a los pines del puente H BTN7960B para poder controlar el giro del motor, el pin 8 del Arduino se encarga de activar el puente H. Para las conexiones del display LCD 20x4 se utilizó el dispositivo que viene con un módulo I2C, el cual ya viene con las conexiones establecidas, tal como se muestra en la figura 28. Los pines de la comunicación I2C del módulo se conectan a los pines SDA (Serial Data Line) y SCL (Serial Clock Line) del Arduino.

El teclado matricial tiene 8 pines los cuales hacen referencia a las filas y columnas para las teclas, estos 8 pines se conectaron a los pines 53, 51, 49, 47, 45, 43, 41, 39 del microcontrolador, por último, se debe realizar la conexión con el módulo ESP8266 para él envío de datos a la interfaz web, aquí se conecta los pines 1 y 0 del Arduino los cuales pertenecen a la comunicación serial a los pines D2 y D3 de la ESP8266. Todas estas son las conexiones para que pueda funcionar el sistema.

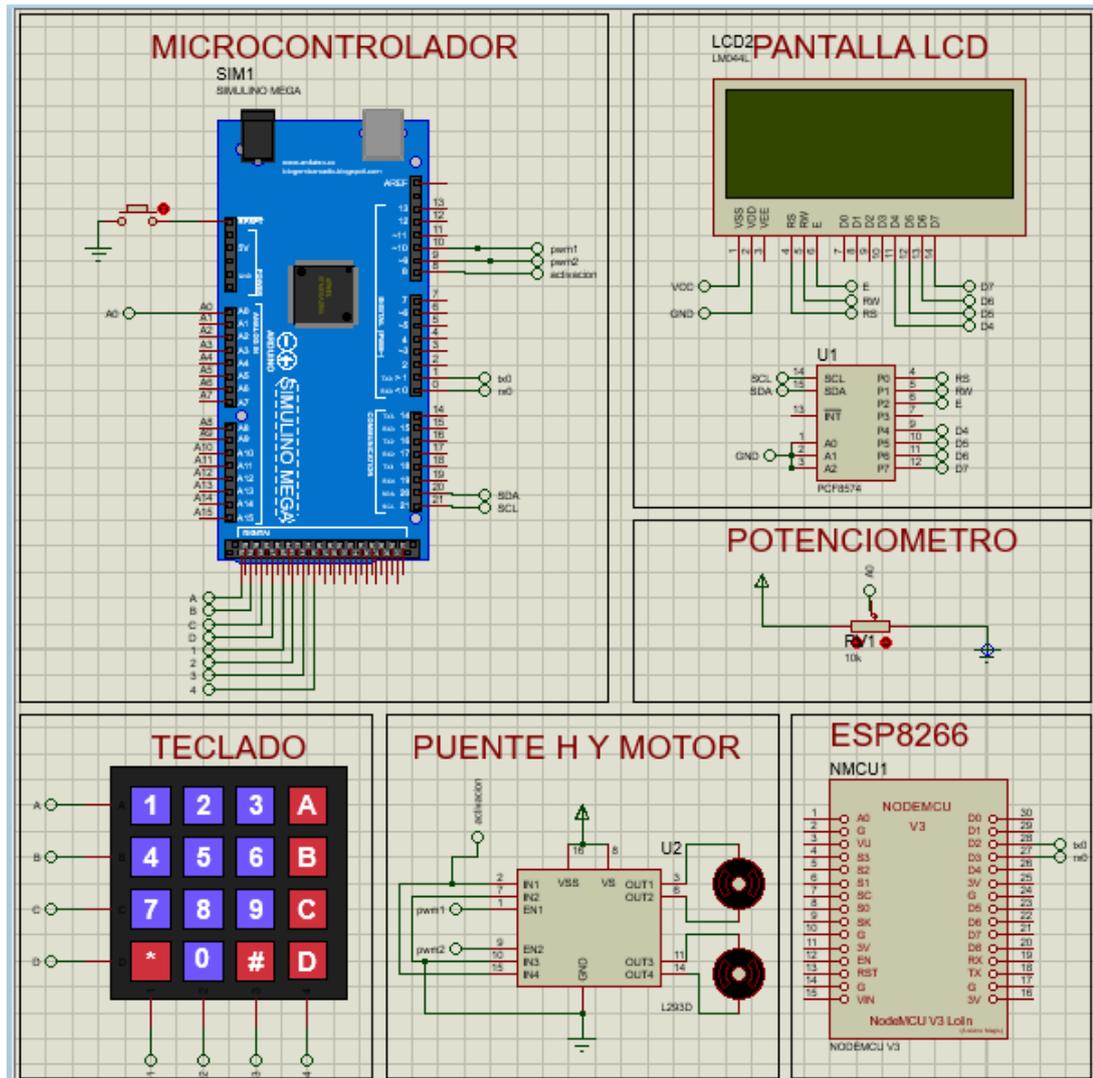


Figura 28. Diseño electrónico del sistema

Elaborado por: La Investigadora

3.2.10. Flujograma de procesos del dispositivo para rehabilitación de rodilla

En esta parte se explica el desarrollo de los diferentes procesos para la rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla y enviar los datos a la interfaz web.

Al encender el dispositivo se inician las librerías necesarias para el funcionamiento del prototipo y sus elementos electrónicos, posteriormente se procede con el posicionamiento de la extremidad inferior en el ángulo inicial, una vez seleccionado el modo de operación ya sea manual o automático se configura los parámetros de operación del dispositivo, después de haber configurado estas fases, el prototipo se activa y ejecuta las acciones previamente establecidas. Simultáneamente se realiza el envío de datos de forma serial al microcontrolador ESP8266 y poder realizar la conexión con el bróker MQTT, si no existe dicha conexión el proceso entra en un bucle hasta que pueda conectarse de manera correcta con el servidor, a continuación, se realiza el envío de datos en los tópicos preestablecidos, por último, los datos enviados mediante MQTT son utilizados para visualizarlos en la interfaz web creada. Si el dispositivo se ha apagado se procede al fin del proceso, caso contrario se repite el proceso desde la selección del modo de operación como se observa en la figura 29.

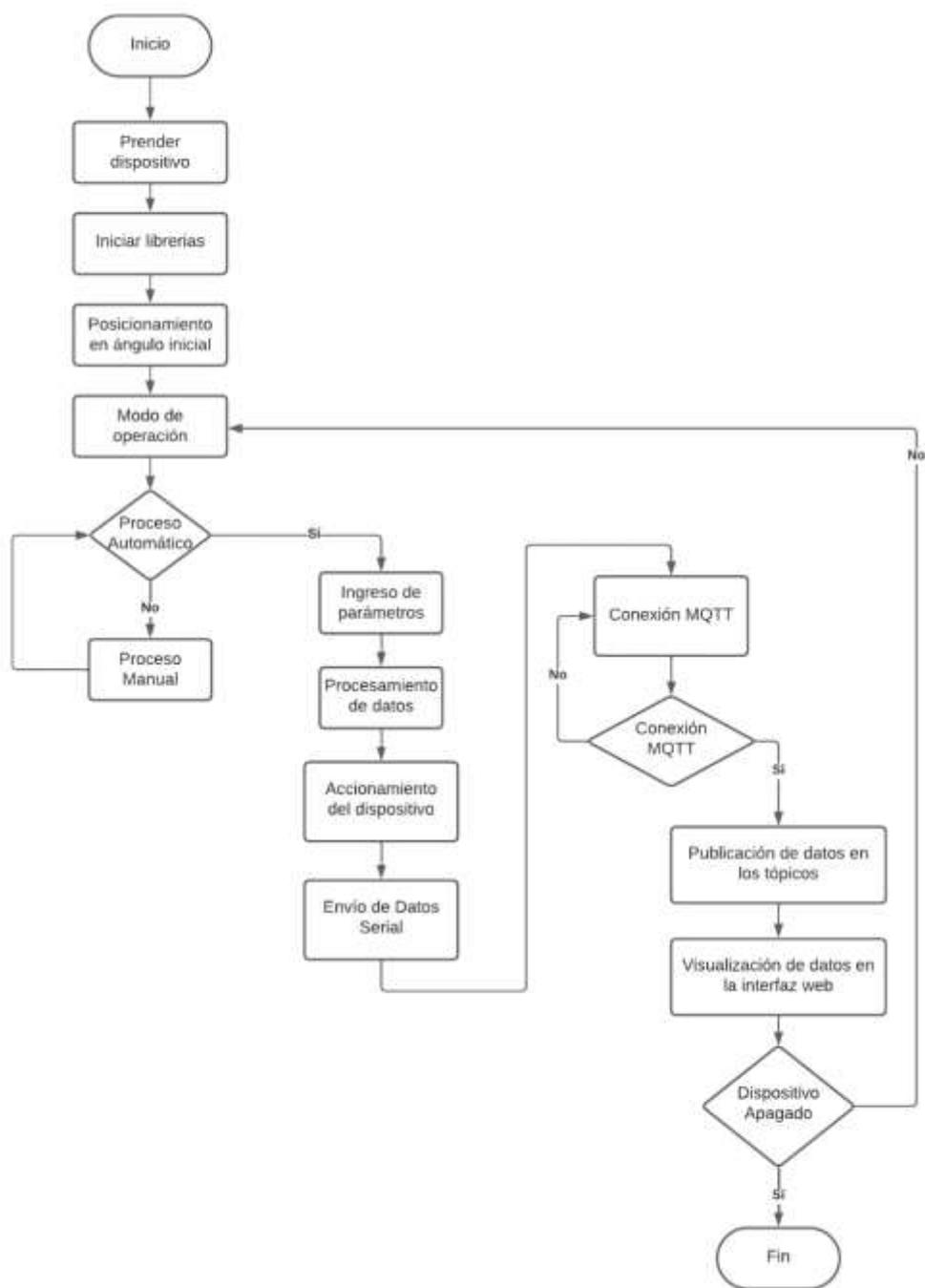


Figura 29. Flujograma del sistema

Elaborado por: La Investigadora

3.2.11. Programación del sistema

Una vez realizado las conexiones se procedió a realizar la programación perteneciente al Arduino Mega, para los diferentes procesos del prototipo, en la figura 30 se muestra las librerías necesarias para el Arduino, así como los parámetros iniciales para que pueda funcionar tanto el teclado matricial como la pantalla LCD.

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 20, 4);
//0X27 PARA EQUIPO REAL
const byte FILAS = 4;
const byte COLUMNAS = 4;
// Definimos el Keypad
char keys[FILAS][COLUMNAS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'},
};
byte pinFila [FILAS] = {53,51,49,47};
byte pinColumna [COLUMNAS] = {45,43,41,39};
Keypad teclado = Keypad (makeKeypad(keys), pinFila, pinColumna, FILAS, COLUMNAS );
```

Figura 30. Librerías para el Arduino Mega

Elaborado por: La Investigadora

Una vez iniciadas las librerías, se declaró las variables y constantes para el control del movimiento y dirección del motor, ángulo máximo de flexo-extensión, número de repeticiones y para el control del menú principal como se muestra en la figura 31.

```

String strangulo="";
int aut=0;
int direccion=0;
const int pinangulo = A0;
const int pwml = 10; //atras
const int pwm2 = 9; //adelante
int m=0;
int analogValue;
int angulo;
int pro=0;
int valorAngulomax=0;
const int activacion=8;
int sensorPin = A0;
int sensorValue = 0;
int valpwm;
int repeticiones=0;
int valoringreso=0;
int seleccion=0;
const int minRawValue = 798; // (correspondiente al ángulo máximo)
const int maxRawValue = 530; // (correspondiente al ángulo mínimo)
const int minAngle = 0; // Ángulo mínimo correspondiente
const int maxAngle = 75; // Ángulo máximo correspondiente
const int angulomin=20;
const int angulomax=90;

```

Figura 31. Constantes de inicio

Elaborado por: La Investigadora

Al encenderse el microcontrolador se ejecutará una sola vez todo el código dentro del void setup(), en el cual, se establece el valor inicial de las pwm para la rotación del motor, y también la velocidad de transmisión para el puerto serial, que en este caso es de 115200 baudios, se inicializa la pantalla LCD, también se realizó un control para que al iniciar el prototipo se posicione en un ángulo inicial de 20°, en la figura 32 se observa el código del void setup().

```

void setup() {
Serial.begin(115200);
  analogWrite(pwm1, 0);
  analogWrite(pwm2, 0);
  pinMode(activacion, OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  sensorAngulo();
  digitalWrite(activacion, HIGH);
  while (angulo>angulomin){
  sensorAngulo();
  adelante();
  lcd.print("      SISTEMA PARA      ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("      EL MOVIMIENTO  ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("      DE RODILLA  ");
  delay(100);
  }
  pare();
  delay(500);
  lcd.clear();
  menu();
}

```

Figura 32. void setup()

Elaborado por: La Investigadora

En la sección del bucle void loop(), se desarrolló el menú de control, las opciones para controlar el motor del prototipo, el cual consta de dos opciones, modo automático en la cual se ingresa el valor del ángulo máximo de flexión y el número de repeticiones que ejecutará el dispositivo; en el modo manual, el usuario iniciará y detendrá el dispositivo como considere necesario. En la figura 33 se muestra el código de la función sensorAngulo(), el cual se encarga de medir el ángulo actual de flexión de la extremidad inferior del paciente.

```

sensorAngulo();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("      EJECUTANDO ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("TR: "+String(repeticiones)+" #R: "+String(i));
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Max: "+String(valorAngulomax)+" Min: "+String(angulomin));
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Angulo Actual: "+String(angulo));
while (angulo<=valorAngulomax) {
sensorAngulo();
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Angulo Actual: "+String(angulo));
atras();
envio();
}

```

Figura 33. Código del modo automático

Elaborado por: La Investigadora

Otra parte importante del código de programación del Arduino es el envío por serial al módulo ESP8266, ya que al momento de realizar las mediciones este se debe enviar a una interfaz web, en la figura 34 se muestra el código encargado de enviar los datos.

```

void envio2() {
  if (seleccion==0) {
    Serial.print(seleccion);
    Serial.print(",");
    Serial.print(repeticiones);
    Serial.print(",");
    Serial.print(repeticiones);
    Serial.print(",");
    Serial.print(angulo);
    Serial.print(",");
    Serial.println(valorAngulomax);
  }
  if (seleccion==2) {
    direccion=m;
    Serial.print(seleccion);
    Serial.print(",");
    Serial.print(direccion);
    Serial.print(",");
    Serial.print(angulo);
    Serial.print(",");
    Serial.print("0");
    Serial.print(",");
    Serial.println("0");
  }
}

```

Figura 34. Código para el envío de datos serial

Elaborado por: La Investigadora

También se debe realizar la programación para el módulo ESP8266, como primer punto se establece las librerías para la conexión a una red wifi, y la librería usada para crear un puerto serial virtual, en la figura 35 se muestra las librerías y la configuración de los parámetros para la red y para el servidor MQTT.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(D3, D2); // RX, TX
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
const char* ssid = "ORTESIS";
const char* password = "10121962";
const char* mqtt_server = "192.168.31.67";
const char* mqtt_username = "cliente";
const char* mqtt_password = "cliente";
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

Figura 35. Código para conectarse a la red wifi y servidor MQTT

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 36 se muestra la inicialización de las variables y constantes a usar en el programa, así como la programación de inicialización en el entorno void setup () en donde se programa la velocidad del puerto serial y la conexión al bróker MQTT mediante el puerto 1883.

```
int modo;
int repeticiones;
int numr;
int angulo;
int angulomax;
String str = "";
String modo2, repeticiones2, numr2, angulo2, angulomax2;
const char separator = ','; // separador de trama
const int dataLength = 5; // el numero del incremento para los valores de la cadena
float data[dataLength];
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicializar el puerto serie principal
  mySerial.begin(115200); // Inicializar el puerto serie adicional
  setup_wifi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
}
```

Figura 36. Código de inicialización del módulo ESP8266

Elaborado por: La Investigadora

Se programa el módulo para que pueda recibir los datos del microcontrolador Arduino Mega, esto se realiza mediante la función `envioCondicion ()` como se observa en la figura 37 en esta parte del código, se realiza la lectura del puerto serial hasta que se detecte un carácter de nueva línea, después iniciamos un ciclo `for` para determinar las diferentes variables en función de un separador que en este caso usamos una “,” para dividir los datos, por último, lo convertimos en un dato tipo flotante y lo guardamos en el vector `data`.

```
void envioCondicion(){
    str = mySerial.readStringUntil('\n'); // leemos la cadena
    for (int i = 0; i < dataLength ; i++) // inicializamos el for
    {
        int index = str.indexOf(separator); // tomamos valores en funcion del separador
        data[i] = str.substring(0, index).toFloat(); //lo convertimos en flotante
        str = str.substring(index + 1); // aumentamos el index
    }
}
```

Figura 37. Funcion para recibir los datos

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 38 se muestra el código perteneciente para enviar los datos mediante el protocolo MQTT a la interfaz web y así poder usarlos posteriormente para el monitoreo.

```
if (modo==0){
    snprintf (msg, 75, "AUTOMATICO");
    client.publish("ortesis/estado", msg);
}
else{
    snprintf (msg, 75, "MANUAL");
    client.publish("ortesis/estado", msg);
}
snprintf (msg, 75, repeticiones3);
client.publish("ortesis/repeticiones", msg);
snprintf (msg, 75, numr3);
client.publish("ortesis/numre", msg);
snprintf (msg, 75, angulo3);
client.publish("ortesis/angulo", msg);
snprintf (msg, 75, angulomax3);
client.publish("ortesis/angulomax", msg);
//delay(100);
}
```

Figura 38. Envio de datos mediante el protocolo MQTT

Elaborado por: La Investigadora

3.2.12. Diseño de interfaz

Para el diseño de la interfaz, se desarrollaron diversos pasos para poder visualizar en un servidor local implementando la funcionalidad de almacenar toda la información relevante en una base de datos, con el propósito de facilitar el seguimiento y monitoreo del progreso de los pacientes por parte del fisioterapeuta. Para empezar, se debe instalar un servidor LAMP en una máquina de Ubuntu, instalar el lenguaje de programación Python, y el bróker MQTT y Node Red, para esto se utilizaron las siguientes líneas de código:

LAMP: `sudo apt install apache2 mysql-server php libapache2-mod-php php-mysql`

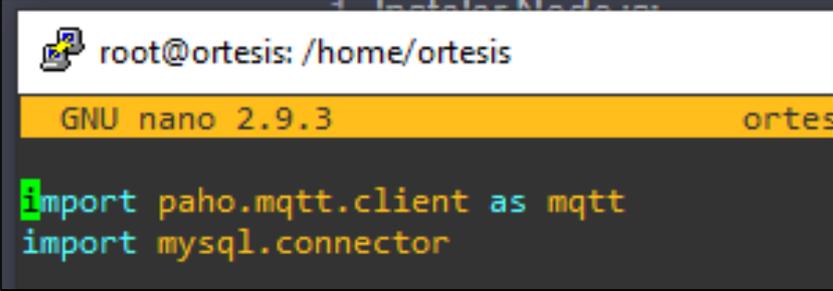
Python3: `sudo apt install python3 python3-pip`

MQTT: `sudo apt install mosquitto`

`sudo apt install mosquitto-clients`

Node-Red: `sudo npm install -g --unsafe-perm node-red`

Una vez realizado la instalación de todas las dependencias en la máquina virtual se procede con la programación de la Interfaz Web, se programa el archivo en Python llamado `ortesis.py`. En este archivo estará la programación para leer mediante MQTT los valores enviados por el prototipo, luego se importa las librerías necesarias para leer el tópico de MQTT y subir los valores a la base de datos como se observa en la figura 39.



```
root@ortesis: /home/ortesis
GNU nano 2.9.3 ortes
import paho.mqtt.client as mqtt
import mysql.connector
```

Figura 39. Librerías necesarias para MySQL y MQTT

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 40 se aprecia la programación para leer los tópicos y obtener los valores necesarios para ingresar a la base de datos.

```
# Callback cuando se recibe un mensaje MQTT
def on_message(client, userdata, msg):
    global repeticiones, numre, estado, angulomax, usuario, last_inserted_repeticiones
    # Obtener el tópicos y el mensaje
    topic = msg.topic
    payload = msg.payload.decode()

    if topic == "ortesis/estado":
        estado = payload
    elif topic == "ortesis/repeticiones":
        repeticiones = payload
    elif topic == "ortesis/numre":
        numre = payload
    elif topic == "ortesis/angulo":
        angulo = payload
    elif topic == "ortesis/usuario":
        usuario = payload
        print(usuario)
    elif topic == "ortesis/angulomax":
        angulomax = payload
```

Figura 40. Obtención de datos mediante MQTT

Elaborado por: La Investigadora

Luego se procede a realizar la conexión a la base de datos y a realizar una petición SQL para ingresar los datos como se observa en la figura 41.

```
if repeticiones and numre and repeticiones == numre and repeticiones != last_inserted_repeticiones:
    if usuario:
        if estado=="AUTOMATICO":
            # Configurar la conexión a la base de datos
            conexion = mysql.connector.connect(
                host="localhost",
                user="ortesis",
                password="ortesis",
                database="pacientes"
            )
            cursor = conexion.cursor()

            consulta = "INSERT INTO datos (usuario, estado, repeticiones, angulomax) VALUES (%s, %s, %s, %s)"
            valores = (usuario, estado, repeticiones, angulomax)
            # Ejecutar la consulta SQL
            cursor.execute(consulta, valores)
            # Confirmar los cambios en la base de datos
            conexion.commit()
            # Cerrar la conexión y liberar recursos
            cursor.close()
            conexion.close()
            repeticiones=None
            numre=None
            last_inserted_repeticiones = numre
```

Figura 41. Conexión con MySQL y peticiones SQL

Elaborado por: La Investigadora

Por último, se realiza la programación de los parámetros necesarios para determinar los tópicos y conexión con el bróker MQTT como se muestra en la figura 42.

```
# Configurar el cliente MQTT
client = mqtt.Client()

# Configurar las funciones de callback
client.on_message = on_message

# Configurar la autenticación del cliente MQTT
client.username_pw_set(username="cliente", password="cliente")

# Conectar al bróker MQTT
broker_address = "192.168.31.67" # Reemplazar con la dirección del bróker MQTT
client.connect(broker_address)

# Suscribirse a los tópicos de interés
topics = ["ortesis/estado", "ortesis/repeticiones", "ortesis/numero", "ortesis/angulo", "ortesis/angulomas", "ortesis/usuario"]
for topic in topics:
    client.subscribe(topic)

# Mantener la consola MQTT activa
client.loop_forever()
```

Figura 42. Tópicos y conexión con el bróker

Elaborado por: La Investigadora

Luego de haber realizado la programación en el archivo de Python es necesario crear diversos archivos para la autenticación de usuarios y el registro. Por lo cual se crea dos archivos llamados login.php para la autenticación de usuarios y otro archivo llamado registro.php para realizar el registro de nuevos pacientes. Para el archivo de login.php se comienza con importar los estilos como se observa en la figura 43.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">
  <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap.css">
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style.css">
  <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Poppins:600&display=swap" rel="stylesheet">
  <!-- <link rel="stylesheet" href="css/all.min.css"> -->
  <!-- <link rel="stylesheet" href="css/fontawesome.min.css"> -->
  <link href="https://tresplazas.com/web/img/big_punto_de_venta_pog" rel="shortcut icon">
  <title>Inicio de sesión</title>
```

Figura 43. Código para importar los estilos

Elaborado por: La Investigadora

Luego se crea el formulario para que ingrese el usuario y contraseña mediante los códigos que se muestran en la figura 44 en esta imagen se observa que se llama a dos archivos más, los cuales son conexión.php y controlador_login.php.

```
<div class="login-content">
  <form method="post" action="">
    
    <h2 class="title">BIENVENIDO</h2>
    <?php
      include "modelo/conexion.php";
      include "controlador/controlador_login.php";
    ?>
    <div class="input-div one">
      <div class="i">
        <i class="fas fa-user"></i>
      </div>
      <div class="div">
        <h5>Usuario</h5>
        <input id="usuario" type="text" class="input" name="usuario">
      </div>
    </div>
    <div class="input-div pass">
      <div class="i">
        <i class="fas fa-lock"></i>
      </div>
      <div class="div">
        <h5>Contraseña</h5>
        <input type="password" id="input" class="input" name="password">
      </div>
    </div>
  </div>
```

Figura 44. Formulario de ingreso

Elaborado por: La Investigadora

Tras finalizar la programación de la página login.php, se presenta en la figura 45 la interfaz web diseñada para la autenticación de usuarios, destacando el estilo específico aplicado mediante CSS.



Figura 45. Página de inicio de sesión.

Elaborado por: La Investigadora

Se efectúa la codificación correspondiente para la página registro.php, en la cual se incluyen los distintos campos requeridos para la captura de información del paciente. En las figuras 46, 47 y 48 se exhibe la programación de algunos de estos campos que estarán presentes en la página para facilitar el proceso de registro.

```
<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Nombre</h5>
    <input id="nombre" type="text" class="input" name="nombre">
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Apellido</h5>
    <input id="apellido" type="text" class="input" name="apellido">
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Usuario</h5>
    <input id="usuario" type="text" class="input" name="usuario">
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
```

Figura 46. Formulario de registro.

Elaborado por: La Investigadora

```

</div>
<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Edad</h5>
    <input id="edad" type="text" class="input" name="edad">
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Género</h5>
    <select id="genero" class="input" name="genero">
      <option value="" disabled selected></option>
      <option value="Masculino" selected>Masculino</option>
      <option value="Femenino">Femenino</option>
      <option value="Otro">Otro</option>
    </select>
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Etnia</h5>
    <input id="etnia" type="text" class="input" name="etnia">
  </div>
</div>

```

Figura 47. Formulario de registro edad y género.

Elaborado por: La Investigadora

```

</div>
<div class="input-div select">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Estado Civil</h5>
    <select id="civil" class="input" name="civil">
      <option value="" disabled selected></option>
      <option value="Soltero(a)">Soltero(a)</option>
      <option value="Casado(a)">Casado(a)</option>
      <option value="Divorciado(a)">Divorciado(a)</option>
      <option value="Viudo(a)">Viudo(a)</option>
      <option value="Otro">Otro</option>
    </select>
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>
  <div class="div">
    <h5>Ocupación Actual</h5>
    <input id="ocupacion" type="text" class="input" name="ocupacion">
  </div>
</div>

<div class="input-div one">
  <div class="i">
    <i class="fas fa-user"></i>
  </div>

```

Figura 48. Formulario de registro estado y diagnóstico actual.

Elaborado por: La Investigadora

Una vez concluida la programación en el archivo registro.php, en la figura 49 se puede apreciar la estructura de la interfaz web destinada a registrar nuevos pacientes en el Centro de Fisioterapia Toasa. Esta interfaz ha sido diseñada cuidadosamente para brindar un entorno amigable y eficiente, facilitando el ingreso de la información requerida. Los diversos campos presentes en el formulario permiten capturar de manera precisa los datos esenciales de los pacientes, asegurando un registro completo y adecuado para el seguimiento y atención personalizada que se ofrece en el centro de fisioterapia. Con esta interfaz, se busca optimizar los procesos administrativos y mejorar la experiencia del usuario durante el registro, reafirmando el compromiso de brindar una atención de calidad y profesionalismo en cada paso del tratamiento.

The image shows a web interface for patient registration. On the left side, there is a large blue decorative shape. On the right, the page is titled 'BIENVENIDO' with a small profile icon above it. Below the title, there is a vertical list of form fields: 'Nombre', 'Apellido', 'Usuario', 'dd/mm/aaaa' (with a calendar icon), 'Edad', and 'Genero' (with a dropdown arrow). Each field has a corresponding input line.

Figura 49. Pagina para el registro de pacientes.

Elaborado por: La Investigadora

Creado las páginas de visualización se puede configurar archivos que permitan la conexión con la base de datos, autenticación y la subida de información en el caso de nuevos pacientes. Se programó la conexión a la base de datos en el archivo conexión.php, en la figura 50 se muestra el código usado en este documento.

```

10 > # conexion.php
<?php
$conexion = new mysqli('localhost', 'ortesis', 'ortesis', 'pacientes');
$conexion->set_charset('utf8');

?>

```

Figura 50. Programación del archivo conexion.php.

Elaborado por: La Investigadora

Se ha desarrollado un archivo que facilita la autenticación de los usuarios. Para lograr esto, se realiza una solicitud a la base de datos para verificar si las credenciales de inicio de sesión (nombre de usuario y contraseña) coinciden con los registros almacenados. En caso de que las credenciales sean correctas, se permite el acceso al sistema, mientras que, si se ingresó una contraseña incorrecta, se deniega el acceso. La programación detallada de esta funcionalidad se presenta en la figura 51.

```

<?php
session_start();
if(empty($_POST["btningresar"])){
    if(empty($_POST["usuario"]) and empty($_POST["password"])){
        $usuario=$_POST["usuario"];
        $password=$_POST["password"];
        $sql=$conexion->query(" select * from usuarios where usuario= '$usuario' and contraseña= '$password' ");
        if ($datos=$sql->fetch_object()){
            $_SESSION["id"]=$datos->id;
            $_SESSION["nombre"]=$datos->nombre;
            $_SESSION["apellido"]=$datos->apellido;
            $primeraDireccion = "http://192.168.31.67:1888/usuario?usuario=" . urlencode($usuario);
            $segundaDireccion = "http://192.168.31.67:1888/dashboard";

            // Realizar solicitud HTTP a la primera dirección en segundo plano
            file_get_contents($primeraDireccion);
            header("Location: http://192.168.31.67:1888/ui");

        }
        else{
            echo "<div class='alert alert-danger'>Acceso Denegado</div>";
        }
    }
    else{
        echo "campos vacios";
    }
}
?>

```

Figura 51. Programación del archivo controlador_login.php.

Elaborado por: La Investigadora

También se debe programar un archivo llamado controlador_registro.php que permita ingresar en la base de datos a nuevos pacientes, mediante la programación que se observa en la figura 51 se determina el ingreso de nuevos pacientes.

```

12 if (!empty($_POST["btnregistrar"])) {
13     if (!empty($_POST["nombre"]) || !empty($_POST["apellido"]) || !empty($_POST["usuario"]) || !empty($_POST["password"])) {
14
15         $nombre = $_POST["nombre"];
16         $apellido = $_POST["apellido"];
17         $usuario = $_POST["usuario"];
18         $password = $_POST["password"];
19         $fechaacimiento = $_POST["fechaacimiento"];
20         $edad = $_POST["edad"];
21         $genero = $_POST["genero"];
22         $etnia = $_POST["etnia"];
23         $nacionalidad = $_POST["nacionalidad"];
24         $civil = $_POST["civil"];
25         $ocupacion = $_POST["ocupacion"];
26         $lugar = $_POST["lugar"];
27         $dominancia = $_POST["dominancia"];
28         $antecedentes = $_POST["antecedentes"];
29         $alimentacion = $_POST["alimentacion"];
30         $tabaco = $_POST["tabaco"];
31         $alcohol = $_POST["alcohol"];
32         $drogas = $_POST["drogas"];
33         $actividades = $_POST["actividades"];
34         $sueño = $_POST["sueño"];
35         $consulta = $_POST["consulta"];
36         $actual = $_POST["actual"];
37         $peso = $_POST["peso"];
38         $talla = $_POST["talla"];
39
40         // verificar si el usuario ya existe
41         $sql = "SELECT * FROM usuarios WHERE usuario = '$usuario'";
42         $result = $conexion->query($sql);

```

Figura 52. Programación del archivo controlador_registro.php.

Elaborado por: La Investigadora.

Por último, se realiza la programación en Node-RED para que se visualice el dashboard del prototipo, para esto se abre un navegador web y se ingresa la IP del servidor seguido del puerto por el que escucha Node-RED que en este caso es 1883. Cabe indicar que aquí se programa mediante nodos que se conectan entre sí y generan la acción que uno necesita. Se toma el nombre de usuario de la autenticación mediante GET, como se muestra en la figura 53 en donde se tiene el nodo para la petición y su configuración.

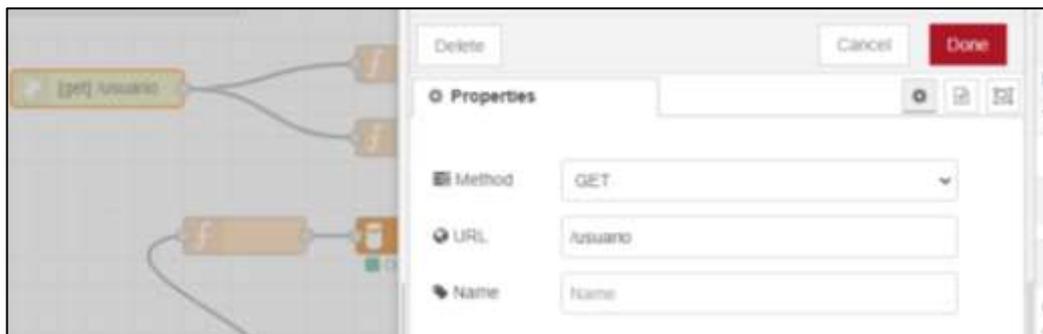


Figura 53. Petición GET.

Elaborado por: La Investigadora

Se crea un nodo función que permita guardar el nombre de usuario en una variable global como se observa en la figura 54.



Figura 54. Función para guardar en una variable global.

Elaborado por: La Investigadora

Ahora se debe adquirir los datos del prototipo, en la figura 55 se puede observar los nodos de programación para obtener cada uno de los parámetros que se envía mediante la ESP8266.

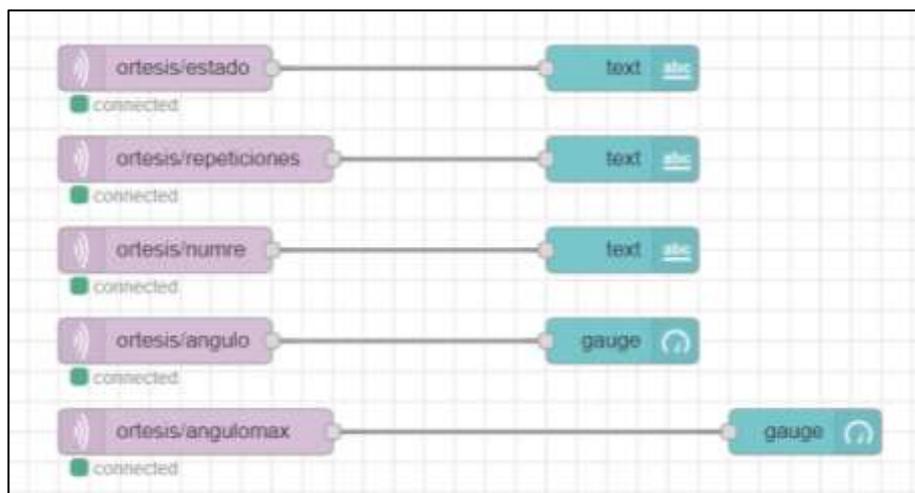


Figura 55. Datos mediante MQTT.

Elaborado por: La Investigadora

En el panel es necesario insertar una tabla que muestre las series realizadas por el prototipo, así el fisioterapeuta puede tener el registro de su avance. En la figura 56 se muestra la programación para obtener los datos necesarios que se visualizarán en una tabla.

```
var resultados = msg.payload;
var datos = [];
for (var i = 0; i < resultados.length; i++) {
  var resultado = resultados[i];
  var fechaora = new Date(resultado.fecha);
  var fechaformateada = fechaora.toLocaleString('es-ec', { timeZone: 'America/Guayaquil', hour12: false });
  var objeto = {
    "estado": resultado.estado,
    "Ángulo Máximo": resultado.angulomax,
    "Repeticiones": resultado.repeticiones,
    "Fecha": fechaformateada
  };
  datos.push(objeto);
}
msg.payload = datos;
return msg;
```

Figura 56. Datos para la tabla.

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 57 se muestra la interfaz de visualización en donde se observa el usuario, el modo, ángulo actual, ángulo máximo, repeticiones y repetición actual, con esto se visualiza en tiempo real el procedimiento del prototipo.



Figura 57. Estructura general del panel.

Elaborado por: La Investigadora

3.2.13. Manual de uso del dispositivo

Se realizó un manual del dispositivo para que la persona que vaya a controlarlo pueda usarlo de la mejor manera posible y evite confusiones en su funcionamiento, en la figura 58 se observa la distribución de botones del teclado matricial, a cada uno se le asignó un valor para posteriormente en la tabla 12 especificar la acción que realiza cada botón según la visualización de la pantalla en el display.

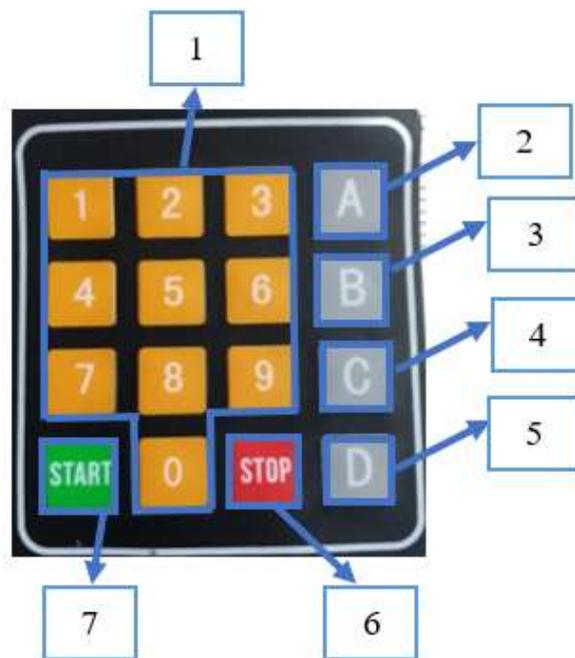
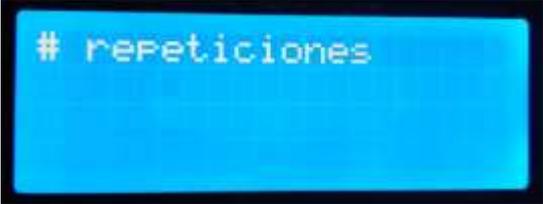


Figura 58. Distribución de botones.

Elaborado por: La Investigadora

Tabla 12. Manual de uso del dispositivo

Display	Botones
	<p>1: No realiza ninguna acción 2: Ingresa al número de repeticiones 3: Ingresa al ángulo máximo 4: No realiza ninguna acción 5: Regresa al menú anterior 6: No realiza ninguna acción 7: Inicia las repeticiones</p>
	<p>1: Ingresa valores 2: No realiza ninguna acción 3: No realiza ninguna acción 4: Guarda el valor 5: Regresa al menú anterior 6: No realiza ninguna acción 7: No realiza ninguna acción</p>
	<p>1: Ingresa valores 2: No realiza ninguna acción 3: No realiza ninguna acción 4: Guarda el valor 5: Regresa al menú anterior 6: No realiza ninguna acción 7: No realiza ninguna acción</p>
	<p>1: No realiza ninguna acción 2: No realiza ninguna acción 3: No realiza ninguna acción 4: No realiza ninguna acción 5: No realiza ninguna acción 6: Para el sistema 7: No realiza ninguna acción</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 1: No realiza ninguna acción 2: No realiza ninguna acción 3: No realiza ninguna acción 4: Repite el proceso 5: Regresa al menú anterior 6: No realiza ninguna acción 7: No realiza ninguna acción
	<ol style="list-style-type: none"> 1: No realiza ninguna acción 2: Pone el movimiento hacia adelante 3: Pone el movimiento hacia atrás 4: No realiza ninguna acción 5: Regresa al menú anterior 6: Para el sistema 7: Inicia el sistema

3.2.14. Pruebas de Ergonomía

Es indispensable realizar las pruebas de ergonomía del prototipo, ya que así se evalúa la comodidad, usabilidad y eficiencia del dispositivo para los diferentes pacientes del Centro de Fisioterapia Toasa. Se realizó las pruebas a 6 pacientes de diferentes características tanto en edad, altura, peso y la longitud de la pantorrilla y del muslo.

Cabe indicar que estas pruebas fueron realizadas por personal capacitado del Centro de Fisioterapia Toasa, ya que se debe tener un sumo cuidado al momento de interactuar con los pacientes que sufren de artrosis de rodilla. En la tabla 13 se muestra la prueba de ergonomía al paciente 1, el mismo que tiene una edad de 56 años y una altura de 1,74 m.

Tabla 13. Prueba de ergonomía al paciente 1.

PACIENTE 1				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
56	1,74	75	45	44
FLEXIÓN			EXTENSIÓN	
				

En la tabla 14 se observa al paciente 2, con una edad de 61 años y una altura de 1,57 m, de igual forma se realizó la flexión y extensión de la extremidad inferior.

Tabla 14. Prueba de ergonomía al paciente 2.

PACIENTE 2				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
61	1,57	63	44	41
FLEXIÓN			EXTENSIÓN	
				

El paciente 3 que se sometió a la prueba de ergonomía tiene una longitud del muslo de 45 cm y una longitud de la pantorrilla de 42 cm como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Prueba de ergonomía al paciente 3.

PACIENTE 3				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
63	1,64	68	45	42
FLEXIÓN		EXTENSIÓN		
				

En la tabla 16 se muestra al paciente 4 con un peso de 83 kg y una altura de 1,70 m.

Tabla 16. Prueba de ergonomía al paciente 4.

PACIENTE 4				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
59	1,70	83	47	42
FLEXIÓN		EXTENSIÓN		
				

El paciente 5 cuenta con una edad de 33 años y se mantiene en una longitud del muslo de 44 cm y una longitud de la pantorrilla de 42 cm como se visualiza en la tabla 17.

Tabla 17. Prueba de ergonomía al paciente 5.

PACIENTE 5				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
33	1.65	65	44	42
FLEXIÓN			EXTENSIÓN	
				

Por último, se realizó la prueba de ergonomía al paciente 6, el mismo que constaba de una edad de 40 años y una altura de 1,77 m de altura.

Tabla 18. Prueba de ergonomía al paciente 6.

PACIENTE 6				
EDAD (AÑOS)	ALTURA (m)	PESO (kg)	Longitud muslo (cm)	Longitud pantorrilla (cm)
40	1,77	86	44	44
FLEXIÓN			EXTENSIÓN	
				

Después de completar las evaluaciones de ergonomía en los diversos pacientes del Centro de Fisioterapia Toasa, se llevó a cabo una encuesta a cada uno de ellos que participó en el proceso de rehabilitación, con el propósito de evaluar el grado de aceptación del dispositivo utilizado para la rehabilitación de rodilla. En la tabla 19 se muestra las preguntas referentes a la encuesta en la cual se estableció un total de 5 preguntas y se aplicó la escala de Likert para poder medir el grado de aceptación del prototipo. Donde:

1=Muy satisfecho

2=Satisfecho

3=Poco satisfecho

4= Nada satisfecho

Tabla 19. Preguntas de las encuestas realizadas a los pacientes.

N.º	Preguntas	1	2	3	4
1	¿Está de acuerdo que el prototipo efectúa en usted una terapia de movilidad de manera adecuada?				
2	¿Está usted de acuerdo en remplazar la terapia de movimiento manual con la terapia asistida por el prototipo durante sus sesiones de fisioterapia?				
3	¿Qué tan satisfecho se encuentra con la ergonomía y adaptabilidad del prototipo a su extremidad inferior?				
4	¿Está usted de acuerdo que el Centro de Rehabilitación acoja métodos tecnológicos para realizar terapias asistidas a sus pacientes?				
5	¿Cómo calificaría su experiencia general con la utilización del prototipo en su sesión de movilidad?				

La tabla 20 contiene las respuestas recopiladas de los seis pacientes que participaron en la encuesta referente a las pruebas ergonomía, de igual forma en la figura 59 se muestra el gráfico de barras en donde se presenta los resultados de la encuesta realizada para medir la eficiencia y aceptación del prototipo.

Tabla 20. Respuesta de los pacientes a la encuesta realizada.

Paciente	PREGUNTAS																													
	1					2					3					4					5									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	x					x					x					x					x					x				
2	x							x			x					x										x				
3	x					x					x					x										x				
4		x					x				x						x									x				
5		x					x				x					x										x				
6	x					x					x					x										x				

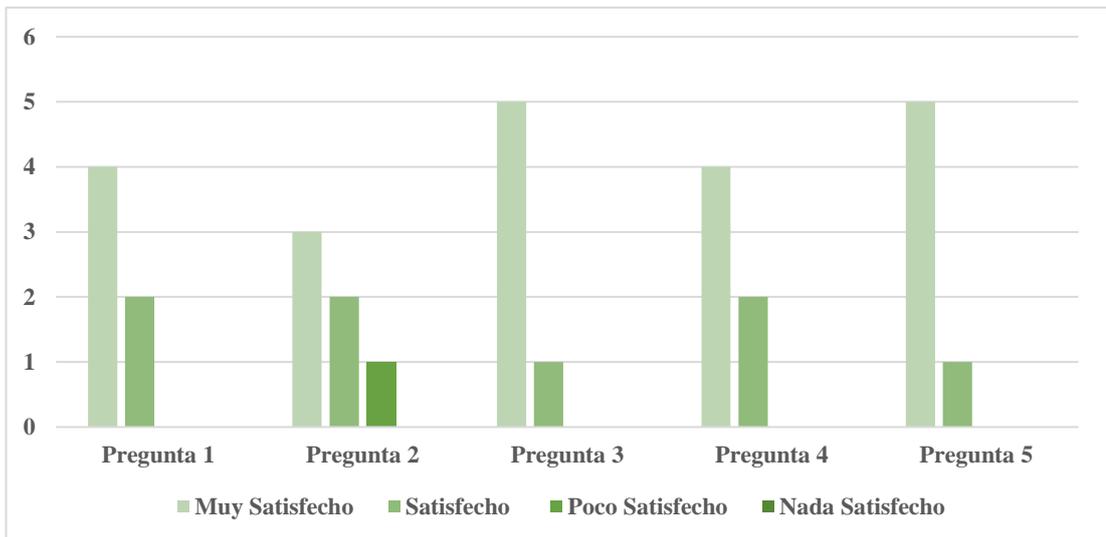


Figura 59. Análisis de resultados de la encuesta

Elaborado por: La Investigadora

Luego de minuciosamente analizar los resultados de la encuesta llevada a cabo, llegamos a la gratificante conclusión de que el dispositivo diseñado para la rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla ha sido recibido con gran satisfacción. La figura 59 resalta de manera evidente un índice excepcionalmente alto de pacientes que se declaran "muy satisfechos" y "satisfechos" con el dispositivo, ya que se ajusta perfectamente a sus características físicas y no genera ninguna incomodidad durante su uso.

De acuerdo con los datos recopilados, un notable 66.7% de los encuestados se encuentra en el grupo de "muy satisfechos" con los resultados obtenidos del dispositivo en la pregunta 1, mientras que el 33.4% se muestra "satisfecho". En la pregunta 2, el 50% expresó estar "muy satisfecho", el 33,3% se manifestó "satisfecho" y el 16.7% se manifestó "poco satisfecho" demostrando así un alto nivel de satisfacción general.

Asimismo, en la pregunta 3, el 83.3% de los participantes indicó sentirse "muy satisfecho" y el 16.7% restante se consideró "satisfecho", lo que confirma el alto grado de aprobación del dispositivo en cuanto a sus beneficios para la rehabilitación de la artrosis de rodilla.

En la pregunta 4, los resultados fueron igualmente positivos, con un 66.7% de los encuestados "muy satisfechos" y el 33.3% "satisfecho". En cuanto a la pregunta 5, el 83.3% se mostró "muy satisfecho" y el 16.7% "satisfecho", afirmando nuevamente la alta aceptación del dispositivo.

3.2.15. Pruebas de Funcionamiento en el Centro de Fisioterapia Toasa

Para llevar a cabo las pruebas de funcionamiento, se comenzó por capacitar al especialista en fisioterapia y a los pacientes sobre el uso y manejo del sistema, explicando el procedimiento adecuado a través de un manual de uso adjunto. Dado que el sistema es un prototipo, se evaluó en pacientes con la patología en estudio, previa aprobación y consentimiento del Centro de Fisioterapia Toasa y el especialista en fisioterapia.

Se realizaron pruebas piloto en cuatro pacientes que estaban en proceso de rehabilitación, aplicando rigurosamente el prototipo durante la etapa de rehabilitación. Se capacitó a cada persona en el sistema implementado y se realizó un seguimiento para constatar el progreso. Es importante destacar que las pruebas se llevaron a cabo a partir del 15 de mayo de 2023.

En la figura 60 se muestra el ingreso de los datos del paciente al sistema para que se almacene en la base de datos. Se realiza el ingreso de la edad, nombre, apellido, género, entre otros campos.

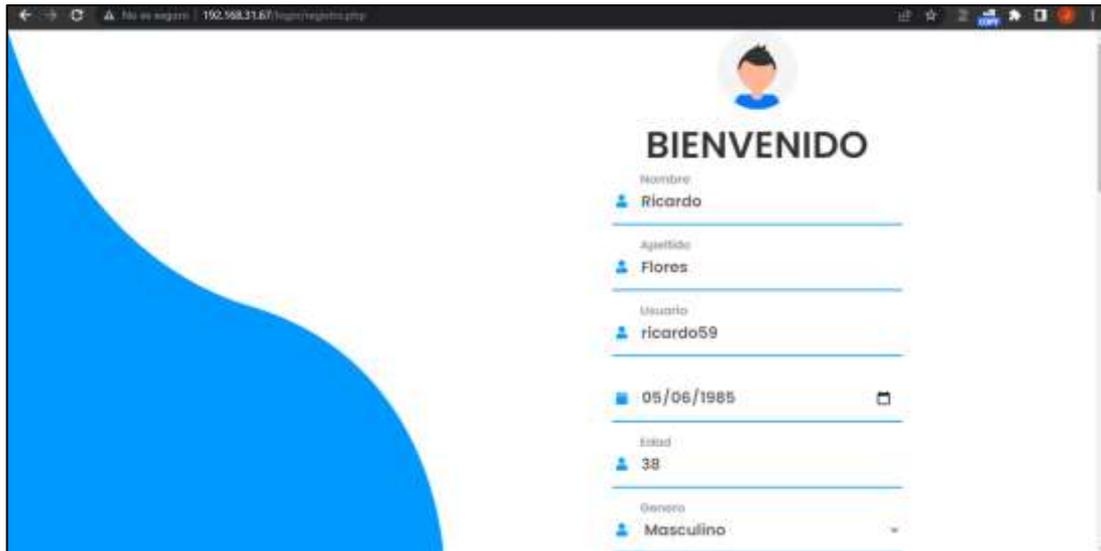


Figura 60. Ingreso de datos

Elaborado por: La Investigadora

Una vez realizado el ingreso de datos se muestra un mensaje en el cual se indica que el ingreso ha sido realizado con éxito tal como se observa en la figura 61.



Figura 61. Ingreso de datos exitoso

Elaborado por: La Investigadora

El mismo procedimiento se realizó a cada uno de los pacientes para poder tener la información en la base de datos y llevar el historial de las sesiones en que se utiliza la máquina de rehabilitación de artrosis de rodilla. En la figura 62 se visualiza como se ingresa los datos para poder realizar el inicio de sesión.

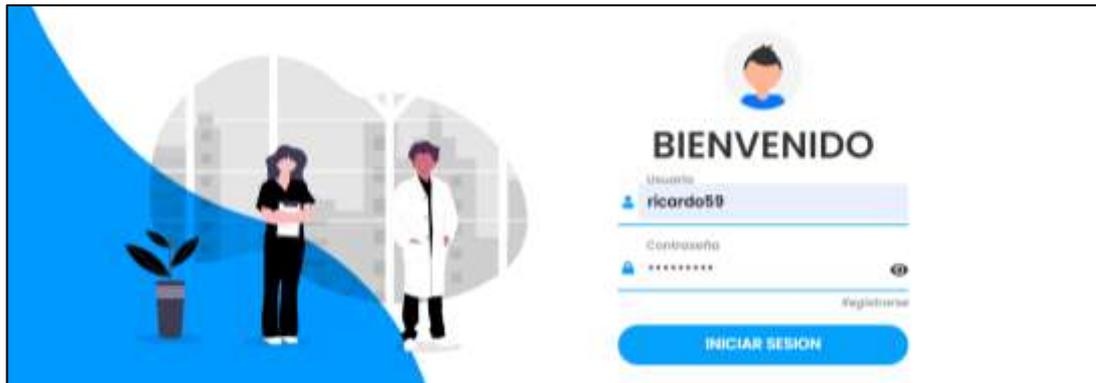


Figura 62. Inicio de sesión.

Elaborado por: La Investigadora

Después de realizar la autenticación, nos redirige a la página de monitoreo del paciente como se observa en la figura 63. Aquí se muestra los datos que se monitorean, de igual forma el historial de las sesiones realizadas con el prototipo, como se ingresó un nuevo paciente no se cuenta con un historial.



Figura 63. Dashboard del nuevo paciente

Elaborado por: La Investigadora

Después de realizar el registro y la autenticación del paciente se procede al ingreso de datos en el dispositivo según los requerimientos del fisioterapeuta. En la figura 64 se puede observar el menú para ingresar los datos, tanto de las repeticiones como el ángulo máximo a alcanzar.



Figura 64. Ingreso de datos para las repeticiones.

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 65 se muestra el funcionamiento del sistema, en donde se visualiza en el display el ángulo actual, las repeticiones establecidas por el fisioterapeuta y la repetición en la que se encuentra.



Figura 65. Ingreso de datos para las repeticiones.

Elaborado por: La Investigadora

De igual forma se puede visualizar el monitoreo en la interfaz web, en donde se muestran los datos enviados del dispositivo, como se observa en la figura 66 se encuentra el ángulo actual de la flexión de rodilla, el número de repeticiones totales a realizar y también en la parte de abajo se visualiza una tabla con las repeticiones realizadas en paciente mediante el dispositivo.



Figura 66. Monitoreo del paciente.

Elaborado por: La Investigadora

Prueba de funcionamiento Paciente N.-1

El paciente sufrió una fractura asociada a un accidente laboral, presenta crepitación, hinchazón y dolor en rodillas (artrosis de rodillas), lo cual imposibilita el movimiento de la rodilla, para tratarlo se aplica el prototipo en la etapa de fortalecimiento muscular y asistencia, en las series de repeticiones de los movimientos de flexión y extensión, evidencia que se muestra en la figura 67, 68.



Figura 67. Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-1

Elaborado por: La Investigadora



Figura 68. Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-1

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 69 se muestra los datos en el Dashboard (interfaz gráfica) del paciente N°1, en donde se visualiza los datos recibidos del dispositivo y el historial del proceso realizado.



Figura 69. Seguimiento del proceso en el paciente 1.

Elaborado por: La Investigadora

En la tabla 21 se detalla el proceso de seguimiento del paciente en su tratamiento predispuesto por el fisioterapeuta en el cual se incluyó el prototipo propuesto y se evidencio el avance continuo del paciente en cada fase de las sesiones asistidas en la cual el paciente ha mejorado notoriamente su rango de movimiento y disminución de la escala EVA de dolor.

Tabla 21. Proceso de seguimiento del paciente N.-1

Paciente N.- 1					
Fase 1					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100%	0%
Colocación de agentes físicos (contraste frio/calor)	40	0	40	100%	0%
Movilidad pasiva 3 series 15 repeticiones	50	40	10	20%	80%
Total	120	40	80	73,3%	26,6%
Fase 2					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis

Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100%	0%
Contraste frio/calor 15 min	20	0	20	100%	0%
Movilidad asistida 3 series 20 repeticiones	20	10	10	50%	50%
Hidroterapia (Marcha, Natación)	40	0	40	100%	0%
Total	110 min	10 min	100 min	87,5%	12,5%
Fase 3					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100%	0%
Colocación de TENS.	15	0	15	100%	0%
Realizar movimientos isométricos de rodilla.	40	30	10	25 %	75 %
Movilidad activo asistidas 4 series 15 repeticiones	30	15	15	50 %	50 %
Trabajo de aductores con ligas	20	0	20	100 %	0 %
Bicicleta 30 min resistencia baja	30	0	30	100 %	0 %
Total	165 min	45 min	90 min	79,16 %	20,83 %
Fase 4					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Fortalecimiento de miembro inferior, cuádriceps, isquiotibiales y aductores	30	25	5	16,6 %	83,3 %
Sentadillas 10 repeticiones por 4 series con apoyo en escalera sueca.	20	0	20	100 %	0 %
Subir y bajar gradas (3	20	0	20	100 %	0 %

escalones 10 series)					
Bicicleta 30 min resistencia leve a moderado	20	0	20	100 %	0 %
Total	90 min	25 min	65 min	79,1 %	20,83 %

Prueba de funcionamiento Paciente N.-2

El paciente N.-2 presenta dolor al caminar por tiempo prolongado, no puede agacharse, refiere que el dolor apareció hace un año, pero meses atrás se intensificó, reduciendo la velocidad de movimiento de la extremidad inferior, para tratarlo se aplica el prototipo en la etapa de fortalecimiento muscular, terapia manual y uso de dispositivos de asistencia proceso que se muestra en la figura 70, 71.



Figura 70. Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-2

Elaborado por: La Investigadora



Figura 71. Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-2

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 72 se muestra los datos recopilados al momento de usar el dispositivo para rehabilitación de rodilla en donde se expresa el número de repeticiones realizadas, las series y el ángulo máximo alcanzado.



Figura 72. Monitoreo del paciente 2

Elaborado por: La Investigadora

En la tabla 22 se detalla el proceso de seguimiento que tomo el paciente en el tratamiento predispuesto por el fisioterapeuta, presentando el avance de tiempo en cada etapa requerida.

Tabla 22. Proceso de seguimiento del paciente N.-2

Paciente N.- 2					
Fase 1					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de agentes físicos (contraste frio/calor)	30	0	30	100 %	0 %
Movilidad pasiva 3 series 10 repeticiones	50	40	10	20 %	80 %
Movilidad Artrokinematica método Maitland grado 1y 2 para alivio del dolor	45	40	5	11,1 %	88,8%
Total	155 min	80 min	75 min	57,7 %	42,2 %
Fase 2					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100%	0 %
Colocación de TENS.	20	0	20	100 %	0 %
Contraste frio/calor 15 min	20	0	20	100 %	0 %
Movilidad pasiva 3 series 20 repeticiones	40	20	20	50 %	50 %
Movilidad Artrokinematica método Maitland grado 1y 2 para alivio del dolor	45	40	5	11,1 %	88,8%
Total	155 min	60 min	95 min	72,2 %	27,7%
Fase 3					

Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de TENS.	15	0	15	100 %	0 %
Realizar movimientos isométricos de rodilla.	30	25	5	16,6 %	83,3 %
Movilidad activo asistidas 3 series 20 repeticiones	30	15	15	50 %	50 %
Propiocepción en disco boholer	20	10	10	50 %	50 %
Movilidad Artrokinematica método Maitland grado 3 y 4 para ROM	30	25	5	16,6 %	83,3 %
Total	155 min	75 min	80 min	55,5 %	44,4 %
Fase 4					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Fortalecimiento de miembro inferior, cuádriceps, isquiotibiales, gastrocnemios.	30	20	10	33,3 %	66,6 %
Sentadillas 10 reps por 4 series. Frente a escalera sueca	30	0	30	100 %	0 %
Subir y bajar gradas (3 escalones 10 series)	20	0	20	100 %	0 %
Bicicleta 30 min	20	0	20	100 %	0 %
Total	100 min	20 min	80 min	83,3 %	16,65 %

Prueba de funcionamiento Paciente N.-3

El paciente N.-3 presenta dolor de la rodilla derecha, afección que empezó levemente hace dos meses y que ahora se intensifico hasta Eva 8 con restricción leve de la flexión de rodilla, por lo cual requiere de terapia física, para tratarlo se aplica el prototipo en

la etapa de terapia manual asistida, fortalecimiento muscular, y uso de dispositivos de asistencia, proceso que se muestra en la figura 73, 74.



Figura 73. Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-3

Elaborado por: La Investigadora



Figura 74. Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-3

Elaborado por: La Investigadora

La interfaz en donde se visualiza el historial y los datos enviados del paciente 3 se muestran en la figura 75 se puede observar el ángulo actual, ángulo máximo y el historial de las sesiones realizadas en el Centro de Fisioterapia Toasa.



Figura 75. Monitoreo del paciente 3

Elaborado por: La Investigadora

En la tabla 23 se detalla el proceso de seguimiento que tomo el paciente, presentando el avance de tiempo en cada etapa requerida.

Tabla 23. Proceso de seguimiento del paciente N.-3

Paciente N.- 3					
Fase 1					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de agentes físicos (contraste frio/calor)	20	0	20	100 %	0 %
Movilidad pasiva 3 series 20 repeticiones	50	40	10	20 %	80 %
Estiramiento de grupos musculares	30	20	10	33,3 %	66,6 %

(cuádriceps isquios) 3					
Total	130 min	60 min	70 min	63,3 %	36,6 %
Fase 2					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de TENS.	20	0	20	100 %	0 %
Contraste frio/calor 15 min	20		20	100 %	0 %
Movilidad activa asistida 3 series 20 repeticiones	40	20	20	50 %	50 %
Descargas de peso	30	0	30	100 %	0 %
Total	140 min	20 min	120 min	90 %	10 %
Fase 3					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de TENS.	15	0	15	100 %	0 %
Realizar movimientos isométricos de rodilla.	30	25		16,6 %	83,3 %
Movilidad activo asistidas 4 series 15 repeticiones	30	15	15	50 %	50 %
Propiocepción en disco boholer	20	10	10	50 %	50 %
Total	125 min	50 min	75 min	63,3 %	36,6 %
Fase 4					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Fortalecimiento de miembro inferior, cuádriceps, isquiotibiales, gastrocnemios.	30	20	1	33,3 %	66,6 %

Sentadillas con peso	30	0	30	100 %	0 %
Bicicleta 30 min	25	0	25	100 %	0 %
Total	75 min	20 min	65 min	77,8 %	22,22 %

Prueba de funcionamiento Paciente N.-4

El paciente N.-4 acude a fisioterapia por dolor de ambas rodillas refiere que el dolor apareció gradualmente hace unos 4 meses donde se intensificó las últimas semanas, presenta limitación a la flexión en 75°, crepitación y signo del cepillado en las dos rotulas, lo que le ocasionó artrosis de rodilla por lo que demanda de terapia física moderada incluido en la etapa de fortalecimiento muscular, estiramientos y actividades de bajo impacto, para reestablecer las funciones de movimiento de la rodilla, el proceso se muestra en la figura 76, 77.



Figura 76. Movimiento de flexión con el dispositivo paciente N.-4

Elaborado por: La Investigadora



Figura 77. Movimiento de extensión con el dispositivo paciente N.-4

Elaborado por: La Investigadora

En la figura 78 se muestra los datos obtenidos del paciente numero 4 mediante el dispositivo para la rehabilitación de rodilla, y de igual forma se visualiza el historial de este.



Figura 78. Monitoreo del paciente 4

Elaborado por: La Investigadora

En la tabla 24 se detalla el proceso de seguimiento del paciente y la rutina de tratamiento predispuesto por el fisioterapeuta, presentando el avance de tiempo en cada etapa.

Tabla 24. Proceso de seguimiento del paciente N.-4

Paciente N.- 4					
Fase 1					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Colocación de agentes físicos (contraste frío/calor)	20	0	20	100 %	0 %
Movilidad pasiva 3 series 15 repeticiones	45	40	5	88,8 %	11,1 %
Movilidad activa asistida 3 series de 15 repeticiones	30	2	10	33,3 %	66,6 %
Total	125 min	60 min	65 min	80,5 %	19,5 %
Fase 2					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %
Contraste frío/calor 15 min	20	0	20	100 %	0 %
Movilidad asistida 4 series 20 repeticiones	30	25	5	16,6 %	83,3 %
Hidroterapia (Marcha, Natación)	40		40	100 %	0 %
Total	120 min	25 min	95 min	79,2 %	20,8 %
Fase 3					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Aplicación de Magnetoterapia durante 30 minutos.	30	0	30	100 %	0 %

Colocación de TENS.	15	0	15	100 %	0 %
Realizar movimientos isométricos de rodilla.	30	25	5	16,6 %	83,3 %
Movilidad activo asistidas 4 series 15 repeticiones	30	15	1	50 %	50 %
Trabajo de aductores con ligas y escalera sueca	20	0	20	100 %	0 %
Bicicleta 30 min resistencia baja	30	0	30	100 %	0 %
Total	155 min	40 min	11 min	77,7 %	22,2 %
Fase 4					
Tratamiento	Tiempo empleado (min)	T. Órtesis (min)	T. Manual (min)	Intervención manual	Intervención de Órtesis
Fortalecimiento de miembro inferior, cuádriceps, isquiotibiales, gastrocnemios, glúteos, tensor de la fascia y aductores	40	30	10	25 %	75 %
Sentadillas 10 reps por 4 series con apoyo en escalera sueca.	30	0	30	100 %	0 %
Subir y bajar gradas (3 escalones 10 series)	25	0	25	100 %	0 %
Bicicleta 30 min resistencia leve a moderado	30	0	30	100 %	0 %
Total	125 min	30 min	95 min	81.2 %	18,75 %

Después de recopilar los datos del seguimiento de cada paciente, se procede a extraer la información relevante para considerarla en el estudio y análisis de este proyecto. En este proceso, se evalúa el grado de intervención física del fisioterapeuta en cada paciente, en la tabla 25 se muestran los datos relevantes.

Tabla 25. Comparación de intervención de tratamiento por parte del fisioterapeuta.

Pacientes	Fase1	Fase2	Fase3	Fase4	Promedio % Órtesis	Promedio % Manual
Paciente 1	26,6 %	12,5 %	20,8%	20,8 %	20,19 %	
	73,3 %	87,5 %	79,1 %	79,1 %		79,7%
Paciente 2	42,2 %	27,7 %	44,4 %	16,6 %	32,73 %	
	57,7 %	72,2 %	55,5 %	83,3 %		67,18%
Paciente 3	36,6 %	10 %	36,6 %	22,2 %	26,36 %	
	63,3 %	90 %	63,3 %	77,8 %		73,6%
Paciente 4	19,5 %	20,8 %	22,2 %	18,7 %	20,3 %	
	80,5 %	79,2 %	77,7 %	81,2 %		79,65%

Una vez finalizadas las pruebas de funcionamiento en los pacientes, se procede a calcular el promedio del porcentaje de intervención del dispositivo utilizado en cada etapa de rehabilitación para cada paciente. Este cálculo permite evaluar la efectividad y contribución del dispositivo en el proceso de recuperación, brindando al fisioterapeuta una herramienta adicional para optimizar el tratamiento y monitorear el progreso de cada paciente en su rehabilitación, como se observa en la tabla 25 en el paciente 1 ayudo en un 20,19% en su tratamiento de igual forma en los otros pacientes 32,73%, 26,36% y 20,3% respectivamente. Por lo que se determina que el dispositivo fue de gran ayuda para el Centro de Fisioterapia Toasa.

También se realizó una encuesta al fisioterapeuta encargado para determinar su nivel de conformidad con el prototipo, en la tabla 26 se muestra las preguntas realizadas siguiendo el mismo esquema de valoración que se realizó en la encuesta presentada en la tabla 19.

1=Muy satisfecho

2=Satisfecho

3=Poco satisfecho

4= Nada satisfecho

Tabla 26. Encuesta al fisioterapeuta.

N.º	Preguntas	1	2	3	4
1	¿El prototipo efectúa y cumple con la terapia de rehabilitación de manera adecuada en sus pacientes?	x			
2	¿Está de acuerdo con los movimientos de flexo extensión que realiza el prototipo en los pacientes con artrosis de rodilla?	x			
3	¿Está de acuerdo en que el prototipo disminuye su desgaste físico al momento de realizar la convencional terapia manual?	x			
4	¿Está de acuerdo con la ergonomía y adaptabilidad del prototipo en cuanto a las necesidades de sus pacientes?	x			
5	¿Está de acuerdo con el control, manipulación y monitoreo de datos implementado en el prototipo?	x			

La encuesta realizada al fisioterapeuta determino que se encuentra conforme con el prototipo, teniendo un alto grado de aceptación según las necesidades y requerimientos del centro. En lo que respecta a su funcionamiento, ha demostrado ser de gran utilidad al asistir en las series de repeticiones durante el proceso de rehabilitación. Gracias a su eficiente desempeño, se ha logrado una notable reducción en el esfuerzo requerido por el fisioterapeuta, lo que ha permitido una atención más eficiente y efectiva en el tratamiento de los pacientes.

En la tabla 25 se establece que al momento de realizar una recuperación para pacientes con artrosis de rodilla se disminuye la intervención del fisioterapeuta, gracias esto se disminuye el trabajo realizado por el personal del centro de fisioterapia, y también se determinó un ángulo más preciso al momento de realizar los movimientos de flexión y extensión, ya que como se observa en la figura 79 ya que este se desarrollaba de una manera empírica y no se tenía un control exacto del ángulo en el que se realizaba la flexión de la rodilla del paciente.



Figura 79. Movimientos de flexión de forma manual.

Elaborado por: La Investigadora

3.2.16. Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se realizó mediante el valor de los dispositivos utilizados y de igual forma la mano de obra empleada tanto en el diseño de la estructura, las conexiones y en el desarrollo de la interfaz. Se contabilizó el número de horas invertidas en el prototipo y mediante el salario de un Ingeniero en Telecomunicaciones de acuerdo con el Ministerio de Trabajo que es un total de 858 dólares de 21 días laborables.

$$Salario_{Diario} = \frac{Salario_{mensual}}{Dias_{laborables}}$$

$$Salario_{Diario} = \frac{858 \$}{21}$$

$$Salario_{Diario} = 40.85\$$$

Una vez calculado el valor del día de trabajo, se calcula el valor de la hora tomando en consideración que se trabaja 8 horas al día.

$$\text{Salario}_{\text{hora}} = \frac{40.85 \$}{8}$$

$$\text{Salario}_{\text{hora}} = 5.10 \$$$

Se tiene un salario por hora de 5.10\$ para un Ingeniero en Telecomunicaciones, por último, se multiplica por las horas invertidas en el proyecto, lo cual se establece alrededor de 290 horas.

$$\text{Presupuesto}_{\text{Diseño}} = 5.10\$ * 290 \text{ horas}$$

$$\text{Presupuesto}_{\text{Diseño}} = 1479 \$$$

Ahora se procede a calcular el valor de los materiales que se invirtieron en el presente proyecto, en la tabla 27 se muestra los valores de los elementos adquiridos para el dispositivo para la rehabilitación de pacientes con artrosis de rodilla

Tabla 27. Presupuesto del proyecto

Nº	Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
1	Base de la estructura	1	478.00	478.00
2	Posa Pies	1	25.00	25.00
3	Barra de muslo	1	40.00	40.00
4	Barra de pierna	1	20.00	20.00
5	Barra de apoyo	2	15.00	30.00
6	Tornillo de potencia	1	50.00	50.00
7	Chumaceras	2	10.00	20.00
8	Caja de reducción	1	10.00	10.00
9	Tornillos	20	0.15	3.00
10	Arduino Mega	1	36.61	36.61
11	LCD 20 X4	1	19.99	19.99
12	ESP8266	1	10.50	10.50
13	Puente H	1	20	20
14	Teclado Matricial	1	3.25	3.25
15	Motor DC	1	35.00	35.00
16	Fuente de energía	1	32.50	32.50
17	Potenciómetro lineal	1	0.50	0.50
Total				834.05

El presupuesto total del proyecto se establece en la suma del presupuesto del diseño más el presupuesto de los materiales.

$$Presupuesto_{Total} = 1479.00 \$ + 834.05 \$$$

$$Presupuesto_{Total} = 2313.05 \$$$

El presupuesto del proyecto fue de 2313.05 \$ y fue financiado en un porcentaje por el Centro de Fisioterapia Toasa y por el investigador

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La investigación sobre el "Sistema de Rehabilitación para el Tratamiento de Artrosis de Rodilla" ha sido de gran relevancia al abordar exhaustivamente los diversos factores de riesgo que se han relacionado con desarrollo y progresión de esta condición, como la degradación de la matriz extracelular y el estrés celular, sobrepeso, factores ocupacionales, traumatismos, mala alineación de las extremidades, componentes genéticos y el desgaste natural asociado al envejecimiento. Los hallazgos destacan que aproximadamente el 1% de la población mundial se ve afectada por esta afección debilitante, resaltando la importancia de contar con enfoques efectivos para su tratamiento. Además, el estudio ha demostrado la necesidad de enfoques personalizados de rehabilitación según la gravedad de la afección y el número de sesiones requeridas para lograr una recuperación satisfactoria, considerando una amplia gama de tratamientos que incluyen desde la intervención manual del fisioterapeuta hasta el uso de equipos como las ortesis, que mejoran significativamente la movilidad y funcionalidad de la rodilla.
- El sistema implementado ha realizado una contribución significativa al asegurar un monitoreo efectivo del proceso de rehabilitación en pacientes con artrosis de rodilla. Se llevó a cabo un minucioso análisis en la selección de los componentes de hardware y software apropiados para optimizar el rendimiento del sistema, destacando la elección del servidor LAMP ya que nos brinda una solución completa y versátil para el desarrollo y almacenamiento de la aplicación web de monitoreo. Además, se seleccionaron componentes específicos, como el puente H BTN7960B, que permite soportar hasta 10 A de corriente adaptándose al motor conectado a sus terminales. Una fuente de alimentación de 12 voltios con capacidad de suministrar hasta 10 amperios de corriente, satisfaciendo los requerimientos energéticos del sistema con un consumo de 82.98 W. La inclusión

de un display y un LCD también resultó crucial para lograr un control completo y preciso sobre el funcionamiento del prototipo, asegurando así un sistema de rehabilitación eficiente para los pacientes. Luego de un análisis exhaustivo, se determinó que el módulo ESP8266 era la elección más idónea debido a su capacidad de conexión inalámbrica a través de una red WiFi. Esta elección ha permitido agilizar y optimizar el envío y recepción de datos en tiempo real, brindando un seguimiento eficiente del proceso de rehabilitación para los pacientes con artrosis de rodilla. Gracias a esta solución tecnológica, se ha logrado una mejor supervisión y análisis de los datos recopilados, mejorando así la efectividad y la calidad del sistema de rehabilitación en beneficio de los pacientes.

- El sistema electrónico implementado fue un aporte significativo para mejorar la atención y tratamiento de la afección, ya que permite realizar pruebas directas en pacientes, y se determina un tratamiento de recuperación personalizado, adaptado a su historial clínico y diagnóstico médico, por lo que se constituye en una herramienta valiosa para el fisioterapeuta y el paciente, al brindar comodidad, seguridad y precisión en la ejecución de rutinas predispuestas, mejorando así los resultados del tratamiento. Además, el sistema ha facilitado la evaluación del porcentaje de intervención manual y uso de órtesis, proporcionando un valioso apoyo al especialista al reducir factores de tiempo y fatiga en cada rutina de tratamiento.

- En el caso del paciente 1, se observó una reducción del 20.19% en la intervención del prototipo durante las 4 fases de su tratamiento en comparación con las prácticas anteriores. Esto implica que el dispositivo ha asumido una parte significativa del trabajo que antes recaía en el personal del centro, permitiendo una rehabilitación más eficiente y menos demandante para el fisioterapeuta. De manera similar, en el paciente 2, la incidencia del prototipo fue del 32.73%, lo que significa una reducción aún mayor en la intervención del personal en el proceso de rehabilitación. Los pacientes 3 y 4 también experimentaron una disminución significativa en la intervención del fisioterapeuta, con una incidencia del 26.36% y 20.3%, respectivamente. Estos resultados indican que el dispositivo ha demostrado ser altamente efectivo para minimizar la carga de trabajo en el centro de

fisioterapia, al tiempo que beneficia el proceso de rehabilitación de los pacientes que acuden al mismo.

4.2. Recomendaciones

- Para desarrollar o diseñar dispositivos que aborden aspectos técnicos, de precisión recopilación y transmisión de datos y ajustar el tratamiento según las necesidades del paciente es importante analizar las causas subyacentes de artrosis de rodilla, considerando la variabilidad de factores, implicaciones y enfermedades asociadas.
- Se sugiere realizar pruebas de ergonomía a aquellos pacientes que lo necesiten, utilizando el prototipo de rehabilitación elaborado en este trabajo investigativo, se indica calibrar y probar el arranque del sistema antes de llevar a cabo cualquier manipulación y, además una capacitación adecuada, ya que, el uso inadecuado podría aumentar el riesgo de lesiones o daños en el paciente, por lo que es fundamental contar con a guía de un profesional al realizar el montaje de la pierna en el prototipo, con el fin de asegurar una experiencia satisfactoria durante el funcionamiento del sistema, lo que a su vez fomentará una mayor adhesión a la terapia de rehabilitación. De esta manera, se espera obtener mejores resultados en el proceso de rehabilitación y facilitar la integración del sistema en la vida diaria del paciente, considerando este enfoque como un método de rehabilitación más eficiente, es imprescindible tomar precauciones al realizar las pruebas y al posicionar la extremidad inferior del paciente.
- En la programación se recomienda utilizar la librería wifimanager que permitirá configurar el SSID y contraseña utilizando un dispositivo móvil, de esta manera se evitará subir el código a la tarjeta de control cuando existe el cambio de la red de área local. Al momento de realizar el diseño del sistema electrónico, se debe tomar en cuenta que los elementos electrónicos que lo conformen cumplan con las especificaciones técnicas para el sistema, evaluado su capacidad, compatibilidad y abastecimiento requerido para obtener mejores resultados.

- Se sugiere la incorporación de sensores específicos para alcanzar resultados óptimos para mejorar el dispositivo de rehabilitación de artrosis de rodilla. En cuanto a los sensores, es recomendable utilizar un sensor de ángulo que permita medir con precisión la posición y el ángulo de la rodilla durante el movimiento, especialmente en valores mayores a 90° de flexión. Además, se puede emplear un sensor de fuerza para medir la resistencia ejercida por la rodilla durante los ejercicios, lo que facilitará ajustar la intensidad y resistencia del dispositivo de acuerdo con las necesidades del paciente.

Bibliografía

- [1] «World Health Organization (WHO)». <https://www.who.int/es> (accedido 13 de abril de 2023).
- [2] S. Giménez Basayote, J. A. Trigueros Carrero, F. J. Pulido Morillo, F. Toquero de la Torre, y J. Zarco Rodríguez, *Guía de buena práctica clínica en artrosis*. 2004. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?Codigo=250884>
- [3] I. Morgado, A. C. Pérez, M. Moguel, F. J. Pérez-Bustamante, y L. M. Torres, «Guía de manejo clínico de la artrosis de cadera y rodilla», *Rev. Soc. Esp. Dolor*, vol. 12, n.º 5, pp. 289-302, jul. 2005.
- [4] A. B. Olalla, «Artrosis de rodilla: qué es, diagnóstico, causas, síntomas y tratamiento», *Fisioterapia para fisioterapeutas y pacientes - lafisioterapia.net*, 18 de febrero de 2023. <https://lafisioterapia.net/artrosis-de-rodilla-que-es-diagnostico-causas-sintomas-y-tratamiento/> (accedido 13 de abril de 2023).
- [5] P. F. Jerez Villacrés y J. S. Vásquez Álvarez, «Diseño y construcción de una Órtesis Automatizada para la rehabilitación de la articulación de la rodilla, en los pacientes del Patronato Municipal de Amparo Social de la ciudad de Latacunga.», bachelorThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Mecatrónica., 2017. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13083>
- [6] M. A. Romero Sacoto, «Diseño y construcción de una órtesis de rodilla, destinada a la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior», bachelorThesis, 2012. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2814>
- [7] C. Rico y B. D. Marcela, «Desarrollo de un dispositivo para la rehabilitación de la rodilla basado en un mecanismo paralelo», ago. 2014, Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/13039>
- [8] O. Changotasi y C. Xavier, «Diseño y construcción de dispositivo tecnológico para rehabilitación activa y pasiva de rodilla», bachelorThesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD: INGENIERÍA

- MECATRÓNICA, 2018. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/18142>
- [9] M. D. Rea Yanez, «Desarrollo de un prototipo de robot para rehabilitación de pacientes con lesiones en rodillas controlado mediante dispositivos móviles.», bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13679>
- [10] «¿QUE ES LA ARTROSIS? Y SUS MEDIDAS PREVENTIVAS», *Fisio vital Fisioterapia Úbeda*, 9 de diciembre de 2015. <https://fisioitalubeda.es/que-es-la-artrosis-y-sus-medidas-preventivas/> (accedido 13 de abril de 2023).
- [11] S. Giménez Basallote, A. Gimeno Marqués, P. Panero Hidalgo, y J. L. Casals Sánchez, «Guía de buena práctica clínica. Recomendaciones de buena práctica clínica en artrosis», *Med. Fam. SEMERGEN*, vol. 34, n.º 3, pp. 143-148, mar. 2008, doi: 10.1016/S1138-3593(08)71867-7.
- [12] «Artrosis (A) - Trastornos de los tejidos musculoesquelético y conectivo», *Manual MSD versión para profesionales*. <https://www.msmanuals.com/es-es/professional/trastornos-de-los-tejidos-musculoesquel%C3%A9tico-y-conectivo/enfermedades-articulares/artrosis-a> (accedido 14 de abril de 2023).
- [13] A. Oteo Álvaro, «Mecanismos etiopatogénicos de la artrosis», *Rev. Soc. Esp. Dolor*, vol. 28, pp. 11-17, 2021, doi: 10.20986/resed.2021.3851/2020.
- [14] «Ejercicios para la artrosis de rodilla | Clínica Reumatológica Dr. Ponce», 7 de julio de 2017. <https://www.doctorponce.com/ejercicios-para-la-artrosis-de-rodilla/> (accedido 14 de abril de 2023).
- [15] I.- www.ilogica.cl, «Tratamiento farmacológico en pacientes con oosteoartritis rodilla y cadera», *Escuela de Medicina*. <https://medicina.uc.cl/publicacion/tratamiento-farmacologico-oosteoartritis/> (accedido 14 de abril de 2023).
- [16] D. BARON, C. FLIN, J. PORTERIE, J. DESPAUX, y P. VINCENT, «Inyección Intraarticular Única de Ácido Hialurónico en la Artrosis de Rodilla: Estudio Multicéntrico Prospectivo Abierto (ART-ONE 75) mediante Comparación Post-Hoc con Placebo», *Curr. Ther. Res. Clin. Exp.*, vol. 90, pp. 69-83, may 2019, doi: 10.1016/j.curtheres.2019.04.002.

- [17] «Soportes ortopédicos de las rodillas para la artrosis - Mayo Clinic». <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/knee-braces/about/pac-20384791> (accedido 14 de abril de 2023).
- [18] «Reemplazo de la articulación de la rodilla: MedlinePlus enciclopedia médica». <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002974.htm> (accedido 14 de abril de 2023).
- [19] P. Balthazard, D. Currat, y F. Degache, «Fundamentos de biomecánica», *EMC - Kinesiterapia - Med. Física*, vol. 36, n.º 4, pp. 1-8, nov. 2015, doi: 10.1016/S1293-2965(15)74142-3.
- [20] «Capitulo3Principios2018YiselEstrada.pdf». Accedido: 14 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33463/Capitulo3Principios2018YiselEstrada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21] «Rango de movimiento pasivo de la rodilla | Evaluación básica de AROM», *Fisiotutores*. <https://www.physiotutors.com/es/wiki/knee-passive-range-of-motion/> (accedido 15 de abril de 2023).
- [22] M. C. Panesso, I.-A. Tolosa-Guzman, y M.-C. Trillos-Chacon, «Biomecánica clínica de la rodilla», 2008, Accedido: 15 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/3693>
- [23] «Las órtesis y sus beneficios en pacientes con Osteoartritis». <https://www.arthrolink.com/es/tratamientos/los-aparatos/las-ortesis> (accedido 15 de abril de 2023).
- [24] L. C. Camargo Ojeda, M. C. Espinal Bejarano, y I. E. Peñaranda Trillos, «Órtesis para potenciar la funcionalidad de las manos de personas en condición de cuadriplejía incompleta – Flexor», 2017, Accedido: 16 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/38255>
- [25] S. Umchid y P. Taraphongphan, *Design and development of a smart continuous passive motion device for knee rehabilitation*. 2016, p. 5. doi: 10.1109/BMEiCON.2016.7859616.
- [26] L. F. Urgilés Valles, «Diseño y construcción de un sistema de rehabilitación pasivo para la rodilla», bachelorThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica., 2015. Accedido: 16 de abril de

2023. [En línea]. Disponible en:
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/11440>
- [27] «Fundamentos del Diseño Mecánico». <https://programaeditorial.univalle.edu.co/gpd-fundamentos-del-diseno-mecanico-9789586703355-631a3628981fb.html> (accedido 16 de abril de 2023).
- [28] J. R. B. Capell, «▷ Mecanismos de Transmisión [Guía Completa y Tipos]», *Sadi Transmisiones S.L.*, 29 de noviembre de 2019. <https://saditransmisiones.com/mecanismos-de-transmision/> (accedido 16 de abril de 2023).
- [29] «Mecanismos de transformación del movimiento», *Aprendemos tecnología*, 2 de julio de 2008. <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transformacion-del-movimiento/> (accedido 16 de abril de 2023).
- [30] E. O. Acosta, V. Quintero, y N. V. Toledo, «Selección de actuadores y sensores para el tobillo y la rodilla de EMI-UMNG», *Cienc. E Ing. Neogranadina*, vol. 23, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2013, doi: 10.18359/rcin.232.
- [31] «4. ACTUADORES: Tipos: Electrónicos Neumáticos Eléctricos Hidráulicos - PDF Free Download». <https://docplayer.es/39289068-4-actuadores-tipos-electronicos-neumaticos-electricos-hidraulicos.html> (accedido 16 de abril de 2023).
- [32] «Sistema embebido y sus características | Conceptos fundamentales», *Tribalyte Technologies*, 1 de junio de 2021. <https://tech.tribalyte.eu/blog-sistema-embebido-caracteristicas> (accedido 16 de abril de 2023).
- [33] jecrespom, «Wifi en Arduino», *Aprendiendo Arduino*, 12 de noviembre de 2016. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/12/wifi-en-arduino/> (accedido 16 de abril de 2023).
- [34] contaval, «Protocolos de comunicación en la industria 4.0», *CONTAVAL*, 12 de mayo de 2022. <https://www.contaval.es/protocolos-de-comunicacion-en-la-industria-4-0/> (accedido 16 de abril de 2023).
- [35] «LAMP – Linux, Apache, Mysql y PHP | Elchecibernetico», 13 de diciembre de 2015. <https://www.elchecibernetico.com/aplicaciones/lamp-linux-apache-mysql-y-php> (accedido 16 de abril de 2023).

- [36] «¿Qué es la interfaz gráfica de usuario GUI?», *Ecdisis Estudio*, 12 de octubre de 2020. <https://ecdisis.com/que-es-la-interfaz-grafica-de-usuario-gui/> (accedido 16 de abril de 2023).
- [37] «Amazon.com: LF&LQEW 1pc DC 12V Gear Reduction Motor Worm Reversible Geared Motor High Torque Gear Motor 12-470RPM Electric Gearbox Reducer Motor (Size: 27 RPM): Industrial & Scientific». <https://www.amazon.com/-/es/unidad-reductor-engranaje-reversible-12-470/dp/B08NZ4KPXG?th=1> (accedido 8 de junio de 2023).
- [38] R.-M. O. Corporation, «Motorreductor de CC de 12 V - 24 V de bajas revoluciones por minuto contenido con caja de engranajes rectos grande de 60 mm | Fabricante de micromotores para equipos médicos | Hsiang neng», *Hsiang Neng DC Micro Motor Manufacturing Corporation*. https://www.hsiangneng.com/es/product/Motorreductor-de-CC-de-12-V-24-V-de-bajas-revoluciones-por-minuto-contenido-con-caja-de-engranajes-rectos-grande-de-60-mm/dc-geared-motor_HN60GM-HN550.html (accedido 9 de junio de 2023).
- [39] «Arduino en español: MODELOS DE ARDUINO», *Arduino en español*. http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/modelos_29.html (accedido 9 de junio de 2023).
- [40] «Modulo Driver para Motor de Alta Potencia IBT2 43A», *Moviltronics*. <https://moviltronics.com/tienda/modulo-driver-puente-h-para-motor-de-alta-potencia-ibt2-43a/> (accedido 9 de junio de 2023).
- [41] «Módulo L298N», *AV Electronics*. <https://avelectronics.cc/producto/modulo-l298n/> (accedido 9 de junio de 2023).
- [42] «Modulo Driver para Motor de Alta Potencia IBT2 43A», *Moviltronics*. <https://moviltronics.com/tienda/modulo-driver-puente-h-para-motor-de-alta-potencia-ibt2-43a/> (accedido 9 de junio de 2023).
- [43] «Sensores de posición angular», *Sensing, Sensores de Medida*, 11 de junio de 2021. <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-angulo-y-rotacion/sensores-de-posicion-angular/> (accedido 9 de junio de 2023).

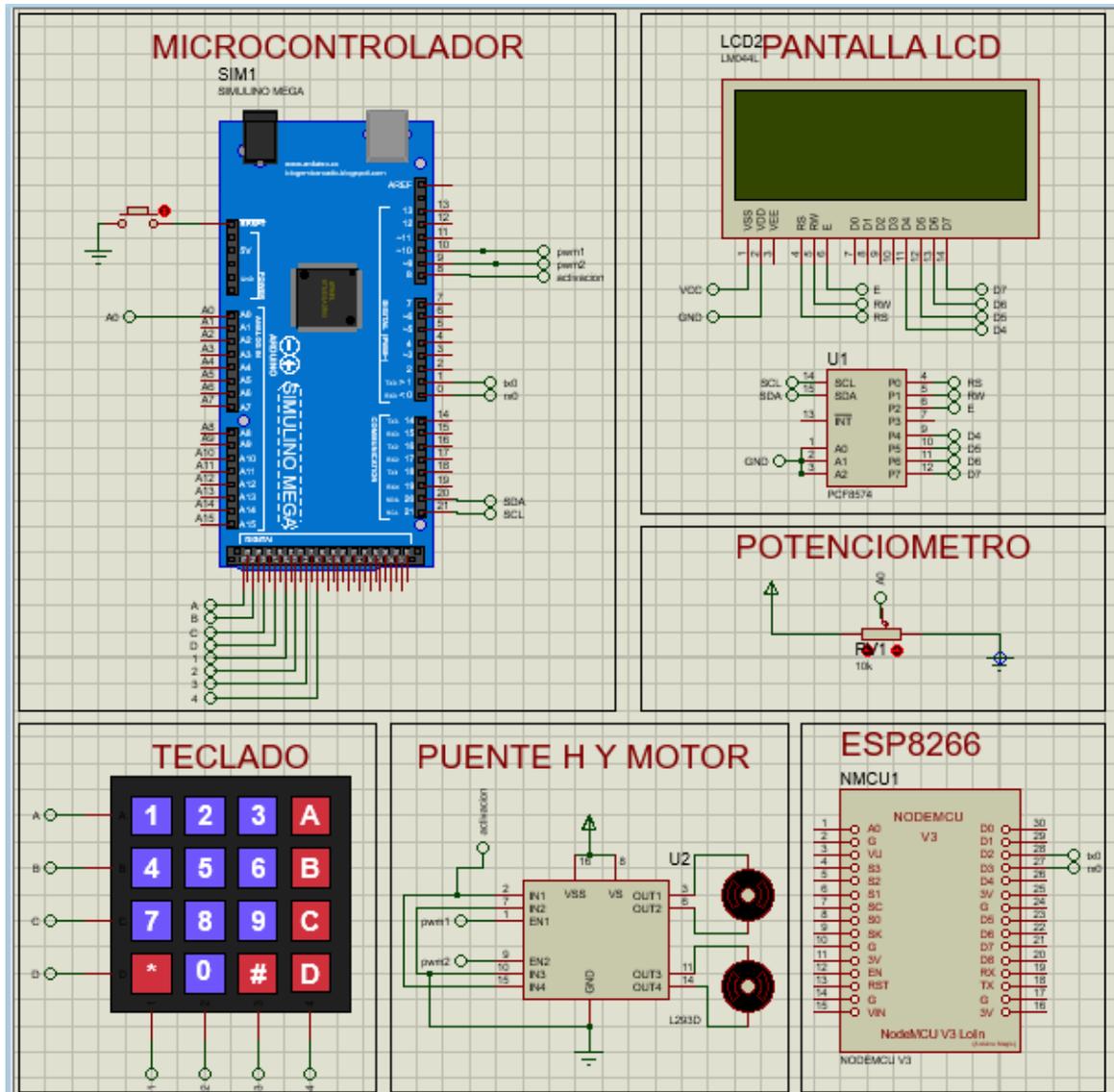
- [44] L. Llamas, «Usar un teclado matricial con Arduino», *Luis Llamas*, 2 de octubre de 2016. <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/> (accedido 9 de junio de 2023).
- [45] «Pantalla Lcd 1602 16x2 Arduino», *MEGATRONICA*. <https://megatronica.cc/producto/pantalla-lcd-1602-arduino-3d/> (accedido 9 de junio de 2023).
- [46] R. Diosdado, «Display's para Arduino», *Zona Maker*, 5 de mayo de 2016. <https://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/tipos-de-lcd-para-arduino> (accedido 9 de junio de 2023).
- [47] A. Malek Mahdavi, R. Mahdavi, M. Lotfipour, M. Asghari Jafarabadi, y E. Faramarzi, «Evaluation of the Iranian Mini Nutritional Assessment Short-Form in Community-dwelling Elderly», *Health Promot. Perspect.*, vol. 5, n.º 2, pp. 98-103, jul. 2015, doi: 10.15171/hpp.2015.012.
- [48] «VALORACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL EN SITUACIONES DE MALNUTRICIÓN - PDF Descargar libre». <https://docplayer.es/61989933-Valoracion-del-estado-nutricional-en-situaciones-de-malnutricion.html> (accedido 2 de mayo de 2023).
- [49] «Leyes de Newton: Segunda ley de Newton: la dinámica», *GCFGlobal.org*. <https://edu.gcfglobal.org/es/fisica/segunda-ley-de-newton-la-dinamica/1/> (accedido 4 de junio de 2023).
- [50] «Ayuda (grados de libertad) – Laboratorio Virtual de Máquinas y Mecanismos (LaViMM)». <https://grupos.unican.es/ingmec/lavimm/ayudas/ayuda-grados-de-libertad/> (accedido 2 de mayo de 2023).
- [51] MYSZKA, *Máquinas y mecanismos*, #REF! edition. Pearson Education, 2013.
- [52] O. Changotasi y C. Xavier, «Diseño y construcción de dispositivo tecnológico para rehabilitación activa y pasiva de rodilla», bachelorThesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD:INGENIERÍA MECATRÓNICA, 2018. Accedido: 4 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/18142>
- [53] F. Ortega, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett 10a*. 2020. Accedido: 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en:

- https://www.academia.edu/44547589/Dise%C3%B1o_en_ingenier%C3%ADa_mec%C3%A1nica_de_Shigley_Richard_G_Budynas_J_Keith_Nisbett_10a
- [54] mario, «Cómo Hacer La Rosca Cuadrada En El Torno», *Metalmecánica Fácil*, 19 de abril de 2016. <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/la-rosca-cuadrada-torno/> (accedido 10 de mayo de 2023).
- [55] «Máquinas y Mecanismos - Myszka - 4ta Edición», *pdfcoffee.com*. <https://pdfcoffee.com/maquinas-y-mecanismos-myszka-4ta-edicion-pdf-free.html> (accedido 25 de julio de 2023).
- [56] G. Doménech Asensi *et al.*, *Prácticas de circuitos y funciones electrónicas*. Universidad Politécnica, CRAI Biblioteca, 2019. Accedido: 8 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/7680>

ANEXOS

ANEXO A

Diseño electrónico del sistema de rehabilitación para la artrosis de rodilla



ANEXO B

Montaje y construcción de la estructura mecánica y electrónica del sistema de rehabilitación



ANEXO C

Evidencia de pruebas a pacientes con artrosis de rodilla en el Centro de Fisioterapia Toasa.



ANEXO D

Implementación de la maquina en el Centro de Fisioterapia Toasa



ANEXO E

Interacción y manipulación del prototipo por parte del médico especialista y el paciente.



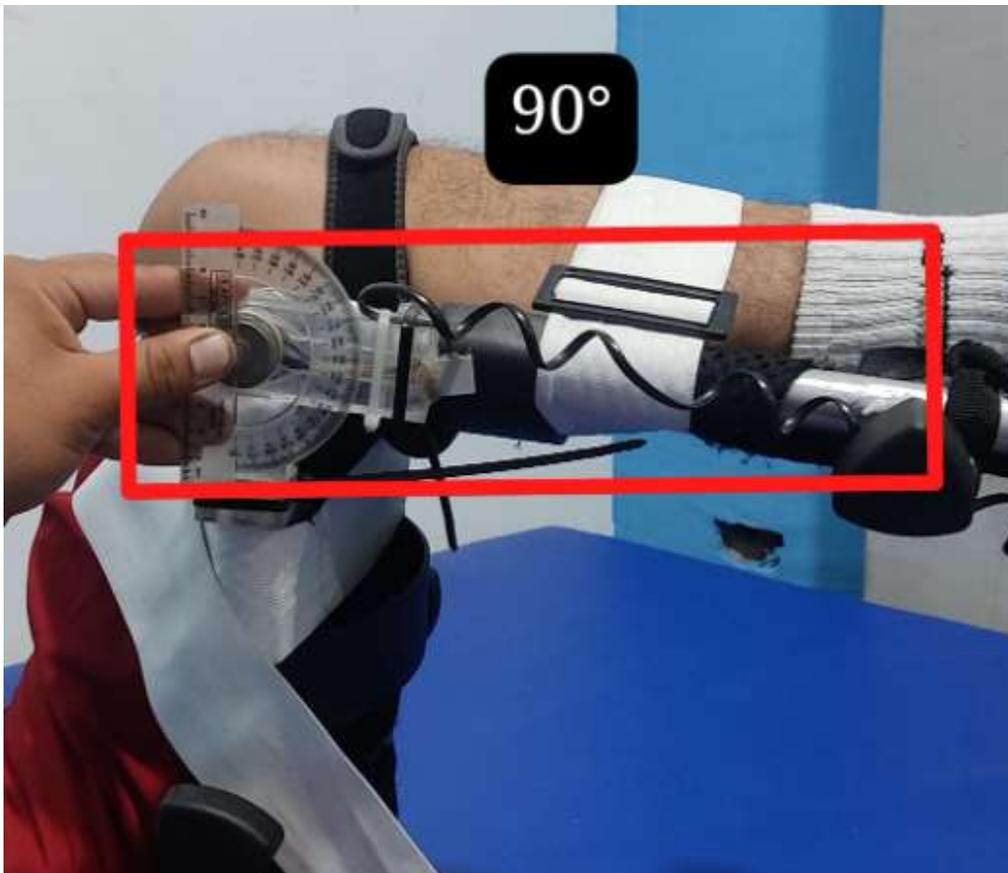
ANEXO F

Evaluación del sistema de monitoreo y estructura mecánica



ANEXO G

Regulación y calibración de la posición angular del dispositivo previo a su funcionamiento.



ANEXO H

Dispositivo en la etapa de funcionamiento y uso aplicado al paciente



ANEXO I

Recolección de información de cada paciente en la base de datos del Centro de Fisioterapia Toasa

REPETICIONES			
Estado	Ángulo Máximo	Repeticiones	Fecha
AUTOMÁTICO	90	15	2023-6-14 14:26:42
AUTOMÁTICO	90	15	2023-6-14 14:16:50
AUTOMÁTICO	90	15	2023-6-14 14:04:52
AUTOMÁTICO	80	20	2023-6-6 11:59:17
AUTOMÁTICO	80	20	2023-6-6 11:43:17
AUTOMÁTICO	80	20	2023-6-6 11:32:41
AUTOMÁTICO	55	20	2023-5-26 17:28:06
AUTOMÁTICO	55	20	2023-5-26 17:12:39
AUTOMÁTICO	55	20	2023-5-26 17:00:41

ANEXO J

Datasheed de la tarjeta ESP8266

Internet of Things

NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" by default refers to the firmware rather than the DevKit. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the eLua project, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as lua-ppan, and apollo.

Features

- Version : DevKit v1.0
- Breadboard Friendly
- Light Weight and small size.
- 3.3V operated, can be USB powered.
- Uses wireless protocol 802.11b/g/n.
- Built-in wireless connectivity capabilities.
- Built-in PCB antenna on the ESP-12E chip.
- Capable of PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, 1 analog pin.
- Uses CP2102 USB Serial Communication interface module.
- Arduino IDE compatible (extension board manager required).
- Supports Lua (alike node.js) and Arduino C programming language.





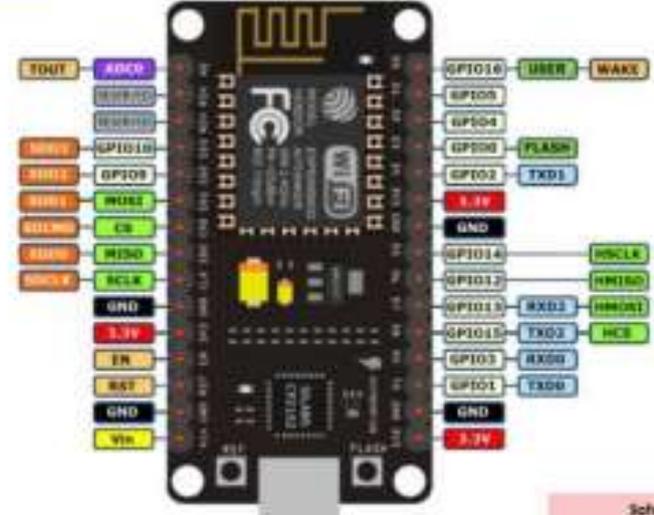






PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0

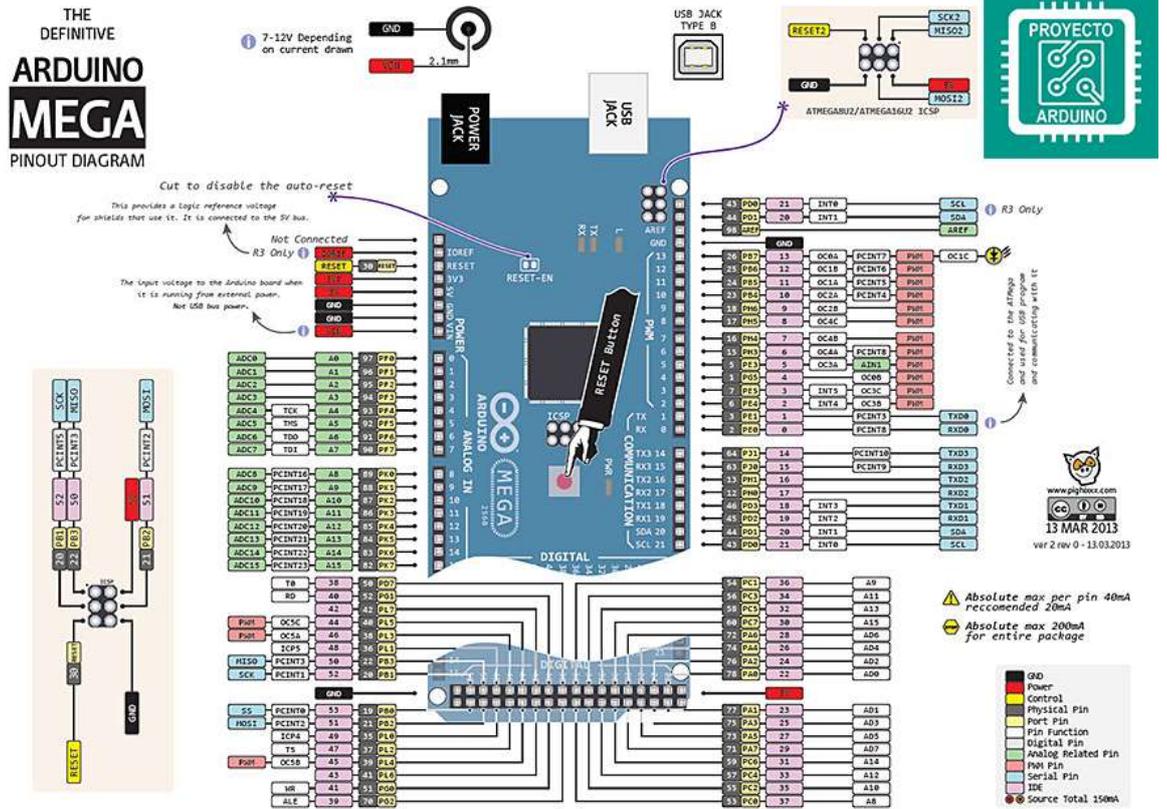


Source
<https://bit.ly/2w1wzgn>

Safety Precaution
 All I/O are 3.3V

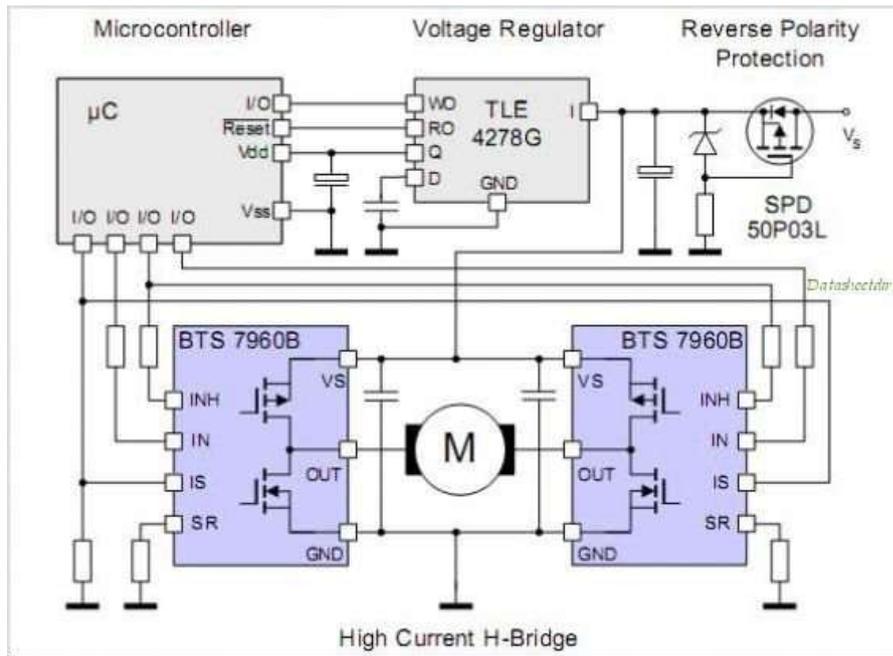
ANEXO K

Diagrama de pines del microcontrolador Arduino Mega



ANEXO L

Diagrama de conexión de btn7960b



ANEXO M

Certificado de cumplimiento empresarial



ANEXO

INFORME DEL CUMPLIMIENTO DEL 100% EMITIDO POR EL COORDINADOR
EMPRESARIAL

Quito, 19/07/2023

Ingeniero
Carlos Sánchez
Presidente
Unidad de Titulación
Carrera de Telecomunicaciones
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
Presente

Yo, Christian Paul Toasa Tupiza en mi calidad de Gerente de la Empresa "Fisioterapia Toasa", me permito poner en su conocimiento que el Trabajo de Titulación con el tema: "**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ARTROSIS DE RODILLAS DEL CENTRO DE FISIOTERAPIA TOASA**" desarrollado en esta empresa por la señorita Mishael Estefani Guerrero Candilejo, portadora de la cédula de ciudadanía 1805335005 estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato ha culminado exitosamente cumpliéndose con el 100% de los objetivos y actividades programadas.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,


Christian Paul Toasa Tupiza
1724478530
0995074352
Christian.toasa@outlook.com



QUITO - Guayllabamba
Simón Bolívar y Manuela Sáenz

Email
christian.toasa@outlook.com

Contacto
099 50 74 352