



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE BIOMEDICINA

**DISEÑO DE UNA ÓRTESIS DE SOPORTE PARA LA RODILLA EN PACIENTES
CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD PARCIAL Y DEBILITAMIENTO DE
EXTREMIDADES INFERIORES LUEGO DE UN EVENTO CEREBROVASCULAR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Biomédico

AUTOR:

Lema Delgado José Andrés

TUTOR:

Mgs. Darío Xavier Romero Santistevan

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, **José Andrés Lema Delgado** con documento de identificación N° **0918269838**; manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente,



José Andrés Lema Delgado

C.I.0918269838

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **José Andrés Lema Delgado** con documento de identificación N° **0918269838**; expreso mi voluntad y por medio del presente documento, cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del **Proyecto Técnico: “DISEÑO DE UNA ÓRTESIS DE SOPORTE PARA LA RODILLA EN PACIENTES CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD PARCIAL Y DEBILITAMIENTO DE EXTREMIDADES INFERIORES LUEGO DE UN EVENTO CEREBROVASCULAR.”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomédico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente;



José Andrés Lema Delgado

C.I.0918269838

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo **Darío Xavier Romero Santistevan**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA ÓRTESIS DE SOPORTE PARA LA RODILLA EN PACIENTES CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD PARCIAL Y DEBILITAMIENTO DE EXTREMIDADES INFERIORES LUEGO DE UN EVENTO CEREBROVASCULAR”**, realizado por **José Andrés Lema Delgado** con documento de identificación N° **0918269838** obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de **Proyectos Técnicos** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de septiembre del año 2024

Atentamente;



Darío Xavier Romero Santistevan

C.I 1206442616

DEDICATORIA

Con todo mi cariño, con inmensa gratitud y profundo amor, dedico este trabajo de titulación a mis amados padres quienes han sido mi inspiración y mi mayor apoyo. Su amor incondicional, sus consejos sabios y su constante motivación me han guiado en cada paso de este viaje académico.

Sus sacrificios, su inquebrantable apoyo y su constante aliento han sido mi fuerza motriz a lo largo de este camino, por lo que, sin su esfuerzo y dedicación, este logro no habría sido posible.

Gracias por creer en mí, incluso en los momentos de duda, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es tanto suyo como mío y espero que se sientan tan orgullosos de mí como yo lo estoy de ser su hijo.

José Lema

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo de titulación.

En primer lugar, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en un ambiente de excelencia y compromiso. Su dedicación a la educación y su enfoque en el desarrollo integral de sus estudiantes han sido fundamentales en mi crecimiento profesional y personal.

A mis docentes, les extiendo mi sincero reconocimiento. Su paciencia, sabiduría y pasión por enseñar han sido una fuente constante de inspiración. Cada lección impartida y cada consejo ofrecido han dejado una huella imborrable en mi camino. Gracias por compartir sus conocimientos y por guiarme con dedicación y esmero a lo largo de mi formación.

A mis compañeros de clase y amigos, gracias por su apoyo, compañerismo y por los momentos compartidos. Juntos hemos superado desafíos, celebrado logros y su presencia ha sido invaluable durante esta etapa de mi vida.

Finalmente, a mis padres, cuyos sacrificios y amor incondicional me han sostenido y motivado en todo momento. Su apoyo ha sido el pilar fundamental sobre el cual se ha construido este proyecto.

A todos, mi gratitud eterna por haber contribuido de manera significativa al desarrollo de este trabajo de titulación. Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo y de la suma de sus valiosas contribuciones.

José Lema

RESUMEN

Los Eventos Cerebrovasculares (ECV) constituyen una de las principales causas de discapacidad en los pacientes que los padecen, entre las secuelas más comunes se encuentran la pérdida parcial o total de la movilidad y el debilitamiento de las extremidades inferiores. Estas limitaciones afectan significativamente la capacidad del paciente para realizar actividades cotidianas como caminar o mantenerse de pie sin asistencia, lo que a menudo requiere el apoyo de familiares o dispositivos de sujeción externos. Este estudio se centró en el diseño de una órtesis de rodilla personalizada para pacientes que han sufrido un evento cerebrovascular (ECV), para su desarrollo, se adoptó un enfoque metodológico basado en una revisión bibliográfica exhaustiva, analizando estudios relevantes publicados entre 2020 y 2024 sobre el diseño de órtesis, biomecánica post-ECV y dispositivos ortopédicos innovadores. Esta revisión facilitó la construcción de un marco teórico sólido y proporcionó una base científica para diseñar un dispositivo que optimizara la estabilidad y movilidad de los pacientes. El diseño preliminar de la órtesis se desarrolló considerando aspectos biomecánicos complejos, como los movimientos de flexión y extensión de la rodilla, el estudio aseguró que la órtesis se ajustara anatómicamente a la rodilla.

Palabras Clave: Órtesis, rodilla, rehabilitación post ECV, movilidad parcial, debilitamiento muscular

ABSTRACT

Cerebrovascular events (CVD) are one of the main causes of disability in patients who suffer from them, and among the most common sequelae are partial or total loss of mobility and weakening of the lower limbs. These limitations significantly affect the patient's ability to perform everyday activities such as walking or standing without assistance, often requiring support from family members or external restraint devices. This study focused on the design of a personalized knee orthosis for patients who have suffered a cerebrovascular event (CVD), for its development, a methodological approach was adopted based on a comprehensive literature review, analyzing relevant studies published between 2020 and 2024 on orthosis design, post-CVD biomechanics, and innovative orthopedic devices. This review facilitated the construction of a solid theoretical framework and provided a scientific basis for designing a device that would optimize the stability and mobility of patients. The preliminary design of the orthosis was developed considering complex biomechanical aspects, such as flexion and extension movements of the knee, the study ensured that the orthosis was anatomically adjusted to the knee.

Keywords: Knee, orthosis, post-CVA rehabilitation, partial mobility, muscle weakening

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	PROBLEMA.....	14
2.1	Descripción del problema	14
2.2	Justificación del Problema	14
2.3	Antecedentes	16
2.4	Importancia y alcances	18
2.5	Delimitación	19
2.5.1	Delimitación geográfica (espacial):	19
2.5.2	Delimitación temporal:.....	19
2.5.3	Delimitación sectorial:	19
2.5.4	Delimitación institucional:.....	19
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo General	20
3.2	Objetivos Específicos	20
4.	MARCO TEÓRICO	21
4.1	Fundamentación Teórico-Conceptual	21
4.2	Tipos De Eventos Cerebro Vasculares.....	23
4.2.1	ECV Tipo Isquémico.....	24
4.2.2	ECV Trombótico.....	24
4.2.3	ECV Embólico:	24
4.2.4	ECV de Pequeños Vasos (Ictus Lacunar):	25
4.2.5	ECV Tipo Hemorrágico:.....	26
4.3	Hemorragia Intracerebral	26
4.3.1	Hemorragia Subaracnoidea:	26
4.3.2	Ataque Isquémico Transitorio (AIT).....	27
4.4	Rehabilitación Post-ECV	27
4.4.1	Fisioterapia	27
4.4.2	Terapia Ocupacional.....	28
4.4.3	Terapia del Habla.....	28
4.6	Fundamentación Anatómica	29
4.7	Fundamentación Biomecánica.....	30

4.7.1	Biomecánica de la Articulación de la Rodilla	30
4.7.2	Impacto del ECV en la Biomecánica.....	32
4.7.3	Alteraciones en la Biomecánica de la Rodilla Post-ECV	32
4.7.4	Implicaciones para la Rehabilitación y Diseño de Órtesis	33
4.7.5	Revisión del Estado del Arte en Diseño de Órtesis	33
4.7.6	Avances Tecnológicos y Materiales	34
4.8	Importancia de Programas de Diseño como Cinema 4D	34
4.8.1	Integración de Sensores y Tecnología.....	34
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	36
5.2	Revisión de procesos actuales	36
5.2.1	Criterios de Exclusión	37
5.3	Justificación del tema de estudio con el objetivo y el problema	37
5.4	Búsqueda en las Bases de Datos	39
5.5	Estrategia de búsqueda	39
5.6	Recolección de documentación	39
5.7	Validación de datos.....	40
5.7.1	Science Direct.....	41
5.7.2	Scopus.....	41
5.7.3	Web of Science	41
5.7.4	Google Scholar.....	42
5.8	Proceso del diseño.....	42
5.8.2	Ortesis de Rodilla	43
5.8.3	Tipos de Ortesis	43
5.8.4	Antropometría en el diseño de Órtesis	47
5.8.5	Objetivo del diseño de una órtesis de rodilla	50
5.9	Diseño De Una Órtesis De Rodilla Para Paciente Post ECV.....	51
5.10	Diseño funcional de órtesis de rodilla para el paciente base.....	54
5.10.1.	Estructura y Materiales	54
5.11.	Modelado de la rodilla	55
5.12.	Modelado y simulación de la órtesis personalizada.....	57
6.	RESULTADOS.....	61
7.	DISCUSIÓN	63

8. RECOMENDACIONES	65
9. CONCLUSIONES	66
10. REFERENCIAS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia en el tiempo, 2000-2019, según la OPS y OMS.....	16
Figura 2. 1.285 eventos cerebrovasculares reportados por el ECU 911.....	17
Figura 3. Tipos de Eventos Cerebrovascular.....	23
Figura 4. Órtesis Funcional de Rodilla.....	44
Figura 5. Órtesis de rodilla rehabilitadoras.....	44
Figura 6. Órtesis de Descarga de rodilla.....	45
Figura 7. Órtesis de rodilla con bloqueo.....	45
Figura 8. Órtesis Profilácticas de rodilla.....	46
Figura 9. Órtesis Dinámica de Rodilla.....	46
Figura 10. Órtesis Nocturnas de rodilla.....	47
Figura 11. Medición antropométrica de la rodilla.....	48
Figura 12. Medición de altura de la rodilla.....	49
Figura 13. Ergonomía en la órtesis de rodilla.....	50
Figura 14. Paciente de 60 años con mínima flexión de rodilla.....	52
Figura 15. Paciente de 60 años con mínima extensión de rodilla.....	53
Figura 16. Hombre de 70 años con rodilla sana (flexión).....	53
Figura 17. Hombre de 70 años con rodilla sana (extensión).....	54
Figura 18. Imagen antropometría frontal en el diseño de órtesis del paciente post ECV.....	57
Figura 19. Imagen antropometría lateral para el diseño de órtesis del paciente post ECV...	57
Figura 20. Resumen de la historia clínica del paciente modelo objeto de este estudio.....	58
Figura 21. Boceto de la órtesis diseñada para el paciente estudiado.....	59
Figura 22. Modelado de órtesis personalizada para paciente modelo post ECV.....	59

1. INTRODUCCIÓN

Un ECV, también conocido como ACCIDENTE CEREBROVASCULAR (ACV), es una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial. Este evento puede ocasionar una interrupción del flujo sanguíneo al cerebro, resultando en daño neurológico que afecta diversas funciones motoras y cognitivas.

[...] Los sobrevivientes pueden experimentar complicaciones y/o limitaciones que pueden afectar su calidad de vida como son la pérdida de la visión asimismo como del habla, parálisis, confusión, espasticidad, entre otros [...] (Durán & Gautreau, 2023).

Una de las secuelas más comunes es la pérdida parcial de movilidad y el debilitamiento de las extremidades inferiores, lo que compromete significativamente la calidad de vida de los pacientes. (Ríos, 2023).

La rodilla es una de las articulaciones más afectadas en pacientes post ECV debido a su papel crucial en la locomoción y el mantenimiento del equilibrio. La debilidad muscular, combinada con la pérdida de control motor, puede llevar a inestabilidad articular, dolor y un mayor riesgo de caídas. Para Sevik, et. al. (2024), *“La alteración de la marcha en los pacientes con daño cerebral adquirido es uno de los factores determinantes del grado de discapacidad y de afectación de la calidad de vida”*, esto no solo limita la capacidad de los pacientes para realizar actividades diarias, sino que también aumenta la dependencia de ayudas externas y el riesgo de complicaciones secundarias.

Una órtesis de soporte para la rodilla puede proporcionar la estabilidad y el soporte necesarios para mejorar la funcionalidad de la extremidad afectada. Según Murphy, et.al. (2022), las órtesis están diseñadas para compensar la debilidad muscular, corregir el alineamiento articular y proporcionar una asistencia mecánica que facilita el movimiento. Estas ayudas ortopédicas son cruciales en la rehabilitación de pacientes con movilidad parcial, ya que pueden reducir la carga sobre la rodilla, mejorar la seguridad al caminar y fomentar la independencia.

2. PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

La ingeniería biomédica aborda todos los problemas relevantes en la medicina aplicando los conocimientos universales de la ingeniería. Desde diseño de métodos de obtención de imágenes modernos, desarrollo de materiales para dispositivos dentro y fuera de un organismo, así como procesos de rehabilitación para pacientes. En este caso, se utilizarán los conocimientos de biomecánica. (Castellanos, 2021).

Dado que el problema es complejo, un primer diseño y el resultado de los análisis posteriores darán por bueno la culminación exitosa del mismo, sin perjuicio de la viabilidad de estos. Según la investigación de Goldfarb et. al (2023) CREATE LAB se ha podido deducir que en prótesis completas del miembro del tronco inferior es posible implementar dispositivos predictivos que ayuden a inmovilizar la articulación de la rodilla en la prótesis para incrementar la estabilidad del paciente y disminuir el riesgo de caída.

El modelado de la caminata del paciente se puede tomar en consideración, al existir avances suficientes para grabar el estado actual de la caminata en tierra. De acuerdo con la Enciclopedia Médica A.D.A.M. (2024), el accidente cerebrovascular es inevitable cuando suceda, ya que el paciente se puede desarrollar bien en su día, pero en la noche caer con este evento y 1 de cada 5 personas sobreviven. Si llegan a vivir ahí la probabilidad de perder la movilidad de sus extremidades ya sea total o parcialmente. (Piloto, et. al., 2020).

2.2 Justificación del Problema

Dado el creciente número de personas que sobreviven a un ECV y viven con secuelas significativas, el desarrollo de una órtesis de soporte para la rodilla adaptada a sus necesidades es una prioridad en el campo de la rehabilitación. Este estudio busca abordar esta necesidad mediante el diseño de una órtesis innovadora que mejore la calidad de vida de los pacientes, promoviendo su independencia y reduciendo los riesgos asociados con la movilidad limitada. La investigación y el desarrollo en este ámbito no solo beneficiarán a los pacientes post ECV, sino que también contribuirán al avance general de la tecnología ortopédica y de rehabilitación.

Estos antecedentes proporcionan un marco sólido para comprender la importancia y la necesidad del diseño de una órtesis de soporte para la rodilla en pacientes con movilidad parcial

y debilitamiento de extremidades inferiores post ECV, estableciendo la base para una investigación y desarrollo efectivos en este campo.

Existe amplia literatura de estudio para la rehabilitación de pacientes luego de amputaciones de cualquier magnitud en las extremidades inferiores; inclusive implementándose sensores de predicción para estabilizar del paciente para evitar eventos de riesgo como caídas que empeoren la salud y provoquen traumatología adicional. Con el avance de la tecnología permite adatar los conceptos de la inteligencia artificial para desarrollar una ortesis que ayude con la rehabilitación de las extremidades inferiores. Finalmente, el objetivo de este proyecto investigativo es mejorar substancialmente la calidad de vida del paciente, y ofrecerle la oportunidad de volver a caminar de forma semi-independiente.

Actualmente, existen diversas órtesis en el mercado, pero muchas de ellas presentan limitaciones en términos de personalización y adaptabilidad a las necesidades individuales de los pacientes. (Prieto, 2021).

Así mismo, para Aburto (2023), la debilidad muscular y la espasticidad alteran la biomecánica de la marcha, llevando a patrones de movimiento ineficaces y anormales. Estas disfunciones causan numerosas dificultades en la realización de actividades diarias y afectan la movilidad, reduciendo significativamente la calidad de vida de las personas.

Por lo tanto, la variabilidad en la severidad del debilitamiento y las condiciones específicas de cada paciente hacen que un diseño estándar no sea siempre efectivo, por lo que, hay una necesidad urgente de desarrollar soluciones más personalizadas y adaptativas que puedan proporcionar un soporte óptimo para cada individuo.

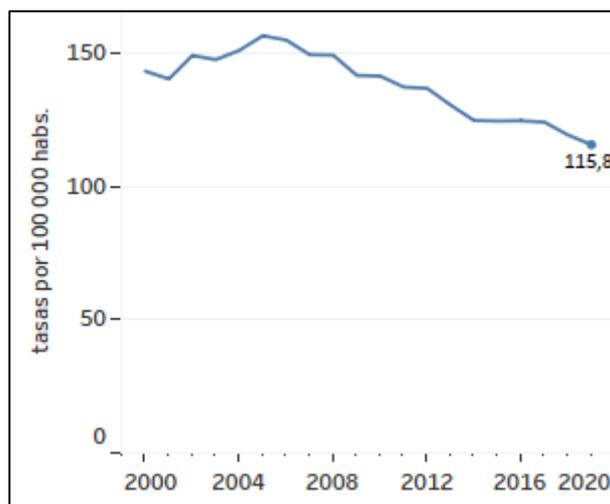
Dentro de la base de datos de la UPS, el tema de grado más cercano se refiere a la rehabilitación de heridas pertinentes a la articulación de la rodilla provocadas en deportistas. La conformación biomecánica de un atleta y una persona de edad adulta cercana a la vejez son muy diferentes, así como la naturaleza de sus dolencias y por consecuencia, el camino para proveer soluciones en la rehabilitación es distinto y con consideraciones a tomar en cuenta. Es por lo que este tema de estudio es pertinente y beneficiará inmensamente la investigación en este campo.

2.3 Antecedentes

A pesar de que la Organización Mundial de la Salud (OMS), no muestra cifras actualizadas hasta diciembre de 2023, identifica que hasta el año 2015 el ECV es la enfermedad neurológica más común. A nivel global, la incidencia promedio es de 200 casos por cada 100,000 personas anualmente, mientras que la prevalencia es de 600 casos por cada 100,000 habitantes. Según el Observatorio Mundial de la Salud (GHO) de la OMS, en 2015 se registraron más de 6 millones de muertes por ECV en todo el mundo, con 3,250,217 fallecimientos correspondientes al sexo femenino y 2,990,394 al sexo masculino. (OPS,2024)

[...]En Ecuador en el año 2019 (Figura 1), las Enfermedades cardiovasculares causaron 115,8 Defunciones por 100 000 habitantes, lo que ubica a Ecuador en el Quintil 1: 0 - 20% entre todos los países. [...] (OPS, 2024)

Figura 1. Tendencia en el tiempo, 2000-2019, según la OPS y OMS



Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, los eventos cerebrovasculares (ECV) se encuentran entre las principales causas de muerte en Ecuador, de los 41,077 fallecimientos registrados en el año 2020, el ECV representó el 4.4% de la mortalidad, en el año 2019 se reportaron 4,607 decesos por ECV, mientras que en 2020 la cifra aumentó a 5,102. (El comericom.com, 2021)

Así mismo en el año 2022, el sistema integrado del ECU 911 (Figura 2) recibió alertas diarias que incluyeron eventos cerebrovasculares (ECV), sumando en ese año (2022) un total de 1.285 emergencias a escala nacional.

Figura 2. 1.285 eventos cerebrovasculares reportados por el ECU 911



El caso es que, aquellos pacientes que logran sobrevivir a un ECV sufren las secuelas de esta enfermedad cerebrovascular, siendo entre ellas “*la discapacidad, tanto física como cognitiva*” del individuo. (Camperos & Wlaychel, 2021).

Estas varían significativamente en función de la gravedad del evento, la rapidez con la que se recibió tratamiento, y la localización del daño en el cerebro. Entre las más comunes están las secuelas físicas, problemas de movilidad, problemas de coordinación, dolor, secuelas cognitivas, secuelas del lenguaje y la comunicación, secuelas emocionales y conductuales, secuelas sensoriales, secuelas viscerales.

Para Pilco Pilamunga & Asitimbay. (2023), en su investigación *Efectos del core stability en las secuelas del accidente cerebrovascular*, aducen que “pacientes hemipléjicos con secuelas de un ACV tienen alteraciones de movimientos y posturas, dificultando posiciones como en decúbito supino, prono, sedente y bipedestación”; por lo que, la rehabilitación tras un ACV es crucial para minimizar estas secuelas y que el paciente recupere la mayor funcionalidad posible.

La rodilla es una de las articulaciones más impactadas en pacientes post-ECV debido a su papel esencial en la locomoción y el equilibrio. La debilidad muscular, junto con la pérdida

de control motor, puede llevar a inestabilidad articular, dolor y un mayor riesgo de caídas, lo que limita la capacidad de los pacientes para realizar actividades cotidianas y aumenta su dependencia de ayudas externas y el riesgo de complicaciones secundarias.

Por lo tanto, una órtesis de soporte para la rodilla puede proporcionar la estabilidad y el apoyo necesarios para mejorar la funcionalidad de la extremidad afectada. Estas ayudas ortopédicas son esenciales en la rehabilitación de pacientes con movilidad reducida, ya que pueden disminuir la carga sobre la rodilla, mejorar la seguridad al caminar y fomentar la independencia.

2.4 Importancia y alcances

El diseño de una órtesis eficiente para la rodilla requiere una comprensión profunda de la biomecánica de la articulación, así como de las necesidades específicas de los pacientes post ECV. Es necesario considerar factores como la comodidad, la funcionalidad, la durabilidad y la adaptabilidad de la órtesis. Además, la integración de nuevas tecnologías y materiales avanzados puede mejorar significativamente el rendimiento de estas ayudas ortopédicas.

Aburto (2023), en su estudio doctoral afirma que dentro de las importancias se puede describir una mejora en la calidad de vida del paciente, ya que la órtesis de soporte está diseñada para proporcionar estabilidad, comodidad y funcionalidad, lo cual es crucial para los pacientes que han sufrido un evento cerebrovascular. Al mejorar la movilidad y reducir el riesgo de caídas, se promueve una mayor autonomía e independencia en las actividades diarias.

Por otra parte, el desarrollo de una órtesis de soporte para la rodilla permitiría una rehabilitación efectiva, ya que produciría una inclusión de tecnologías avanzadas y materiales innovadores en el diseño de la prótesis, acelerando el proceso de rehabilitación, permitiendo a los pacientes recuperar más rápidamente sus capacidades motoras y reducir las secuelas del evento cerebrovascular.

Este trabajo de titulación contribuye a la innovación tecnológica, en el campo de la ortopedia y la rehabilitación mediante el desarrollo de una órtesis que incorpora monitoreo en tiempo real y ajustes personalizables, ofreciendo una solución más adaptada y eficiente para las necesidades individuales de los pacientes.

El diseño de la órtesis permite ajustes personalizados, lo que significa que puede adaptarse a las características específicas de cada paciente, aumentando la eficacia del tratamiento y mejorando la experiencia del usuario.

Así mismo, la implementación de esta órtesis puede tener un impacto significativo en los programas de rehabilitación para pacientes post evento cerebrovascular, estableciendo nuevos estándares de cuidado y abriendo la puerta a futuras investigaciones y desarrollos en el campo.

Por otra parte, los resultados y hallazgos del presente trabajo de titulación pueden servir como base para estudios futuros, permitiendo la exploración de mejoras adicionales en el diseño y funcionalidad de las órtesis, así como la incorporación de nuevas tecnologías y enfoques terapéuticos.

2.5 Delimitación

2.5.1 Delimitación geográfica (espacial):

El estudio se llevará a cabo en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador.

2.5.2 Delimitación temporal:

El estudio abarcará los datos recolectados entre enero de 2020 y julio de 2024

2.5.3 Delimitación sectorial:

La investigación se centrará en el sector de la Ingeniería Biomédica.

2.5.4 Delimitación institucional:

El estudio analizará las posibles demandas de pacientes con trastornos de movilidad producidas por eventos cerebrovasculares y su necesidad de efectividad de su rehabilitación de pacientes de la ciudad de Guayaquil.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar una ortesis de rodilla para la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad parcial y debilitamiento de las extremidades inferiores luego de un evento cerebrovascular.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los aspectos anatómico-involucrados en el movimiento de la rodilla durante el proceso de extensión muscular.
- Investigar la biomecánica que comprende la articulación de la rodilla.
- Diseñar y simular el modelo 3D de la órtesis para que se ajuste a la rodilla, asegurando comodidad y soporte adecuado para este modelado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Fundamentación Teórico-Conceptual

El ECV se define como una interrupción repentina del flujo sanguíneo en una región del cerebro, lo cual resulta en la muerte de las células cerebrales debido a la falta de oxígeno y nutrientes, también es conocido como ictus o derrame cerebral, es una condición médica crítica que se manifiesta como una interrupción repentina del flujo sanguíneo en una o varias áreas del cerebro. (Piloto, et. al., 2020)

[...] A nivel teórico se tiene que las Enfermedades Cardiovasculares (ECV) comprenden un grupo de enfermedades que afectan al corazón y a los vasos sanguíneos, las cuales pueden ser diferentes en su etiología, manifestaciones clínicas y el impacto sobre la salud, dentro de ellas se tienen las Enfermedades Isquémicas del Corazón; todas ellas tienen un sustrato genético, pero son los factores ambientales, principalmente una dieta menos saludable y una disminución en la práctica de actividad física, las que han incidido en mayor medida en su evolución y desarrollo[...] (Ruiz, et. al., 2018 p.2).

El daño neuronal resultante puede tener consecuencias devastadoras para las funciones cerebrales y la capacidad funcional del individuo. Según Bautista, et.al. (2018), en su estudio *Diagnóstico, imagenología y accidente cerebrovascular tras un accidente cerebrovascular (ACV)*, “estriba de la dimensión de la afectación y de la región comprometida en el cerebro” (p.78)

En términos de incidencia y prevalencia, los hombres tienen una mayor probabilidad de sufrir un ECV a edades más tempranas en comparación con las mujeres. Sin embargo, aunque las mujeres tienen una menor incidencia de ECV durante las primeras etapas de la vida adulta, la incidencia aumenta significativamente después de la menopausia. En concordancia con Ortiz-Galeano, I., Balmaceda, N. E. F., & Flores, A. (2020), en su estudio “*Factores de riesgo cardiovascular en pacientes con accidente cerebrovascular*”, indican que tanto el ECV isquémico como el hemorrágico fueron más comunes en hombres, según estudios realizados tanto a nivel nacional como regional.

Sin embargo, los factores de riesgo para el ECV varían entre hombres y mujeres. Por ejemplo, en los hombres, el tabaquismo y el consumo excesivo de alcohol son más comunes, y ambos son importantes factores de riesgo para el ECV. Además, los hombres jóvenes y de mediana edad presentan una mayor prevalencia de hipertensión y enfermedades cardíacas. Por otro lado, en las mujeres, los factores hormonales juegan un papel crucial. La menopausia y el uso de anticonceptivos orales aumentan el riesgo de ACV. Asimismo, las mujeres son más propensas a ciertas enfermedades autoinmunes que pueden incrementar este riesgo, y condiciones como la preeclampsia y la hipertensión gestacional durante el embarazo también contribuyen significativamente. (Pérez Carreño, et. al., 2011).

Las consecuencias de un accidente cerebrovascular suelen causar una discapacidad física que afecta a muchas personas, restringiendo su capacidad para llevar a cabo actividades diarias. A decir de Faisal Amin, et.al. (2024), a nivel global, se proyecta que la prevalencia del ictus aumentará un 21.9% para el año 2030. Para optimizar la recuperación sensorial y motora de los sobrevivientes de ictus, se requiere un enfoque intensivo en su capacidad de control y adaptabilidad. Aproximadamente el 80% de quienes sufren un ictus presentan déficits motores en las extremidades superiores, lo que afecta significativamente su vida diaria.

Los accidentes cerebrovasculares isquémicos, que pueden ser trombóticos o embólicos, representan más del 80% de los casos. En contraste, los accidentes cerebrovasculares hemorrágicos, que incluyen tanto los intracerebrales como los subaracnoideos, son menos frecuentes, pero presentan una tasa de mortalidad significativamente más alta. Desde la perspectiva de Moyano, Á. (2010). El ECV es una de las principales causas de discapacidad y mortalidad en todo el mundo, un ACV puede provocar discapacidades temporales o permanentes. La gravedad de estas discapacidades depende del tiempo que el cerebro estuvo sin flujo sanguíneo y de la región cerebral afectada. Si la interrupción del flujo sanguíneo se prolonga, las áreas del cerebro privadas de oxígeno pueden sufrir daños significativos, lo que resulta en complicaciones a largo plazo.

A decir de Bravo, et. al., (2020). En su investigación "*Trombólisis intraarterial en ACV isquémico agudo*", una de las principales complicaciones es la parálisis o la pérdida de movimiento muscular, que puede afectar un lado del cuerpo o solo una extremidad, lo que puede dificultar la movilidad y la realización de actividades diarias, puede fácilmente tropezar, perder el equilibrio o la coordinación, así como dificultades para hablar o tragar, lo que puede complicar la comunicación y la alimentación.

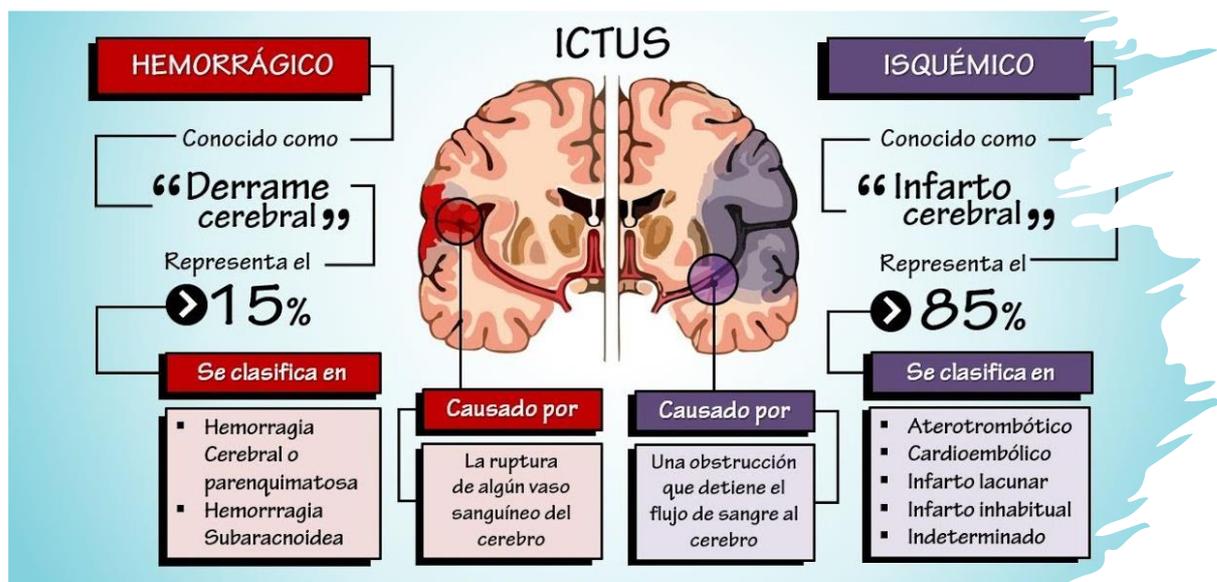
La pérdida de memoria y las dificultades cognitivas son también comunes después de un ACV. Estas dificultades pueden incluir problemas para pensar con claridad, concentrarse y recordar información. Además, los problemas emocionales, como la depresión y la ansiedad, son frecuentes y pueden afectar la calidad de vida y la recuperación. (Lincoln, et. al., 2016)

El dolor es otra complicación que puede surgir, a menudo como resultado de la espasticidad o rigidez muscular. Además, los cambios en el comportamiento y en la capacidad de autocuidado son frecuentes. Las personas que han sufrido un ACV pueden experimentar alteraciones en su personalidad y tener dificultades para cuidar de sí mismas, lo que puede requerir asistencia adicional para las tareas cotidianas, lo que subraya la importancia de comprender sus mecanismos, clasificaciones, factores de riesgo y consecuencias para mejorar las estrategias de prevención, tratamiento y rehabilitación. (Pinheiro, 2023)

4.2 Tipos De Eventos Cerebro Vasculares

El accidente cerebrovascular (ACV) o evento cerebrovascular, también conocido como enfermedad cerebrovascular (ECV), se clasifica en varios tipos, principalmente según su etiología. Los dos tipos principales son el ACV isquémico y el ACV hemorrágico (figura 3). Cada uno tiene subtipos específicos y características distintas.

Figura 3. Tipos de Eventos Cerebrovascular



4.2.1 ECV Tipo Isquémico

Representa aproximadamente el 87% de todos los ECVs y se produce por la obstrucción de una arteria cerebral debido a un trombo o coágulo sanguíneo privando al tejido cerebral de oxígeno y nutrientes, Este tipo de ECV puede derivarse de la aterosclerosis, donde se forman placas en las arterias que restringen el flujo sanguíneo. Este tipo representa aproximadamente el 85% de todos los ECV y se subdivide en trombótico, embólico y de pequeños vasos. (López, Fonseca, & Zamora, 2020).

4.2.2 ECV Trombótico

Se produce cuando un coágulo de sangre, conocido como trombo, se forma en una de las arterias que suministran sangre al cerebro. Este tipo de ECV suele estar asociado con arterias estrechas debido a la aterosclerosis. Este trombo bloquea el flujo sanguíneo hacia el tejido cerebral, lo que impide que el cerebro reciba el oxígeno y los nutrientes necesarios. La falta de flujo sanguíneo puede llevar a daños cerebrales significativos y a la aparición de síntomas neurológicos. La formación del trombo en el ECV trombótico se relaciona estrechamente con la aterosclerosis, una condición en la que se acumulan depósitos de grasa, colesterol y otras sustancias en las paredes arteriales, formando placas de ateroma. Estas placas pueden romperse, lo que expone material trombo génico que favorece la formación de coágulos. La hipertensión arterial, la diabetes, el hipercolesterolemia y el tabaquismo son factores de riesgo importantes que contribuyen al desarrollo de aterosclerosis y, en consecuencia, al riesgo de ECV trombótico. Además, el sedentarismo y el envejecimiento también aumentan la probabilidad de sufrir este tipo de accidente cerebrovascular. (Moscoso Gaibor, 2024).

Los síntomas de un ECV trombótico pueden incluir debilidad o parálisis repentina en un lado del cuerpo, dificultades para hablar o entender el lenguaje, visión borrosa o pérdida de visión, mareos o pérdida del equilibrio, y dolor de cabeza severo e inesperado. Estos síntomas se deben a la falta de flujo sanguíneo en áreas específicas del cerebro y pueden variar en severidad dependiendo de la ubicación y el tamaño del trombo. (García, et.al.,2019).

4.2.3 ECV Embólico:

Un evento cerebrovascular embólico se produce cuando un émbolo, generalmente un coágulo de sangre o material graso se forma en otra parte del cuerpo y viaja a través del torrente sanguíneo hasta alojarse en una arteria del cerebro. Este bloqueo impide el flujo normal de sangre a las áreas afectadas del cerebro, lo que puede llevar a un daño neurológico significativo.

La fuente más común de estos émbolos es el corazón, especialmente en personas con condiciones como fibrilación auricular, endocarditis o enfermedades valvulares cardíacas. Sin embargo, también pueden originarse en las arterias grandes, como las carótidas. (Bernabé-Ortiz & Carrillo-Larco, 2021).

Los síntomas de un evento cerebrovascular embólico suelen presentarse de manera súbita y severa. Los pacientes pueden experimentar debilidad o parálisis en un lado del cuerpo, dificultad para hablar o comprender el lenguaje (afasia), pérdida de la visión en uno o ambos ojos, falta de coordinación y una confusión repentina. La naturaleza abrupta y la gravedad de estos síntomas reflejan la rapidez con la que el flujo sanguíneo cerebral se ve comprometido por el émbolo. (Maya, Cortes, Rodríguez & Villareal, 2023).

Para diagnosticar un evento cerebrovascular embólico, se utilizan técnicas de imagen avanzadas como la tomografía computarizada (TC) o la resonancia magnética (RM) del cerebro. Estas herramientas permiten identificar la ubicación y el tipo de accidente cerebrovascular. Además, se pueden realizar estudios adicionales, como ecocardiogramas, para detectar posibles fuentes de émbolos en el corazón, y ultrasonidos de las arterias carótidas para evaluar el riesgo de futuras embolias.

El pronóstico para los pacientes que sufren un evento cerebrovascular embólico depende de varios factores, incluidos la ubicación y el tamaño del coágulo, así como la rapidez con que se inicie el tratamiento. Si el tejido cerebral se ve privado de oxígeno durante un tiempo prolongado, el daño neurológico puede ser irreversible. Por ello, el reconocimiento rápido de los síntomas y la intervención médica inmediata son esenciales. Además, la rehabilitación juega un papel crucial en ayudar a los pacientes a recuperar la función perdida y mejorar su calidad de vida. La gestión de afecciones cardíacas subyacentes es fundamental para prevenir la recurrencia de estos eventos. (Donnan, Fisher, Macleod, Davis, 2008)

4.2.4 ECV de Pequeños Vasos (Ictus Lacunar):

Para Rodríguez-Venegas & Denis-Piedra (2023), “Los factores de riesgo para la enfermedad cerebrovascular en el adulto mayor incluyen condiciones como la hipertensión arterial y la diabetes mellitus”. El ictus lacunar se considera benigno o menor. Ocurre cuando se bloquean las arterias pequeñas y profundas dentro del cerebro. Este tipo de ictus está relacionado con factores de riesgo como la hipertensión y la diabetes. Los factores

mencionados contribuyen significativamente al desarrollo de enfermedades cerebrovasculares, destacando la importancia de su control y manejo adecuado en la prevención de eventos cerebrovasculares en poblaciones vulnerables.

4.2.5 ECV Tipo Hemorrágico:

En contraste con otros tipos de accidentes cerebrovasculares, el ACV hemorrágico implica un sangrado intracraneal, lo cual puede causar un daño directo significativo al tejido cerebral. La clasificación precisa de estos eventos es esencial para la atención médica adecuada y la formulación de estrategias terapéuticas específicas. Velasco Quintero, Palechor Gómez y Guerrero Eraso (2024) destacan la importancia de identificar correctamente las categorías de ACV, ya que esto influye en el enfoque terapéutico adoptado. El manejo del ACV hemorrágico requiere intervenciones inmediatas para controlar el sangrado, reducir la presión intracraneal y limitar el daño neuronal, lo cual puede incluir desde el manejo médico intensivo hasta procedimientos neuroquirúrgicos.

4.3 Hemorragia Intracerebral

Se produce cuando una arteria dentro del cerebro se rompe y provoca sangrado en el tejido cerebral. Las causas comunes incluyen hipertensión, traumatismos y malformaciones vasculares.

4.3.1 Hemorragia Subaracnoidea:

La hemorragia subaracnoidea se produce cuando hay sangrado en el espacio entre el cerebro y la membrana que lo recubre, conocido como espacio subaracnoideo. Este tipo de hemorragia suele ser causado por la ruptura de un aneurisma cerebral. Aunque es una condición grave, es relativamente infrecuente en el contexto del tratamiento trombolítico. Según Rojas-Benites et al. (2021), la hemorragia subaracnoidea como complicación de la trombólisis endovenosa es muy rara. Este evento adverso destaca la necesidad de una evaluación cuidadosa de los riesgos al considerar la trombólisis endovenosa en pacientes con accidente cerebrovascular isquémico, ya que, aunque infrecuente, puede tener consecuencias significativas.

4.3.2 Ataque Isquémico Transitorio (AIT)

El ATAQUE ISQUÉMICO TRANSITORIO (AIT), a menudo denominado "mini-ACV", se produce debido a una interrupción temporal del flujo sanguíneo al cerebro, lo que provoca síntomas similares a los de un accidente cerebrovascular (ACV) pero que desaparecen en menos de 24 horas sin causar daño permanente. El concepto de AIT fue acuñado en 1958 por Millar Fisher, quien lo definió como un breve episodio de disfunción neurológica focal o retiniana, de duración menor a 24 horas, resultado de un déficit en el aporte sanguíneo en el territorio irrigado por un sistema vascular cerebral (Durán-Ferrerías, Viguera-Romero y Martínez-Parra, 2007). Sin embargo, la American Heart Association/American Stroke Association (AHA/ASA) considera que referirse a un límite temporal no es apropiado, ya que un límite de una hora no diferencia adecuadamente los episodios con o sin infarto del tejido.

4.4 Rehabilitación Post-ECV

Después de un accidente cerebrovascular, los pacientes generalmente experimentan una curva de recuperación funcional que tiende a estabilizarse con el tiempo. La evidencia sugiere que el 95% de los pacientes alcanza su nivel óptimo de recuperación dentro de las 13 semanas posteriores al ictus, aunque el 80% alcanza este nivel en las primeras seis semanas (Camperos Toro, Silva, & Wlaychel, 2021). Esta trayectoria de recuperación, que muestra una pendiente progresivamente menor, refleja una mejora inicial rápida que se ralentiza con el tiempo. La velocidad de recuperación está estrechamente vinculada a la severidad del ictus; aquellos con un cuadro más severo tienden a experimentar una recuperación funcional más lenta. (Sánchez-Silverio, Abuín-Porras & Rodríguez-Costa, 2020).

Para optimizar esta recuperación, es fundamental implementar estrategias de rehabilitación adecuadas, que incluyen:

4.4.1 Fisioterapia

Se enfoca en mejorar la movilidad, fuerza y coordinación motora, utilizando ejercicios de fortalecimiento y técnicas de reeducación del movimiento. La fisioterapia cobra una importancia aún mayor que el tratamiento médico al evaluar con precisión el nivel de independencia funcional del paciente. Este impacto no se limita al periodo de hospitalización, sino que se extiende mediante un seguimiento continuo, complementado con apoyo en el

entorno social y asistencial, facilitando la realización de las actividades cotidianas del paciente. (Toribio Picón, 2020)

4.4.2 Terapia Ocupacional

Busca mejorar la capacidad del paciente para realizar actividades de la vida diaria mediante el desarrollo de habilidades y la adaptación del entorno. La terapia ocupacional ayuda a los pacientes a readaptarse a su entorno y recuperar la autonomía, utilizando técnicas personalizadas que se adaptan a las necesidades específicas de cada individuo. Esto puede incluir el uso de herramientas asistidas, la modificación del entorno doméstico y el entrenamiento en nuevas formas de realizar tareas cotidianas, todo con el objetivo de mejorar la calidad de vida del paciente.

De acuerdo con Riascos & Villareal (2023), en su análisis “Accidente cerebro vascular isquémico en adultos mayores: un enfoque desde Terapia Ocupacional”, publicado en el *Boletín Informativo CEI*, 10(3), pagina 85, esta forma de rehabilitación se centra en mejorar la capacidad del individuo para realizar actividades de la vida diaria, como vestirse, cocinar y asearse. Tras un ECV, los pacientes pueden enfrentar una serie de déficits, incluyendo debilidad muscular, pérdida de coordinación y deterioro cognitivo. El proceso terapéutico se convierte en un medio para reconstruir la identidad y la confianza, permitiendo a los sobrevivientes del ACV reintegrarse de manera más efectiva a sus vidas sociales y laborales. Por lo tanto, la terapia ocupacional es crucial para la recuperación funcional de los pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ECV).

4.4.3 Terapia del Habla

La terapia del lenguaje es fundamental en la rehabilitación de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ECV), especialmente en aquellos que desarrollan afasia, una condición que afecta la capacidad de comunicarse. Esta terapia se enfoca en restaurar y mejorar las habilidades lingüísticas, ayudando a los pacientes a recuperar la capacidad de hablar, comprender, leer y escribir.

La terapia del lenguaje trabaja directamente con estos problemas, utilizando técnicas específicas para reentrenar las funciones cerebrales responsables del lenguaje. Los terapeutas del lenguaje evalúan el tipo y el grado de afasia, y diseñan programas personalizados que

pueden incluir ejercicios para mejorar la pronunciación, la comprensión auditiva, y la fluidez verbal. También se emplean estrategias compensatorias, como el uso de dispositivos de comunicación asistida, para facilitar la interacción en casos de afasia severa.

La terapia del lenguaje es fundamental en la rehabilitación de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ECV), especialmente en aquellos que desarrollan afasia, una condición que afecta la capacidad de comunicarse. Esta terapia se enfoca en restaurar y mejorar las habilidades lingüísticas, ayudando a los pacientes a recuperar la capacidad de hablar, comprender, leer y escribir. La terapia del lenguaje trabaja directamente con estos problemas, utilizando técnicas específicas para reentrenar las funciones cerebrales responsables del lenguaje.

Según Ferrales, Cedeño, Batista & Rodés (2022), la terapia del lenguaje tiene un impacto significativo en el bienestar emocional del paciente. La pérdida de la capacidad para comunicarse puede llevar a sentimientos de aislamiento, frustración y depresión. Mediante el apoyo continuo y la mejora gradual de las habilidades de comunicación, los pacientes suelen experimentar un aumento en la autoestima y una mejor reintegración en su vida social y familiar. Este aspecto emocional es crucial para el éxito general de la rehabilitación post-ACV, ya que una mejor comunicación fomenta la participación del paciente en su entorno y contribuye a una recuperación más completa.

4.6 Fundamentación Anatómica

Para la fundamentación anatómica se ha enfocado en el estudio detallado de la estructura del cuerpo humano, en este caso, específicamente la rodilla, que incluye la identificación y descripción de los componentes anatómicos y su función en el movimiento y la estabilidad de la articulación.

La estabilidad de la rodilla depende de los ligamentos, que se encuentran tanto dentro como fuera de la cápsula articular. Estos ligamentos son fundamentales para conectar los tres huesos que componen la rodilla: el fémur, la tibia y la rótula. Los cóndilos del fémur se articulan con la tibia, mientras que la parte posterior de la rótula se une a la tróclea del fémur (Sanitas, s.f.).

La dificultad para caminar después de un accidente cerebrovascular se debe principalmente a trastornos unilaterales que incluyen la reducción de la capacidad de soportar

peso, falta de coordinación y equilibrio, y debilidad muscular. Una de las estrategias para ayudar a los pacientes a recuperar su capacidad de caminar es el entrenamiento de la marcha asistida, que incrementa la cantidad de ciclos de marcha y promueve movimientos regulares y precisos, con menos esfuerzo por parte del terapeuta. (Shafaq Mushtaq, et. al., 2024).

4.7 Fundamentación Biomecánica

En el contexto del diseño del presente trabajo de titulación, se hace importante abarcar la biomecánica de la articulación de la rodilla, para entender cómo se mueve y cómo una órtesis podría ayudar a mejorar la función y el soporte de esta articulación en pacientes con problemas de movilidad.

Para Ramiro, E. N. (2021), la biomecánica es la ciencia que estudia el movimiento y las fuerzas que actúan sobre el cuerpo humano (o de otros seres vivos), así como la interacción entre las estructuras biológicas y las leyes de la mecánica. Combina principios de la física, la ingeniería, la anatomía y la fisiología para comprender cómo se producen y controlan los movimientos, cómo responden los tejidos y estructuras corporales a diferentes cargas, y cómo se pueden diseñar dispositivos que interactúen eficazmente con el cuerpo, como prótesis, órtesis y equipos deportivos.

La fundamentación biomecánica estudia los principios mecánicos aplicados al movimiento y la estructura del cuerpo humano. Examina cómo las fuerzas internas y externas afectan la función de las articulaciones y los tejidos, y cómo se puede optimizar el diseño de dispositivos ortopédicos para mejorar el rendimiento y la recuperación. (Percaz, 2023).

4.7.1 Biomecánica de la Articulación de la Rodilla

La biomecánica de la articulación de la rodilla es un campo de estudio que se enfoca en comprender cómo esta articulación crucial del cuerpo humano se mueve, las fuerzas que actúan sobre ella y la interacción de sus diversas estructuras anatómicas. La rodilla, siendo la articulación más grande del cuerpo, desempeña un papel vital en la locomoción y el soporte del peso corporal, lo que la convierte en un área de interés particular tanto en la medicina como en la ingeniería biomédica.

Desde un punto de vista estructural, la rodilla conecta tres huesos principales: el fémur (hueso del muslo), la tibia (hueso de la pierna) y la rótula (hueso de la rodilla). Estas estructuras están recubiertas por cartílago articular, que reduce la fricción durante el movimiento y protege los huesos de daños. Además, la rodilla contiene dos meniscos que actúan como amortiguadores y estabilizadores, distribuyendo las cargas de manera uniforme y absorbiendo el impacto durante actividades físicas como caminar, correr o saltar. (Likens, & Stergiou, 2020).

En cuanto a los movimientos, la rodilla permite principalmente la flexión y extensión, es decir, doblar y enderezar la pierna. Sin embargo, también permite movimientos rotacionales limitados, como la rotación interna y externa, que ocurren cuando la rodilla está ligeramente flexionada. Estos movimientos son controlados por los músculos circundantes, especialmente los cuádriceps, que extienden la rodilla, y los isquiotibiales, que la flexionan. Además, la estabilidad de la rodilla depende de los ligamentos cruzados (anterior y posterior) y los ligamentos colaterales (medial y lateral), que previenen movimientos excesivos y protegen la articulación de lesiones.

Las fuerzas que actúan sobre la rodilla son complejas. Durante el movimiento, la rodilla soporta tanto fuerzas de compresión, que actúan perpendicularmente a la articulación, como fuerzas de cizallamiento, que actúan paralelas a las superficies articulares. La capacidad de la rodilla para soportar estas fuerzas sin sufrir daños depende en gran medida de la distribución adecuada de las cargas, facilitada por los meniscos y el cartílago articular. Sin una distribución adecuada, se podría acelerar el desgaste de la articulación, llevando a condiciones dolorosas como la osteoartritis. (Freyne, 2022).

En el contexto de la rehabilitación, la biomecánica de la rodilla se analiza para entender cómo las lesiones o condiciones, como un evento cerebrovascular, afectan los patrones de movimiento normales. El análisis biomecánico en rehabilitación es crucial para diseñar intervenciones que restauren la funcionalidad de la rodilla. Aquí es donde las órtesis juegan un papel fundamental. Un diseño de órtesis eficaz debe tener en cuenta la biomecánica de la rodilla para proporcionar soporte sin limitar los movimientos naturales, permitiendo así una rehabilitación más efectiva y una mejora en la movilidad del paciente.

El análisis de la biomecánica de la rodilla revela la complejidad de esta articulación y la importancia de comprender sus movimientos y cargas para diseñar soluciones de rehabilitación efectivas. Este conocimiento es esencial para el desarrollo de órtesis que no solo

sean cómodas y ajustadas, sino que también mejoren la funcionalidad y la calidad de vida de los pacientes con problemas de movilidad. (Russell, Kormushev, Vaidyanathan, & Ellison, 2020).

La biomecánica abarca dos dimensiones fundamentales: la estática, que se enfoca en los cuerpos en estado de equilibrio, y la dinámica, que estudia el comportamiento de los cuerpos en movimiento o desequilibrio. En cuanto a la rodilla, se puede considerar en tres secciones distintas: tibiofemoral, patelofemoral y tibiofibular proximal. No obstante, el movimiento integral de la rodilla resulta de la interacción entre el fémur, la tibia y la rótula, siendo la tibiofibular proximal esencial para la movilidad del tobillo (Ramiro, s.f.).

4.7.2 Impacto del ECV en la Biomecánica

El impacto de un evento cerebrovascular (ECV) en la biomecánica del cuerpo humano, particularmente en la función de las extremidades inferiores, es un área de considerable importancia en la rehabilitación y el diseño de dispositivos ortésicos. Los ECV, que pueden resultar en la interrupción del suministro sanguíneo al cerebro, suelen provocar debilidad muscular, pérdida de coordinación y alteraciones en la capacidad de realizar movimientos voluntarios. Estas consecuencias tienen un efecto directo en la biomecánica de la articulación de la rodilla, alterando la cinemática y la dinámica de esta estructura crítica. (Geerars, Minnaarvan der Feen, & Huisstede, 2022).

4.7.3 Alteraciones en la Biomecánica de la Rodilla Post-ECV

Uno de los efectos más evidentes de un ECV es la hemiparesia, una condición que se caracteriza por la debilidad parcial de un lado del cuerpo. En el contexto de la rodilla, la hemiparesia puede resultar en una reducción significativa de la fuerza de los músculos extensores, como el cuádriceps, lo que afecta la capacidad de la rodilla para estabilizarse durante la fase de apoyo en la marcha. Esta disminución en la capacidad de extensión compromete la estabilidad de la rodilla, lo que a su vez afecta la distribución de cargas y aumenta el riesgo de caídas. (Sato, et.al., 2022).

Además, la alteración de la coordinación muscular post-ECV puede llevar a un patrón de marcha anormal, donde la flexión y extensión de la rodilla se ven comprometidas. La marcha hemiparesia, común en pacientes con ECV, a menudo se caracteriza por una hiperextensión de la rodilla durante la fase de apoyo, un mecanismo compensatorio que intenta mantener la

estabilidad a pesar de la debilidad muscular. Sin embargo, esta compensación puede inducir un estrés adicional en los ligamentos y cartílago articular, acelerando el desgaste de la articulación y aumentando la predisposición a lesiones degenerativas.

4.7.4 Implicaciones para la Rehabilitación y Diseño de Órtesis

La alteración biomecánica resultante de un ECV subraya la necesidad de enfoques de rehabilitación que se centren en la restauración de la función muscular y la corrección de los patrones de movimiento anormales. En este contexto, las órtesis de rodilla pueden desempeñar un papel crucial. Un diseño ortopédico adecuado debe proporcionar soporte externo que compense la debilidad muscular y mejore la estabilidad de la rodilla, sin restringir la movilidad necesaria para una marcha funcional. Además, el análisis biomecánico es esencial para personalizar las órtesis, adaptándolas a las necesidades específicas del paciente y optimizando su eficacia en la rehabilitación. (Maeshima, et al. 2017)

Por lo tanto, el impacto de un ECV en la biomecánica de la rodilla es significativo y multifacético, afectando tanto la estabilidad como la funcionalidad de la articulación. La comprensión detallada de estas alteraciones es fundamental para desarrollar estrategias de rehabilitación efectivas y diseñar dispositivos ortopédicos que no solo mitiguen las deficiencias biomecánicas, sino que también promuevan la recuperación funcional a largo plazo. (Russell, et.al., 2020).

4.7.5 Revisión del Estado del Arte en Diseño de Órtesis

El estado del arte en el diseño de órtesis refleja una evolución hacia soluciones más sofisticadas y personalizadas, donde la combinación de análisis biomecánicos detallados y tecnologías avanzadas de fabricación permite ofrecer dispositivos que no solo restauran la funcionalidad física, sino que también mejoran la calidad de vida de los usuarios.

Para Cuéllar, S. Q., & Sánchez, M. G. O. (2021), el diseño de órtesis ha experimentado una transformación notable en las últimas décadas, impulsada por avances significativos en la ingeniería biomédica, los materiales y las técnicas de fabricación, como la impresión 3D. Estos avances han permitido un enfoque más integral y personalizado en el desarrollo de órtesis modernas, que ahora están diseñadas no solo para corregir deformidades o asistir en la movilidad, sino también para maximizar la funcionalidad y el confort del usuario.

Las órtesis contemporáneas incorporan principios avanzados de biomecánica y tecnologías de simulación computacional. Esta integración facilita el diseño de dispositivos que se ajustan de manera precisa a la anatomía única de cada paciente, optimizando la distribución de cargas sobre las articulaciones afectadas. Además, estos avances mejoran significativamente la eficiencia del movimiento, promoviendo una rehabilitación más efectiva y una recuperación más rápida. (Salamanca Flores, 2021).

4.7.6 Avances Tecnológicos y Materiales

Uno de los mayores avances en el diseño de órtesis ha sido la incorporación de materiales compuestos y polímeros avanzados que ofrecen una mejor relación peso-resistencia. Estos materiales permiten la fabricación de órtesis ligeras y duraderas, que son más cómodas para el usuario y reducen el riesgo de lesiones por uso prolongado. La impresión 3D ha revolucionado la personalización, permitiendo la creación de dispositivos a medida, adaptados a la morfología y necesidades específicas del paciente. (Hernández Medellín, 2021)

4.8 Importancia de Programas de Diseño como Cinema 4D

Según la Escuela Superior de Diseño de Barcelona (2024), indican que la integración de programas de diseño avanzados como Cinema 4D en el desarrollo de órtesis ha sido clave para mejorar la precisión y la personalización de estos dispositivos.

La autora Ana Torres (2024), hace una explicación sobre el programa de diseño Cinema 4D, el cual permite realizar modelado, animación, simulación y renderización en 3D y 4D, creado por la empresa alemana Maxon. Su interfaz es conocida por ser intuitiva y fácil de usar, lo que lo convierte en una herramienta popular en el campo del diseño gráfico, la animación y los efectos visuales.

Cinema 4D permite a los diseñadores crear modelos tridimensionales detallados que pueden simular el comportamiento biomecánico de la órtesis en el cuerpo humano. Estas simulaciones permiten identificar y corregir posibles problemas en la fase de diseño, reduciendo el tiempo y los costos asociados con la creación de prototipos físicos. Además, la capacidad de generar visualizaciones precisas facilita la colaboración entre ingenieros, médicos y pacientes, asegurando que el diseño final cumpla con los requisitos funcionales y estéticos.

4.8.1 Integración de Sensores y Tecnología

El desarrollo de órtesis inteligentes, que incorporan sensores y microcontroladores, ha abierto nuevas posibilidades en la monitorización en tiempo real del rendimiento del

dispositivo y la adaptación dinámica a las necesidades del usuario. Estos dispositivos pueden ajustar la rigidez o flexibilidad en respuesta a los movimientos del usuario, proporcionando un soporte optimizado y contribuyendo a la rehabilitación activa.

[...] Las ortesis inteligentes son dispositivos capaces de adaptarse al cuerpo del paciente o una parte de este. Estos actúan como sistemas inteligentes de procesamiento y de reconocimiento de múltiples patrones para la toma de decisiones en la ejecución de alguna función por medio de actuadores, con el fin de realizar una tarea previamente definida [...] (Fraile & Casas, 2021 p. 159)

A pesar de los avances, el diseño de órtesis enfrenta desafíos significativos, como la necesidad de mejorar la compatibilidad entre la tecnología y el cuerpo humano, y de reducir los costos para hacer accesibles estos dispositivos a una población más amplia. La investigación futura se centrará en mejorar la interfaz usuario-dispositivo, integrar mejor la tecnología y el cuerpo, y desarrollar soluciones más accesibles y sostenibles, por ello, hay que destacar la importancia de la personalización y la integración tecnológica para mejorar la calidad de vida de los pacientes. Las investigaciones y desarrollos futuros permitirán optimizar las soluciones para una rehabilitación más efectiva y personalizada.

5. MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de esta investigación se adoptó un enfoque metodológico basado en una revisión bibliográfica exhaustiva, con el propósito de diseñar una órtesis de soporte para la rodilla que optimice la estabilidad y movilidad de pacientes que han sufrido un evento cerebrovascular (ECV). Aunque el objetivo principal radica en la creación de un dispositivo eficaz, la investigación permitió realizar un análisis profundo de los aspectos anatómicos involucrados en el movimiento de la rodilla durante el proceso de extensión muscular y explorar la biomecánica compleja de la articulación de la rodilla. Esta revisión bibliográfica facilitó la construcción de un marco teórico sólido y proporcionó una base científica para el diseño de la órtesis.

La selección de la literatura fue realizada mediante la aplicación de criterios de inclusión y exclusión rigurosamente definidos, lo que permitió filtrar y seleccionar estudios relevantes y actualizados publicados entre 2020 y 2024. Este proceso aseguró que se incluyeran únicamente aquellos trabajos que aportaran información valiosa sobre el diseño de órtesis de rodilla, la biomecánica post ECV, y las innovaciones en dispositivos ortopédicos, así como artículos referentes al ECV. La revisión crítica de estos textos no solo ayudó a comprender el estado actual del arte en el diseño de órtesis para la rodilla, sino que también identificó áreas de oportunidad para mejorar los dispositivos existentes, adaptándolos a las necesidades específicas de los pacientes post ECV.

Los hallazgos obtenidos a partir de esta revisión fueron fundamentales para el desarrollo del diseño preliminar de la órtesis. Se aseguraron de que el diseño propuesto esté alineado con la evidencia científica más reciente y relevante, garantizando así un enfoque basado en datos y conocimiento actualizado. Esto permitió que el diseño de la órtesis no solo se ajustara anatómicamente a la rodilla, sino que también ofreciera mejoras en términos de estabilidad, comodidad, y efectividad en la rehabilitación, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación.

5.2 Revisión de procesos actuales

- Estudios, artículos médicos, casos, boletines, artículos científicos publicados entre 2020 y 2024.

- Publicaciones que aborden temas relacionados con el diseño de órtesis de rodilla, biomecánica de la rodilla, rehabilitación post ECV, y avances tecnológicos en dispositivos ortopédicos.
- Documentos, información, artículos y publicaciones sobre eventos/accidentes cerebrovasculares en adultos.
- Artículos y estudios publicados en inglés y español.
- Investigaciones originales, boletines, cartas, informes, revisiones sistemáticas, estudios de caso, y metaanálisis que ofrezcan evidencia relevante para el diseño de órtesis de rodilla.
- Fuentes disponibles en bases de datos académicas reconocidas como Science Direct, Scopus, Web of Science y Google Scholar.

5.2.1 Criterios de Exclusión

- Publicaciones anteriores a 2020.
- Estudios que no estén directamente relacionados con el diseño de órtesis de rodilla o con la rehabilitación de pacientes post ECV.
- Publicaciones en idiomas distintos al inglés y español, que no cuenten con una traducción accesible.
- Documentos, información, artículos y publicaciones sobre Eventos cerebrovasculares en niños o jóvenes.
- Artículos de dudosa calidad o en bases de datos no reconocidas.
- Estudios cuya versión completa no esté disponible o requieran un acceso restringido sin posibilidad de adquisición.

5.3 Justificación del tema de estudio con el objetivo y el problema

El diseño una órtesis de rodilla para la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad parcial y debilitamiento de las extremidades inferiores tras un evento cerebrovascular está estrechamente vinculada al objetivo general y específico de la investigación, y se justifica por la necesidad crítica de mejorar la calidad de vida de los pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular, dado que estos eventos pueden resultar en una pérdida significativa de movilidad y funcionalidad.

La investigación de Piloto et al. (2020) resalta la prevalencia y las consecuencias del accidente cerebrovascular, haciendo evidente la necesidad de soluciones efectivas para la rehabilitación de estos pacientes. Así mismo, la comprensión detallada de la biomecánica y la anatomía de la rodilla permite crear un dispositivo que se ajuste adecuadamente a la anatomía del paciente, asegurando comodidad y eficacia en la rehabilitación. El diseño y simulación del modelo 4D proporcionan una base para desarrollar una órtesis que ofrezca soporte y facilidades de movimiento adecuadas, adaptándose a las necesidades específicas de los pacientes con movilidad reducida post-accidente cerebrovascular.

En relación con el problema de estudio, está dado que la ingeniería biomédica, según Castellanos (2021), aborda los problemas médicos aplicando conocimientos de ingeniería para desarrollar tecnologías que mejoren el cuidado y la rehabilitación de los pacientes. En el contexto de la rehabilitación post-accidente cerebrovascular, la biomecánica juega un papel fundamental. Los avances en este campo permiten diseñar dispositivos como órtesis que no solo proporcionan soporte, sino que también facilitan la recuperación al mejorar el movimiento y la estabilidad. La integración de estos avances en la investigación asegura que el diseño de la órtesis se base en principios biomecánicos sólidos, lo cual es crucial para la efectividad del dispositivo.

La investigación de Goldfarb et al. (2023) demuestra que es posible implementar tecnologías avanzadas en dispositivos ortopédicos para mejorar la estabilidad y reducir el riesgo de caídas en prótesis de miembro inferior. Esta evidencia subraya la importancia de utilizar tecnologías predictivas y de modelado para desarrollar soluciones efectivas para la rehabilitación, lo cual es pertinente para el diseño de la órtesis de rodilla que se propone.

Es así, tanto la elección del tema, como de los objetivos de este trabajo de titulación están bien fundamentados en la necesidad de soluciones de rehabilitación efectivas para pacientes con movilidad comprometida debido a un evento cerebrovascular, estableciendo que la aplicación de principios biomecánicos avanzados y la incorporación de tecnologías de modelado aseguran que el diseño de la órtesis sea funcional, cómodo y adaptado a las necesidades específicas de los pacientes.

5.4 Búsqueda en las Bases de Datos

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo entre el 28 de julio y el 18 de agosto de 2024 en las bases de datos electrónicas antes descritas. Para incorporar evidencia reciente, el autor centro la búsqueda en artículos científicos, artículos abiertos o libres, boletines, casos, libros entre otros, publicados entre 2020 y 2024. La estrategia de búsqueda se ajustó a cada base de datos y se aplicaron los criterios de inclusión correspondientes. Tras obtener los resultados, se procedió al análisis de la información recopilada.

5.5 Estrategia de búsqueda

Fueron utilizados operadores booleanos AND y OR, lo que permitió obtener hallazgos de documentación que sirvió para el desarrollo de esta investigación, así como palabras claves que sirvieron para encontrar más información, pero sobre todo permitió establecer las palabras clave de revisión

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: ("knee orthosis" OR "knee brace") AND ("support device" OR "assistive device") AND ("stroke" OR "cerebrovascular accident"). "stroke rehabilitation" OR "post-stroke rehabilitation" AND ("cerebrovascular accident" OR "stroke") AND "recovery". ("knee orthosis" OR "orthotic devices") AND ("biomedical engineering" OR "engineering principles" OR "biomechanics"). "stroke rehabilitation" AND "physical therapy" AND ("cerebrovascular accident" OR "stroke") AND "recovery". ("biomechanics" OR "biomechanical analysis") AND ("orthosis" OR "knee brace") AND ("rehabilitation" OR "mobility impairment").

Así mismo, fueron utilizadas palabras clave tales como: Órtesis, rodilla, ECV, rehabilitación, isquemia, accidente cerebro vascular, biomédica, biomecánica.

5.6 Recolección de documentación

En el proceso de recolección de información para el presente estudio, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de un total de 82 referencias. Este análisis detallado incluyó la evaluación de la pertinencia y sobre todo la confiabilidad de cada fuente con el fin de asegurar que solo se incorporaran aquellas que realmente contribuyeran al marco teórico y a los objetivos de la investigación. Como resultado de este proceso, se excluyeron 19 documentos que no cumplieran con los criterios establecidos, estas referencias fueron

descartadas debido a su irrelevancia directa con el tema central del estudio, así como por proceder de fuentes no confiables o de baja calidad académica.

Los criterios de exclusión aplicados durante la selección de la bibliografía fueron estrictos y específicos, se eliminaron aquellos documentos que no abordaban de manera directa y clara el diseño de órtesis de rodilla, ni la rehabilitación post-ECV. Además, se excluyeron publicaciones provenientes de fuentes no académicas, como sitios web sin revisión por pares, blogs o artículos de opinión, ya que la incorporación de información de baja calidad podría haber comprometido la solidez de los resultados.

Así mismo, se incluyeron 63 referencias que sí cumplían con los estrictos criterios de inclusión. De estas, 34 documentos se centraron específicamente en temas relacionados con el diseño de órtesis de rodilla, biomecánica, rehabilitación post-ECV y aspectos de ingeniería biomédica. Estos estudios proporcionaron una base sólida para el análisis biomecánico, permitiendo definir las características esenciales que debía tener el dispositivo propuesto. Los 29 documentos restantes se enfocaron en eventos cerebrovasculares, como la isquemia y otros tipos de accidentes cerebrovasculares, ofreciendo información crucial sobre los efectos de estos eventos en la movilidad de los pacientes y la necesidad de soluciones efectivas para su rehabilitación.

La integración de estas referencias seleccionadas permitió construir un marco teórico robusto y actualizado, que sustenta de manera adecuada el diseño de la órtesis de rodilla en el contexto de la rehabilitación tras un accidente cerebrovascular. Este enfoque metodológico, basado en una cuidadosa selección de la literatura, asegura que el dispositivo propuesto esté fundamentado en evidencia científica relevante y de alta calidad, alineada con los objetivos del estudio.

5.7 Validación de datos.

La Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador ofrece a sus estudiantes acceso a una amplia variedad de bases de datos científicas, permitiendo el acceso a información de alta calidad. Entre las plataformas disponibles se incluyen ProQuest, Ebrary, eLibro, Gale, IEEE Xplore, Science Direct, EBSCO eBooks, Web of Science, Digital Library, Springer, Taylor & Francis, Oducal, Sport Discus, Emerald, Magisterio Editorial, Ovid, Vlex, Virtualex, Scopus, y Google Scholar, entre otras. Para esta investigación, el autor seleccionó las bases de datos Science Direct, Scopus, Web of Science, y Google Scholar, asegurando así la validación y

confiabilidad de la información utilizada a través de fuentes reconocidas y revisadas por expertos en el campo.

5.7.1 Science Direct

Es una plataforma de acceso a literatura científica y técnica proporcionada por Elsevier, que ofrece una extensa colección de artículos de revistas y capítulos de libros en diversas áreas del conocimiento. Diseñada para facilitar la búsqueda y el acceso a investigaciones de alta calidad, ScienceDirect permite a los usuarios explorar contenido actualizado y especializado, y realizar búsquedas detalladas en temas específicos. La plataforma incluye herramientas para visualizar métricas y referencias, lo que apoya la investigación y la evaluación de la literatura científica.

5.7.2 Scopus

Se trata de una base de datos de bibliografía y resúmenes de literatura académica que ofrece una amplia cobertura de artículos científicos, conferencias y patentes en diversas disciplinas. Desarrollada por Elsevier, Scopus permite a los investigadores acceder a una vasta cantidad de recursos y realizar búsquedas avanzadas para evaluar el impacto y la calidad de las publicaciones. Su herramienta de análisis de citas y métricas proporciona información valiosa sobre la influencia y la relevancia de los trabajos académicos en la comunidad científica. Además, muestra una visión general muy completa de los resultados de la investigación mundial en los campos de la ciencia, la tecnología, la medicina, las ciencias sociales y las artes y humanidades. Cuenta con herramientas inteligentes para llevar a cabo un seguimiento, analizar y visualizar la investigación.

5.7.3 Web of Science

Web of Science es una plataforma integral de investigación que está diseñada para atender tanto a investigadores noveles como a profesionales experimentados. Ofrece un proceso de búsqueda altamente optimizado que permite a los usuarios localizar y analizar rápidamente una vasta cantidad de investigaciones relevantes, abarcando tanto estudios recientes como literatura histórica. La plataforma cubre una amplia gama de campos de investigación, proporcionando acceso a una rica base de datos de artículos de revistas, actas de conferencias, libros y patentes.

Uno de los aspectos distintivos de Web of Science es su capacidad para realizar búsquedas detalladas y avanzadas, lo que facilita la identificación de trabajos relevantes y la

evaluación de sus impactos mediante métricas de citas. Además, ofrece herramientas analíticas que ayudan a rastrear las tendencias en la investigación y a identificar las conexiones entre diferentes estudios y autores.

5.7.4 Google Scholar

Es un motor de búsqueda especializado en literatura académica que proporciona acceso a una amplia variedad de documentos científicos, incluyendo artículos de revistas, tesis, libros y conferencias. Diseñado para ser una herramienta accesible tanto para investigadores novatos como para expertos, facilita la búsqueda de investigaciones relevantes de diferentes disciplinas. Su interfaz intuitiva permite realizar búsquedas rápidas y efectivas, y ofrece información sobre el número de citas de cada publicación, lo que ayuda a evaluar su impacto y relevancia en la comunidad académica. Aunque no ofrece las herramientas analíticas avanzadas de otras bases de datos, su amplio alcance y fácil acceso lo convierten en un recurso valioso para explorar la literatura científica y mantenerse actualizado con los últimos avances en diversas áreas de estudio.

5.8 Proceso del diseño

La metodología del proceso de diseño de una órtesis de rodilla para pacientes que han sufrido un evento cerebrovascular (ECV) abarca una serie de pasos sistemáticos y procedimientos que guían al autor a diseñar un modelo 3D de la órtesis que se ajuste de manera óptima a la rodilla, garantizando comodidad y soporte adecuado para el paciente. (Cuéllar, et.al., 2021)

Este diseño está enfocado en facilitar el movimiento de flexión y extensión de la rodilla, permitiendo al paciente recuperar fuerza muscular y mejorar la estabilidad articular e incorpora un análisis exhaustivo de los aspectos anatómicos involucrados en el movimiento de la rodilla durante el proceso de extensión muscular, lo que permita al especialista comprender la estructura y el funcionamiento de la rodilla afectada, para desarrollar una órtesis que no solo promueva la activación muscular gradual, sino que también respete la biomecánica natural de la articulación.

A partir de este análisis, se procederá al diseño del modelo 3D de la órtesis, asegurando que cumpla con los requisitos necesarios para facilitar la flexión y extensión de la rodilla, teniendo como objetivo mejorar la colocación de la rodilla y prepararse para una rehabilitación más avanzada, promoviendo la activación muscular gradual, permitiendo al paciente generar fuerza en las extremidades inferiores.

La simulación del modelo 3D garantizará que la órtesis cumpla con los criterios biomecánicos y ofrezca un ajuste confortable y un soporte adecuado, asegurando su eficacia durante el proceso de recuperación del paciente. (Russell, et.al., 2020).

5.8.2 Ortesis de Rodilla

De acuerdo con el portal ortesis.mx (2024), las órtesis de rodilla son dispositivos médicos diseñados para apoyar, estabilizar o corregir la función de la articulación de la rodilla. Han sido prescritas especialmente para personas que sufren de debilidad muscular, lesiones, deformidades, o enfermedades que afectan la movilidad y la estabilidad de la rodilla. Estas órtesis se pueden utilizar para diversos propósitos, que van desde la rehabilitación después de una cirugía o una lesión, hasta el manejo de condiciones crónicas como la artritis o la recuperación tras un evento cerebrovascular (ECV).

Si bien es cierto, algunas órtesis están diseñadas específicamente para inmovilizar la rodilla, sin embargo, fueron diseñadas para prevenir lesiones adicionales tras un accidente o cirugía, convirtiéndose en un complemento luego de tratamientos quirúrgicos o farmacológicos que afectan directamente a la articulación de la rodilla. (Romero, 2012).

Las órtesis de rodilla se adaptan a la pierna en la región de la rodilla y, según los materiales de los que estén hechas, pueden proporcionar una mayor rigidez muscular y mejorar la capacidad de flexión de la articulación, siendo uno de los principales propósitos de estas órtesis es facilitar el movimiento en la rodilla, contribuyendo a un mejor proceso de marcha, ya sea utilizando las propias piernas o con la ayuda de otros dispositivos como bastones o andadores. (Palau, et.al., 2019).

5.8.3 Tipos de Ortesis

Existen varios tipos de órtesis de rodilla, cada una diseñada para cumplir con necesidades específicas de soporte, rehabilitación o protección de la articulación. A continuación, se describen los principales tipos:

Órtesis Funcionales

Propósito: Estas órtesis están diseñadas para proporcionar estabilidad a la rodilla durante

actividades físicas, especialmente después de una lesión o cirugía de ligamentos (como el ligamento cruzado anterior). Como se observa en la Figura 4.

Uso: Se utilizan comúnmente por atletas o personas que desean regresar a actividades deportivas mientras se recuperan de una lesión.

Figura 4. Órtesis Funcional de Rodilla



Órtesis Rehabilitadoras

Propósito: Se utilizan durante el proceso de rehabilitación postquirúrgica o después de una lesión para limitar ciertos movimientos de la rodilla y permitir la cicatrización. Como se observa en la Figura 5.

Características: A menudo, tienen bisagras ajustables que permiten controlar el rango de movimiento a medida que el paciente avanza en su recuperación.

Figura 5. Órtesis de rodilla rehabilitadoras



Órtesis de Descarga

Propósito: Diseñadas para redistribuir la carga en la rodilla, alivian el dolor en casos de artrosis o desgaste en una parte específica de la articulación (por ejemplo, el compartimento medial o lateral de la rodilla). Como se observa en la Figura 6.

Uso: Son especialmente útiles para personas con artrosis unilateral, donde se busca reducir la presión en la parte afectada de la rodilla.

Figura 6. Órtesis de Descarga de rodilla



Órtesis de Inmovilización

- **Propósito:** Estas órtesis están diseñadas para inmovilizar completamente la rodilla, evitando el movimiento para proteger la articulación después de una lesión grave o cirugía. Como se observa en la Figura 7.
- **Uso:** Se utilizan en situaciones donde es crucial evitar cualquier movimiento que pueda interferir con la cicatrización.

Figura 7. Órtesis de rodilla con bloqueo



Órtesis Profilácticas

Propósito: Están diseñadas para prevenir lesiones en la rodilla durante actividades de alto impacto o deportes. Como se observa en la Figura 8.

Uso: A menudo son utilizadas por jugadores de fútbol americano, baloncesto y otros deportes de contacto, para proteger la rodilla de fuerzas externas.

Figura 8. Órtesis Profilácticas de rodilla



Órtesis Dinámicas

Propósito: Estas órtesis están diseñadas para asistir activamente en el movimiento de la rodilla, ayudando en la flexión y extensión. Son útiles en la rehabilitación de pacientes que han perdido parte de la función muscular. Como se observa en la Figura 9.

Uso: Se utilizan en casos de parálisis parcial, debilidad muscular significativa o en la recuperación de eventos cerebrovasculares.

Figura 9. Órtesis Dinámica de Rodilla



Órtesis Nocturnas

Propósito: Están diseñadas para mantener la rodilla en una posición específica durante el sueño, generalmente para corregir o prevenir contracturas. Como se observa en la Figura 10.

Uso: Indicadas para personas con problemas de flexión contractual o que requieren una postura específica durante largos periodos de inactividad.

Cada tipo de órtesis de rodilla está diseñado con características específicas para abordar problemas particulares, y la elección del tipo adecuado depende de la condición del paciente, los objetivos de tratamiento y las recomendaciones del profesional de la salud.

Figura 10. Órtesis Nocturnas de rodilla



5.8.4 Antropometría en el diseño de Órtesis

La antropometría es la ciencia que se encarga de medir las dimensiones y proporciones del cuerpo humano. Estas mediciones incluyen variables como la altura, el peso, la longitud de los brazos y piernas, el perímetro de la cintura, entre otras. La antropometría se utiliza en diversas disciplinas, como la medicina, la ergonomía, la ingeniería biomédica, la antropología y el diseño industrial, para comprender las variaciones físicas entre individuos y poblaciones. (Cuéllar & Sánchez, 2021).

[...]La antropometría está compuesta por dos términos, *ántrophos* (hombre) y *metrya* (medida). La antropometría hace referencia a los procedimientos y procesos científicos que

permiten obtener tanto medidas anatómicas superficiales, como medidas básicas, pliegues, perímetros, longitudes, alturas y diámetro en el cuerpo humano por medio de material especializado. [...]

En el contexto de la salud y la medicina, la antropometría se emplea para evaluar el estado nutricional, monitorear el crecimiento y desarrollo, y diseñar intervenciones que mejoren la salud y el bienestar. En el diseño de productos, como sillas, vehículos, ropa y dispositivos médicos, la antropometría es esencial para asegurar que los objetos sean cómodos, seguros y adecuados para una amplia gama de usuarios. (Lara-Pérez, et.al., 2022).

En el diseño de una órtesis de rodilla, la antropometría juega un papel crucial al asegurar que el dispositivo se ajuste adecuadamente a las características físicas del usuario. La vinculación de la antropometría con la órtesis de rodilla se da en varios aspectos clave:

Las medidas antropométricas, como la circunferencia del muslo, la longitud de la pierna y el tamaño de la rodilla, en las Figuras 11 y 12 se observa un ejemplo de cómo se tomarían esas medidas, son esenciales para diseñar una órtesis que se adapte perfectamente a la anatomía del paciente. Un ajuste preciso es fundamental para garantizar la comodidad, la eficacia del soporte y la correcta distribución de la carga en la articulación. (Esparza-Ros & Vaquero-Cristóbal, 2023).

Figura 11. Medición antropométrica de la rodilla

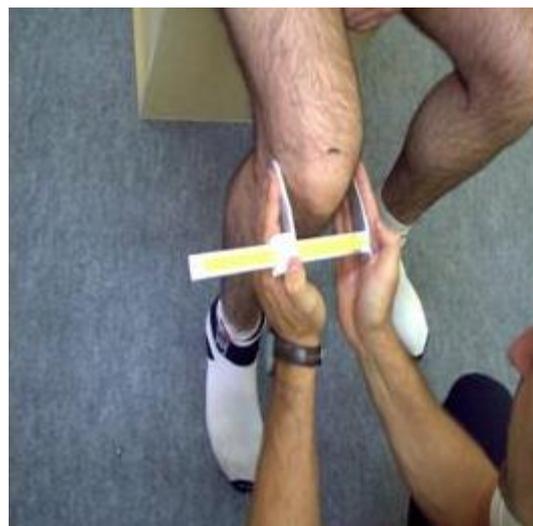


Figura 12. Medición de altura de la rodilla



Funcionalidad y Eficacia: La órtesis debe permitir un rango de movimiento adecuado para la flexión y extensión de la rodilla sin causar incomodidad o limitaciones innecesarias. Al considerar las dimensiones antropométricas del paciente, se pueden diseñar órtesis que maximicen la movilidad y faciliten la rehabilitación, asegurando que el dispositivo cumpla con su propósito terapéutico. (Palau, Bertomeu, Fiszman, García, Moltó Miró & Gómez, 2019).

Prevención de Lesiones: Un dispositivo que no esté correctamente ajustado puede causar puntos de presión, rozaduras o una distribución inadecuada de fuerzas, lo que podría provocar nuevas lesiones o agravar las existentes. La antropometría permite diseñar órtesis que minimicen estos riesgos al adaptarse perfectamente a la morfología del usuario. (Arévalo Palacios, 2023).

Ergonomía: Además de la función terapéutica, es importante que la órtesis sea cómoda para el uso diario en la Figura 13 tenemos un claro ejemplo de cómo ayuda una buena ergonomía. La antropometría se utiliza para asegurarse de que la órtesis no solo se ajuste bien, sino que también sea cómoda de llevar durante largos periodos, lo que es crucial para la adherencia al tratamiento.

Figura 13. Ergonomía en la órtesis de rodilla



5.8.5 Objetivo del diseño de una órtesis de rodilla

El diseño de una órtesis de rodilla debe ser una solución integral que no solo aborde la falta de estabilidad y movimiento de la articulación, sino que también mejore significativamente la calidad de vida del paciente, la órtesis debe proporcionar una estabilización adecuada de la rodilla mientras facilita el rango de movimiento necesario para la flexión y extensión. (Fraile & Casas, 2021).

Este objetivo se logra mediante un diseño que ofrezca soporte en las áreas críticas de la articulación, evitando el movimiento incontrolado sin restringir la movilidad esencial para las actividades diarias. La efectividad de la órtesis en proporcionar estabilidad y permitir el movimiento es crucial para que el paciente pueda participar en sus actividades cotidianas y reducir su dependencia de una silla de ruedas.

Además de abordar la estabilidad y el movimiento, el diseño de la órtesis debe centrarse en mejorar la calidad de vida del paciente post ECV. La falta de estabilidad y movimiento en la rodilla no solo limita la movilidad, sino que también afecta la independencia del paciente y su capacidad para realizar tareas diarias. Por lo tanto, la órtesis debe ser capaz de aliviar el dolor y la fatiga asociados con la movilidad de la rodilla. Al reducir estos síntomas, el paciente podrá participar más activamente en sus actividades diarias, lo que contribuirá a una mayor independencia y una mejor calidad de vida en general. (Velásquez & Prieto, S/F).

La personalización de la órtesis es fundamental para garantizar su efectividad, basar el diseño en la historia clínica y las medidas específicas del paciente asegura que el dispositivo se ajuste adecuadamente a las características anatómicas individuales. Esta personalización

incluye considerar el contorno de la rodilla y el rango de movimiento disponible, lo que garantiza que la órtesis sea cómoda y efectiva en su función. Un ajuste preciso no solo mejora la comodidad del paciente, sino que también maximiza la funcionalidad del dispositivo, permitiendo un soporte adecuado sin interferir en el movimiento necesario para la rehabilitación. (Cuéllar & Sánchez, 2021).

Finalmente, el diseño integral y personalizado de la órtesis de rodilla es esencial para abordar las necesidades específicas del paciente, mejorar su calidad de vida y facilitar su recuperación efectiva, debe desempeñar un papel importante en la rehabilitación y la mejora de la función motora del paciente post ECV. Debe proporcionar soporte cinemático que facilite el proceso de recuperación, permitiendo un rango de movimiento controlado y promoviendo la activación muscular. Este enfoque no solo ayuda en la rehabilitación, sino que también permite al paciente avanzar en su proceso de recuperación y recuperar la movilidad funcional.

5.9 Diseño De Una Órtesis De Rodilla Para Paciente Post ECV

El proceso para el diseño de una órtesis inicia con el levantamiento de información de la historia clínica del paciente, visitas previas para determinar visualmente las dificultades motrices, así como reconocer las falencias corporales.

Para el diseño de este prototipo se ha tomado un caso específico que sirvió como base para el diseño de la ortesis de rodilla.

Contexto Clínico del Paciente: (Historia Clínica)

Edad del paciente: 60 años

Sexo: masculino

Fecha del primer ingreso: 22 de enero 2019

Síntomas al ingresar al centro hospitalario: Hipertensión (sin evidencia previa)

Diagnóstico médico: Rotura de aneurisma cerebral, sufrió una hemorragia subaracnoidea

Tratamiento: Procedimiento de embolización endovascular.

Efectos del ACV: Sin funciones cognitivas, motrices y sensoriales

Reingreso mes de Julio 2019: Ingresa por presentar hidrocefalia, el 13 de diciembre del mismo año se realiza una derivación ventrículo peritoneal, colocando un catéter de drenaje para aliviar la presión intracraneal. Actualmente el paciente se moviliza en silla de ruedas debido a que su rodilla no se mantiene en su posición normal para desarrollar una caminata autónoma.

Desde la fecha en que fue intervenido, el paciente permanece en silla de ruedas, presenta dolores en sus extremidades inferiores, sin funciones motrices, ni sensoriales. Desde el 2019 permanece en rehabilitación sin lograr dejar la silla de rueda. En las figuras 14 y 15 observamos las secuelas del post-ECV. Se recomienda realizar rehabilitación mediante el uso de una ortesis de rodilla para rehabilitar la función de extensión y flexión de la rodilla junto al pie. Así lograr retomar un movimiento normal como se observa en las figuras 16 y 17.

Figura 14. Paciente de 60 años con mínima flexión de rodilla



Figura 15. Paciente de 60 años con mínima extensión de rodilla



Figura 16. Hombre de 70 años con rodilla sana (flexión)



Figura 17. Hombre de 70 años con rodilla sana (extensión)



5.10 Diseño funcional de órtesis de rodilla para el paciente base

En el caso de este paciente, el diseño de la órtesis de rodilla funcional con asistencia cinemática es crucial para ayudarlo en su rehabilitación. Este dispositivo no solo proporcionará la estabilidad necesaria para mantener la rodilla en la posición correcta, sino que también facilitará los movimientos de flexión y extensión, mejorando la capacidad del paciente para realizar movimientos autónomos y reducir, más tarde, su dependencia de la silla de ruedas. La personalización del dispositivo según las necesidades específicas del paciente y la capacidad de ajustar el soporte a medida que avanza su rehabilitación son aspectos fundamentales para lograr una mejora significativa en su calidad de vida.

Dado que el paciente ha perdido funciones motrices y sensoriales, es esencial diseñar una órtesis que no solo estabilice la rodilla, sino que también asista activamente en los movimientos de flexión y extensión. Este tipo de órtesis permitirá al paciente realizar movimientos controlados y seguros, ayudando a recuperar parte de la funcionalidad perdida y facilitando su rehabilitación.

5.10.1. Estructura y Materiales

La órtesis diseñada utilizará materiales que combinen ligereza, resistencia y biocompatibilidad, asegurando tanto la durabilidad del dispositivo como la comodidad del paciente. Se recomienda el uso de fibra de carbono o aleaciones de aluminio y titanio, materiales que ofrecen un excelente equilibrio entre resistencia y peso, minimizando la carga adicional en la extremidad afectada. Para los componentes que requieren mayor rigidez, como

las bisagras o las barras laterales, el acero inoxidable puede ser empleado debido a su alta resistencia mecánica, garantizando la estabilidad de la rodilla.

Los puntos de contacto directo con la piel deben estar acolchados con espuma viscoelástica o espuma de poliuretano, materiales que distribuyen la presión uniformemente y previenen la formación de úlceras por presión. Además, estos materiales proporcionan una mayor comodidad al paciente durante el uso prolongado.

Para asegurar un ajuste personalizado y seguro, se recomienda la incorporación de correas de nylon y sistemas de velcro, que permiten un ajuste preciso y fácil de la órtesis. El diseño debe incluir bisagras laterales ajustables que faciliten un movimiento controlado de flexión y extensión de la rodilla. Estas bisagras deben ser calibradas de acuerdo con las necesidades individuales del paciente, permitiendo un rango de movimiento gradual que pueda ser ampliado conforme avance su rehabilitación, contribuyendo así a una recuperación progresiva y efectiva.

Para lograr el procedimiento de flexión y extensión, se debe integrar un mecanismo de soporte cinemático, esto puede incluir resortes ajustables o bandas elásticas que ayuden a guiar el movimiento natural de la rodilla, proporcionando la fuerza necesaria para superar la resistencia del paciente. El soporte cinemático debe ser ajustable, permitiendo que el rango de movimiento y la asistencia proporcionada puedan modificarse según el progreso del paciente en su rehabilitación.

Para obtener un buen sistema de estabilización, se propone colocar un soporte Lateral y medial ajustables para mantener la rodilla en su posición correcta durante el movimiento, estos soportes ayudarán a prevenir movimientos laterales indeseados y a mantener la alineación adecuada de la articulación.

5.11. Modelado de la rodilla

Definir los mecanismos de cierre en la etapa conceptual es esencial para asegurar que la órtesis sea fácil de poner y quitar, y que permanezca estable durante el movimiento. Mientras que el modelado 3D ayuda a detectar y resolver posibles problemas de diseño antes de avanzar a etapas más avanzadas y costosas del desarrollo.

Las representaciones gráficas ayudan a comprender mejor cómo se integrará la órtesis con la anatomía del paciente, facilitando la identificación de posibles ajustes y mejoras. Los

modelos visuales permiten una comunicación más clara de las ideas de diseño entre los miembros del equipo y con los interesados, asegurando una comprensión común del concepto.

Una ventaja que se obtiene al realizar una ortesis personalizada es que el cierre y el ajuste pueden incluir cierres de velcro o sistemas de ajuste micrométrico que permitan un ajuste acorde al contorno de la pierna del paciente. Esto asegura un ajuste firme y cómodo, evitando deslizamientos y garantizando la efectividad del dispositivo.

Considerar sistemas de ajuste personalizados desde el inicio garantiza que el diseño priorice la comodidad del usuario, lo cual es crucial para el cumplimiento y éxito de la rehabilitación. Estos sistemas permiten que la órtesis se ajuste a cambios en la anatomía del paciente, como variaciones en la hinchazón o cambios musculares durante el proceso de rehabilitación.

Otra ventaja que presenta al realizar una órtesis personalizada es que al obtener una *Medición Precisa* del contorno de la rodilla y de la pierna (15 cm por encima y 15 cm por debajo de la rodilla), se asegurará que la órtesis se ajuste perfectamente a la anatomía del paciente.

El diseño debe permitir la incorporación de componentes adicionales según sea necesario, como una extensión para el tobillo o un ajuste en el pie, en caso de que el paciente requiera soporte adicional en estas áreas,

Las medidas del paciente que se ha tomado como referencia para el desarrollo de este trabajo de titulación para la órtesis serían: 15 cm en la pantorrilla (por debajo de la rodilla) y 15 cm por encima. En base al estudio del movimiento reducido del paciente se procede hacer el modelado de la extremidad inferior como está representado en las figuras 18 y 19.

Figura 18. Imagen antropometría frontal en el diseño de órtesis del paciente post ECV

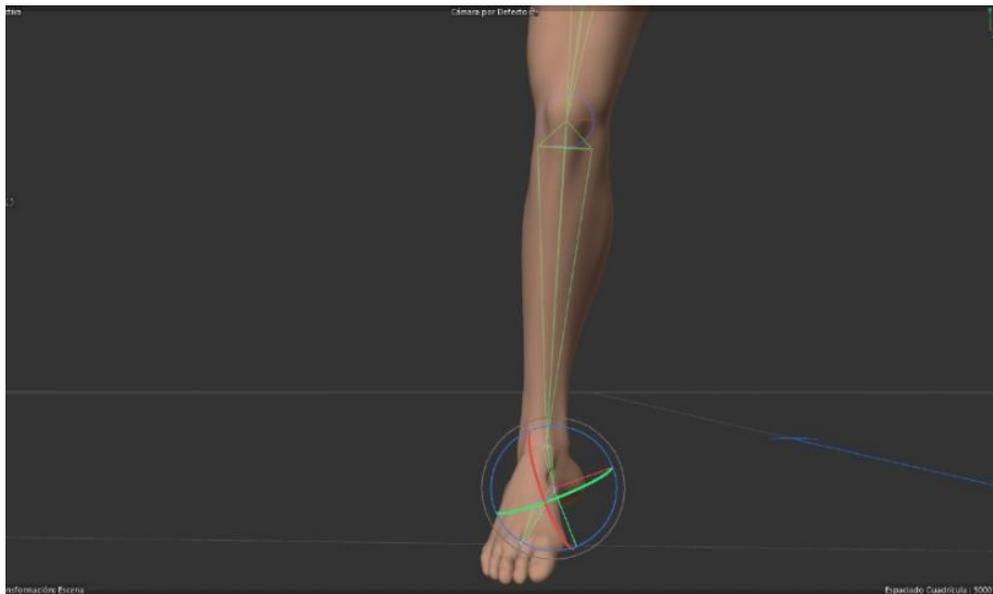
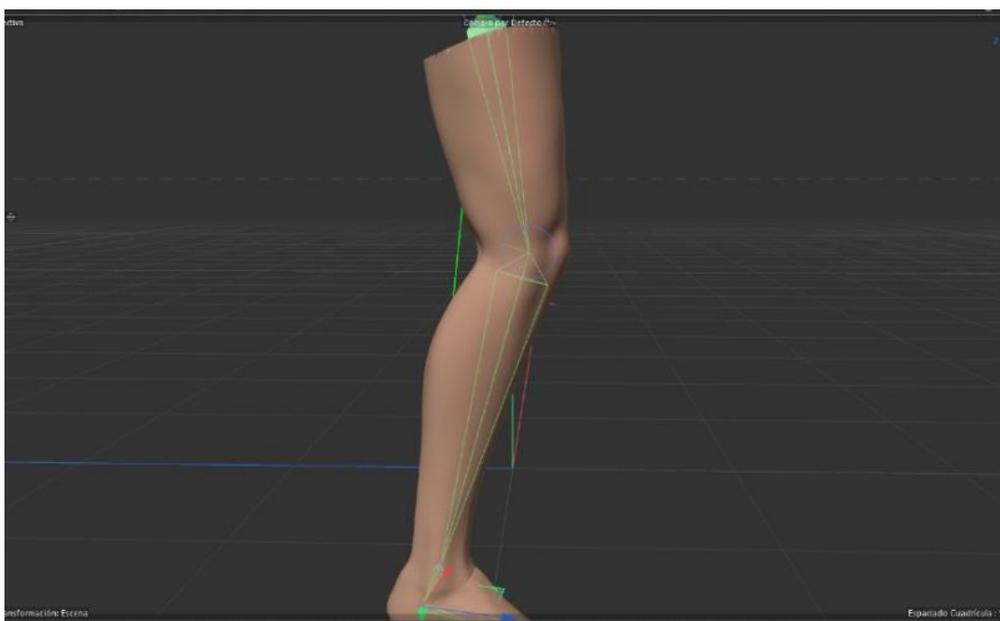


Figura 19. Imagen antropometría lateral para el diseño de órtesis del paciente post ECV



5.12. Modelado y simulación de la órtesis personalizada

El diseño de una ortesis de rodilla para la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad parcial y debilitamiento de las extremidades inferiores luego de un evento cerebrovascular, como objetivo general del presente trabajo, conllevó al autor a diseñar y simular el modelo 3D de una órtesis para que se ajuste a la rodilla, asegurando comodidad y soporte adecuado.

Por lo tanto, basado en este objetivo, se procedió a tomar en consideración la historia clínica (Figura 20) como base para sustentar los antecedentes que preceden al diseño de la órtesis.

Figura 20. Resumen de la historia clínica del paciente modelo objeto de este estudio

HISTORIA CLINICA

El paciente, un hombre de 60 años, ingresó por primera vez al hospital el 22 de enero de 2019, presentando hipertensión no diagnosticada previamente. Fue diagnosticado con rotura de aneurisma cerebral y hemorragia subaracnoidea, tratada mediante un procedimiento de embolización endovascular. Como resultado del accidente cerebrovascular, perdió las funciones cognitivas, motrices y sensoriales. En julio de 2019, reingresó al hospital debido a una hidrocefalia, y el 13 de diciembre del mismo año, se le colocó un catéter de drenaje para aliviar la presión intracraneal. Desde entonces, el paciente ha estado en silla de ruedas, con dolor en las extremidades inferiores y sin recuperar la movilidad. Se le ha recomendado rehabilitación mediante una órtesis de rodilla para mejorar la función de extensión y flexión de la rodilla y el pie.

La órtesis personalizada ayudará a este paciente, a quien se ha tomado como referencia, a corregir los movimientos de flexión y extensión de la rodilla. Actualmente, el paciente no puede alcanzar una extensión completa, en una rodilla sana es de 0 grados. En este caso específico, solo logra llegar a 45° grados debido al dolor, lo que limita significativamente su movilidad. La flexión máxima de la rodilla debería alcanzar entre 135° y 150° grados, pero su extensión se encuentra muy restringida.

La órtesis fue diseñada para permitir una serie de movimientos controlados que faciliten la realización de ejercicios en intervalos específicos de extensión de la rodilla. Durante el proceso de rehabilitación del paciente, se evaluará el ángulo máximo que el paciente puede alcanzar y se irá ajustando la órtesis en la medida de los avances que logre este paciente. También se observará la capacidad del paciente para mantenerse de pie y extender la rodilla completamente. Se tomará en cuenta si el paciente puede mantenerse erguido sin apoyo o si necesita asistencia, lo que influirá en el diseño final de la órtesis.

El dispositivo fue diseñado para asegurar que la rodilla del paciente modelo se mantenga alineada y recta durante los ejercicios, permitiendo una corrección gradual tanto en

la extensión como en la flexión, con el objetivo de mejorar la funcionalidad y reducir el dolor durante la rehabilitación. En las figuras 21 tenemos un dibujo previo al diseño 3d de la órtesis, y en la figura 22 se observa el diseño final de la órtesis ajustada al modelo de la rodilla.

Figura 21. Boceto de la órtesis diseñada para el paciente estudiado

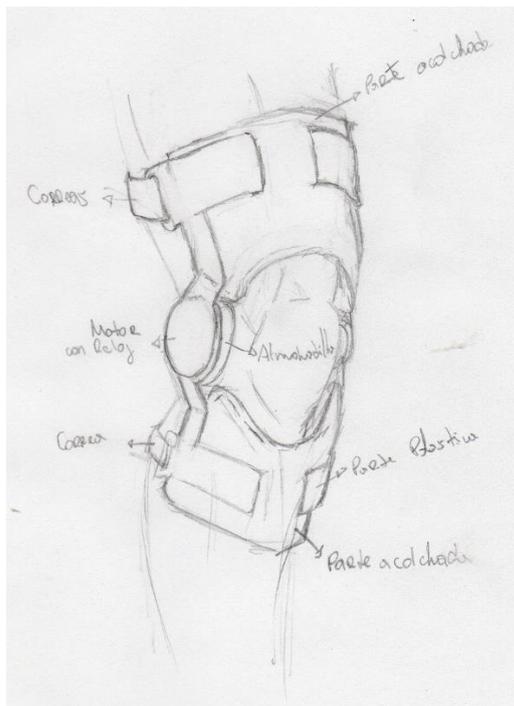
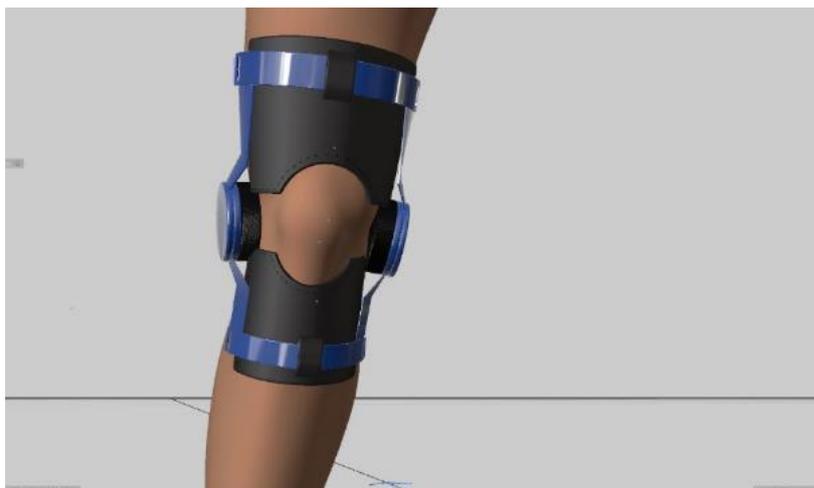


Figura 22. Modelado de órtesis personalizado para paciente modelo post ECV



Se trata de una órtesis funcional, diseñada para proporcionar movimiento asistido a la articulación de la rodilla. Su función principal es estabilizar y alinear la rodilla durante el movimiento, contribuyendo a la restauración de su funcionalidad. La órtesis está equipada con

correas ajustables que aseguran un ajuste preciso y cómodo, lo cual es esencial para maximizar su efectividad terapéutica.

En su estructura, se incorporan materiales rígidos como el acero inoxidable, que se utilizan en componentes críticos como bisagras o barras laterales, especialmente cuando es necesario mantener la estabilidad de la rodilla en posiciones específicas. Estos materiales ofrecen la rigidez y durabilidad necesarias para soportar las fuerzas generadas durante la rehabilitación.

Además, los materiales seleccionados para la fabricación de la órtesis deben poseer propiedades de fricción adecuadas para facilitar el deslizamiento articular, sin comprometer la comodidad del paciente. Es fundamental que estos materiales sean biocompatibles, ligeros y resistentes. Aleaciones de aluminio y titanio, así como polímeros de alta densidad, son opciones preferidas debido a su combinación de ligereza y durabilidad, que permiten un uso prolongado y eficiente sin causar incomodidad o irritación en el usuario.

6. RESULTADOS

La investigación se centró en el diseño y desarrollo de una órtesis de rodilla orientada a la rehabilitación de pacientes con movilidad reducida y debilitamiento de las extremidades inferiores como consecuencia de un evento cerebrovascular (ECV). Los resultados obtenidos destacan la eficacia de un enfoque integral que combina un análisis detallado de la anatomía y biomecánica de la rodilla con un diseño personalizado y el uso de herramientas avanzadas de simulación y modelado.

El estudio subrayó la necesidad de una comprensión exhaustiva de la anatomía y biomecánica de la rodilla para el desarrollo de una órtesis que respete la alineación natural de la articulación, proporcionando la estabilidad necesaria para una rehabilitación óptima. Se analizó la estructura y función de componentes clave como ligamentos, meniscos y músculos, lo que permitió garantizar que la órtesis no interfiera con el movimiento natural de la rodilla, sino que lo apoye y facilite su recuperación.

El diseño biomecánico de la órtesis se fundamentó en un análisis preciso de las fuerzas que actúan sobre la rodilla durante los movimientos de flexión y extensión. Esto permitió una distribución eficiente de las cargas, reduciendo el esfuerzo requerido para estos movimientos y, al mismo tiempo, promoviendo una marcha más natural y estable. La incorporación de bisagras laterales ajustables y el uso de materiales avanzados, como fibra de carbono y aleaciones de aluminio o titanio, proporcionaron el soporte necesario, asegurando una combinación óptima de ligereza, resistencia y durabilidad.

La personalización del diseño, basada en la historia clínica y las medidas específicas del paciente, fue un aspecto crucial para garantizar un ajuste preciso y la capacidad de adaptarse a las necesidades cambiantes durante el proceso de rehabilitación. Esta personalización incrementó significativamente la efectividad terapéutica de la órtesis, permitiendo ajustes continuos que acompañan la progresión del paciente.

Además, la implementación de simulaciones y modelado 3D resultó clave para optimizar el diseño de la órtesis antes de su fabricación. Este enfoque permitió previsualizar el comportamiento del dispositivo bajo diferentes condiciones de uso, minimizando la necesidad de múltiples prototipos físicos y, por ende, reduciendo los costos y tiempos de desarrollo. Las simulaciones facilitaron la identificación de posibles mejoras y ajustes en el diseño, asegurando que el primer prototipo cumpliera con los estándares de comodidad, funcionalidad y durabilidad necesarios.

Por otra parte, los resultados indicaron que la órtesis desarrollada tiene el potencial de mejorar de manera significativa la calidad de vida de los pacientes, al facilitar una rehabilitación más efectiva y menos dolorosa. La capacidad del dispositivo para asistir en los movimientos de flexión y extensión de la rodilla, junto con su diseño personalizado, contribuye a una recuperación más rápida y confortable. Además de su impacto positivo en la rehabilitación física, la órtesis incrementa la independencia del paciente, permitiéndole realizar actividades cotidianas con mayor facilidad, lo que es esencial para la recuperación de la autonomía y mejora de la calidad de vida en pacientes post-ECV.

Por lo tanto, el diseño de la órtesis de rodilla desarrollado mediante este enfoque integral ofrece una solución terapéutica avanzada que puede mejorar sustancialmente la movilidad y funcionalidad de los pacientes, contribuyendo a una rehabilitación más efectiva y a una mejor calidad de vida.

7. DISCUSIÓN

El diseño de una órtesis de rodilla personalizada, como el presentado en este estudio, marca un avance significativo en el campo de la rehabilitación de pacientes post-ECV (evento cerebrovascular) con movilidad reducida. A partir de la integración de simulaciones 3D y un análisis biomecánico detallado, se logró crear un dispositivo que se ajusta específicamente a las necesidades de un paciente modelo, lo cual representa un paso crucial hacia la personalización de las herramientas terapéuticas. Adaptar el tamaño, los materiales y el grado de soporte de la órtesis según las características individuales de cada paciente es lo que garantizaría su funcionalidad y eficacia, permitiendo al dispositivo un ajuste adecuado y la adaptabilidad a los cambios que puedan surgir a lo largo del proceso de rehabilitación.

Sin embargo, un paso fundamental para validar la eficacia del diseño es la realización de pruebas clínicas con una muestra representativa de pacientes que hayan sufrido un ECV. Estas pruebas deben abarcar las diferentes fases del proceso de rehabilitación, lo que permitirá evaluar el rendimiento de la órtesis tanto en el corto como en el largo plazo, asegurando que cumple con sus objetivos terapéuticos de manera efectiva y sostenida. Este enfoque es esencial para garantizar que el dispositivo mejore la estabilidad y movilidad del paciente, y que además ofrezca un nivel óptimo de confort durante su uso prolongado. La evaluación de estos parámetros permitirá realizar ajustes basados en los resultados clínicos obtenidos, incrementando la efectividad terapéutica de la órtesis.

El diseño presentado en este estudio realizó un análisis riguroso de la anatomía y biomecánica de la rodilla, del paciente usado como ejemplo para el diseño de la misma, garantizando que el dispositivo proporcione soporte sin restringir el movimiento natural, permitiendo al profesional biomédico, una comprensión del comportamiento de la articulación durante las fases de flexión y extensión lo que llevo finalmente al desarrollo de la órtesis, estabilizando la rodilla y generando un patrón de marcha más eficiente y menos doloroso, dado que el paciente modelo solo logra una extensión de 45 grados, considerablemente limitada en comparación con la extensión completa esperada en una rodilla sana.

Los materiales propuestos, como las aleaciones ligeras y los polímeros, contribuyen a un diseño que combina resistencia y comodidad, factores esenciales para un uso prolongado, dado que los pacientes con condiciones post-ECV requieren dispositivos que no solo sean funcionales, sino también cómodos y adaptables a su evolución terapéutica. El uso de correas ajustables y bisagras laterales ajustables permitió que la órtesis se adaptara progresivamente a

los avances del paciente, lo que sugiere que el dispositivo puede acompañar de manera efectiva el proceso de recuperación.

Por otra parte, las herramientas de simulación y modelado 3D, proporcionaron una ventaja significativa al reducir el tiempo y los costos de desarrollo, ya que las simulaciones permitieron prever posibles desafíos en el diseño antes de la fabricación física de la órtesis, asegurando que el dispositivo cumpla con las expectativas funcionales y se ajuste adecuadamente a la anatomía específica del paciente, de esta manera se refuerza la importancia de la personalización en los dispositivos ortésicos, particularmente para pacientes post-ECV, cuyas necesidades pueden variar considerablemente según su progreso rehabilitador, mejorando de esta manera, la calidad de vida de los pacientes, al facilitar una rehabilitación más cómoda y efectiva, reduciendo el dolor y acelerando el proceso de recuperación, promoviendo una mayor independencia en las actividades diarias, para posteriormente lograr, en los pacientes, una recuperación psicosocial, restaurar la movilidad, así como su bienestar emocional y social.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo pruebas clínicas extensivas con una muestra representativa de pacientes que han sufrido un evento cerebrovascular (ECV) para validar la eficacia de la órtesis de rodilla desarrollada. Estas pruebas deberían abarcar diferentes etapas del proceso de rehabilitación, permitiendo evaluar el rendimiento del dispositivo tanto a corto como a largo plazo y de esta manera, garantizar que el dispositivo cumple con los objetivos de mejorar la estabilidad, movilidad y confort del paciente, y se podrán realizar ajustes basados en los resultados obtenidos.

Otra recomendación clave es la personalización del dispositivo según las características individuales de cada paciente. La adaptación de parámetros como el tamaño, el material y el grado de soporte puede optimizar los resultados terapéuticos. Además, se sugiere investigar la integración de nuevas tecnologías, como la impresión 3D y la inclusión de sistemas de sensores, que permitan ajustes más precisos y un mejor seguimiento del estado del paciente. Esta personalización podría ser crucial para mejorar la efectividad del tratamiento y la satisfacción del paciente.

Es también recomendable la incorporación de tecnologías avanzadas que permitan monitorear en tiempo real el uso de la órtesis. La inclusión de sensores para registrar el movimiento y la presión en la rodilla podría proporcionar datos valiosos para ajustar el diseño del dispositivo y permitir a los profesionales de la salud monitorear el progreso del paciente de manera más efectiva. Además, la creación de protocolos claros de uso y mantenimiento garantizaría que tanto los pacientes como los profesionales de la salud comprendan cómo maximizar la vida útil del dispositivo y su efectividad terapéutica.

9. CONCLUSIONES

El presente estudio se centró en el diseño de una órtesis de rodilla para la rehabilitación de pacientes con movilidad reducida y debilitamiento de las extremidades inferiores como consecuencia de un evento cerebrovascular (ECV), mediante un análisis riguroso de la anatomía y biomecánica de la rodilla, así como la implementación de técnicas avanzadas de diseño y simulación de un modelo 3D, se alcanzaron conclusiones clave que subrayan el valor y las aplicaciones prácticas de esta investigación.

Se concluye que una comprensión detallada de la anatomía y la biomecánica de la rodilla es esencial para el diseño de una órtesis efectiva. Dada la complejidad de esta articulación, con múltiples estructuras que deben trabajar en conjunto para permitir un movimiento fluido y estable, es imperativo que el diseño de la órtesis respete y preserve la alineación y estabilidad natural de la rodilla. Solo a través de esta comprensión anatómica y biomecánica se puede crear un dispositivo que brinde el soporte necesario, y que además, minimice el riesgo de complicaciones adicionales, promoviendo una recuperación más segura y efectiva para pacientes post-ECV.

Los hallazgos de este estudio también subrayan que una órtesis bien diseñada, capaz de distribuir adecuadamente las fuerzas y mantener la estructura anatómica de la rodilla, puede mejorar de manera significativa la movilidad de los pacientes. Este tipo de dispositivo no solo asiste en la rehabilitación física, sino que también contribuye a reducir el dolor y el esfuerzo durante el proceso de recuperación, aspectos fundamentales para lograr una rehabilitación más efectiva y menos traumática.

En cuanto a la eficacia del diseño de la órtesis, se comprobó que el enfoque aplicado por el autor es efectivo para proporcionar el soporte necesario a la articulación de la rodilla, facilitando un movimiento más natural y estable durante la marcha en pacientes post-ECV. Estos beneficios son cruciales para una rehabilitación exitosa, ya que permiten a los pacientes recuperar no solo la funcionalidad perdida, sino también el confort, aspectos esenciales para mejorar la calidad de vida tras un ECV.

La simulación del modelo 4D emergió como una herramienta crucial en el proceso de diseño de la órtesis. Este enfoque no solo permitió optimizar el dispositivo antes de su fabricación, asegurando que cumpla con los requisitos de comodidad y funcionalidad, sino que también contribuyó a la reducción de costos y tiempo. Al minimizar la necesidad de múltiples prototipos físicos mediante simulaciones computacionales, se logró un diseño más preciso y

adaptado a las necesidades individuales de los pacientes, representando un avance significativo en el desarrollo de tecnologías ortopédicas personalizadas.

La órtesis diseñada en este estudio representa un avance significativo en el campo de la rehabilitación, al ofrecer una solución innovadora y científicamente respaldada para la recuperación de pacientes post-ECV y abre nuevas direcciones para mejorar la rehabilitación y la calidad de vida de los pacientes.

10. REFERENCIAS

1. Castellanos Bojaca, D. C. (2021). Desarrollo de una aplicación móvil para el seguimiento y registro de formatos de mantenimiento de equipos biomédicos.
2. M. Eveld, H. van der Kooij, S. King, M. Goldfarb, K. Zelik and E. van Asseldonk, "Center-of-Mass Based foot Placement in Stumble Recovery," (2023) International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Singapore, Singapore, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICORR58425.2023.10304704
3. Enciclopedia Médica A.D.A.M. [Internet]. Ebix, Inc., A.D.A.M.; 1997-2024. Accidente cerebrovascular isquémico; [actualizado 05 feb. 2022; consulta 03 jun. 2024]; [aprox. 1 p.]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ischemicstroke.html>
4. Piloto Cruz, Anabel, Suarez Rivero, Birsy, Belaunde Clausell, Antonio, & Castro Jorge, Miguel. (2020). La enfermedad cerebrovascular y sus factores de riesgo. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 49(3), Epub 25 de noviembre de 2020. Recuperado en 30 de julio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572020000300009&lng=es&tlng=es.
5. Durán González, Y. M., & Gautreau Medina, E. M. (2023). *Rehabilitación temprana en pacientes pos-enfermedad cerebro vascular y su impacto en la prevención de discapacidades secundarias en el Hospital General de la Plaza de la Salud, julio–diciembre, 2022* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña).
6. Rios Parra, D. J. (2023). *Realidad virtual y sus efectos en la rehabilitación motora del miembro superior en pacientes con secuelas de accidente cerebrovascular* (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo).
7. Sevik, O. B., Alted, C. G., Romo, M. P. C., & Herraiz, A. M. (2024). Evaluación de la marcha mediante dispositivos portátiles en un paciente con daño cerebral adquirido. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 34(1).
8. Lozano, A. M. R. (2022). Ataque cerebrovascular. *Texto de medicina física y rehabilitación*, 343.
9. MURPHY, D. P., WEBSTER, J. B., LOVEGREEN, W., & SIMONCINI, Y. A. (2022). Ortesis de extremidades inferiores. *Braddom. Medicina física y rehabilitación*.
10. Prieto Rincón, S. (2021). Eficacia de las órtesis tobillo-pie (AFO) sobre la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular.
11. Aburto, P. E. B. (2023). Nuevas aproximaciones para la rehabilitación de pacientes con accidente cerebrovascular (acv) mediante estimulación eléctrica funcional y exoesqueletos

robóticos: medición de efectos biomecánicos y clínicos (Doctoral dissertation, Universidad Miguel Hernández de Elche).

12. Redacción (2021) Accidentes cerebrovasculares, con más muertes en dos años. Sección Actualidad Diario El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/acv-registraron-exceso-muertes-dos-anos-ecuador.html>
13. Sistema Integrado de Seguridad ECU 911 (2022) En 2022, al 9-1-1 se han reportado 1.285 eventos cerebrovasculares. Recuperado de: <https://www.ecu911.gob.ec/en-2022-al-9-1-1-se-han-reportado-1-285-eventos-cerebrovasculares/>
14. Redacción OPS (2024) La Carga de Enfermedades Cardiovasculares. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud Recuperado de: <https://www.paho.org/es/enlace/carga-enfermedades-cardiovasculares>
15. Camperos Toro, A. N., Silva, R., & Wlaychel, A. (2021). Programa de reaprendizaje motor en pacientes con secuelas de accidente cerebrovascular: una revisión sistemática.
16. Pilco Pilamunga, E. E., & Asitimbay Chamba Domenica Estefania, D. E. (2023). *Efectos del core stability en las secuelas del accidente cerebrovascular* (Bachelor's thesis, Universidad Nocional de Chimborazo).
17. Piloto Cruz, Anabel, Suarez Rivero, Birsy, Belaunde Clausell, Antonio, & Castro Jorge, Miguel. (2020). La enfermedad cerebrovascular y sus factores de riesgo. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 49(3). Epub 25 de noviembre de 2020. Recuperado en 02 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572020000300009&lng=es&tlng=es.
18. Ruiz, H. A., Mendoza, L. Z., Estany, E. R., Vera, N. C., & Vera, M. F. J. (2018). Caracterización de egresos hospitalarios de enfermedad isquémica del corazón, provincia de Manabí, Ecuador. *Vitae*, (76).
19. Ortiz-Galeano, I., Balmaceda, N. E. F., & Flores, A. (2020). Factores de riesgo cardiovascular en pacientes con accidente cerebrovascular. *Revista Virtual de la Sociedad Paraguaya de Medicina Interna*, 7(1), 50-55.
20. Bautista, P. A. B., Villacis, L. S., Mena, P. R. Á., Pérez, V. A. M., & Jordán, D. R. Z. (2018). Diagnóstico, imagenología y accidente cerebrovascular. *Enfermería Investiga: Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión*, 3(1), 77-83.
21. Moyano, Á. (2010). El accidente cerebrovascular desde la mirada del rehabilitador. *Rev Hosp Clín Univ Chile*, 21, 348-55.

22. Pérez Carreño, J. G., Álvarez Aristizábal, L. C., & Londoño Franco, Á. L. (2011). Factores de riesgo relacionados con la mortalidad por enfermedad cerebrovascular, Armenia, Colombia, 2008. *Iatreia*, 24(1), 26-33.
23. Bravo, M. D. V., Apuntes, D. I. N., Barbosa, E. A. M., & Cabrera, J. A. B. (2020). Trombólisis intraarterial en ACV isquémico agudo. *RECIAMUC*, 4(4 (esp)), 14-21.
24. das Nair R, Cogger H, Worthington E, Lincoln NB (2016) Rehabilitación cognitiva para los déficits de memoria después de un accidente cerebrovascular / Cognitive rehabilitation for memory deficits after stroke. Cochrane Database of Systematic Reviews 2016, Issue 9. Art. No.: CD002293. DOI: 10.1002/14651858.CD002293.pub3
25. Pinheiro Pedro Dr. (2023) ACV (derrame cerebral): qué es, síntomas y tratamiento. Actualizado en abril 17, 2023. Recuperado de: <https://www.mdsaude.com/es/neurologia-es/acv-ictus-cerebral/>
26. López, Y. L. G., Fonseca, D. C., & Zamora, A. J. C. (2020). Evento cerebro vascular isquémico agudo. *Revista médica sinergia*, 5(05), 476-476.
27. Moscoso Gaibor, O. G. (2024). *Actualización en el diagnóstico precoz y manejo adecuado del Accidente Cerebrovascular isquémico en pacientes adultos* (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo).
28. García Alfonso, Carolina, Martínez Reyes, Andrea, García, Valentina, Ricaurte-Fajardo, Andrés, Torres, Isabel, & Coral, Juliana. (2019). Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Medica*, 60(3), 41-57. <https://doi.org/10.11144/javeriana.umed60-3.actu>
29. Faisal Amin, Asim Waris, Javaid Iqbal, Syed Omer Gilani, M. Zia Ur Rehman, Shafaq Mushtaq, Niaz Bahadur Khan, M. Ijaz Khan, Mohammed Jameel, Nissren Tamam. (2024) Maximización de la recuperación del accidente cerebrovascular con tecnologías avanzadas: una evaluación integral de las intervenciones asistidas por robots, robótica controlada por EMG, realidad virtual y terapia con espejo. *Revista Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101725>
30. Sánchez-Silverio, V., Abuín-Porras, V., & Rodríguez-Costa, I. (2020). Principios del aprendizaje motor: una revisión sobre sus aplicaciones en la rehabilitación del accidente cerebrovascular. *Revista ecuatoriana de neurología*, 29(3), 84-91.
31. Marándola, M.M., Jiménez-Martín, I., Rodríguez-Yáñez, M., Arias-Rivas, S., Santamaría-Calavid, M., Castillo, J. (2020) Constraint-induced movement therapy in the rehabilitation of hemineglect after a stroke [Terapia del movimiento inducido por restricción en la rehabilitación de la heminegligencia después de un ictus]. *Revista de Neurología*, 70 (4), pp. 119-126. Cited

- 2 times. Recuperado de: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85079242207&doi=10.33588%2frn.7004.2019330&partnerID=40&md5=fd725359fc444269bdbe4891c8b7fb89> DOI: 10.33588/rn.7004.2019330
32. Toribio Picón, C. R. (2020). Impacto de la fisioterapia sobre la dependencia funcional en pacientes con accidente cerebrovascular tipo hemipléjico en el Hospital Central De La Policía Nacional del Perú Luis N. Sáenz en el año 2019. <https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3000/CTORIBIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 33. Riascos, S. J. R., & Villareal, G. M. A. (2023). Accidente cerebro vascular isquémico en adultos mayores: un enfoque desde Terapia Ocupacional. *Boletín Informativo CEI*, 10(3), 84-86.
 34. Ferrales, Y. S., Cedeño, M. F., Batista, Y. M. S., & Rodés, M. M. (2022). Magnetoterapia transparietal combinada con terapia del lenguaje en paciente afásico posterior a enfermedad cerebrovascular. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 14(2).
 35. Popișter, Florin, Mihai Dragomir, Paul Ciudin y Horea Ștefan Goia. (2024). "Potenciando la rehabilitación: diseño y análisis estructural de una órtesis inteligente impresa en 3D de bajo costo" *Polymers* 16, no. 10: 1303. <https://doi.org/10.3390/polym16101303>.
 36. Opara, J., Kłysz, B., Sarzyńska-Długosz I., et al. (2023). ¿Afectan las órtesis de rodilla al estado funcional de los pacientes con ictus? Revisión de la literatura. *Med Rehabil*, 27(2), 57-62. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2838>.
 37. Pérez-Hernández, G., Ojeda-Rosas, J. E., González-Guevara, M., Gallegos-Ortega, O., López-Vázquez, P. G., & Capilla-González, G. (2022). Uso de escaneo 3D y manufactura aditiva para el prototipado de ortesis. *Jóvenes En La Ciencia*, 16, 1-9. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3832>
 38. Hart RG, Sharma M, Mundl H, Kasner SE, Bangdiwala SI, Berkowitz SD, Swaminathan B, Lavados P, Wang Y, Wang Y, Davalos A, Shamalov N, Mikulik R, Cunha L, Lindgren A, Arauz A, Lang W, Czlonkowska A, Eckstein J, Gagliardi RJ, Amarenco P, Ameriso SF, Tatlisumak T, Veltkamp R, Hankey GJ, Toni D, Berczki D, Uchiyama S, Ntaios G, Yoon BW, Brouns R, Endres M, Muir KW, Bornstein N, Ozturk S, O'Donnell MJ, De Vries Basson MM, Pare G, Pater C, Kirsch B, Sheridan P, Peters G, Weitz JI, Peacock WF, Shoamanesh A, Benavente OR, Joyner C, Themeles E, Connolly SJ; NAVIGATE ESUS Investigators. Rivaroxaban for Stroke Prevention after Embolic Stroke of Undetermined Source. *N Engl J Med*. 2018 Jun 7;378(23):2191-2201. doi: 10.1056/NEJMoa1802686. Epub 2018 May 16. PMID: 29766772.
 39. Donnan GA, Fisher M, Macleod M, Davis SM. Accidente cerebrovascular. *Lanceta*. 10 de mayo de 2008; 371(9624):1612-23. doi: 10.1016/S0140-6736(08)60694-7. PMID: 18468545.

40. Bernabé-Ortiz, A., & Carrillo-Larco, R. M. (2021). Tasa de incidencia del accidente cerebrovascular en el Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 38, 399-405.
41. Maya, M. C. I., Cortes, C. C. M., Rodríguez, Y. V. Y., & Villareal, G. M. A. (2023). Accidente cerebrovascular isquémico en adulto mayor. *Boletín Informativo CEI*, 10(1), 103-104.
42. Ramiro, E. N. (2021) Biomecánica de la rodilla. *Rodilla*, p.55-60. Universidad de Chile Primera edición abril de 2021 Santiago de Chile ISBN:978-956-404-067-7 Registro propiedad intelectual: 2021-A-4204
43. Percz, D. L. (2023). *La modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las Leyes de Newton en estudiantes de Biomecánica de la carrera de Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría de la UNRN* (Doctoral dissertation).
44. Likens, A. D., & Stergiou, N. (2020). Biomecánica básica. *Biomecánica y Análisis de la Marcha*, 16.
45. Freyne, S. (2022). Rotura de menisco de rodilla: tratamiento quirúrgico vs conservador: una revisión sistemática de la literatura.
46. Russell, F., Kormushev, P., Vaidyanathan, R., & Ellison, P. (2020). The impact of ACL laxity on a bicondylar robotic knee and implications in human joint biomechanics. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67(10), 2817-2827.
47. Maeshima S, Okamoto S, Okazaki H, Hiraoka S, Funahashi R, et al. (2017) Terapia ortopédica de las extremidades inferiores para pacientes con accidente cerebrovascular en un hospital de rehabilitación y capacidad para caminar al alta. *Int J Phys Ther Rehab* 3: 136. doi: <https://doi.org/10.15344/2455-7498/2017/136>
48. Sato, K., Inoue, T., Maeda, K., Shimizu, A., Murotani, K., Ueshima, J., ... & Suenaga, M. (2022). Early wearing of knee-ankle-foot orthosis improves functional prognosis in patients after stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 31(3), 106261.
49. Geerars, M., Minnaar-van der Feen, N., & Huisstede, B. M. (2022). Tratamiento de la hiperextensión de la rodilla en la marcha post-ictus. Una revisión sistemática. *Marcha y postura*, 91, 137-148.
50. Cuéllar, S. Q., & Sánchez, M. G. O. (2021). Propuesta de rediseño ergonómico del modelo de utilidad: Órtesis de rodilla para personas con discapacidad motriz. *UPIICSA. Investigación Interdisciplinaria*, 7(2), 12-21.
51. Salamanca Flores, J. (2021). Diseño de órtesis de rodilla para monitoreo de variables mecánicas de interés en rehabilitación kinesiológica. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180761>.

52. Hernández Medellín, J. A. (2021) Amba, ortesis para rodillas. Recuperado de: <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/efcb435f-3b7b-4b3b-9a8e-30fdb5a75789>
53. Ana Torres (2024) ¿Qué es el Cinema 4D? Aprende todo lo que necesitas saber. Escuela Superior de Diseño de Barcelona. Recuperado de: <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/motion-design/que-es-el-cinema-4D-descripcion>
54. La animación digital sigue transformando las formas de comunicación que existen hoy en día. Sumérgete en conceptos como el motion graphics o el Cinema 4D. Escuela Superior de Diseño de Barcelona. Tomado de: <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/motion-design/que-es-el-cinema-4D-descripcion>
55. Fraile, M. V. C., & Casas, E. (2021). Ortesis y otros dispositivos inteligentes para pacientes con trastornos del movimiento. *MANUAL SEN DE*.
56. Romero Sacoto, M. A. (2012). *Diseño y construcción de una órtesis de rodilla, destinada a la rehabilitación automatizada de la extremidad inferior* (Bachelor's thesis).
57. Palau, S. P., Bertomeu, J. M. B., Fiszman, P. P., García, C. S., Moltó, J. U., Miró, J. R., ... & Gómez, L. M. (2019). Co-creación+ Biomecánica: claves de éxito para el diseño de órtesis de rodilla. *Revista de biomecánica*, (66), 68-79.
58. Esparza-Ros, F., & Vaquero-Cristóbal, R. (2023). *Antropometría: Fundamentos para la aplicación e interpretación*. Aula Magna.
59. Lara-Pérez, E. M., Pérez-Mijares, E. I., & Cuellar-Viera, Y. (2022). Antropometría, su utilidad en la prevención y diagnóstico de la hipertensión arterial. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 26(2).
60. Carmenate Milián, L., Moncada Chévez, F. A., & Borjas Leiva, E. W. (2014). Manual de medidas antropométricas. Recuperado de: <https://repositorio.una.ac.cr/items/7e47757e-030e-48fb-9e89-d59643dd1fcb>
61. Arévalo Palacios, N. V. (2023). *Órtesis activa para rehabilitación de rodilla basada en el movimiento relativo entre el fémur y la tibia* (Bachelor's thesis).
62. Velásquez Andrioly, M. J. N., & Prieto Palencia, C. A. (S/F). *Diseño de una órtesis activa de rodilla para la primera etapa de la rehabilitación* (Doctoral dissertation).