

Knee Orthosis for Cruciate Ligament Injuries: Development of a Low-Cost Prototype

Nicole Gradiz, Eng.¹; Yaro Cáceres Teruel, M.Sc²;

^{1,2}Universidad Tecnológica Centroamericana. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, nicole.gradiz@unitec.edu,
yaro.caceres@unitec.edu.hn

The knee is one of the most vulnerable structures to suffer from anterior cruciate ligament (ACL) or posterior cruciate ligament (PCL) injuries. These injuries, which account for between 50% and 90% of knee injuries, at least in the sports context, cause pain, swelling, and muscle weakness. In some cases, they require surgical procedures such as arthroscopic surgery, which, although effective, presents challenges related to high costs, risks associated with the use of grafts, and a long recovery process. The use of knee orthoses, combined with physical rehabilitation, presents a less invasive and cost-effective alternative, especially for less severe injuries. The purpose of this study is to design a low-cost, effective, and accessible knee orthosis prototype. To achieve this, experts in orthopedics, biomechanics, and athletes with knee injuries were consulted to gather information on their experiences and needs. The results revealed a demand for more accessible orthoses tailored to the specific needs of athletes, as well as dissatisfaction with the current commercial options. Based on the research and analysis of the surveys, materials such as neoprene and thermoplastics were identified, offering stability, support, and an ergonomic design suitable for athletes.

Keywords— Knee injuries, anterior cruciate ligament, posterior cruciate ligament, orthoses, low-cost orthoses.

Ortesis de Rodilla para Lesiones de LCA: Desarrollo de un Prototipo de Bajo Costo

Nicole Gradiz, Eng.¹; Yaro Cáceres Teruel, M.Sc²;

^{1,2}Universidad Tecnológica Centroamericana. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, nicole.gradiz@unitec.edu,
yaro.caceres@unitec.edu.hn

La rodilla es una de las estructuras más vulnerables a sufrir lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA) o posterior (LCP). Estas lesiones, que representan entre el 50% y el 90% de las lesiones en la rodilla, al menos en el contexto deportivo, generan dolor, hinchazón, debilidad muscular. En algunos casos requieren procedimientos quirúrgicos como la cirugía artroscópica, que aunque eficaz, presenta desafíos relacionados con costos elevados, riesgos asociados con el uso de injertos y un largo proceso de recuperación. El uso de ortesis de rodilla, combinado con rehabilitación física, se presenta como una alternativa menos invasiva y económica, especialmente en lesiones de menor gravedad.

Este estudio tiene como propósito diseñar un prototipo de ortesis de rodilla de bajo costo, eficaz y accesible. Para ello se consultó expertos en ortopedia, biomecánica y deportistas con lesiones de rodilla para recopilar información sobre sus experiencias y necesidades. Los resultados revelaron una demanda por ortesis más accesibles y adaptadas a las necesidades particulares de los deportistas, así como insatisfacción con las opciones comerciales actuales. Con base en la investigación y el análisis de los cuestionarios, se identificaron materiales como neopreno y termoplásticos, los cuales ofrecen estabilidad, soporte y un diseño ergonómico adecuado para los atletas.

Palabras clave— Lesiones de rodilla, ligamento cruzado anterior, ligamento cruzado posterior, ortesis, ortesis de bajo costo

I. INTRODUCCIÓN

Las lesiones de rodilla son relativamente comunes, especialmente la rotura del LCA que representa entre el 50 % y el 90 % de estas, con un 75 % ocurriendo durante la práctica deportiva [1] en deportistas entre edades de 15-25 años [2]. Esto se debe a la vulnerabilidad relativa de la rodilla, una articulación anatómicamente compleja donde se unen el fémur y la tibia, estructuras que brindan estabilidad, permiten la rotación y previenen la traslación anterior de la tibia.

Las lesiones suelen ser dolorosas y presentan dificultades considerables para el paciente a nivel ortopédico ya que se puede presentar hinchazón, debilidad muscular, limitación de rango de movimiento y estabilidad [3]. Para eliminar estos malestares y claramente tratar las lesiones se llevan a cabo reconstrucciones de ligamento a través del procedimientos llamados cirugías artroscópicas [4]. Uno de los mayores inconvenientes de este tratamiento es la utilización de injertos, lo que puede suponer riesgos como la transmisión enfermedades, errores quirúrgicos, déficit de extensión de rodilla y dolor al arrodillarse.

Curiosamente, la gran mayoría de las lesiones se dan en situaciones de no contacto [5]. A pesar de ello todavía no se conoce a ciencia cierta la razón por la cual ocurren. En cualquier caso, la gran mayoría de los expertos concluyen que puede deberse a variaciones anatómicas en secciones del cóndilo [6] así como externas, que pueden ser por la topología del terreno o el calzado usado [7].

Tomando en cuenta lo anterior, se presentan soluciones para casos no tan serios, como ser el uso de ortesis, que se presentan como opciones beneficiosas para quienes no pueden someterse a cirugía por diversos factores, dentro de los cuales puede identificarse el elevado costo, así como la falta de personalización de estas.

Para satisfacer estas necesidades se utilizan una variedad de materiales para su construcción, entre ellos el titanio, el cual comparte características similares con el acero (material comúnmente utilizado para la elaboración de dispositivos terapéuticos) pero se diferencian en que el primero es más ligero y tiene mayor resistencia a la corrosión, sin embargo, su costo es más elevado [8]. Como solución se utilizan materiales asequibles desde el punto de vista de costo y obtención, como ser el *duroplex* el cual es muy similar en su estabilidad y rigidez al polipropileno o plexiglás.

El objetivo de esta investigación es diseñar un prototipo de ortesis de rodilla de bajo costo para lesiones de ligamento cruzado anterior, que pueda satisfacer las necesidades funcionales y de confort en aplicaciones deportivas. Para ello se analizan los desafíos que enfrentan los deportistas con lesiones de ligamento en su rendimiento deportivo, y evaluar cómo una ortesis de rodilla de bajo costo puede satisfacer sus necesidades durante la recuperación, en comparación con una ortesis comercial. Además, se busca identificar los aspectos clave de la ergonomía necesarios orientados a la comodidad de la ortesis y evaluar su viabilidad preliminar, considerando factores económicos y de disponibilidad.

Este artículo se organiza en varias secciones. La sección II describe el sustento teórico, la sección III detalla la metodología empleada en el estudio, mientras que la sección IV presenta los resultados junto con su análisis. Finalmente, se incluyen las conclusiones y las referencias consultadas.

II. SUSTENTO TEÓRICO

A. Anatomía y fisiología de la rodilla

La rodilla es una articulación que permite al ser humano realizar movimientos como la flexión y extensión también conocida como articulación en bisagra. Conecta la parte inferior del fémur con la parte superior de la tibia, formada por estructuras óseas, músculos, ligamentos y tejidos, todas estas estructuras se complementan para el funcionamiento de la rodilla [9]. La rodilla dispone grados de libertad para poder realizar movimientos de rotación solo si la rodilla está en flexión siendo estos movimientos limitados. Permite a las personas realizar las actividades diarias como la caminata o deportes debido que es la encargada de sostener el peso al realizar dichas actividades [10].

La rodilla tiene ligamentos esenciales para su estabilidad y movimiento (ver figura 1), entre los cuales se encuentran el ligamento cruzado anterior (LCA), el ligamento cruzado posterior (LCP), el ligamento colateral medial (LCM) y el ligamento colateral lateral (LCL). El LCA conecta la tibia y el fémur, evitando que la tibia se desplace hacia adelante. El LCP, el más fuerte de la rodilla, ayuda a mantener la estabilidad, y el LCM y LCL se encargan de prevenir movimientos laterales y mantener la pierna alineada correctamente. Estos ligamentos también tienen un papel importante en la estabilidad durante la caminata y otros movimientos [11].



Fig. 1 Ligamentos de la rodilla

B. Biomecánica de la rodilla

La rodilla es una articulación que permite movimientos esenciales como la flexión y extensión, fundamentales para actividades cotidianas y deportivas. Su biomecánica se basa en la interacción de varios huesos, ligamentos, meniscos y músculos que trabajan en conjunto para proporcionar estabilidad y movilidad [12].

Los meniscos son estructuras cartilaginosas en forma de medialuna que desempeñan un papel crucial en la distribución de cargas y la absorción de impactos durante el movimiento. Actúan como amortiguadores, reduciendo el estrés en el cartílago, contribuyendo a la estabilidad general de la rodilla. El buen funcionamiento de los meniscos es esencial para evitar lesiones degenerativas en la articulación y para preservar la salud del cartílago articular [13]. Además, la biomecánica de la rodilla está influenciada por factores como

la alineación de los huesos, la fuerza y flexibilidad muscular y la integridad de los ligamentos y meniscos. Alteraciones en cualquiera de estos componentes pueden afectar la función de la rodilla, aumentando el riesgo de lesiones y disminuyendo la eficiencia del movimiento. Por ejemplo, desequilibrios musculares o lesiones ligamentarias pueden comprometer la estabilidad y el rendimiento de la rodilla. [14].

C. Lesiones de ligamentosas

Existen diferentes tipos de lesiones en la rodilla que pueden ser causadas por fuerzas aplicadas de distintas formas. Las lesiones anteriores ocurren cuando la rodilla se hiperextiende más de lo normal (por encima de los -30°), lo que suele estar relacionado con la rotura de los ligamentos cruzados anterior (LCA) y posterior (LCP). Las lesiones posteriores suceden cuando una fuerza empuja la tibia hacia atrás mientras la rodilla está flexionada y suelen ocurrir por accidentes [15]. Las lesiones laterales ocurren cuando una fuerza empuja hacia afuera la parte inferior de la pierna, afectando generalmente los ligamentos que están en el lado interno de la rodilla, con roturas del LCA y LCP. Por otro lado, las lesiones mediales implican una fuerza que separa la parte inferior de la pierna hacia el lado externo, lo que puede dañar las estructuras en el lado lateral y posterior de la rodilla. Finalmente, las lesiones rotatorias se producen cuando hay una combinación de rotación y presión lateral sobre la rodilla, lo que puede dañar gravemente la cápsula articular y los ligamentos [15].

D. Tratamiento de lesiones ligamentosas

El tratamiento conservador de lesiones de rodilla se refiere a estrategias que no suponen procedimientos quirúrgicos destinados, los cuales están destinados a aliviar los síntomas y restaurar la función de la articulación. Entre estos métodos, destaca el método R.I.C.E. (ver figura 2) que supone 4 acciones básicas: reposo o descanso, aplicación de hielo, compresión, elevación de la pierna. Considerando que es una medida de intervención primaria, este método busca minimizar las consecuencias de la lesión con el objetivo de la regeneración biológica de la lesión y permitir el proceso de recuperación. Aunque el método de elección depende de la lesión misma, hay casos donde la alternativa quirúrgica no se puede evadir. [16]

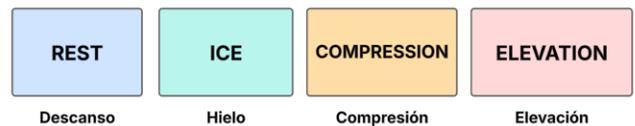


Fig. 2 Método R.I.C.E.

E. Órtesis

La ortesis son dispositivos médicos que son aplicados de manera externa siendo no invasivos, empleados para modificar características del sistema esquelético. Su objetivo es brindar soporte, estabilizar, limitar o aumentar el rango de movimiento de las extremidades [17]. Bajo este concepto, las ortesis se clasificarían como una forma de tratamientos conservador, ya que, en lugar de optar por una cirugía, se enfocan en ofrecer un apoyo mecánico a la rodilla afectada mientras se facilita la rehabilitación natural de los tejidos lesionados.

III. METODOLOGÍA

El proceso metodológico de estudio (ver figura 3) se lleva a cabo en dos fases. La primera consiste en la recopilación de información sobre experiencias de expertos, así como conocer las necesidades en términos de tratamientos conservadores y órtesis para los deportistas. La segunda fase consiste en el diseño de la ortesis, considerando modelos existentes, revisión de literatura y las preferencias de los usuarios en cuanto a comodidad y ergonomía.

Se elaboran y aplican dos cuestionarios con el fin de obtener dos perspectivas claves: una clínica, dirigida a expertos en ortopedia y otra de los deportistas, enfocada en sus experiencias con lesiones de rodilla y las ortesis disponibles en el mercado. Se seleccionaron seis especialistas provenientes de distintas áreas relacionadas con la rehabilitación física y la traumatología, incluyendo ortopedas, fisiatras, médicos de rehabilitación y ortesistas-protésistas.

Estos últimos fueron consultados para comprender la situación actual del mercado de ortesis, los desafíos que enfrentan y las diferencias de costos entre las ortesis personalizadas y las comerciales. Mientras que los médicos y terapeutas físicos fueron involucrados para validar el diseño preliminar y asegurar su viabilidad desde una perspectiva clínica. Estos profesionales, con hasta 30 años de experiencia, trabajan en centros de rehabilitación, hospitales públicos, universidades y laboratorios privados de órtesis y prótesis, lo que fortalece la validez de las respuestas obtenidas.

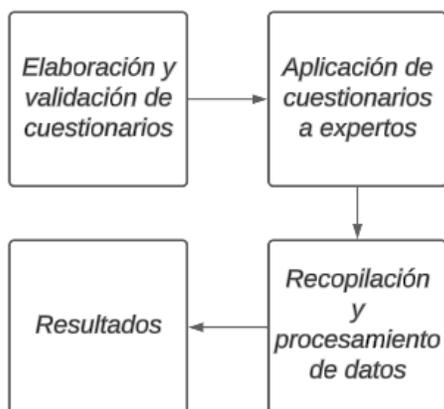


Fig. 3 Metodología de estudio para recopilación de datos.

Por otro lado, se seleccionaron 15 deportistas de diversas disciplinas, incluyendo fútbol, baloncesto, tenis y pádel, con edades entre 19 y 47 años. Estos deportes comparten movimientos bruscos de rotación en la rodilla, cambios de dirección y saltos, factores que pueden provocar lesiones en los ligamentos [18]. En la segunda fase comienza con la revisión literaria relacionada con el diseño de ortesis. Se selecciona el software *SolidWorks* para llevar a cabo el modelado digital. Esta es una herramienta eficaz para el diseño de este tipo de dispositivos médicos debido a su capacidad de modelado tridimensional (CAD 3D), lo que permite crear representaciones detalladas y precisas de la ortesis para una mejor comprensión de la anatomía [19]. Para el diseño y contar con las medidas necesarias, se utiliza como modelo un hombre adulto de 60 años que mantiene un estilo de vida activo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

F. Resultados de la aplicación de cuestionarios a expertos en terapia, traumatología, ortesis y prótesis

Los primeros resultados obtenidos permiten evidenciar los diversos materiales empleados en dos contextos distintos: el sector privado y el público (ver tabla 1). En ambos espacios se utilizan equipos especializados para la fabricación de ortesis personalizadas. Se emplea una máquina de coser para ensamblar los componentes de los productos, asegurando una unión precisa y duradera. Además, un horno infrarrojo se utiliza para calentar y moldear el polipropileno de manera eficiente, lo que facilita que el material adquiera la forma deseada.

TABLA I
MATERIALES Y USOS EN LOS CONTEXTOS PÚBLICOS Y PRIVADOS

Material	Sector público	Sector privado
Yeso en polvo	X	X
Venda de yeso	X	X
Media de mujer	X	
Remaches	X	X
Aluminio de persiana	X	
EVA	X	
Luna soft		X
Neopreno	X	X
Papel transfer	X	
Velcro comprado en Honduras		X
Velcro comprado en el extranjero	X	
Polipropileno	X	X
Aluminio		X

Para lograr un acabado óptimo, se emplea una máquina cortadora que elimina el exceso de material, ajustando las dimensiones finales del producto. Asimismo, se utiliza una máquina de succión durante el proceso de moldeado al usar el horno infrarrojo, lo que ayuda a mantener la integridad del diseño y mejora la eficiencia del proceso de fabricación.

Para el caso del sector público, cada ortesis es fabricada a medida del paciente, siguiendo un procedimiento que implica el uso de una venda de yeso alrededor de la extremidad

afectada. En el sector privado, la mayoría de los materiales son importados, lo que incrementa significativamente los costos. Estos resultados confirman lo expresado por expertos, ya que indican que el material utilizado en Honduras para crear prótesis es el polipropileno, que, aunque tiene un precio accesible, es difícil de obtener. Esto resulta en que prácticamente la totalidad de los materiales utilizados deban ser importados, lo que retrasa y hasta detiene completamente la producción de estos. Sumado a esto, el velcro disponible en tiendas locales tiende a deteriorarse con rapidez, lo que disminuye la eficacia de la ortesis. Por ello, se prefiere adquirir velcro de mejor calidad desde el extranjero, garantizando mayor durabilidad y resistencia.

A diferencia de las ortesis a medida, se exploraron las opciones comerciales en el mercado. El problema que los expertos de la materia indicaron es que, al ser diseñadas para cualquier persona, estas no siempre se adaptan adecuadamente a todos los pacientes debido a las variaciones en sus complejiones corporales, como una mayor o menor masa muscular, o diferencias anatómicas en la rodilla. Al ser un dispositivo médico que el paciente utilizará durante largos períodos, conforme a las indicaciones del ortopedista, muchos optan por personalizar sus ortesis y prótesis.

G. Resultados de la aplicación de cuestionarios a deportistas

Los resultados del cuestionario aplicado a los deportistas revelaron que la mayoría estaría dispuesta a pagar entre L.1,000 y L.1,500 (\$40-\$60, según la tasa de cambio a la fecha) por una ortesis de rodilla. Cabe mencionar que el costo de una ortesis de rodilla comercial oscila entre L.3,500 y L.6,000 (\$137-\$236 según la tasa de cambio a la fecha) y el costo de una cirugía artroscópica en una institución privada es mayor a los L. 80,000 (\$3,265.31 según la tasa de cambio a la fecha). Estos hallazgos reflejan una discrepancia notable entre la capacidad económica de los deportistas y el costo de las ortesis comerciales, lo que resalta la oportunidad de desarrollar una ortesis de rodilla de bajo costo que se ajuste a estos rangos de precio.



Fig. 4 Gráfico que muestra las respuestas de los deportistas en función de las lesiones que más sufren.

En cuanto a las lesiones, los deportistas mostraron una alta prevalencia de lesiones en los ligamentos cruzados, con 10 casos reportados de 15. Entre estas, las lesiones de LCA fueron más comunes (ver figura 4), especialmente en el fútbol (ver figura 5). Sin embargo, los principales problemas asociados a las lesiones de LCA y LCP fueron el dolor, la inestabilidad, la inflamación y la limitación del movimiento, lo que resalta la importancia de mejorar la eficacia de las ortesis disponibles en el mercado. De los 15 deportistas, 10 presentaron lesiones, y de estos, solo 4 están recibiendo terapia actualmente.

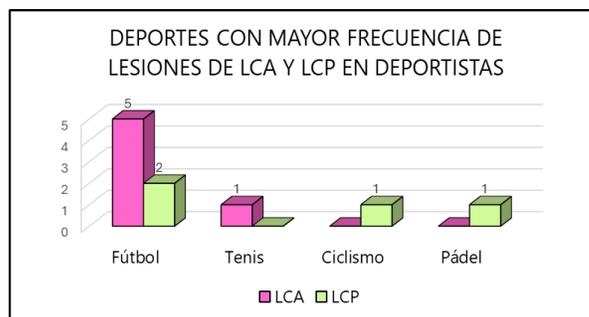


Fig. 5 Deportes con mayor incidencia de lesiones en los ligamentos.

Otros aspectos importantes que los deportistas mencionaron como oportunidades de mejora para las ortesis comerciales fueron la movilidad, la comodidad, la reducción del dolor, indicando que el atributo más importante o deseable de una ortesis era el costo, seguido por una capacidad aumentada de ofrecer una terapia coadyuvante y finalmente la comodidad y funcionalidad englobada en la ergonomía esta (ver figura 6).

Los expertos sugirieron el uso de materiales acolchonados para mejorar la comodidad y prevenir úlceras. La ergonomía es clave para evitar problemas como la presión excesiva, que puede causar trastornos musculoesqueléticos y dificultar el movimiento del cuerpo humano. Estas consideraciones respaldan la necesidad de diseñar ortesis más adaptadas a las necesidades individuales de los pacientes.

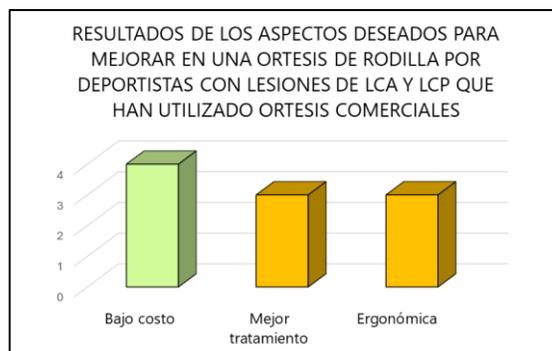


Fig. 6 Aspectos más valorados en una ortesis de rodilla según deportistas.

H. Diseño de prototipo preliminar

El diseño contempla una medida de 20 cm sobre la rodilla (a casi la mitad del muslo) y la misma medida debajo de la rodilla, (a casi la mitad de la espinilla), lo que permite que la ortesis cubra gran parte de la pierna y proporcione un soporte uniforme. Esta distribución es crucial para asegurar la estabilidad de la articulación y para prevenir movimientos contraindicados deseados durante su colocación.

Una vez definida la estructura básica, se hace uso del software *SolidWorks* para diseñar cada uno de los componentes del prototipo. Se utiliza la función de cota inteligente para asignar medidas específicas a cada parte del diseño. La extrusión es clave para darle volumen a los componentes, mientras que la función de corte permite realizar las modificaciones necesarias en cada uno de los diseños. El material seleccionado para el contacto directo con la piel es neopreno, recomendado por los expertos debido a su suavidad, flexibilidad y comodidad. Las medidas del neopreno, 110 mm de largo y 10 mm de grosor, se ajustan a las necesidades del diseño. Además, se diseña una barra estabilizadora (ver figura 7) de aluminio de 200 mm de largo, 25 mm de ancho y 5 mm de grosor, que proporciona soporte adicional a la ortesis.

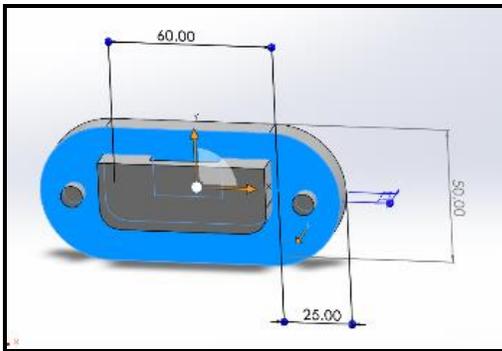


Fig. 7 Componente de sujeción

Esta barra es esencial para mantener la estabilidad y la alineación correcta de la rodilla durante el uso. Para enlazar la barra de aluminio, se desarrolla un componente adicional que encaja perfectamente en el diseño de la ortesis, permitiendo que el dispositivo sea funcional y estructuralmente sólido.

Uno de los aspectos clave del diseño es la articulación (ver figura 8(a)), que permite ajustar el ángulo de flexión y extensión de la rodilla. Para reducir los costos, se opta por un mecanismo de rueda dentada, lo que proporciona una forma sencilla y económica de limitar el movimiento de la rodilla mientras garantiza que se mantenga la estabilidad en el ángulo seleccionado. Esta articulación se complementa con un tornillo para asegurar que el ángulo de flexión o extensión no se modifique sin intervención médica, asegurando la efectividad del tratamiento.

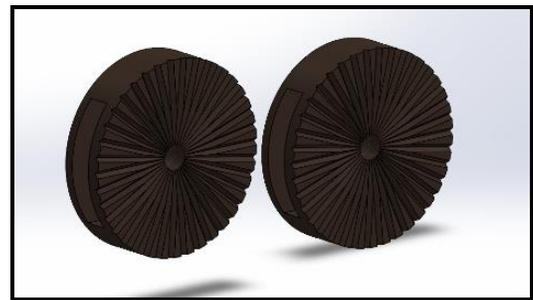


Fig. 8(a) Mecanismos de articulación dentada.

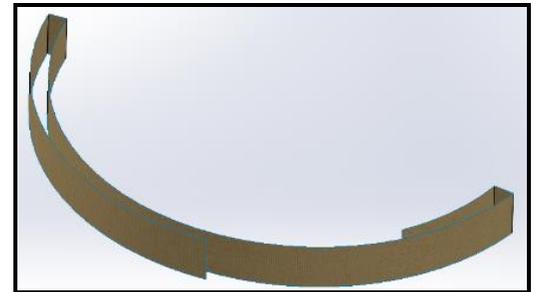


Fig. 8(a) Velcro.

Además de los componentes estructurales principales, se diseñan elementos ajustables como el velcro (ver figura 8(b)), las hebillas y un tornillo tipo mariposa, lo que permite personalizar el ajuste de la ortesis a las necesidades individuales de cada usuario. Este ajuste mejora la comodidad, asegurando que el dispositivo no quede flojo ni demasiado apretado. Esto es especialmente importante, ya que muchas ortesis comerciales no ofrecen un ajuste adecuado para todas las complejiones de los pacientes, lo que puede generar incomodidad y rechazo. La integración de todos estos componentes constituye el diseño final, tal como se muestra en la Figura 9.

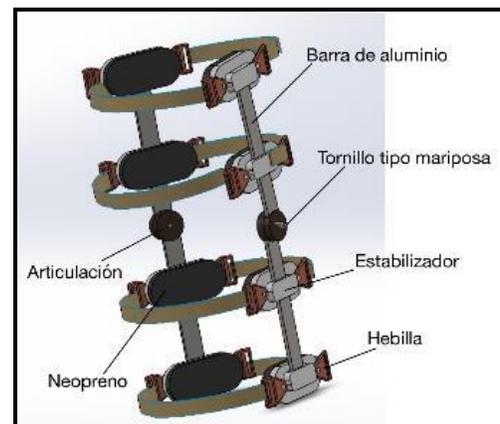


Fig. 9 Diseño preliminar terminado

Finalmente, para cotejar su viabilidad económica se realizó un estimado del costo de la órtesis. Asumiendo que la elaboración de la órtesis tomará un periodo de 7 horas, el costo por mano de obra es de L. 383.74 que equivalen a \$15. Sumado a esto el costo de materia prima es de L. 1085.55 que equivale a \$43 y el costo de envío de L. 650.00 que equivale a \$26, llegando a un total de L. 2120.00 o \$83. La tabla II muestra lo antes descrito.

TABLA II
DESGLOSE DE COSTOS DE MATERIALES IMPORTADOS EN DÓLARES

Cantidad	Descripción	Precio unidad (\$)	Total (\$)
4	Barras de aluminio	1.77	7.09
4	Engranaje	2.19	8.77
0.5	Neopreno	25.21	12.61
1	Velcro	23.39	23.39
2	Tornillo	1.96	3.92
1	Pegamento	2.58	2.58

Aunque este prototipo supera en aproximadamente L. 500-1000 o \$20-\$40 el valor que los deportistas están dispuestos a pagar sigue siendo considerablemente más económico que las ortesis comerciales, cuyo costo varía entre L. 3,500 y L. 6,000 o \$137-\$236. Cabe resaltar que, a diferencia de las versiones comerciales, este prototipo está diseñado para ser personalizado lo que permite adaptarse a las diferentes complejidades de los pacientes.

IV. CONCLUSIONES

Se analizaron los principales desafíos y padecimientos articulares de los deportistas con lesiones de LCA y LCP, como la estabilidad, movilidad y comodidad, factores clave para su rendimiento. Aunque las ortesis comerciales ofrecen soporte, no satisfacen completamente las necesidades de flexibilidad y su costo suele superar la capacidad adquisitiva de los deportistas.

Se determinó que la ergonomía es un aspecto clave para una ortesis de rodilla, así como los materiales, especialmente el neopreno y los termoplásticos, que resultan fundamentales para poder proporcionar estabilidad y soporte adecuado.

Se concluye que la personalización de las ortesis es esencial para adaptarlas a las necesidades individuales de cada deportista, lo que las versiones comerciales no logran ofrecer. La importancia de una ortesis diseñada a la medida, siguiendo la línea anatómica del paciente, podría ofrecer una experiencia más cómoda. Se evaluó la viabilidad económica del diseño preliminar de una ortesis de rodilla de bajo costo para deportistas, concluyendo que esta opción es factible, a pesar de la limitada disponibilidad de materiales en Honduras. Si este fuera el caso, el costo de los materiales se reduciría drásticamente, por consecuencia reduciendo el costo de la ortesis en la misma proporción.

REFERENCIAS

[1] I. Barandiarán Auzmendi, "Tratamiento quirúrgico vs tratamiento conservador de la rotura de ligamento cruzado anterior. Revisión

bibliográfica narrativa.," 2017, Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/28031>

[2] J. J. Márquez Arabia and W. H. Márquez Arabia, "Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla," *Iatreia*, vol. 22, no. 3, Sep. 2009, doi: 10.17533/udea.iatreia.8420.

[3] A. Álvarez López and Y. de la C. García Lorenzo, "Lesiones del ligamento cruzado posterior," *Revista Archivo Médico de Camagüey*, vol. 21, no. 6, pp. 806–816, Dec. 2017.

[4] T. O. Fraute D *et al.*, "Reconstrucción del Ligamento Cruzado anterior con el Sistema Swing Bridge. Hospital Vargas de Caracas," *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 26, no. 1, pp. 44–48, Jan. 2003.

[5] D. T. Kirkendall and W. E. Garrett, "The anterior cruciate ligament enigma. Injury mechanisms and prevention," *Clin Orthop Relat Res*, no. 372, pp. 64–68, Mar. 2000, doi: 10.1097/00003086-200003000-00008.

[6] F. H. F. M. Ds. DPs(Hon), *Master Techniques in Orthopaedic Surgery: Sports Medicine*, 2nd edition. Philadelphia: LWW, 2019.

[7] P. Renstrom *et al.*, "Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement," *Br J Sports Med*, vol. 42, no. 6, pp. 394–412, Jun. 2008, doi: 10.1136/bjism.2008.048934.

[8] U. de Valencia, "Funciones y mecanismos de acción de la ortoprotésica." [Online]. Available: <https://www.uv.es/mpisea/54656d615f325f5f496e74726f6475636369c3b36e5f615f6c615f6f72746f70726f74c3a973696361.pdf>

[9] J. M. Yazuma Figacho and M. F. Mullo Ramírez, "Tratamiento fisioterapéutico con artrosis de la rodilla que acuden a la unidad de atención ambulatoria del instituto ecuatoriano de seguridad social IESS de san miguel provincia de Bolívar en el periodo de noviembre 2013-abril del 2014," bachelorThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2014, 2014. Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1077>

[10] C. Arévalo and C. Ureña, "Biomecánica de la Rodilla y el Ciclo de la Marcha.," *Journal Boliviano de Ciencias*, vol. 16, pp. 24–40, Dec. 2020, doi: 10.52428/20758944.v16i49.352.

[11] C. Domnick, M. J. Raschke, and M. Herbolt, "Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques," *World Journal of Orthopedics*, vol. 7, no. 2, pp. 82–93, Feb. 2016, doi: 10.5312/wjo.v7.i2.82.

[12] C. B. Arévalo and C. W. Ureña, "Biomecánica de la Rodilla y el Ciclo de la Marcha.," *Journal Boliviano de Ciencias*, vol. 16, no. 49, Art. no. 49, Dec. 2020, doi: 10.52428/20758944.v16i49.352.

[13] M. C. Panesso, M. C. Trillos, and I. T. Guzmán, "BIOMECAÁNICA CLÍNICA DE LA RODILLA".

[14] E. Pena, "Biomecánica de la articulación de la rodilla tras lesiones ligamentosas".

[15] K. A. Egol, K. J. Koval, and J. D. Zuckerman, *Manual de fracturas*, 4ta ed. Wolters Kluwer Health España, S.A, Lippincott Williams & Wilkins, 2011.

[16] "Intervenciones quirúrgicas versus intervenciones conservadoras para el tratamiento de lesiones del ligamento cruzado anterior - Monk, AP - 2016 | Cochrane Library." Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.cochranelibrary.com/es/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD011166.pub2/full/es>

[17] M. C. Trobajo, O. M. E. López, and F. J. B. Sandá, "CAPÍTULO 54 - PRINCIPIOS BÁSICOS DE REHABILITACIÓN Y ORTESIS," pp. 264–269.

[18] M. Michaelidis and G. A. Koumantakis, "Effects of knee injury primary prevention programs on anterior cruciate ligament injury rates in female athletes in different sports: a systematic review," *Phys Ther Sport*, vol. 15, no. 3, pp. 200–210, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.ptsp.2013.12.002.

[19] Design and Simulation of Customized 3D Knee Braces to Enhance the Stability for ACL Reconstruction," *ResearchGate*, Oct. 2024, Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/370104979_Design_and_Simulation_of_Customized_3D_Knee_Braces_to_Enhance_the_Stability_for_ACL_Reconstruction