Rehabilitación de tobillo por lesiones ligamentarias en deportistas amateurs con acceso limitado a servicios especializados en municipios de Colombia

Saray Camila Lozada Parra

Alexa Tatiana Villa Bernal

Facultad de Artes Integradas

Diseño Industrial

Proyectos - Formulación

PhD. Byron Iram Villamil

Universidad del Valle

Cali, Valle

2025

Rehabilitación de tobillo por lesiones ligamentarias en deportistas amateurs con acceso limitado a servicios especializados en municipios de Colombia

Saray Camila Lozada Parra

Alexa Tatiana Villa Bernal

PhD. Byron Iram Villamil

Universidad del Valle

Cali, Valle

2025

Tabla de contenido

1. Resumen....9
2. Abstract....10
3. Introducción....11
4. Planteamiento del problema....12
4.2. Justificación de la importancia....15
4.2.1 Formulación del problema....17
5. Marco contextual....18
5.1 División Territorial y Modelo de Salud en Colombia....18
5.2 Centros de rehabilitación en Colombia....20
5.2.1 Hospital Internacional de Colombia....20
5.2.2 Fundación valle del Lili....22
5.2.3 Centro especializado en fracturas y lesiones deportivas....22
5.2.4 Clínica Imbanaco....23
5.2.5 Centro de ortopedia y fracturas (COF)....23
5.2.6 Clínica de fracturas....24
5.3 Marco normativo....24
6. Introducción al Marco Teórico....26
6.1 Definición y Anatomía del Tobillo....28
6.1.1 Huesos del Tobillo....28
6.1.2 Ligamentos del Tobillo....29
6.1.3 Músculos que Actúan sobre el Tobillo....30
6.1.4 Tendones del Tobillo....32
6.2 Función biomecánica del tobillo....34
6.2.1 Movimientos del Tobillo....34
6.2.2 Eje de rotación del tobillo....36
6.2.2.1 Plano sagital....36
6.2.2.2 Plano coronal (frontal)....37
6.2.2.3 Plano transversal....38
6.2.3 Rango de movimiento....39
6.3 Función del tobillo en la marcha....40
6.3.1 Función del Tobillo en el Equilibrio y la Propiocepción....40
6.3.2 Adaptabilidad y Absorción de Impactos....41
6.4 Clasificación de los esguinces en el Tobillo....41
6.4.1 Grado 1: Lesión del 5% de las fibras....41
6.4.2 Grado 2: Lesión del 40% / 50% de las fibras....42
6.4.3 Grado 3: Rotura completa del ligamento....42
7. Estado del arte....44
7.1 Mecanismos de Lesión....44
7.1.1 Ámbito deportivo:....45
7.1.1.1 Repercusiones del esguince de tobillo dentro del ámbito deportivo....45
7.1.2 Ámbito laboral:....46

7.1.2.1 Repercusiones del esguince de tobillo dentro del ámbito laboral..... 47
7.2 Factores de riesgo biomecánicos..... 48
7.2.1 Factores deportivos:..... 49
7.2.2 Factores físicos:..... 49
7.3 Etapas en el proceso de recuperación de un esguince de tobillo..... 50
7.3.1 Fase inflamatoria aguda..... 50
7.3.2 Fase de reparación o regeneración tisular..... 51
7.3.3 Fase de remodelación y fortalecimiento funcional..... 51
8. Estado de la técnica..... 53
8.1 Diagnóstico y Evaluación..... 53
8.1.1 Métodos clínicos:..... 53
8.1.1.1 Anamnesis:..... 53
8.1.1.2 Exploración física:..... 54
8.1.1.3 Pruebas de imagen:..... 54
8.2 Protocolos de rehabilitación y manejo..... 55
8.2.1 Abordaje de esguinces de tobillo en sistemas de salud..... 55
8.2.1.1 Atención médica inicial y derivación..... 55
8.2.1.2 Accesorios y medios de rehabilitación..... 58
8.2.1.2.1 Fase 1 (Aguda)..... 58
8.2.1.2.2 Fase 2 (Subaguda)..... 60
8.2.1.2.3 Fase 3 (Crónica)..... 62
8.3 Rehabilitación Funcional..... 64
8.3.1 Ejercicios de fortalecimiento y propiocepción:..... 64
9. Trabajo de campo..... 66
9.1 Movimientos utilizados en las actividades de la vida diaria..... 67
9.2 Desarrollo de entrevista para pacientes y especialistas..... 72
● 9.2.1 Pacientes en recuperación..... 73
● 9.2.2 Pacientes rehabilitados..... 75
9.2.3 Análisis y conclusiones de las entrevistas..... 76
● 9.2.4 Profesionales..... 77
9.2.5 Análisis y conclusiones de las entrevistas..... 79
9.3 Resultados de aspectos cuantitativos..... 80
9.4 Conclusiones finales..... 82
10. Objetivos..... 83
10.1 Objetivo general..... 83
10.2 Objetivos específicos..... 83
11. Requerimientos de diseño..... 84
11.1 Requerimientos de Uso..... 84
11.2 Requerimientos de Función..... 86
11.3 Requerimientos Formales..... 88
11.4 Requerimientos Económicos..... 88
11.5 Requerimientos del sistema de salud..... 89
11.6 Requerimientos clínicos y operativos..... 89
12. Determinantes de diseño..... 90

12.1 Determinantes del contexto geográfico y social..... 90
12.2 Determinantes del sistema de salud colombiano..... 90
12.3 Determinantes técnicos y operativos..... 91
13. Estrategias de evaluación.....92
- 13.1 Criterios de evaluación..... 92
- 13.2 Matriz de enfrentamiento de objetivos.....95
- 13.3 Grupos de requerimientos según el objetivo que satisfacen.....95
- 13.4 Matriz de enfrentamiento de requerimientos y objetivos para evaluación.....96
- 13.5 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para usabilidad.....97
- 13.6 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para accesibilidad..... 97
- 13.7 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para validación.....98
- 13.8 Valoración de objetivos y requerimientos..... 98
13.8.1 Ponderación de los objetivos (Usability, Validación, Accesibilidad, Evaluación):..... 99
13.8.2 Ponderación de los requerimientos dentro de cada grupo:..... 100
13.8.3 Ejemplo con el requerimiento de “Seguridad” dentro del grupo Usabilidad:....100
- 13.9 Escala de valor de cumplimiento.....101
13.9.1 Asignación de ponderaciones a subcriterios.....103
13.9.2 Estimación del cumplimiento de cada subcriterio..... 103
13.9.3 Cálculo del valor obtenido.....103
13.9.4 Suma de los valores obtenidos.....103
13.9.5 Conversión del resultado a porcentaje.....103
- 13.10 Tablas de ponderación y análisis por subcriterios..... 104
- 13.11 Resultados obtenidos.....106
14. Metodología.....107
14.1 Método Hans Gugelot..... 107
14.2 Metodología de Diseño Adaptada al Proyecto de Rehabilitación Funcional..... 108
1. Recolección contextual y documental (Duración 2 meses)..... 108
2. Investigación del usuario y su entorno (Duración 2 semanas)..... 109
3. Desarrollo conceptual y tipológico del diseño (Duración 3 semanas).....109
4. Evaluación estratégica y toma de decisiones (Duración 3 semanas).....109
5. Ajuste técnico y desarrollo detallado (Duración 2 semanas)..... 110
6. Prototipado, prueba y validación comunitaria (Duración 3 semanas).....110
15. Descripción de la propuesta de diseño..... 111
15.1 Distribución y posicionamiento de los módulos..... 113
15.1.1 Orientación de los módulos.....113
15.1.2 Distribución según el pie lesionado.....114
15.1.3 Unión y alineación entre módulos..... 115
15.1.4 Distribución por colores y fases de rehabilitación..... 115
● 15.1.4.1 Color azul – Fase 1 (fase inicial):.....115
● 15.1.4.2 Color verde – Fase 2 (fase intermedia):.....115
● 15.1.4.3 Color rojo – Fase 3 (fase avanzada):.....116
15.2 Componentes del sistema:.....116
15.2.1 Elementos físicos..... 116

15.2.1.1 Fase 1: Inflamatoria aguda....117
15.2.1.2 Fase 2: Reparación o regeneración....119
15.2.1.3 Fase 3: Remodelación y fortalecimiento funcional....120
15.3 Secuencia de uso:....122
15.3.1 Preparación previa:....122
15.3.2 Secuencia de uso para fase 1:....123
15.3.2.1 Preparación del módulo....123
15.3.2.2 Colocación del usuario....123
15.3.2.3 Aplicación de tobillera térmica....124
15.3.2.4 Finalización....125
15.3.3 Secuencia de uso para fase 2:....125
15.3.3.1 Módulo de bandas elásticas....125
15.3.3.2 Módulo de tablilla inclinada (15° y 25°)....126
15.3.4 Secuencia de uso para fase 3:....127
15.3.4.1 Módulo Bosú....127
15.3.4.2 Módulo estimulante (textura tipo piedras)....128
15.3.4.3 Módulo de barras de equilibrio....129
15.4 Materiales y procesos de fabricación:....130
● 15.4.1 Polipropileno reciclado (rPP):....130
● 15.4.2 Elastómero termoplástico (TPE):....131
● 15.4.3 Poliuretano termoplástico (TPU):....132
15.5 Disposición de material en construcción:....133
15.6 Proceso de embalaje y distribución....134
15.6.1 Embalaje en fábrica:....134
15.6.2 Distribución hacia centros especializados:....135
15.6.3 Disponibilidad y entrega al paciente dentro del centro especializado:....136
15.7 Limpieza y mantenimiento de los módulos....138
15.7.1 Limpieza de los módulos....138
15.7.2 Frecuencia de limpieza....138
15.7.3 Mantenimiento preventivo....139
15.7.4 Almacenamiento recomendado....139
16. Prototipo....140
16.1 Validaciones digitales:....141
17. Análisis de costos....143
17.1 Cuadro de análisis de costos por volumen de producción....145
18. Sugerencias y recomendaciones del proyecto:....147
18.1 Ampliación del sistema con nuevos módulos:....147
18.2 Validación clínica progresiva:....147
18.3 Optimización ergonómica y selección de materiales:....148
18.4 Integración de tecnología complementaria:....148
19. Conclusiones....149
20. Bibliografía....151
21. Anexos....157
21.1 Árbol temático:....157

21.2 Planos técnicos del proyecto:..... 157
21.3 Manual de uso:..... 158

Tabla de ilustraciones

Figura 1. *Contexto geográfico de Colombia.*

Figura 2. *Valor atención domiciliaria por fisioterapia.*

Figura 3. *La importancia de la articulación del tobillo.*

Figura 4. *Anatomía ligamentosa del tobillo.*

Figura 5. *Anatomía ligamentosa del tobillo.*

Figura 6. *Músculos flexores dorsales del tobillo.*

Figura 7. *Músculos de la celda posterior de la pierna.*

Figura 8 y 9. *Músculos flexores plantares del tobillo.*

Figura 10. *Tendón de Aquiles.*

Figura 11. *Tendón tibial posterior.*

Figura 12. *Los músculos peroneos en los tobillos.*

Figura 13. *Dorsiflexión.*

Figura 14. *Flexión plantar.*

Figura 15. *Inversión.*

Figura 16. *Eversión.*

Figura 17. *Movimiento del pie y el tobillo.*

Figura 18 y 19. *Maléolo medial y lateral.*

Figura 20. *Eje de rotación del tobillo.*

Figura 21 y 22. *Supinación y pronación.*

Figura 23. *Tobillo.*

Figura 24 y 25. *Abducción y Aducción.*

Figura 26. *Dorsiflexión, Flexión plantar. Pronación y Supinación.*

Figura 27. *Grados de esguince.*

Figura 28, 29, 30, 31, 32 y 33. *Grados de Lesión.*

Figura 34, 35, 36, 37, 38, 39. *Acondicionamiento físico: fisioterapia de tobillo.*

Figura 40. *Método Hans Gugelot*

Figura 41. *Disposición de los módulos*

Figura 42. *Unión de los módulos*

Figura 43. *Plano general*

Figura 44 y 45. *Módulo de activación.*

Figura 46. *Plano módulo de bandas de resistencia.*

Figura 47. *Plano módulo tablilla inclinada.*

Figura 48. *Plano módulo barras de equilibrio.*

Figura 49. *Plano módulo bosú.*

Figura 50. *Plano módulo estimulante.*

Figura 51. *Módulo de activación.*

Figura 52. *Tobillera térmica.*

Figura 53 y 54. *Módulo bandas elásticas y ejercicios.*

Figura 55 y 56. *Módulo tablilla inclinada y ejercicios.*

Figura 57. *Módulo bosú*

Figura 58. *Módulo estimulante*

Figura 59. *Módulo barras de equilibrio*

Figura 60. *Disposición de material*

Figura 61. *Disposición de material (módulo base)*

Figura 62. *Disposición de material (submódulos)*

Figura 63, 64, 65 y 66. *Prototipo*

Figura 67. *Validación digital*

1. Resumen

Este proyecto de grado tiene como objetivo abordar la problemática de la rehabilitación de lesiones ligamentarias de tobillo en deportistas amateurs y personas físicamente activas que habitan en municipios de Colombia con acceso limitado a servicios especializados de fisioterapia. A partir del análisis del contexto social, clínico y territorial, se identifican dificultades relacionadas con la continuidad del tratamiento, la disponibilidad de recursos terapéuticos y la adaptación de los procesos de rehabilitación a entornos no clínicos.

La investigación se desarrolla mediante una metodología de diseño centrada en el usuario, apoyada en el análisis funcional, ergonómico y terapéutico, lo que permite comprender las necesidades reales del paciente y del profesional de la salud. El proceso metodológico integra referentes teóricos, revisión bibliográfica y análisis de casos, con el fin de estructurar una respuesta coherente con las condiciones del entorno y las limitaciones de acceso existentes.

El proyecto concluye con el desarrollo de un sistema de rehabilitación validado a nivel conceptual y funcional, evaluado a través de criterios técnicos, clínicos y de uso, que garantizan su pertinencia, viabilidad y coherencia con el contexto identificado.

Palabras clave: Rehabilitación, modularidad,salud, acceso limitado, deportistas, lesiones ligamentarias, tobillo

2. Abstract

This undergraduate thesis aims to address the challenges of rehabilitating ankle ligament injuries in amateur athletes and physically active individuals living in Colombian municipalities with limited access to specialized physiotherapy services. Through an analysis of the social, clinical, and territorial context, difficulties related to treatment continuity, the availability of therapeutic resources, and the adaptation of rehabilitation processes to non-clinical settings are identified.

The research employs a user-centered design methodology, supported by functional, ergonomic, and therapeutic analysis, allowing for an understanding of the real needs of both patients and healthcare professionals. The methodological process integrates theoretical frameworks, a literature review, and case studies to structure a coherent response that addresses the environmental conditions and existing access limitations.

The project concludes with the development of a rehabilitation system validated at both the conceptual and functional levels. This system is evaluated using technical, clinical, and usability criteria, ensuring its relevance, feasibility, and coherence with the identified context.

Keywords: Rehabilitation, modularity, health, limited access, athletes, ligament injuries, ankle

3. Introducción

Las lesiones ligamentarias de tobillo representan una de las afecciones más comunes entre deportistas amateurs y personas físicamente activas, y se caracterizan porque, en muchos casos, no logran una recuperación completa del 100%, dejando secuelas funcionales si no se tratan adecuadamente. Esta situación se presenta con mayor frecuencia en regiones donde el acceso a servicios especializados de rehabilitación es limitado. En numerosos municipios de Colombia, factores como la distancia a centros asistenciales, la disponibilidad reducida de profesionales en fisioterapia y las condiciones económicas de la población dificultan la continuidad del tratamiento, aumentando el riesgo de recaídas, inestabilidad crónica y afectaciones prolongadas. Esta realidad evidencia la necesidad de alternativas que permitan sostener procesos terapéuticos adecuados incluso cuando no es posible asistir con frecuencia a un entorno clínico.

En este contexto, el presente proyecto propone el desarrollo de un sistema modular de rehabilitación orientado a favorecer la recuperación funcional del tobillo en personas con lesiones ligamentarias, permitiendo la continuidad del tratamiento desde el hogar. Para ello, se adopta una metodología de diseño centrada en el usuario que integra análisis clínicos, ergonómicos y funcionales, además de estudios técnicos en torno a la selección de materiales y procesos de fabricación. Estos análisis incluyen evaluaciones de comportamiento mecánico, factibilidad productiva, costos asociados y compatibilidad con el uso terapéutico, lo que permite fundamentar una propuesta sólida y alineada con las necesidades reales del contexto. Gracias a esta integración, el sistema se estructura como una solución altamente viable, coherente con las condiciones sociales y territoriales identificadas y adecuada para fortalecer la rehabilitación continua en escenarios con limitaciones de acceso.

4. Planteamiento del problema

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 1.71 mil millones de personas en el mundo padecen trastornos musculoesqueléticos, los cuales comprometen músculos, huesos, ligamentos y otras estructuras que permiten el movimiento. Esta cifra pone en evidencia una problemática de gran escala que afecta de manera directa la movilidad, la funcionalidad y la calidad de vida, especialmente en la población económicamente activa. Tales afecciones abarcan desde lesiones leves hasta condiciones complejas que requieren intervenciones quirúrgicas y procesos prolongados de rehabilitación, representando una carga significativa tanto para los individuos como para los sistemas de salud.

Dentro de este grupo, las lesiones articulares tienen una alta prevalencia, especialmente aquellas que comprometen las extremidades inferiores, debido a su participación constante en actividades cotidianas y deportivas. Particularmente, el tobillo se presenta como una de las articulaciones más propensas a sufrir traumatismos, dada su función biomecánica de soporte y movimiento. Esta articulación puede llegar a soportar cargas equivalentes a cuatro veces el peso corporal durante la marcha normal y aún mayores durante la práctica deportiva (Bray et al., 1989), lo que la convierte en una zona vulnerable a lesiones, especialmente en situaciones de sobreesfuerzo o desequilibrio.

Entre las lesiones más frecuentes, se encuentran las fracturas de tobillo que muestran una elevada incidencia: se estima que el 75 % de las fracturas óseas en la etapa productiva de la vida corresponden a esta articulación. En la población infantil, un estudio realizado en Cali evidenció un promedio anual de 705 fracturas entre 2018

y 2021, siendo el tobillo una de las zonas más afectadas como consecuencia de caídas y actividades físicas intensas.

Aún así, la lesión más común es el esguince de tobillo. A nivel mundial, se reporta una incidencia aproximada de 1 caso por cada 10.000 personas al día. Solo en Estados Unidos, se notifican alrededor de 2 millones de esguinces de tobillo anualmente (Ferran & Maffulli, 2006).

En Colombia, la situación no es menos preocupante. En Bogotá, se atienden aproximadamente 300.000 casos de esguinces de tobillo al año, según datos del Sistema Integrado de Información de Salud. Además, la Sociedad Colombiana de Pie y Tobillo (SOCOPIT) advierte que cerca del 90 % de la población presentará al menos un esguince de tobillo a lo largo de su vida, lo que refuerza su alta prevalencia en distintos contextos.

Esta situación se agrava dentro del ámbito deportivo, donde el tobillo sigue siendo la localización más habitual de lesión, representando entre el 20 % y el 30 % del total de lesiones asociadas a la práctica física (Garrido et al., 2004; Salcedo et al., 2000). En el fútbol profesional colombiano, específicamente, los esguinces de tobillo comprenden entre el 51 % y el 81 % de todas las lesiones reportadas, evidenciando su recurrencia en deportes de alto impacto. Incluso en escenarios semiprofesionales, como las competencias universitarias nacionales organizadas por la Asociación Colombiana de Universidades (ASCUN), se ha identificado que el 19 % de las lesiones del tren inferior afectan específicamente al tobillo, lo cual subraya su vulnerabilidad en distintos niveles de competencia.

Uno de los grupos más vulnerables a este tipo de lesiones son los deportistas amateurs. A diferencia de los atletas profesionales, este grupo suele carecer de

entrenamiento técnico adecuado, acompañamiento fisioterapéutico, programas de prevención estructurados y equipamiento especializado. La ausencia de supervisión médica, el uso de calzado inapropiado, las superficies irregulares de juego y la falta de hábitos preventivos como el calentamiento previo o la recuperación activa, aumentan la probabilidad de sufrir esguinces y fracturas de tobillo. Estos factores son especialmente preocupantes en contextos donde la actividad deportiva se practica de manera recreativa o informal, como canchas barriales, gimnasios comunitarios, parques o senderos naturales. La falta de preparación, sumada al retorno prematuro a la actividad física luego de una pausa prolongada o tras una lesión previa, son momentos críticos en los que el tobillo aún no ha recuperado totalmente su estabilidad, lo que favorece la recaída o la cronificación de la lesión.

La problemática también se encuentra atravesada por factores económicos y sociales. Muchos deportistas recreativos no cuentan con los recursos necesarios para acceder a calzado técnico, órtesis de protección, fisioterapia o servicios de rehabilitación. Las limitaciones presupuestales dificultan la contratación de profesionales del deporte y la medicina que puedan guiar procesos de prevención, monitoreo o readaptación. Además, existen condicionantes culturales que influyen en la percepción del riesgo, en la toma de decisiones y en las actitudes personales frente al cuidado físico: la presión por competir, la escasa disponibilidad de tiempo, el desconocimiento sobre prácticas seguras y las brechas de género son barreras frecuentes que afectan la continuidad de una práctica saludable.

En este sentido, abordar el problema de las lesiones ligamentarias de tobillo en deportistas amateurs requiere una aproximación integral que contemple la rehabilitación adaptada a las condiciones reales de este grupo poblacional. La

carencia de soluciones accesibles y efectivas en este campo representa una necesidad urgente de intervención en la recurrencia de las lesiones, para fomentar una práctica deportiva segura y sostenible.

4.2. Justificación de la importancia

Uno de los principales problemas asociados a las lesiones musculoesqueléticas, es la falta de acceso a servicios de rehabilitación, especialmente en municipios con menor infraestructura en salud. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2021), el 68% de los municipios en Colombia tienen dificultades para acceder a fisioterapeutas y especialistas en rehabilitación, lo que limita el tratamiento oportuno de las lesiones y aumenta el riesgo de complicaciones a largo plazo, situación que es aún más preocupante en deportistas amateurs, quienes al no contar con atención especializada pueden experimentar recurrencias de la lesión.

Estudios han demostrado que hasta el 40% de las personas que sufren un esguince de tobillo pueden desarrollar inestabilidad crónica, donde es común la presencia de dolor, hinchazón y equimosis, lo que puede reducir significativamente la movilidad y la función, además de provocar ausencias laborales. La incidencia de síntomas residuales varía, pero se han reportado tasas de entre el 40% y el 50%, evidenciando la persistencia de complicaciones a largo plazo lo que no solo impacta su actividad deportiva, sino que también puede derivar en problemas articulares (Hertel, 2002).

Se estima que hasta el 40 % de los pacientes que no reciben un tratamiento adecuado tras un esguince de tobillo pueden desarrollar inestabilidad crónica, lo que reduce significativamente la fuerza y la estabilidad de la articulación. Además, una

inflamación prolongada producto de un manejo ineficiente de la lesión puede evolucionar hacia una artritis postraumática, afectando aún más la movilidad del tobillo y aumentando el riesgo de discapacidad progresiva. Esta condición limita la capacidad para realizar actividades cotidianas como caminar, subir escaleras o mantenerse de pie por períodos prolongados (Hertel, 2002), afectando directamente la autonomía y calidad de vida del individuo generando consecuencias más complejas que no solo deterioran el estado físico, sino que también inciden negativamente en la salud mental, dando lugar a cuadros de ansiedad o depresión.

Además del impacto en la salud de los pacientes, las lesiones de tobillo también tienen repercusiones económicas significativas. En países como Estados Unidos, se estima que cada año se reportan aproximadamente dos millones de esguinces de tobillo, con un costo promedio de atención que oscila entre $400 y $2000 dólares por paciente (Fong et al., 2007).

A este panorama se suma una alta tasa de recaídas: se estima que cerca del 73 % de los deportistas que han sufrido un esguince de tobillo corren el riesgo de volver a lesionarse dentro del año siguiente si no acceden a un proceso de rehabilitación integral (Delahunt et al., 2018).

En el caso de países con limitaciones en infraestructura de salud, los costos indirectos derivados de la incapacidad laboral y la reducción en la actividad deportiva pueden representar una carga adicional tanto para los pacientes como para los sistemas de salud. En el contexto colombiano, las empresas asumen los primeros días de incapacidad, y posteriormente la EPS cubre entre el 66 % y el 50 % del salario, dependiendo de la duración del período. Esta dinámica implica una carga financiera progresiva, tanto para el empleador como para el sistema de salud,

además del ausentismo laboral, que genera efectos en cadena sobre la productividad y el rendimiento de las organizaciones.

Otra limitación evidente en naciones con menor desarrollo en el sector salud, es la limitada infraestructura para la rehabilitación en muchas regiones del país, que obliga a los pacientes a desplazarse hacia las principales ciudades en busca de atención especializada, lo que contribuye a la sobrecarga de hospitales y clínicas por la alta demanda de servicios médicos y reduce la disponibilidad de recursos para atender casos más críticos y urgentes. Esta situación no solo incrementa los costos individuales asociados al transporte, alojamiento y pérdida de tiempo productivo, sino que también genera una mayor carga financiera sobre el sistema de salud.

Si no se toman medidas oportunas para mejorar la rehabilitación de las lesiones de tobillo en deportistas amateurs, las consecuencias pueden ser graves y prolongadas. Estas lesiones no solo limitan la movilidad y afectan el rendimiento deportivo, sino que también generan costos elevados y repercusiones negativas en la calidad de vida de los afectados. Es fundamental implementar estrategias efectivas que permitan minimizar estos riesgos y mejorar los procesos de recuperación, garantizando así un mejor bienestar para los pacientes y una menor carga para los sistemas de salud.

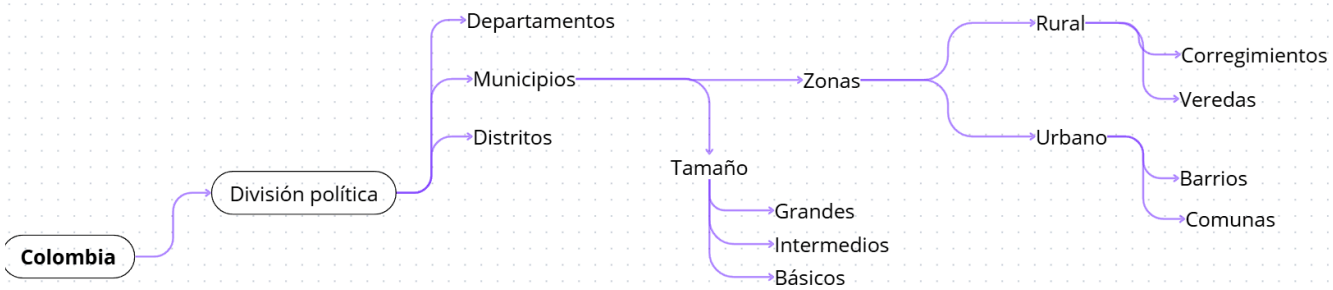
4.2.1 Formulación del problema

¿Cómo se puede superar la falta de acceso a servicios especializados en municipios con infraestructura limitada en Colombia, para mejorar los procesos de rehabilitación funcional en deportistas amateurs con lesiones ligamentarias de tobillo?

5. Marco contextual

5.1 División Territorial y Modelo de Salud en Colombia

Figura 1. *Contexto geográfico de Colombia*



Fuente: Propia

En Colombia, según lo establecido en la Constitución Política de 1991, se organiza territorialmente como una república unitaria con un sistema de administración descentralizado. Esta estructura divide el territorio nacional en departamentos, los cuales se componen de municipios que a su vez, se distribuyen en áreas urbanas (comunas y barrios) y rurales (corregimientos y veredas). La descentralización busca transferir funciones políticas y administrativas a los gobiernos locales para que estos actúen con mayor autonomía. Sin embargo, los departamentos conservan un papel importante en la coordinación de los servicios públicos a nivel local, lo cual permite una administración más armónica y eficiente (Constitución Política de Colombia, 1991).

En concordancia con esta estructura territorial, el país implementó el Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS), con el objetivo de garantizar el acceso equitativo a los servicios de salud en todo el territorio nacional. Este sistema

responde a la necesidad de proteger a la población frente a riesgos asociados a la salud y se adapta a la diversidad geográfica y administrativa del país.

El SGSSS está compuesto por dos regímenes principales:

1. **Régimen Contributivo:** Está dirigido a las personas que tienen capacidad de pago, es decir, trabajadores formales, independientes, pensionados y empleadores. Estas personas cotizan un porcentaje de sus ingresos para financiar el sistema. Su aporte garantiza el acceso al Plan de Beneficios en Salud (PBS).

2. **Régimen Subsidiado:** Este régimen está destinado a la población sin capacidad de pago, que es identificada mediante el Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales (SISBEN). El Estado cubre el costo de su afiliación, y los beneficiarios acceden al PBS (Plan de Beneficios en Salud), el cual incluye los servicios, tecnologías y medicamentos financiados por el sistema de salud.

El Ministerio de Salud y Protección Social (2021) señala que tanto el régimen contributivo como el subsidiado tienen acceso a los mismos servicios esenciales de salud, con el propósito de promover la equidad y la universalidad en la atención. Esta garantía se encuentra respaldada por la Ley 100 de 1993, la cual establece que todos los afiliados, sin importar su régimen, deben recibir atención integral, incluyendo acciones de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación (Congreso de la República de Colombia, 1993).

5.2 Centros de rehabilitación en Colombia

En el contexto del presente trabajo, resulta fundamental mencionar los principales centros de rehabilitación especializados en Colombia, ya que esto permite visibilizar las capacidades técnicas, los niveles de atención y la concentración de recursos especializados en ciertas regiones del país. Incluir esta información no sólo da cuenta del potencial clínico y profesional existente para el tratamiento de lesiones musculoesqueléticas, sino que también pone en evidencia las desigualdades territoriales que persisten en el acceso a servicios de salud de mediana y alta complejidad. Conocer qué instituciones lideran estos procesos a nivel local, regional o nacional enriquece el diagnóstico del problema y aporta elementos clave para comprender los retos en la distribución y accesibilidad de la rehabilitación funcional en Colombia.

5.2.1 Hospital Internacional de Colombia

El Hospital Internacional de Colombia (HIC) es una institución privada de alta complejidad (nivel 4) ubicada en Piedecuesta, Santander, que presta servicios desde 2016. Hace parte de la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV) y se especializa en áreas como cardiología, oncología, neurología, ortopedia y pediatría. Cuenta con cobertura local, regional, nacional e internacional. Entre sus servicios destacados se encuentran la Unidad de Atención Integral del Trauma, el servicio de Cirugía de Pie, Tobillo y Miembro Inferior, y la realización de reemplazos de tobillo como tratamiento para el dolor crónico. Está acreditado por la Joint Commission International, certificado en salud digital (EMRAM 7), y es miembro de la Mayo Clinic Care Network, lo que lo posiciona como uno de los hospitales más avanzados de Colombia y América Latina.

Figura 2. *Valor atención domiciliaria por fisioterapia*



Fuente:
https://hic.fcv.org/co/hospital-virtual/terapia-fisica-respiratoria-y-ocupacional?utm_source

En el marco de su atención integral, el hospital dispone del servicio de fisioterapia a domicilio, ofreciendo atención especializada en ortopedia y rehabilitación, ideal para pacientes con movilidad reducida o en recuperación postoperatoria. Según la Figura 2, el valor de una sesión domiciliaria es de $45.051 COP, una tarifa relativamente accesible en comparación con el nivel del hospital y su acreditación internacional.

Sin embargo, para personas en condición de vulnerabilidad o con bajos ingresos, este valor puede representar una barrera económica significativa, especialmente en regiones donde no existe infraestructura local y el traslado a centros médicos es complejo. Aunque el servicio domiciliario mejora la cobertura, sigue siendo limitado para quienes enfrentan desigualdad social. Por ello, se hace necesaria una mayor articulación entre instituciones privadas y políticas públicas que

garanticen el acceso equitativo a la rehabilitación, independientemente de la capacidad de pago del paciente.

5.2.2 Fundación valle del Lili

La Fundación Valle del Lili es una institución privada sin ánimo de lucro, ubicada en Cali, Valle del Cauca, que presta servicios desde 1986 y opera como hospital universitario de alta complejidad (nivel 3 - 4). Dispone de un servicio especializado en Ortopedia y Traumatología, con un equipo multidisciplinario de ortopedistas que se enfocan en el diagnóstico y tratamiento de patologías del tobillo y el pie. Su cobertura es local, regional, nacional e internacional, figurando entre los mejores hospitales de América Latina. Está acreditada por el Ministerio de Salud como hospital universitario.

5.2.3 Centro especializado en fracturas y lesiones deportivas

El Centro Especializado en Fracturas y Lesiones Deportivas es una institución privada ubicada en Cali, Valle del Cauca, que presta servicios desde 1994. Se especializa en el manejo de fracturas y lesiones deportivas, ofreciendo atención prioritaria y especializada en ortopedia y traumatología. Cuenta con un equipo médico altamente capacitado, tecnología moderna para diagnóstico y cirugía, y servicios complementarios como fisioterapia e hidroterapia. Aunque su cobertura es principalmente local y regional, se ha consolidado como un referente en la atención de trauma ortopédico y lesiones del sistema musculoesquelético en el suroccidente colombiano.

5.2.4 Clínica Imbanaco

La Clínica Imbanaco, ubicada en Cali, Valle del Cauca, es una institución de salud privada de alta complejidad (nivel 4) que presta servicios desde 1976. Se especializa en áreas como ortopedia, traumatología, cirugía, oncología, cardiología y rehabilitación, ofreciendo atención integral con tecnología avanzada y un equipo médico altamente calificado. Dentro de sus servicios destacados, cuenta con un equipo especializado en cirugía de pie y tobillo, capacitado en el manejo de diversas patologías musculoesqueléticas, y que ofrece tratamientos quirúrgicos adaptados a la gravedad de cada lesión. Su cobertura es local, regional y nacional, recibiendo pacientes de distintas zonas del país. Además, forma parte del grupo Quirónsalud y cuenta con acreditaciones nacionales e internacionales que respaldan la calidad y seguridad en la atención de sus servicios clínicos y quirúrgicos.

5.2.5 Centro de ortopedia y fracturas (COF)

El (COF) es una institución privada ubicada en Cali, Valle del Cauca, que presta servicios desde 1987. Especializado en ortopedia y traumatología, ofrece soluciones integrales para pacientes con patologías musculoesqueléticas, enfocándose en una recuperación eficaz y segura. Cuenta con un equipo multidisciplinario altamente capacitado, especialmente en cirugía de pie y tobillo, y brinda atención ambulatoria, diagnóstica, quirúrgica y de rehabilitación. Su cobertura es principalmente local y regional, consolidándose como un referente en el suroccidente colombiano en el tratamiento de fracturas y lesiones deportivas.

5.2.6 Clínica de fracturas

Es una institución privada con más de 40 años de experiencia, ubicada en Cali, Valle del Cauca. Especializada en ortopedia y traumatología, ofrece atención prioritaria y consulta externa, con énfasis en cirugía de pie y tobillo y rehabilitación integral para lesiones musculoesqueléticas. La clínica cuenta con un equipo multidisciplinario altamente calificado, incluyendo especialistas en cirugía de pie y tobillo, y presta servicios que comprenden diagnóstico por imágenes, cirugía artroscópica, fisiatría, fisioterapia e hidroterapia. Su cobertura es principalmente local y regional, consolidándose como un referente en trauma ortopédico y lesiones deportivas en el suroccidente colombiano.

5.3 Marco normativo

El desarrollo de este proyecto requiere un análisis del marco legal vigente que respalda el acceso a los servicios de salud y rehabilitación en Colombia, especialmente en el contexto de las lesiones músculo-esqueléticas como los esguinces de tobillo. La inclusión de estas normas es fundamental para comprender los derechos que tienen los pacientes, así como las obligaciones del sistema de salud frente a la atención integral, la equidad en el acceso y la cobertura territorial. Además, permite identificar las brechas existentes entre lo establecido legalmente y su aplicación práctica, en especial para deportistas amateurs y poblaciones ubicadas en zonas con baja infraestructura sanitaria. A continuación, se presentan las principales leyes y resoluciones que enmarcan el acceso a servicios de rehabilitación en el país.

- **Ley 100 de 1993:** Garantiza la atención en salud, incluyendo la rehabilitación, a los afiliados a los regímenes contributivo y subsidiado.

- **Resolución 3280 de 2018:** Incluyendo la rehabilitación de lesiones músculo-esqueléticas, lo que permitiría a los deportistas amateurs acceder a terapias de recuperación.
- **Ley 1438 de 2011:** Fortalece la atención primaria en salud y la rehabilitación basada en comunidad (RBC).
- Resolución 2292 de 2021: Promoviendo la accesibilidad a servicios de rehabilitación en todos los niveles de atención.
- **Ley 181 de 1995 (Ley del Deporte):** Regula el deporte en Colombia y menciona la importancia de la medicina deportiva, pero no establece mecanismos específicos para la atención de deportistas amateurs en municipios con baja cobertura en salud.
- **Ley 1967 de 2019:** Crea el Ministerio del Deporte y establece lineamientos para la promoción de la salud en el deporte.

6. Introducción al Marco Teórico

El presente marco teórico tiene como objetivo analizar la anatomía del tobillo, las principales lesiones que lo afectan, sus mecanismos de producción, factores de riesgo y métodos de diagnóstico. Además, se abordarán los tratamientos disponibles y las estrategias de rehabilitación para minimizar el impacto funcional y prevenir recaídas.

Dentro del análisis de los factores de riesgo, es fundamental reconocer que las lesiones rara vez son producto de una única causa, sino del resultado de una interacción multifactorial. Además de los factores asociados a la actividad física o deportiva, existen otros elementos que contribuyen significativamente a la incidencia de lesiones. Entre ellos se encuentran las condiciones ambientales y estructurales de los espacios (como superficies irregulares, iluminación deficiente o mobiliario inadecuado), así como aspectos individuales como la edad, el estado físico general, el historial clínico, y la falta de preparación o calentamiento previo. También influyen factores ocupacionales, como posturas prolongadas o movimientos repetitivos. Todos estos elementos deben ser considerados para comprender integralmente la aparición y recurrencia de lesiones.

Los implementos deportivos también influyen en la prevención o predisposición a lesiones. El calzado deportivo inadecuado o en mal estado puede comprometer la estabilidad del pie y el tobillo, incrementando el riesgo de torceduras. El uso de balones, raquetas u otros elementos con dimensiones o pesos no estandarizados puede modificar la biomecánica del deportista y contribuir a movimientos incorrectos que terminen en lesión.

Otro factor importante es la intensidad del juego y la sobrecarga mecánica. En deportes de alto impacto o de cambios de dirección bruscos, como el baloncesto y el fútbol, el estrés repetitivo sobre el tobillo puede generar micro traumas acumulativos que predisponen a lesiones crónicas. Si a esto se le suma una inadecuada recuperación muscular debido a la programación excesiva de entrenamientos y partidos, la vulnerabilidad del tobillo se incrementa considerablemente.

En conclusión, comprender la naturaleza de estas lesiones no solo es fundamental para el ámbito clínico y deportivo, sino también para la prevención en la vida cotidiana. Sin embargo, la aparición de lesiones en el tobillo no puede atribuirse a una única causa, sino a la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran las condiciones del espacio deportivo, por ello es fundamental analizar estos aspectos para entender desde dónde vienen dichas lesiones, permitiendo así la identificación de los riesgos y consecuencias.

A través de este análisis, se busca proporcionar una base teórica sólida que contribuya al manejo adecuado de las lesiones en el tobillo y promueva una recuperación eficiente.

6.1 Definición y Anatomía del Tobillo

Anatómicamente, el tobillo está compuesto por una compleja estructura de huesos, ligamentos, músculos y tendones que trabajan en conjunto para proporcionar estabilidad y movimiento.

6.1.1 Huesos del Tobillo

El tobillo está formado por tres huesos principales que conforman la articulación tibioperoneoastragalina:

- **Tibia:** Es el hueso principal de la pierna y soporta la mayor parte del peso corporal. Su extremo distal forma el maléolo medial.
- **Peroné (fíbula):** Situado lateralmente a la tibia, contribuye a la estabilidad del tobillo y forma el maléolo lateral.
- **Astrágalo (talus):** Es el hueso que se encuentra en la parte superior del pie y permite la articulación con la tibia y el peroné, facilitando los movimientos del tobillo.

Figura 3. *La importancia de la articulación del tobillo*



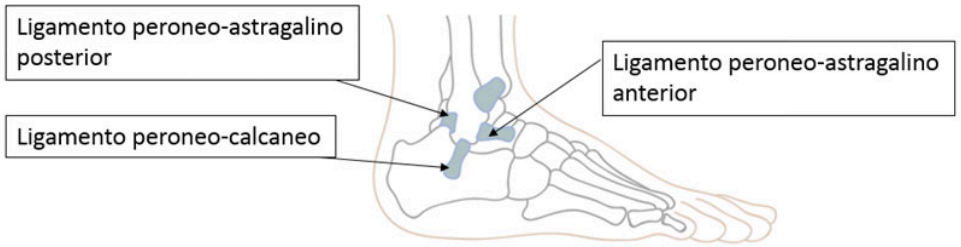
Fuente: Reyes, R. (s.f.). Bodymind Studio pilates. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://www.bmindstudiopilates.com/sin-categoria/la-importacia-la-articulaciondel-tobillo/

6.1.2 Ligamentos del Tobillo

Los ligamentos son estructuras resistentes que estabilizan la articulación del tobillo y previenen movimientos excesivos que puedan causar lesiones. Se dividen en:

- **Ligamento lateral:** Compuesto por tres fascículos principales:
    - Ligamento peroneoastragalino anterior (LPA).
    - Ligamento peroneoastragalino posterior (LPP).
    - Ligamento peroneocalcáneo (LPC): Es el más propenso a lesionarse, especialmente en los esguinces de tobillo por inversión.

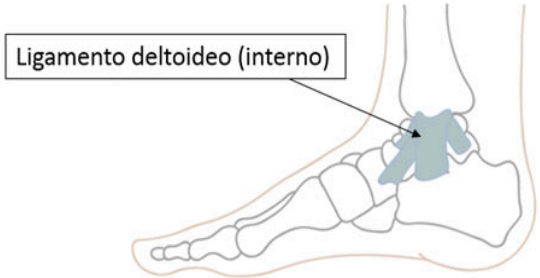
Figura 4. *Anatomía ligamentosa del tobillo*



Fuente: López, V. (s.f.). SAMeCiPP. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://www.samecipp.org.ar/pat_esguinceTobillo.html

- **Ligamento deltoideo (medial):** Es una estructura gruesa y resistente ubicada en la cara interna del tobillo. Se encarga de estabilizar la articulación y evitar movimientos excesivos de eversión.

Figura 5. *Anatomía ligamentosa del tobillo*



Fuente: López, V. (s.f.). SAMeCiPP. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://www.samecipp.org.ar/pat_esguinceTobillo.html

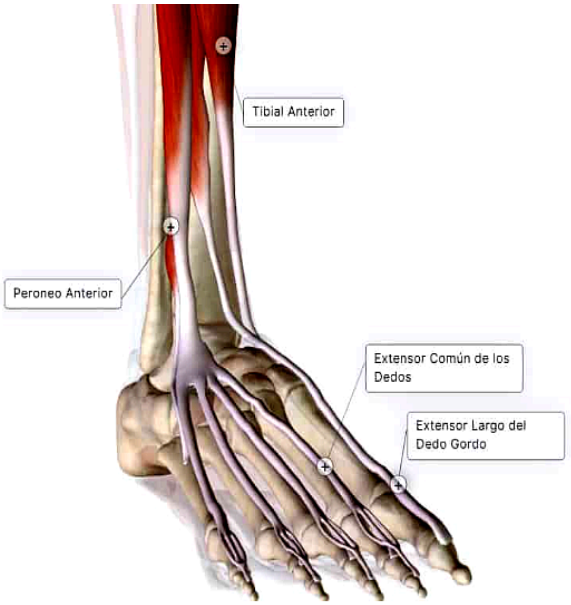
- **Ligamentos sindesmóticos:** Unen la tibia y el peroné en su porción distal, asegurando la estabilidad de la articulación.

6.1.3 Músculos que Actúan sobre el Tobillo

Los músculos que controlan los movimientos del tobillo se agrupan en diferentes compartimentos:

- Músculos anteriores (dorsiflexión del pie):
    - Tibial anterior.
    - Extensor largo de los dedos.
    - Extensor largo del dedo gordo.

Figura 6. *Músculos flexores dorsales del tobillo*



Fuente: Hurtado, J. (s.f.). Paradigmia. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://paradigmia.com/curso/locomotor/modulos/miologia-de-la-extremidad-inferior/temas/musculos-tobillo/

- Músculos laterales (eversión del pie):
    - Peroneo largo.
    - Peroneo corto.

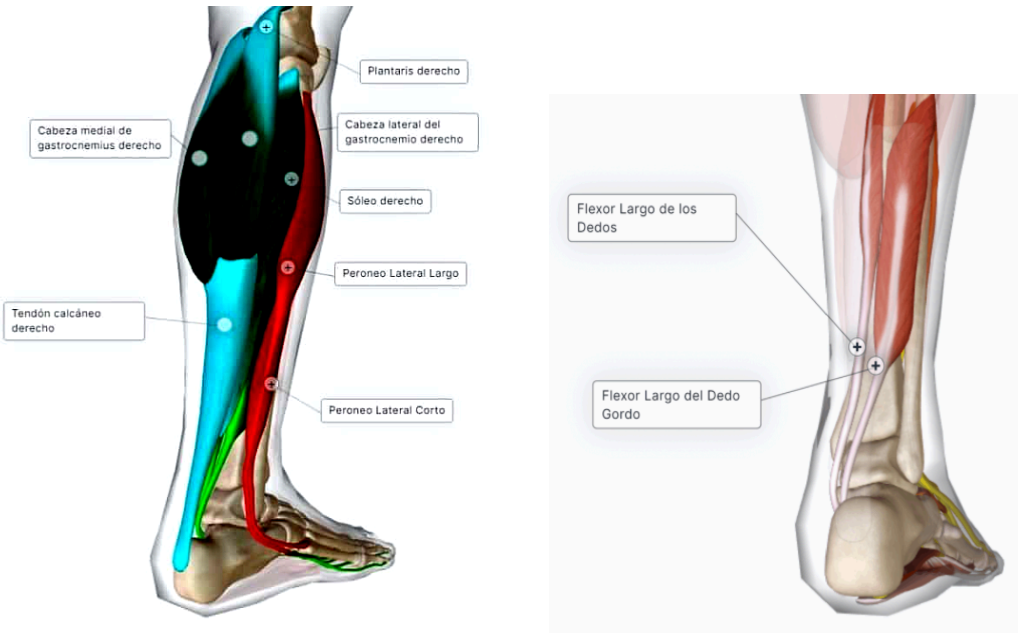
Figura 7. *Músculos de la celda posterior de la pierna*



Fuente: Hurtado, J. (s.f.). Paradigmia. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://paradigmia.com/curso/locomotor/modulos/miologia-de-la-extremidad-inferior/temas/musculos-tobillo/

- Músculos posteriores (flexión plantar del pie):
    - Gastrocnemio (parte del tríceps sural).
    - Sóleo.
    - Tibial posterior.
    - Flexor largo de los dedos.
    - Flexor largo del dedo gordo.

Figura 8 y 9. *Músculos flexores plantares del tobillo*



Fuente: Hurtado, J. (s.f.). Paradigmia. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://paradigmia.com/curso/locomotor/modulos/miologia-de-la-extremidad-inferior/temas/musculos-tobillo/

6.1.4 Tendones del Tobillo

Los tendones son estructuras que conectan los músculos con los huesos, permitiendo la transmisión de fuerza para el movimiento. Los más importantes en el tobillo son:

- **Tendón de Aquiles:** Conecta los músculos gastrocnemio y sóleo con el calcáneo. Es el tendón más fuerte del cuerpo y es esencial para la marcha y la carrera.

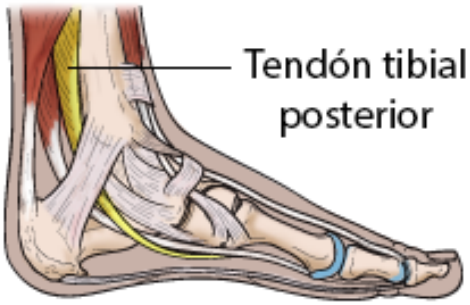
Figura 10. *Tendón de Aquiles*



Fuente: Andrés, C. (s.f.). Medicina del dolor. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://medicinadeldolor.es/tendon-aquiles-prevencion-tratamiento-lesiones/

- **Tendón tibial posterior:** Importante para el soporte del arco del pie.

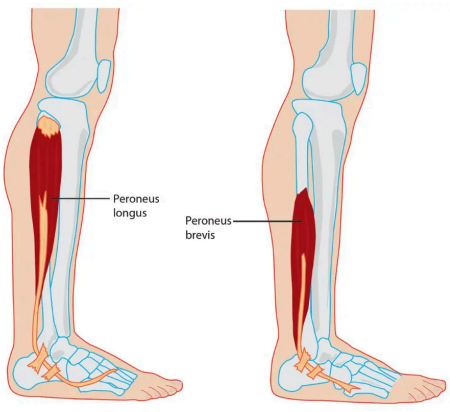
Figura 11. *Tendón tibial posterior*



Fuente: OrthoInfo. (2024). https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/deformidad-progresiva-del-pie-en-colapso-pie-plano-progressive-collapsing-foot-deformity-flatfoot/

- **Tendones peroneos (largo y corto):** Contribuyen a la estabilidad lateral del tobillo y ayudan en la eversión.

Figura 12. *Los músculos peroneos en los tobillos*



Fuente: Jimenéz, A. (s.f.). Chiropractic scientists. Recuperado el 18 de marzo, 2025, de https://es.sciatica.clinic/peroneal-muscles-weak-ankles-trigger-points/amp/

6.2 Función biomecánica del tobillo

El tobillo permite la movilidad del pie y la adaptación a diferentes superficies mientras soporta el peso corporal. Su función biomecánica está relacionada con la estabilidad, la absorción de impactos y la generación de fuerza para la locomoción.

6.2.1 Movimientos del Tobillo

La articulación del tobillo permite varios movimientos esenciales para la marcha y otras actividades físicas:

- **Dorsiflexión:** Movimiento en el que el pie se eleva hacia la parte anterior de la pierna. Es realizado principalmente por el músculo tibial anterior y es fundamental para despegar el pie del suelo al caminar.

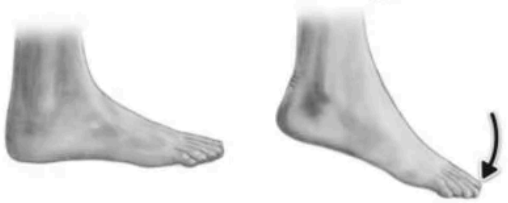
Figura 13. *Dorsiflexión*



Fuente: Arce, A. (2020). ABC Blogs. https://abcblogs.abc.es/fitness-que-la-fuerza-te-acompane/otros-temas/como-afecta-la-movilidad-del-tobillo-a-tu-sentadilla.html

- **Flexión plantar:** Movimiento opuesto a la dorsiflexión, en el que el pie se aleja de la tibia. Es impulsado por los músculos gastrocnemio, sóleo y tibial posterior, y es crucial para el empuje en la marcha y la carrera.

Figura 14. *Flexión plantar*



Fuente: Arce, A. (2020). ABC Blogs. https://abcblogs.abc.es/fitness-que-la-fuerza-te-acompane/otros-temas/como-afecta-la-movilidad-del-tobillo-a-tu-sentadilla.html

- **Inversión:** Movimiento en el que la planta del pie se inclina hacia la línea media del cuerpo. Está controlado por los músculos tibial posterior y tibial anterior.

Figura 15. *Inversión*



Fuente: Guerra, J. (2019). Human Tecar. https://www.javierguerrafisioterapia.com/diferentes-tipos-esguinces-tobillo/

- **Eversión:** Movimiento en el que la planta del pie se aleja de la línea media del cuerpo, realizado por los músculos peroneo largo y corto.

Figura 16. *Eversión*



Fuente: Guerra, J. (2019). Human Tecar.
https://www.javierguerrafisioterapia.com/diferentes-tipos-esguinces-tobillo/

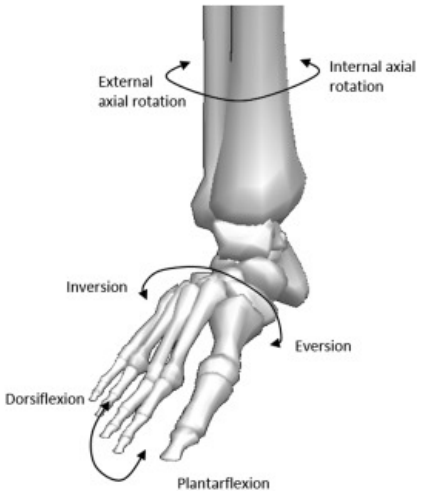


Figura 17. *Movimiento del pie y el tobillo*

Las combinaciones de estos movimientos en las articulaciones subastragalina y tibioastragalina crean movimientos tridimensionales denominados supinación y pronación.

Fuente: Claire, L. Graham, J. (2016). ScienceDirect.Ortopedia y traumatología. (pág 232-238)
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877132716300483

6.2.2 Eje de rotación del tobillo

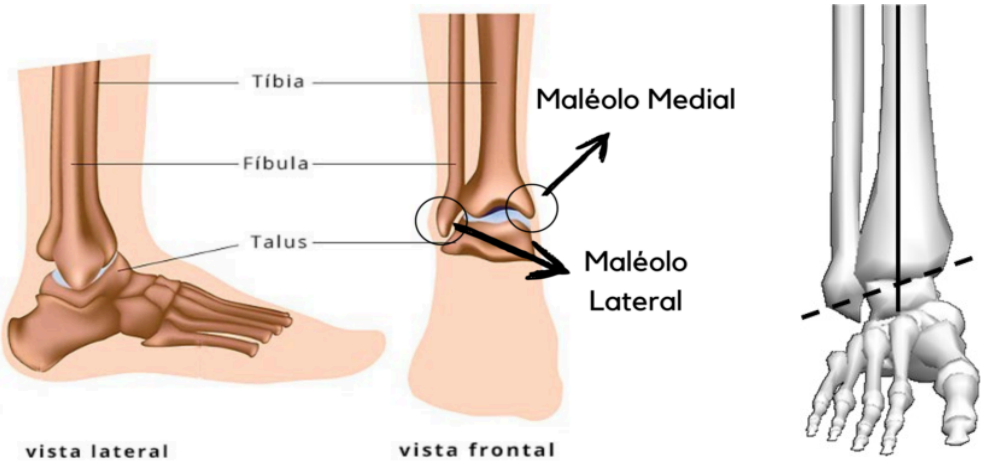
El tobillo se considera una articulación multiaxial, debido a la rotación interna que ocurre durante la dorsiflexión y la rotación externa que ocurre en la flexión plantar. El eje de rotación del tobillo se divide en 3: Plano sagital, coronal y transversal.

6.2.2.1 Plano sagital

Es un plano vertical que divide el cuerpo en mitades izquierda y derecha. En el tobillo, los principales movimientos ocurren en este plano y la rotación de esta articulación en el plano sagital se produce en torno a una línea imaginaria que atraviesa los maléolos medial y lateral.

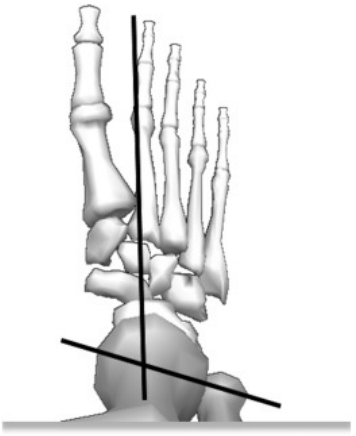
Los movimientos que ocurren en este plano son la flexión plantar y la dorsiflexión.

Figura 18 y 19. *Maléolo medial y lateral*



Fuente: Damado, M. (2021). Centro brasileiro de ortopedia e traumatología. https://medicinaortopedica.com/2021/03/31/cirurgia-para-fratura-do-tornozelo/

6.2.2.2 Plano coronal (frontal)



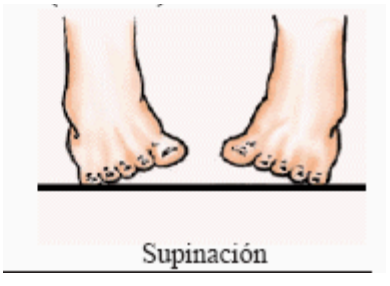
Es un plano que divide el cuerpo en secciones anterior y posterior, es decir, el movimiento gira en torno al punto donde se cruzan los maléolos con el eje longitudinal de la tibia en el plano frontal. En el tobillo, los movimientos que ocurren en este plano son de inversión y eversión.

Figura 20. *Eje de rotación del tobillo*

Fuente: Claire, L. Graham, J. (2016). ScienceDirect.Ortopedia y traumatología. (pág 232-238) https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877132716300483

También se pueden encontrar los movimientos de supinación y pronación.

- **Supinación:** Es una combinación de movimientos de flexión plantar, inversión y aducción que permite que el pie-tobillo adopte



una configuración más flexible para absorber impactos y adaptarse al terreno.

- **Pronación:** Movimiento dinámico del pie que incluye dorsiflexión, eversión y abducción.

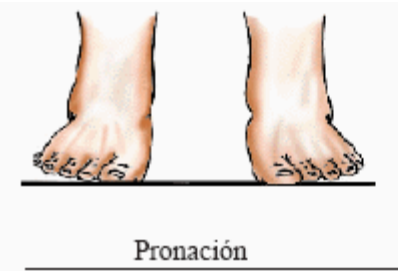


Figura 21 y 22. *Supinación y pronación*

Fuente: Marino, L. González, Y. González, C. Rupcich M. (2013). Scielo https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000400015

6.2.2.3 Plano transversal

Es un plano anatómico que divide el cuerpo en dos partes, una superior y otra inferior, la rotación ocurre alrededor del eje longitudinal de la tibia en el punto donde se intersecta con la línea media del pie.

En este plano podemos encontrar los movimientos abducción y aducción.

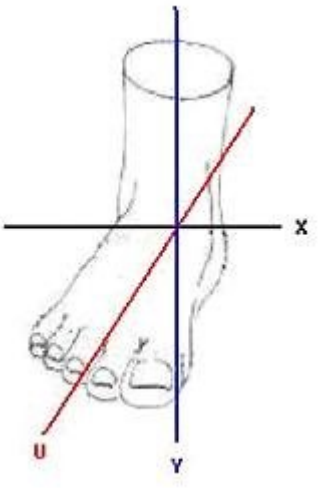
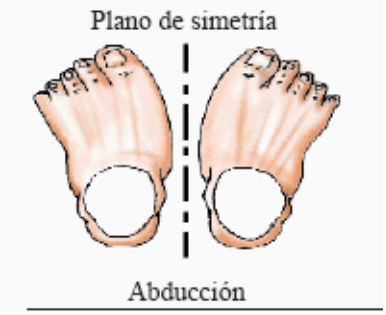


Figura 23. *Tobillo*

Fuente: Biomecánica miembro inferior. (2015). https://biomecanica-de-miembro-inferior.webnode.mx/tobillo/

- **Abducción:** Patrón anormal de movimiento, donde los pies se desplazan hacia afuera en lugar de avanzar rectamente hacia adelante.





- **Aducción:** Movimiento producido cuando el pie rota hacia adentro formando un ángulo agudo.

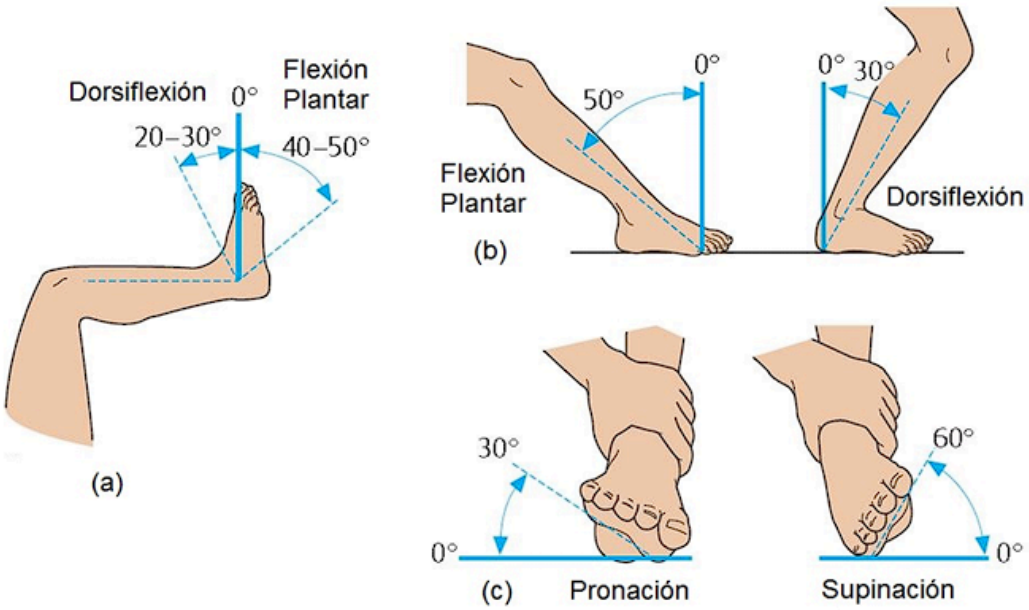
Figura 24 y 25. *Abducción y Aducción.*

Fuente: Marino, L. González, Y. González, C. Rupcich M. (2013). Scielo https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000400015

6.2.3 Rango de movimiento

El rango de movimiento del tobillo (ROM) varía significativamente entre individuos debido a sus diferencias anatómicas, fisiológicas y culturales. Sin embargo, varios estudios ROM han indicado unos datos generales sobre los movimientos principales del tobillo que se encuentran en el plano sagital, con flexión plantar y dorsal del pie. Comúnmente se ha encontrado que hay entre 15° - 20° de dorsiflexión y unos 40° - 50° de flexión plantar.

Figura 26. *Dorsiflexión, Flexión plantar. Pronación y Supinación.*



Fuente: M. S. Adolf Faller. (2004). The Human Body: An Introduction to Structure and Function. Flexibook, Thieme, 1 ed. https://www.unilus.ac.zm/lms/e-books/books/Basic_Sciences/Physiological%20sciences/Faller%20et%20al.%20-%20The%20Human%20Body.pdf

Sin embargo, en las actividades cotidianas como caminar y correr estos datos varían, ya que van desde 10° a 30° grados de dorsiflexión y entre 37° - 56° para subir y bajar escaleras, respectivamente.

6.3 Función del tobillo en la marcha

Durante la marcha, el tobillo cumple un papel fundamental en cada fase del ciclo de la marcha:

- **Fase de contacto inicial:** El tobillo actúa como amortiguador al recibir el impacto del pie con el suelo. Los músculos dorsiflexores controlan el descenso del pie para evitar una caída brusca.
- **Fase de apoyo medio:** El tobillo proporciona estabilidad mientras el peso corporal se desplaza hacia adelante. Los músculos estabilizadores trabajan para mantener el equilibrio.
- **Fase de propulsión:** La flexión plantar del tobillo genera la fuerza necesaria para impulsar el cuerpo hacia adelante. En este proceso, el tendón de Aquiles juega un papel clave almacenando y liberando energía elástica.

6.3.1 Función del Tobillo en el Equilibrio y la Propiocepción

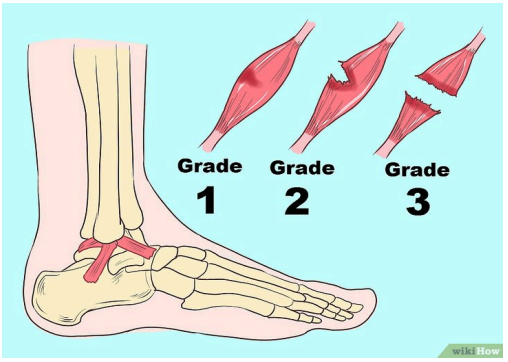
El tobillo contiene numerosos receptores sensoriales que contribuyen a la propiocepción, es decir, la capacidad del cuerpo para detectar la posición y

movimiento de las articulaciones. Estos receptores ayudan a mantener el equilibrio y ajustar la postura en respuesta a superficies irregulares o movimientos inesperados.

6.3.2 Adaptabilidad y Absorción de Impactos

El tobillo actúa como un sistema amortiguador que reduce el impacto en las articulaciones superiores, como la rodilla y la cadera. Gracias a la flexibilidad de sus estructuras, se adapta a diferentes tipos de terrenos, distribuyendo la carga de manera eficiente.

6.4 Clasificación de los esguinces en el Tobillo



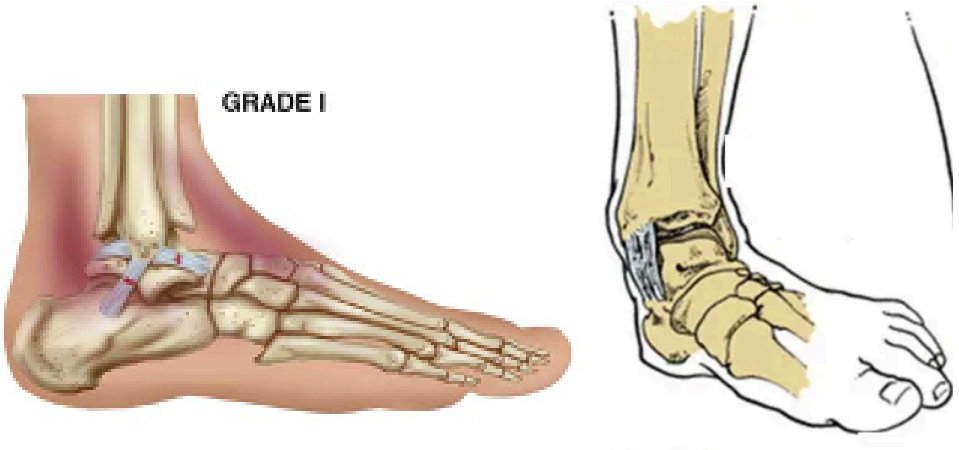
El esguince de tobillo es una de las lesiones traumáticas más comunes y ocurre cuando los ligamentos que estabilizan la articulación del tobillo se estiran o se desgarran debido a un movimiento brusco, una torsión o un impacto. Dependiendo de la gravedad de la lesión, los esguinces se clasifican en tres grados:

Figura 27. *Grados de esguince*

Fuente: Eduardo, J (2018). Delgado trauma. https://www.delgadotrauma.com/esguince-de-tobillo/

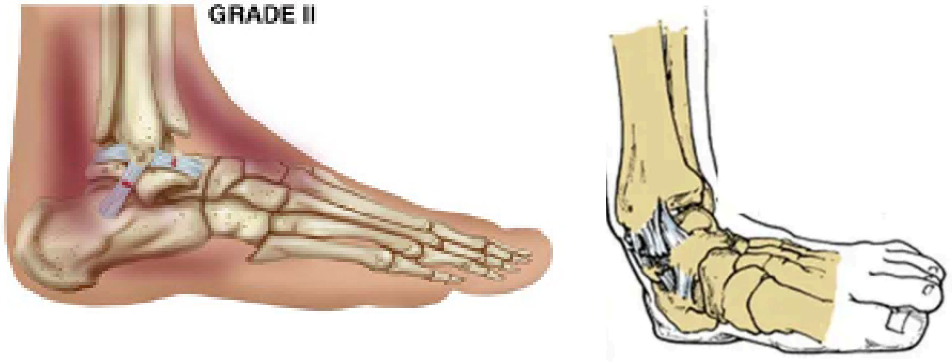
6.4.1 Grado 1: Lesión del 5% de las fibras

Un esguince leve implica una distensión sin desgarro significativo, donde las fibras del ligamento se elongan sin causar inestabilidad. Se caracteriza por dolor localizado, ligera inflamación y sensibilidad al tacto, pero sin hematomas visibles ni pérdida funcional importante.



6.4.2 Grado 2: Lesión del 40% / 50% de las fibras

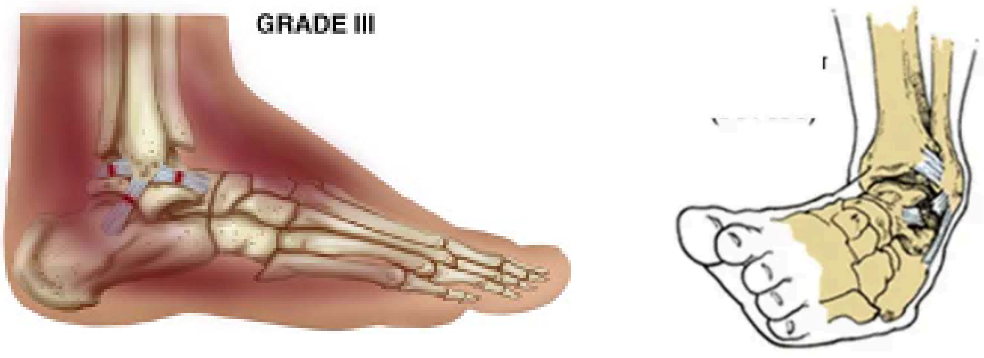
Un esguince moderado implica un desgarro parcial del ligamento, causando dolor de moderado a intenso, inflamación con hematomas y leve inestabilidad al caminar.



6.4.3 Grado 3: Rotura completa del ligamento

Un esguince grave implica la ruptura total del ligamento, causando inestabilidad severa, dolor intenso, inflamación con hematomas e incapacidad para apoyar el pie.

Figura 28, 29, 30, 31, 32 y 33. *Grados de Lesión.*



Fuente: Pmedic. (S.F). Recuperado el 27 de marzo, 2025 https://pmedic.es/esguince-de-tobillo/

Fuente: Bergé, C. (2020). Plan Be Fisioterapia. https://www.planbefisioterapia.com/tratamiento-activo-del-esguince-de-tobillo/

A partir del análisis detallado de la anatomía funcional del tobillo (incluyendo su compleja interacción entre huesos, tendones, ligamentos y articulaciones) se evidencia que esta estructura no solo es esencial para la estabilidad y movilidad del cuerpo humano, sino que también es altamente vulnerable a lesiones, especialmente en contextos donde las condiciones de prevención, atención y rehabilitación son limitadas.

Frente a este panorama, el diseño cobra un papel estratégico como agente integrador de soluciones funcionales, accesibles y contextualizadas, que respondan tanto a las necesidades biomecánicas del usuario como a las condiciones sociales, económicas y geográficas del entorno. Desde esta perspectiva, el proyecto no solo busca mejorar los procesos de recuperación y funcionalidad tras una lesión de tobillo, sino también plantear alternativas innovadoras que, desde el diseño, aporten al cierre de brechas en el acceso a servicios de salud especializados.

Así, el diseño no se limita a la creación de un objeto o sistema, sino que se posiciona como una herramienta de transformación social, capaz de articular conocimiento técnico, comprensión del cuerpo humano y sensibilidad frente a las condiciones reales de los usuarios. Esta investigación, por tanto, sienta las bases para desarrollar propuestas aplicadas, sostenibles y centradas en el usuario, que contribuyan a la mejora de la calidad de vida y a la equidad en salud desde una mirada interdisciplinaria e incluyente.

7. Estado del arte

El análisis de las lesiones ligamentarias de tobillo requiere una revisión de los estudios existentes que abordan sus causas, condiciones asociadas y procesos de recuperación. Este apartado sintetiza aportes clave que permiten comprender la recurrencia y complejidad de estas lesiones, así como los desafíos que representan en distintos contextos de la vida cotidiana.

7.1 Mecanismos de Lesión

El mecanismo de la lesión y los antecedentes en el usuario son de importancia pues las personas que sufrieron un esguince en el pasado son susceptibles a presentar un nuevo evento en el 75 % de los casos. (Karen L. Ankle Sprain. UpToDate.)

El esguince es la lesión más común en el ámbito deportivo y su clasificación es dependiendo de la intensidad, cambios de ritmo, saltos y movimientos en las prácticas deportivas.

A continuación, se presentan casos relevantes con datos específicos sobre la incidencia de esguinces de tobillo en dos contextos fundamentales: el ámbito deportivo y el ámbito laboral. Esta diferenciación permite evidenciar cómo las características del entorno y las actividades desempeñadas inciden directamente en la frecuencia, el tipo de lesión y las necesidades de rehabilitación de los individuos afectados.

7.1.1 Ámbito deportivo:

- **Fútbol:** Es uno de los deportes más practicados en colombia abarcando entre el 15% y el 30% de las lesiones deportivas. Las acciones propias del juego lo vuelven una práctica de alto impacto, que produce mecanismos traumáticos, implicando colisiones, cambios de ritmo y movimientos bruscos.
- **Baloncesto:** Esta disciplina incluye saltos y cambios bruscos de dirección, obteniendo un mayor riesgo de sufrir un esguince de tobillo.
- **Fútbol sala:** Implica movimientos intensos y rápidos, incluyendo giros, saltos y frenadas bruscas.

7.1.1.1 Repercusiones del esguince de tobillo dentro del ámbito deportivo

El esguince de tobillo es una de las lesiones más frecuentes en el deporte y puede tener consecuencias significativas a corto, mediano y largo plazo si no se trata adecuadamente.

Estudios indican que solo el 26 % de los deportistas logra una recuperación completa después de casi dos años de la lesión, mientras que el resto continúa presentando síntomas como dolor, debilidad e inestabilidad articular (Hume & Gerrard, 1998). Además, se ha documentado que entre el 12 % y el 47 % de los atletas que sufren un esguince presentan recurrencias, siendo especialmente elevadas en disciplinas como el voleibol (46 %), fútbol americano (43 %) y baloncesto (28 %) (Herzog et al., 2019).

Una de las consecuencias más frecuentes es el desarrollo de inestabilidad crónica de tobillo (CAI), presente en hasta el 40 % de los casos, lo que implica una disminución del control postural y mayor riesgo de nuevas lesiones (Gribble et al.,

2016). Esta condición también está asociada a una reducción del rendimiento físico y de los niveles de actividad a lo largo del tiempo, así como a una mayor probabilidad de desarrollar osteoartritis postraumática en fases posteriores de la vida (Hubbard-Turner & Turner, 2015).

7.1.2 Ámbito laboral:

En el entorno laboral colombiano, actividades cotidianas como caminar, correr o subir escaleras representan riesgos importantes cuando se realizan en condiciones inseguras, como superficies irregulares, húmedas o con obstáculos. Espacios como bodegas, obras de construcción o instalaciones deterioradas incrementan la probabilidad de sufrir esguinces de tobillo por movimientos bruscos, desequilibrios o inversión forzada del pie, especialmente al cargar objetos o al moverse con prisa.

La incidencia de este tipo de lesiones en el ámbito laboral ha sido documentada con un estudio desarrollado en un hospital de la ciudad de Manizales entre los años 2012 y 2017, donde se evidenció que los esguinces y torceduras de tobillo representaron la tercera causa más común de accidentes laborales, con una participación del 22,46 % entre los casos analizados. El grupo más afectado estuvo compuesto mayoritariamente por hombres (60,81 %) y se concentró en la población entre los 35 y 39 años de edad, etapa considerada de alta productividad laboral.

Tabla 1. *Índice de Esguinces y torceduras del tobillo*

Tipo de esguince y torcedura	Número de casos	Porcentaje	Femenino	Masculino
Esguinces y torceduras de columna torácica	8	1.07%	66.67%	33.33%
Esguinces y torceduras de costillas y esternón	8	1.07%	50%	50%
Esguinces y torceduras de dedo(s) de la mano	8	1.07%	33.33%	66.67%
Esguinces y torceduras de dedo(s) del pie	4	0.53%	50%	50%
Esguinces y torceduras de la articulación acromioclavicular	29	3.88%	33%	66%
Esguinces y torceduras de la articulación del hombro	36	4.81%	17.39%	82.61%
Esguinces y torceduras de la columna cervical	56	7.49%	30.56%	69.44%
Esguinces y torceduras de la muñeca	86	11.50%	37.62%	62.32%
Esguinces y torceduras de otras partes y de las no especificadas de la muñeca y de la mano	2	0.27%	0%	100%
Esguinces y torceduras de otras partes y las no especificadas de la rodilla	6	0.80%	50%	50%
Esguinces y torceduras de otros sitios y de los no especificados del pie	10	1.34%	37.50%	72.50%
Esguinces y torceduras del codo	4	0.53%	0%	100%
Esguinces y torceduras del tobillo	168	22.46%	39.19%	60.81%
Esguinces y torceduras que comprometen el ligamento cruzado (anterior) (posterior) de la rodilla	149	19.92%	12.61%	87.39%
Esguinces y torceduras que comprometen los ligamentos laterales (externo) (interno) de la rodilla	174	23.26%	23.39%	76.61%

Fuente: García, L. Gallego, J. (2020). Elsevier.

https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-ortopedia-traumatologia-380-avance-resumen-epidemiologia-lesiones-ortopedicas-origen-laboral-S0120884520300134

Tabla 2. *Índice de esguinces y torceduras del tobillo según el grupo etario.*

Tipo de esguince y torcedura	Grupo etario	Número de casos	Porcentaje
Esguinces y torceduras del tobillo	20 a 24 Años	5	3%
	25 a 29 Años	24	14%
	30 a 34 Años	26	15%
	35 a 39 Años	52	31%
	40 a 44 Años	20	12%
	45 a 49 Años	14	8%
	50 a 54 Años	16	10%
	55 a 59 Años	8	5%
	60 a 64 Años	1	1%
	65 a 69 Años	1	1%

Fuente: García, L. Gallego, J. (2020). Elsevier.
https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-ortopedia-traumatologia-380-avance-resumen-epidemiologia-lesiones-ortopedicas-origen-laboral-S0120884520300134

7.1.2.1 Repercusiones del esguince de tobillo dentro del ámbito laboral

Los esguinces de tobillo, al ser lesiones frecuentes en entornos laborales, pueden generar repercusiones importantes en la salud y productividad de los trabajadores. Este tipo de lesión suele causar dolor agudo, inflamación y restricción del movimiento, lo que limita significativamente la capacidad de realizar actividades básicas como caminar, mantenerse de pie o manejar maquinaria. Estas limitaciones funcionales afectan directamente el desempeño en el puesto de trabajo, reduciendo la eficiencia y aumentando el riesgo de complicaciones si no se realiza una

recuperación adecuada. Además, la incapacidad temporal derivada de un esguince puede dar lugar a ausencias laborales prolongadas. De acuerdo con el *Estudio sobre los servicios de salud en el trabajo en Colombia* realizado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), las lesiones musculoesqueléticas (entre ellas los esguinces) constituyen una de las principales causas de ausentismo, lo que impacta negativamente la productividad empresarial y representa costos adicionales para las organizaciones en términos de reemplazos, retrasos y pérdida de eficiencia operativa.

Este panorama se enmarca en una realidad estructural preocupante del mercado laboral colombiano: la alta informalidad. De los 38,4 millones de personas en edad de trabajar, solo 20,4 millones estaban empleadas al cierre de 2021, y de ellas, el 56,1 % lo hacía en condiciones informales según el DANE. Esta situación implica que más de la mitad de los trabajadores carecen de acceso a sistemas de seguridad social, servicios de salud ocupacional y mecanismos de protección frente a riesgos laborales. Como resultado, no solo se incrementa la vulnerabilidad ante lesiones como los esguinces de tobillo, sino que también se reduce considerablemente la posibilidad de recibir atención oportuna y rehabilitación adecuada.

7.2 Factores de riesgo biomecánicos

El análisis de estos factores ayuda a identificar factores de riesgo biomecánicos como pronación excesiva, debilidad muscular, supinación y problemas de alineación que pueden derivar en lesiones.

- **Pronación excesiva:** Se produce cuando el pie se inclina hacia adentro y el arco del pie desciende. Si no se resuelve adecuadamente, con el tiempo esta condición puede generar diversos problemas, como fascitis plantar, tendinitis aquílea y dolor de rodilla.

- **Factores extrínsecos:** Son aquellos factores que no dependen de las características físicas de la persona, sino del entorno y/o la actividad física que se realiza. Algunos de estos factores son:

7.2.1 Factores deportivos:

- **Tipo de deporte:** En el ámbito deportivo casi todos los deportes pueden causar lesiones, pero específicamente esguinces de tobillo solo lo pueden realizar ciertos deportes y actividades atléticas que son más propensos a causar está lesión. Las prácticas deportivas donde hay contacto o estrés sobre el tobillo como jugar futbol, baloncesto, voleibol, etc, son los deportes en los que más se practican y se ve dicho esguince.
- **Calzado inadecuado:** El tipo de calzado puede causar dolor en el tobillo ya que algunos zapatos carentes de sujeción pueden ejercer presión sobre las articulaciones, provocando inflamación y dolor. Al trabajar o hacer ejercicio, el calzado debe proporcionar una plataforma estable y de apoyo alineando los tobillos y minimizando la tensión sobre las articulaciones, los tendones y los músculos del tobillo.
- **Superficies irregulares:** Al caminar o correr en superficies irregulares se puede generar un mal movimiento provocando que el pie se doble hacia adentro y se estiren los ligamentos, y en algunos casos generando un desgarre; provocando dolor e hinchazón.

7.2.2 Factores físicos:

- **Movimientos repetitivos:** Al realizar muchos movimientos de manera constante y de cambios bruscos puede causar pequeñas grietas en los huesos

y mayor probabilidad de generar un esguince, normalmente visto por el uso excesivo de la articulación, por ejemplo cuando se corre largas distancias o se salta repetidamente de un lado hacia el otro.

- **Impactos:** El tobillo actúa como un sistema amortiguador y receptor de peso de todo el cuerpo humano, sin embargo al realizar un movimiento forzoso a lo habitual los ligamentos se estiran o desgarran provocando un esguince.

7.3 Etapas en el proceso de recuperación de un esguince de tobillo

La recuperación de un esguince de tobillo no debe entenderse como un evento inmediato, sino como un proceso estructurado que atraviesa distintas fases fisiológicas, cada una con objetivos específicos y estrategias de intervención diferenciadas. El conocimiento y aplicación adecuada de estas fases resulta fundamental para garantizar una recuperación funcional completa y prevenir recaídas, especialmente en contextos donde la movilidad y estabilidad del tobillo son determinantes para el desempeño físico o deportivo.

7.3.1 Fase inflamatoria aguda

Esta fase se presenta inmediatamente después del esguince y se caracteriza por una respuesta inflamatoria aguda cuyo propósito es proteger el área lesionada. Clínicamente, se manifiesta con dolor, edema, enrojecimiento y limitación del movimiento. Desde el punto de vista terapéutico, se recomienda la aplicación de medidas antiinflamatorias locales, como crioterapia, elevación del miembro afectado y compresión mediante vendajes elásticos. Estas acciones tienen como finalidad controlar la inflamación, reducir el dolor y prevenir un daño adicional a los tejidos.

Además, se aconseja restringir temporalmente la carga sobre el tobillo, evitando actividades que puedan comprometer la zona lesionada. En esta fase, intervenciones complementarias como el masaje de drenaje linfático pueden facilitar la reabsorción del hematoma y contribuir al alivio sintomático. Es crucial evitar el uso de calor, el consumo de alcohol y el ejercicio excesivo, ya que estos factores pueden exacerbar el proceso inflamatorio.

7.3.2 Fase de reparación o regeneración tisular

Una vez controlada la inflamación, el organismo inicia un proceso de reparación de los tejidos afectados. Esta fase se caracteriza por la formación de nuevo tejido colágeno y la regeneración de estructuras ligamentosas dañadas. Durante este periodo, es indispensable introducir de manera progresiva ejercicios de movilidad y fortalecimiento guiados por un profesional en fisioterapia, con el fin de restaurar la funcionalidad del tobillo sin poner en riesgo la integridad de la lesión.

Técnicas como la aplicación de calor profundo (por ejemplo, mediante diatermia, un método terapéutico que utiliza corrientes eléctricas de alta frecuencia para generar calor en los tejidos profundos) pueden utilizarse para mejorar la vascularización de la zona y favorecer la oxigenación de los tejidos, lo cual acelera el proceso de cicatrización. No obstante, el tratamiento debe ser cuidadosamente dosificado para evitar una sobreestimulación que genere retrocesos en la evolución del paciente.

7.3.3 Fase de remodelación y fortalecimiento funcional

La fase final de recuperación tiene como objetivo consolidar la reparación

estructural y funcional del tobillo, orientándose especialmente al fortalecimiento muscular, la mejora de la estabilidad articular y la reeducación propioceptiva. Esta última resulta esencial, dado que los esguinces suelen comprometer la capacidad del cuerpo para percibir la posición y el movimiento de la articulación en el espacio, lo cual incrementa el riesgo de futuras lesiones.

En esta etapa, se incorporan ejercicios avanzados que implican coordinación, equilibrio dinámico y resistencia, todo dentro de un entorno seguro y progresivamente exigente. La participación activa del paciente y el acompañamiento continuo del fisioterapeuta son fundamentales para asegurar que la recuperación no solo sea anatómica, sino también funcional y duradera. Cumplir con esta fase en su totalidad es determinante para reducir la probabilidad de recidivas y para garantizar una reincorporación segura a las actividades cotidianas o deportivas.

El esguince de tobillo, frecuente entre deportistas amateurs, tiene implicaciones que trascienden el contexto deportivo. Cuando un deportista amateur se lesiona fuera del entorno laboral, sus efectos pueden extenderse a la vida profesional del individuo, interfiriendo en su capacidad de desempeño y continuidad laboral. Esto evidencia cómo el ámbito deportivo y el laboral se entrelazan, haciendo necesario considerar este tipo de lesiones desde una mirada amplia que contemple sus repercusiones en distintas áreas de la vida cotidiana.

8. Estado de la técnica

Este apartado analiza las prácticas actuales empleadas en la evaluación, el tratamiento y la rehabilitación funcional de las lesiones ligamentarias de tobillo. En los últimos años, el desarrollo de métodos clínicos, enfoques terapéuticos estructurados y recursos técnicos especializados ha permitido una atención más precisa y eficiente mediante la combinación de herramientas diagnósticas, estrategias de intervención progresiva y recursos de apoyo ha contribuido a optimizar los procesos de recuperación en distintos contextos asistenciales.

8.1 Diagnóstico y Evaluación

Para identificar el tipo y grado de la lesión se debe realizar un análisis clínico. Dicho diagnóstico debe ser preciso para establecer un tratamiento adecuado y prevenir complicaciones en el proceso y a largo plazo.

8.1.1 Métodos clínicos:

8.1.1.1 Anamnesis:

Proceso de exploración médica (historia clínica del paciente) que recoge:

- **Mecanismo de la lesión:** Posición que presentaba el pie y el tobillo cuando se produjo la lesión, saber cómo ocurrió la lesión.
- **Síntomas inmediatos:** Si el sujeto sintió algún crujido, si pudo seguir realizando la actividad que estaba realizando.
- **Antecedentes:** Esguinces anteriores y si éstos fueron tratados correctamente, si existía un tobillo inestable previamente o no.

- **Tiempo de evolución:** Duración de los síntomas, tratamiento inicial, respuesta a medidas básicas.

8.1.1.2 Exploración física:

Se realiza tras descartar fracturas u otras lesiones más graves, ella recoge:

- **Inspección:** Inflamación importante (edema), hematoma o equimosis extendida o deformidad visible si hay luxación asociada.
- **Palpación:** Dolor localizado en ligamentos laterales y sensibilidad en maléolos para descartar fracturas.
- **Pruebas funcionales:**
    - **Prueba de cajón anterior:** Evalúa la integridad del ligamento peroneoastragalino anterior. Positiva si hay traslación anterior excesiva del astrágalo.
    - **Prueba de esfuerzo en varo o tilt test:** Valora la integridad del ligamento peroneo calcáneo.
    - Incapacidad funcional total para la marcha o apoyo.

8.1.1.3 Pruebas de imagen:

- **Radiografías:** Se realizan para descartar fracturas asociadas especialmente siguiendo las Reglas de Ottawa, que indican la necesidad de radiografías si:
    - Hay dolor óseo en maléolos o dorso del pie.
    - El paciente no puede apoyar el pie durante 4 pasos seguidos
- **Resonancia magnética:** Ayuda a diagnosticar lesiones en los huesos y los tejidos blandos de la articulación. Permite observar la ruptura completa de los ligamentos laterales. Identifica lesiones asociadas como:

- Lesiones osteocondrales del astrágalo.
- Derrames articulares.
- Edema óseo.
- Tendinopatías asociadas.

8.2 Protocolos de rehabilitación y manejo

8.2.1 Abordaje de esguinces de tobillo en sistemas de salud

La Gerencia del Área de Salud de Plasencia (España) implementa una guía clínica para el tratamiento de los esguinces de tobillo, basado en el grado de lesión:

Tabla 3. *Grado I, II y III*

	Grado I	Grado II	Grado III
Dolor	Leve, inmediato	Moderado, inmediato	Tardío o inexistente
Apoyo	Posible, dolor leve	Dolor intenso	Imposible
Edema	No o escaso	Primeras horas	Inmediato
Equimosis	No	No o tardío (>18 h)	Inmediato (<18h)
Inversión	Dolor leve	Dolor intenso	Imposible por dolor
Cajón anterior	Negativo	Negativo	Positivo (>3mm)
Bostezo	Negativo	Negativo	Positivo (>15º)

Fuente: Ramos, A. (s.f). GUÍA CLÍNICA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS ESGUINCES DE TOBILLO (Pág 1 - 9)

8.2.1.1 Atención médica inicial y derivación

La primera atención al paciente se brinda en el servicio de Urgencias o en el Plan de Atención Continuada (PAC). Posteriormente, el seguimiento varía según el grado del esguince:

- **Grados I, II y III**: Se derivan inicialmente a Urgencias Hospitalarias.
- **Grado III** y **grado II con arrancamiento óseo**: Se remiten como consulta preferente al servicio de Traumatología.

En los Centros de Salud que cuentan con unidad de Radiología, se realizan estudios de imagen (radiografías) en todos los casos que cumplan con los criterios de las Reglas de Ottawa. Según los hallazgos, se procederá con la inmovilización adecuada. Existen diferentes tipos de métodos y protocolos para las fases de tratamiento, unos de estos son:

1. **Método cricer:** Tiene un efecto analgésico, anestésico, vasoconstrictor y antiedema. Consta de:
    - **Crioterapia:** Aplicación de hielo por el paciente durante 20 min.
    - **Compresión:** Vendaje compresivo adecuado
    - **Elevación:** Mantener el pie elevado para reducir la inflamación.
    - **Reposo:** Evitar el apoyo del tobillo durante las primeras 48 a 72 horas.
2. **Método Aines (Medicamentos Antiinflamatorios no Esteroides):** Ayudan a disminuir el dolor y la inflamación.
3. **Método inmovilización:** La enfermería debe desempeñar un papel importante en todas las fases del tratamiento y especial en la inmovilización. Será la encargada de colocar las férulas y los vendajes funcionales, revisarlos, sustituirlos, avisar al médico si detecta alguna complicación y fomentar la realización de ejercicios isométricos y activos asistidos.

En Colombia, específicamente en el Valle del Cauca, las pautas de inmovilización del tobillo seguidas en el Hospital Universitario del Valle son las siguientes:

- **Grado I:** Atención primaria donde se manejan lesiones leves. Los esguinces de tobillo de grado I suelen ser tratados en este nivel mediante un protocolo especializado durante las primeras 48-72 horas para controlar la inflamación y el dolor.
    - **Tratamiento agudo (Intervención inicial)**

      Vendaje elástico adhesivo inicial durante 2 semanas. También se puede utilizar vendaje funcional que permite el apoyo. A los 2 - 3 días se permite el apoyo progresivo, sin carga con ayuda de bastones: favorecerá una mejor rehabilitación propioceptiva posterior. Se permitirá la realización de ejercicios isométricos y activo-asistidos (básicamente eversión y dorsiflexión) del pie incluso de cadera y rodilla para fortalecer musculatura del pie.

- **Grado II:** Incluye servicios de especialistas y hospitales generales. Este pueden requerir inmovilización parcial con vendajes funcionales o tobilleras, además de fisioterapia enfocada en ejercicios de fortalecimiento y propiocepción para prevenir recurrencias.
    - **Tratamiento agudo (Intervención inicial)**

      Férula de yeso almohadillado: Revisar a las 72 h y no permitir apoyo - A las 72h se reevaluará por el médico y se enviará a Enfermería para el siguiente tratamiento:

      - Si tiene poca/moderada inflamación y dolor se requiere un vendaje funcional con esparadrapo o bien vendaje adhesivo elástico

- Si consta de un intenso edema y/o incapacidad funcional: Férula de yeso. Mantener 2-3 semanas

- **Grado III:** Hospitales de alta complejidad donde se manejan casos graves. Esguinces de grado III, que implican desgarros completos de ligamentos, pueden necesitar evaluación para posible intervención quirúrgica, seguida de una rehabilitación intensiva.
    - **Tratamiento agudo (Intervención inicial)**

      Inmovilización con férula de yeso.

      - Tratamiento Ortopédico: Férula de yeso 3-4 semanas. - Se podrá permitir el apoyo a la semana en función de cada caso en particular. **- Tratamiento Quirúrgico**: Se realiza solo en casos específicos como: - En jóvenes y actividad física alta.

      - En esguinces recidivantes.

      - Cuando se detecte mucha inestabilidad.

8.2.1.2 Accesorios y medios de rehabilitación

8.2.1.2.1 Fase 1 (Aguda)

- **Manejo:**
    - Reposo
    - Elevación del pie
    - Hielo

- Compresión con venda elástica
- Inmovilización con férula o bota ortopédica

- **Accesorios y medios:**

Tabla 4. *Accesorios fase 1*

Accesorios	**Representación gráfica**
Compresas frías	 https://iselectromedica.com/costarica/catalogo-de-productos/1306-compresa_fria_8cm_x_28cm.html
Férula neumática	 https://www.falabella.com.co/falabella-co/product/124893625/Ferula-Ortopedica-Para-Tobillo-Ajustable-Esguince-Fascitis-talla-XL/124893627

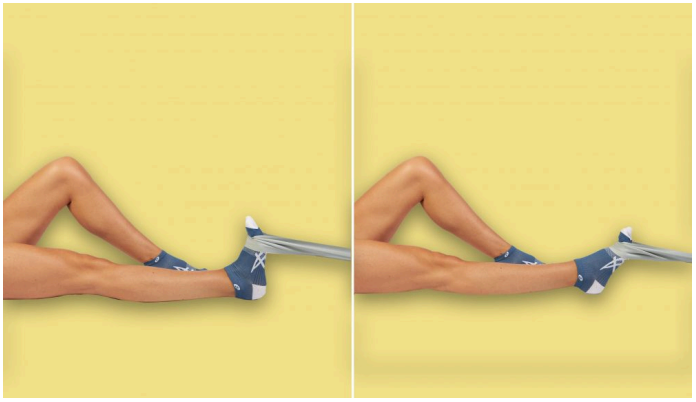
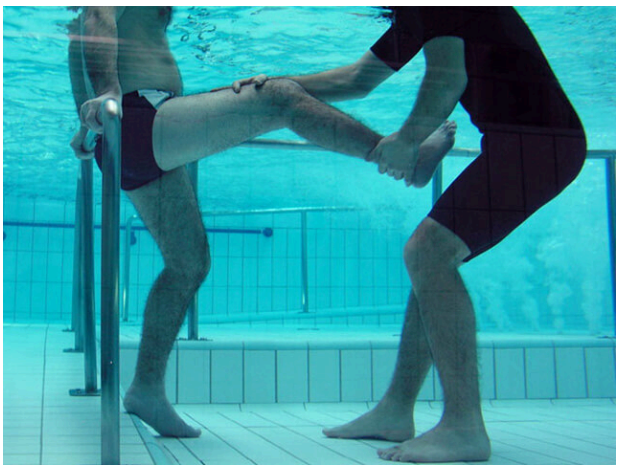
Bota walker	 https://www.tiendamedica.com.co/producto/bota-walker-tobillo-2/
Muletas	 https://www.amazon.com/-/es/plegables-antebrazo-esquinas-resbalones-adecuadas/dp/B0BS97CSK8

Fuente: Propia

8.2.1.2.2 Fase 2 (Subaguda)

- **Manejo:**
    - Movilización pasiva y activa suave
    - Ejercicios de rango de movimiento (ROM)
    - Electroterapia (TENS para dolor, ultrasonido para inflamación)
- **Accesorios y medios:**

Tabla 5. *Accesorios fase 2*

Accesorios	**Representación gráfica**
Banda elástica	 https://www.soycorredor.es/corredora/ejercicios-fortalecer-tobillos_48737_102.html
Parafina	 https://fisiocasa.es/cera-de-parafina-en-fisioterapia-y-su-aplicacion/
Piscina (hidroterapia)	 https://www.bienestarfp.com.uy/home/servicios/hidroterapia/hidroterapia-para-afecciones-musculoesqueleticas/

Balón terapéutico	 https://www.misejercicios.es/39

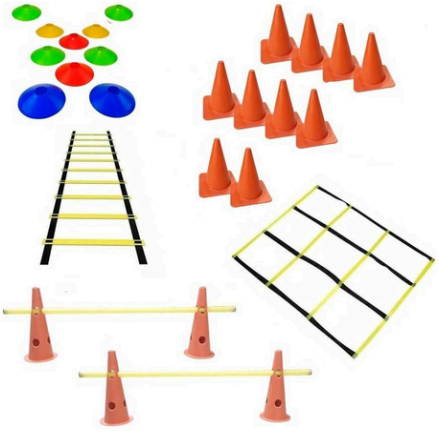
Fuente: Propia

8.2.1.2.3 Fase 3 (Crónica)

- **Manejo:**
    - Ejercicios de fortalecimiento isométrico e isotónico
    - Propiocepción: equilibrio en bosu, trampolín, tabla de Freeman
    - Estiramientos de músculos peroneos, tríceps sural
- **Accesorios y medios:**

Tabla 6. *Accesorios fase 3*

Accesorios	**Representación gráfica**
Plataformas inestables (wobble board)	 https://www.aeromats.com/products/aeromat-wobble-board

Conos y aros para circuitos	 https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1361159787-kit-entrenamiento-conos-aros-escalera-cuadrilatero-48-unid-_JM#polycard_client=search-nordic&position=6&search_layout=grid&type=item&tracking_id=8ee8e8b1-3c47-4287-8ab1-ab0d167ebbef&wid=MLA1361159787&sid=search
TRX	 https://www.sportlife.es/entrenar/fitness/entrena-refuerza-piernas-abdominales-trx-entrenamiento-suspension_201704_102.html
Tobillera estabilizadora	 https://www.orliman.com/producto/tobillera-de-neopreno-estabilizadora/

Fuente: Propia

8.3 Rehabilitación Funcional

La rehabilitación funcional es esencial en el manejo de los esguinces de tobillo. Un estudio publicado en la "*Revista Archivos SOCHMEDEP"* destaca que las intervenciones más utilizadas incluyen ejercicios de equilibrio, uso de dispositivos de desestabilización y entrenamiento propioceptivo. Se concluye que la rehabilitación funcional temprana es superior al tratamiento convencional o pasivo.

8.3.1 Ejercicios de fortalecimiento y propiocepción:



a. **Flexión y extensión plantar:** Colocar una banda elástica alrededor del antepié y realizar extensión y flexión controlada (3 series de 10-15 repeticiones).





b. **Inversión y eversión:** Con la banda elástica, trabajar el movimiento hacia adentro y hacia afuera del pie.



c. **Elevación del talón:** De pie, subir lentamente sobre la punta de los pies. Se puede realizar apoyando los 2 pies o elevando una sola pierna para mejorar la fuerza y la estabilidad.



d. **Arrastre de toalla:** Usar los dedos del pie para arrugar o arrastrar una toalla. Sirve para reforzar la musculatura intrínseca del pie y tobillo.

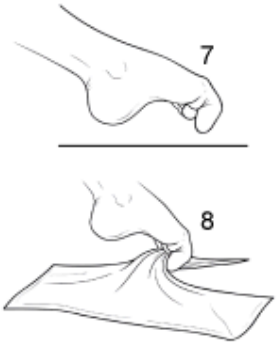


Figura 34, 35, 36, 37, 38, 39. *Acondicionamiento físico: fisioterapia de tobillo.*

Fuente: Meditip. (2018). El portal de la salud https://www.meditip.lat/salud-de-la-a-z/ortopedia/fisioterapia-de-tobillo/

La revisión del estado de la técnica evidencia una evolución metodológica en el abordaje de los esguinces de tobillo, donde convergen criterios clínicos, estructuras protocolarias y recursos técnicos articulados en función de una recuperación funcional progresiva. Este panorama no sólo da cuenta de la complejidad del proceso rehabilitador, sino también de la necesidad de enfoques integrados que respondan a las exigencias tanto biomecánicas como contextuales del paciente.

9. Trabajo de campo

Los esguinces de tobillo figuran entre las lesiones más comunes tanto en actividades físicas como en la rutina diaria, y su impacto va más allá de una molestia momentánea: pueden comprometer seriamente la movilidad, el rendimiento funcional e incluso la calidad de vida de quienes los sufren. Aunque suelen percibirse como lesiones menores, cuando no se tratan de forma oportuna y adecuada pueden derivar en complicaciones prolongadas. En este sentido, el presente trabajo de campo tuvo como objetivo explorar esta problemática desde un enfoque práctico y situado, cercano a las experiencias reales de los individuos afectados permitiendo la obtención de datos necesarios para el desarrollo del proyecto, sustentada bajo fundamentos teóricos y trabajo de indagación mediante recorridos técnicos, entrevistas con especialistas en salud y el levantamiento de testimonios de personas que han padecido esta lesión, fue posible recolectar datos significativos para analizar tanto las causas más frecuentes como los tratamientos aplicados, así como identificar carencias en los procesos de prevención y recuperación.

Así mismo, este análisis permitió sintetizar la información recopilada a través de herramientas metodológicas como la disposición de tablas y matrices, lo que facilitó la organización y comparación de los datos obtenidos en terreno. Sin embargo, aunque se cuenta con información sobre los tipos de esguince y sus diferentes riesgos, estos datos por sí solos no permiten comprender a fondo la complejidad de la lesión ni el impacto que genera en la realización de las actividades cotidianas. Por ello, se optó por diseñar una serie de tablas que detallan las acciones más comunes que una persona lleva a cabo a lo largo del día clasificadas según los lineamientos de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), ya que es una herramienta desarrollada por la Organización Mundial de la

Salud (OMS) que proporciona un marco integral para describir y organizar información relacionada con el funcionamiento humano y la discapacidad, que a diferencia de modelos que se centran exclusivamente en la enfermedad, la CIF adopta un enfoque biopsicosocial, integrando no solo aspectos médicos (como las funciones corporales afectadas), sino también factores personales, sociales y del entorno que influyen en la vida de una persona.

Dicho esto, esta fase en terreno no solo aportó insumos fundamentales para la investigación, sino que también permitió una comprensión más profunda de la realidad que rodea a esta lesión tan habitual como subestimada.

9.1 Movimientos utilizados en las actividades de la vida diaria

Las siguientes tablas representan una clasificación detallada de diversas actividades de movilidad cotidiana enfocada en la vida doméstica y social según la CIF (Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud), vinculando cada una con los movimientos del tobillo implicados y el correspondiente riesgo de sufrir un esguince. Esta sistematización permite analizar de forma precisa cómo las acciones diarias pueden representar un riesgo potencial para la articulación del tobillo, especialmente en contextos donde existen condiciones desfavorables como superficies irregulares, fatiga muscular o uso inadecuado del calzado.

Contar con esta información es fundamental, ya que no solo ayuda a identificar las situaciones de mayor vulnerabilidad, sino que también orienta estrategias de prevención, rehabilitación y diseño de intervenciones terapéuticas más personalizadas. A través de este análisis se busca visibilizar la relación entre las

funciones motoras básicas y la incidencia de lesiones, promoviendo una mirada más funcional y contextualizada del riesgo biomecánico en la vida diaria.

Tabla 7. *Actividades de movilidad*

CÓDIGO CIF	ACTIVIDAD DE MOVILIDAD	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	MOVIMIENTO DEL TOBILLO IMPLICADO	RIESGO DE ESGUINCE
d410	Cambiar la posición del cuerpo	Pasar de estar sentado a de pie, girar, inclinarse	Dorsiflexión, inversión/eversión	Riesgo leve a moderado si hay pérdida de equilibrio
d415	Mantener una posición del cuerpo	Permanecer de pie, sentado o en cuclillas	Estabilidad articular en dorsiflexión o flexión plantar	Bajo riesgo, pero puede haber fatiga muscular que altere el control postural
d420	Transferirse uno mismo	Pasar de la cama a la silla, o de la silla al inodoro	Dorsiflexión, inversión, eversión	Riesgo moderado en personas con baja estabilidad o fuerza muscular
d430	Levantarse	Desde el suelo, una cama o asiento	Flexión plantar, dorsiflexión	Riesgo leve a moderado si hay superficie inestable o apoyo desequilibrado
d440	Agacharse o arrodillarse	Inclinarse hacia el suelo, adoptar posturas bajas	Dorsiflexión profunda, ligera abducción /aducción	Riesgo bajo si no hay cargas adicionales; mayor si se hace con peso
d445	Usar una pierna o ambas	Activar una o ambas piernas en actividades específicas	Todos los movimientos del tobillo	Riesgo variable según la actividad (por ejemplo, en entrenamiento físico)
d450	Caminar	Desplazarse en línea recta o curva, en diferentes superficies	Dorsiflexión y flexión plantar alternadas; leve inversión	Riesgo alto en superficies irregulares, calzado inadecuado o fatiga

d455	Correr	Desplazarse a mayor velocidad	Flexión plantar explosiva, inversión/eversión	Alto riesgo por movimientos rápidos y cambios de dirección
d460	Moverse en diferentes lugares	Caminar en interiores, exteriores, en pendientes o escaleras	Combinación de dorsiflexión y eversión/inversión	Riesgo alto si hay cambios de nivel o superficies inestables
d465	Moverse utilizando equipos	Uso de andadores, bastones, sillas de ruedas, muletas	Estabilidad articular bajo carga parcial	Riesgo bajo, pero presente si el equipo no se usa correctamente
d470	Usar transporte	Subir y bajar de vehículos, mantener el equilibrio	Flexión plantar, inversión y eversión al subir/escalar	Riesgo moderado por apoyo incorrecto o movimientos bruscos
d475	Conducir	Controlar el vehículo con los pies	Dorsiflexión/flexión plantar (uso de pedales)	Riesgo bajo, pero presente si hay reflejos lentos o debilidad en el tobillo

Fuente: Propia

Tabla 8. *Actividades de vida doméstica*

CÓDIGO CIF	ACTIVIDAD DE VIDA DOMÉSTICA	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	MOVIMIENTO DEL TOBILLO IMPLICADO	RIESGO DE ESGUINCE
d630	Preparar comidas	Estar de pie, caminar, moverse entre áreas de la cocina	Dorsiflexión, inversión, eversión	Moderado si hay derrames, superficies mojadas o calzado inadecuado
d640	Realizar tareas del hogar	Barrer, trapear, limpiar, tender camas	Dorsiflexión, rotación/inversión al girar o desplazarse	Moderado o alto si se hacen movimientos repetitivos o con obstáculos
d650	Cuidar y ayudar a otros	Transportar, asistir o levantar a otras personas	Flexión plantar, dorsiflexión, inversión bajo carga	Alto si se pierde equilibrio o se hace sobreesfuerzo
d660	Cuidar de objetos y mascotas	Transportar objetos, alimentar	Inversión, eversión,	Moderado a alto dependiendo del

		mascotas, limpiar espacios	dorsiflexión	peso o comportamiento del animal
d670	Cuidar la ropa	Lavar a mano, colgar, planchar	Dorsiflexión prolongada, cambios de peso sobre el pie	Bajo, pero puede aumentar con posturas incómodas o superficies inestables
d6602	Limpieza y mantenimiento de la casa	Subir escaleras, usar productos de limpieza, limpiar techos o zonas altas	Flexión plantar, dorsiflexión, eversión	Alto si se usa escalera, se estira demasiado o hay agua/jabón en el piso
d620	Adquirir bienes (ir de compras)	Caminar, cargar bolsas, detenerse abruptamente	Dorsiflexión, inversión/eversión, abducción bajo carga	Moderado, especialmente si se carga peso o hay multitudes
d6302	Manipular utensilios o herramientas	Uso de cuchillos, utensilios de limpieza o herramientas del hogar	Estabilidad articular al estar de pie y desplazarse lateralmente	Bajo, salvo que se combinen con movimiento o carga
d699	Otras tareas domésticas no especificadas	Actividades combinadas del hogar	Combinación de todos los movimientos	Riesgo variable según complejidad y entorno

Fuente: Propia

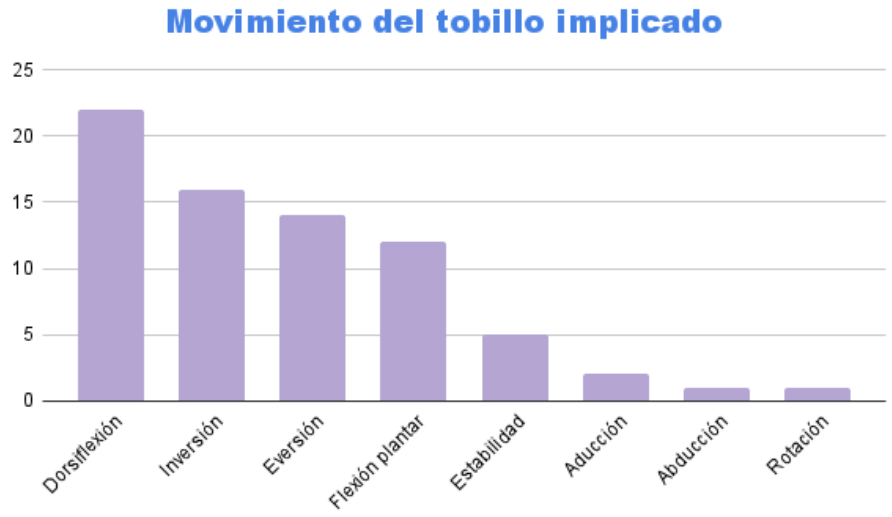
Tabla 9. *Actividades de vida comunitaria, social y cívica*

CÓDIGO CIF	ACTIVIDADES DE VIDA COMUNITARIA, ETC	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	MOVIMIENTO DEL TOBILLO IMPLICADO	RIESGO DE ESGUINCE
d910	Participar en tiempo libre	Reuniones, salidas con amigos, caminatas recreativas, visitas a espacios públicos	Dorsiflexión, eversión/inversión al caminar o moverse	Moderado a alto, según el entorno (pisos irregulares, escaleras, aglomeraciones)
d920	Participar en recreación y ocio	Deportes, juegos, danza, caminatas, senderismo	Flexión plantar, dorsiflexión, inversión/eversión	Alto, especialmente en deportes o movimientos repentinos

d9201	Realizar deportes o actividades físicas	Correr, saltar, girar durante la práctica deportiva	Todos los rangos: inversión, eversión, dorsiflexión	Muy alto por la demanda física, cambios de dirección y saltos
d9202	Participar en juegos	Juegos recreativos en grupo (niños o adultos)	Dorsiflexión, inversión, eversión	Alto, sobre todo si hay contacto o movimiento impredecible
d9203	Participar en actividades artísticas	Baile, actuación, performance, movimiento en escenario	Flexión plantar, dorsiflexión, rotación	Moderado a alto, dependiendo del tipo de expresión corporal
d930	Participar en religión y espiritualidad	Asistir a templos, procesiones, rituales, eventos espirituales	Dorsiflexión, flexión plantar, inversión/eversión , estabilidad articular	Moderado, mayor en aglomeraciones o terrenos irregulares
d940	Participar en vida política y cívica	Ir a votar, asistir a asambleas, participar en actividades comunitarias o protestas	Dorsiflexión, flexión plantar, estabilidad articular	Moderado a alto, según la duración y las condiciones del espacio

Fuente: Propia

Gráfica 1. *Cuantificación de datos según los movimientos de tobillo implicados.*



Fuente: Propia

El análisis de las actividades ocupacionales en la vida diaria, evidencia que los movimientos articulares del tobillo como la dorsiflexión, flexión plantar, inversión y

eversión, están ampliamente presentes en la mayoría de las actividades ocupacionales cotidianas. Tareas tan diversas como caminar, limpiar, cocinar, participar en eventos sociales o recreativos, implican exigencias biomecánicas que, aunque muchas veces pasan desapercibidas, representan un riesgo real de esguince ligamentoso, especialmente cuando se realizan en contextos poco seguros, con posturas inadecuadas, en superficies irregulares o bajo fatiga física. La inversión del tobillo destaca cómo el movimiento más asociado a estas lesiones, debido a su frecuencia en acciones inesperadas o desequilibradas. Este panorama confirma que los esguinces de tobillo no son exclusivos del ámbito deportivo, sino una condición que puede surgir en cualquier entorno funcional.

9.2 Desarrollo de entrevista para pacientes y especialistas

La rehabilitación del tobillo es un proceso gradual que requiere tiempo, seguimiento profesional y un enfoque personalizado. Aunque existen estadísticas sobre la frecuencia de estas lesiones, estas no reflejan por completo aspectos como la duración de las terapias, la severidad de cada caso o la experiencia del paciente durante su recuperación. Por ello, se decidió emplear entrevistas semiestructuradas como herramienta cualitativa para recopilar información más detallada y contextualizada.

Este tipo de entrevista ofrece flexibilidad y permite una conversación más natural, generando confianza en los participantes. Se entrevistaron tanto pacientes en distintas etapas de recuperación como profesionales de la salud que trabajan en diferentes tipos de instituciones (régimen contributivo, subsidiado e independiente). Esto permitió identificar prácticas comunes, evaluar los protocolos aplicados y conocer la percepción de los pacientes respecto a su tratamiento.

El trabajo de campo se llevó a cabo en espacios especializados en rehabilitación en la ciudad de Cali; como el Centro Deportivo Universitario (CDU) en la zona de rehabilitación física de la Universidad del Valle, la Escuela Nacional del Deporte (END) y se recopilaron datos en la Biblioteca Pública del Deporte y la Recreación. A través de estas entrevistas se logró comprender de forma más cercana la realidad de quienes enfrentan una lesión de tobillo y se recopilaron insumos relevantes para mejorar los procesos de atención y recuperación.

- **9.2.1 Pacientes en recuperación**

En los pacientes en proceso de rehabilitación, el objetivo fue explorar su experiencia desde una perspectiva integral. Se indagó no solo el tipo de lesión que presentaban, sino también cómo esta afectaba su capacidad para realizar actividades cotidianas, su percepción sobre los protocolos aplicados y el uso de los equipos terapéuticos. Con el fin de lograr una perspectiva más amplia, se seleccionaron pacientes con diversos tipos de traumatismos y en distintas etapas del proceso de recuperación.

Sujeto 1: Kevin. Hombre de 30 años con 1,72 cm de estatura y 72 kg de peso, quien actualmente se desempeña como profesor de música y cursa estudios universitarios. Reside en la zona central de Cali y convive con su abuela y hermano menor.

No presenta antecedentes de esguinces en su historial médico. Sin embargo, en enero del 2025 sufrió un accidente automovilístico en donde se fracturó el tobillo derecho específicamente en el hueso lateral a la tibia (peroné) afectando la estabilidad del tobillo y lo que forma el maléolo lateral. Así mismo, esta lesión fue afectando los músculos peroneos que controlan los movimientos del tobillo.

La lesión fue atendida en una institución de salud privada reconocida por brindar una atención médica integral y centrada en el paciente, como lo es la Clínica Colombia. Allí se diagnosticó un esguince de grado 3 acompañado de fractura, el cual fue manejado inicialmente mediante inmovilización parcial con yeso. Actualmente, el paciente se encuentra en proceso de rehabilitación, recibiendo sesiones de fisioterapia enfocadas en ejercicios de movilidad ligera, con el objetivo de recuperar progresivamente la fuerza y estabilidad del tobillo.

Sujeto 2: Mario, hombre de 23 años con 1,80 cm de estatura y 78 kg de peso, quien actualmente trabaja como comerciante. Vive en el oriente de Cali con su madre.

Tiene antecedentes de actividad física moderada, ya que solía asistir regularmente al gimnasio. En agosto de 2024, sufrió una torcedura al bajar las escaleras de su lugar de trabajo, lo que le provocó un esguince de tobillo izquierdo de grado 2, sin fractura ósea, pero con compromiso de los ligamentos tal fibulares anterior y calcaneofibular.

Fue atendido en una IPS del régimen subsidiado, donde recibió atención médica básica, se le indicó reposo relativo, uso de vendaje compresivo y crioterapia. Actualmente asiste a sesiones de fisioterapia dos veces por semana en un centro de rehabilitación comunitario, donde realiza ejercicios de propiocepción, fortalecimiento muscular y estiramientos. Aunque ha presentado avances positivos, refiere molestias al caminar por períodos prolongados, especialmente al final de la jornada laboral. Aún se encuentra en seguimiento médico, y se espera que retorne completamente a sus actividades normales.

- **9.2.2 Pacientes rehabilitados**

Sujeto 1: Leidy. Mujer de 27 años con una estatura de 1,70 cm y 65 kg de peso, actualmente se desempeña como docente de danza para niños y adolescentes.

Su historial de lesiones ligamentarias en el tobillo inicia en el año 2012, cuando, a los 15 años, sufrió su primer esguince en el tobillo derecho. En esa ocasión, consultó con un médico a través del sistema subsidiado de salud (EPS Saludcoop), donde se le diagnosticó un esguince de grado I, el cual fue tratado oportunamente mediante la inmovilización parcial con férula. Posteriormente, recibió sesiones de terapia física que completó en su totalidad, logrando recuperar la funcionalidad del tobillo afectado.

Cinco años más tarde, en 2017, a la edad de 19 años, se presentó una nueva lesión, esta vez en el tobillo izquierdo. En esta ocasión no acudió a un servicio médico, y aunque no obtuvo un diagnóstico clínico, consideró que podría tratarse nuevamente de un esguince leve (grado I). Realizó un manejo conservador mediante ejercicios y terapias caseras utilizando implementos disponibles en su hogar. No obstante, a los pocos meses, en 2018, sufrió otra lesión en el mismo tobillo. Por la intensidad del dolor, se estimó que pudo haber sido un esguince de grado II, aunque tampoco fue valorada por un profesional de salud. Al igual que en la lesión anterior, optó por una recuperación en casa, logrando recuperar parcialmente la funcionalidad del tobillo.

Todas las lesiones descritas ocurrieron durante la práctica recreativa de voleibol, específicamente por mecanismos de inversión del pie hacia la parte externa. Hasta el momento, no ha requerido intervención quirúrgica. Sin embargo, como secuela de las lesiones repetidas en el tobillo izquierdo, la persona refiere

actualmente la presencia de crepitación articular (traqueo), disminución de la fuerza muscular y limitación en la flexibilidad, lo que ha generado una diferencia funcional entre ambos tobillos.

Sujeto 2: Lina. Mujer de 34 años, con una estatura de 1,67 cm, y un peso de 68kg. Actualmente se desempeña como fisioterapeuta independiente. La paciente sufrió un esguince de tobillo de grado I tras realizar un pequeño salto usando tacones. En este caso, acudió a valoración médica pero no recibió tratamiento fisioterapéutico formal, sino que optó por realizar sus terapias en casa, basándose en sus conocimientos profesionales. El abordaje incluyó ejercicios de propiocepción y fortalecimiento del tobillo, lo que le permitió recuperar la funcionalidad articular. Sin embargo, durante los meses posteriores a la lesión, experimentó dolor al realizar movimientos que requerían mayor esfuerzo, pero con el tiempo, estas molestias fueron desapareciendo.

9.2.3 Análisis y conclusiones de las entrevistas

A partir de las entrevistas realizadas a los pacientes, se concluye que aquellos que no recibieron un tratamiento terapéutico guiado por un profesional continúan presentando molestias en el tobillo, especialmente al realizar actividades físicas o de la vida diaria. Esto evidencia la importancia de una rehabilitación adecuada para garantizar la recuperación funcional completa. Asimismo, se identificó que los esguinces de grado I y II son los más frecuentes entre la población entrevistada, la cual se encuentra en edad reproductiva. Este tipo de lesiones, aunque moderadas, pueden generar limitaciones significativas que impactan negativamente en el ámbito laboral, personal y social de quienes las padecen.

- **9.2.4 Profesionales**

Sujeto 1: Julián Andrés Lasprilla, docente universitario, fisioterapeuta e investigador en el área de la fisioterapia del deporte.

El profesional manifiesta que las lesiones ligamentosas en el tobillo presentan una alta incidencia, siendo una de las consultas más frecuentes entre la población deportista. Deportes como el fútbol, voleibol y baloncesto concentran la mayor cantidad de casos, debido a las exigencias físicas y la intensidad de los movimientos involucrados. Estas lesiones pueden originarse por múltiples factores, entre ellos: movimientos bruscos o inadecuados, la práctica en superficies irregulares o el uso de calzado no apropiado para la actividad deportiva.

El abordaje terapéutico de las lesiones en deportistas difiere significativamente del que se aplica en personas que no practican actividad física de manera regular. En el caso de los deportistas, la necesidad de una recuperación acelerada es prioritaria, dado que su desempeño está estrechamente ligado a la participación constante en entrenamientos y competencias. Cuando una lesión ocurre en medio de una temporada activa o una serie de torneos, el proceso de rehabilitación suele orientarse inicialmente a una recuperación funcional mínima que permita al deportista continuar participando, sin sobreexigir el miembro afectado. Una vez culminado el periodo competitivo, se procede con un plan de recuperación más profundo e integral, enfocado en la restauración total de la estructura lesionada.

En su experiencia profesional, Julián ha trabajado en instituciones pertenecientes tanto al régimen público como al privado de salud. Señala que, en el sistema público (régimen subsidiado), las condiciones laborales limitan la posibilidad de ofrecer una atención especializada, ya que un fisioterapeuta puede llegar a atender hasta 10 pacientes por hora, muchas veces de forma simultánea. Esta

dinámica dificulta el seguimiento individualizado de los procesos terapéuticos. En contraste, en el sector privado, la atención suele ser más personalizada, atendiendo de 2 a 3 pacientes por hora, lo que permite al profesional realizar un monitoreo más detallado y efectivo de la evolución de cada paciente.

Sujeto 2: Claudia Vannesa Bernal, fisioterapeuta independiente. Ubicada en Cali.

Manifiesta que las sesiones de terapias se deben llevar a cabo 3 veces por semana para tener una recuperación adecuada y de no poder asistir a la terapia, aun así debe seguir con su proceso de rehabilitación en casa por medio de instrucciones guiadas por el fisioterapeuta. La terapia en el hogar se manifiesta del mismo modo que una terapia en un centro especializado, sin embargo, se tienen en cuenta los implementos que se encuentran en el espacio.

Para dichas terapias es importante implementar los medios físicos (terapia de frío y calor), los calentamientos y ejercicios de movilidad. Ella sostiene que un calentamiento no es adecuado si no se realiza por al menos 20 segundos y se recomienda que normalmente los ejercicios se realicen por 3 series de 10 repeticiones.

También se indica que, desde el ámbito legal, los fisioterapeutas no tienen la facultad de emitir diagnósticos médicos ni de prescribir tratamientos farmacológicos, ya que estas funciones son competencia exclusiva del médico tratante. Esto se debe a que, tanto por formación científica como por regulación legal, el médico cuenta con la preparación necesaria para realizar una evaluación integral del estado de salud del paciente, identificar posibles patologías y establecer el tratamiento más adecuado, asegurando así un manejo seguro, ético y responsable de la condición clínica.

Es importante destacar que Claudia Vanessa ha ejercido su labor en centros especializados del sector privado, donde la atención se organiza de manera más personalizada, atendiendo aproximadamente entre 1 y 2 pacientes por hora, lo que permite un enfoque más centrado en el usuario. En contraste, durante su experiencia en el sector público, debía atender hasta 8 pacientes por hora, lo que limitaba significativamente la posibilidad de brindar una atención individualizada.

Por último, la profesional señala que, si no se logra una recuperación adecuada del tobillo lesionado, el cuerpo comienza a adoptar patrones de marcha compensatorios que alteran el movimiento natural. Esto no solo afecta la articulación lesionada, sino que también puede provocar consecuencias en otras partes del cuerpo. Por ejemplo, es común que se genera sobrecarga en la rodilla del mismo lado o del lado contrario, debido a la distribución inadecuada del peso corporal. De igual forma, la cadera puede verse comprometida al intentar compensar la inestabilidad del tobillo, lo cual altera la alineación postural. Si estas adaptaciones se prolongan en el tiempo, es posible que aparezcan nuevas lesiones o dolencias crónicas, afectando significativamente la calidad de vida del paciente.

9.2.5 Análisis y conclusiones de las entrevistas

Ambos profesionales, con experiencia tanto en el sector público como privado, coinciden en que las terapias ofrecidas en el ámbito público no alcanzan el mismo nivel de especialización que las proporcionadas en el sector privado. Esta diferencia en la calidad de atención puede tener un impacto significativo en el progreso y la recuperación de los pacientes, dado que en el sistema público la atención es más generalizada y los recursos limitados dificultan un seguimiento individualizado. En

contraste, el sector privado permite una atención más personalizada, lo que favorece una recuperación más efectiva y un manejo más detallado de las lesiones.

Los fisioterapeutas entrevistados también coinciden en la importancia fundamental de tratar adecuadamente las lesiones de tobillo mediante terapia física, ya que omitir este proceso puede generar secuelas como inestabilidad articular, debilidad muscular, dolor persistente al realizar movimientos y un mayor riesgo de recurrencia de la lesión. La rehabilitación oportuna y guiada es clave para una recuperación completa y para prevenir complicaciones a largo plazo.

Finalmente, se establece un consenso en que la valoración del paciente se realiza siguiendo un protocolo estándar que contempla etapas específicas. En primer lugar, el enfoque está en reducir el dolor y la inflamación. Posteriormente, se trabaja en la recuperación de los arcos de movimiento, el fortalecimiento muscular y la mejora de la respuesta neuromuscular. Para ello, se utilizan herramientas terapéuticas como bandas elásticas, pelotas propioceptivas y medios físicos (calor y frío), adaptados a las necesidades de cada etapa del proceso de rehabilitación.

9.3 Resultados de aspectos cuantitativos

Se presenta una recopilación de datos cuantitativos de pacientes con esguince de tobillo, diferenciando entre quienes ya culminaron su proceso de rehabilitación y quienes aún se encuentran en tratamiento. La información incluye variables como edad, peso, estatura, tipo de esguince, lateralidad del tobillo lesionado y ocupación. Estos elementos resultan fundamentales para el desarrollo del proyecto, ya que permiten caracterizar a los pacientes, establecer el grado de afectación funcional y vincular esta información con los procesos teóricos y prácticos de rehabilitación. Así,

se facilita la identificación de patrones, necesidades específicas y posibles enfoques terapéuticos según cada caso.

Tabla 10. *Datos cuantitativos de pacientes rehabilitados y en recuperación.*

Pacientes	Nombre	Edad [Años]	Peso [Kg]	Estatura [cm]	Tobillo Lesionado		Grado de esguince	Ocupación
					D	I		
Actuales	Kevin	30	72	1,72	x		Grado III	Estudiante y docente
	Mario	23	78	1,80		x	Grado II	Comerciante
Recuperados	Leidy	27	65	1,70		x	Grado II	Docente, bailarina
	Lina	34	68	1,67		x	Grado I	Fisioterapeuta

Fuente: Propia

Tabla 11. *Datos cuantitativos de profesionales.*

Profesional	Nombre	Ocupación	Lesión más tratada	Institución
1	Julián Andrés Lasprilla	Fisioterapeuta, docente, investigador	Esguince Tobillo grado I y II	Universidad del Valle
2	Claudia Vannesa Bernal	Fisioterapeuta	Esguince Tobillo grado I	Independiente

Fuente: Propia

9.4 Conclusiones finales

Como conclusión final, resulta evidente que tanto la experiencia de los profesionales como los testimonios de los pacientes reflejan una realidad compartida: la rehabilitación del esguince de tobillo no debe subestimarse. Aunque se trate de una lesión común, su abordaje requiere atención especializada y un seguimiento adecuado para evitar secuelas a largo plazo. Las diferencias entre el sistema público y privado en cuanto a la calidad de la atención fisioterapéutica ponen en evidencia una necesidad urgente de mejorar los recursos y condiciones en el ámbito público, donde la alta demanda limita la posibilidad de un tratamiento individualizado. Desde una perspectiva personal, es claro que la recuperación efectiva de una lesión no depende únicamente del tiempo, sino de la calidad del proceso terapéutico. Ignorar esta necesidad puede traducirse en molestias persistentes que afectan la funcionalidad, el desempeño laboral y la vida cotidiana, especialmente en una población joven y activa.

10. Objetivos

Los objetivos planteados en este proyecto cumplen la función de guiar de manera estructurada y coherente el desarrollo de la investigación, desde el diagnóstico del problema hasta la validación de una solución viable.

10.1 Objetivo general

Superar la falta de acceso a servicios especializados para el desarrollo de la rehabilitación de lesiones ligamentosas de tobillo en municipios de Colombia.

10.2 Objetivos específicos

- Analizar el sistema actual de atención, servicio y seguimiento en la rehabilitación de lesiones de tobillo para identificar sus principales características en contextos rurales y semiurbanos.
- Proponer una estrategia piloto de rehabilitación (presencial, virtual o híbrida) con el fin de mejorar la continuidad y la efectividad del tratamiento para los pacientes.
- Desarrollar un sistema funcional acorde a la operación actual del sistema de salud en colombia que, dentro de los márgenes del mercado, promueva el acceso equitativo y facilite la realización de terapias de rehabilitación para lesiones de tobillo.
- Validar la propuesta desarrollada mediante la implementación de un estudio que permita evaluar su viabilidad técnica, funcionalidad, aceptación por parte de los usuarios y efectividad en la mejora del proceso de rehabilitación domiciliaria de lesiones de tobillo.

En conjunto, estos objetivos permiten abordar el problema desde una perspectiva integral, asegurando que el diseño de la solución esté fundamentado en el contexto real, sea técnicamente viable, socialmente aceptada y clínicamente efectiva.

11. Requerimientos de diseño

11.1 Requerimientos de Uso

Practicidad

- El sistema debe estar diseñado para ser utilizado por pacientes sin formación técnica o médica, procurando una experiencia intuitiva, con guías claras de uso y mecanismos de retroalimentación.
- La propuesta debe implementarse en el entorno doméstico, adaptándose a las condiciones físicas, tecnológicas y sociales del hogar.
- La solución debe estar diseñada para funcionar sin requerir supervisión continua, garantizando una experiencia autónoma, segura y confiable para el usuario.

Seguridad

- Los ejercicios o mecanismos propuestos deben de limitar los rangos de movimiento para evitar lesiones.
- Los materiales utilizados deben ser seguros para el contacto con la piel, garantizando propiedades como ser lavables, esterilizables e higiénicos para evitar riesgos de irritación o contaminación.

- El sistema debe estar diseñado con materiales y componentes que prevengan riesgos mecánicos y eléctricos, asegurando la integridad del usuario durante su uso.

Mantenimiento

- El sistema debe estar libre de mantenimiento por parte del usuario, si se requiere de algún tipo de mantenimiento será por un experto.
- En caso de fallo, los componentes susceptibles de daño deben ser reemplazables por partes comerciales estándar, disponibles en municipios pequeños o accesibles en el mercado local.

Antropometría

- Las soluciones deben adaptarse a diferentes tallas, pesos y morfologías de tobillos en población adulta joven (rango común en deportistas amateurs).

Ergonomía

- En caso de utilizar recursos digitales, la interfaz de interacción debe contar con un diseño de lectura clara y comprensible, permitiendo una navegación intuitiva.

Percepción

- El diseño debe promover una comprensión visual clara de los ejercicios o instrucciones.

- Hacer uso de colores, íconos y sistemas de retroalimentación visual o sonora que orienten al usuario durante el proceso.

Transporte

- El sistema debe incluir un empaque o contenedor diseñado para proteger sus componentes durante el transporte, que además permita un manejo cómodo y seguro por parte del usuario o servicios logísticos.
- El componente físico del sistema debe ser transportable por el paciente o por servicios logísticos de bajo costo, con un peso entre 5 y 8 kilogramos y un volumen que no exceda los 60 × 80 cm.

Operabilidad

- En caso de incorporar recursos digitales, el sistema debe estar preparado para operar en contextos con conectividad limitada y suministro eléctrico inestable o intermitente.
- Tener en cuenta el uso de elementos instructivos:
    - Manuales
    - Recurso digital

11.2 Requerimientos de Función

Mecanismos

- La solución debe permitir la ejecución de ejercicios progresivos orientados a mejorar la **movilidad** del tobillo, considerando rangos articulares controlados y adaptables al estado de recuperación del usuario.
- La solución debe incluir mecanismos o elementos que posibiliten el desarrollo progresivo de la **fuerza** muscular en la articulación del tobillo, ajustables según el nivel funcional del usuario.

- La solución debe contemplar ejercicios o componentes destinados a entrenar la **estabilidad** del tobillo, promoviendo el control postural y la prevención de recaídas.

- La propuesta debe incluir medios físicos y/o digitales que guíen y controlen el avance del tratamiento.

Confiabilidad

- La herramienta o sistema debe contar con mecanismos que permitan un seguimiento exacto y confiable de los ejercicios realizados por el usuario.

- El sistema debe ofrecer alta precisión en las funciones que involucren medición o retroalimentación como el conteo de repeticiones, el registro de movimientos o la medición de ángulos articulares, garantizando resultados exactos y confiables tanto para el usuario como para el profesional.

Adaptabilidad

- La propuesta debe ajustarse a distintos niveles de severidad de la lesión del tobillo, permitiendo modificar la intensidad, el tipo o el rango de los ejercicios según el compromiso funcional del usuario.

- El sistema debe ser adecuado para su uso en las distintas fases del proceso de rehabilitación (aguda, subaguda o crónica), integrando progresiones y funciones acordes al momento terapéutico.

- El diseño debe adaptarse a las características físicas del usuario, como la talla, el peso y la condición física, con el fin de asegurar una interacción efectiva durante su uso.

Resistencia

- La propuesta debe estar construida con materiales durables y resistentes al desgaste, capaces de soportar un uso frecuente e intensivo sin comprometer su integridad estructural ni su funcionalidad a lo largo del tiempo.
- El componente físico debe ser capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas de hasta 100 kg, garantizando la seguridad y estabilidad del usuario durante su uso.
- El sistema debe estar diseñado con materiales y componentes que resistan condiciones ambientales variables, incluyendo niveles elevados de humedad y cambios de temperatura, sin comprometer su funcionamiento o durabilidad.

11.3 Requerimientos Formales

Aspecto físico

- Los acabados deben ser suaves, seguros al tacto, sin bordes filosos ni materiales que puedan irritar la piel.
- El diseño debe inspirar confianza y motivación en el usuario, evitando apariencia médica intimidante.
- Se recomienda una estética deportiva o terapéutica positiva, con colores neutros o estimulantes.
- Las superficies deben ser lavables, suaves y de contacto amigable para el uso directo sobre el cuerpo o piso.

11.4 Requerimientos Económicos

Precio

- El costo de implementación debe ser accesible para personas de estratos bajos o medios, con posibilidad de subsidios o uso comunitario.
- La solución completa (plataforma, dispositivo, o sistema híbrido) no debe superar el umbral económico promedio del gasto en salud ambulatoria de una familia en zona rural.

11.5 Requerimientos del sistema de salud

Sistema

- La propuesta debe alinearse con la normativa del sistema de salud colombiano (habilitación, niveles de atención, EPS/IPS).
- El modelo debe integrarse con la red de servicios de salud existentes en cada municipio.
- Debe permitir el seguimiento clínico sin exigir desplazamientos frecuentes del paciente.

11.6 Requerimientos clínicos y operativos

Operatividad

- El sistema debe facilitar el registro, monitoreo y ajuste del tratamiento según la evolución del paciente.
- La interfaz o medio de contacto debe ser simple, comprensible y usable por personas con baja alfabetización digital.

12. Determinantes de diseño

12.1 Determinantes del contexto geográfico y social

Dispersión geográfica

- La dispersión de la población en zonas rurales dificulta el acceso a servicios de salud y seguimiento especializado.

Limitada conectividad

- Los municipios rurales y semiurbanos en Colombia presentan baja densidad poblacional y dificultades de acceso físico a centros de salud especializados.

Limitaciones en infraestructura tecnológica

- Muchas zonas rurales no cuentan con buena cobertura de internet o dispositivos adecuados para implementar soluciones virtuales de rehabilitación.

Condiciones socioeconómicas

- La población objetivo presenta restricciones económicas que dificultan el acceso frecuente a servicios de salud privados o especializados.

12.2 Determinantes del sistema de salud colombiano

Estructura centralizada del sistema de salud

- La mayor parte de los servicios especializados se concentran en ciudades capitales o cabeceras departamentales, lo que genera barreras para la atención oportuna en regiones alejadas.

Normativas y regulaciones existentes

- Cualquier propuesta debe ajustarse al marco regulatorio del sistema de salud colombiano, incluyendo habilitación de servicios, atención por niveles de complejidad, y roles de EPS e IPS.

Limitada integración entre niveles de atención

- Existen falencias en la articulación entre atención primaria y servicios especializados, lo que impacta negativamente en la continuidad del tratamiento.

12.3 Determinantes técnicos y operativos

Capacidad limitada de los servicios de salud locales

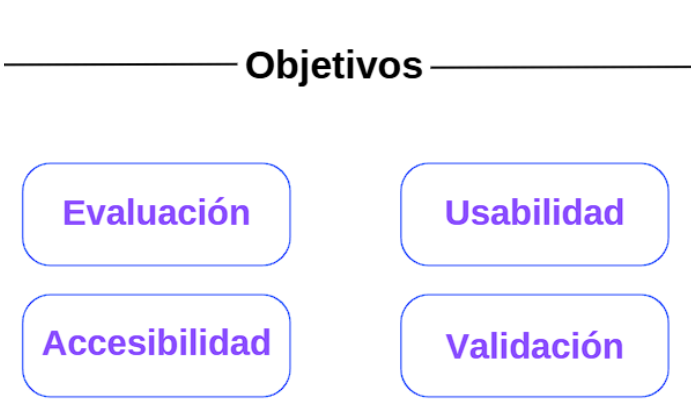
- Muchas IPS rurales carecen del personal especializado y del equipamiento necesario para ofrecer rehabilitación integral.

13. Estrategias de evaluación

- ### 13.1 Criterios de evaluación

Con el fin de asegurar una evaluación integral del proyecto, se establecen cuatro criterios fundamentales que orientan el análisis de los objetivos y requerimientos definidos. Cada uno de estos criterios permite evaluar dimensiones clave de la implementación y efectividad del proyecto en contextos reales de aplicación.

Diagrama 1. *Clasificación de objetivos*

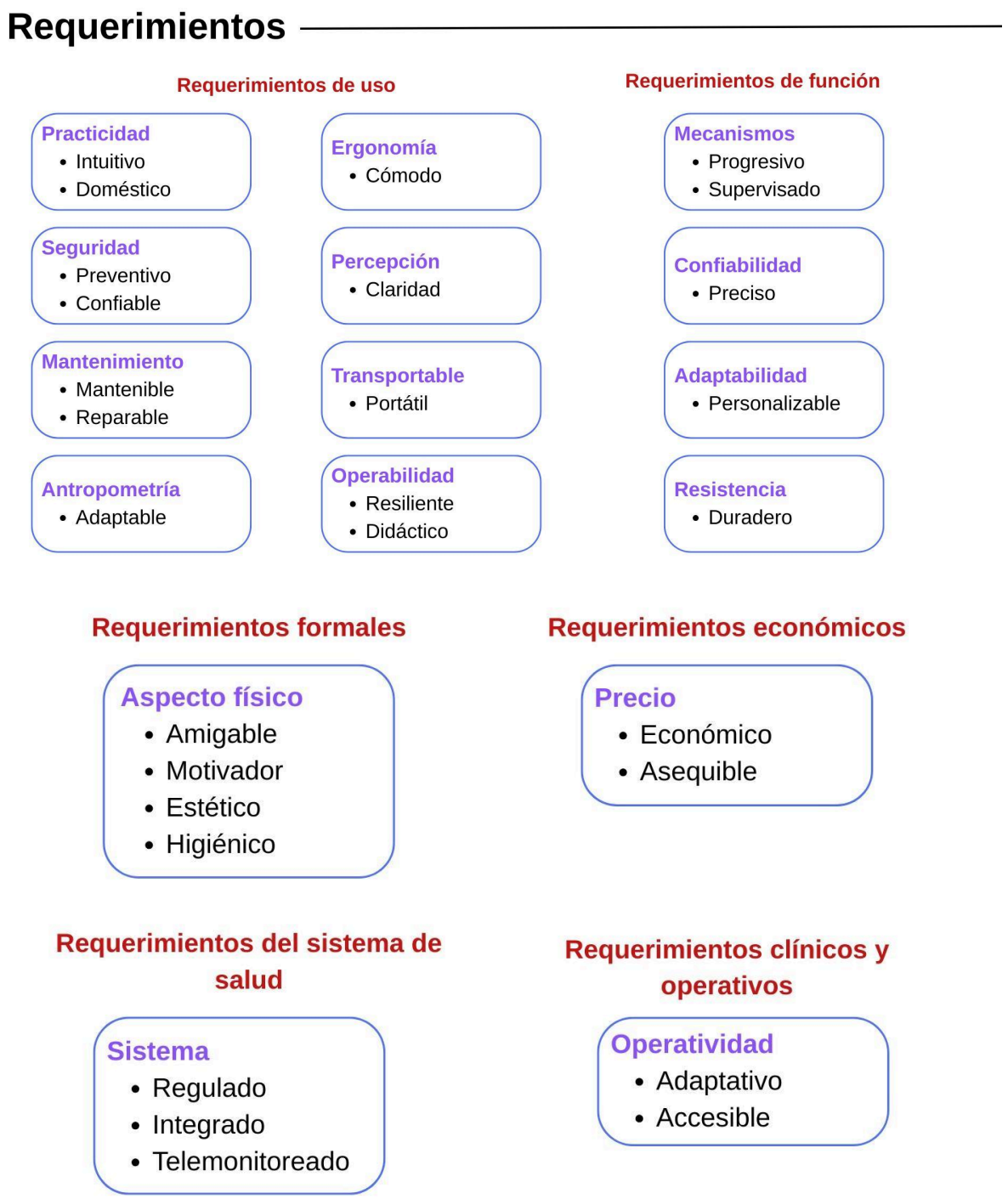


Esta estructura garantiza un enfoque sistemático y coherente en la evaluación del proyecto, asegurando su calidad, relevancia y sostenibilidad en el entorno.

Fuente: Propia

Dividir los requerimientos del proyecto en categorías ayuda a lograr una planificación y ejecución más estructurada. Esta clasificación permite diferenciar entre los aspectos que impactan directamente la experiencia del usuario y aquellos que aseguran el desempeño técnico del sistema. Al hacerlo, se facilita la priorización de tareas, el diseño enfocado de soluciones, y la evaluación por criterios específicos. Esta estrategia garantiza una implementación equilibrada que responde tanto a las necesidades del usuario como a los estándares de calidad y funcionalidad del proyecto.

Diagrama 2. *Clasificación de requerimientos*



Fuente: Propia

Al organizar los determinantes, se facilita la identificación de barreras específicas, el análisis de riesgos y la formulación de estrategias adaptadas a cada

realidad. Esta clasificación ayuda a abordar problemáticas complejas de manera focalizada, a tomar decisiones más informadas y a diseñar soluciones que respondan tanto a las condiciones del entorno como a las capacidades institucionales y operativas.

Diagrama 3. *Clasificación de determinantes*



Fuente: Propia

<u>Orden de los objetivos:</u>

Evaluar: Comprender el sistema actual de servicios para optimizarlo

Usabilidad: Interacción efectiva del usuario con las actualizaciones del sistema

Accesibilidad: Acceso equitativo a terapias de rehabilitación y condiciones del mercado.

Validación: Validar las propuestas desarrolladas.

- **13.2 Matriz de enfrentamiento de objetivos**

Dicha matriz es fundamental porque permite analizar la coherencia entre los objetivos, identificar posibles contradicciones y determinar su grado de complementariedad.

Tabla 12. *Matriz de enfrentamiento de objetivos*

	Evaluar	Usabilidad	Accesibilidad	Validación	Total
Evaluar	-	0	0	0	0
Usabilidad	1	-	1	0	2
Accesibilidad	1	0	-	0	1
Validación	1	1	1	-	3

Fuente: Propia

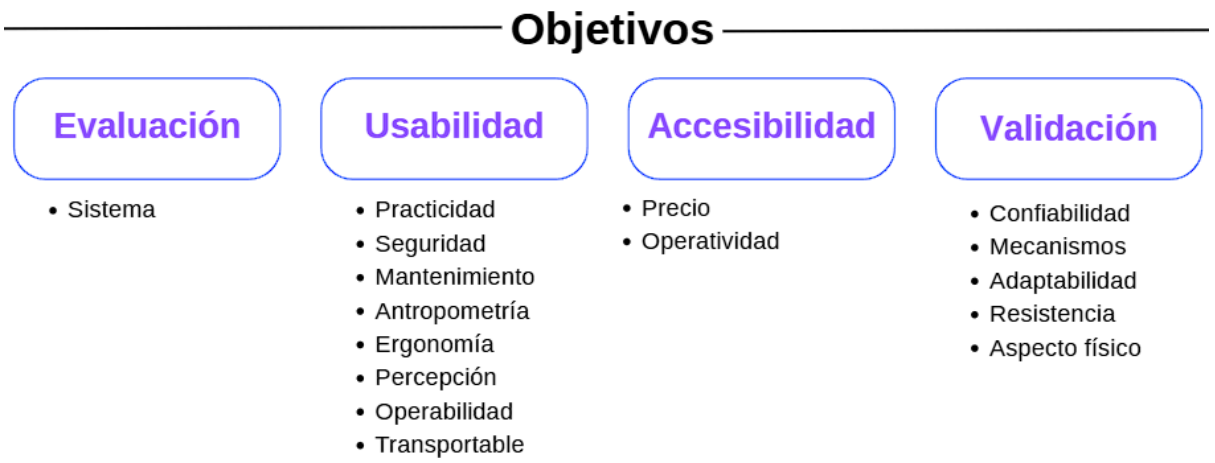
Orden de prioridad:

1. Validación
2. Usabilidad
3. Accesibilidad
4. Evaluar

- **13.3 Grupos de requerimientos según el objetivo que satisfacen**

Esta organización permite alinear cada necesidad con una meta específica, facilitar la planificación, optimizar los recursos y hacer un seguimiento más claro del cumplimiento de los objetivos.

Diagrama 4. *Grupos de requerimientos según el objetivo que satisfacen*



Fuente: Propia

A continuación, se elaborarán matrices de enfrentamiento entre los requerimientos asociados a cada grupo de objetivos. El propósito de estas matrices es valorar la relación e impacto de cada elemento, lo que permitirá establecer un orden de prioridad que guíe la toma de decisiones y la ejecución del proyecto de manera más estratégica.

- **13.4 Matriz de enfrentamiento de requerimientos y objetivos para evaluación**

Tabla 13. *Matriz de enfrentamiento de requerimientos y objetivos para evaluar*

	Sistema	Total
Sistema	-	-

Fuente: Propia

Orden de prioridad:

1. Sistema

- **13.5 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para usabilidad**

Tabla 14. *Matriz de enfrentamiento de requerimientos para usabilidad*

	Practicidad	Seguridad	Mantenimiento	Antropometría	Ergonomía	Percepción	Operabilidad	Transportable	Total
Practicidad	-	0	1	1	1	1	1	1	6
Seguridad	1	-	1	1	1	1	1	1	7
Mantenimiento	0	0	-	0	1	1	0	1	3
Antropometría	0	0	1	-	1	1	1	1	5
Ergonomía	0	0	0	0	-	1	0	1	2
Percepción	0	0	0	0	0	-	0	0	0
Operabilidad	0	0	1	0	1	0	-	1	3
Transportable	0	0	0	0	0	1	0	-	1

Fuente: Propia

Orden de prioridad:

1. Seguridad
2. Practicidad
3. Antropometría
4. Mantenimiento
5. Operabilidad
6. Ergonomía
7. Transportable
8. Percepción

- **13.6 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para accesibilidad**

Tabla 15. *Matriz de enfrentamiento de requerimientos para accesibilidad*

	Precio	Operatividad	Total
Precio	-	0	0
Operatividad	1	-	1

Fuente: Propia

Orden de prioridad:

1. Operatividad
2. Precio

- **13.7 Matriz de enfrentamiento de requerimientos para validación**

Tabla 16. *Matriz de enfrentamiento de requerimientos para validación*

	Confiabilidad	Mecanismos	Adaptabilidad	Resistencia	Aspecto físico	Total
Confiabilidad	-	1	1	1	1	4
Mecanismos	0	-	0	0	1	1
Adaptabilidad	0	1	-	0	1	2
Resistencia	0	1	1	-	1	3
Aspecto físico	0	0	0	0	-	0

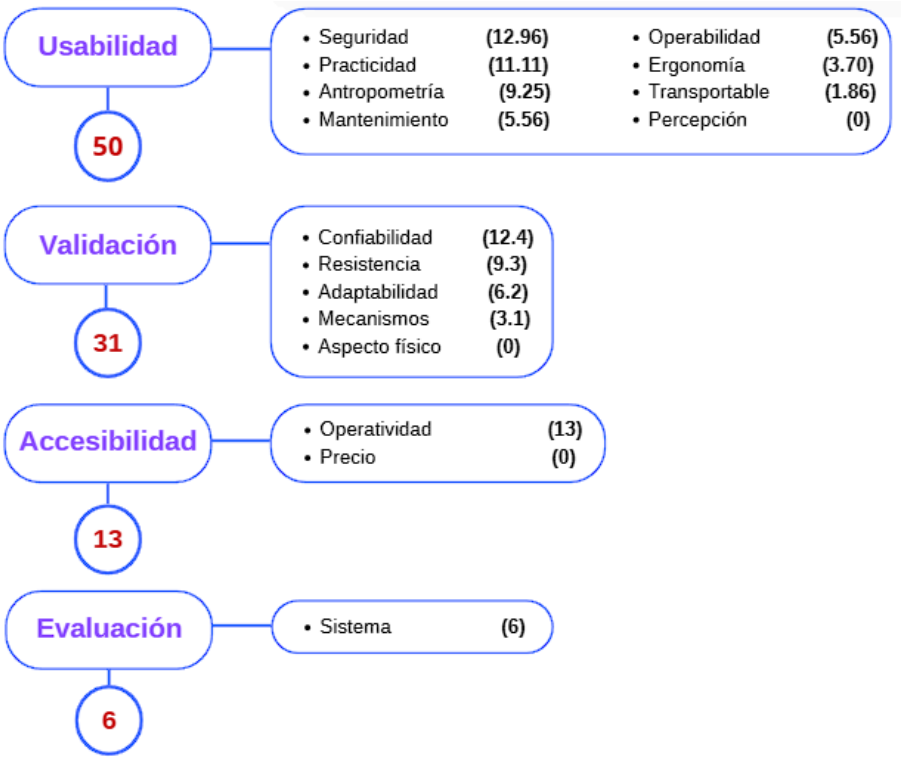
Fuente: Propia

Orden de prioridad:

1. Confiabilidad
2. Resistencia
3. Adaptabilidad
4. Mecanismos
5. Aspecto físico

- **13.8 Valoración de objetivos y requerimientos**

Diagrama 5. *Valoración de objetivos y requerimientos*



Fuente: Propia

Se realizó una valoración jerarquizada de los objetivos y requerimientos del proyecto, con el fin de identificar cuáles son los aspectos clave en el diseño y evaluación del sistema. El proceso se estructuró en dos niveles: primero se determinó la ponderación de los grupos de objetivos, y luego la de los requerimientos dentro de cada grupo.

13.8.1 Ponderación de los objetivos (Usabilidad, Validación, Accesibilidad, Evaluación):

La ponderación de cada grupo de objetivos se calculó en función del número de requerimientos que lo componen. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Ponderación del grupo} = \left(\frac{\text{Número de requerimientos del grupo}}{\text{Total de requerimientos}}\right) x\ 100$$

Por ejemplo, el grupo Usabilidad tiene 8 requerimientos de un total de 16, por lo que:

$$\left(\frac{8}{16}\right) x\ 100\ =\ 50$$

De esta forma se obtuvo la siguiente ponderación para cada grupo:

- **Usabilidad:** (8 / 16) x 100 = 50
- **Validación:** (5 / 16) × 100 = 31.25 → **31**
- **Accesibilidad:** (2 / 16) × 100 = 12.5 → **13**
- **Evaluación:** (1 / 16) × 100 = 6.25 → **6**

13.8.2 Ponderación de los requerimientos dentro de cada grupo:

Una vez definida la ponderación de cada grupo, se procedió a calcular el valor individual de cada requerimiento. Para ello, se emplearon los resultados obtenidos en las matrices de enfrentamiento, que indican cuántas veces un requerimiento fue considerado más importante que otro en comparaciones directas.

La fórmula aplicada fue:

$$\text{Ponderación del grupo} = \left(\frac{Valor\ individual\ del\ requerimiento}{Suma\ total\ del\ grupo}\right) x\ Puntos\ del\ grupo\ de\ objetivos$$

13.8.3 Ejemplo con el requerimiento de “Seguridad” dentro del grupo Usabilidad:

- Valor individual obtenido en la matriz: 7
- Suma total de valores del grupo Usabilidad: 27
- Puntos asignados al grupo Usabilidad: 50

$$\left(\frac{7}{27}\right) x\ 50\ =\ 12.96$$

Este procedimiento se aplicó a todos los requerimientos de cada grupo, obteniendo una distribución proporcional basada en su prioridad relativa.

Este método permite una valoración objetiva y cuantificable, que facilita la toma de decisiones de diseño enfocadas en los aspectos con mayor impacto funcional y de uso.

La finalidad de esta valoración es priorizar necesidades, facilitando la identificación de los aspectos más relevantes en el diseño o evaluación de un sistema o producto. Al otorgar peso y puntuación a cada criterio, se pueden tomar decisiones informadas, orientadas a optimizar recursos y esfuerzos hacia aquellos factores que tendrán un mayor impacto.

- **13.9 Escala de valor de cumplimiento**

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en la valoración de los criterios de diseño (como Usabilidad, Validación, Accesibilidad y Evaluación), se construyó una escala cualitativa de valor de cumplimiento. Esta escala permite traducir los valores numéricos en rangos porcentuales con una referencia cualitativa clara (como “Excelente”, “Bueno”, “Aceptable”, “Deficiente” e “Insuficiente”), acompañada de una descripción general que contextualiza el nivel de cumplimiento del proyecto respecto a sus objetivos.

Tabla 17. *Escala de valoración de cumplimiento*

Porcentaje de cumplimiento	Referencia cualitativa	Descripción general
91% - 100%	Excelente	El proyecto responde completamente a los objetivos propuestos, ofreciendo una solución ergonómica, funcional y contextualizada. Integra adecuadamente el entorno rural, emplea materiales accesibles, mejora de forma significativa el proceso de rehabilitación y facilita el uso autónomo del dispositivo por parte del usuario.
71% - 90%	Bueno	La propuesta cumple satisfactoriamente con la mayoría de los requerimientos funcionales, de diseño y de contexto. Aunque puede presentar pequeños ajustes necesarios en ergonomía, materiales o detalle técnico, mantiene la eficacia en la rehabilitación y facilidad de implementación.
51% - 70%	Aceptable	El proyecto logra cumplir parcialmente con los objetivos. Existen limitaciones en su aplicabilidad rural o en la experiencia de uso, aunque se presenta una propuesta viable con ajustes. La rehabilitación es funcional, pero no optimizada.
26% - 50%	Deficiente	Se evidencia un bajo cumplimiento de los requerimientos. El diseño es poco adaptado al contexto o no garantiza la funcionalidad necesaria para una rehabilitación efectiva. Existen obstáculos importantes en accesibilidad, materiales o facilidad de uso.
0% - 25%	Insuficiente	El proyecto no responde adecuadamente a los objetivos establecidos. No cumple criterios de diseño funcional, contextualización o usabilidad. No aporta una solución viable para el proceso de rehabilitación ni se ajusta al entorno rural.

Fuente: Propia

Para evaluar los criterios, se diseñó un proceso en varias etapas que permite cuantificar objetivamente el cumplimiento de los subcriterios definidos. El objetivo fue priorizar los aspectos más relevantes dentro de este grupo y asignarles una puntuación proporcional basada tanto en su importancia como en el nivel estimado de cumplimiento.

13.9.1 Asignación de ponderaciones a subcriterios

Se partió de una ponderación total para cada criterio (Usabilidad, Validación, Accesibilidad y Evaluación), que fue distribuida entre los subcriterios correspondientes.

Esta ponderación se calculó a partir de los resultados obtenidos en una matriz de enfrentamiento, donde cada subcriterio fue comparado con los demás para determinar su prioridad relativa.

13.9.2 Estimación del cumplimiento de cada subcriterio

A cada subcriterio se le asignó una clasificación estimada en porcentaje, basada en una evaluación cualitativa del nivel de cumplimiento dentro del proyecto.

13.9.3 Cálculo del valor obtenido

Luego se calculó el valor obtenido por cada subcriterio, multiplicando su ponderación por el porcentaje de cumplimiento estimado:

$$\text{Valor obtenido} = \text{Ponderación} \times \text{Clasificación estimada}$$

Este procedimiento se repitió para todos los subcriterios.

13.9.4 Suma de los valores obtenidos

Todos los valores obtenidos fueron sumados para obtener un valor total acumulado.

13.9.5 Conversión del resultado a porcentaje

Finalmente, para facilitar la lectura e interpretación, se expresó el resultado final como un porcentaje respecto al puntaje total de cada criterio:

$$\left(\frac{Valor\ obtenido}{Puntaje\ total\ asignado}\right) x\ 100$$

Este porcentaje refleja el desempeño del sistema dentro de cada criterio y permite compararlo fácilmente con otros objetivos.

- **13.10 Tablas de ponderación y análisis por subcriterios**

Usabilidad - 50 Puntos

Tabla 18. *Ponderación - objetivo de Usabilidad*

Subcriterio	Ponderación	Clasificación estimada	Valor obtenido
Seguridad	12.96	90%	12.96 x 0.90 = 11.664
Practicidad	11.11	80%	11.11 x 0.80 = 8.888
Antropometría	9.25	85%	9.25 x 0.85 = 7.8625
Mantenimiento	5.56	71%	5.56 x 0.71 = 3.9476
Operabilidad	5.56	65%	5.56 x 0.65 = 3.614
Ergonomía	3.70	80%	3.70 x 0.80 = 2.96
Transportable	1.86	71%	1.86 x 0.71 = 1.3206
Percepción	0	70%	0 x 0.70 = 0

Fuente: Propia

Total: 40,2567

Fórmula: $\left(\frac{40.2567}{50}\right) x\ 100\ =\ 80.51\%$

Validación - 31 Puntos

Tabla 19. *Ponderación - objetivo de Validación*

Subcriterio	Ponderación	Clasificación	Qué evalúa

Confiabilidad	12.4	90%	12.4 x 0.90 = 11.16
Resistencia	9.3	90%	9.3 x 0.90 = 8.37
Adaptabilidad	6.2	85%	6.2 x 0.85 = 5.27
Mecanismos	3.1	85%	3.1 x 0.85 = 2,635
Aspecto físico	0	75%	0 x 0.75 = 0

Fuente: Propia

Total: 27.435

Fórmula: $\left(\frac{27.435}{31}\right) x\ 100\ =\ 88.5\%$

Accesibilidad - 13 Puntos

Tabla 20. *Ponderación - objetivo de Accesibilidad*

Subcriterio	**Ponderación**	**Clasificación**	**Qué evalúa**
Operatividad	13	85%	12 x 0.85 = 10.2
Precio	0	80%	0 x 0.80 = 0

Fuente: Propia

Total: 10.2

Fórmula: $\left(\frac{10.2}{13}\right) x\ 100\ =\ 78.46\%$

Evaluación - 6 Puntos

Tabla 21. *Ponderación - objetivo de Evaluación*

Subcriterio	**Ponderación**	**Clasificación**	**Qué evalúa**
Sistema	6	71%	6 x 0.71 = 4.26

Fuente: Propia

Total: 4.26

Fórmula: $\left(\frac{4.26}{6}\right) x\ 100\ =\ 71\%$

- **13.11 Resultados obtenidos**

Tras aplicar la metodología de ponderación y análisis por subcriterios, los resultados obtenidos reflejan un desempeño positivo del sistema en los cuatro criterios evaluados: Usabilidad (80.51%), Validación (88.5%), Accesibilidad (78.46%) y Evaluación (71%). Estos valores permiten evidenciar el grado de cumplimiento frente a los objetivos de diseño establecidos.

- **Usabilidad:** 80.51%
- **Validación:** 88.5%
- **Accesibilidad:** 78.46%
- **Evaluación:** 71%

Entre todos los criterios, “Validación” obtuvo el porcentaje más alto (88.5%), lo que indica que el sistema demuestra una alta confiabilidad, resistencia y adaptabilidad en sus funciones. Este resultado es especialmente relevante, ya que la validación es el criterio más importante en este tipo de proyectos de rehabilitación, donde se requiere garantizar que el producto funcione de forma segura, precisa y efectiva para el usuario.

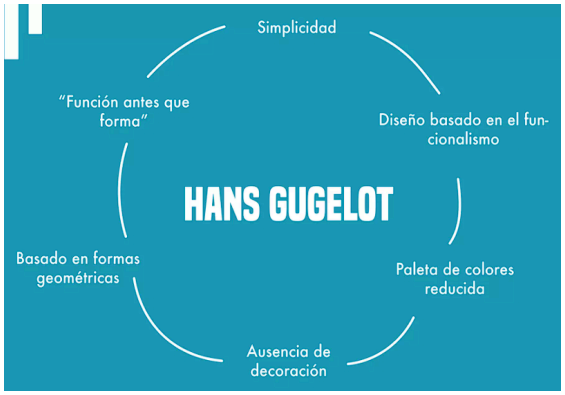
14. Metodología

Partiendo del modelo metodológico propuesto por Hans Gugelot, se plantea una adaptación orientada al desarrollo de un proyecto de diseño enfocado en la rehabilitación funcional de lesiones de tobillo en deportistas amateurs que habitan en zonas rurales de Colombia. Esta adaptación conserva el rigor estructural característico del enfoque original, pero lo reinterpreta según las particularidades del contexto local, las limitaciones de acceso a servicios especializados y las condiciones reales del usuario final. A través de seis etapas secuenciales, que van desde la recolección de información contextual hasta la validación participativa en escenarios reales de uso, se busca construir una propuesta integral de diseño. Esta propuesta procura responder a criterios científicos, técnicos y sociales, priorizando la accesibilidad, la sostenibilidad y la eficacia terapéutica como principios fundamentales.

14.1 Método Hans Gugelot

El método usado en la Escuela de Ulm fue desarrollado por Hans Gugelot (1963) quien experimentó un interés especial por la relación entre ciencia y diseño. Su finalidad principal es establecer una metodología básica aplicable al diseño de productos industriales.

Figura 40. *Método Hans Gugelot*



El Diseño que desarrolló para Braun era funcional y esencialista, basado en formas geométricas y con una paleta de colores reducida; no era una forma adornada para la

venta si no que mostraba lo justo y necesario para el consumidor.

Fuente: Hans Gugelot Método de Diseño. Slideshare
https://es.slideshare.net/melihernandez01/hans-gugelot-mtodo-de-diseo

Etapas de la metodología de Hans Gugelot:

1. **De información:** Recolección de la información.
2. **De investigación:** Necesidades del usuario, contexto, funcionalidad, requerimientos.
3. **Diseño:** Estudio tipológico, apoyo en conocimientos científicos, no en la inspiración.
4. **De decisión:** Estudios de costo/beneficios, estudio tecnológico fundamentado.
5. **De cálculo:** Ajuste del diseño a las normas estándares de materiales y producción.
6. **Construcción del prototipo:** Pruebas y evolución.

14.2 Metodología de Diseño Adaptada al Proyecto de Rehabilitación Funcional

1. Recolección contextual y documental (Duración 2 meses)

Objetivo: Obtener información relevante sobre la situación actual de la rehabilitación de lesiones de tobillo en zonas rurales o periféricas de Colombia, enfocándose en deportistas amateurs.

- Revisión de literatura sobre fisioterapia funcional y tecnología de bajo costo en salud.
- Análisis de datos demográficos, de infraestructura y salud local.

- Entrevistas exploratorias con actores clave: deportistas, médicos generales, fisioterapeutas y líderes comunitarios.

2. Investigación del usuario y su entorno (Duración 2 semanas)

Objetivo: Comprender las necesidades reales, los hábitos, limitaciones y condiciones del usuario final, así como el ecosistema físico y social que influye en la rehabilitación.

- Observación participativa y etnografía contextual.
- Mapeo de actividades de entrenamiento y recuperación física en contextos amateurs.
- Identificación de barreras de acceso a servicios de salud especializados.

3. Desarrollo conceptual y tipológico del diseño (Duración 3 semanas)

Objetivo: Generar propuestas de diseño fundamentadas en el análisis previo, enfocadas en la funcionalidad, simplicidad de uso y posibilidad de autogestión.

- Analizar la información recolectada en el trabajo de campo y el estado del arte, para extraer hallazgos clave que fundamente las propuestas de diseño.
- Generación de propuestas inspiradas en principios de diseño universal, modularidad y portabilidad.
- Aplicación de criterios de ergonomía, biomecánica y sostenibilidad.
- Elaborar un esquema preliminar que represente la estructura general.

4. Evaluación estratégica y toma de decisiones (Duración 3 semanas)

Objetivo: Determinar la factibilidad técnica, económica y social de las propuestas, seleccionando las más pertinentes según criterios definidos.

- Análisis de costo/beneficio y viabilidad de fabricación local.
- Priorización de propuestas en función del impacto terapéutico, facilidad de implementación y adaptabilidad a diferentes usuarios.
- Validación preliminar mediante prototipos rápidos y feedback de usuarios.

5. Ajuste técnico y desarrollo detallado (Duración 2 semanas)

Objetivo: Asegurar que el diseño cumpla con los estándares mínimos de calidad, seguridad, ergonomía y producción local sostenible.

- Cálculo estructural y análisis de materiales disponibles regionalmente.
- Ajuste del diseño según normativas básicas de dispositivos médicos no invasivos.
- Realizar un plano detallado que incluya el despiece completo del prototipo final.
- Definición de procesos de manufactura artesanal, semi industrial o digital local.

6. Prototipado, prueba y validación comunitaria (Duración 3 semanas)

Objetivo: Construir y evaluar el prototipo funcional en escenarios reales de uso, involucrando directamente a los usuarios finales.

- Construcción del prototipo físico funcional.
- Pruebas de campo con usuarios voluntarios (deportistas amateurs en proceso de recuperación).
- Recopilación de observaciones, mejoras sugeridas y validación de resultados en términos de eficacia terapéutica y aceptabilidad social.

Duración estimada de 4 meses y 1 semana.

15. Descripción de la propuesta de diseño

La presente propuesta consiste en el diseño y desarrollo de un sistema modular de rehabilitación funcional para lesiones ligamentarias de tobillo, concebido como una solución accesible, adaptable y orientada a mejorar los procesos de recuperación física en distintos contextos. El sistema está pensado para ser utilizado por cualquier persona que presente una lesión ligamentosa en el tobillo, independientemente de su nivel de actividad física, entorno laboral o perfil deportivo, siempre con la debida orientación de un profesional en rehabilitación.

El sistema se compone de módulos físicos diseñados para acompañar de manera progresiva las diferentes fases del proceso de rehabilitación, desde la recuperación inicial de movilidad y control neuromuscular hasta el fortalecimiento, el trabajo propioceptivo y el retorno seguro a las actividades cotidianas o deportivas. Su diseño privilegia criterios de modularidad, portabilidad, bajo costo, ergonomía y facilidad de uso, lo que permite su implementación en diversos escenarios: hogares, espacios comunitarios, centros deportivos, instituciones educativas o servicios de salud.

La propuesta integra principios clínicos, funcionales y biomecánicos basados en la anatomía del tobillo, los mecanismos habituales de lesión y los requerimientos terapéuticos de cada fase. Dentro del modelo planteado, se espera que el usuario tenga un primer encuentro con el fisioterapeuta, momento en el cual el profesional realizará una valoración individual para identificar el grado de la lesión, las limitaciones específicas y la fase de rehabilitación en la que se encuentra. Con base en este análisis, el fisioterapeuta seleccionará y dispondrá los módulos adecuados

para iniciar el proceso terapéutico, definiendo de manera clara cómo debe utilizarse cada módulo, qué ejercicios realizar, la cantidad de repeticiones, la intensidad, la progresión esperada y todas las indicaciones necesarias para un manejo seguro y efectivo del sistema.

Posteriormente, el usuario podrá realizar su rehabilitación principalmente en casa, siguiendo las instrucciones del profesional, mientras que el fisioterapeuta mantendrá consultas periódicas de monitoreo, menos frecuentes que en los modelos tradicionales, para evaluar el avance, corregir la técnica cuando sea necesario y cambiar o ajustar los módulos según la evolución funcional del paciente. Este enfoque, además de facilitar una recuperación más autónoma, reduce la necesidad de desplazamientos constantes, disminuye costos asociados al transporte o ausentismo laboral, evita la saturación de los servicios presenciales de fisioterapia y permite que el usuario mantenga una continuidad terapéutica más estable, aun cuando viva en zonas con oferta limitada de atención especializada. De esta manera, los módulos no solo facilitan la ejecución de ejercicios guiados, sino que permiten estructurar rutinas que pueden aplicarse en modalidades presenciales, virtuales o híbridas, adaptándose a la disponibilidad del usuario y del profesional a cargo.

Los usuarios previstos para esta propuesta incluyen:

- Personas con lesiones ligamentarias de tobillo, sin importar su nivel de actividad o condición física.
- Individuos que requieran recuperar movilidad, estabilidad y funcionalidad tras un esguince o inestabilidad crónica.
- Profesionales de fisioterapia responsables de orientar y supervisar su uso.

- Instituciones, centros comunitarios, clubes deportivos y espacios educativos, donde el sistema puede implementarse como herramienta de apoyo.

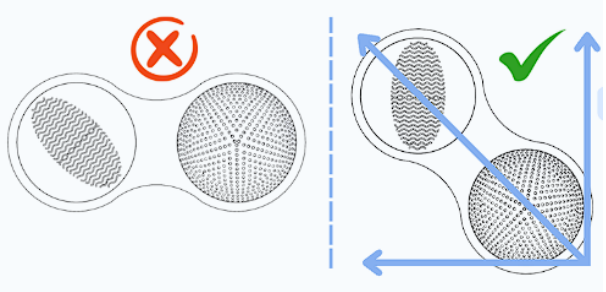
15.1 Distribución y posicionamiento de los módulos

La correcta distribución y posicionamiento de los módulos es fundamental para garantizar la seguridad del usuario y la efectividad del proceso de rehabilitación. Los módulos deben colocarse directamente sobre el suelo, en una superficie plana, firme y antideslizante, formando un recorrido continuo que permita al usuario desplazarse de manera controlada y progresiva durante la terapia.

15.1.1 Orientación de los módulos

Cada módulo debe colocarse en una orientación diagonal, alineado con la dirección de avance del cuerpo del usuario. Esto significa que el eje longitudinal del módulo debe coincidir con la línea de desplazamiento hacia adelante, evitando su colocación en posición horizontal.

Figura 41. *Disposición de los módulos*



Técnicamente, el módulo debe ubicarse con un ángulo de 45° respecto al eje transversal del cuerpo, lo que permite que el apoyo del pie se realice de forma natural y anatómica durante el ejercicio.

Fuente: Propia.

Esta orientación favorece:

- Una correcta biomecánica del tobillo.
- Movimientos controlados de flexión, dorsiflexión y ajustes laterales.
- Un desplazamiento continuo en línea recta, sin interrupciones ni desalineaciones.

La colocación incorrecta del módulo en posición horizontal puede generar apoyos inadecuados, pérdida de estabilidad y disminución de la efectividad terapéutica.

15.1.2 Distribución según el pie lesionado

La disposición de los módulos varía según el pie afectado:

- Cuando el pie lesionado es el derecho, los módulos terapéuticos se colocan alineados en el lado derecho del recorrido.
- Cuando el pie lesionado es el izquierdo, los módulos terapéuticos se ubican en el lado izquierdo.

En ambos casos:

- Los módulos de terapia (donde se trabaja directamente el tobillo lesionado) se colocan en un solo lado del recorrido.
- Los módulos de apoyo se posicionan de forma paralela en el lado opuesto, permitiendo al pie sano brindar estabilidad durante la ejecución de los ejercicios.

Esta distribución bilateral facilita el equilibrio, reduce la carga sobre el tobillo lesionado y mejora el control postural del usuario.

15.1.3 Unión y alineación entre módulos



Figura 42. *Unión de los módulos*

Los módulos están diseñados con una geometría que permite su encaje entre sí, asegurando una alineación precisa y evitando desplazamientos durante el uso. Al unirlos, se forma un recorrido continuo y estable, que guía al usuario de manera intuitiva a lo largo de la terapia.

Visualmente, el diseño del módulo facilita identificar la orientación correcta, ya que su forma indica claramente el sentido de avance y el punto de conexión con el siguiente elemento.

Fuente: Propia.

15.1.4 Distribución por colores y fases de rehabilitación

El sistema incorpora un código de color como herramienta visual de orientación y seguridad:

- **15.1.4.1 Color azul – Fase 1 (fase inicial):**

Indica ejercicios de baja intensidad, enfocados en movilidad, activación temprana y control básico del tobillo.

- **15.1.4.2 Color verde – Fase 2 (fase intermedia):**

Representa una progresión en la rehabilitación, asociada a fortalecimiento muscular, control neuromuscular y mayor estabilidad.

- **15.1.4.3 Color rojo – Fase 3 (fase avanzada):**

Señala un nivel de mayor exigencia funcional, orientado al equilibrio dinámico, la propiocepción avanzada y la preparación para actividades cotidianas o deportivas.

El uso del color permite al usuario y al fisioterapeuta identificar rápidamente el nivel de dificultad de cada módulo, favoreciendo una progresión segura, ordenada y acorde a la fase de recuperación del paciente.

15.2 Componentes del sistema:

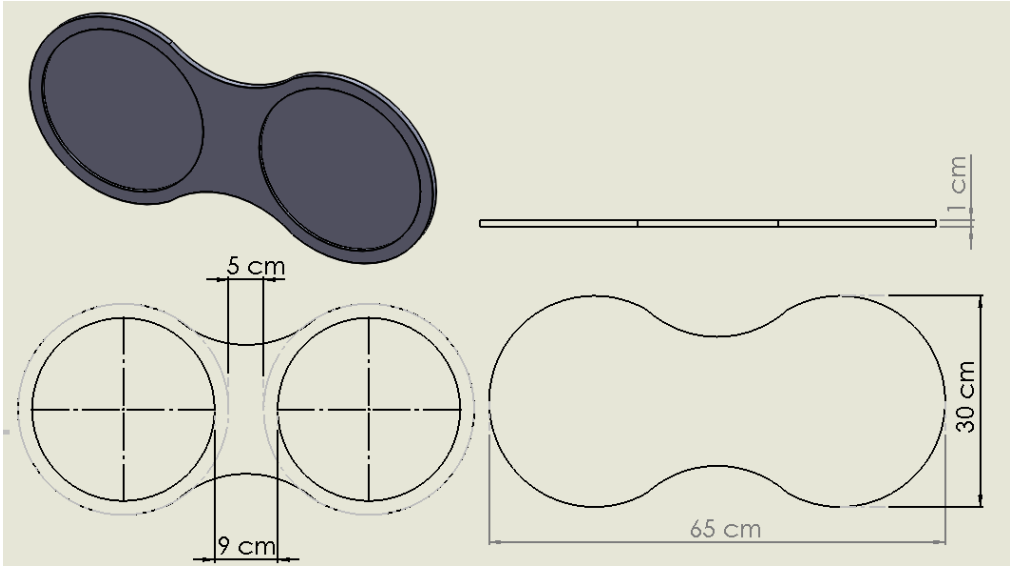
El sistema propuesto está compuesto por un conjunto de elementos físicos modulares, diseñados para acompañar las diferentes fases de rehabilitación de una lesión ligamentosa de tobillo. Cada componente cumple una función terapéutica específica y puede ser seleccionado, combinado o reemplazado por el fisioterapeuta según el progreso y las necesidades individuales del usuario.

15.2.1 Elementos físicos

Los elementos físicos se diseñan bajo principios de modularidad, ergonomía, versatilidad, seguridad y bajo costo, permitiendo que el usuario pueda desarrollar su rehabilitación en el hogar o en espacios comunitarios.

- **Módulo base:** Todos los submódulos se articulan mediante un módulo base integrado de manera permanente, el cual funciona como plataforma estructural y punto de anclaje. Esto garantiza compatibilidad entre componentes, estabilidad durante el uso y una transición fluida entre ejercicios.

Figura 43. *Plano general*



Fuente: Propia.

15.2.1.1 Fase 1: Inflamatoria aguda

En esta fase se busca disminuir el dolor, controlar la inflamación, reducir la hinchazón y proteger los tejidos lesionados, permitiendo únicamente una movilidad muy suave y segura mientras avanza la recuperación inicial. Se eligió un tono suave y frío (azul claro) porque transmite calma, reposo y una sensación de reducción de la inflamación, reforzando visualmente la función terapéutica y protectora propia de esta fase.

- **Módulo de terapia frío/calor (envoltura termoterapéutica):** Está diseñado para acompañar los primeros momentos del proceso de recuperación del tobillo, cuando el objetivo principal es disminuir la rigidez, activar la musculatura de forma suave y favorecer la estimulación sensorial sin generar sobrecarga articular.

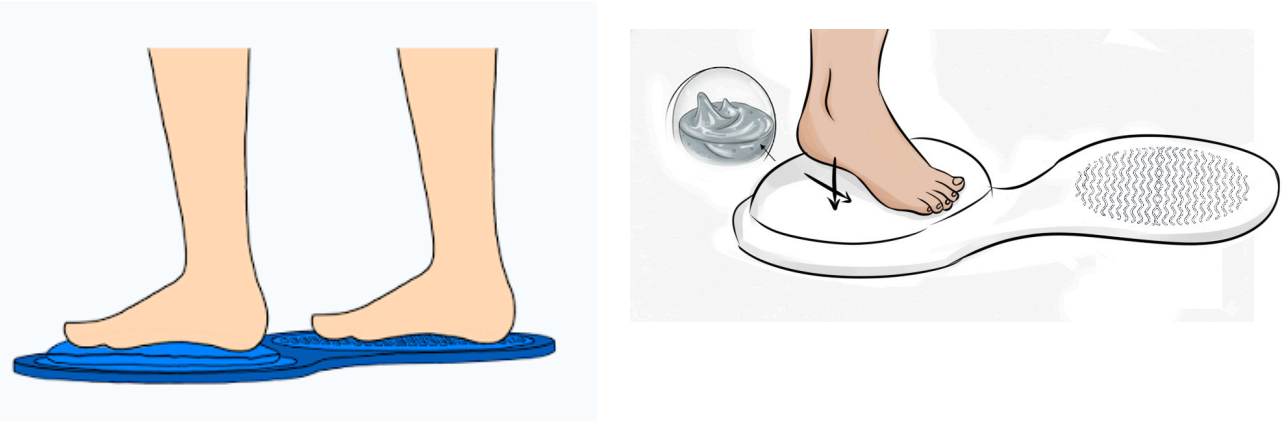
Este módulo se compone de dos elementos complementarios que trabajan de manera conjunta:

1. **Módulo de activación con media esfera**

Consiste en una estructura similar a un módulo tipo Bosú, pero adaptada para la fase inicial. La superficie terapéutica incorpora una media esfera flexible, rellena con un material blando y deformable, como gel terapéutico, líquido viscoso o una sustancia de alta suavidad (similar a las pelotas antiestrés).

Este relleno permite que la superficie se adapte al peso y a los movimientos del pie, generando una sensación de amortiguación, contención y masaje suave, ideal para etapas tempranas de la rehabilitación.

Figura 44 y 45. *Módulo de activación.*



Fuente: Propia.

2. **Tobillera térmica**

El segundo elemento corresponde a una tobillera térmica reutilizable, diseñada para colocarse alrededor del tobillo o el pie lesionado. Esta tobillera puede utilizarse a temperatura ambiente, fría o tibia, según la indicación del

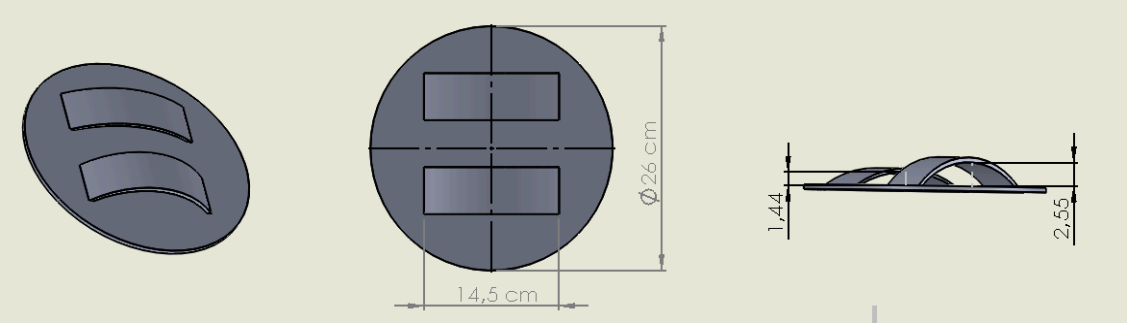
fisioterapeuta, permitiendo complementar el trabajo mecánico del módulo con estimulación térmica controlada.

15.2.1.2 Fase 2: Reparación o regeneración

En esta fase se busca favorecer la regeneración del tejido lesionado, recuperar la movilidad funcional del tobillo, iniciar el fortalecimiento progresivo y mejorar el control neuromuscular básico, permitiendo que el tobillo vuelva a moverse con seguridad sin comprometer el proceso de reparación. Se eligió el color verde para los módulos de esta fase porque simbólicamente representa crecimiento, recuperación y avance, reforzando visualmente la idea de renovación del tejido y progreso controlado dentro del proceso terapéutico.

- **Módulo de bandas de resistencia:** Utilizado para trabajar movilidad articular, fuerza inicial y activación muscular progresiva mediante ejercicios controlados en varios planos de movimiento. Este módulo incorpora bandas de resistencia media.

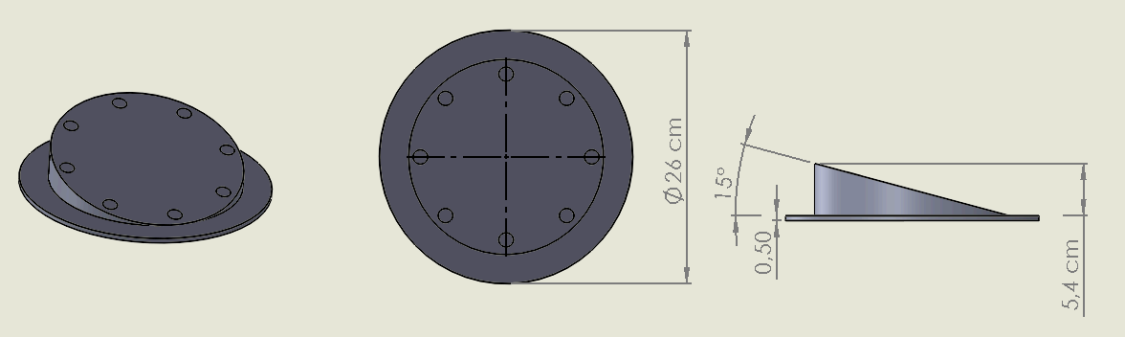
Figura 46. *Plano módulo de bandas de resistencia.*



Fuente: Propia.

- **Módulo con tablilla inclinada adaptable (15° y 25°):** Diseñado para mejorar la dorsiflexión y la flexión plantar, favoreciendo la recuperación de patrones de movimiento funcional. Permite trabajar el control neuromuscular básico a través de inclinaciones adaptables que pueden ajustarse a 15° o 25°, según las necesidades y la tolerancia del usuario, siempre bajo las indicaciones del fisioterapeuta.

Figura 47. *Plano módulo tablilla inclinada.*



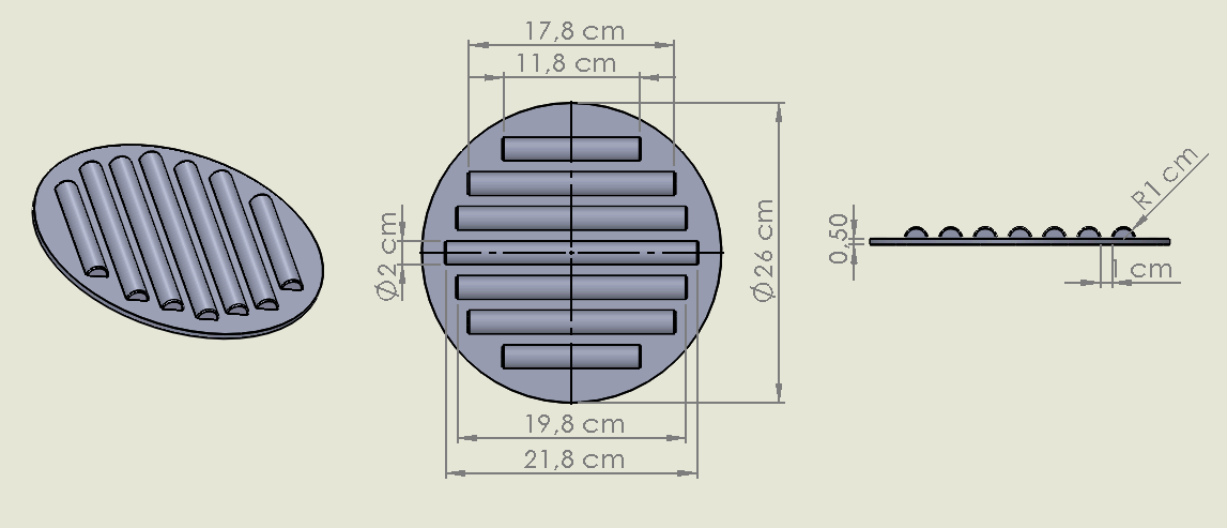
Fuente: Propia.

15.2.1.3 Fase 3: Remodelación y fortalecimiento funcional

En esta fase se busca mejorar la estabilidad dinámica del tobillo, optimizar la propiocepción, desarrollar coordinación y fuerza reactiva, y preparar al usuario para la realización segura de actividades cotidianas, laborales o deportivas que requieren mayor demanda funcional. Se eligió el color rojo para los módulos de esta fase porque representa energía, activación y alto rendimiento, reforzando visualmente que esta etapa implica mayor intensidad, desafíos más complejos y un retorno progresivo a movimientos exigentes.

- **Módulo de barras de equilibrio:** Diseñado para entrenar el equilibrio estático y dinámico, permitiendo al usuario enfrentar cambios de apoyo y desplazamientos controlados. Favorece el mejoramiento del control postural y estimula una propiocepción avanzada, necesaria para prevenir recaídas y fortalecer la estabilidad articular.

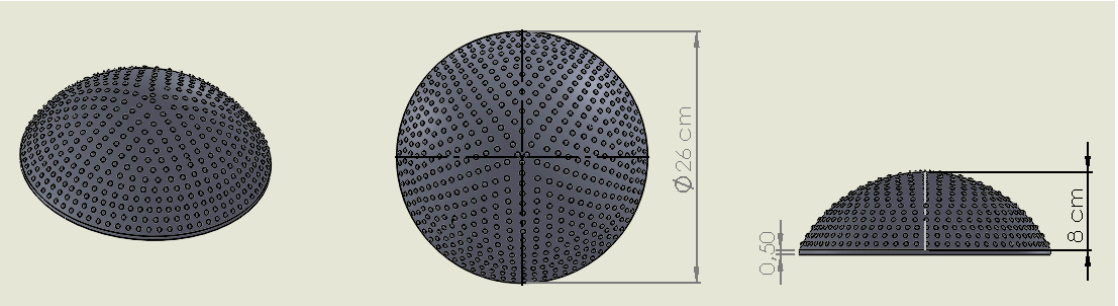
Figura 48. *Plano módulo barras de equilibrio.*



Fuente: Propia.

- **Módulo Bosú:** Permite trabajar la estabilidad global, la fuerza reactiva y el control del centro de masa mediante una superficie inestable que simula escenarios de mayor exigencia. Este submódulo contribuye al reentrenamiento funcional, preparando al usuario para situaciones reales que involucran cambios rápidos de dirección o impacto.

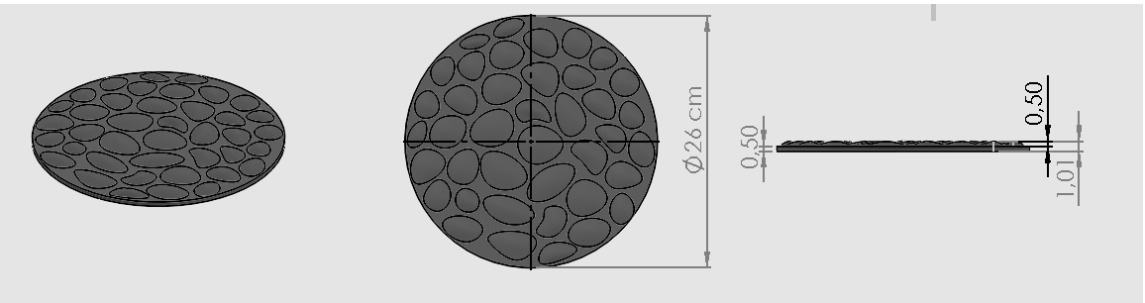
Figura 49. *Plano módulo bosú.*



Fuente: Propia.

- **Módulo estimulante (textura tipo piedras):** Orientado a la activación sensorial plantar y a la mejora de la propiocepción en superficies irregulares. Su textura simula terrenos naturales y cotidianos, facilitando la readaptación del usuario a actividades reales y promoviendo un retorno seguro y progresivo a su entorno habitual.

Figura 50. *Plano módulo estimulante.*



Fuente: Propia.

15.3 Secuencia de uso:

La secuencia de uso propuesta para este sistema modular de rehabilitación tiene como propósito orientar al usuario en la correcta ejecución de cada módulo, asegurando una progresión adecuada acorde a las necesidades propias de la recuperación funcional del tobillo.

El uso ordenado y progresivo de los módulos permite estimular de manera segura las estructuras ligamentarias y musculares, evitando sobrecargas, compensaciones o riesgos de recaída. De esta manera, se garantiza que cada ejercicio responda a un objetivo terapéutico específico y contribuya a una recuperación más eficiente, estable y duradera. El enfoque progresivo no solo optimiza los beneficios fisiológicos, sino que además promueve la confianza del usuario durante el proceso de rehabilitación.

15.3.1 Preparación previa:

Verificación del espacio: Antes de iniciar cualquier actividad con el sistema modular, es fundamental asegurarse de que el entorno sea adecuado para realizar los ejercicios con seguridad. Para ello, se debe comprobar que el área de trabajo esté completamente despejada, libre de obstáculos o elementos que puedan interferir con la movilidad del usuario.

Preparación del usuario: Antes de iniciar la secuencia de ejercicios, el usuario debe realizar un breve calentamiento básico que ayude a activar los músculos y a preparar las articulaciones involucradas. Este calentamiento puede incluir movilización articular suave, estiramientos dinámicos y ejercicios de activación ligera, siempre adaptados a la fase de rehabilitación en la que se encuentre.

De igual forma, es esencial verificar que no existan restricciones médicas vigentes o indicaciones específicas del profesional de la salud que limiten el tipo o la intensidad de los ejercicios a realizar. Esta confirmación garantiza que las actividades se desarrollen conforme a las recomendaciones clínicas, evitando riesgos y

asegurando un proceso de rehabilitación seguro y adecuado para el estado actual del paciente.

15.3.2 Secuencia de uso para fase 1:

15.3.2.1 Preparación del módulo

- El módulo se coloca sobre una superficie firme y estable. La media esfera debe quedar centrada y limpia.
- Las bandas de gel se preparan según la indicación terapéutica (temperatura ambiente, frío o tibio).

15.3.2.2 Colocación del usuario

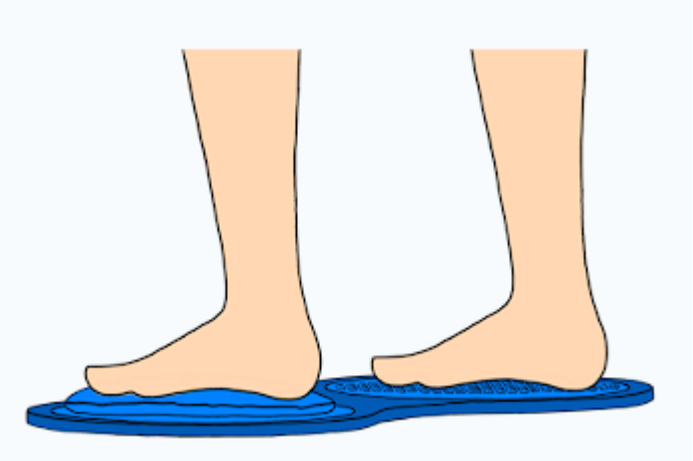
El usuario se sienta, y el pie lesionado se coloca suavemente sobre la media esfera, mientras el pie sano se apoya en la zona destinada para estabilidad.

El usuario realiza movimientos suaves y lentos, como:

- Transferencias leves de peso.
- Pequeños balanceos hacia adelante y atrás.
- Apoyos controlados sin despegar el pie.

La media esfera se deforma con cada movimiento, generando un masaje continuo y amortiguado que estimula la circulación y la percepción sensorial sin provocar dolor.

Figura 51. *Módulo de activación.*



Fuente: Propia.

15.3.2.3 Aplicación de tobillera térmica

La tobillera térmica se coloca alrededor del tobillo o el pie lesionado, asegurando un contacto cómodo y sin presión excesiva.

Figura 52. *Tobillera térmica.*



Recuperado de: Miravia.

15.3.2.4 Finalización

- Tras el tiempo indicado por el fisioterapeuta, se retira el pie del módulo y la tobillera.

- El tobillo queda preparado para continuar con ejercicios suaves de movilidad o para el descanso terapéutico.

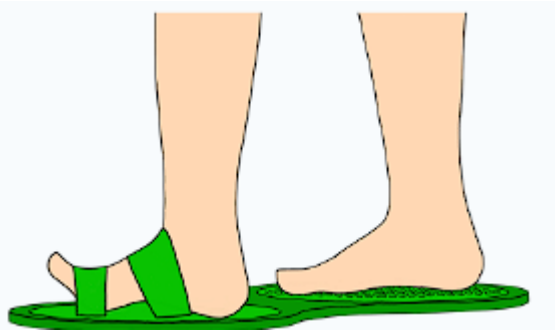
15.3.3 Secuencia de uso para fase 2:

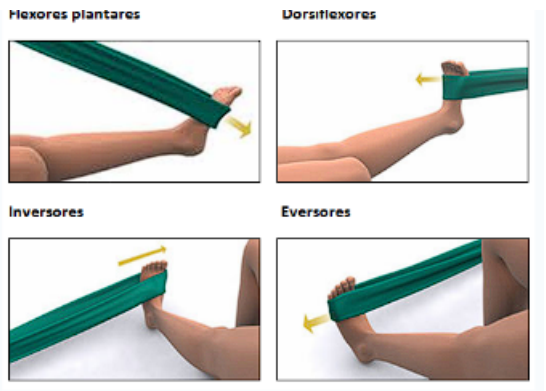
15.3.3.1 Módulo de bandas elásticas

Este módulo se utiliza como primer paso de la sesión, ya que permite activar la musculatura del tobillo de manera controlada antes de ejercicios de mayor exigencia.

- El módulo se coloca sobre una superficie firme y estable.
- El usuario se sienta frente al módulo, con la pierna del tobillo lesionado extendida.
- El pie lesionado se asegura dentro de la banda elástica, mientras el pie sano se apoya en la zona destinada para estabilidad.
- Se realizan movimientos lentos y controlados en cuatro direcciones:
    - Hacia arriba (levantar la punta del pie).
    - Hacia abajo (apuntar el pie).
    - Hacia adentro.
    - Hacia afuera.

Figura 53 y 54. *Módulo bandas elásticas y ejercicios.*





Fuente: Propia.

Cada movimiento se repite según la indicación del fisioterapeuta, manteniendo siempre el control y evitando el dolor.

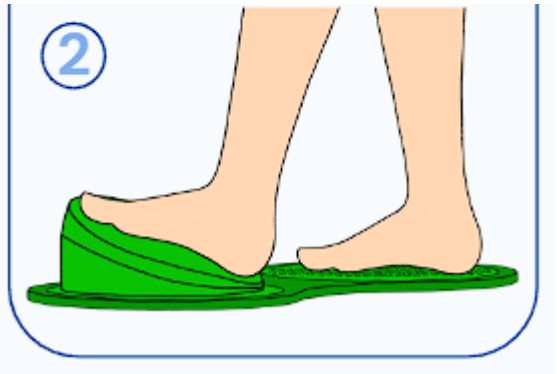
Este módulo permite mejorar la movilidad activa, fortalecer la musculatura y preparar el tobillo para la carga progresiva.

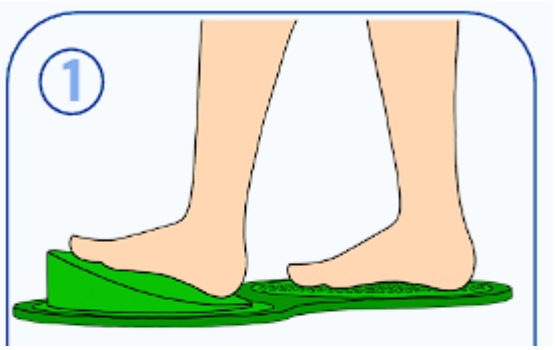
15.3.3.2 Módulo de tablilla inclinada (15° y 25°)

Una vez activada la musculatura con las bandas elásticas, se continúa con la tablilla inclinada, la cual introduce carga controlada y trabajo de estabilidad.

- Se inicia el ejercicio con la inclinación de 15°, recomendada para el comienzo de la fase.
- El usuario se coloca de pie, apoyando el pie lesionado sobre la tablilla y el pie sano en la zona de apoyo.
- Se realizan movimientos controlados de:
    - Flexión y dorsiflexión.
    - Transferencias suaves de peso hacia adelante y atrás.

Figura 55 y 56. *Módulo tablilla inclinada y ejercicios.*





Fuente: Propia.

Cuando el fisioterapeuta lo autoriza y existe buen control del movimiento, se progresa a la inclinación de 25°, aumentando gradualmente la exigencia.

Este módulo favorece el fortalecimiento progresivo, el control neuromuscular y la estabilidad articular, preparando al tobillo para las demandas de fases más avanzadas.

15.3.4 Secuencia de uso para fase 3:

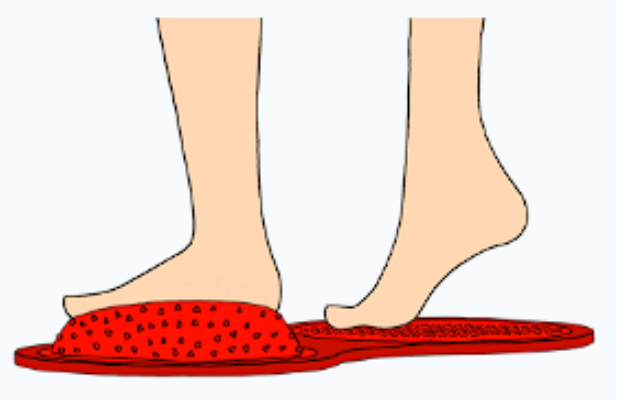
15.3.4.1 Módulo Bosú

Este módulo se utiliza como primer elemento de la fase, ya que introduce una superficie inestable que exige control activo del tobillo y del cuerpo.

- El usuario se coloca de pie, apoyando el pie lesionado sobre la superficie semiesférica, mientras el pie sano se utiliza como apoyo inicial.
- Se inician ejercicios de equilibrio estático, manteniendo la postura durante algunos segundos.

- Posteriormente, se incorporan movimientos dinámicos controlados, como:
    - Transferencias de peso.
    - Pequeñas flexiones de rodilla.
    - Cambios suaves de dirección del cuerpo.

Figura 57. *Módulo bosú*



Fuente: Propia.

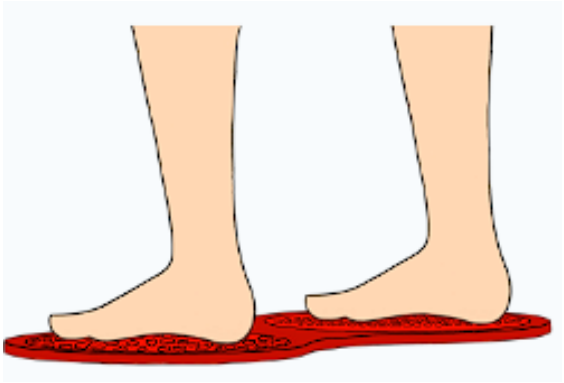
Este módulo fortalece la estabilidad articular, la coordinación y el control neuromuscular, preparando al tobillo para estímulos más complejos.

15.3.4.2 Módulo estimulante (textura tipo piedras)

Una vez alcanzado un buen control sobre el Bosú, se continúa con el módulo estimulante, diseñado para reforzar la propiocepción plantar.

- El módulo se coloca alineado con el recorrido de los demás elementos.
- El usuario avanza y apoya el pie lesionado sobre la superficie irregular.
- Se realizan apoyos controlados, manteniendo el equilibrio mientras la planta del pie se adapta a las diferentes texturas.
- El ejercicio se ejecuta lentamente, priorizando la percepción del contacto y la respuesta del tobillo.

Figura 58. *Módulo estimulante*



Fuente: Propia.

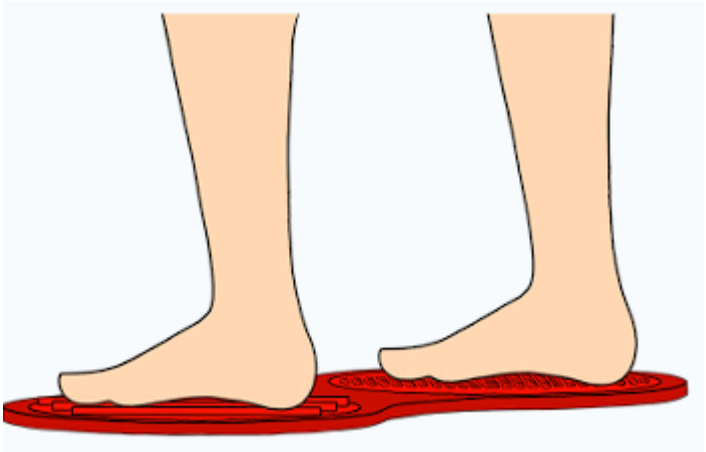
Este módulo mejora la sensibilidad plantar, la adaptación a superficies irregulares y la estabilidad funcional, simulando condiciones reales del entorno.

15.3.4.3 Módulo de barras de equilibrio

El módulo de barras de equilibrio se utiliza como etapa final de la fase, integrando equilibrio dinámico y coordinación.

- Las barras se colocan de forma transversal sobre el módulo base, manteniendo una separación uniforme.
- El usuario avanza en línea recta, colocando el pie lesionado entre y sobre las barras según el ejercicio indicado.
- Se realizan pasos controlados, elevando y posicionando el pie con precisión.
- El pie sano actúa como apoyo complementario durante el desplazamiento.

Figura 59. *Módulo barras de equilibrio*



Fuente: Propia.

Este módulo permite trabajar el control postural, la coordinación motora y la preparación del tobillo para actividades cotidianas y deportivas.

15.4 Materiales y procesos de fabricación:

- Polipropileno reciclado (rPP)
- Elastómero termoplástico (TPE)
- Poliuretano termoplástico (TPU)

- **15.4.1 Polipropileno reciclado (rPP):**

Este material ofrece una combinación destacada de ligereza, resistencia y estabilidad mecánica que lo hace adecuado para aplicaciones estructurales de uso frecuente. Su baja densidad permite obtener piezas grandes sin aumentar excesivamente el peso, lo que facilita la manipulación y el transporte. A nivel funcional, conserva buena resistencia a impactos, flexión y fatiga, cualidades esenciales para soportar esfuerzos repetitivos sin fracturas. Su naturaleza semicristalina le otorga estabilidad dimensional y baja absorción de humedad, garantizando un comportamiento consistente incluso frente a variaciones ambientales. Además, su excelente resistencia química evita degradación por sudor, humedad o agentes de limpieza. El rPP también aporta un beneficio ambiental significativo al reducir el consumo de polímero virgen, disminuyendo la huella de carbono y favoreciendo prácticas de economía circular sin comprometer la funcionalidad del producto.

Moldeo por inyección: Gracias a que el rPP presenta un buen comportamiento de flujo en estado fundido, facilita el llenado uniforme de moldes con geometrías complejas. Este proceso permite obtener piezas en una sola etapa, con geometrías precisas, tolerancias controladas y acabados uniformes sin necesidad de ensamblajes adicionales. La repetitividad del moldeo por inyección asegura que cada pieza fabricada mantenga la misma calidad estructural y dimensional, reduciendo

errores y optimizando la producción. Además, es un proceso eficiente y de bajo desperdicio, por lo que aprovecharía al máximo el material reciclado. Su capacidad para incluir detalles finos, nervaduras y transiciones suaves dentro del mismo molde facilita el diseño de estructuras robustas, ligeras y funcionales con un excelente rendimiento mecánico.

- **15.4.2 Elastómero termoplástico (TPE):**

Este material combina la elasticidad y suavidad del caucho con la procesabilidad de un termoplástico, lo que permitirá obtener superficies cómodas, flexibles y seguras al contacto. Su capacidad de deformarse ligeramente bajo presión mejora la sensación táctil y reduce puntos de dureza, aportando confort durante ejercicios que requieren apoyo directo del pie. El TPE presenta además una excelente capacidad de recuperación elástica, volviendo a su forma original sin deformaciones permanentes incluso tras uso repetitivo. Su resistencia al desgaste, a la humedad y a agentes de limpieza garantiza una larga vida útil del recubrimiento, mientras que su baja sensibilidad a la temperatura permite mantener un tacto estable y agradable. Gracias a su naturaleza antideslizante, el TPE mejora el agarre y la estabilidad superficial.

Sobremoldeo por inyección: Este proceso permite la fusión de materiales en una sola pieza sin necesidad de adhesivos ni uniones mecánicas. El TPE se inyecta directamente sobre el rPP previamente moldeado, logrando una adhesión fuerte, uniforme y permanente entre ambas superficies. Esta técnica garantiza un recubrimiento continuo, sin espacios, rebabas ni variaciones de espesor, optimizando tanto la protección estructural como la estética del producto, además, de controlar con precisión el grosor del recubrimiento, integrando zonas más suaves, texturas o

patrones funcionales dentro del mismo molde. El proceso es eficiente, repetible y genera mínimo desperdicio

- **15.4.3 Poliuretano termoplástico (TPU):**

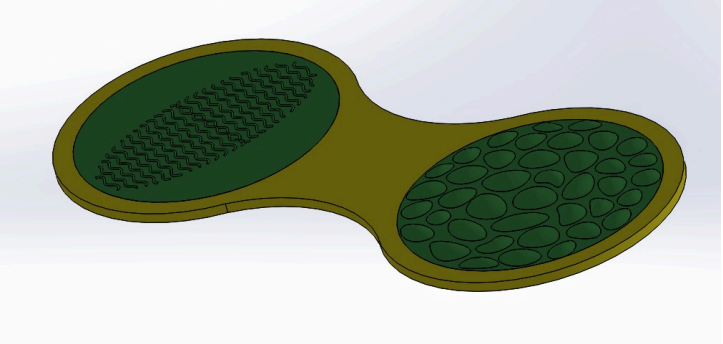
Este material destaca por su alta resistencia a la abrasión, excelente elasticidad y sobresaliente capacidad antideslizante, lo que lo convierte en una opción ideal para superficies que deben mantenerse firmes incluso bajo carga, movimiento o humedad. Su estructura molecular flexible proporciona una combinación equilibrada entre suavidad y agarre, permitiendo que el módulo se adhiera eficazmente al suelo sin generar marcas y sin deteriorarse con el uso repetido. El TPU presenta también una notable resistencia al desgarro y a la compresión, manteniendo su desempeño incluso tras ciclos prolongados de presión y fricción. Además, es estable frente a agentes de limpieza, sudor y variaciones de temperatura, garantizando una larga vida útil en entornos clínicos y deportivos. Su comportamiento elástico permite absorber microvibraciones y mejorar la estabilidad general del sistema, reduciendo deslizamientos y aumentando la seguridad del usuario durante la rehabilitación.

Sobremoldeo por Inyección: Se inyecta el TPU sobre la pieza previamente moldeada, se obtiene una superficie antideslizante uniforme, con un espesor controlado y una adherencia óptima que evita desprendimientos o desgaste prematuro. Este método posibilita incorporar patrones, texturas o microrelieves dentro del mismo molde, mejorando significativamente la tracción y estabilidad sobre diferentes tipos de piso. La repetitividad del proceso asegura que cada módulo mantenga el mismo rendimiento mecánico y antideslizante, mientras que su eficiencia reduce desperdicios y tiempos de producción.

15.5 Disposición de material en construcción:

El sistema está conformado por módulos y submódulos, cada uno con funciones específicas dentro de la rehabilitación. Toda la parte estructural, tanto en módulos como en submódulos, estará fabricada en polipropileno reciclado (rPP), debido a su buena relación entre rigidez, peso ligero y capacidad para integrarse con materiales elastoméricos.

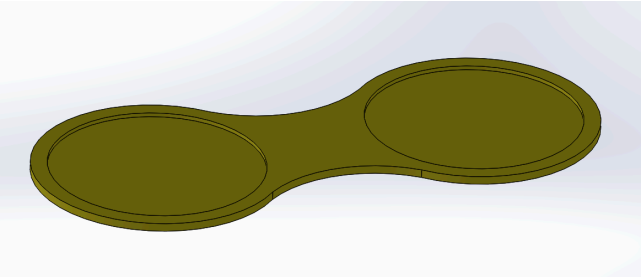
Figura 60. *Disposición de material*



Fuente: Propia.

Los módulos, igualmente construidos en rPP como base rígida, incluyen una capa superficial de TPU en la zona que estará en contacto directo con el piso. Esta capa mejora la adherencia al suelo, reduce el deslizamiento y contribuye a la estabilidad general del sistema durante los ejercicios. Para la capa de TPU se propone un espesor de 2,5 mm, que garantice suficiente agarre y resistencia al desgaste incluso bajo movimientos repetidos. La dureza para este componente será Shore A 70–80, ya que es la óptima para superficies antideslizantes sometidas a fricción constante.

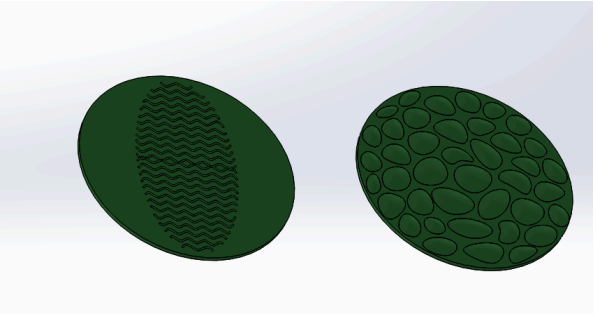
Figura 61. *Disposición de material (módulo base)*



Fuente: Propia.

Los Submódulos también cuentan con una estructura base de rPP que proporciona estabilidad y forma. Sobre esta estructura se incorpora una capa continua de elastómero termoplástico (TPE), cuya función es brindar una superficie táctil confortable, antideslizante y con suficiente amortiguación para los ejercicios propioceptivos. Para esta capa se usará un espesor de 3 mm, que ofrece una sensación suave y ligeramente acolchada sin comprometer la firmeza necesaria para el control articular. La dureza del TPE se estima en un rango Shore A 60–70, adecuado para soportar uso repetitivo sin deformación permanente.

Figura 62. *Disposición de material (submódulos)*



Fuente: Propia.

15.6 Proceso de embalaje y distribución

El sistema modular KINÉMO está diseñado para ser distribuido exclusivamente a centros especializados en fisioterapia y rehabilitación, quienes serán los responsables de entregarlo y dosificar su uso a los pacientes según la fase de recuperación. El proceso general comprende tres etapas principales:

15.6.1 Embalaje en fábrica:

El proceso de embalaje inicial en fábrica se desarrolla de manera integral para asegurar que cada módulo llegue en perfectas condiciones a los centros especializados. Este proceso inicia con un embalaje primario, en el cual cada módulo se protege individualmente mediante materiales que evitan golpes, fricción, humedad y la acumulación de polvo. Esta primera capa garantiza que las superficies, texturas y componentes de cada módulo se mantengan intactos desde el momento en que salen de producción.

Posteriormente, los módulos pasan al embalaje secundario, donde se introducen en cajas individuales diseñadas para ofrecer una protección adicional y facilitar su identificación. Estas cajas incluyen información básica del módulo, indicaciones esenciales para su manejo y señalización de seguridad, lo que permite al personal de los centros especializados reconocer rápidamente cada elemento, almacenarlo de manera adecuada y manipularlo sin riesgos.

Finalmente, los módulos ya empacados se agrupan en un embalaje colectivo destinado al transporte y la distribución. En esta etapa se utilizan empaques más robustos que permiten organizar varios módulos en un solo contenedor, optimizando

el envío y reforzando su protección frente a impactos o condiciones ambientales durante el trayecto. Estos empaques colectivos incluyen etiquetas con datos de trazabilidad como lote, destino y fecha de despacho, garantizando un seguimiento adecuado hasta su llegada al centro especializado.

15.6.2 Distribución hacia centros especializados:

Una vez finalizado el proceso de embalaje, los módulos son trasladados hacia los centros especializados mediante operadores logísticos o transporte propio de la empresa. Durante esta fase, la distribución se gestiona de manera que los módulos lleguen exclusivamente a centros de fisioterapia, clínicas y entidades deportivas que cuenten con áreas de rehabilitación, ya que estas instituciones son las responsables de asignar y supervisar el uso del sistema modular en los pacientes. El transporte se realiza bajo condiciones controladas para evitar que los módulos sufran deformaciones, golpes o exposición a humedad, asegurando así que conserven su funcionalidad y se mantengan en perfecto estado para su uso terapéutico.

El flujo de distribución es directo y no incluye ventas al usuario final, sino que se limita al envío desde la fábrica hacia los centros especializados, donde los módulos son recibidos, verificados y almacenados para posteriormente ser utilizados o entregados bajo supervisión profesional. De esta manera, se garantiza que el sistema modular llegue a manos de los pacientes únicamente a través de instituciones capacitadas para dosificar su uso según la fase de rehabilitación y las necesidades específicas de cada caso.

15.6.3 Disponibilidad y entrega al paciente dentro del centro especializado:

Cuando los módulos llegan al centro especializado, el personal encargado realizará una verificación inicial para asegurarse de que cada elemento se encuentre en buen estado y sin alteraciones derivadas del transporte. Una vez revisados, los módulos se organizan y almacenan en el área destinada al material terapéutico, donde permanecen disponibles para el uso clínico bajo supervisión profesional.

Posteriormente, el fisioterapeuta selecciona los módulos adecuados según la fase de rehabilitación en la que se encuentre cada paciente, garantizando que las herramientas utilizadas correspondan al nivel de movilidad, fuerza y estabilidad requerido en su proceso de recuperación. La entrega o el uso de los módulos se realiza siempre bajo orientación profesional, asegurando su correcta aplicación, una dosificación progresiva y segura, y evitando sobrecargas o movimientos que puedan comprometer la estabilidad del tobillo lesionado.

Según el modelo de trabajo del centro, los módulos pueden utilizarse directamente en las sesiones supervisadas o, en algunos casos, ser entregados temporalmente al paciente para continuar la rehabilitación en casa siguiendo las indicaciones del fisioterapeuta. Esto permite mantener la continuidad del tratamiento y facilitar el progreso controlado fuera del entorno clínico.

15.7 Limpieza y mantenimiento de los módulos

La correcta limpieza y el mantenimiento periódico de los módulos son fundamentales para garantizar la higiene, seguridad, durabilidad y correcto funcionamiento del sistema, especialmente en contextos clínicos, comunitarios o de uso compartido.

15.7.1 Limpieza de los módulos

Después de cada sesión de uso, se recomienda limpiar los módulos para evitar la acumulación de sudor, suciedad o agentes contaminantes.

- Limpiar las superficies con un paño suave ligeramente humedecido.
- Utilizar agua y jabón neutro o un desinfectante de uso clínico de baja concentración.
- Evitar el uso de productos abrasivos, alcohol en exceso o solventes, ya que pueden deteriorar los materiales, las texturas y los acabados.
- En módulos con texturas, relieves o superficies irregulares, se recomienda utilizar un cepillo de cerdas suaves para retirar residuos sin dañar el material.

Las bandas elásticas y bandas de gel deben limpiarse individualmente, asegurando que no queden restos de humedad antes de su almacenamiento.

15.7.2 Frecuencia de limpieza

- En uso clínico o compartido, la limpieza debe realizarse después de cada usuario.
- En uso doméstico, se recomienda limpiar los módulos después de cada sesión o, como mínimo, al finalizar el día.

- Realizar una limpieza profunda semanal para revisar el estado general de los módulos.

15.7.3 Mantenimiento preventivo

Para prolongar la vida útil del sistema, se recomienda:

- Revisar periódicamente el estado de las bandas elásticas, verificando que no presenten desgaste, grietas o pérdida de elasticidad.
- Comprobar la estabilidad de las uniones entre módulos y asegurar que encajen correctamente.
- Verificar que las superficies antideslizantes mantengan su adherencia.
- Reemplazar cualquier componente que presente deterioro visible o pérdida de funcionalidad.

15.7.4 Almacenamiento recomendado

- Guardar los módulos en un lugar seco, limpio y ventilado.
- Evitar la exposición directa al sol, calor excesivo o humedad prolongada.
- Almacenar los módulos apilados o encajados según su diseño, evitando presiones innecesarias que puedan deformarlos.
- Las bandas de gel deben almacenarse a temperatura ambiente, salvo indicación contraria del fabricante o del profesional de la salud.

16. Prototipo

El desarrollo del prototipo a escala real permitió evaluar de manera directa el funcionamiento, la ergonomía y la viabilidad del sistema de módulos en un contexto de uso real. A partir de esta instancia de validación física, se comprobó que las medidas definidas en la etapa de diseño digital resultaron adecuadas, ya que permiten una correcta colocación del pie, una ejecución cómoda de los ejercicios y una transición fluida entre módulos sin generar inestabilidad ni riesgo para el usuario.

Figura 63, 64, 65 y 66. *Prototipo*



Fuente: Propia.

Durante las pruebas, se evidenció que la terapia puede realizarse sin complicaciones, manteniendo una postura natural y segura tanto para el pie lesionado como para el pie de apoyo. Las dimensiones de cada módulo facilitan el desplazamiento progresivo del usuario, permitiendo realizar ejercicios de movilidad, equilibrio y propiocepción de forma controlada y continua, tal como fue planteado en los objetivos terapéuticos del proyecto.

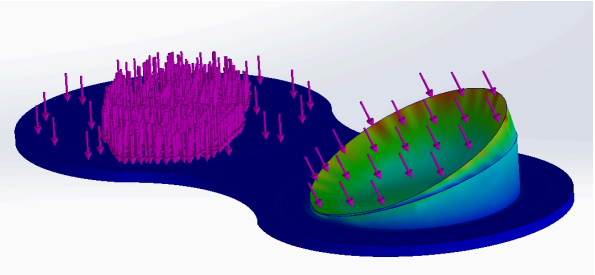
La materialización del prototipo también permitió identificar mejoras significativas respecto al diseño digital, principalmente en aspectos relacionados con la textura de las superficies, la estabilidad del apoyo, el espesor de los elementos y la percepción del confort durante el uso. Estas observaciones aportaron información valiosa para optimizar el diseño final, ajustando detalles que solo pueden ser plenamente evaluados mediante la interacción directa con el objeto físico.

16.1 Validaciones digitales:

La validación digital se realizó mediante el uso del software SOLIDWORKS, utilizando herramientas de simulación para analizar el comportamiento estructural de los módulos bajo diferentes condiciones de carga. Este proceso permitió evaluar la resistencia y seguridad del sistema antes de su producción final.

En estas simulaciones se aplicaron cargas equivalentes al peso promedio de un usuario, en este caso, 100 kg distribuidos en las áreas de contacto del pie, con el fin de comprobar que los módulos soportan adecuadamente las fuerzas generadas durante la ejecución de los ejercicios terapéuticos.

Figura 67. *Validación digital*



Los resultados evidenciaron que las piezas mantienen su integridad estructural sin presentar deformaciones críticas o fallos en los puntos de apoyo.

Fuente: Propia.

Asimismo, la validación digital permitió analizar zonas de mayor esfuerzo, optimizar espesores y reforzar áreas clave del diseño, garantizando un equilibrio entre resistencia, peso y uso eficiente de material. Esta etapa confirmó que el sistema cumple con los requerimientos técnicos y de seguridad necesarios para su implementación.

En conjunto, la validación digital complementa la validación física, proporcionando respaldo técnico y estructural al diseño, y asegurando que el sistema es viable, seguro y funcional para su uso en procesos de rehabilitación de tobillo.

17. Análisis de costos

El presente apartado desarrolla el análisis de costos asociado a la fabricación del sistema modular de rehabilitación de tobillo diseñado para apoyar el proceso terapéutico de personas con lesiones ligamentosas. Debido a que el proyecto propone una solución accesible, reproducible y adaptable para contextos con limitaciones en infraestructura de salud, resulta indispensable justificar técnica y económicamente los materiales seleccionados, los procesos de manufactura y el costo final por kit.

Los módulos fueron diseñados empleando polímeros de uso común en productos deportivos y ortopédicos; polipropileno reciclado (rPP), elastómero termoplástico (TPE) y poliuretano termoplástico (TPU) por su resistencia, durabilidad, seguridad y viabilidad en procesos de inyección y sobremoldeo. A partir de estos parámetros, se estiman los volúmenes de material, la estabilidad y la durabilidad son esenciales.

El kit modular está conformado por 6 módulos base y 12 submódulos, fabricados mediante procesos industriales que combinan moldeo por inyección para piezas en rPP y sobremoldeo por inyección para recubrimientos en TPE y TPU, materiales ampliamente utilizados en dispositivos ortopédicos por su resiliencia, flexibilidad y comportamiento seguro en contacto con la piel (Osswald & Menges, 2012; Brydson, 1999).

Cada módulo base, con dimensiones de 30 × 65 cm y espesor de 1 cm, requiere aproximadamente 1,89 kg de rPP, resultando en 11,34 kg para las seis unidades. Este peso es coherente con la densidad promedio del polipropileno

reciclado (0,90 g/cm³), ampliamente documentada en bases técnicas como PlasticsEurope y el Polymer Handbook (Brandrup et al., 1999).

Por su parte, los 12 submódulos circulares, cada uno de 26 cm de diámetro y 5 mm de espesor, requieren cerca de 0,239 kg de rPP por unidad, acumulando 2,87 kg. El peso total del kit en su estructura rígida asciende entonces a 14,23 kg de rPP, valor adecuado para asegurar estabilidad durante la rehabilitación sin comprometer la portabilidad del sistema.

A este componente estructural se suman los recubrimientos funcionales: una capa superior de TPE de 5 mm para mejorar el confort táctil y permitir variaciones sensoriales, y una capa inferior de TPU de 5 mm como superficie antideslizante. El consumo total de elastómeros equivale a 1,95 kg de TPE y 1,95 kg de TPU, teniendo en cuenta las áreas reales de cobertura en todos los módulos. Ambos materiales presentan densidades superiores al rPP (1,05 g/cm³ y 1,20 g/cm³ respectivamente), lo que justifica el incremento moderado en el peso final del kit y la estabilidad funcional necesaria para ejercicios de propiocepción y control neuromuscular (Ratner et al., 2013).

En términos económicos, el valor promedio de mercado para estos materiales en Colombia se estima en 5.000 COP/kg para rPP, 18.000 COP/kg para TPE y 22.000 COP/kg para TPU, cifras alineadas con reportes comerciales nacionales y bases de precios de resinas plásticas para manufactura ligera. Esto se traduce en un costo de materiales de aproximadamente 71.000 COP para el rPP y 77.000 COP para los elastómeros (TPE + TPU), sumando aproximadamente 148.000 COP en materiales directos por kit.

Los procesos de manufactura (moldeo por inyección para el rPP y sobremoldeo para TPE/TPU) representan el componente económico más significativo. Según guías industriales y análisis de costos en manufactura de polímeros (Beaumont et al., 2002), los trabajos por inyección oscilan entre 20.000 y 15.000 COP por kilogramo procesado dependiendo del volumen de producción. Para un kit completo, esto ubica el costo de fabricación aproximadamente en 315.000 , excluyendo moldes, que se amortizan por volumen. Como resultado, el costo total estimado por kit se sitúa más o menos en 463.000, dependiendo de la escala productiva. Este rango permite justificar la viabilidad manufacturable del sistema y contextualiza su costo dentro de la producción real de dispositivos médicos no invasivos basados en polímeros.

17.1 Cuadro de análisis de costos por volumen de producción

El análisis económico del sistema modular se complementa con una estimación del costo total por kit al incrementarse el volumen de producción. A partir de los valores previamente establecidos (148.000 COP en materiales directos y un promedio de 315.000 COP para los procesos de inyección y sobremoldeo) se proyectaron economías de escala basadas en reducciones típicas de costos por kilogramo procesado en manufactura plástica. Para una producción de 100 kits, se estima una reducción del 10 % en los costos de fabricación, lo que disminuye el costo total por unidad a un promedio de 431.500 COP. Esto sitúa el costo total aproximado del lote en 43.150.000 COP, reflejando una disminución efectiva al distribuir la carga operativa.

Cuando la producción aumenta a 300 kits, la reducción estimada en costos de fabricación alcanza el 20 %, lo que reduce el costo por kit a un aproximado de

400.000 COP. En este escenario, el costo total del conjunto sería mas o menos de 120.000.000 COP, mostrando una mayor eficiencia derivada del uso continuo de maquinaria, una mejor amortización de tiempos de preparación y una optimización de recursos.

Finalmente, para una producción de 500 kits, la reducción del costo de fabricación se estima en un 30 %, lo que sitúa el costo total por unidad de 368.500 COP. En consecuencia, el costo acumulado para este volumen se encuentra en 184.250.000 COP, representando la alternativa más eficiente desde el punto de vista productivo. Estos valores indican que el sistema modular es económicamente viable y que su costo se reduce significativamente con el incremento del volumen de producción, tal como es característico en procesos de moldeo por inyección y sobremoldeo en polímeros.

18. Sugerencias y recomendaciones del proyecto:

En las etapas iniciales, el proyecto estaba orientado exclusivamente al diseño de un sistema de rehabilitación para deportistas. Sin embargo, a medida que avanzó el desarrollo y se profundizó en el análisis del contexto, se identificó que la propuesta tenía un alcance mucho más amplio, con potencial para beneficiar a poblaciones diversas y para integrarse en múltiples escenarios clínicos y comunitarios. Este cambio de perspectiva permitió dimensionar mejor la relevancia y proyección del sistema, evidenciando oportunidades de crecimiento que podrían explorarse en fases posteriores.

Aunque se plantearon diversas líneas de trabajo adicionales, el tiempo establecido para el proyecto limitó su implementación completa. Aun así, se definieron algunos aspectos clave que se recomienda fortalecer en futuros desarrollos:

18.1 Ampliación del sistema con nuevos módulos:

A futuro, el proyecto puede fortalecerse mediante el desarrollo de módulos adicionales que complementen mejor las terapias. Estos nuevos elementos podrían enfocarse en distintos niveles de dificultad, tipos de movimiento o necesidades específicas de rehabilitación, permitiendo ofrecer sesiones más completas y especializadas según el avance de cada paciente.

18.2 Validación clínica progresiva:

Es fundamental realizar pruebas piloto con grupos reducidos de pacientes que

se encuentren en diferentes fases de rehabilitación, siempre bajo supervisión de fisioterapeutas especializados. Estos ensayos permitirían evaluar la funcionalidad real de cada módulo, identificar ajustes ergonómicos o de resistencia, y recopilar datos clínicos que respalden la propuesta con evidencia objetiva.

18.3 Optimización ergonómica y selección de materiales:

A medida que el proyecto evolucione, será pertinente explorar materiales más livianos, duraderos y sostenibles. La retroalimentación obtenida durante la validación clínica facilitará realizar mejoras en dimensiones, texturas y firmezas, con el fin de incrementar la comodidad del usuario y prolongar la vida útil del sistema.

18.4 Integración de tecnología complementaria:

En una fase avanzada, podría considerarse la incorporación de sensores básicos de presión, movimiento o equilibrio que permitan obtener métricas del progreso del paciente. Aunque no es un requisito indispensable, esta adición dotaría al sistema de un componente evaluativo más preciso, aumentando su valor como herramienta objetiva de seguimiento clínico.

19. Conclusiones

El proyecto permitió comprender a profundidad la problemática que enfrentan los deportistas amateurs y trabajadores físicamente activos en municipios con acceso limitado a servicios de rehabilitación. Tanto los testimonios de pacientes como de profesionales evidenciaron que la rehabilitación del tobillo suele subestimarse, a pesar de que un manejo inadecuado genera secuelas importantes, como inestabilidad, debilidad muscular y recurrencia de la lesión. Esta realidad, sumada a las diferencias entre el sistema público y privado, demuestra la necesidad urgente de soluciones accesibles y funcionales

A lo largo del proyecto se lograron cumplir los objetivos propuestos: analizar el sistema de atención actual, diseñar un sistema modular accesible para rehabilitación domiciliaria, adaptarlo a las condiciones reales del usuario y validar su funcionalidad mediante criterios técnicos, ergonómicos y clínicos

Asimismo, se aseguraron los requerimientos fundamentales del diseño, incluyendo usabilidad, seguridad, accesibilidad, materiales adecuados y compatibilidad con entornos rurales y domésticos.

Desde una perspectiva de aporte social, el sistema desarrollado representa una solución práctica para poblaciones que no cuentan con atención fisioterapéutica continua. Los módulos permiten acompañar cada fase del proceso de recuperación, favoreciendo un tratamiento progresivo, seguro y autónomo, lo que responde directamente a la falta de continuidad terapéutica observada en los municipios y a la sobrecarga del sistema de salud público. Esto facilita reducir tiempos de

recuperación, mejorar la funcionalidad del tobillo y disminuir el riesgo de recaídas, contribuyendo al bienestar laboral, deportivo y cotidiano de los usuarios.

A nivel de diseño, el proyecto plantea retos importantes: crear un sistema que fuera técnicamente viable, económico, fácil de usar y adaptable a múltiples contextos. Los desafíos principales se relacionaron con la selección de materiales, la ergonomía, la seguridad y la modularidad. Sin embargo, el enfoque metodológico y la validación con fisioterapeutas permitieron encontrar soluciones óptimas, como la integración de módulos de diferente complejidad, componentes reemplazables, texturas funcionales y medidas estandarizadas que favorecen la correcta ejecución de los ejercicios.

En términos de proyección futura, el proyecto tiene un amplio potencial de expansión. Las recomendaciones incluyen la creación de nuevos módulos, la realización de pruebas clínicas más completas y la posible integración de sensores para evaluar el progreso del paciente y mejorar la precisión del tratamiento.

Estas líneas de crecimiento permitirán convertir el sistema en una herramienta aún más robusta, adaptable y efectiva.

En conclusión, el proyecto no solo responde a una necesidad real del sistema de salud colombiano, sino que también brinda una solución accesible y escalable para la rehabilitación del tobillo. Desde el diseño, se demuestra que es posible crear alternativas funcionales, seguras y contextualizadas, logrando un equilibrio entre rigor técnico, pertinencia social y viabilidad económica.

20. Bibliografía

- García-Henao, L. M. (2020). Epidemiología de lesiones ortopédicas de origen laboral. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*. https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-ortopedia-traumatologia-380-articulo-epidemiologia-lesiones-ortopedicas-origen-laboral-S0120884520300134
- La FM. (2023, noviembre 22). Cada vez hay más esguinces de tobillo en Bogotá: ¿por qué? *La FM*. https://www.lafm.com.co/salud/cada-vez-hay-mas-esguinces-de-tobillo-en-bogota-por-que
- Sociedad Colombiana de Cirugía Ortopédica y Traumatología (SCCOT). (s.f.). *SOCOPIT - Enfermedades*. https://sccot.org/socopit/socopit-enfermedades/
- Herrera Sánchez, A. C., Rodríguez Suárez, A. M., & Villabona Fonseca, C. (2015). Factores de riesgo biomecánicos y sociales para esguinces de tobillo en trabajadores del calzado. *Revista Salud UIS, 47*(3), 321–328. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/4684
- Montoya-González, S., & Basto-Mancipe, Z. (2021). Lesiones deportivas y enfermedades presentadas durante los Juegos Universitarios Nacionales ASCUN 2018. *Iatreia, 34*(4), 307–315. https://revistas.udea.edu.co/index.php/iatreia/article/view/342413/20815870
- Derecho Deportivo Colombiano. (2024). Sentencia SU396/2024. *Derecho Deportivo Colombiano*. https://www.derechodeportivocolombiano.com.co/repository/sentenciascc-081su3962024.php

- Arango Serna, B. M., & Delgado Medina, Y. C. (2017). *Incidencia del esguince grado I de tobillo en jugadores de futsal del equipo Bello Real Antioquia, entre diciembre de 2016 y junio de 2017* [Trabajo de grado, Fundación Universitaria María Cano]. Repositorio FUMC. https://repositorio.fumc.edu.co/handle/fumc/302
- Llerena Padilla, D. C. (2019). Revisión sobre los factores de riesgo extrínsecos en lesiones deportivas. *Revista Arbitrada de Investigación en Ciencias Sociales, Jurídicas y Humanidades, 9*(2), 45–56. https://www.redalyc.org/journal/3438/343862974004/movil/?
- Derecho Deportivo Colombiano. (2024). Sentencia SU396/2024. *Derecho Deportivo Colombiano*. https://www.derechodeportivocolombiano.com.co/repository/sentenciascc-081su3962024.php?
- Hertel, J. (2015). Management and prevention of acute and chronic lateral ankle instability in athletic patient populations. *World Journal of Orthopedics, 6*(2), 161–171. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4363799/?
- Universidad Javeriana. (2023). Efectividad de un programa de ejercicios propioceptivos en la recuperación de esguinces de tobillo. *Revista Gerencia y Políticas de Salud, 22*(45). https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/RGPS/22%282023%29/68725860001/index.html?
- Physio-pedia. (s.f.). *Stress tests for Ankle ligaments*. https://www.physio-pedia.com/Stress_tests_for_Ankle_ligaments?
- Wikstrom, E. A., Hubbard-Turner, T., McKeon, P. O., & Turner, M. J. (2019). Ankle sprains and lateral ankle instability: A comprehensive update. *Journal of*

Athletic Training, 54(6), 582–590. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6602396

- *Vista de Abordaje del esguince de tobillo para el médico general | Salud UIS*. (s. f.). https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/4684/5300
- Ordóñez-Flores, A. R., Rivera-Sánchez, J. J., Jiménez-Baez, M. V., Rojano-Mejía, D., Moreno-Tovar, M. G., & Guerrero-Martínez, A. I. (2024). Comparación de costos y oportunidad de la atención del esguince de tobillo en dos sistemas de atención de primer nivel. *Cirugía y Cirujanos*, *92*(6). https://doi.org/10.24875/ciru.23000024
- Athar, M. (s. f.). *Lesiones de tobillo en diferentes deportes - Ortopedia Completa*. Complete Orthopedics & Podiatry | Multiple NY Locations. https://www.cortho.org/es/cirugia-de-pie-y-tobillo/lesiones-de-tobillo-en-diferentes-deportes/?
- Clínica de Fracturas Cali. (s.f.). *Clínica de Fracturas Cali*. https://clinicadefracturascali.com
  Clínica de Fracturas Palmira. (s.f.). *Clínica de Fracturas Palmira*. https://clinicadefracturaspalmira.co
- Bautista, F. (2003). “Tratamiento de esguinces de tobillo en jugadores de fútbol”. https://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/tc049106.pdf
- González, L; Costa, I; Cibrián, A. (2017) Incidencia de lesiones deportivas en jugadores y jugadoras de baloncesto amateur. https://www.redalyc.org/pdf/542/54251450006.pdf
- Hamburger, R; Ávila, A. (2018). Prevención del esguince de tobillo a través del uso de ejercicios propioceptivos en los jugadores de fútbol amateur de la ciudad de Sincelejo.

https://repositorio.cecar.edu.co/server/api/core/bitstreams/11f715d3-5e49-479d-a4df-8c22d5cfaf47/content

- Sánchez, J; Caballero, J; Ojeda, M; García, R; Valdivielso, M; Navarro, R. (2013). Fracturas de tobillo en deportistas. Estudio epidemiológico. https://www.redalyc.org/pdf/542/54227414004.pdf?
- Hurtado, C. (2019). Pliometría acuática en la rehabilitación de tobillo en deportistas amateur. https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000804688/3/0804688.pdf
- Gribble, P. A., Bleakley, C. M., Caulfield, B. M., Docherty, C. L., Fourchet, F., Fong, D. T., ... & Delahunt, E. (2016). 2016 consensus statement of the International Ankle Consortium: prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1493–1495. https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096189
- Herzog, M. M., Kerr, Z. Y., Marshall, S. W., & Wikstrom, E. A. (2019). Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 54(6), 603–610. https://doi.org/10.4085/1062-6050-447-17
- Hubbard-Turner, T., & Turner, M. J. (2015). Physical activity levels in college students with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 50(7), 742–747. https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.3.04
- Hume, P. A., & Gerrard, D. F. (1998). Effectiveness of external ankle support. *British Journal of Sports Medicine*, 32(2), 92–95.

https://doi.org/10.1136/bjsm.32.2.92

- Doherty, C; Delahunt, E; Caulfield, B; Hertel, J; Ryan, J; Bleakley, C. (2013) The Incidence and Prevalence of Ankle Sprain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Epidemiological Studies

  https://www.researchgate.net/publication/257535168_The_Incidence_and_Prevalence_of_Ankle_Sprain_Injury_A_Systematic_Review_and_Meta-Analysis_of_Prospective_Epidemiological_Studies
- Herzog, M. M., Kerr, Z. Y., Marshall, S. W., & Wikstrom, E. A. (2019). Epidemiology of Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *Journal Of Athletic Training*, *54*(6), 603-610. https://doi.org/10.4085/1062-6050-447-17
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. https://www.constitucioncolombia.com/titulo-11/capitulo-1
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *El sistema de salud colombiano*.
- Consejo privado de competitividad. (2023). Informe nacional de competitividad https://compite.com.co/wp-content/uploads/2022/11/CPC_INC_2022_Mercado-laboral.pdf?
- Sánchez, C., Sánchez, C., & Sánchez, C. (2025, 5 marzo). El ‘efecto enero’ favorece el dato de empleo en Colombia. *El País América Colombia*. https://elpais.com/america-colombia/2025-03-05/el-efecto-enero-favorece-el-dato-de-empleo-en-colombia.html?
- A, V. V. (2003, 1 noviembre). *Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie*. Revista Española de Reumatología. https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanolareumatologia-29-articulo-anatomia-funcionalbiomecanica-del-tobillo-13055077#:~:text=El%20tobillo%20pres

enta%20un%20movimiento,se%20encuentra%20en%20el%20astr%C3%A1galo

- *UpToDate*. (s. f.). UpToDate. http://www.uptodate.com/contents/ankle-sprain
- Ariza, A. M., V., B, C. C. S., & H, E. H. E. (2021). La rehabilitación funcional en el manejo del esguince de tobillo: una revisión sistemática. *Deleted Journal*, *66*(1), 3-20. https://doi.org/10.59856/arch.soc.chil.med.deporte.v66i1.6
- OIT. (2022). Estudio sobre los servicios de salud en el trabajo en Colombia https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40americas/%40ro-lima/%40sro-lima/documents/publication/wcms_858801.pdf?
- Webmaster. (2023, 21 agosto). Esguince de tobillo. Fisioterapia para la recuperación. *Fisioterapia Derio*. https://fisioterapiaderio.com/esguince-de-tobillo/

- Beaumont, J. P., Nagel, R., & Sherman, R. (2002). Successful Injection Molding: Process, Design, and Simulation. Hanser Publishers.
- Brandrup, J., Immergut, E. H., & Grulke, E. A. (1999). Polymer Handbook (4th ed.). Wiley-Interscience.
- Brydson, J. A. (1999). Plastics Materials (7th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Osswald, T. A., & Menges, G. (2012). Materials Science of Polymers for Engineers (3rd ed.). Hanser Publishers.
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2013). Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine (3rd ed.). Academic Press.

21. Anexos

Los anexos del proyecto tienen como finalidad complementar y respaldar el desarrollo teórico, metodológico y proyectual presentado a lo largo del documento, aportando información técnica y gráfica que permite una comprensión más profunda del proceso y de los resultados obtenidos.

21.1 Árbol temático:

Se incorpora un anexo correspondiente a la fase del análisis contextual, en el cual se documenta el proceso inicial de investigación. Este anexo consta de un esquema general en donde incluye toda la información pertinente para empezar una investigación más a fondo, dando origen a la definición del problema y a los lineamientos generales del proyecto. Su inclusión permite evidenciar las decisiones tomadas y la evolución del enfoque a lo largo del desarrollo del trabajo.

Link del anexo:

https://drive.google.com/drive/folders/1PhmFXolxyT_pkCXQkxwDHGt_jrzhZp8S?usp=sharing

21.2 Planos técnicos del proyecto:

Se incluyen los planos técnicos de los módulos del sistema de rehabilitación, donde se detallan dimensiones, vistas, componentes y relaciones constructivas de cada elemento. Estos planos permiten comprender la configuración física del sistema, su lógica modular y los criterios técnicos aplicados en el diseño, sirviendo como soporte para una posible fabricación, validación o desarrollo futuro.

Link del anexo:

https://drive.google.com/drive/folders/1Ck34tG9JLE6Anc1zX5kTQ0de4RsPEXc6?usp=sharing

21.3 Manual de uso:

Finalmente, se incluye un anexo del manual de uso del sistema, el cual describe de manera clara y estructurada la forma correcta de utilizar los módulos, su distribución, secuencia de uso por fases de rehabilitación, advertencias, mantenimiento y recomendaciones generales. Este manual cumple la función de guiar tanto al usuario final como al profesional de la salud, asegurando un uso seguro, adecuado y coherente con los objetivos terapéuticos del proyecto.

Link del anexo:

https://drive.google.com/drive/folders/15LwR8FE-3hvvzJlWgSPi8HJ1Lft_ftyV?usp=sharing

En conjunto, estos anexos fortalecen la claridad, trazabilidad y validez del proyecto, aportando información complementaria que respalda su aplicación práctica y su proyección futura.