



Diseño Y Desarrollo De Un Dispositivo Funcional Para Terapia De Tobillo

Autor:

Geraldine Manrique Baldovino

**Trabajo de grado como pre-requisito como obtención del título de tecnología en
electromedicina**

Directores:

Daniel Alcázar Franco

Camilo González Oiler

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Biomédica

Barranquilla

2021



Diseño Y Desarrollo De Un Dispositivo Funcional Para Terapia De Tobillo

Geraldine Manrique Baldovino

Directores:

Daniel Alcázar Franco

Camilo González Oiler

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Biomédica

Barranquilla

2021

Índice

Introducción	1
Planteamiento del Problema	3
Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
Justificación	6
Marco Teórico.....	8
<i>Historia</i>	8
<i>Músculos del tobillo y el pie</i>	9
<i>Arterias del tobillo</i>	16
<i>Biomecánica</i>	16
<i>Movimientos del tobillo</i>	17
<i>Morfotipos y lesiones</i>	19
<i>Fisiopatología del esguince lateral de tobillo</i>	21
<i>Diagnóstico de esguince crónico de tobillo</i>	23
<i>Inestabilidad crónica de tobillo: mecánica y funcional</i>	25
<i>Tipos de Tratamiento para esguince de tobillo</i>	27
<i>Técnicas Actuales Para La Rehabilitación Del Tobillo</i>	28
Marco Empírico.....	29
Estado del Arte o Antecedentes.....	42
Marco Conceptual.....	49
Marco Legal.....	51
Metodología	54
<i>Tipo de Investigación</i>	54
<i>Tipo de Estudio</i>	55
Diseño	56
Materiales y Métodos	57
<i>Técnicas Para Recolección De La Información</i>	57
Procedimiento.....	64
Resultados	65
Planos.....	68
Diseño 3D	73

Esquema Eléctrico	74
Prototipo	75
Discusión.....	76
Conclusiones y Recomendaciones	76
Referencias.....	77
Anexos	81

Listado de Tablas

Tabla 1. Intervalos de movimientos de tobillo.....	18
Tabla 2. Lesiones relacionadas con el morfotipo o alteración anatómica del pie.....	20
Tabla 3. Análisis de artículos científicos	44
Tabla 4. Materiales Utilizados en la elaboración del prototipo	63
Tabla 5. Requerimiento y descripción de las especificaciones deseadas.....	65
Tabla 6. Alternativas escogidas para llegar al prototipo deseado	66

Listado de Figuras

Imagen 1. Ligamentos mediales de la articulación tibiotalar.....	10
Imagen 2. (a) Planos del cuerpo humano y (b) planos del conjunto tobillo	17
Imagen 3. (a) Movimientos en eje sagital y (b) en el eje frontal	18
Imagen 4. Representación gráfica de los resultados obtenidos de la encuesta en la pregunta 2. 29	
Imagen 5. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta a la pregunta 5....	32
Imagen 6. Representación grafica de los resultados obtenidos de la pregunta 8.	34
Imagen 7. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 9	35
Imagen 8. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 10	36
Imagen 9. Representación grafica de los resultados obtenidos en la pregunta 13	37
Imagen 10. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 14	39
Imagen 11. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 17	41
Imagen 12. Dispositivo existente en el mercado 1	45
Imagen 13. Dispositivo existente en el mercado 2.....	46
Imagen 14. Dispositivo existente en el mercado 3.....	46
Imagen 15. Dispositivo existente en el mercado 4.....	47
Imagen 16. Dispositivo existente en el mercado 5.....	48
Imagen 17. Representación gráfica las edades y cuantas estas presentan lesiones.....	53
Imagen 18. Arduino Nano.....	58
Imagen 19. Actuador Lineal.....	59
Imagen 20. Driver Controlador de Motor A4988.	60
Imagen 21. Triplex de madera para base y soporte.....	61
Imagen 22. Listones de madera para los brazos el prototipo	62
Imagen 23. Base del Rehabilitador de Tobillo.....	68
Imagen 24. Vástago.....	69
Imagen 25. Pieza	70
Imagen 26. Pieza 2	71
Imagen 27. Pieza 3	72
Imagen 28. Diseño 3D Del Dispositivo Rehabilitador De Tobillo	73
Imagen 29. Representación esquemática del sistema eléctrico del prototipo	74
Imagen 30. Prototipo para el rehabilitador de tobillo	75

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. Media Aritmetica	30
Ecuación 2. Varianza	31
Ecuación 3. Desviacion Estandar	31

Listado de Anexos

Anexo 1. Encuesta Realizada	81
Anexo 2. Resultados Obtenidos En La Encuesta.....	84
Anexo 3. Código De Prototipo Rehabilitador De Tobillo.....	88

Resumen

En el proyecto presentado, se diseñó y desarrollo un prototipo capaz de ayudar a la recuperación adecuada en la población de los deportistas que son las personas más expuestas a las consecuencias que trae consigo las lesiones de tobillo y por tanto requieren una recuperación en un menor tiempo.

El esguince de tobillo es una lesión que se produce una torcedura que afecta los ligamentos que se encuentran en la parte inferior de la pierna donde estos se conectan con el pie. Los esguinces de tobillo se clasifican dependiendo del grado de severidad y las estructuras afectadas.

Se opta por la realización de un dispositivo funcional para la terapia de tobillo ya que en Colombia hay escasa tecnología de rehabilitación de tobillo además de ser costosas.

Y como producto de esta investigación se construyó un prototipo capaz de ejecutar las funciones de los movimientos del pie en dorsiflexión-plantarflexión, como también los de inversión-eversión y abducción-aducción. El prototipo ejecutara estos movimientos mediante un sistema electromecánico que costa con la tarjeta Arduino, actuador lineal, el controlador del motor y chasis.

Palabras clave: rehabilitador, Arduino, esguince.

Abstract

The purpose of the present research is to design a prototype capable of helping the adequate recovery in the population of athletes who are the people most exposed to the consequences of ankle injuries and therefore require recovery in a shorter time.

An ankle sprain is a sprained injury that affects the ligaments found in the lower leg where they connect to the foot. Ankle sprains are classified depending on the degree of severity and the structures affected.

The choice is made to carry out a functional device for ankle therapy since in Colombia there is little ankle rehabilitation technology in addition to being expensive.

And as a result of this research, a prototype was built capable of executing the functions of the foot movements in dorsiflexion-plantarflexion, as well as those of inversion-eversion and abduction-adduction. The prototype will execute these movements through an electromechanical system that costs the Arduino board, linear actuator, the motor controller and chassis.

Keyword's; rehabilitator, Arduino, sprain.

Introducción

Las lesiones en el tobillo se produce una distensión que afecta los ligamentos que se encuentran en la parte inferior de la pierna donde estos se conectan con el pie. Rojas et al., definen los esguinces de tobillo por su grado de severidad y las estructuras que llegan a ser afectadas.

El esguince de tobillo es una lesión de los ligamentos alrededor del tobillo; se clasifican dependiendo del grado de severidad y las estructuras afectadas. los mecanismos de lesión se relacionan con posiciones en inversión o eversión, por lo que es común que ocurra durante prácticas deportivas. Sus principales manifestaciones son el dolor, el edema y la limitación en diversos grados para la marcha. (2004, p.437)

Para Rincón et al., las lesiones de tobillo son las más frecuentes en los servicios de urgencias: “Ya que suele ser una de las lesiones músculo esqueléticas más frecuentes en los servicios de urgencias tanto para la población general como en deportistas, reportándose en algunas series hasta en el 30 % de las lesiones deportivas” (2015, p.86).

Según Ruano et al., el esguince de tobillo es una lesión infravalorada.

“El esguince de tobillo suele ser una lesión infravalorada tanto por el médico como por el propio paciente, y por tanto a veces se trata de forma insuficiente, siendo motivo de lesiones residuales, tumefacciones crónicas e inestabilidad articular” (2010, p.1).

La ingeniería de la rehabilitación se ha venido teniendo en cuenta porque se busca ayudar a mejorar el funcionamiento físico de diferentes partes del cuerpo. Cerón et al., nos explica las razones por las que se han desarrollado tecnologías para la rehabilitación.

Existen múltiples razones científicas, sociales y por supuesto clínicas para continuar investigando y desarrollando tecnología apropiada para la rehabilitación de cualquier articulación. Muchas instituciones están en constante desarrollo en la búsqueda de nuevos instrumentos que ayuden a fortalecer partes del cuerpo humano, tales como: rodilla, cadera, brazos, tobillos entre otros.

En las últimas décadas, se han aprovechado nuevas tecnologías con la finalidad de emplearlos en el diseño construcción de máquinas, dispositivos y equipos rehabilitadores para emplearlos en el área en la Terapia Física. (2016, p.1)

La investigación se llevó a cabo manejó del modo que se divido por etapas. La primera etapa se realizó la búsqueda de información bibliográfica y análisis de la literatura sobre estado de arte, en donde se tuvo en cuenta el contenido de artículos científicos enfocados al diseño de dispositivos para rehabilitación de tobillo para plantearse el diseño de un prototipo que ayude a los movimientos del pie en dorsiflexión-plantarflexión, como también inversión-eversión y abducción-aducción. Con ello se sigue a una segunda etapa exploratoria, la cual se enfoca en la parte experimental dando un acercamiento a la problemática e identificando los materiales adecuados, las estadísticas de los casos estudios ya antes investigados, para así poder continuar con la realización esquemática del diseño que se propone.

Planteamiento del Problema

En la investigación teórica y de campo que se realizó se observó que los esguinces de tobillo u otras lesiones en el tobillo se puede presentar una inestabilidad que conlleva a recurrentes lesiones por no haber ejecutado una rehabilitación apropiada. Se logró identificar que las lesiones del tobillo son muy frecuentes en los deportistas y en los que se puede ver afectada su carrera deportiva si no se tiene una recuperación en corto tiempo y que el ligamento lesionado pueda ser reforzado para así recuperar la funcionalidad de la articulación.

Las lesiones que afectan el tobillo son frecuentes en servicios de urgencias y tan desvaloradas por la población en general y los deportistas siendo estos últimos los más perjudicados al no tener un adecuado tratamiento. En el estudio realizado por Arboleda et al., nos indican que el esguince de tobillo es la patología musculo esquelética con más prevalencia en el mundo deportivo.

El esguince de tobillo es una de las patologías musculo esqueléticas con más prevalencia en el mundo deportivo y en la población en general; se estima que existe un caso por cada 10.000 personas que practican algún tipo de deporte por día; en el fútbol, un gran porcentaje de los jugadores tienden a sufrir esta patología, aproximadamente un 16%-23%, y de este valor un 77% son en la parte lateral; el ligamento más afectado es el talo fibular en un 73%. Teniendo en cuenta las consecuencias adquiridas posteriores a un esguince de tobillo, se ha descrito que el 30,2% de los deportistas presentaran dolor residual, y un 24,4% manifestaran inestabilidad crónica de tobillo, posterior a la lesión. (2017, p.68)

Para este proyecto se logró identificar una secuencia de problemáticas tales como:

- Los esguinces de tobillo son muy recurrentes e infravalorados.
- Un mal tratamiento y rehabilitación del tobillo produce una inestabilidad crónica de tobillo.
- La población más afectada son los deportistas.
- Es muy difícil adquirirlos
- Costosos

Premisa que nos llevó a realizar el siguiente interrogante:

Pregunta Problema: ¿Es posible el diseño y posterior desarrollo de un dispositivo que ayude a la rehabilitación de tobillo con óptimos resultados donde se acorte el tiempo de rehabilitación y el ligamento lesionado pueda ser reforzado para así recuperar la funcionalidad de la articulación?

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo funcional para terapia de tobillo que contribuya con el tratamiento para la rehabilitación de esguinces.

Objetivos Específicos

- Diseñar un dispositivo para rehabilitación de terapia de tobillo.
- Construir el diseño teniendo en cuenta como especificaciones los grados de movimiento del tobillo.
- Realizar pruebas que validen el funcionamiento del dispositivo.

Justificación

Los seres humanos ocasionalmente pueden sufrir incidentes traumáticos que pueden ocasionar daño muscular permanente, la articulación del tobillo es una de las estructuras de mayor soporte de peso del cuerpo humano, por ello es importante contar con una rehabilitación adecuada, la cual permite a través de la fisioterapia recuperar las habilidades físicas perdidas a causa de un incidente traumático. Para ello es de gran interés desarrollar máquinas y dispositivos que ayuden a rehabilitar y fortalecer la parte afectada, absorber el esfuerzo físico y repetitivo de la terapia, y ofrecer una mayor diversidad de terapias personalizadas con movimientos precisos y seguros (Guzmán et al.,2014).

Colombia es un país que está empezando a recorrer el camino respecto a los programas de pregrados relacionados con biomédica. Según la base de datos del Ministerio de Educación Nacional de Colombia, existen 16 programas activos de pregrado de Ingeniería Biomédica (además de 4 programas de maestrías). No existen programas de doctorado relacionado. En el departamento del Atlántico (Barranquilla) la Corporación Universitaria Reformada (CUR) y la Universidad Simón Bolívar son las únicas que ofrecen el programa de Ingeniería Biomédica. El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) ofrece el único programa de Tecnología en Desarrollo y Adaptación de Prótesis y Órtesis, el cual forma tecnólogos enfocados en las necesidades de la población con discapacidad, donde aprenden a desarrollar elementos protésicos sobre medidas para extremidades superiores e inferiores.

En el área fisioterapeuta Botero et al., tras su investigación explica que el esguince de tobillo es una de las lesiones más frecuentes tanto en el área deportiva como en la población en general.

El esguince de tobillo es una de las patologías músculo esqueléticas con más prevalencia en el mundo deportivo y en la población en general; se estima que existe un caso por cada 10.000 personas que practican algún tipo de deporte por día; en el fútbol, un gran porcentaje de los jugadores tienden a sufrir esta patología, aproximadamente un 16-23%, y de este valor un 77% son en la parte lateral; el ligamento más afectado es el talo fibular anterior en un 73%.

Teniendo en cuenta las consecuencias adquiridas posteriores a un esguince de tobillo, se ha descrito que el 30,2% de los deportistas presentarán dolor residual, y un 24,4% manifestarán inestabilidad crónica de tobillo, posterior a la lesión (2017, p. 68).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los esquinces de tobillos al igual que otros trastornos musculoesqueléticos tiene un coste social y sanitarios significativo, si bien su gran variedad y las limitaciones del sistema de vigilancia sanitaria dificultan la medición de sus costos asociados.

Un área muy importante dentro de la medicina es la rehabilitación, en Colombia los rehabilitadores de tobillo son escasos y no han evolucionado, de tal forma que la minoría de rehabilitares con los que cuenta el país son equipos de tipo manual, esto se debe a que los equipos automáticos y programables que existen y se consideran eficientes son diseñados y desarrollados en Europa y su costo es eminente.

De modo que el desarrollo de un rehabilitador automático en Colombia sería rentable debido a que en la actualidad no hay competencia significativa, si se logra bajar el costo de la producción de esta manera el equipo puede ser accesible para la población. El desarrollo de este proyecto tiene por objeto reducir costos.

Marco Teórico

Se realiza una búsqueda de los referentes teóricos en bases de datos de artículos científicos, para la identificación de características, historia, lesiones de esguince de tobillo, sus complicaciones, tratamiento y rehabilitación de tobillo.

Historia

Al hablar de la historia se encuentran antecedentes en el uso de agentes físicos con fines terapéuticos. Desde épocas primitivas se realizaban diferentes técnicas, donde contrarrestaban las enfermedades por medio de rituales mágicos y religiosos.

Hipócrates impulso la autocuración, incorporando el movimiento como agente terapéutico, también la gimnasia, con la finalidad de prepararlos para la caza, el deporte y la guerra.

Al iniciar la edad media existían médicos musulmanes, que en sus textos describían agentes físicos como masajes, tracciones, ejercicios y manipulaciones para afecciones reumáticas y de columna.

Al pasar los años la medicina fue evolucionando en donde se fueron desarrollando cirugías para ayudar a la rehabilitación de tobillo, es por lo que se afirma que la fisioterapia y la medicina tienen un tronco en común. (Cañaris, 2018, p. 7)

Músculos del tobillo y el pie

El pie y el tobillo están formados por los veintiséis huesos individuales del pie, junto con los huesos largos del miembro inferior para formar un total de treinta y tres articulaciones. Aunque a menudo se la denomina "articulación del tobillo", hay varias articulaciones que facilitan el movimiento del pie. El complejo de la articulación del tobillo está formado por la articulación astrágalo calcánea (subastragalina), tibiotalar (talocrural) y transverso-tarsal (astrágalo calcáneo navicular).

La articulación subastragalina: El calcáneo es el hueso más grande, más fuerte y posterior del pie y proporciona unión para el tendón de Aquiles. Se ubica en la parte inferior del astrágalo y forma una articulación uniaxial triplanar con el astrágalo. El astrágalo descansa sobre la porción anterior del calcáneo. En esta articulación se proporciona la mayor parte de la eversión e inversión del pie. El vínculo clave entre las dos superficies óseas es el ligamento astrágalo-calcáneo interóseo, un ligamento fuerte y grueso que se extiende desde las facetas articulares del astrágalo inferior hasta la superficie superior del calcáneo. Otros dos ligamentos, el ligamento astrágalo calcáneo lateral y el ligamento astrágalo calcáneo anterior también contribuyen a la conexión de esta articulación, sin embargo, estos son relativamente débiles.

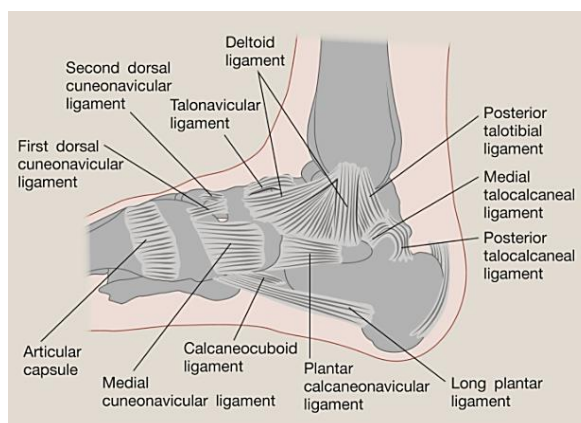
La articulación tibiotalar: La articulación tibiotalar o también llamada articulación talocrural forma la unión entre la tibia distal y el peroné de la parte inferior de la pierna y el astrágalo. El aspecto de carga de esta articulación es la interfaz tibial-astragalina. El astrágalo incluye la cabeza, el cuello y el cuerpo y no tiene conexión muscular directa. La tróclea del astrágalo encaja en la mortaja formada por los extremos distales de los huesos largos de la

espinilla. Los maléolos de la tibia y el peroné actúan para constreñir el astrágalo, de modo que la articulación funciona como una articulación en bisagra y contribuye principalmente al movimiento de flexión plantar y dorsal del pie. Se considera que la geometría conforme de la articulación tibioastragalina contribuye a la estabilidad de la articulación. En la fase de apoyo, la geometría de la articulación por sí sola es suficiente para proporcionar resistencia a la eversión; de lo contrario, la estabilidad se deriva de las estructuras de los tejidos blandos.

La estabilidad se da a la articulación a través de tres grupos de ligamentos. La sindesmosis tibiofibular limita el movimiento entre la tibia y el peroné durante las actividades de la vida diaria, manteniendo la estabilidad entre los extremos del hueso. La sindesmosis consta de tres partes: el ligamento tibiofibular anterior, el ligamento tibiofibular posterior y la articulación tibiofibular interósea. La cara medial de esta articulación del tobillo está sostenida por los ligamentos colaterales medial (o ligamentos deltoides) y estos son clave para resistir el movimiento de eversión y las tensiones en valgo dentro de la articulación (Imagen 1). El ligamento deltoides tiene forma de abanico comprende los ligamentos tibiotalar anterior y posterior, el ligamento tibioesvicular y el ligamento tibiocalcáneo. Los ligamentos colaterales laterales reducen la inversión de la articulación, limitan las tensiones en varo y reducen la rotación. Consisten en los ligamentos talofibular anterior y posterior y el ligamento calcaneofibular. Los ligamentos anterior y posterior resisten altas fuerzas de tracción en flexión plantar y dorsal, respectivamente. Estos ligamentos proporcionan estabilidad a la articulación tibiotalar lateral, y se dañan con frecuencia durante las lesiones por inversión, como el esguince de tobillo.

Imagen 1.

Ligamentos mediales de la articulación tibiotalar.



Nota: Imagen obtenida de (Brockett et al., 2016).

Articulación tibiofibular inferior: La función principal de esta articulación es una función estabilizadora, que agrega estabilidad, en lugar de movimiento adicional al pie y el tobillo. Los ligamentos tibiofibulares anterior y posterior y el ligamento interóseo mantienen la articulación entre la tibia y el peroné. La restricción ligamentosa de la articulación la hace muy susceptible a lesiones y, a menudo, está involucrada en fracturas de tobillo y lesiones por eversión.

Articulación tarsal transversal: La articulación transversa del tarso (articulación de Chopart) combina la unión entre el astrágalo y el escafoides, donde anteriormente, la cabeza del astrágalo se articula con la cara posterior del escafoides, y la articulación calcáneo-cuboidea, la articulación entre el calcáneo y el cuboides. La articulación tarsiana transversal se considera parte de la misma unidad funcional que la articulación subastragalina, ya que

comparten un eje de movimiento lo que también contribuye al movimiento de eversión-inversión del pie (Brockett et al., 2016).

Los músculos que ayudan en el movimiento del tobillo y el pie se dividen en músculos extrínsecos, músculos intrínsecos y flexores plantares:

Músculos extrínsecos: del pie son los encargados del movimiento del tobillo y pie. Aunque están en la pierna, ejercen su tracción tirando de las inserciones óseas de tobillo y pie. Consiguen los movimientos de flexión dorsal, flexión plantar, inversión y eversión del pie.

Músculos intrínsecos: del pie son los que, situados en el mismo pie, consiguen los movimientos de los dedos: flexión, extensión, abducción y aducción.

Flexores plantares: Son los que traccionan del pie hacia atrás. Están situados por lo tanto en la parte posterior de la pierna, en la pantorrilla. Son el sóleo y los gemelos con el tendón de Aquiles, que es común a ambos.

Gemelos: Formado por 2 cabezas, una externa y otra interna, de las cuáles la interna es la más alta y gruesa. También se denominan gastronemios.

- Origen: El gemelo interno: en la cara posterosuperior del cóndilo femoral interno, mucho más alto que el origen del gemelo externo.
- El gemelo externo: en la cara posterosuperior del cóndilo femoral externo. Realizan una trayectoria curvilínea para ir a formar el vértice inferior del rombo poplíteo, y van a

terminar continuándose en forma de alas de mariposa con un tendón que también recibe fibras por su cara anterior del músculo soleo y forma el tendón del tríceps o tendón de Aquiles, que constituye el tendón más fuerte del organismo. Éste se dirige hacia la apófisis posterior del calcáneo para ir a fijarse.

- Inserción: En la cara posteroplantar del calcáneo, aunque no de forma rectilínea, sino con una inclinación hacia fuera que explica sus acciones.
- Función: Extensor del tobillo con tendencia a la inversión.

La posición de máxima eficacia de los gemelos se da con la rodilla extendida y el tobillo flexionado, ya que los gemelos son músculos biarticulares. Si se realiza una impulsión con las rodillas flexionadas la eficacia es menor.

La posición de pie es muy activa, puesto que la rodilla está extendida y el tríceps está tenso, por lo que cuando se produce un pequeño desequilibrio se tolera perfectamente.

Sóleo: se originan dos tercios superiores de las caras posteriores de la tibia y del peroné.

- Inserción: La cara posterior del calcáneo.
- nervación: Una rama del nervio tibial posterior que contiene fibras procedentes del primero y segundo nervios.
- Función/acción: Flexión plantar del pie.
- Palpación: Debajo de los gemelos, a nivel del borde externo del miembro inferior.
- Flexores dorsales: Son los que levantan el pie hacia arriba y están situados en la cara anterior de la pierna. Son el tibial anterior, el peroneo anterior y el extensor común de los dedos.

Peroneo anterior: Se trata de un pequeño vientre muscular.

- Origen: En el tendón que va al 5º dedo.
- Inserción: En el tendón que va al 5º dedo.
- Función: Flexor del tobillo, pronador y abductor. Cuando se contrae juntamente con el músculo tibial anterior anulan sus acciones contrarias y realizan flexión pura, lo cual es más notorio si el pie está fijo (como en el caso del ciclismo, del remo).

Extensor largo común de los dedos: Se encuentra más hacia fuera que el tibial anterior.

- Origen: En la tuberosidad externa de la tibia, en los $\frac{3}{4}$ superiores de la cresta anterior del peroné y membrana interósea. Se crea un tendón semipenniforme que se divide en 2 tendones: uno que va al 2º dedo y el otro que más adelante se va a dividir en 3 tendones que se dirigen al 3º, 4º y 5º 17 dedo. Del tendón que va al 5º dedo aparecen unas pequeñas fibras musculares que forman un músculo independiente denominado peroneo anterior, el cual va a terminar en el propio tendón del 5º dedo.
- Inserción: Todos estos tendones terminan en la aponeurosis dorsal del dedo respectivo, asociándose a los tendones del músculo extensor corto.
- Función. - Flexor del tobillo, pronador y abductor. Si el pie está fijo es agonista del tibial anterior para producir flexión del tobillo y si el pie está móvil es sinérgico antagonista del tibial anterior.
- Inversores del pie. El tibial anterior se inserta en el primer metatarsiano y la primera cuña.

Tibial anterior: se origina dos tercios superiores de la cara externa de la tibia.

- Inserción: Cara interna de la primera cuña y extremidad posterior del primer metatarsiano.
- Inervación: Una rama del nervio tibial anterior, con fibras procedentes de los nervios lumbares cuarto, quinto, y primer nervio sacro.
- Función/acción: Flexión dorsal, aducción e inversión.
- Eversores del pie. El peroneo lateral largo y el peroneo lateral corto se insertan en la primera cuña y base del primer metatarsiano mientras que el peroneo anterior se inserta en las bases del cuarto y quinto.

Peroneo lateral largo: Ocupa el relieve externo de la pierna.

- Origen: En la tuberosidad externa de la tibia y en la cabeza del peroné. Se forma un tendón penniforme que pasa por detrás del maléolo peroneo, se dirige hacia la cara plantar del cuboides y se engancha en un saliente que tiene el cuboides, atravesando la cara plantar del pie para ir a fijarse.
- Inserción: En la cara plantar de la 1ª cuña y del I metatarsiano.
- Función: Extensor del tobillo, abductor, pronador y estabilizador de los arcos plantares.

Peroneo lateral corto: Se encuentra pegado a la cara externa del extensor del 1º dedo.

- Origen: En el 1/3 medio de la cara externa del peroné. Desde ahí se forma un tendón peniforme que se conduce hacia la cara externa del maléolo peroneo.

- Inserción: En la apófisis estiloides del quinto metatarsiano.
- Función: Extensor del tobillo, pronador, abductor y eversor del tobillo.

Arterias del tobillo

El tobillo y el pie se abastecen por tres arterias principales:

Arteria tibial posterior: se divide en las ramas plantares medial y lateral por debajo del sustentáculo.

Arteria peronea: sale del tronco tibioperoneo y forma la arteria perforante, que atraviesa la membrana interósea en el tercio distal de la pierna.

Arteria tibial anterior: sale de la poplítea debajo de la rodilla y baja por el compartimento anterior de la pierna. Se anastomosa de modo variable con la rama perforante de la arteria peronea para formar la arteria dorsal del pie.

Arcadas plantares: Las arterias plantares medial y lateral se ramifican en ramas superficial y profunda, que se anastomosan distalmente en el medio pie para formar las arcadas plantares superficial y profunda (Zárate et al., p.15-18,2017).

Biomecánica

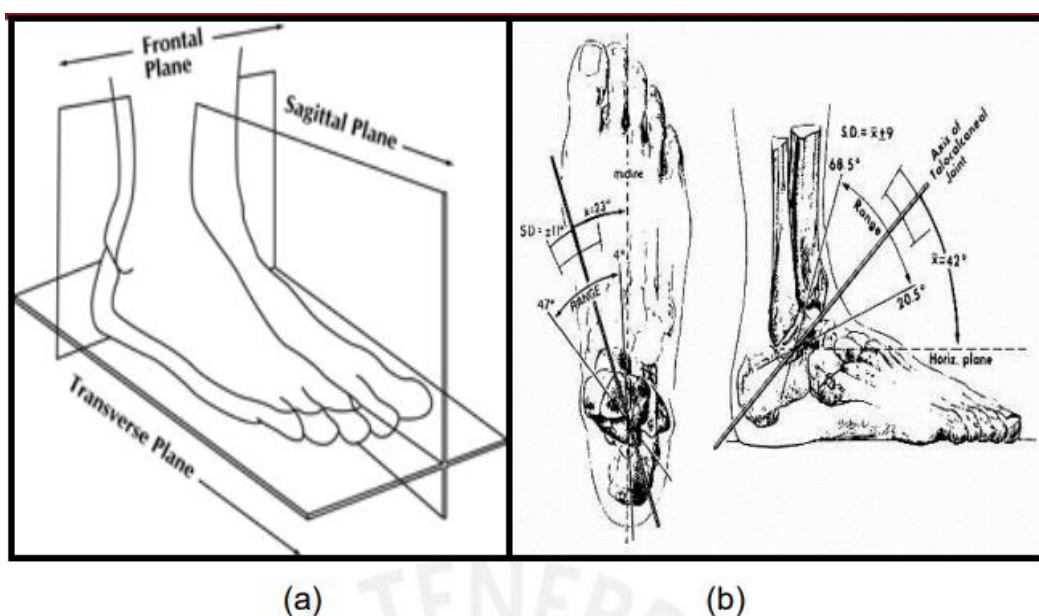
Debido a que el tobillo apoya dos de las principales funciones motrices del cuerpo, la rotación del pie y el soporte de la carga axial derivada del peso corporal, esta articulación se compone de otras articulaciones, que la hacen una estructura bastante compleja, pero muy completa a la vez, para poder cumplir con sus movimientos de dorsiflexión, plantiflexión, inversión y eversión del pie. (Diaz et al., p.84,2015).

Movimientos del tobillo

Existen tres planos en los cuales el cuerpo humano realiza sus movimientos: plano sagital, frontal y transverso, en la imagen 2a se muestran estos planos y sus orientaciones con respecto al cuerpo humano. A diferencia del resto del cuerpo humano los movimientos del conjunto tobillo – pie se realizan en un planos frontal y sagital rotados 23° y 42° respectivamente (estas rotaciones se observan en la imagen 2b. Los movimientos del conjunto, tal como se muestra en la imagen 3 son conocidos como dorsiflexión y flexión plantar, plano sagital; eversión e inversión, plano frontal; y finalmente abducción y aducción en el plano transversal. El tobillo es el responsable de los movimientos del plano sagital y frontal, mientras que el pie es el encargado de los realizados en el plano transversal (Paredes et al., p.11,2014).

Imagen 2.

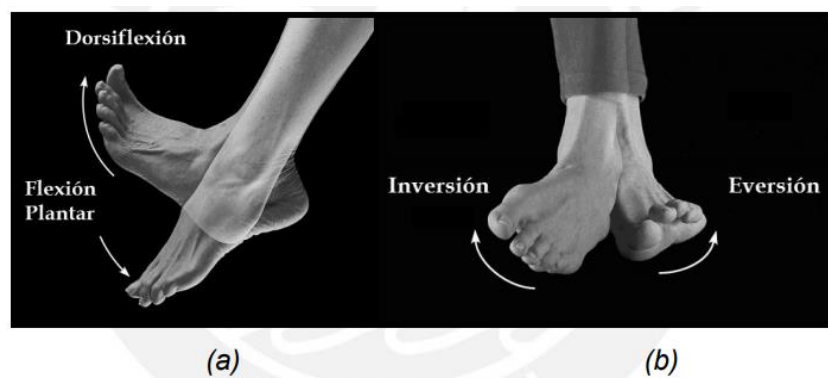
(a) Planos del cuerpo humano y (b) planos del conjunto tobillo.



Nota: Imagen obtenida de (Paredes et al., p.12,2014)

Imagen 3.

(a) Movimientos en eje sagital y (b) en el eje frontal.



Nota: Imagen obtenida de (Paredes et al., p.12,2014)

En la Tabla 1 se muestra los tipos de movimientos que realiza el tobillo y los ángulos normales de rotación.

Tabla 1.

Intervalos de movimientos de tobillo.

Intervalos de movimiento de tobillo según tipo de movimiento	Movimiento máximo
Dorsiflexión	20.3° a 29. 8°
Plantarflexión	37.6° a 45. 8°
Inversión	14.5° a 22. 0°
Eversión	10.0° a 17. 0°
Abducción	15.4° a 25. 9°
Aducción	22.0° a 36. 0°

Nota: Tabla obtenida de (Cerón et al., p.12,2016)

Morfotipos y lesiones

Idealmente en el deporte, el pie óptimo es aquel en un discreto valgo, de alrededor de 5° de pronación, con una bóveda en ligero cavo, pero elástica, y un apoyo metatarsal regular; sin embargo, cualquier pie puede ser apto para toda clase de deporte debido a su capacidad ilimitada de adaptarse. Algunos morfotipos o alteraciones anatómicas del pie se han relacionado con patologías del miembro pélvico, así como disminución de la capacidad deportiva (tabla 2). Con lo mencionado previamente y entendiendo las alteraciones biomecánicas, podemos concluir que el tratamiento conservador con uso de plantillas en los pacientes con pie plano es aquel que disminuye la movilidad de la articulación subastragalina, mientras que, en el pie cavo, sería aquel que amortigüe el impacto del pie.

Hay que tener en cuenta que en aquellos pacientes deportistas con pie plano debemos ser precavidos, ya que pueden presentar lesiones en los tobillos al frenar súbitamente de lado. También hay alteraciones secundarias al tipo de deporte y que son necesarias para el desempeño de este, como es el caso de los dedos en garra secundarios a la hipertonía de la musculatura flexora y extensora de los dedos, importante para el despegue en la carrera y salto o el pie cavo por hipertonía muscular (Hernández et al., p. 9-11, 2016).

Tabla 2.

Lesiones relacionadas con el morfotipo o alteración anatómica del pie.

<i>Morfotipo o alteración</i>	<i>Lesión o gesto deportivo afectado</i>	<i>Mecanismo</i>
Pie plano pronado	Disminución en la fuerza de despegue en la carrera	Disminución de la actividad de los tibiales, menor inversión y capacidad de formación de bóveda plantar necesaria para el despegue.
Pie plano	Lesiones por eversión y sobrecarga de partes blandas	Debilidad del tibial posterior
Pie plano Laxitud de ligamentos interóseos subastragalinos (pie plano)	Síndrome del canal tarsiano Síndrome de estrés tibial, síndrome de dolor patelofemoral, tendinitis del tibial posterior	Estiramiento del nervio tibial posterior Contracción refleja de peroneos al realizar sobreesfuerzo debido al excesivo movimiento de la articulación subtalar por hiperpronación
Pie cavo	Disminución de la función amortiguadora en la carrera y salto	Disminución de la eversión necesaria para la amortiguación del pie en superficies irregulares
Pie cavo	Síndrome de fricción de la banda iliotibial, tendinitis de los peroneos, fracturas por estrés, bursitis trocantérica y fascitis plantar. Lesiones por inversión y sobrecarga de las estructuras óseas	Disminución de la movilidad de la articulación subastragalina con disminución de la función amortiguadora del pie y sobrecarga lateral
Pie cavo talo varo	Lesiones por distensión del compartimento lateral	Tendinitis de los peroneos Carrera en supinación compensatoria
Fórmula metatarsal index minus	Fracturas por sobrecarga	Aumento de la carga de los metatarsos 2 al 4
Hallux rigidus		

Hallux valgus	Incapacidad para el despegue en el salto y carrera	Pérdida del movimiento MTT falángico del dedo gordo
Hallux valgus	Dolor e incapacidad en la fase de choque en el velocista y medio fondo Incapacidad para el despegue en el salto y carrera	Fracturas por sobrecarga de los sesamoideos y necrosis aséptica de los mismos
Hallux valgus	Dolor al realizar la fase de batida en el salto Síndrome de dolor patelofemoral	Limitación de la eversión, con disminución de la función amortiguadora del pie y sobrecarga latera
1° MTT elevado, débil Eje tibial externo mayor a 20°	Fracturas por sobrecarga 5 ^a MTT Lesiones de peroneos	Incremento de la carga plantar latera Sobrecarga de los ligamentos externos por rotación interna compensatoria

MTT = metatarso.

Nota: Tabla conseguida de (Hernández et al., p.10,2016).

Fisiopatología del esguince lateral de tobillo

Cuando se produce un esguince, ocurre una distensión ligamentosa que sobrepasa los límites fisiológicos ocasionando microrroturas o roturas completas de los mismos. Además, cambios macroscópicos y microscópicos e incluso los tendones que forman parte de la articulación pueden llegar a afectarse. El cuadro clínico de esta lesión se clasifica dependiendo del grado de afectación que tiene en cuenta la afectación estructural de la zona lesionada, según criterios de gravedad:

Esguince de I grado: los de mayor incidencia junto con los esguinces de grado II. Las fibras de los ligamentos que conforman la articulación sufren un estiramiento sin desgarro

macroscópico o se afectan de manera leve (microdesgarros). Se acompaña de inflamación y sensibilidad dolorosa, sin o con pérdida mínima de la funcionalidad.

Esguince grado II: ocurre una rotura parcial o incompleta de los ligamentos que conforman esta articulación, se afectan menos del 50% de las fibras¹. Los síntomas que acompañan a esta lesión son la equimosis leve, edema de las estructuras afectadas y movimiento y función limitadas parcialmente.

Esguince de III grado: cuando se produce una lesión completa e interrupción de la continuidad de todas las fibras ligamentosas, acompañado de edema y equimosis. Se caracteriza por que se produce una inestabilidad mecánica severa con impotencia funcional.

Dependiendo de la región comprometida se clasifican en:

Esguince lateral externo: es el más frecuente debido a que el mecanismo lesional de inversión y flexión plantar es el más común cuando se producen este tipo de lesiones.

Esguince lateral interno: es el que afecta al LD cuando la lesión es consecuencia de un mecanismo de eversión con flexión dorsal principalmente.

Ante un esguince, se produce un daño a nivel neuromuscular en el cual quedan afectados los receptores del complejo ligamentoso debido al estrés al que se han visto sometidos tras el mecanismo lesional. A nivel neurofisiológico, existe un daño en los mecanorreceptores y disminuye la velocidad de conducción nerviosa. Consecuencia de estas alteraciones disminuye el control postural y la sensación de movimiento que provoca un aumento del riesgo de recidivas y aumenta la probabilidad de la inestabilidad crónica de tobillo (ICT). Además de la afectación ligamentosa también existe una debilidad a nivel de los

músculos peroneos, que participan en la estabilidad de la articulación realizando la eversión, ya que disminuye su fuerza y su velocidad de reacción tras la lesión (Leceta et al., p.3-4,2018).

Diagnóstico de esguince crónico de tobillo

Para dar un diagnóstico fisioterapéutico que según la CIF (Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la discapacidad y de la salud), implantado en 2001, el diagnóstico debe basarse en una correcta anamnesis y en una exploración lo más precoz posible del tobillo lesionado. Se debe hacer varias preguntas al paciente, como las siguientes:

¿Se ha lesionado el tobillo previamente? De ser así, ¿cuándo?

¿Qué tipo de tratamiento recibió para la lesión?

¿Por cuánto tiempo ha tenido dolor?

¿Si hay momentos en los que el dolor empeora o desaparece?

¿Si sintió algún crujido, si pudo seguir realizando la actividad que estaba realizando (deporte, marcha, etc.), si presentó tumefacción y equimosis, si apareció hinchazón, dónde se localizó inicialmente y si se produjo una impotencia funcional, absoluta o no?

¿Si tiene dificultad en las actividades de la vida diaria, deficiencias sobre el control voluntario de los movimientos complejos?

Debemos prestar especial atención si existe el antecedente de esguinces anteriores y si éstos fueron tratados correctamente. Se debe realizar una serie de exámenes para establecer el diagnóstico comenzando por un examen físico.

En la inspección: La inspección empieza con la observación del propio calzado, cuya forma y desgaste nos puede dar ya mucha información. Se valora la forma general del pie y sus posibles alteraciones, tanto del antepié (metatarso varo, deformidades digitales, etc.), como del arco interno y del retropié (calcáneo valgo, calcáneo varo, etc.). También se valora la piel, especialmente de la planta y la presencia de callosidades o helomas, que son signo inequívoco de sobrecarga, sin olvidar que la piel del pie manifiesta a menudo estigmas de muchas enfermedades reumáticas (vasculitis, psoriasis, queratodermia gonocócica, etc.) o procesos infecciosos como la verruga plantar o las micosis interdigitales (pie de atleta), observaremos si hay alguna tumefacción, ya sea localizada o generalizada. Prestaremos especial atención a la existencia de edema, equimosis y deformidad o aumento del perímetro del tobillo afectado. Se le pedirá que mueva el pie y el tobillo para evaluar el rango de movilidad y flexibilidad observar postura espontánea.

La palpación: Evaluar tocando las zonas sensibles y buscaremos signos de inflamación, debe comprender todos aquellos relieves óseos y tendinosos palpables en un tobillo sano, susceptibles de sufrir lesiones o fracturas. Un chasquido audible acompañado de dolor intenso sugiere una lesión importante, así como la existencia de un «clic» en la exploración podría hacernos sospechar la existencia de una lesión osteo condral o una luxación de los tendones peroneos. Evaluar la sensibilidad, evaluar tocando las zonas sensibles y buscaremos signos de inflamación. En algunos casos, pueden ser necesarias otras pruebas, como una gammagrafía ósea, una tomografía computarizada (TC) o una resonancia magnética (RM).

Movilización: La movilidad activa estará condicionada por el grado de lesión y el tiempo de evolución de la lesión. La movilidad pasiva se explora para evaluar el estado de cada uno de las estructuras ligamentosas y el grado de estabilidad articular. Constituye la

exploración que mejor orientará a la confirmación de rotura ligamentosa (Zárate et al., p.29-30,2017).

Inestabilidad crónica de tobillo: mecánica y funcional

La ICT es la complicación más frecuente que surge como consecuencia del déficit propioceptivo que presentan 30-40% de las personas con antecedente de ELT. La ICT es una condición clínica que se caracteriza por la percepción subjetiva de los individuos de un tobillo anormal acompañado de síntomas como; esguinces recurrentes, dolor e inflamación constantes, frecuentes episodios de torceduras del tobillo afecto, y restricciones a la hora de participar en algunas actividades. Se trata de una de las complicaciones más frecuentes del ELT.

La ICT es una alteración que ocurre debido a una mala evolución del esguince de tobillo, impidiendo a los individuos que la padecen regresar a sus actividades al nivel funcional óptimo, el mismo al que se encontraban antes de haber sufrido el ELT. Las alteraciones del equilibrio, la inestabilidad y los esguinces recurrentes habitualmente son catalogados como ICT. Cuando existe una inestabilidad crónica de tobillo, ocurre una alteración a nivel propioceptivo que impide la recuperación completa y la vuelta a todas las actividades, además de aumentar el riesgo de lesiones recurrentes. La propiocepción permite a los individuos tener la sensación de movimiento y ser conscientes de la posición articular. Es un fenómeno sensoriomotor puramente aferente y se mide a través de la sensación de posición articular, kinestesia y la sensación de fuerza.

La alteración de cualquiera de los receptores que quedaron dañados tras la lesión provoca una alteración a nivel propioceptivo que se relaciona con un déficit del control postural

y el equilibrio. Además, algunos estudios han demostrado que la capacidad de mantener el equilibrio durante el apoyo unipodal se ve afectada. Estas condiciones se deben a la falta de aferencias que provienen del sistema visual, vestibular y somatosensorial que mandan información al sistema nervioso central (SNC) asegurando un control postural adecuado, y como consecuencia el equilibrio también se ve afectado. Estas alteraciones pueden ser detectadas y evaluadas mediante distintas herramientas, ya que se han diseñado diferentes pruebas que asocian estos déficits con la ICT.

Como consecuencia del ELT, pueden producirse dos tipos de disfunciones; inestabilidad mecánica (IMT) e inestabilidad funcional (IFT) o el conjunto de ambas. La primera de ellas se ha asociado a una laxitud articular patológica, ya que tiene lugar cuando a la alteración propioceptiva le sucede un compromiso en la laxitud ligamentosa. Como consecuencia el movimiento anormal de la articulación supera los límites fisiológicos. Ocurren una serie de cambios anatómicos como; laxitud patológica, alteración en la artrocinemática, cambios sinoviales y cambios degenerativos que predisponen a la IMT.

La IFT se asocia a un déficit sensoriomotor y neuromuscular que acompaña a la lesión de los ligamentos. Ésta se define como el movimiento anormal de la articulación que no supera los límites de movilidad. Además, no es detectable a la exploración como la IMT. La IFT se ha relacionado con alteraciones de balance y han predicho la lesión de esguince de tobillo en sujetos físicamente activos. Por ello, es importante poder identificar desde un primer momento la falta de equilibrio en relación con la IFT. No obstante, las investigaciones no muestran diferencias entre el pie contralateral y el tobillo con inestabilidad funcional, esto puede deberse a una sensibilización a nivel central que afecta a ambos miembros inferiores o a la falta de sensibilidad de la prueba (Leceta et al., p.4-5,2018).

Tipos de Tratamiento para esguince de tobillo

Tratamiento inmovilizador de tobillo: En la medicina la inmovilización se la conoce como el procedimiento o la técnica que limita el desplazamiento de un hueso o estructura articular lesionada mediante la utilización de ortesis estas pueden ser férulas, yesos, vendas, etc. Principalmente con el objetivo de evitar cargas sobre la zona afectada y gesto lesivo que provoco la lesión. Este método ha sido utilizado hace mucho tiempo para diferentes lesiones, pero los últimos años con los avances tecnológicos y estudios realizados a nivel instrumental se ha llegado a la conclusión de que puede llegar hacer perjudicial para el propio paciente si no se inmovilizada de la manera correcta.

El tratamiento con inmovilización consistirá en la colocación de una férula posterior de yeso con el tobillo en 90° durante 21 días, no permitiéndose la carga. Pasado este tiempo se instruí al paciente para retirar la férula e iniciar la carga progresivamente. (Salazar et al., p.23,2018).

Tratamiento con Movilidad Temprana o Funcional: consistirá en la colocación de un vendaje funcional con venda elástica adhesiva no permitiendo al paciente la carga las primeras 48 horas en las que debía permanecer con la pierna elevada y con aplicación local de frío.

Pasadas las primeras 48 horas se permitirá la carga progresiva, asistida por muletas, si así el paciente lo requiera, según el dolor. Se le ensañara una lista con instrucciones para la realización de ejercicios básicos.

Para garantizar eficacia en el tratamiento de fisioterapia en un esguince de tobillo se debe tener cuidado con la presión evitando futuras lesiones o secuelas que puedan causar

inestabilidades crónicas del complejo articular, así el paciente presentará un cuadro de evolución favorable que permitirá su recuperación.

La rehabilitación no consiste únicamente en aliviar el dolor y reducir la inflamación de la zona lesionada, si no en devolverlo a su estado original. Una vez que se ha conseguido bajar la inflamación producida por la lesión de los ligamentos. Se pasará recuperar la movilidad y la propiocepción (que es la auto estabilidad de la articulación del tobillo). En esta fase se recomienda inicialmente realizar ejercicios para facilitar la movilidad tanto en flexo extensión como en las rotaciones del tobillo, que tiene como objetivo mejorar la estabilidad del tobillo, lo que se llama la propiocepción articular. La mejor rehabilitación es aquella que se basa en la estabilidad y la movilidad del tobillo (Salazar et al., p.25-26,2018).

Técnicas Actuales Para La Rehabilitación Del Tobillo

La rehabilitación en un sentido global es un medio por la cual es posible recuperar las habilidades físicas perdidas en un incidente traumático, a un dispositivo para la rehabilitación de tobillo.

Existen cuatro niveles de recuperación, dependiendo del nivel de actividad que el paciente requiera: pasiva, asistida, activa y resistiva

- Pasiva: El paciente no interviene en absoluto en la ejecución de movimiento, por lo general el terapeuta realiza todo el esfuerzo.
- Asistida: Se combinan esfuerzos del paciente y del terapeuta.
- Activa: Es cuando la persona realiza todo el esfuerzo por sí misma.
- Resistiva: Se utiliza movimientos mecánicos, donde se presenta una fuerza opuesta al movimiento el paciente.

Marco Empírico

Con el propósito de recopilar información referente a esguinces de tobillo, tratamientos y recuperación de los pacientes se realizó una encuesta con las siguientes preguntas.

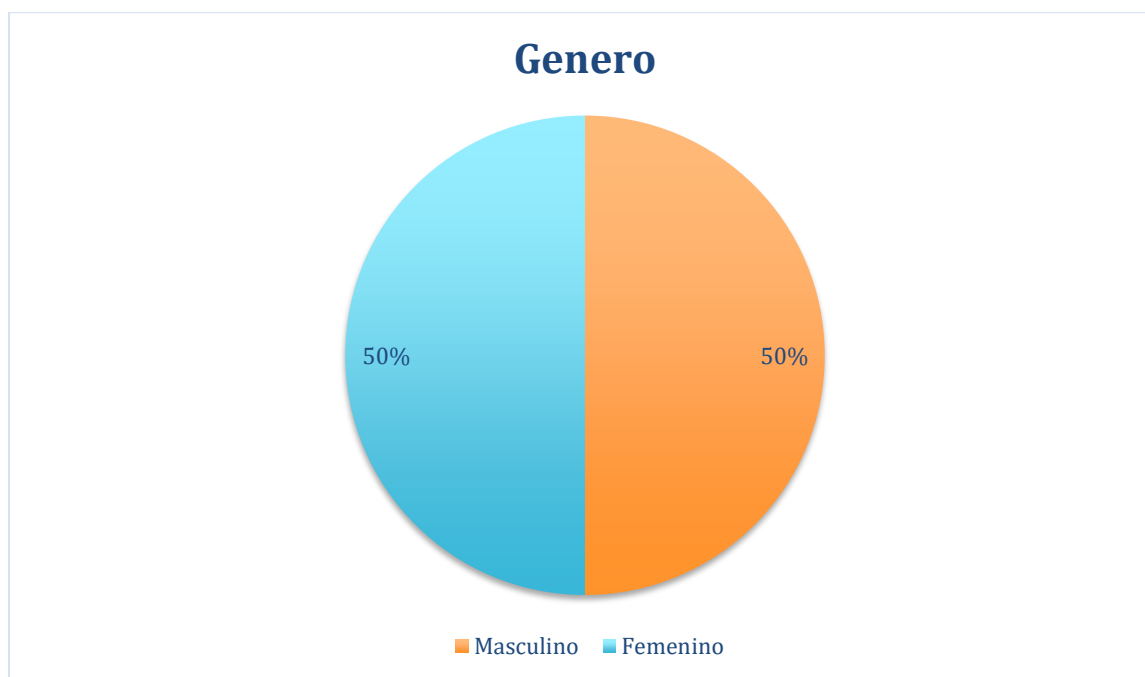
Se inicio la encuesta con una breve información sobre las lesiones de tobillo y se continuó preguntando nombre completo del cual se encontrarán de manera anónima en la tabulación final y nos centramos en las preguntas más relevantes de la investigación.

- Segunda pregunta: Genero.

Se obtuvo como respuesta que 25 hombres y 25 mujeres contestaron la encuesta dando un total de 50 encuestados.

Imagen 4.

Representación gráfica de los resultados obtenidos de la encuesta en la pregunta 2.



Nota: La grafica define el género de las personas que contestaron la encuesta. Realizada por el autor.

- Tercera pregunta: Edad.

El rango de las personas que participaron en la encuesta esta entre 17-52 años.

Datos:

26,22,22,22,20,21,21,25,22,21,32,19,24,20,24,20,18,22,28,23,21,27,20,26,22,23,21,26,25,53,29,
23,34,44,27,21,52,17,19,22,27,24,22,49,22,42,19,42,20,25.

Ecuación 1.

Media Aritmética

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots x_n}{N}$$

$$\bar{x} = \frac{26 + 22 + 22 + 22 + 20 + 21 + 21 + 25 + 22 + 21 + 32 + 19 + 24 + 20 + 24 + 20 + 18 + 22 + 28 + 23 + 21 + 27 + 20 + 26 + 22 + 23 + 21 + 26 + 25 + 53 + 29 + 23 + 34 + 44 + 27 + 21 + 52 + 17 + 19 + 22 + 27 + 24 + 22 + 49 + 22 + 42 + 19 + 42 + 20 + 25}{50}$$

$$\bar{x} = \frac{1296}{50} = 25.9 \approx 26$$

Mediana:

17,18,19,19,19,20,20,20,20,20,21,21,21,21,21,21,22,22,22,22,22,22,22,22,22,22,23,23,23,24,24,24,25,25,25,26,26,26,27,27,27,28,29,32,34,42,42,44,49,52,53.

Mediana = 22

- Cuarta pregunta: Ciudad o municipio de residencia.

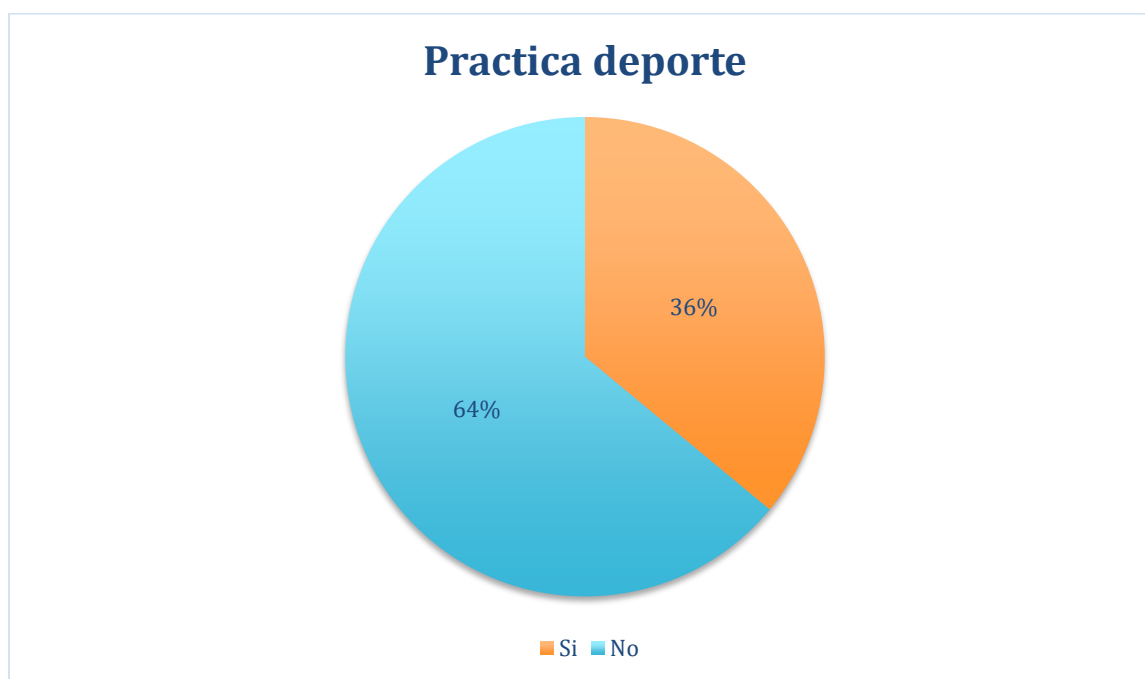
Las personas que realizaron la encuesta se encuentran ubicadas en Barranquilla, Soledad, Puerto Colombia, Sabanalarga y Santo Tomas.

- Quinta pregunta: Practica algún deporte.

El resultado obtenido en la encuesta es que 18 de 50 dijeron que si practicaban algún deporte y 32 de 50 que no practican.

Imagen 5.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la encuesta a la pregunta 5.



Nota: En la gráfica se presentan los resultados obtenidos a la pregunta si practican algún deporte.

- Sexta pregunta: A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿Qué deporte practica?

En esta sección las personas que dijeron que si los deportes que practican la mayoría son: ciclismo, karate, fútbol, voleibol, patinaje, atletismo, Aerobics ABS y baloncesto.

- Séptima pregunta: Si su respuesta es No, ¿Cuál otra actividad realiza?

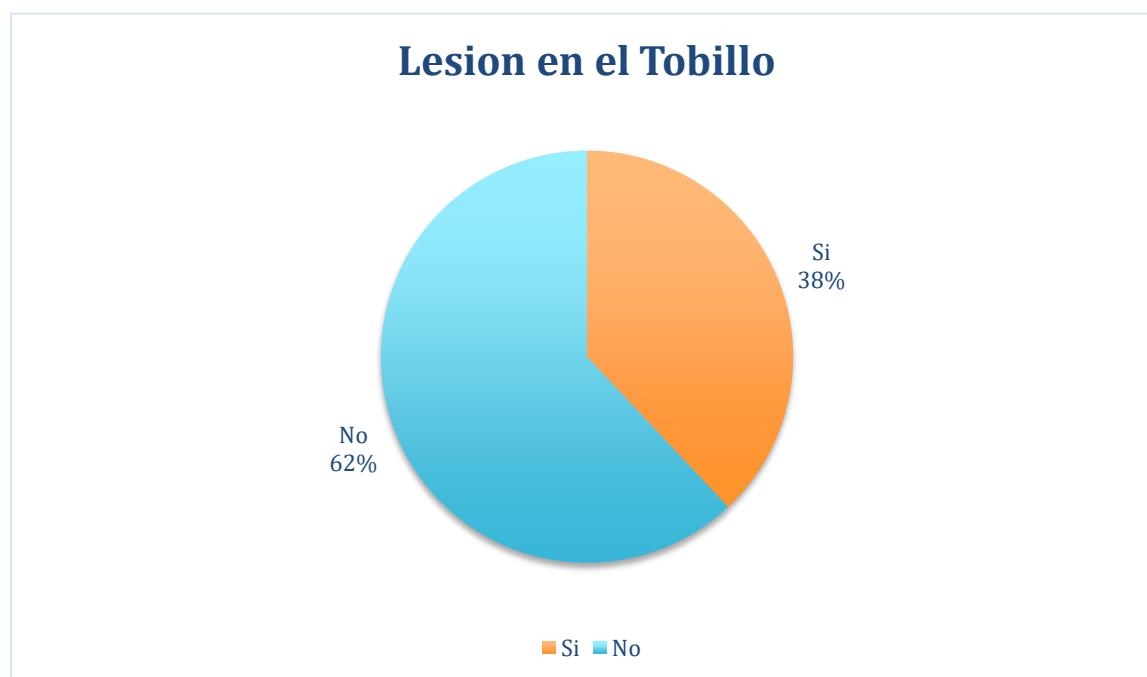
A esta pregunta se obtuvo respuestas de que realizaban actividades tales como rutinas de ejercicios, caminatas, gimnasio, yoga y trotar.

- Octava pregunta: Ha sufrido de alguna lesión en el tobillo.

A esta pregunta los resultados obtenidos que 19 personas de las encuestadas han sufrido de lesiones de tobillo mientras 31 de ellas contestaron que no han tenido este tipo de lesión. Cabe resaltar que no todas las personas que practican algún deporte han sufrido de esguince ya que se obtuvo que personas que no realizan deportes también ha padecido de lesiones de tobillo.

Imagen 6.

Representación gráfica de los resultados obtenidos de la pregunta 8.



Nota: La grafica representa las personas que han padecido de lesiones en el tobillo.

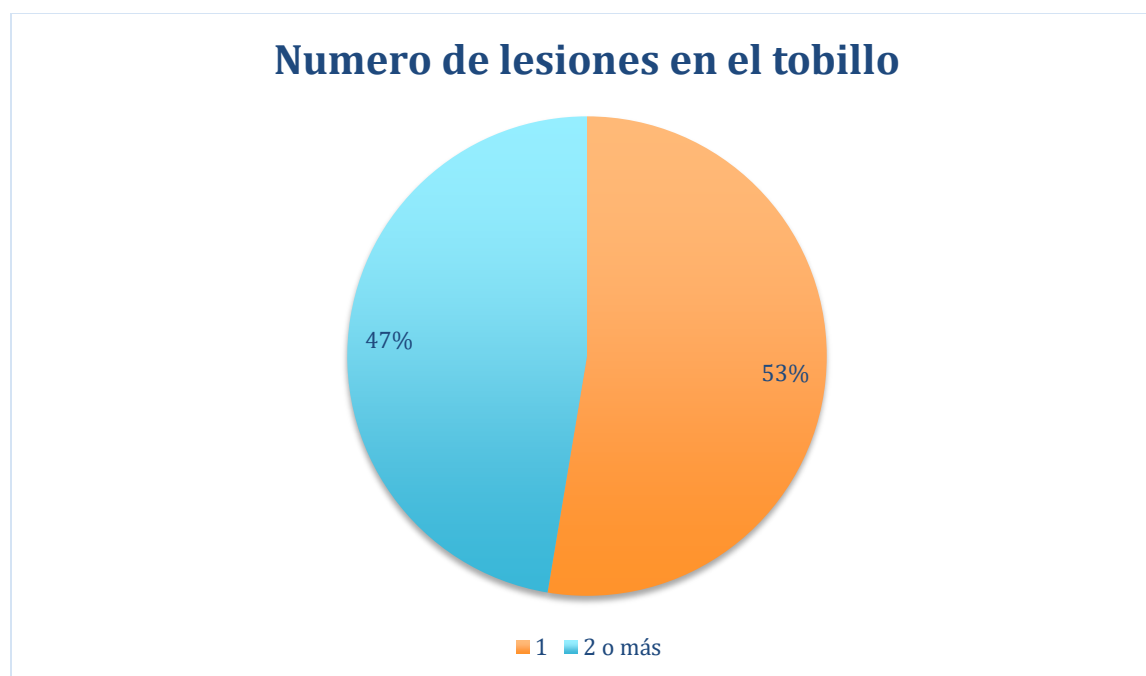
- Novena pregunta: A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿Cuántas veces ha sufrido de un esguince o torcedura de tobillo?

A esta pregunta se colocaron 2 opciones dando como resultado que la primera opción donde se decía si la persona había sufrido 1 esguince de tobillo 13 la escogieron y en la segunda opción donde estaba como opción 2 o más esguinces de tobillo 9 la seleccionaron.

Al realizar un análisis de los datos obtenidos le realice una corrección de estos resultados porque se debe tener el mismo número de personas que seleccionaron SI a la pregunta anterior que es de 19 y en estos resultados obtuvo 22 respuestas, por lo que se tuvo en cuenta principalmente los resultados de las personas que sufrieron 2 o más esguinces y se eliminaron 3 respuestas de la primera opción. Quedando como resultado 10 personas que sufrieron 1 esguince y 9 han sufrido de 2 o más esguinces.

Imagen 7.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 9.



Nota: La grafica representa cuantas lesiones ha padecido la persona que contestaron a la respuesta 8 de haber padecido lesiones en el tobillo.

- Decima pregunta: ¿Al sufrir la lesión en el tobillo se dirigió al servicio de urgencias?

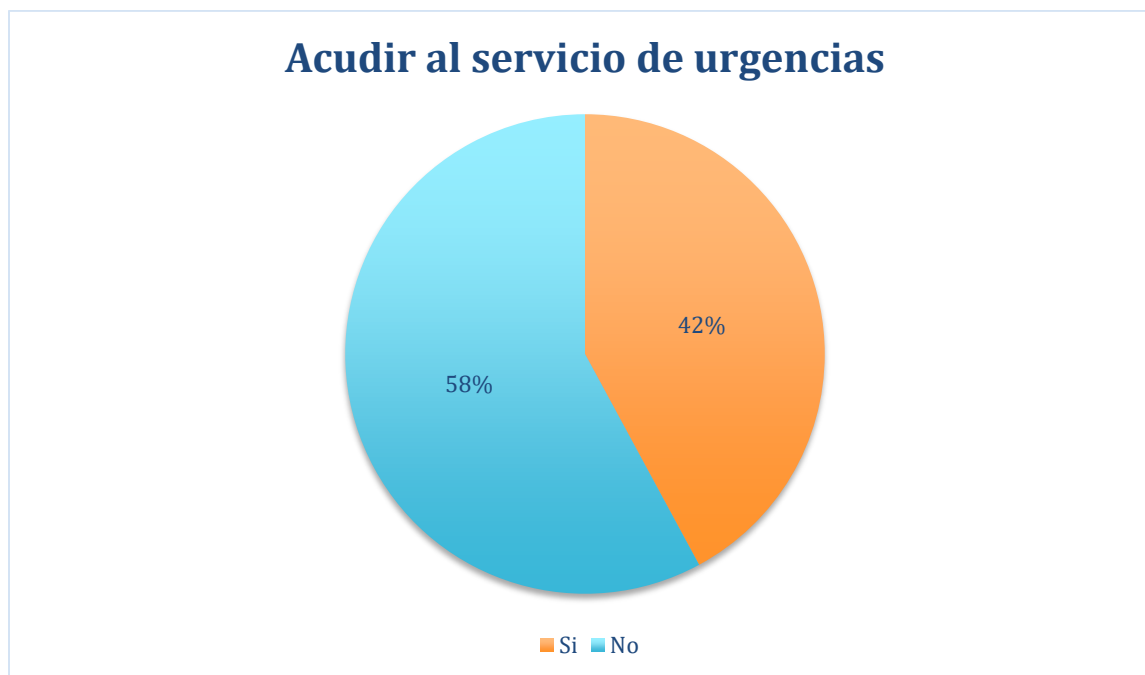
Se obtuvo que 8 personas asistieron al servicio de urgencias al sufrir esguince de tobillo y 19 seleccionaron que no asistieron al servicio de urgencias.

Al analizar los datos se realizaron correcciones al verificar que hay un numero de respuestas superior a las personas que han tenido lesión de tobillo, se tomó como base el número de personas que asistieron al servicio de urgencias y se le resto a las personas que seleccionaron que no hasta obtener un número total de respuestas de 19.

Quedando los resultados de la siguiente manera 8 personas fueron al servicio de urgencias tras sufrir de un esguince y 11 no recurrieron a un servicio de urgencias para ser atendidos por la lesión.

Imagen 8.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 10.



Nota: La grafica define si las personas que han padecido de lesiones en el tobillo han acudido al servicio de urgencias para ser atendidos.

- Undécima: A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿Siguió las recomendaciones dadas por el medico?

En esta sección analice los datos obtenidos ya que resultaron mayor las respuestas contestadas que las personas que contestaron decir que si asistieron al servicio de urgencias. Las correcciones las realice observando las 8 respuestas dadas por las personas que dijeron que si habían asistido al servicio asistencial quedando que todos siguieron correctamente las indicaciones dadas por el médico.

- Duodécima: En cambio si la respuesta fue un NO, ¿Qué tratamiento se realizó para reducir el dolor?

Las respuestas dadas fueron: reposo durante 3 días, masaje, utilizar crema fría para los dolores, terapias con bandas elásticas, vendajes, hielo, pisar una botella, terapias de movimientos, analgésicos y antiinflamatorios.

- Decima tercera: ¿Después de comprobar recuperado de la lesión en el tobillo realizo alguna terapia para fortalecer el tobillo?

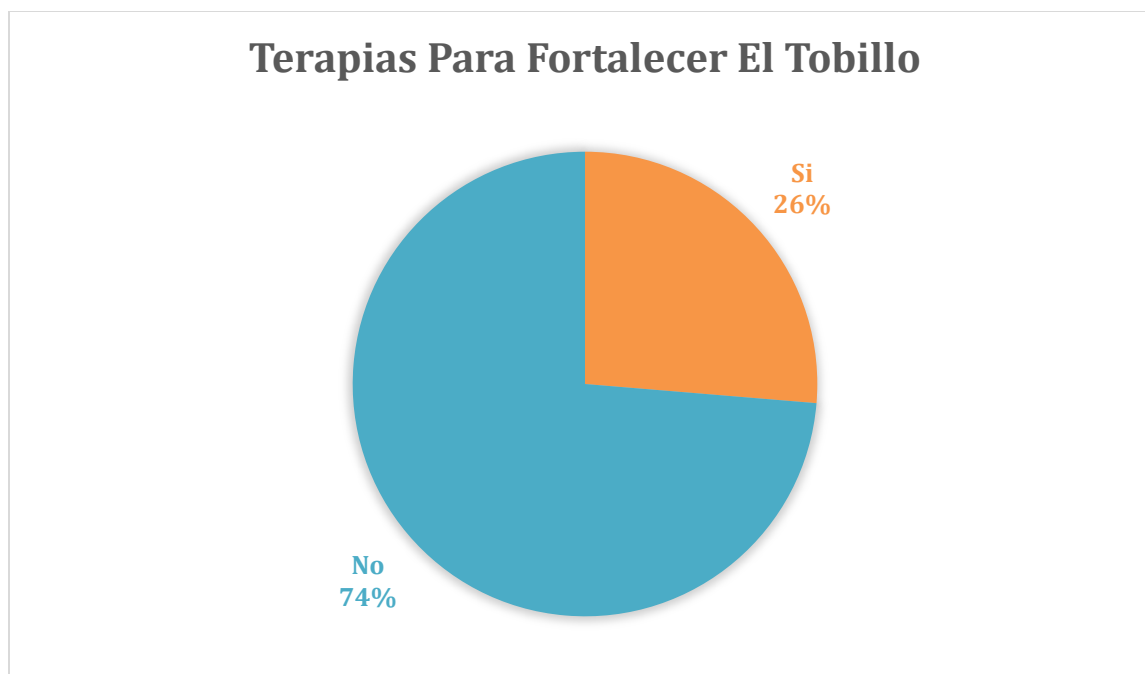
Se obtuvo que 5 personas si realizaron terapia para fortalecer el tobillo y 20 personas que no.

Al tener un grupo de personas que sufrieron de esguince de tobillo de 19 se tiene que corregir restando con las respuestas que dijeron que no.

El resultado final es que 5 personas si realizaron terapias para fortalecer el tobillo y 14 que no realizaron alguna terapia en el tobillo.

Imagen 9.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 13.



Nota: La grafica representada el porcentaje de las personas que realizaron terapias para fortalecer el tobillo después de la lesión.

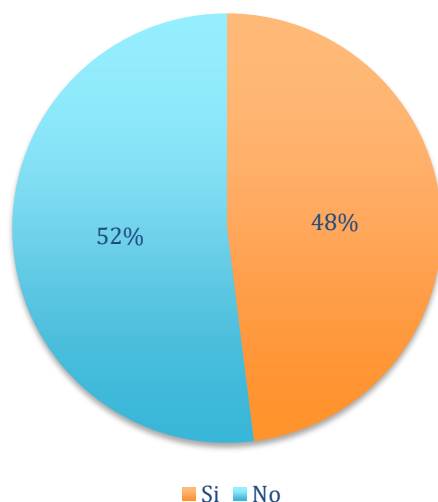
- Decima cuarta: Sabia que al presentarse un esguince o torcedura de tobillo los ligamentos sufren de estiramientos e incluso ruptura y si este no tiene un adecuado tratamiento dentro de las 48 horas y luego de estas unos ejercicios para rehabilitarlo, el tobillo queda débil e incluso sufre de torceduras de tobillo muy a menudo.

En esta sección 24 personas respondieron que tenían el conocimiento de los cuidados y qué consecuencias puede traer un mal tratamiento al haberse presentado un esguince de tobillo y 26 personas contestaron que desconocían la información anteriormente descrita.

Imagen 10.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 14.

Conocimiento de los cuidados al tener una lesión en el tobillo



Nota: La grafica representa los datos obtenidos de las personas sobre si tienen o no conocimiento de las complicaciones y cuidados que se debe tener después de ocurrir una lesión de tobillo.

- Decima quinta: Que pensarías de un dispositivo que te ayudara con terapias aplicadas al tobillo sin esforzarlo y además tener una recuperación adecuada.

Las respuestas dadas en esta sección a continuación se presentarán algunas de ellas:

“Me parece muy bueno ya que me produce miedo cuando una persona me va a realizar una terapia.”

“Muy bueno, debido a que las terapias son muy dolorosas.”

“Excelente idea, ayudaría a muchas personas en la recuperación de su lesión en especial a los deportistas.”

“Sería algo innovador y algo que de una u otra forma sería ese gran ayuda.”

“Sería un excelente producto.”

“Sería la mejor opción para rehabilitar el tobillo sin ir a urgencias.”

“Me vendría bien como deportista.”

“Sería perfecto para una persona que sufra una lesión le ayudará en su vida cotidiana”

“Me parece una muy buena la opción para poder ayudar y fortalecer el tobillo.”

“Sería de gran ayuda porque es recurrir a nuevas ideas que fomentan un gran ayuda al paciente.”

“Me parece un gran dispositivo, siempre y cuando esté avalado por un médico especialista o el ministerio de salud.”

“Pienso que sería innovador y muy útil para las personas que han tenido accidentes con sus tobillos.”

“Sería ideal contar con sistemas tecnológicos en el sector de la salud en el país.”

“Sería un dispositivo de mucha ayuda para la rehabilitación.”

- Décima sexta: ¿Qué sugerencia tendrá una cerca de este?

Las sugerencias dadas en las encuestas se presentarán algunas de ellas:

“Que cuente con todo lo requerido de todo punto de vista para un mejor desarrollo de la recuperación.”

“Bajo costo y fácil manipulación”

“Que sea un dispositivo portable”

“Que sea aplicable a los casos”

“Que evitará dolor, inflamación y ayudará a la recuperación total.”

“Que el material sea hipoalergénico, que no pese demasiado y que no deba apretarse en exceso.”

“Que cuente con todo lo requerido de todo punto de vista para un mejor desarrollo de la recuperación”

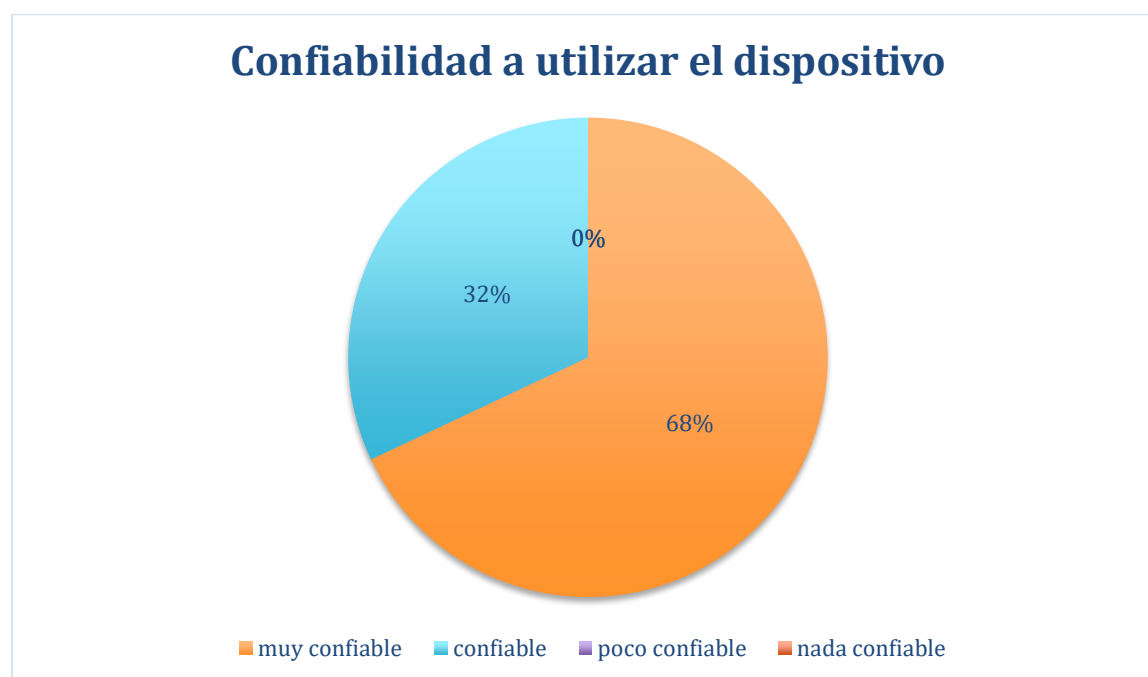
“Sugiero que se experimente y así mirar resultados y favorecer a muchas personas q a diario sufren de este tipo de cosas.”

Decima séptima: ¿Qué tan confiado se sentiría Ud. si la terapia estuviera realizada por un equipo supervisado por el profesional a cargo?

Se obtuvo un resultado de 34 personas seleccionaron que se sentirían muy confiados y 16 personas seleccionaron la opción de sentirse confiados.

Imagen 11.

Representación gráfica de los resultados obtenidos en la pregunta 17.



Estado del Arte o Antecedentes

Para la realización de este proyecto se basó en el contenido de artículos científicos enfocados al diseño de dispositivos para la rehabilitación de tobillo y los avances que ha tenido la ciencia en esta área.

El esguince de tobillo representa el 40% de todas las lesiones que sufren los atletas, sin embargo, el 20% de los esguinces agudos dan lugar al desarrollo de una inestabilidad crónica de tobillo, se estima que la lesión ligamentaria de tobillo ocurre como consecuencia de traumatismos, más frecuente en la vida diaria y en la práctica deportiva hasta en un 75%, la inestabilidad crónica de tobillo representa en el 20-40% de los pacientes con las lesiones de tobillo (Ampudia et al., p.2,2017).

Los deportistas que tienen un periodo de baja de entrenamientos debido a un esguince de tobillo son de aproximadamente 18 días y si la lesión se convierte en recurrente, el periodo de baja se incrementa a 19 días, trayendo consigo una pérdida sensible tanto económica como de rendimiento deportivo para los equipos de fútbol a los que pertenezca los jugadores.

La FIFA ha estimado en promedio un costo de 30 billones de dólares anuales asociados al tratamiento y rehabilitación de esta patología en jugadores por temporada en el mundo. Adicionalmente a las pérdidas económicas, la ausencia en partidos o entrenamientos han demostrado ser un factor determinante en el ámbito psicosocial del deportista, llevándolo a bajos estados de autoestima, autoconfianza y un aumento en la ansiedad, disminuyendo la eficacia y desempeño de los jugadores tanto en entrenamientos como en competencias, al compararlos con jugadores sanos (Botero et al., 2017, p. 68).

Para su tratamiento y rehabilitación, actualmente se cuenta con tres tipologías de ayudas ortopédicas para este tipo de lesión:

Los inmovilizadores totales: (bota de yeso y brace o férula) mantienen la articulación del tobillo totalmente inmóvil para la cicatrización del ligamento lesionado y ejercen presión para el control del edema. Ejemplo de este tipo de implementos son elaborados por empresas especializadas con el brace o férula de tobillo.

Los inmovilizadores parciales: son ortesis articuladas que permiten la flexión plantar y dorsal; su uso es posterior a la cicatrización del ligamento, con el fin de permitir la marcha. En esta tipología se encontraron varios desarrollos a saber, ofrecidos por empresas especializadas con ortesis con ajuste de correa y calzado, ortesis para la noche.

Los estabilizadores: (vendas elásticas y tobilleras) cuya función es la estabilización del tobillo para protegerlo de movimientos involuntarios en la fase final del tratamiento. Las tobilleras estabilizadoras en neopreno, las elásticas o aquellas que tienen refuerzo también en neopreno, son los productos que ofrecen al mercado diversas empresas. (Espinel et al., p.70-71, 2006).

El esguince de tobillo es una de las lesiones más frecuentes en el deporte de alto rendimiento. Al encontrarse dentro de la actividad deportiva, es de gran importancia la pronta reincorporación por ello sería de gran utilidad acotar los tiempos de recuperación con una buena base en el tratamiento donde es determinante la estimulación temprana en el ligamento lesionado para forzar la proliferación de fibroblastos y recuperar así la funcionalidad de la articulación (García et al., p.49, 2016)

En la tabla 3 se muestra los 7 artículos que fueron analizados durante el desarrollo de este proyecto muestran los avances que ha tenido la ciencia en esta área.

Tabla 3.

Análisis de artículos científicos.

Estudios	Resumen
Según el autor Correal y sus col; Diseño De Una Ortesis Para La Rehabilitación de Tobillo Con Esguince Tipo III Por inversión.	Presenta un dispositivo con el objetivo de minimizar la atrofia producida por la inmovilización de esta articulación y proporcionando al paciente la comodidad necesaria para no interrumpa sus actividades diarias. Siendo sometido a prueba llegaron a concluir de los resultados que es posible integrar los elementos necesarios para realizar las terapias de movilidad y de potencia.
Según el autor Cerón Adriana y sus col; Dispositivo Biomédico Destinado A La Rehabilitación De Tobillo Por Medio De Movimiento Pasivo.	Se logra observar un prototipo con posibilidades de aplicación en campo de la Ortopedia, enfocándose en los tipos de movimientos naturales del tobillo, con el fin proporcionar una herramienta al físico terapeuta durante los ciclos de rehabilitación.
Según el autor Ortega y sus col; Control De Un Prototipo Virtual De Una Máquina De Rehabilitación De Tobillo.	Se presenta un prototipo virtual que provee los tres movimientos realizados en el tobillo. Se propone un control tipo PID para los movimientos desacoplados y un control de par calculado para movimientos combinados con seguimiento de trayectorias suaves planificadas, para ambos casos.
Según el autor Ortega y sus col; Máquina De Rehabilitación De Tobillo: Prototipo Virtual Y Físico, presentan un prototipo virtual y físico de un rehabilitador de tobillo.	Se diseña un controlador PID con seguimiento de trayectorias planificadas para proporcionar movimientos individuales suaves. Se presentan resultados de simulación utilizando el entorno de desarrollo ADAMS.

Según el autor Guzmán Valdivia y sus col; Diseño Y Control De Un Sistema Interactivo Para La Rehabilitación De Tobillo: Tobibot.

Presenta un prototipo para ejecutar movimientos básicos del tobillo en dorsiflexión/plantarflexión, esta interfaz cuenta con un modo videojuego. Se propone un esquema de control PID para la rehabilitación pasiva y un controlador de impedancia para la rehabilitación activa. Los resultados experimentales indican el gran potencial de TobiBot para asistir en la rehabilitación de tobillo.

Según el autor Méndez-Elizondo y sus col; Desarrollo De Un Sistema Robótico Para La Rehabilitación De Lesiones De Tobillo.

Sistema robótico que se basa en la terapia activa y pasiva, con un interfaz de videojuegos para hacerla más dinámica.

Según el autor Cañaris y su col, Dispositivo Para La Rehabilitación Pasiva Del Tobillo.

Presenta un dispositivo. Que permite los movimientos de dorsiflexión, flexión plantar, inversión y eversión para asistencia en actividades de fisioterapia.

Nota: Análisis desarrollado a cada uno de los trabajos utilizados como base para el desarrollo de este proyecto.

Dispositivos de rehabilitación de tobillo que se encuentran en el mercado

Algunos de los dispositivos de rehabilitación de tobillo que se pueden encontrar en el mercado.

Imagen 12.

Dispositivo existente en el mercado 1.



Nota: Se muestra un dispositivo el cual no realiza ningún movimiento por sí solo, únicamente coloca el pie a una altura y después una persona especializada realiza los movimientos de rehabilitación. Información obtenida de (Cerón et al., p.3-4,2016).

Imagen 13.

Dispositivo existente en el mercado 2.



Nota: En el aparato se observa que solo genera un tipo de movimiento y que este tiene que ser controlado por una persona especialista. Información obtenida de (Cerón et al., p.3-4,2016).

Imagen 14.

Dispositivo existente en el mercado 3.



Nota: En el dispositivo los movimientos están motorizados, pero no están definidos los rangos que se manejan, además no tienen un dispositivo que puede delimitarlos por lo que en todo el momento de la terapia es necesario que un especialista este supervisando las rutinas. Información obtenida de (Cerón et al., p.3-4,2016).

Imagen 15.

Dispositivo existente en el mercado 4.



Nota: Este dispositivo ofrece movimientos circulares bien definidos y el sistema mecánico está diseñado para mover el peso del pie con relativa facilidad, combina dos movimientos y tiene que ser usado de forma manual. Información obtenida de (Cerón et al., p.3-4,2016).

Imagen 16.

Dispositivos existentes en el mercado.



Nota: Los movimientos son circulares, estos son iguales al movimiento natural tobillo, limitados por las dimensiones del aparato, es automático y controlado con un control que sobresale (teach-
pendant), a su vez el usuario controla el tiempo y la velocidad bajo parámetros preestablecidos por el fabricante. Información obtenida de (Cerón et al., p.3-4,2016).

Marco Conceptual

Tobillo: Es una articulación sinovial de tipo bisagra altamente congruente, en la que el astrágalo encaja perfectamente en la mortaja formada por las superficies articulares tibial y fibular. Esta conformación anatómica permite el movimiento a través de un solo eje, el eje bimalleolar, a través del cual se producen los movimientos de flexión plantar y flexión dorsal. Los valores normales del rango de movimiento son 13-33° para la flexión dorsal y 23-56° para la flexión plantar. (Dalmau et al., p.6, 2020)

Esguince: La lesión del ligamento se conoce como esguince, el cual se produce por una elongación máxima de las fibras que causa ruptura parcial o total de las mismas. De acuerdo con el mecanismo de lesión, se puede clasificar en grado I, II y III. (Padrón et al., p.50, 2016)

Rehabilitación física: Es una herramienta médica para el reentrenamiento de personas afectadas por lesiones adquiridas por medio de un conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales que concierne el diagnóstico, evaluación, prevención y tratamiento de la incapacidad encaminados a facilitar, mantener o devolver el mayor grado de capacidad funcional e independencia posible. (Moreno et al., p.77, 2013)

Ingeniería de rehabilitación: Es el uso de la ciencia y los principios de la ingeniería para 1) desarrollar soluciones y dispositivos tecnológicos para asistir a las personas con discapacidades, y 2) para ayudar a la recuperación de las funciones físicas y cognitivas perdidas debido a una enfermedad o lesión. Ingeniería de Rehabilitación. (National Institutes of Health, 2021)

Biomecánica: “Ciencia que investiga las fuerzas internas y externas que actúan sobre los cuerpos vivientes, considerando las propiedades y supuestos mecánicos del aparato locomotor, que a su vez depende funcionalmente de las condiciones biológicas del mismos”. (Hernández, 2021)

Velocidad angular: “La velocidad angular o frecuencia cíclica, remite a la velocidad de rotación, definida como el ángulo girado por una unidad temporal, y se denota bajo la letra griega ω (omega)”. Dicha unidad representa la aceleración instantánea en una trayectoria curva. redacción. (Centro Estudios Cervantinos, 2020)

Grados de libertad (GDL) de un cuerpo: “Es el número de coordenadas independientes necesarias para especificar de forma única la posición de ese cuerpo respecto a un sistema de referencia dado”. (Oliver, 2019)

Marco Legal

La industria de los equipos médicos colombiana está regulada por un conjunto de entidades las cuales se describen a continuación

- **Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA):** Es la agencia regulatoria nacional, una entidad de vigilancia y control que trabaja para la protección de la salud individual y colectiva de los colombianos, mediante la aplicación de normas sanitarias asociadas en este caso a dispositivos médicos, es decir, es el órgano encargado para el control, verificación y otorgar los requisitos de cumplimiento a quienes incumplan estas normas.
- **Ministerio de Salud y Protección Social:** Es una entidad pública encargada de conocer, dirigir, evaluar y orientar el sistema de seguridad social en salud, mediante la formulación de políticas, planes y programas con el fin de mejorar la calidad de vida, oportunidad y accesibilidad de los servicios de salud velando por el derecho fundamental de tener una vida digna.

La industria de los equipos médicos está regulada por un conjunto de normas y leyes de carácter nacionales e internacionales y otros requisitos.

- **Ley 100 de 1993:** Ley expedida por el ministerio de salud por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones referentes a la salud con el fin de garantizar las prestaciones de salud y servicios complementarios para así obtener la calidad de vida acorde con la dignidad humana mediante la protección de contingencias que se presenten al momento de la prestación de los servicios de salud, sujetos a los principios de

eficiencia, universalidad, solidaridad, integralidad, unidad y participación. .
(COLOMBIA, 1993)

- **Decreto 4725 de 2005:** Decreto expedido por medio del cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano, cuyo campo de aplicación está relacionado con la producción, procesamiento, envase, empaque, almacenamiento, expendio, uso, importación, exportación, comercialización y mantenimiento de los dispositivos médicos para uso humano, los cuales serán de obligatorio cumplimiento por parte de todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a dichas actividades en el territorio nacional. En el cual los dispositivos médicos deberán cumplir con los requisitos de seguridad y funcionamiento establecidos por el fabricante que les sean aplicables de acuerdo con la finalidad prevista. En este decreto también se contemplan las buenas prácticas de manufactura y certificados de capacidad de almacenamiento y acondicionamiento de los dispositivos médicos. (SOCIAL M. D., 2005)
- **Resolución 4816 de 2008:** Es por la cual se reglamenta el programa nacional de tecnovigilancia con el fin de fortalecer la protección de la salud y seguridad de los pacientes, operadores y todas aquellas personas que se vean implicadas directa o indirectamente en la utilización de dispositivos médicos, cuyas disposiciones se aplicaran en este caso a los fabricantes e importadores de dispositivos médicos de uso en humanos. En esta esta resolución también se contemplan los eventos e incidentes adversos que pueden ocasionar los dispositivos médicos. (Social, 2008)
- **Resolución 3100 de 2019:** por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de

salud y se adopta el manual de inscripción de prestadores y habilitación de servicios de salud. (SOCIAL M. D., 2019)

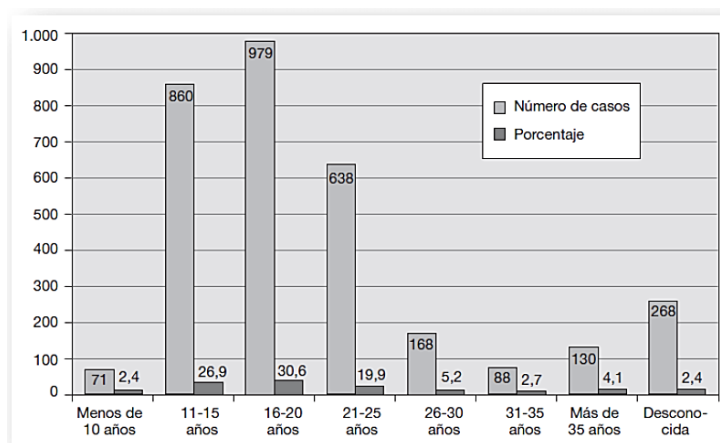
Marco Poblacional

Esta propuesta tecnológica tiene como finalidad el desarrollo de un dispositivo funcional para terapias de tobillo el cual ayudará a la recuperación adecuada en la población de los deportistas que son las personas más expuestas a las consecuencias que trae consigo las lesiones de tobillo y por tanto requieren una recuperación en un menor tiempo.

La población para trabajar son los deportistas en el área de baloncesto, fútbol, atletismo, entre otros en el departamento del atlántico; ya que es el área demográfica en que me encuentro realizando la investigación, además, los deportistas son los que más sufren de esguinces y otras lesiones de tobillo y si no se tiene una adecuada recuperación podría darse por terminada su carrera deportiva. Se considera que la población este entre las edades de 10 a 30 años.

Imagen 17.

Representación gráfica las edades y cuantas estas presentan lesiones.



Nota: grafica tomada de epidemiología de la lesión deportiva. (Perez, p.55,2015)

Metodología

La presente investigación se elaboró un conjunto de técnicas y procedimientos que se deben seguir para el desarrollo del proceso del diseño y elaboración de un dispositivo funcional para terapia de tobillo.

En la realización de esta propuesta de investigación se hizo necesario realizar una división de esta por fases.

En esta primera fase luego de realizar toda la búsqueda de información se encontró dispositivos de rehabilitación que nos ayudan al desarrollo del dispositivo.

La segunda fase para la elección los materiales adecuados que permitan el correcto funcionamiento del equipo y el estudio de campo para obtener las estadísticas correctas del dispositivo que nos determine la viabilidad para su posterior diseño y la selección de los materiales.

Tipo de Investigación

En la realización de este proyecto se definieron el tipo de investigación que se está empleando de la siguiente manera:

Investigación aplicada: Este proyecto pertenece al tipo de investigación aplicada, ya que se busca la elaboración de un nuevo producto del que ayudara a la rehabilitación de tobillo en la población más afectada que son los deportistas.

Investigación cualitativa: Al desarrollar este proyecto se tuvo en cuenta los datos conseguidos de bases de datos sobre los dispositivos de rehabilitación de tobillo, también se tuvo en cuenta el

análisis de información secundaria, como los datos e información resultantes del proceso de observación, análisis y desarrollo.

Investigación cuantitativa: Al elaborar este proyecto se empleó una encuesta que se realizara a personas que practiquen algún deporte el cual se beneficiarán con la propuesta del dispositivo que se diseñara, estos datos serán recopilados, analizados, tabulados y graficados.

Tipo de Estudio

En la realización de este proyecto se definieron el tipo de investigación que se está empleando de la siguiente manera:

Investigación documental: Para la construcción de esta propuesta se inició con una búsqueda de toda la documentación sobre dispositivos rehabilitadores de tobillo y por qué se producen lesiones del tobillo y las complicaciones y regularidad de visitas hospitalarias por este tipo de lesiones.

Investigación exploratoria: Esta investigación es de tipo experimental que intenta dar un acercamiento a la problemática e identificar cuáles son los obstáculos que afectan directamente el diseño de un dispositivo funcional de terapia de tobillo y como este ayuda a la población de deportistas en general.

Diseño

El presente proyecto de investigación “Diseño Y Elaboración De Un Dispositivo Funcional Para Terapia De Tobillo”, está guiada por la metodología de investigación cuantitativa.

Para la realización de este proyecto se tuvo en cuenta el contenido de artículos científicos encaminados al diseño de dispositivos para la rehabilitación de tobillo donde se opta por diseñar un prototipo que ayude a los movimientos del pie en dorsiflexión-plantarflexión, como también los de inversión-eversión y abducción-aducción, los cuales solo fueron tomado aquellos artículos que nos ayudaran a responder la pregunta problema de la investigación ¿ Como diseñar un dispositivo que ayude a la rehabilitación de tobillo con óptimos resultados donde se acorte el tiempo de recuperación y el ligamento lesionado pueda ser reforzado para así recuperar la funcionalidad de la articulación? . El interrogante de la investigación fue el que ayudó a tener un criterio sobre los artículos encontrados en las diferentes plataformas utilizadas; como Scielo, Science Direct y Google Académico, donde se encontraron diferentes artículos sobre el tema de investigación, pero solo fueron estudiados a fondo los que cumplían con el criterio para poder llevar a cabo una buena revisión sobre los artículos.

Para la realización de este proyecto se realizó una investigación acerca de la frecuencia con que se dirigen las personas a los centros hospitalarios, qué consecuencias a futuro puede traer consigo un mal tratamiento de una lesión de tobillo. Además, de que la población deportista es la que está más expuesta a las consecuencias que trae consigo las lesiones de tobillo y por tanto requieren una recuperación en un menor tiempo.

Por otro lado, también se realizó una investigación de los grados de esguinces y los síntomas causales de este. Además, se realizaron estudios sobre la historia de las técnicas actuales de rehabilitación del tobillo, junto con la investigación de la cinemática del tobillo con el fin de aplicarlo al modelo del dispositivo para que este tenga un buen funcionamiento al momento de ser usado, y dando como resultados una recuperación factible.

Materiales y Métodos

Técnicas Para Recolección De La Información

Para la realización de esta propuesta, se trabaja con dos tipos de fuentes de información primaria y secundaria; ya que, para la recolección, tratamiento y su posterior estudio se tomaron los materiales bibliográficos de soporte, tales como libros y artículos de revistas especializadas en salud, los cuales nos ayudaron en el entendimiento y formación del proyecto.

El método empleado de investigación terciario se hará la encuesta la cual lleva el título del proyecto, una breve introducción y se continua con el contenido de la encuesta que se divide en tres partes, la primera se solicita los datos personales del encuestado (nombre, genero, edad, entre otras) , la segunda parte se enfoca en si la persona aplica un deporte y de ser un sí que tipo de deporte práctica, que si alguna vez ha presentado una lesión en el tobillo y de ser un sí que métodos utilizo para recuperarse y la última parte comprende en la opinión del encuestado sobre el proyecto en cuestión.

La encuesta se tenía en mente realizar y era la manera más adecuada de manera presencial en universidades, colegios, escuelas de deportes, entre otros lugares de la ciudad de Barranquilla lo cual resultaría mejor para la obtención de datos estadísticos sobre qué tan recurrente son las lesiones del tobillo no solo en deportistas sino en las personas del común y su acuerdo o desacuerdo con nuestra propuesta pero esta no se pudo hacer en esta modalidad debido a las circunstancias actuales (Covid 19).

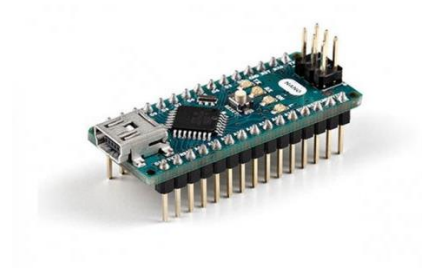
Se realizará la justificación de las tecnologías a utilizar, cabe mencionar que es necesario establecer un controlador para el sistema, se optó a utilizar un Arduino ya que es de fácil adquisición en el mercado, además de contar con los conocimientos previos en el uso de esta herramienta y su software. Debido a que existen varios modelos se decidió por trabajar con el Arduino Nano al tener un tamaño adecuado es de bajo costo para su adquisición.

Arduino Nano:

El Arduino Nano es una placa pequeña, completa y compatible con la placa de pruebas basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x) (Imagen 18). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. Solo carece de un conector de alimentación de CC y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar.

Imagen 18.

Arduino Nano



Nota: Imagen tomada de Arduino (2021)

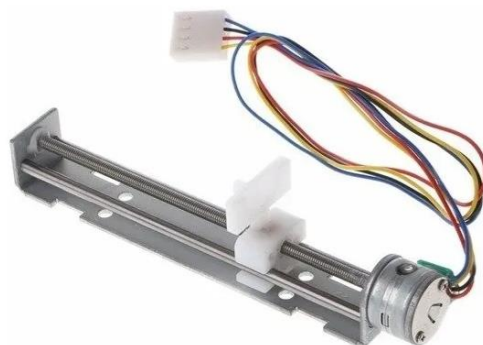
Actuador lineal- motor paso a paso:

Para la realización del movimiento se requiere 2 actuadores lineales que realizaran los movimientos del prototipo.

El actuador lineal empleado es el Mini Actuador Lineal - Eje X - Eje Y Máquina Mini Cnc. (Imagen 19)

Imagen 19.

Actuador Lineal



Nota: Pieza que permitirá el movimiento en el prototipo. Imagen obtenida de mercadolibre Colombia (2021).

Especificaciones:

Tipo de motor: 2 fases 4 hilos

Voltaje de conducción: DC 4-9V 500mA

Ángulo de paso: 18 °

Longitud del tornillo: 90 mm / 3,5 "

Diámetro del tornillo: 3 mm / 0,1 "

Ancho del control deslizante: 15 mm / 0,6 "

Carrera efectiva: 80 mm / 3,1 "

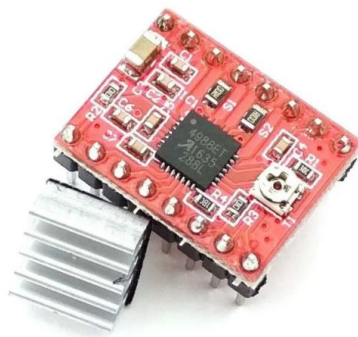
Tamaño del escenario: 105x15 mm / 4.31 "x0.59"

Driver Controlador De Motor A4988:

Para el manejo de los motores que tienen los actuadores lineales se necesitan 2 driver A4988.

Imagen 20.

Driver Controlador de Motor A4988.



Nota: Pieza que controla los actuadores lineales. Imagen obtenida de mercadolibre Colombia (2021).

Características:

Cinco resoluciones diferentes: paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso, y un dieciseisavo de paso.

Control de corriente ajustable que permite ajustar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite utilizar tensiones superiores a la tensión nominal del motor paso a paso para lograr mayores tasas de paso.

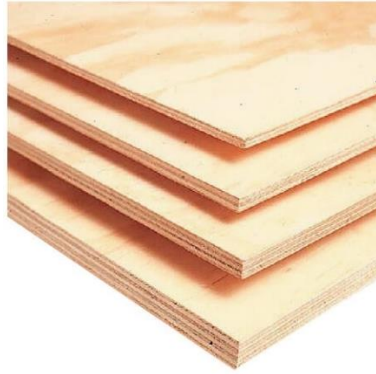
Protección por sobrecalentamiento térmico, cierre por baja tensión, y protección por sobrepico de corriente.

Madera:

El material que se empleara para la base, el soporte y brazos del prototipo serán realizados de madera.

Imagen 21.

Triplex de madera para base y soporte



Nota: Material utilizado para la realización de la base y superficie donde suspende el pie del paciente.

Imagen 22.

Listones de madera para los brazos el prototipo.



Nota: Material utilizado para los brazos y vástago del prototipo.

Tabla 4.*Materiales Utilizados en la elaboración del prototipo.*

Material	Cantidad
Arduino Nano	1
Actuador Lineal	2
Driver A4988	2
Pernos 1 pulgada x 6mm	4
Clavos 1 pulgada	1 paquete
Tubos de Jeringas	2
Listones 20 mm	8
Listones 12 mm	4
Lamina Triplex 5 cm	2 de 30x20
Tubos de Aluminio 15 mm	2
Tubos de Aluminio 12	2

Nota: Materiales empleados en la elaboración del prototipo.

Procedimiento

Fase 1. Búsqueda de información: Como primera fase de la investigación se llevó a cabo una revisión del estado del arte y de la técnica con el propósito de reunir información pertinente para el desarrollo del dispositivo, tales como equipos similares, terapias, causas de las lesiones, desafíos técnicos, entre otros. La revisión del estado del arte y de la técnica se llevará a cabo durante el transcurso de todo el proyecto.

Fase 2. Diseño de especificaciones: En esta fase se busca identificar los requerimientos mínimos que tiene que satisfacer el dispositivo. Tales como que ángulos debe abarcar, que puntos máximos, velocidad angular, aceleración, entre otros.

Fase 3. Diseño conceptual: En la tercera fase de la investigación se trata de encontrar la alternativa tecnológica que se va a realizar a detalles para el diseño. Para este proceso se realizará una tabla donde se describan los dispositivos que se encontraron en el estado del arte y así analizar la alternativa que sea más adecuada para las especificaciones deseadas en la fase 2.

Fase 4. Diseño básico: en esta fase se identifican los subsistemas que componen el mecanismo su posterior diseño.

Fase 5. Diseño de detalles: es la búsqueda del análisis cinemático y de fuerzas del mecanismo para la selección final de los componentes.

Fase 6. Construcción del prototipo: ya en esta fase se empieza hacer la construcción del prototipo con las especificaciones, alternativas y los subsistemas ya identificados para el prototipo deseado.

Fase 7. Pruebas del prototipo: esta fase comprende las pruebas del prototipo donde se demuestre que cumple con nuestras expectativas y los ángulos adecuados para la rehabilitación.

Resultados

En la tabla 5 se describe los detalles que se requiere para el diseño del prototipo deseado.

Tabla 5.

Requerimiento y descripción de las especificaciones deseadas.

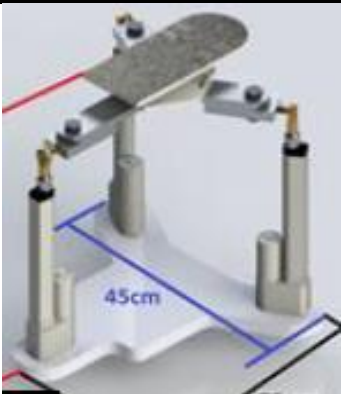
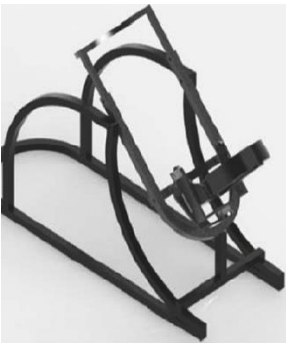
Requerimiento	Descripción
Bajo costo	Esto permite que sea accesible para la comunidad.
Abarcar movimientos del pie en dorsiflexión-plantarflexión, como también los de inversión-eversión y abducción-aducción.	Con el fin de ser una herramienta completa para el fisioterapeuta para la recuperación de lesiones de tobillo.
Comodidad	Se espera que sea sencillo y confiable para el paciente.
Ángulos	Dorsiflexión: 20. 3° a 29. 8° Plantarflexión: 37. 6° a 45. 8° Inversión: 14. 5° a 22. 0° Eversión: 10. 0° a 17. 0° Abducción: 15. 4° a 25. 9° Aducción: 22. 0° a 36. 0°
Velocidad angular	53.57 RPM \approx 50 RPM
Fuerza de movimiento	La fuerza ejercida del actuador debe ser mayor a 108,6 N
Grados de libertad (gdl)	3 gdl

Nota: especificaciones necesarias para el desarrollo del prototipo

En la tabla 6 se eligieron 7 posibles alternativas para ser elegida la que cumpla con la mayoría de las especificaciones descritas anteriormente.

Tabla 6.

Alternativas escogidas para llegar al prototipo deseado.

Opción	Imagen	Descripción	Desventajas
Dispositivo Biomédico Destinado A La Rehabilitación De Tobillo Por Medio De Movimiento Pasivo.		Cuenta con su respectivo mecanismo: un brazo deslizante sobre una corredera, asociada a una Junta universal de Hooke, y se encuentra conectado a su correspondiente actuador lineal.	Alto costo para su realización
Control De Un Prototipo Virtual De Una Máquina De Rehabilitación De Tobillo.		prototipo virtual de un rehabilitador de tobillo que proporciona los tres movimientos realizados en el tobillo. Se presenta el modelado matemático de uno y dos grados de libertad para la dinámica de los movimientos básicos, así como la combinación de dos movimientos.	Maneja solo 2 gdl y no cumple con todos los movimientos del tobillo.

Sistema robótico
para rehabilitación de
lesiones de tobillo.



sistema interactivo
para la rehabilitación
de tobillo: TobiBot

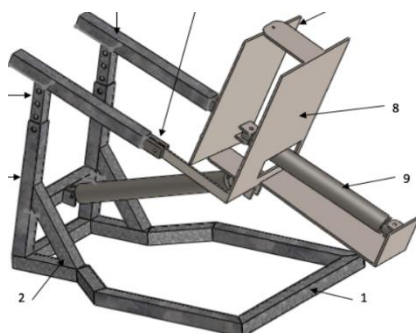


Sistema robótico que se basa en la
terapia activa y pasiva, con un
interfaz de videojuegos para
hacerla más dinámica.

TobiBot ejecuta movimientos
básicos del tobillo en
dorsiflexión/plantarflexión, esta
interfaz cuenta con un modo
videojuego. Se propone un
esquema de control PID.

Es semi manual
es decir tiene que
hacer esfuerzo el
paciente
Solo realiza 2
tipos de
movimientos.

Dispositivo Para La
Rehabilitación Pasiva
Del Tobillo



Presenta un dispositivo. Que
permite los movimientos de
dorsiflexión, flexión plantar,
inversión y eversión para
asistencia en actividades de
fisioterapia

Es muy pesado
para ser
transportado.

Robot paralelo para
rehabilitación
asistida de tobillo.



robot paralelo de rehabilitación de
tobillo ofrece rehabilitación
pasiva de dos movimientos
básicos y comúnmente utilizados
en un proceso de rehabilitación
como son el de
dorsi/plantarflexión y
eversión/inversión.

No resuelve por
completo el
problema.

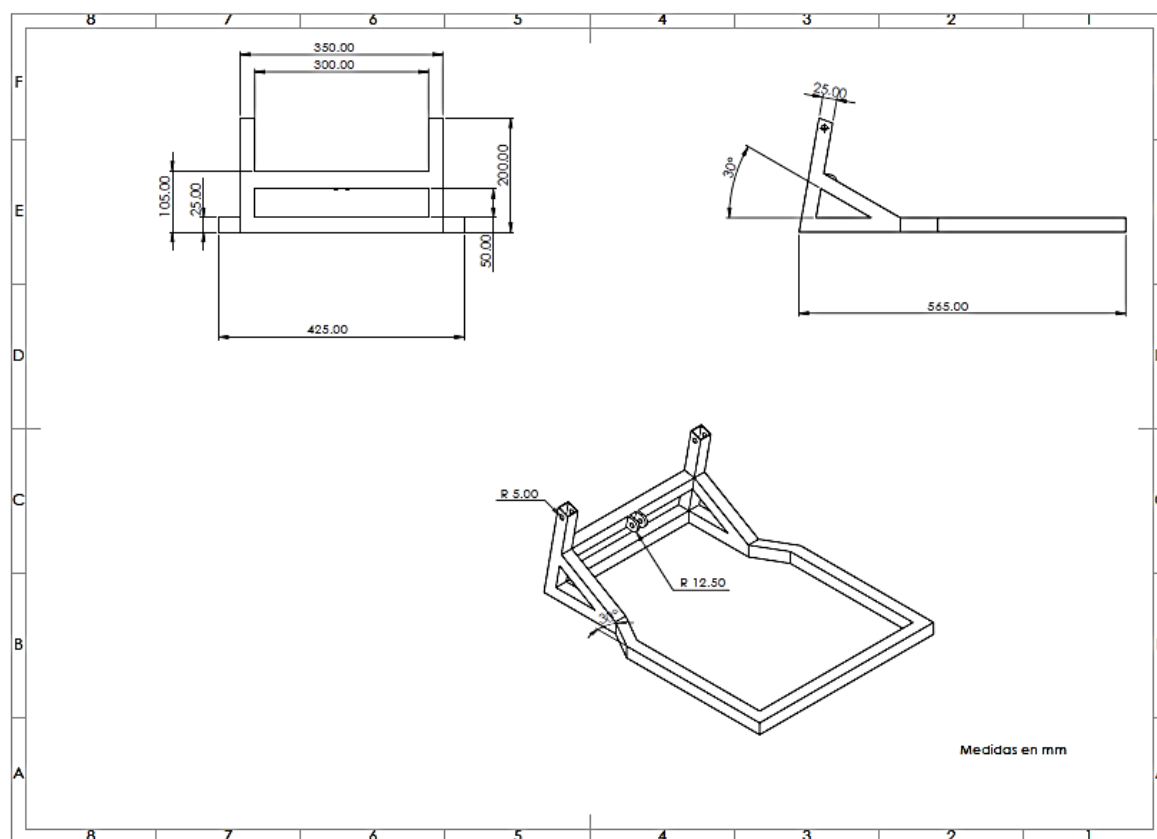
Nota: seleccionados y estudiados las alternativas que tengan las características que se asemejan a los requisitos del dispositivo.

Planos

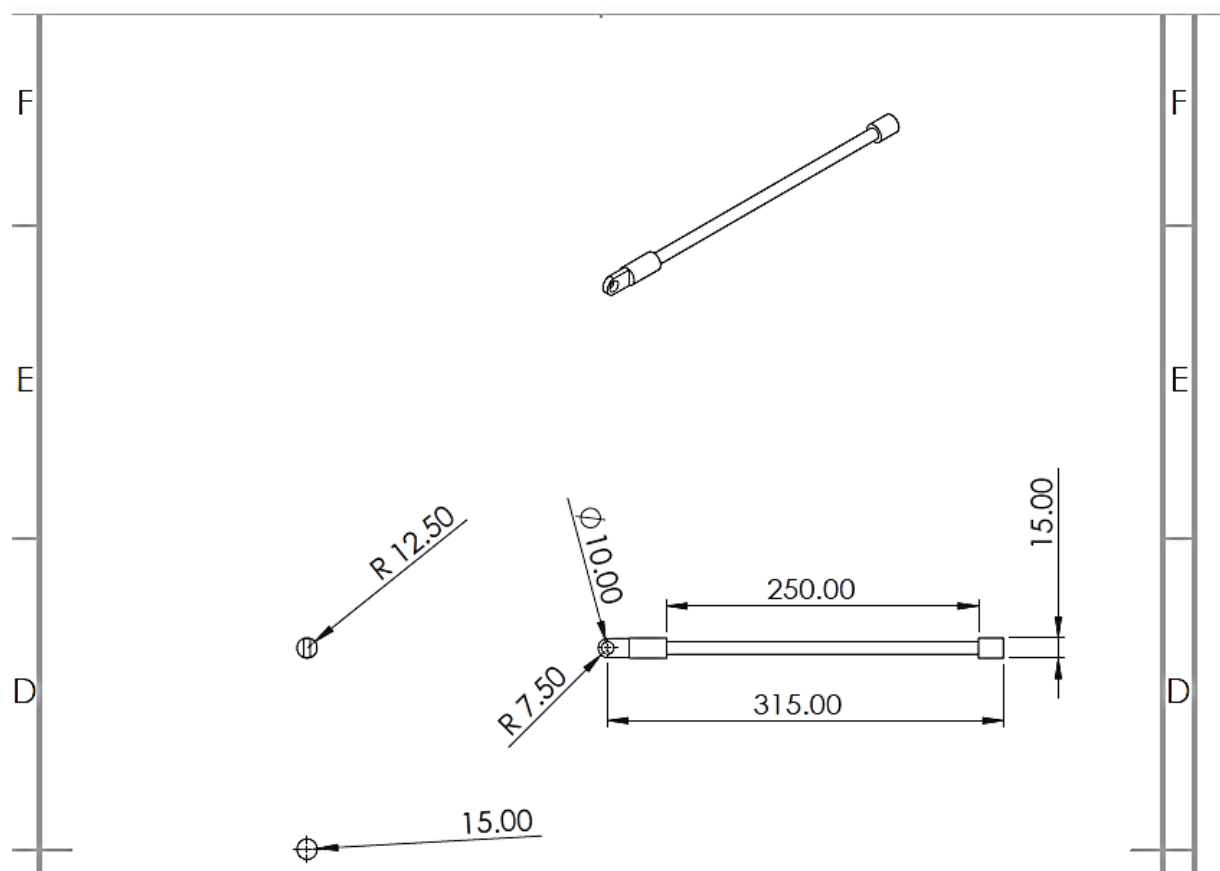
Para la realización del diseño se realizaron los planos por sección con sus medidas correspondientes al dispositivo.

Imagen 23.

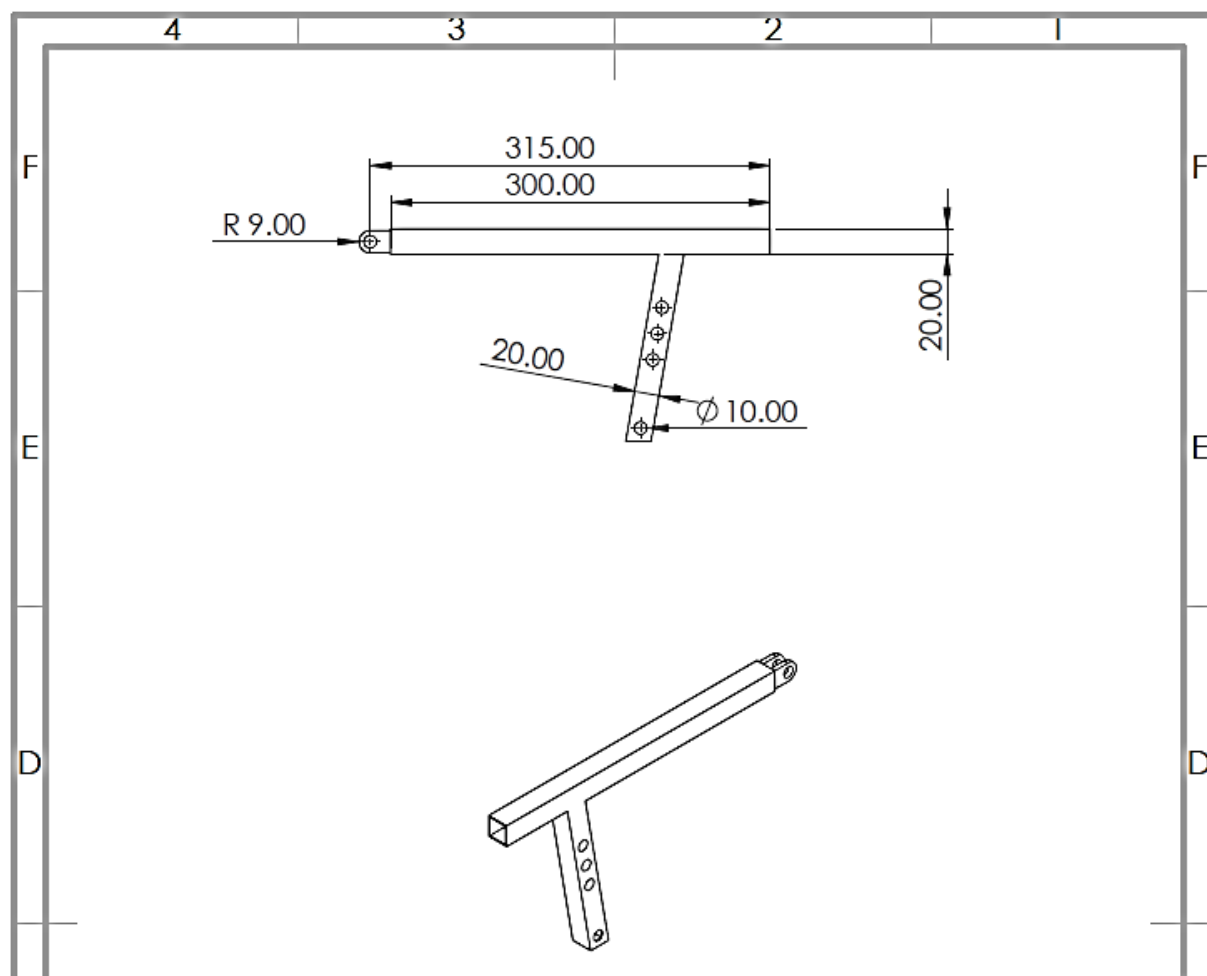
Base del Rehabilitador de Tobillo.



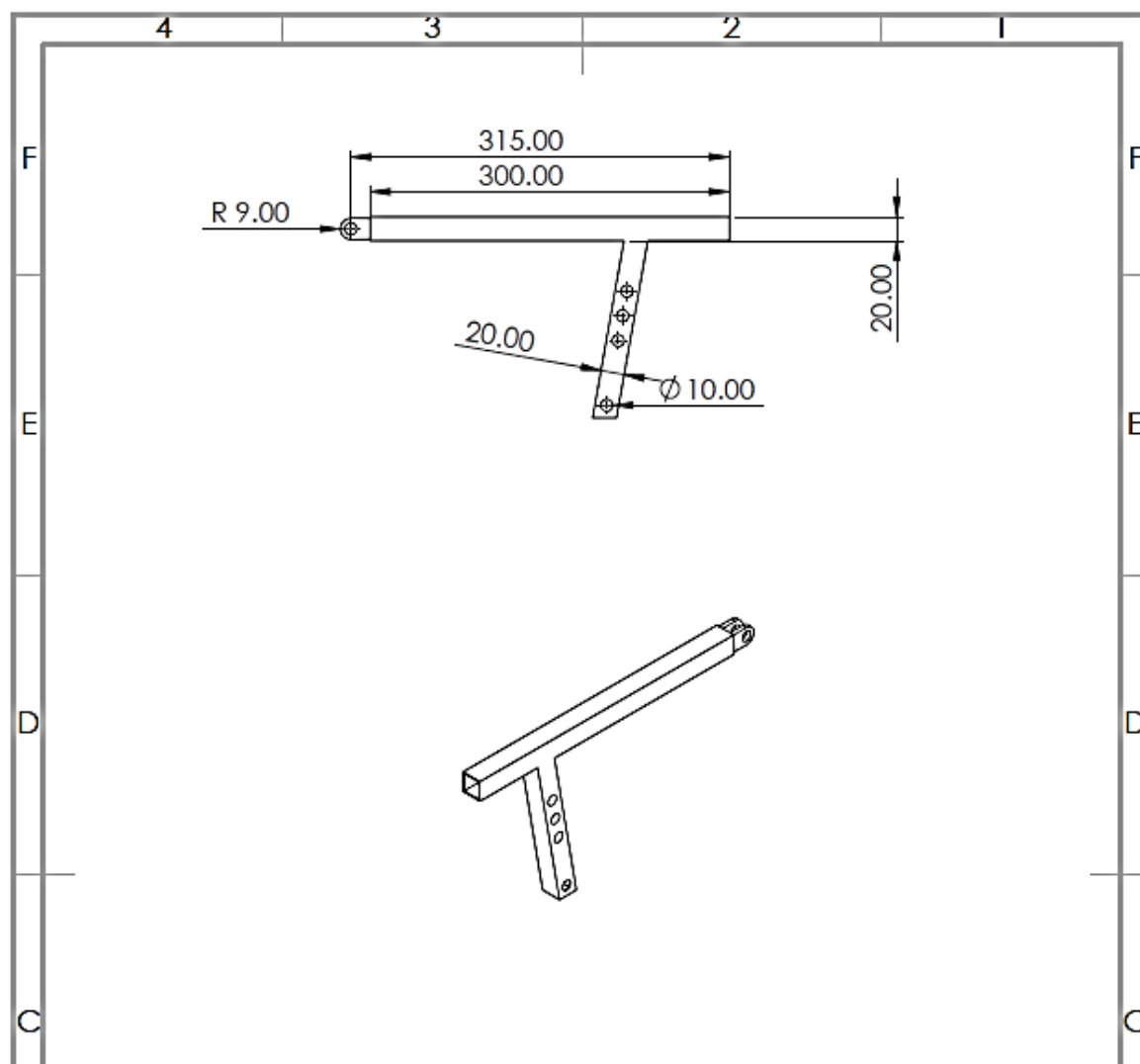
Nota: Planos de la base del dispositivo rehabilitador de tobillo.

Imagen 24.*Vástago*

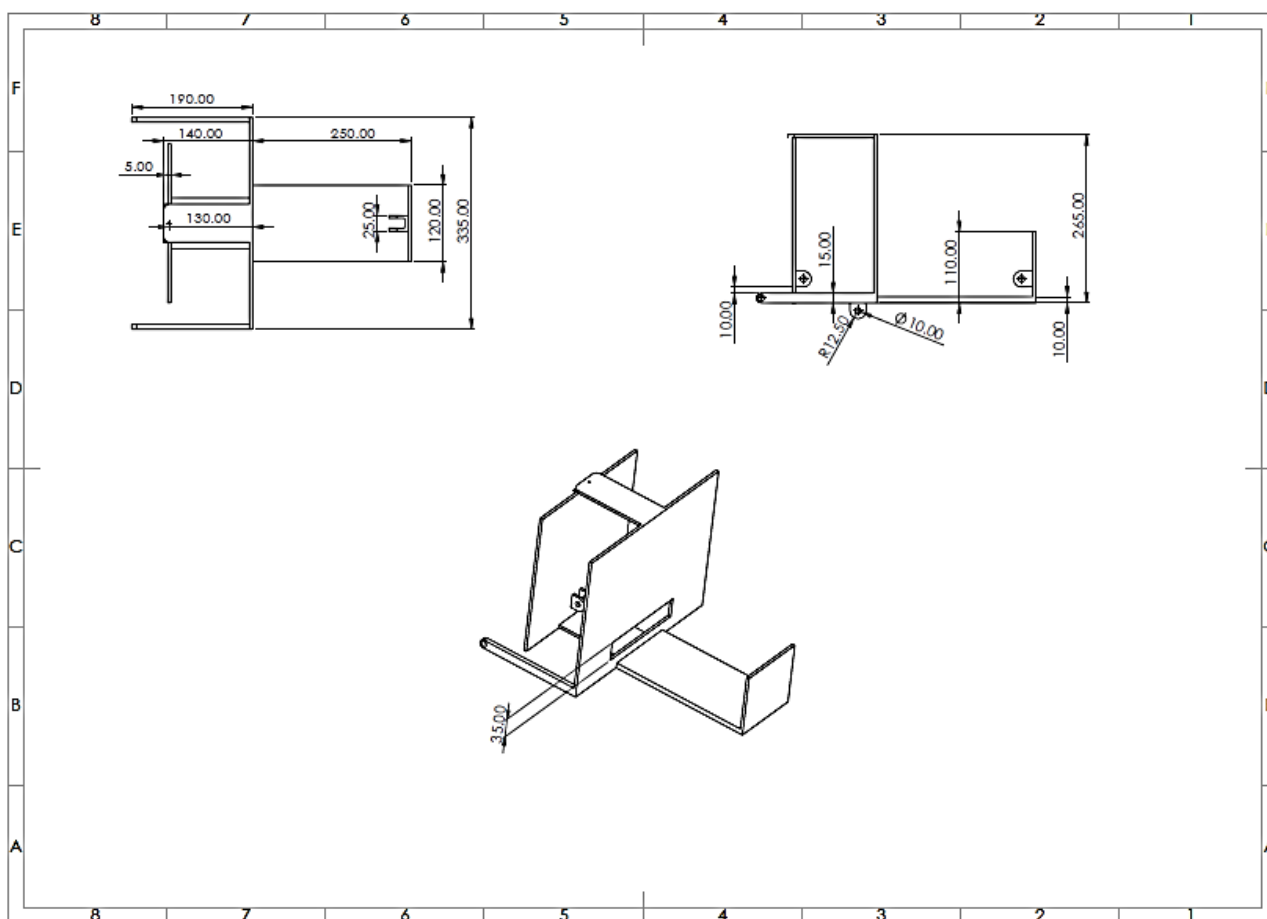
Nota: planos del vástago para el dispositivo rehabilitador de tobillo.

Imagen 25.*Pieza*

Nota: planos de la pieza que corresponde al brazo del dispositivo rehabilitador de tobillo.

Imagen 26.*Pieza 2.*

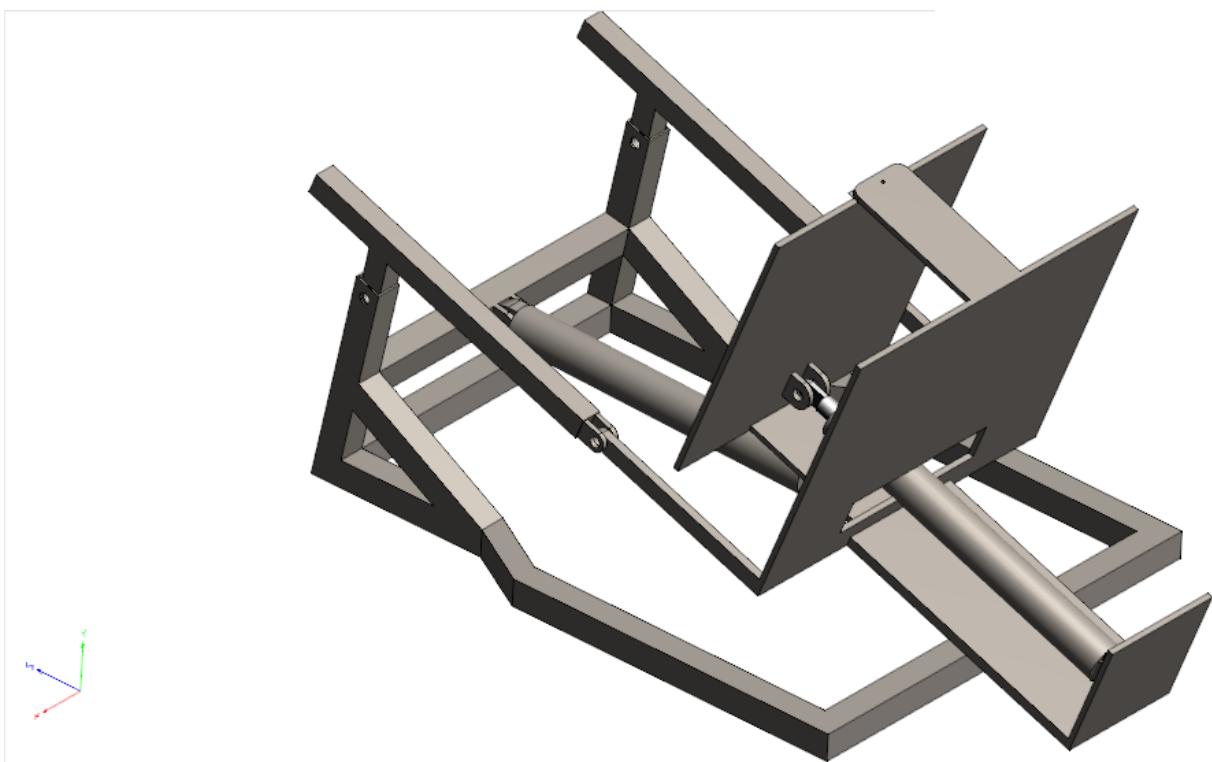
Nota: planos que representan el brazo del dispositivo rehabilitador de tobillo.

Imagen 27.*Pieza 3*

Nota: planos de pieza donde se suspenderá el pie en el dispositivo de rehabilitación de tobillo.

Diseño 3D**Imagen 28.**

Diseño 3D Del Dispositivo Rehabilitador De Tobillo.

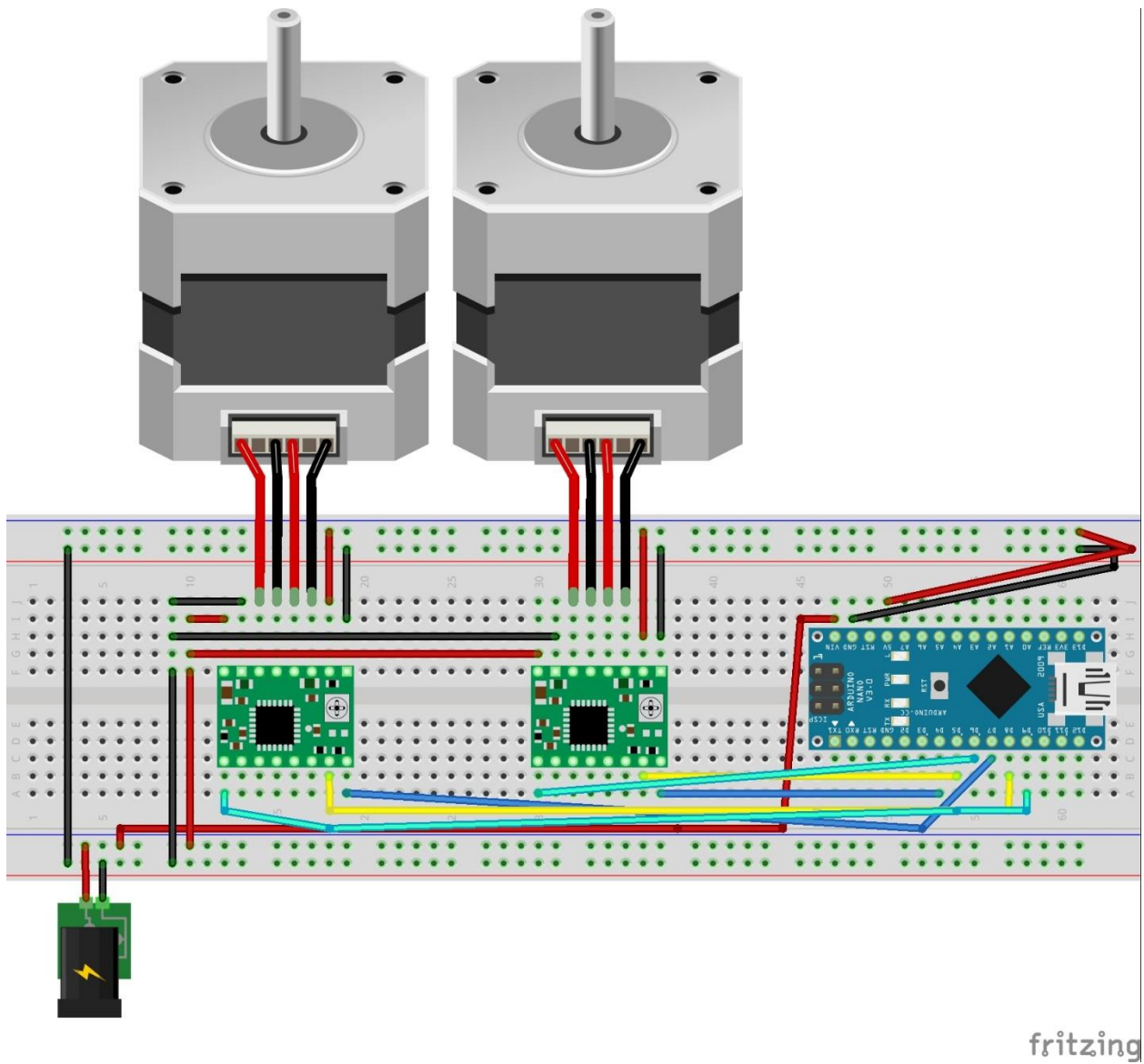


Nota: Diseño en 3D del dispositivo rehabilitador de tobillo guiada de (Cañaris, 2018, p. 28)

Esquema Eléctrico

Imagen 29.

Representación esquemática del sistema eléctrico del prototipo.



Nota: guiado de (Askix, 2021)

Prototipo

Imagen 30.

Prototipo para el rehabilitador de tobillo.



Nota: Representación del dispositivo rehabilitador de tobillo.

Discusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del prototipo se puede analizar que cumple con los requisitos y expectativas de las funciones propuestas en los objetivos. Respondiendo de manera adecuada los comandos ejecutados para los movimientos del pie en dorsiflexión-plantarflexión, como también los de inversión-eversión y abducción-aducción. De igual manera tener en cuenta los actuadores lineales sean los adecuados y tengan la suficiente fuerza para generar los grados de inclinación del prototipo, debido que si no se tiene los actuadores con las características correctas no se podrá efectuar una terapia eficaz al paciente.

Conclusiones y Recomendaciones

Para la realización de este proyecto se tomó en el contenido de artículos científicos enfocados en dispositivos de rehabilitación de tobillo y se llega a concluir que es de gran utilidad ya que las lesiones del tobillo tienden a ser las más recurridas en asistencias de urgencias y las infravaloradas en la realización de terapias que ayuden a la recuperación y el fortalecimiento del tobillo.

Las recomendaciones para la continuación de esta investigación es tener los actuadores lineales adecuados para que realice los movimientos requeridos por el pie ya que se tiene que simular los movimientos naturales del tobillo sin esforzar el tobillo.

Otra de las aspiraciones al momento de llevarse a cabo la investigación era tener acceso por medio de una aplicación que tuviera conexión por bluetooth o wifi y contar con una interfaz fácil de ser manipulada por los profesionales encargados de los tratamientos.

Referencias

- Rojas, J. E. A. P., Elizarraras, E. H., González, M. E. M., Oropeza, R. M., Valdez, Y. M. R., de la Torre Sánchez, R., ... & Roldán, V. M. L. (2004). Guía clínica para la atención del paciente con esguince de tobillo. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 42(5), 437-444. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2004/im045j.pdf>
- Rincón Cardozo, D. F., Camacho Casas, J. A., Rincón Cardozo, P. A., & Sauza Rodríguez, N. (2015). Approach of ankle sprain for the general physician. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 47(1), 85-92. <http://www.scielo.org.co/pdf/suis/v47n1/v47n1a11.pdf>
- Ruano, F. S., Zaforteza, E. P., Vila, A. G., & Fuster, M. I. B. (2010). Esguince de tobillo. *FS*, 1-24. <http://publicaciones.san.gva.es/docs/dac/guiasap019esgtobillo.pdf>
- Cerón, A., Gallegos, S., Moreno, D., Marroquín, F., & García, M. (2016). Dispositivo biomédico destinado a la rehabilitación de tobillo por medio de movimiento pasivo. https://www-optica.inaoep.mx/~tecnologia_salud/2016/documentos/memorias/MyT2016_012_E.pdf
- Arboleda Botero, J., Correa Monsalve, E., Ramírez Buriticá, M. J., & Gómez Rodas, A. (2018). Efectos del vendaje de reposicionamiento fibular y neuromuscular función dinámica del tobillo, futbolistas Deportivo Pereira, Colombia 2017. Cuaderno De Investigaciones: Semilleros Andina, (10). Recuperado a partir de <https://revia.areandina.edu.co/index.php/vbn/article/view/823>
- Guzmán Valdivia, Cesar Humberto, Carrera Escobedo, José Luis, Blanco Ortega, Andrés, Oliver Salazar, Marco Antonio, & Gómez Becerra, Fabio Abel. (2014). Diseño y control de un sistema interactivo para la rehabilitación de tobillo: TobiBot. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 5(1), 255-264. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-73812014000200003&lng=es&tlng=es.
- Botero, J. A., Monsalve, E. C., Buriticá, M. J. R., & Rodas, A. G. (2017). Efectos del vendaje de reposicionamiento fibular y neuromuscular función dinámica del tobillo, futbolistas Deportivo Pereira, Colombia 2017. Cuaderno de investigaciones: semilleros andina, (10). <https://revia.areandina.edu.co/index.php/vbn/article/view/823>

- Tito Cañaris, M. A. (2018). *Dispositivo para la rehabilitación pasiva del tobillo* (Bachelor's thesis). <https://core.ac.uk/download/pdf/200323953.pdf>
- Rayón F., A. (2007). **Diseño de prótesis de pie**. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecatrónica. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/rayon_f_a/capitulo2.pdf
- Brockett, C. L., & Chapman, G. J. (2016). Biomechanics of the ankle. *Orthopaedics and trauma*, 30(3), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2016.04.015>
- Zárate Montero, H. E. (2017). Tratamiento fisioterapéutico en esguince crónico de tobillo. <http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1859/TRAB.SUF.PROF.%20ZARATE%20MONTERO%2c%20HAYDEE%20ELIZABETH.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Díaz Tarazona, C. A. (2015). *Caracterización biomecánica del golpe de derecha liftada como respuesta a una bola con efecto cortado en jugadores de la selección de tenis de mesa de la Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios). https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4008/TEFIS_DiazTarazonaCarlos_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paredes Zevallos, D. L. (2014). Sistema de control de la cinemática de una plataforma Stewart-Gough para la rehabilitación de la movilidad del tobillo. http://www.repositoriocdpd.net:8080/bitstream/handle/123456789/73/Tes_ParedesZevallosDL_SistemaControlCinematica_2013.pdf?sequence=1
- Hernández, E. V. S., de Loera Rodríguez, C. O., Bustamante, A. E. C., & Oliva, X. M. (2016). Biomecánica funcional del pie y tobillo: comprendiendo las lesiones en el deportista. *Ene*. https://www.researchgate.net/profile/Andres-Cobar/publication/307547126_Biomecanica_funcional_del_pie_y_tobillo_comprendiendo_las_lesiones_en_el_deportista/links/57c8122c08ae28c01d5187a1/Biomecanica_funcional-del-pie-y-tobillo-comprendiendo-las-lesiones-en-el-deportista.pdf

- Leceta Marañón, A. (2018). El BOSU como herramienta de valoración en la inestabilidad funcional del tobillo. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/35076/TFG-O-1536.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salazar Padilla, J. A. (2018). *Estudio comparativo de tratamiento convencional frente a tratamiento temprano o funcional en esguince de tobillo grado II en futbolistas de las categorías sub 16 y sub 19 en el Club Deportivo Independiente del Valle, Sangolquí, Pichincha a realizarse entre abril del 2017 a diciembre del 2017* (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15495/FINAL%20Andres%20Salazar%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ampudia Garzón, M. P. (2017). *'Incidencia de la inestabilidad crónica de tobillo en el personal administrativo de las unidades de salud pública en Latacunga'* (Bachelor's thesis, "Incidencia de la inestabilidad crónica de tobillo en el personal administrativo de las unidades de salud pública en Latacunga").
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25678/2/PAMELA%20AMPUDIA%20PROYECTO%20FINAL%20PDF.pdf>
- Dalmau-Pastor, M., Malagelada, F., Guelfi, M., & Vega, J. (2020). Anatomía del tobillo. *Rev Esp Artrosc Cir Articul*, 27(1), 5-11. <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2016/ot161g.pdf>
- Padrón, K. G., Rangel, S. I. H., Morán, A. R. L., & Hernández, E. V. S. (2016). Propuesta de rehabilitación funcional para el tratamiento del esguince de tobillo e inestabilidad lateral en atletas de alto rendimiento. *Ortho-tips*, 12(1), 49-56.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2016/ot161g.pdf>
- Moreno, F., Jordan, O., Esmitt, R. J., Christiam, M., Omaira, R., Jeanlight, R., & Silvio, Á. (2013, October). Un framework para la rehabilitación física en miembros superiores con realidad virtual. In *Primera conferencia nacional de computacion, informatica y sistemas. universidad central de venezuela*.
https://www.researchgate.net/publication/261063583_Un_Framework_para_la_Rehabilitacion_Fisica_en_Miembros_Superiores_con_Realidad_Virtual

Ingeniería de Rehabilitación. (n.d.). Retrieved April 25, 2021, from Nih.gov website:
<https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/ingenier%C3%ADa-de-rehabilitaci%C3%B3n>

Infomed, R. T. de S. en C. (1999, February 11). Medicina de Rehabilitación BIOMECÁNICA. Retrieved April 25, 2021, from Sld.cu website: <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion-bio/temas.php?idv=18688>

redacción. (2019, August 26). ▷ ¿Qué es la velocidad angular? Retrieved April 25, 2021, from Centroestudioscervantinos.es website:
<https://www.centroestudioscervantinos.es/velocidad-angular/>

Oliver, J. L. (n.d.). Grados de Libertad - Máquinas y Mecanismos. Retrieved April 25, 2021, from Upv.es website: <http://www.upv.es/vltmodels/grados-de-libertad.html>

DEL POZO, D. D. P. EPIDEMIOLOGÍA DE LA LESIÓN DEPORTIVA. (2015)
http://oa.upm.es/36508/1/TFG_DANIEL_PEREZ_DEL_POZO.pdf

Manejar un Motor paso a paso con un Arduino y un controlador Stepstick / chip A4988 / Paso 5: Un programa más complicado - askix.com. (Dakota del Norte). Obtenido el 19 de mayo de 2021 del sitio web Askix.com: https://www.askix.com/manejar-un-motor-paso-a-paso-con-un-arduino-y-un-controlador-stepstick-chip-a4988_6.html

Anexos

Anexo 1.

Encuesta realizada.

Dispositivo Funcional Para Terapia de Tobillo

Estimado ciudadano, a continuación, encontrara unas breves preguntas relacionadas con lesiones en el tobillo entre ellas se encuentra el esguince de tobillo siendo esta ocasionada por una torcedura que afecta los ligamentos que se encuentran en la parte inferior de la pierna donde se conectan con el pie. Agradecemos su colaboración diligenciando esta corta encuesta para la recolecta de información, la cual es esencial para la realización del proyecto. La información aquí suministrada se presentará de forma anónima y protegida por las leyes vigentes. Muchas gracias por su ayuda.

* Obligatorio

1. Nombre Completo *

2. Genero *

Masculino

Femenino

3. Edad *

4. Ciudad o municipio de residencia *

5. Practica algún deporte *

Si

No

6. A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿Qué deporte practica?

Escriba su respuesta

7. Si su respuesta es No, ¿Cuál otra actividad realiza?

Escriba su respuesta

8. Ha sufrido de alguna lesión en el tobillo. *

Si

No

9. A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿ Cuantas veces a sufrido de un esguince o torcedura de tobillo?

1

2 o mas

10. Al sufrir la lesión en el tobillo se dirigió al servicio de urgencias?

Si

No

11. A la pregunta anterior ha seleccionado SI, ¿Siguió las recomendaciones dadas por el medico?

Si

No

12. En cambio si la respuesta fue un NO, ¿Qué tratamiento se realizo para reducir el dolor?

Escriba su respuesta

13. Después de haberse recuperado de la lesión en el tobillo realizo algún terapia para fortalecer el tobillo?

Si

No

14. Sabía que al presentarse un esguince o torcedura de tobillo los ligamentos sufren de estiramientos e incluso ruptura y si este no tiene un adecuado tratamiento dentro de las 48 horas y luego de estas unos ejercicios para rehabilitarlo, el tobillo queda débil e incluso sufre de torceduras de tobillo muy a menudo. *

- Si
- No

15. Que pensarías de un dispositivo que te ayudara con terapias aplicadas al tobillo sin esforzarlo y además tener una recuperación adecuada. *

Escriba su respuesta

16. Que sugerencia tendría a cerca de este? *

Escriba su respuesta

17. ¿Qué tan confiado se sentiría Ud. si la terapia estaría realizada por un equipo supervisado por el profesional a cargo? *

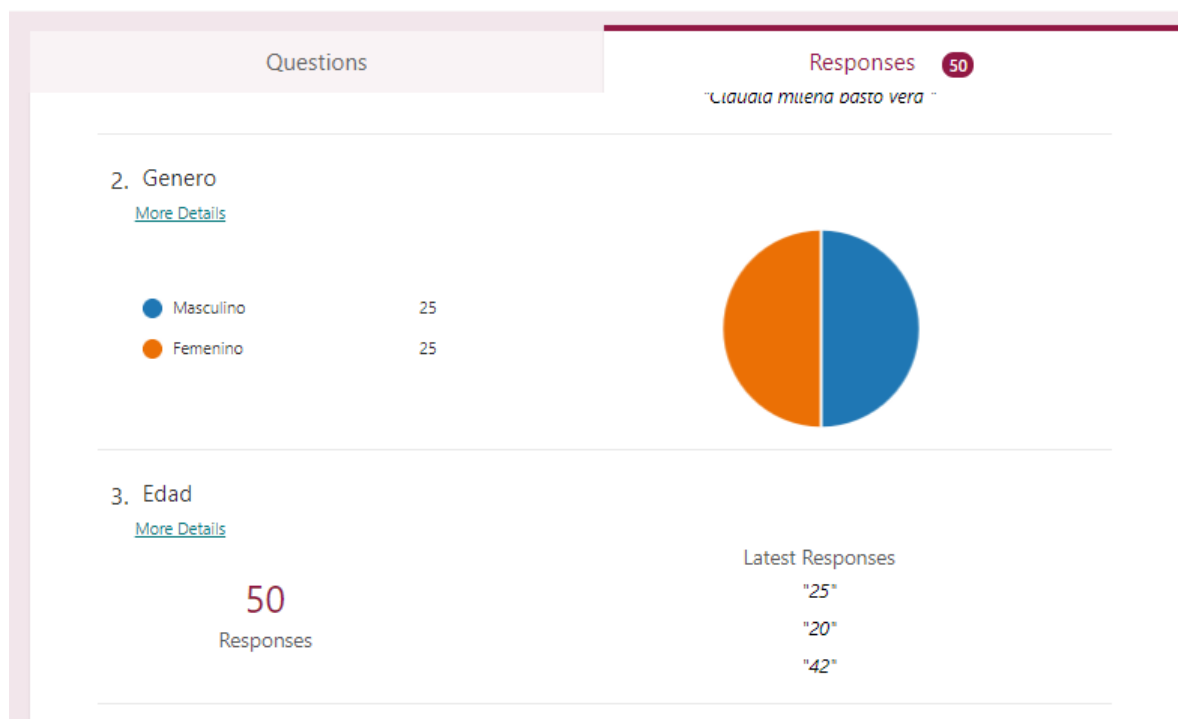
- muy confiable
- confiable
- poco confiable
- nada confiable

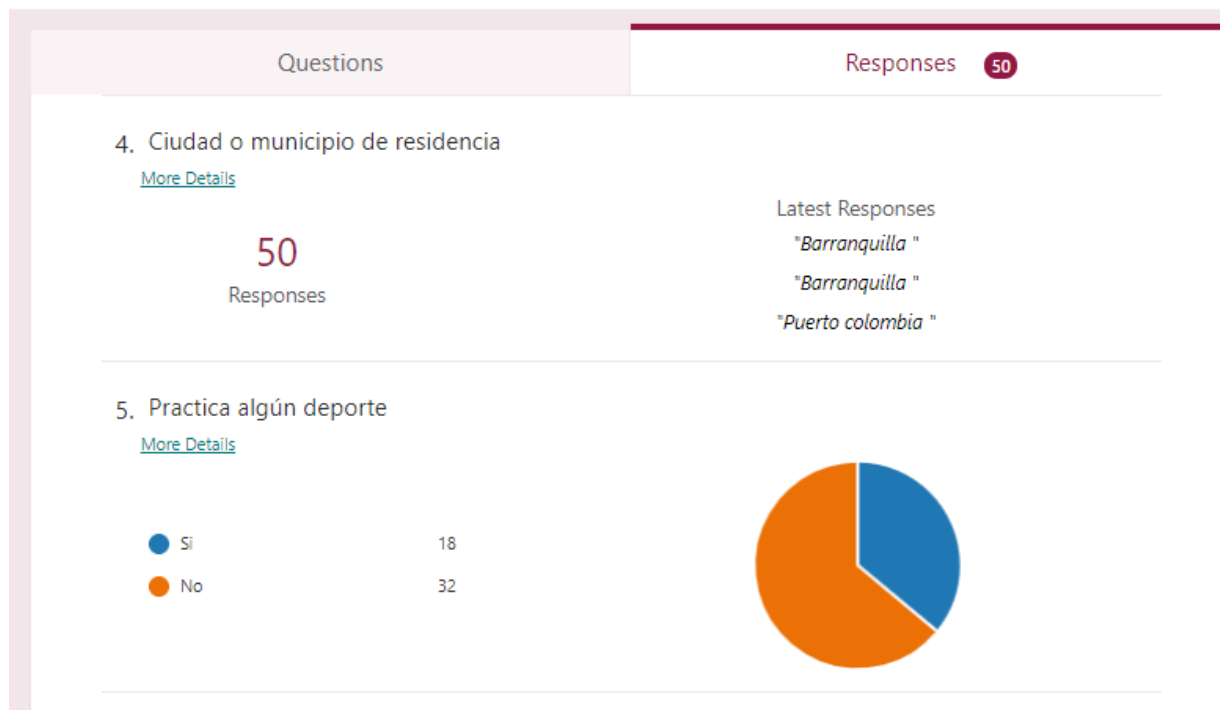
Enviar

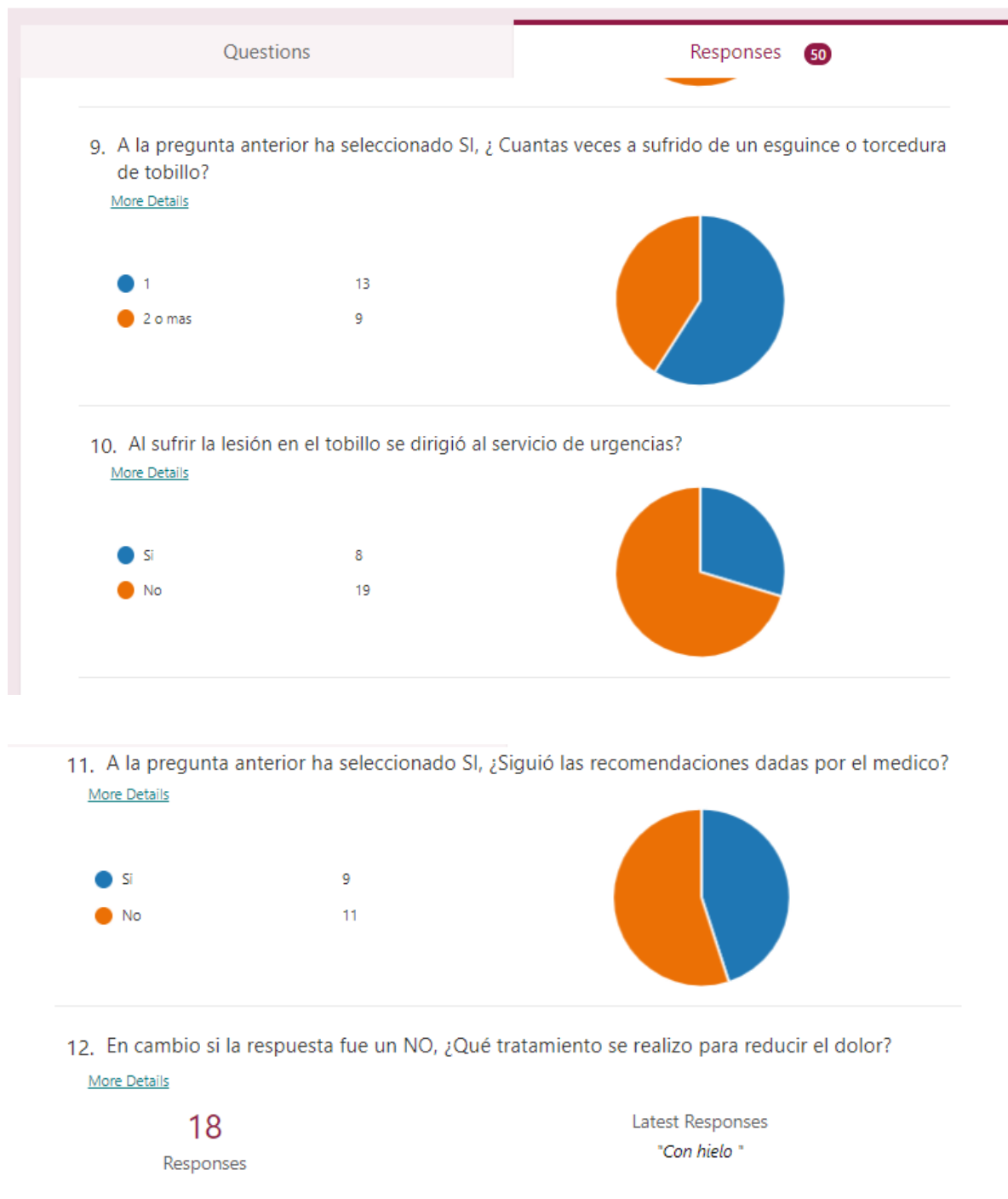
No revele nunca su contraseña. [Notificar abuso](#)

Anexo 2.

Resultados obtenidos de la encuesta.







13. Después de haberse recuperado de la lesión en el tobillo realizo algún terapia para fortalecer el tobillo?

[More Details](#)



14. Sabia que al presentarse un esguince o torcedura de tobillo los ligamentos sufren de estiramientos e incluso ruptura y si este no tiene un adecuado tratamiento dentro de las 48 horas y luego de estas unos ejercicios para rehabilitarlo, el tobillo queda débil e incluso sufre de torceduras de tobillo muy a menudo.

[More Details](#)



15. Que pensarías de un dispositivo que te ayudara con terapias aplicadas al tobillo sin esforzarlo y además tener una recuperación adecuada.

[More Details](#)

50
Responses

Latest Responses

"Excelente"

"Seria excelente "

"Sería un dispositivo de mucha ayuda para la rehabilitación "

16. Que sugerencia tendría a cerca de este?

[More Details](#)

50
Responses

Latest Responses

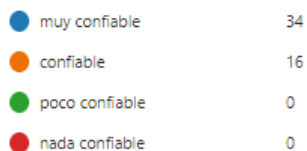
"Ninguna"

"Que sea bueno"

"Que sea aplicable a los casos "

17. ¿Qué tan confiado se sentiría Ud. si la terapia estaría realizada por un equipo supervisado por el profesional a cargo?

[More Details](#)



Anexo 3.

Código De Prototipo Rehabilitador De Tobillo.

```
//CODIGO DE PROTOTIPO REHABILITADOR DE TOBILLO
```

```
// CORPORACION UNIVERSITARIA REFORMADA
```

```
// GERALDINE MANRIQUE
```

```
#include <AccelStepper.h>
```

```
#define MOTOR1_DIR_PIN 8
```

```
#define MOTOR2_DIR_PIN 11
```

```
#define MOTOR1_STEP_PIN 9
```

```
#define MOTOR2_STEP_PIN 10
```

```
#define MOTOR1_LS_PIN 6
```

```
#define MOTOR2_LS_PIN 7
```

```
#define MOTOR1_SPR 200 // Número de pasos por 1 revolución del eje del motor
```

```
#define MOTOR2_SPR 200
```

```
#define MOTOR1_MAX_SPEED 50000.0
```

```
#define MOTOR2_MAX_SPEED 50000.0
```

```
#define MOTOR1_INIT_SPEED -200.0
```

```
#define MOTOR2_INIT_SPEED 800.0
```

```
#define MOTOR1_JOY_IN 0
```

```
#define MOTOR2_JOY_IN 1
```

```
#define SPEED_KNOB_IN 2 //Controlador de velocidad - resistencia variable 4.7K
```

```
AccelStepper stpMotor1(AccelStepper::DRIVER, MOTOR1_STEP_PIN, MOTOR1_DIR_PIN);
```

```
AccelStepper stpMotor2(AccelStepper::DRIVER, MOTOR2_STEP_PIN, MOTOR2_DIR_PIN);
```

```
int nMotor1SP, nMotor2SP; // Configuración de la dirección desde el joystick
```

```
int nSpeedSP; // Establecer la velocidad de una tarea
```

```
int nMotor1MV, nMotor2MV; // Ajuste de la velocidad después del limitador
```

```
void setup() {
```

```
    phInit();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    phGetCommand();
```

```
    phMotorRun();
```

```
}
```

```
void phInit()
```

```
{
```

```
    pinMode(MOTOR1_DIR_PIN, OUTPUT);
```

```
    pinMode(MOTOR2_DIR_PIN, OUTPUT);
```

```
    pinMode(MOTOR1_STEP_PIN, OUTPUT);
```

```
    pinMode(MOTOR2_STEP_PIN, OUTPUT);
```

```
    pinMode(MOTOR1_LS_PIN, INPUT_PULLUP);
```

```
    pinMode(MOTOR2_LS_PIN, INPUT_PULLUP);
```

```
nMotor1MV = 0;

nMotor2MV = 0;

stpMotor1.setMaxSpeed(MOTOR1_MAX_SPEED);

stpMotor2.setMaxSpeed(MOTOR2_MAX_SPEED);

stpMotor1.setAcceleration(10.0);

stpMotor2.setAcceleration(10.0);

stpMotor1.setSpeed(0);

stpMotor2.setSpeed(0);

stpMotor1.setSpeed(MOTOR1_INIT_SPEED);

while (digitalRead(MOTOR1_LS_PIN) != 0) {

    stpMotor1.runSpeed();

}

stpMotor1.setCurrentPosition(0);

stpMotor1.setSpeed(-MOTOR1_INIT_SPEED);

while (abs(stpMotor1.currentPosition()) < 400) {
```

```
    stpMotor1.runSpeed();  
  
}  
  
stpMotor1.setCurrentPosition(0);  
  
stpMotor1.setSpeed(0);  
  
  
stpMotor2.setSpeed(MOTOR2_INIT_SPEED);  
  
while (digitalRead(MOTOR2_LS_PIN) != 0) {  
  
    stpMotor2.runSpeed();  
  
}  
  
stpMotor2.setCurrentPosition(0);  
  
stpMotor2.setSpeed(-MOTOR2_INIT_SPEED);  
  
while (abs(stpMotor2.currentPosition()) < 2400) {  
  
    stpMotor2.runSpeed();  
  
}  
  
stpMotor2.setCurrentPosition(0);  
  
stpMotor2.setSpeed(0);
```

```
    return;
}

void phGetCommand()
{
    nMotor1SP = analogRead(MOTOR1_JOY_IN) - 512;
    nMotor2SP = analogRead(MOTOR2_JOY_IN) - 512;
    nSpeedSP = 1023 - analogRead(SPEED_KNOB_IN);

    if (nMotor1SP > 100) {
        nMotor1MV = nSpeedSP;
    } else if (nMotor1SP < -100) {
        nMotor1MV = -nSpeedSP;
    } else {
        nMotor1MV = 0;
    }

    nMotor1MV = nMotor1MV / 5;
```

```
if (nMotor2SP > 100) {  
  
    nMotor2MV = nSpeedSP;  
  
} else if (nMotor2SP < -100) {  
  
    nMotor2MV = -nSpeedSP;  
  
} else {  
  
    nMotor2MV = 0;  
  
}  
  
nMotor2MV = nMotor2MV * -1;  
  
}  
  
void phMotorRun()  
  
{  
  
    stpMotor1.setSpeed(nMotor1MV);  
  
    stpMotor2.setSpeed(nMotor2MV);  
  
    stpMotor1.runSpeed();  
  
    stpMotor2.runSpeed();  
  
}
```