



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE ÓRTESIS ACTIVA QUE
FACILITE EL MOVIMIENTO DE LA
RODILLA PARA LA AYUDA DE
PERSONAS MAYORES.**

Autor
Vivas Luis

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 87123



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE ÓRTESIS ACTIVA QUE FACILITE EL MOVIMIENTO DE LA
RODILLA PARA LA AYUDA DE PERSONAS MAYORES.**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:
Luis Vivas
C.I: 26.492.100
Tutor:
Ing. Giovanni Pizzella

San Diego, septiembre



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: DISEÑO DE ÓRTESIS ACTIVA PARA FACILITAR EL MOVIMIENTO DE LA RODILLA PARA LA AYUDA DE PERSONAS MAYORES

Realizado por el (la) Br. VIVAS SUAREZ LUIS DAVID

C.I. N° 26492100 cursante de la carrera de INGENIERÍA MECÁNICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA
C.I.: 4455859

El Jurado

Jurado
Nombre: DONATO ROHANILLO
C.I.: 4131877

Jurado
Nombre: WILMER SANZ
C.I.: 7130496

Fecha: 11 / 10 / 2022





**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN PARA PRESENTACIÓN PÚBLICA
DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Giovanni Pizzella, portador(a) de la cedula de identidad N° 4.455.859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Luis D. Vivas S. titulares de la cedula de identidad N° 26.492.100 titulado **DISEÑO DE ORTESIS ACTIVA QUE FACILITE EL MOVIMIENTO DE LA RODILLA PARA LA AYUDA DE PERSONAS MAYORES** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 12 días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.

Ing. Giovanni Pizzella

C.I: 4.455.859

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PAEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
DECANATO DE INGENIERÍA



FIN 008 2022-2CR TG

Valencia, 08 de junio de 2022

Ciudadano:
VIVAS SUAREZ. LUIS DAVID
26.492.100
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2022 de fecha 12/05/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Diseño de ortesis activa que facilite el movimiento de la rodilla
para la ayuda de personas mayores

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Giovanni Pizzella Pierro, titular de la cédula de identidad V-4.455.859



Atentamente

Dr. Francisco Gelanz Sevilla.
Decano de Ingeniería

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE CUADRO	viii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN INFORMATIVO	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance y limitaciones.....	5
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1. 1 Teoría de la marcha humana.....	8
2.2.2 Teoría dinámica	9
2.2.3. 3 Teoría biomecánica	9
2.2.4. La Rodilla	9
2.2.5. Biomecánica de la rodilla.....	10
2.2.6. Órtesis de Rodilla	11
2.2.7. Uso.....	12
2.2.8. Tipos de Ortesis	12
2.2.9. Materiales para su construcción.....	13
2.3 Bases Legales.....	13
2.4 Definición de Términos básicos.....	14
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	16
3.2 Diseño de la Investigación.....	16
3.3 Nivel de la investigación.....	16
3.4. Población y muestra.....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17

3.6. Fases metodológicas de la investigación	18
IV RESULTADOS	
4.1 Fase I Diagnostico de los disantos tipos de órtesis de rodilla.....	20
4.1.1 Dinámicas.....	20
4.1.2 Estabilizadoras.....	21
4.1.3 Correctoras.....	21
4.1.4 Posturales.....	22
4.1.5 Órtesis mixtas.....	23
4.2 Fase II Seleccionar las alternativas de diseño de la órtesis activa de rodilla.....	24
4.2.1 Propuestas de alternativa para la órtesis.....	24
4.2.2 Sistemas representativos para la Alternativa I.....	26
4.2.3 Sistemas representativos para la Alternativa II.....	26
4.2.4 Sistemas representativos para la Alternativa III.....	27
4.2.5 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta.....	28
4.2.5.1 Lista de criterios y restricciones que debe cumplir la ortesis para que facilite el movimiento de la rodilla en las personas mayores.....	28
4.2.5.2. Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución.....	29
4.3 Fase III Determinar los materiales apropiados para el diseño de la órtesis activa de rodilla mixta.....	33
4.4 Fase IV Análisis de las estructurales a la órtesis seleccionada para visualizar las ventajas y desventajas que se tienen.....	34
4.4 Fase V Simulación virtual a través de la herramienta Fusion 360, el dispositivo diseñado.....	34
CONCLUSIONES.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	54
Anexo 1 Aleaciones de aluminio.....	55
Anexo 2 Propiedades mecánicas del aluminio 1100.....	55
Anexo 3 Familia de aleaciones de aluminio.....	55
Anexo 4 Propiedades mecánicas de aleaciones de acero inoxidable 17-4PH..	56
Anexo 5 Grupo de aceros inoxidables.....	56
Anexo 6 Clasificación de los aceros inoxidables.....	57

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA	Pp
1 Etapas de la vida.....	2
2 Órtesis funcional.....	4
3 Marcha humana.....	9
4 Partes de la rodilla	10
5 Órtesis de rodilla.....	12
6 Órtesis dinámicas.....	21
7 Órtesis estabilizadoras.....	21
8 Órtesis correctoras.....	22
9 Órtesis posturales.....	22
10 Órtesis mixtas.....	24
11 Órtesis estabilizadora Alternativa I.....	26
12 Órtesis correctora Alternativa II.....	27
13 Órtesis Mixta Alternativa III.....	28
14 Esquema órtesis activa de rodilla.....	31
15 Resorte para restauración de movimiento.....	32
16 Modelo de órtesis activa de rodilla.....	34
17 Medidas de platinas de aluminio.....	35
18 Material de platina y carga de 790 N.....	36
19 Mallado de platina.....	37
20 Esfuerzo máximo y mínimo de la platina.....	38
21 Valor máximo de deformación y valor máximo de desplazamiento.....	39
22 Factor de seguridad de las platinas.....	40
23 Medidas pin de acero inoxidable.....	41
24 Carga del pin.....	41
25 Material del pin.....	42
26 Esfuerzo máximo y mínimo del Pin.....	42
27 Deformación y desplazamiento del Pin.....	43
28 Factor de seguridad del Pin.....	44
29 Medidas del resorte espiral.....	45
30 Medidas del pin rojo.....	46
31 Posición inicial órtesis.....	47
32 Flexión de la rodilla.....	48
33 Rodilla flexionada.....	49
34 Piezas del ensamblaje de la órtesis mixta.....	49

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO	Pp
1 Alternativas. Características y materiales de las ortesis	25
2 Usos de las órtesis de rodilla.....	26

3	Lista de criterios y restricciones.....	30
---	---	----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		Pp
1	Comparación de Restricciones vs. Posibles Soluciones	30
2	Ponderación de criterios.....	31
3	Parámetros de puntuación.....	31
4	Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección.....	32
5	Evaluación de alternativa total.....	32



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE ÓRTESIS ACTIVA QUE FACILITE EL MOVIMIENTO DE LA
RODILLA PARA LA AYUDA DE PERSONAS MAYORES.**

Autores: Luis Vivas
Tutor: Ing. Giovanni Pizzella
Fecha: mayo 2022

RESUMEN INFORMATIVO

Este trabajo de investigación surge de la necesidad que existe en una parte creciente de la población venezolana que ha sufrido de alguna patología traumática o degenerativa en los miembros inferiores, en particular en las rodillas y que por consiguiente han sido intervenidos quirúrgicamente principalmente por problemas de ligamentos cruzados. Los pacientes han tenido que recurrir a ayudas ortopédicas denominadas órtesis para su pronta y adecuada recuperación. Por tal motivo se realizó una investigación para conocer el entorno que existe entre paciente, médico cirujano y ortopedista, pues la selección de la órtesis debe ser personalizada pero la mayoría de los pacientes compra un dispositivo que no corresponde al indicado por el médico y por consiguiente por el ortopedista, esto debido al factor económico en la mayoría de los casos. Se realizó un diseño que no tiene las desventajas de órtesis anteriores, tales como: dificultad de colocación, complicado ajuste de los grados de flexión y/o extensión, comodidad, estética y algunos otros parámetros propios para personas con discapacidad. (conclusión importante) Metodológicamente, es un proyecto factible, sustentado en un diseño de campo, documental y bibliográfico, con nivel descriptivo. Enmarcado en la línea de investigación ciencias cognitivas y aplicadas.

Descriptores: Órtesis activa, rodilla

INTRODUCCIÓN

El miembro inferior o extremidad inferior es parte del aparato locomotor, destinado al soporte del peso del cuerpo humano. Esta región proporciona sustentación o bipedestación. Para lograr tal objetivo, el miembro inferior presenta un sistema óseo sólido unido mediante articulaciones, dotadas de gran movilidad para la acción. Está dividido en cuatro secciones: la zona pélvica (huesos coxiales, sacro y cóccix), la articulación de la rodilla, la región tibioperinoidal y por ultima la zona del pie (tarso, metatarso y falanges).

La capacidad de darle soporte al peso del cuerpo, no solo es la única función de la extremidad inferior, sino que también la de mantener la postura erguida y realizar una marcha normal. Pero cuando el miembro inferior sufre alguna alteración, debido a alguna enfermedad o patología traumática, sus funciones se ven afectadas en cierta medida, dependiendo de la gravedad de la situación. En la actualidad existe un gran interés por el desarrollo y diseño de órtesis que cubran la demanda creciente de pacientes con problemas en sus extremidades inferiores, los avances son cada vez más significativos, desafortunadamente estos logros se están dando en el extranjero, esto es, fuera de Venezuela.

Existen órtesis diseñadas para la rehabilitación de pacientes con padecimientos hemipléjicos, poliomielitis, alteraciones en la rodilla, pie equino varo, así como también para problemas derivados de lesiones o fracturas pre y post operatorias.

Por lo demás, la investigación está estructurada en cuatro (4) capítulos conformados de la siguiente manera: En el capítulo I, se plantea el problema, se establecen los objetivos, se justifica la realización del estudio, se delimitan los alcances y las limitaciones de este. En el capítulo II, se plantean los antecedentes de la investigación y los tópicos que sustentan el desarrollo del proyecto. En el capítulo III, se describe la metodología que será utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados; donde se muestran aspectos como el tipo de investigación, las técnicas y procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo dicha investigación. En el capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos en la investigación, así como el desarrollo de los objetivos específicos, los cuales abarcan la clasificación de las órtesis, la selección de la alternativa adecuada, materiales para su diseño y por último la simulación virtual.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La vejez es un tema que inunda a las personas con duda y a veces temor, esto debido a que con el paso de los años el organismo, al igual que el de los demás seres vivientes, se va deteriorando, a algunas personas se les dificulta respirar, a otras se les dificulta observar y la gran mayoría pierde parte de sus capacidades motoras, dificultando el desarrollo de sus actividades locomotoras tales como agacharse, correr o incluso desplazarse o desplazar algún objeto en su entorno.

El movimiento es una actividad que mantiene al ser humano saludable y es un hecho que aquellas personas que pierden la capacidad total o parcial de moverse sufren de algún tipo de cambio en su organismo, siendo el caso más conocido el de las personas mayores con sobrepeso ya que este grupo de personas opta por llevar una vida sedentaria debido al dolor o molestia que se genera en las rodillas al momento de ejercer algún esfuerzo como arrodillarse, subir o bajar escaleras o incluso caminar (ver figura 1).

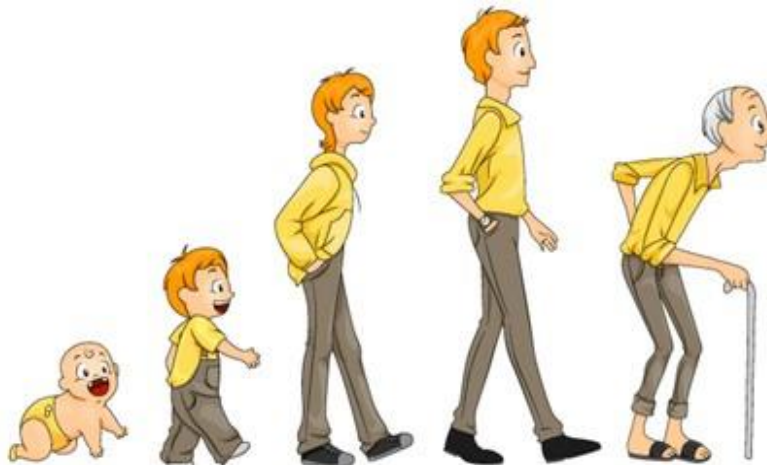


Figura 1 Marcha humana

Fuente: Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología

La funcionalidad de la rodilla es primordial para tener movilidad, esta zona del cuerpo es la articulación más compleja con la que cuenta el ser humano, cualquier tipo de lesión o enfermedad en esta zona puede tener consecuencias notables en la rutina de cualquier persona. Las

Ortesis de rodilla han sido justo diseñadas para tratar la corrección y protección de esta zona ante diferentes tipos de padecimientos.

La rodilla está diseñada para sostener el peso del cuerpo al mismo tiempo que cumple con las funciones de movilidad como el caminar, correr, estar de pie, etc. Estos movimientos se llevan a cabo a través de la flexión y extensión de los músculos/huesos que forman esta zona. Entre ellos se encuentra el fémur, la tibia y la rótula estos a su vez encuentran estabilidad gracias a los ligamentos que se encuentran en los diferentes huesos. La ortesis de rodilla trabaja justo en esta zona para proporcionar una mayor estabilidad y soporte ante situaciones tras una operación, lesiones menores, etc.

Las ortesis de rodilla van desde lo más simple hasta lo más complejo dependiendo del tipo de lesión que maneje el paciente las cuales se llegan a clasificar en lesiones menores o graves. Para cualquiera de las dos opciones anteriormente mencionadas es muy importante que el uso de una ortesis sea diagnosticada y recomendada por el doctor que lleva el seguimiento del padecimiento del paciente, ya que es la única persona facultada para determinar qué tipo de ortesis funcional para su problema, así como los tipos de materiales, duración, etc.

Dentro de los padecimientos más comunes podemos encontrar:

Operación de rotura de ligamento cruzado

Inmovilizar o estabilizar la rodilla tras lesiones de ligamentos Esguinces de rodilla

Desgarros de tendones o músculos

Fracturas de hueso

Dolores articulares

Osteoporosis

Malformaciones

Problemas en el cartílago

Rigidez en la rodilla

Hinchazón en la rodilla

Artritis

Actualmente en el mercado se venden dispositivos conocidos como exoesqueletos que sirven de apoyo para las personas que tienen algún tipo de dificultad, molestia o dolor al realizar movimientos. La mayoría de estos equipos tienen un diseño rústico que no genera confianza en el usuario y su precio suele no ser asequible para el venezolano.

El limitado control que tienen estas personas sobre la musculatura del tren inferior les permite mantener una marcha patológica con un coste metabólico elevado y con ayuda de soportes. La ortesis está diseñada para disminuir ese coste metabólico y permitir a estas personas caminar de manera más natural y eficiente, al asistir la flexión y extensión de la pierna durante la fase de balanceo, y bloquear la rodilla durante la fase de apoyo. Todo ello de manera automática gracias a un sistema de control basado en sensores ubicados en el tren inferior del paciente (ver figura 2).



Figura 2 Partes de la rodilla

Fuente: Duarte (2019)

1.2. Formulación del problema

En concordancia con lo anteriormente explicado se plantea: ¿Cómo se puede ayudar a las personas mayores con dificultades en las rodillas?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una órtesis activa para ayudar a personas mayores con dificultades en las rodillas

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Diagnosticar los distintos tipos de órtesis activas de rodillas
- 2) Analizar las alternativas de diseño de la órtesis activa de rodilla
- 3) Seleccionar los materiales apropiados para el diseño de la órtesis activa de rodilla
- 4) Realizar análisis estructurales de las órtesis seleccionadas para visualizar las ventajas y desventajas que se tienen.
- 5) Simular en forma virtual a través de la herramienta Fusion 360, el dispositivo diseñado.

1.4. Justificación

Sin percatarlo el organismo se encuentra en constante movimiento, distintas partes como los músculos, órganos e incluso las neuronas y nervios, depende del movimiento para mantenerse sanos, siendo quizá uno de los movimientos más necesarios el ejercido por las rodillas ya que les permite a las personas desplazarse de un lado a otro (ya sea vertical u horizontalmente), es por esto que cuando una persona mayor evita caminar para no sentir dolor, el organismo se ve afectado y se descompensa, en consecuencia se produce un aumento de peso y disminución de la masa muscular, por ende este trabajo de investigación pretende ofrecer un diseño de una órtesis activa que ayude a las personas mayores a recuperarse del constante dolor al momento de caminar, subir o bajar escaleras.

Actualmente se calcula que hay más de 300 millones de casos de personas que sufren algún tipo de lesión, molestia o dolor en las rodillas alrededor del mundo, en Venezuela alrededor del 80% de las personas mayores de 65 años presentan dolor en las rodillas, y cada vez es más evidente la relación que existe entre los dolores de rodilla y el estilo de vida de las personas, resulta esencial el uso de exoesqueletos para reactivar los músculos que se han dejado de usar, así como aliviar el dolor y la inflamación al momento de realizar actividades físicas.

A nivel social se ofrece un avance para las personas mayores de edad de manera tal que puedan recuperar las rutinas que implican cierta actividad física, lo que ocasionaría una mejoría en la salud de los pacientes, ofreciendo un diseño amigable y seguro; de igual forma ofrece una base para futuros estudios relacionados con el tema de la investigación.

Es necesario tener en cuenta conocimientos como los adquiridos en Física al igual que en Mecánica dinámica para el estudio del movimiento, por otra parte, Programación, Diseño asistido por computadora y Diseño mecánico son esenciales al momento de realizar el dispositivo virtualmente, gracias a los conocimientos de Materiales se pueden seleccionar los materiales adecuados para la órtesis y Elementos de Máquina es necesario para conocer los esfuerzos y deformaciones.

1.5. Alcance y limitaciones

Alcance

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se pretende obtener un diseño de órtesis activa de rodilla para ayudar a las personas mayores, siguiendo los lineamientos previamente establecidos en los objetivos de la investigación.

Se requieren softwares de diseño y simulación como SolidWorks o Fusion 360 en los cuales se podrá ensamblar y analizar la pieza virtualmente en 3D.

El informe final del Trabajo de Grado ha de servir como requisito de mérito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico de la Universidad José Antonio Páez.

Limitaciones

No se pretende construir el diseño, el proyecto viene limitado por el poco tiempo que se tiene para la finalización del mismo, el diseño solo aplicara en la rodilla, no es aplicable a otra parte del cuerpo, debido al bajo presupuesto no se puede extender, pese a que se encuentra mucha información referente al tema en internet, la mayoría de esta información se encuentra bloqueada.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró la investigación realizada por Diaz y Salazar (2017) titulada “**Diseño de un prototipo de prótesis total de rodilla en Venezuela**” enfocada en pacientes del Centro Médico El Tuy, ubicado en Miranda; la cual tubo por objetivo “Diseñar un Prototipo de Prótesis Total de Rodilla en Venezuela” para esto se estudió una muestra seleccionada de 95 pacientes pertenecientes al Centro Médico El Tuy. Se observó directamente los fenómenos existentes en este grupo de personas, por medio de entrevistas se recopiló información pertinente a la investigación. Se concluyó que es necesario garantizar una fijación sólida y duradera de los componentes, ya que, debido al rango de edades existentes en la muestra, el prototipo debía adaptarse a las solicitudes personales.

Por otra parte, en investigaciones realizadas a nivel internacional, se encuentra a Duarte (2019) la cual desarrollo la investigación titulada “**Diseño de un estudio experimental para rehabilitación de rodilla con exoesqueleto activo**” en la Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia; y tubo por objetivo “Desarrollar un estudio experimental para rehabilitación de rodilla con exoesqueleto activo” en la cual se tomó una muestra no aleatoria teniendo en cuenta su salud y condiciones físicas, obteniendo como resultado que los exoesqueletos permiten al usuario moverse libremente, ya que estos no aplican fuerza alguna al movimiento y por ende el usuario necesita ejercer un esfuerzo para mover el exoesqueleto, proceso que mejora la condición en la que se encuentra la rodilla. Se concluyó que fue posible el desarrollo de un estudio experimental para rehabilitación de rodilla con exoesqueleto activo.

Finalmente, en otra investigación realizada en México, por Elyatxani Acevedo Salgado (2012) estudio realizado en La Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica, investigación titulada “**Optimización del Mecanismo de una Ortesis para Miembro Inferior**” y cuyo objetivo fue: “optimizar el mecanismo de una órtesis para miembro inferior en particular patologías de la rodilla, con el fin de que cumpla con los requerimientos del paciente mexicano que así lo requiera, desde el punto de vista de la Ingeniería Mecánica” en la cual la muestra fue de manera no aleatoria teniendo en cuenta su situación económica y su condición de salud referida al miembro inferior; por ende, los resultados demostraron la necesidad que existe en un sector de la

población que sufre alguna patología traumática o degenerativa en la rodilla, la mayoría de esta población no cuenta con los recursos económicos necesarios para optar por la mejor rehabilitación, por ende se propuso un diseño con nuevos materiales y un nuevo mecanismo que se sometió a pruebas de tensión y resultó ser confiable. Se concluyó que el nuevo diseño presenta ventajas/mejoras que no se encuentran en los antiguos diseños.

2.2 Bases teóricas

Las principales teorías que fundamentan la investigación sobre una órtesis activa de rodilla para la ayuda de personas mayores, son las siguientes:

2.2.1 Teoría de la marcha humana

El estudio de la marcha y sus respectivos análisis de movimientos, es un tema de interés para el ser humano desde hace algunos siglos, personas como Aristóteles, Hipócrates, Galeno y Leonardo Da Vinci, dieron los cimientos que tiempo después le permitieron a Honoré de Balzac (1833) definir el andar (o marcha humana), explicando que: “el andar es la fisonomía del cuerpo”, una frase muy conocida y tergiversada se debe a una de sus publicaciones, en la cual expone: “Dime como andas, te drogas, vistes y comes... y te diré quién eres”, frase que día a día es aplicada consciente o inconscientemente a los distintos entornos donde una persona se puede llegar a encontrar.

Balzac no solo logra definir la marcha, sino que describe a detalle la forma correcta de caminar explicando que se debe ir recto, sin rigidez ni inclinación al lado derecho o izquierdo; de igual forma afirma que la marcha se descompone en tiempos (a partir de esta declaración, distintos autores han clasificado la marcha en fases), dichos tiempos o fases solo son considerados en un miembro inferior ya que para el otro miembro se da de la misma manera solo que medio ciclo después, siendo estos los siguientes:

1. Fase de apoyo: esta fase constituye aproximadamente un 60% del ciclo, durante la cual el pie se encuentra en contacto con el suelo.
2. Fase de oscilación: esta fase constituye el porcentaje restante, en la cual el pie avanza por el aire preparándose para el siguiente apoyo.

La figura 3 muestra los movimientos que se producen en ambas fases:

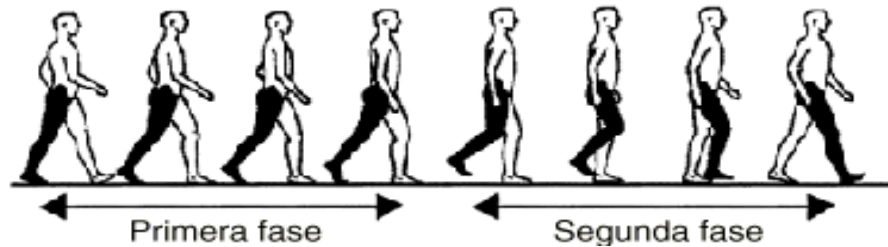


Figura 3 Marcha humana

Fuente: Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología

2.2.2 Teoría dinámica

La dinámica es la parte de la mecánica que estudia las relaciones entre las causas que originan los movimientos y las propiedades de los movimientos originados. Hace algunos siglos atrás, se suponía que el cuerpo con más peso, es el que caería más rápido, sin embargo, Galileo se dio cuenta que dos cuerpos de distinto peso, tardan el mismo tiempo en tocar el suelo cuando se dejan caer desde una misma altura. Este contexto permitió que Isaac Newton estableciera tres leyes fundamentales que dieron paso a la mecánica dinámica, las cuales son:

1. Ley de inercia
2. Ley fundamental de la dinámica
3. Ley de acción y reacción

2.2.3 Teoría biomecánica

Aguilar (2010) define la biomecánica como la disciplina que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento de un ser vivo. Esta área de conocimiento se apoya en diversas disciplinas para llevar a cabo sus estudios, como lo son, la mecánica, la ingeniería, anatomía y fisiología, así los movimientos se deducen sobre todo desde la estructura o la función básica de cada sistema en movimiento (esqueleto, articulaciones, tendones, músculos, entre otros).

2.2.4 La Rodilla

La rodilla es la articulación más grande del cuerpo humano y una de las más complejas. Sirve de unión entre el muslo y la pierna. Soporta la mayor parte del peso del cuerpo en posición de pie. Está compuesta por la acción conjunta de los huesos fémur, tibia, rótula y dos discos fibrocartilagosos que son los meniscos. Fémur y tibia conforman el cuerpo principal de la articulación, mientras que la rótula actúa como una polea y sirve de inserción al tendón del músculo

cuádriceps y al tendón rotuliano cuya función es transmitir la fuerza generada cuando se contrae el cuádriceps.

La rodilla está sustentada por fuertes ligamentos que impiden que sufra una luxación, siendo los más importantes el ligamento lateral externo, el ligamento lateral interno, el ligamento cruzado anterior y el ligamento cruzado posterior. Es una articulación compuesta que está formada por dos articulaciones diferentes:

Articulación femorotibial: Es la más importante y pone en contacto las superficies de los cóndilos femorales con la tibia. Es una articulación bicondilea (con dos cóndilos).

Articulación femoropatelar: Está formada por la tróclea femoral y la parte posterior de la rótula. Es una diartrosis del género troclear. A continuación, la figura 4 muestra las partes de la rodilla



Figura 4 Partes de la rodilla

Fuente: Duarte (2019)

El principal movimiento que realiza es de flexoextensión, aunque posee una pequeña capacidad de rotación cuando se encuentra en flexión. En los humanos es vulnerable a lesiones graves por traumatismos, muy frecuentemente ocurridos durante el desarrollo de actividades deportivas. También es habitual la existencia de artrosis que puede ser muy incapacitante y precisar una intervención quirúrgica.

2.2.5 Biomecánica de la rodilla

Es una ciencia en desarrollo, su objetivo es estudiar los efectos de la energía y las fuerzas de los sistemas biológicos mediante la aplicación de las leyes de Newton sobre la mecánica a seres vivos. Es muy importante conocer la biomecánica de la rodilla, ya que es necesario entender el funcionamiento de esta articulación, para los fines deseados, debido a que es el punto clave para la realización de este trabajo que, la ortesis que se diseñará estará enfocada a tratar padecimientos involucrados con la rodilla. Ella cuenta con un doble grado de libertad de movimiento, esto es, flexión y extensión. El cual permite a la rodilla regular la distancia de separación del cuerpo con el suelo, esto lo consigue acercando o alejando el extremo de la pierna a la raíz de la misma, es decir, acercando o alejando el glúteo.

2.2.6 Órtesis de Rodilla

La funcionalidad de la rodilla es primordial para tener movilidad, esta zona del cuerpo es la articulación más compleja con la que cuenta el ser humano, cualquier tipo de lesión o enfermedad en esta zona puede tener consecuencias notables en la rutina de cualquier persona. Las Ortesis de rodilla han sido justo diseñadas para tratar la corrección y protección de esta zona ante diferentes tipos de padecimientos. La rodilla está diseñada para sostener el peso del cuerpo al mismo tiempo que cumple con las funciones de movilidad como el caminar, correr, estar de pie, etc.

Estos movimientos se llevan a cabo a través de la flexión y extensión de los músculos/huesos que forman esta zona. Entre ellos se encuentra el fémur, la tibia y la rótula estos a su vez encuentran estabilidad gracias a los ligamentos que se encuentran en los diferentes huesos. La ortesis de rodilla trabaja justo en esta zona para proporcionar una mayor estabilidad y soporte ante situaciones tras una operación, lesiones menores, etc. Dentro de las ortesis de rodilla existen diferentes tipos de clasificaciones con base al funcionamiento y materiales con las que se fabrican, estas categorías se determinan de acuerdo al tipo de objetivos que quiere lograr sobre la rodilla de un paciente. Al final cada una de estas ortesis tienen un solo objetivo: recuperar la movilidad de la rodilla. (ver figura 5)



Figura 5 Ortesis de rodilla

Fuente: Diaz y Salazar (2017)

2.2.7 Uso

Las ortesis de rodilla van desde lo más simple hasta lo más complejo dependiendo del tipo de lesión que maneje el paciente las cuales se llegan a clasificar en lesiones menores o graves. Para cualquiera de las dos opciones anteriormente mencionadas es muy importante que el uso de una ortesis sea diagnosticada y recomendada por el doctor que lleva el seguimiento del padecimiento del paciente, ya que es la única persona facultada para determinar qué tipo de ortesis funcional para su problema, así como los tipos de materiales, duración, etc.

Dentro de los padecimientos más comunes podemos encontrar:

Operación de rotura de ligamento cruzado

Inmovilizar o estabilizar la rodilla tras lesiones de ligamentos Esguinces de rodilla

Desgarros de tendones o músculos

Fracturas de hueso

Dolores articulares

Osteoporosis

Malformaciones

Problemas en el cartílago

Rigidez en la rodilla

Hinchazón en la rodilla

Artritis

2.2.8 Tipos de Ortesis

Estos se clasifican de acuerdo a los resultados, temporalidad y beneficios que brinda al paciente una ortesis de rodilla.

- **De acuerdo a su durabilidad pueden ser**

Temporales: Uso en el periodo de tiempo que el médico indique

Definitivas: Hechas para discapacidades permanente

- **De acuerdo a su función**

Dinámicas: las cuales sustituyen una función muscular

Estabilizadoras: sustituyen una función de los ligamentos

Correctoras: Corrigen deformidades

Posturales: Mantienen una postura articular

2.2.9 Materiales para su construcción

Afortunadamente, en el mercado actual existen ortesis de rodilla hechas de diferentes materiales los cuales no solo ayudan con su funcionalidad sino también aportar un gran beneficio para quienes buscan una opción accesible.

Los principales materiales con los que está fabricado una ortesis de rodilla son:

Textiles con componentes elásticos que permiten ejercer una acción compresiva moderada. Suelen ser transpirables, de modo que evitan la acumulación de calor y de humedad.

Textiles tipo fieltro donde su función es inmovilizar la rodilla.

Materiales Plásticos los cuales también funcionan como rodilleras de inmovilización, normalmente están forradas a modo de evitar lesiones en la piel por la presión que este ejerce o por el roce del mismo.

Materiales Metálicos como el aluminio los cuales llegan a fungir como estabilizadores.

Neopreno: Este material beneficia la circulación, haciendo además que los tejidos tengan mayor elasticidad al mismo tiempo que favorece la recuperación de las alteraciones de la articulación o previniendo recaídas.

Polietileno: permite la inmovilización de la articulación de la rodilla.

Otros materiales que también suelen ser comunes son: acero inoxidable, fibra de carbono, silicona, pelite, polímeros acrílicos, entre otros.

2.3 Bases legales

Ley Orgánica Para La Atención Y Desarrollo Integral De Las Personas Adultas Mayores, Gaceta N° 6.641.

Capítulo I Disposiciones generales

Artículo 1: Esta Ley tiene por objeto garantizar el respeto a la dignidad humana de las personas adultas mayores y el pleno ejercicio de sus derechos y garantías, el cumplimiento de sus deberes y responsabilidades, reconociendo su autonomía y libre desenvolvimiento de la personalidad, a través de la atención integral que deben brindarle el Estado, las familias y la sociedad para asegurar su buen vivir, bienestar, calidad de vida, seguridad y envejecimiento saludable, activo, digno y feliz.

Artículo 2, sección 3: Garantizar la atención integral especializada que el Estado, las familias y la sociedad deben brindar a las personas adultas mayores para contribuir al cumplimiento de sus derechos y garantías, buen vivir, calidad de vida, seguridad y envejecimiento saludable, activo, digno y feliz.

Artículo 4, sección 6 Autonomía: Es la capacidad que tienen todas las personas adultas mayores para tomar sus propias decisiones, garantizando su independencia, dignidad, reconocimiento de su capacidad jurídica de ejercicio, bienestar, buen vivir, calidad de vida y envejecimiento activo, así como su desarrollo personal y comunitario.

Capítulo II DERECHOS, GARANTÍAS Y DEBERES DE LAS PERSONAS ADULTAS MAYORES

Artículo 12, sección 9: Prever y atender las necesidades y limitaciones de las que tengan discapacidades, en la planificación, diseño, construcción y ejecución de obras, programas y servicios del Estado.

2.4 Definición de términos básicos

Adulto mayor: personas con edad igual o mayor a sesenta años.

Discapacidad: limitación que dificulta el desarrollo normal de la actividad de una persona.

Órtesis: es un apoyo u otro dispositivo externo aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales del sistema neuromusculoesquelético.

Órtesis activa: apoyos que sustituyen de forma mecánica una función muscular o ligamentosa.

Prótesis: pieza o aparato artificial que se coloca o se implanta en el cuerpo de un ser vivo para sustituir a otra pieza, a un órgano o a un miembro.

Sistema neuromusculoesquelético: también conocido como sistema locomotor, es el encargado de la planificación, ejecución y control de los movimientos del cuerpo, logra en su óptimo desempeño que los movimientos se realicen con efectividad y eficiencia.

Vejez: último período de la vida de una persona, que sigue a la madurez, y en el cual se tiene edad avanzada.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de grado se desarrolla como un proyecto factible, para Arias (2006, p. 134) define el proyecto factible como: “una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”.

3.2 Diseño de la investigación.

El estudio se enmarcará en el diseño documental, de campo y bibliográfico. Al respecto, la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2006) señala:

La investigación documental, es el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y en general, en el pensamiento del autor. (p.20).

Así mismo, Arias (2006) señala que se entiende por investigación de campo: “Al análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, donde los datos recogidos de forma directa son de la realidad”,

La investigación bibliográfica se puede comprender, según Méndez, (2008) como:

(...) un proceso mediante el cual recopilamos conceptos con el propósito de obtener un conocimiento sistematizado. El objetivo es procesar los escritos principales de un tema particular. Este tipo de investigación adquiere diferentes nombres: de gabinete, de biblioteca, documental, bibliográfica, de la literatura, secundaria, resumen, etc. (...) (p. 16).

3.3 Nivel de la Investigación.

Para Balestrini, M. (2005), el nivel de investigación responde al grado de desarrollo de conocimientos que se pretenda lograr con un trabajo científico, idea que complementa Hurtado, J. (2008) señalando que también se ha de tomar en cuenta la calidad y profundidad de la información con que se cuente al inicio del proceso. De esta manera, existen tres niveles de investigación: descriptivo, explicativo y correlacional–causal.

Es por esto, que el presente proyecto es de nivel descriptivo porque consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

3.4 Población y muestra

Población

Según Tamayo y Tamayo, M. (2004), “la población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.”, (p.114). En este sentido, la población que se seleccionará para la presente investigación está formada por los adultos mayores con problemas de movilidad.

Muestra

Según Palella, S. y Martins, F. (2010). La muestra se define como “una parte (subconjunto) de la población obtenida con el propósito de investigar propiedades que posee la población” (p.16). La presente investigación tiene como muestra los ancianos con problemas de movilidad por dolencias de rodilla. Adicionalmente, en este caso la muestra utilizada para la investigación es del tipo no probabilística, la cual, para Hernández, S. (2008) “se toman para el estudio los elementos al alcance del investigador” (p.29)

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Arias (2006, p. 146) define la técnica de recolección de datos como: “son las distintas formas o maneras de obtener la información mediante la observación directa, la encuesta oral o escrita, el cuestionario, la entrevista, el análisis documental y el análisis de contenido entre otros”; de esta manera en la presente investigación las técnicas a usar son la observación directa, la revisión documental y revisión bibliográfica.

La observación directa,

Según Tamayo y Tamayo (2004), “es aquella en el cual el investigador puede observar y recoger los datos mediante su propia observación”. (p.122). El motivo para realizar la presente investigación viene de la observación de individuos (tanto dentro como fuera del núcleo familiar), no es ningún misterio que con el pasar de los años las personas van perdiendo parte de sus capacidades tanto intelectuales como locomotrices y no locomotrices, es por esto que muchas

personas llegan a cierta edad presentando limitantes para realizar ciertos movimientos, uno de los más nombrados, es la pérdida de movimiento en las rodillas.

Entrevista no estructurada

Según Tamayo y Tamayo (2004) la entrevista libre o no estructurada, consiste de un instrumento de recolección de datos a través de preguntas abiertas que realiza un entrevistador a un entrevistado. En este sentido cabe acotar que la entrevista abierta se torna bastante personal, por lo que rara vez se puede repetir a otro entrevistado.

Revisión documental,

Es definida por Hurtado de Barrera, (2008), como “el proceso mediante el cual un investigador recopila, revisa, analiza, selecciona y extrae información de diversas fuentes, acerca de un tema en particular con el propósito de llegar al conocimiento y comprensión más profundos del mismo” (p. 20).

Revisión bibliográfica

Tamayo y Tamayo (2004) Es un análisis de documentos acerca de un tema que se está rastreando. Donde, presenta la información publicada sobre un tema y plantea una organización de ese material de acuerdo con un punto de vista. Se utiliza para recopilar y comentar la literatura publicada sobre un tema.

De esta manera, puede ser resumir los resultados de los estudios existentes en la literatura científica sobre un tema, que consiste en revisar la literatura existente sobre un tema de forma exhaustiva. Su objetivo es mejorar lo que ya se sabe con un nuevo enfoque e identificar posibles carencias o vacíos.

De igual forma Arias (2006, p. 91) define los instrumentos de recolección de datos como: “los materiales que se utilizan para recoger y almacenar la información, como grabadora, bloc de notas.

Computadora

Un instrumento indispensable para llevar a cabo la realización del trabajo de investigación, por medio de esta captamos, registramos y posteriormente almacenamos la información recabada.

3.6 Fases metodológicas de la investigación

Fase I Diagnóstico de los distintos tipos de órtesis activas de rodillas.

Esto se hará mediante revisión documental tanto de material médico como de trabajos de grados referentes al tema.

Fase II Selección de la alternativa de diseño de la órtesis activa de rodilla.

Se aplicará el método de Vilches para hacer la selección de la órtesis más conveniente.

Fase III Determinación de los materiales apropiados para el diseño de la órtesis activa de rodilla.

Después de seleccionar la alternativa más adecuada se hará una revisión de los diferentes materiales, tomando en cuenta vida útil, costo y sobre todo durabilidad y que sea liviano.

Fase IV Análisis estructurales a la órtesis seleccionada para visualizar las ventajas y desventajas que se tienen.

Debido a la poca movilidad de la rodilla se tiene que analizar los diferentes grados de libertad del dispositivo. Se aplicará métodos como Vonmises, se hará estudio de torques.

Fase V Simulación virtual a través de la herramienta Fusion 360, del dispositivo diseñado.

En esta fase se aplicará una simulación a través de Fusion 360 de la órtesis para ver su funcionamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Parella, S. y Martins, F. (2006), señalan que “la interpretación de los resultados consiste en inferir conclusiones sobre los datos codificados, basándose en operaciones intelectuales de razonamiento lógico e imaginación, ubicando tales datos en un contexto teórico” (p. 196). Por ende, para obtener resultados, es necesario desarrollar las cinco fases previamente establecidas de esta investigación, ya que, por medio de los datos presentados en cada fase, se podrá dar una conclusión con la finalidad de cumplir el objetivo general, el cual es diseñar una órtesis activa para ayudar a personas mayores con dificultades en las rodillas.

4.1 Diagnóstico de los distintos tipos de órtesis activas de rodillas

Las órtesis activas son apoyos que sustituyen de forma mecánica una función muscular o ligamentosa; esto se hace con la finalidad de que el paciente pueda realizar ciertos tipos de movimientos o actividades. De igual forma las órtesis activas de rodilla se prescriben con la finalidad de que el paciente sienta menos dolor o molestia al momento de realizar actividades que involucren dicha zona. Estas órtesis activas de rodilla se clasifican según la función que desempeñan, y pueden ser de 5 tipos diferentes:

4.1.1 Dinámicas

Las órtesis dinámicas son aquellas que tienen la función de facilitar la acción de los músculos y tendones, son altamente usadas en los brazos, pero también tiene amplias aplicaciones en los pacientes que sufren de las rodillas ya que su uso alivia el dolor que producen actividades como caminar o correr; el precio de estas órtesis ronda los 20\$ o 30\$. En la figura 6, se observan algunos ejemplos:



Figura 6 Órtesis dinámicas

Fuente: Europea de Fabricados Médicos y Ortopédicos, EFMO

4.1.2 Estabilizadoras

Este tipo de ortesis sirve para mantener una posición estática, ayudando a impedir desviaciones y evitando movimientos no deseados. Además, sirven para inmovilizar una parte del cuerpo, favorecer la cicatrización del tejido muscular, impedir el movimiento de una articulación y aliviar el dolor en una inflamación (ver figura 7), en el mercado estas órtesis tienen un precio de entre 30\$ a 35\$.



Figura 7 Órtesis estabilizadoras

Fuente: Europea de Fabricados Médicos y Ortopédicos, EFMO

4.1.3 Correctoras

Estas ortesis permiten prevenir o corregir una deformidad esquelética. Principalmente, su uso está indicado durante el periodo de desarrollo infantil, porque es en la edad temprana donde

se pueden corregir ciertas deformidades ya que los huesos y músculos todavía están desarrollándose (ver figura 8) aunque el precio de estas órtesis en el mercado es de aproximadamente 45\$ o 55\$, su uso a veces es necesario y obligatorio para corregir malformaciones en los niños.



Figura 8 Órtesis correctoras

Fuente: Especialidades Médico Ortopédicas, EMO (2020)

4.1.4 Posturales

Las órtesis posturales son dispositivos que mantienen la estructura muscular y ósea en un solo lugar o en una sola postura, son ampliamente usados para mantener una correcta postura de la espalda, al igual que para pacientes que necesitan recuperación de los miembros inferiores, proporcionando reposo articular y reduciendo la tensión muscular para prevenir algún tipo de deformidad (ver figura 9), y tienen un precio de entre 40\$ y 50\$.



Figura 9 Órtesis posturales

Fuente: Especialidades Médico Ortopédicas, EMO

En concordancia con lo anterior es necesario explicar que las órtesis se diferencian de esta manera debido al tipo de compresión o sujeción para la cual está diseñada y que le permite cumplir su propósito. Órtesis como las dinámicas son órtesis de compresión, aunque pueden encontrarse órtesis dinámicas que combinen la sujeción y la compresión; por otra parte, órtesis como las correctoras o las estabilizadoras son de sujeción.

De igual forma el especialista que prescriba el uso de una órtesis debe aclarar por cuanto tiempo se usara dicho soporte, ya que algunas órtesis son diseñadas para usos temporales y otras para usos definitivos; el uso prolongado de soportes que no son para dicha función puede ocasionar deformidades o debilidad en los músculos del paciente, por lo que es necesario que solo se usen bajo la recomendación que un especialista.

4.1.5 Órtesis mixtas

Este tipo de órtesis, no son comercialmente accesibles ya que su uso solo está destinado para rehabilitación por lo que solamente centros médicos certificados, pueden usar este tipo de órtesis. Este tipo de órtesis se distingue de las presentadas con anterioridad ya que no cumple una sola función, por otra parte, reúne distintas funciones y características de dos o más tipos de órtesis, a manera de ejemplo, pueden ser órtesis que cumplan la función de una órtesis dinámica y estabilizadora a la vez; las grandes aplicaciones que pueden llegar a tener este tipo de órtesis, las convierte en objeto de estudio de distintas compañías y empresas, sin embargo, son costosas y no se venden al público general ya que su uso solo está justificado en centros médicos de rehabilitación.



Figura 10 Órtesis mixtas

Fuente Tillges Certified Orthotic Prosthetic Inc.

4.2 Seleccionar las alternativas de diseño de la órtesis activa de rodilla

Después de aplicar la técnica de la observación directa, se procedió a seleccionar la ortesis más conveniente. Para ello se aplicó el método del Profesor Vilches N. (2002). Los cuadros 1 y 2 muestran las alternativas, característica y usos.

4.2.1 Propuestas de alternativa para la ortesis

Cuadro 1 Alternativas. Características y materiales de las órtesis

ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II	ALTERNATIVA III
ORTESIS ESTABILIZADORA	ORTESIS CORRECTORA	ORTESIS MIXTA
Cintas y almohadillas especialmente agradables a la piel Estabiliza y descarga la articulación de la rodilla Eje y articulación ajustable	Cintas y almohadillas especialmente agradables a la piel Son de Aluminio o de Acero inoxidable. Ajuste varo-valgo (hasta 12°) Eje y articulación ajustable	Cintas y almohadillas especialmente agradables a la piel Plástico. Fibra de carbono Ajuste varo-valgo (hasta 12°) Eje y articulación ajustable

Dos bisagras bilaterales policéntricas		Dos bisagras bilaterales policéntricas
--	--	--

Fuente Vivas (2022)

Cuadro 2 Usos de las órtesis de rodilla

ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II	ALTERNATIVA III
ORTESIS ESTABILIZADORA	ORTESIS CORRECTORA	ORTESIS MIXTA
<p>Su función es inmovilizar mantener una posición estática, ayudando a impedir desviaciones y evitando movimientos no deseados.</p> <p>Estabiliza la articulación completa. Evita la desplotación con bisagras de aluminio de doble cara.</p>	<p>Corrige la mala postura de la pierna para aliviar la articulación de la rodilla</p> <p>Mantiene el resultado quirúrgico tras correcciones del eje</p> <p>Acolchado suave para un uso prolongado</p> <p>Permiten prevenir o corregir una deformidad esquelética.</p> <p>Principalmente, su uso está indicado durante el periodo de desarrollo infantil, porque es en la edad temprana donde se pueden corregir ciertas deformidades porque los huesos y músculos todavía están desarrollándose.</p>	<p>Inmoviliza y corrige aliviando el dolor</p> <p>Corrige e inmoviliza malas posturas</p> <p>Impide desviaciones mientras corrige posturas no deseadas</p> <p>Alivia la parte interna o externa de la articulación de la rodilla</p> <p>Es cómoda de llevar incluso durante un período de tiempo prolongado y permite un movimiento sin dolor.</p> <p>Recomendada para la osteoartritis o gonartrosis que es causada por el desgaste y la ruptura dentro de las articulaciones de la rodilla</p> <p>Se recomienda en personas mayores</p> <p>Tratamiento conservador en caso de</p>

		inestabilidad (aislada o combinada).
--	--	--------------------------------------

Fuente Vivas (2022)

4.2.2 Sistemas representativos para la Alternativa I

Para la alternativa I, se muestra en la figura 10 el sistema representativo planteado. Esta ortesis de rodilla estabilizadora protege la articulación de la rodilla después de un traumatismo grave. Evita la desplotación guiando el movimiento en una dirección dos bisagras bilaterales policéntricas están hechas de materiales extremadamente ligeros, que tienen su origen en la industria de la aviación (ver figura 11). Esta rodillera lleva estabilizadores a modo de bisagras de aluminio de doble cara para reducir el movimiento lateral y proporcionando estabilidad a la rodilla y ayudando a recuperar lesiones.



Figura 11 Órtesis estabilizadora Alternativa I
Fuente: Especialidades Médico Ortopédicas, EMO (2020)

Este tipo de órtesis van a sujetar y van a dar una suave estabilización. Vienen muy bien para cuando se problemas reumáticos o artrósicos. Este tipo de rodilleras van a dar sujeción y van a aporta calor para mejorar estos síntomas. Es la clásica rodillera de toda la vida hecha de un tejido elástico pero que no provoca una compresión demasiado fuerte

4.2.3 Sistemas representativos para la Alternativa II

La figura 12 muestra el sistema planteado, la ortesis correctora, transmisión de movimiento.



Figura 12 Órtesis correctora Alternativa II

Fuente: Especialidades Médico Ortopédicas, EMO (2020)

Estas ortesis corrigen deformaciones, posturas o movimientos de las rodillas, con lo cual se busca recuperar el correcto movimiento para el óptimo caminar de las personas.

4.2.4 Sistemas representativos para la Alternativa III

La órtesis de rodilla " Mixta" puede ayudar a quitar algo de la presión de la parte desgastada de la rodilla cuando se está de pie. Esta órtesis de rodilla no cura la artritis. Pero puede ayudar a aliviar síntomas como el dolor de la rodilla o el doblamiento cuando se está moviéndose a su alrededor. La figura 13 muestra esta órtesis.



Figura 13 Ortesis Mixta Alternativa III
Fuente: Especialidades Médico Ortopédicas, EMO (2020)

El cartílago, el tejido firme y elástico que amortigua todos los huesos y articulaciones, permite que los huesos se deslicen uno sobre otro. Pero con la edad el cartílago se desgasta, los huesos se frotan entre sí, causando dolor, hinchazón y rigidez.

Se forman espolones o crecimientos óseos y los ligamentos y los músculos alrededor de la rodilla se vuelven más débiles. Con el tiempo, toda la rodilla se vuelve cada vez más rígida.

4.2.5 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de criterios (C) y de restricciones (R) para la selección de la ortesis, aplicando el Método de Vilches, se buscó:

- Eliminar las formulaciones que se alejen de las condiciones operativa del problema de diseño mecánico.
- Seleccionar la propuesta más adecuada para solventar la situación problemática.

4.2.5.1 Lista de criterios y restricciones que debe cumplir la ortesis para que facilite el movimiento de la rodilla en las personas mayores

Criterios de selección

- Lista de restricciones y criterios del sistema a diseñar (ver cuadro 3)

Los criterios comunes establecidos para la evaluación de todas las alternativas propuestas son:

Cuadro 3 Lista de criterios y restricciones

CRITERIOS (Ci)	RESTRICCIONES (Ri)
C1 Costo.	R1 La articulación imita el movimiento rotatorio.
C2 Utilidad en las personas mayores	R2 Sensación de uso agradable por el material de malla transpirable.
C3 Tamaño.	R3 Se pueden cambiar elementos sin herramientas complicadas
C4 Facilidad de adaptación.	R4 Estructura súper ligera
C5 La distribución de las almohadillas evita la presión en cicatrices de intervenciones.	
C6 Diseño estético.	

Fuente Vivas (2022)

4.2.5.2. Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

A continuación, se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver Tabla 1). Las posibles soluciones que sí cumplan con las restricciones serán evaluadas con relación a los criterios y así tomar la decisión de cuál es la mejor solución.

Tabla 1 Comparación de Restricciones vs. Posibles Soluciones

	POSIBLE SOLUCIONES			
		A I	A II	A III
RESTRICCIONES	R1	si	si	si
	R2	si	si	si
	R3	si	no	si
	R4	si	si	si

Fuente Vivas (2022)

Debido a que la probable solución A II no cumple con las restricciones planteadas fue eliminada. Las posibles soluciones A I y A III serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver Tabla 2).

La Tabla 3 muestra los parámetros de puntuación. La tabla 4 la ponderación de soluciones de acuerdo a los criterios empleados para la selección de la mejor solución, y la tabla 5 la evaluación de alternativa total

Tabla 2: Ponderación de criterios

CRITERIOR	DESCRIPCIÓN	ORDEN DE IMPORTANCIA
C1	Costo.	7
C2	Restauración del movimiento en las personas mayores.	6
C3	Tamaño.	5
C4	Facilidad de adaptación.	4
C5	La distribución de las almohadillas evita la presión en cicatrices de intervenciones	3
C6	Diseño estético	2

Fuente Vivas (2022)

Tabla 3 Parámetros de puntuación

1	No cumple con el criterio a evaluar.
2	No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio.
3	Cumple totalmente con el criterio a evaluar.

Fuente Vivas (2022)

Tabla 4 Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A I	3	2	2	2	2	2
A III	3	3	2	3	3	2

Fuente Vivas (2022)

Tabla 5 Evaluación de alternativa total

EVALUAR SOLUCIONES		TOTAL PUNTOS
A I	$3x7 + 2x6 + 2x5 + 2x4 + 2x3 + 2x2$	61
A III	$3x7 + 3x6 + 2x5 + 3x4 + 3x3 + 2x2$	74

Fuente Vivas (2022)

De acuerdo a la ponderación de criterios y al estudio efectuado la mejor solución es el número tres, la cual corresponde a la órtesis mixta, ya que es la que presenta mayor puntuación, es por esto que el resto de las soluciones son descartadas.

Una vez se obtiene la mejor solución, se procede a realizar un esquema de la propuesta, este esquema permitirá tener una imagen consolidada sobre lo que se quiere lograr, detallando aspectos importantes de la órtesis. Como se puede observar en la figura 14, la articulación de la rodilla (ilustrada en color rosa) va a ser apoyada por un sistema de restauración de movimiento, este sistema le permitirá al paciente o a la persona que vaya a usar la órtesis, sentir que no realiza tanto esfuerzo al momento de caminar, subir o bajar escaleras, entre otras funciones. De igual forma el diseño va a contar con barras estabilizadoras que impiden desviaciones y evitan movimientos no deseados, estas barras estabilizadoras ayudan a facilitar la cicatrización del tejido muscular en caso de que el paciente haya sufrido alguna operación; por último, se encuentran las bandas elásticas ajustables las cuales tienen la función de facilitar la acción de los músculos y tendones aliviando el dolor que producen actividades como caminar.

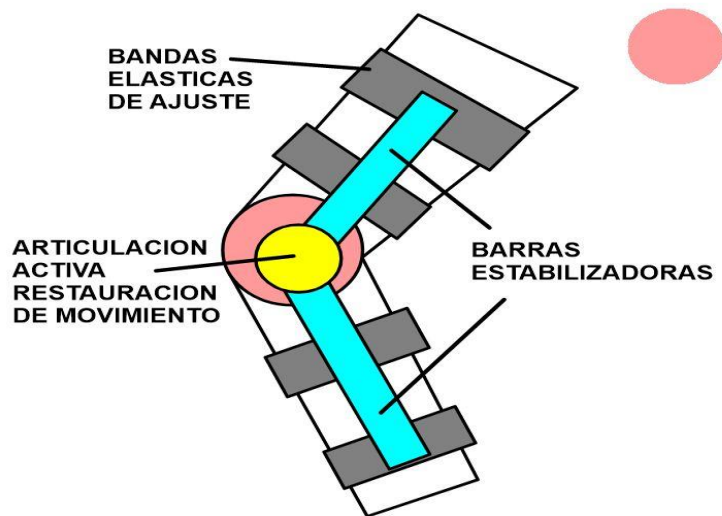


Figura 14 Esquema órtesis activa de rodilla

Fuente Vivas (2022)

El sistema de restauración de movimiento, que se aprecia en la figura 15, va a incorporar un resorte de retorno que va a proporcionarle a la persona cierta facilidad cuando realice movimientos en esta zona, este resorte se encontrará en reposo cuando la rodilla se encuentre extendida, al momento de realizar cierta flexión en la rodilla, parte de la energía se acumulara en el resorte hasta el momento de su liberación que será cuando la persona decida extender la rodilla nuevamente, de esta manera el usuario sentirá un alivio en la rodilla ya que parte del esfuerzo es ejecutado por este sistema.



Figura 15 Resorte para restauración de movimiento

Fuente Vivas (2022)

En conjunto con el resorte, el sistema de restauración de movimiento va a incorporar un eje que mantendrá fijo el centro del resorte; en el extremo opuesto del resorte un pin actuara con el fin de ajustar el nivel de carga del resorte, este pin tendrá tres (03) posiciones o niveles que el usuario va a poder manejar, la primera posición o la posición central, va a ser una posición neutra en la cual la carga del resorte no va a presentar ningún cambio; una segunda posición será la del nivel de carga más bajo (posición a la derecha del pin), en esta posición el resorte se expande ocasionando que realice un menor esfuerzo al momento de que el usuario haga algún tipo de movimiento, permitiendo que ciertas posturas sean más cómodas; la tercera posición será la de nivel de carga más alto (posición a la izquierda del pin), en esta posición el resorte realice un mayor

esfuerzo que en la posición central lo que le da la posibilidad al usuario de realizar tareas más difíciles con mayor facilidad.

4.3 Determinar los materiales apropiados para el diseño de la órtesis activa de rodilla mixta

En la anterior fase se presentó un esquema de la órtesis que se busca desarrollar, mediante el esquema se notan algunos componentes de la misma, estos componentes se pueden encontrar comercialmente hechos de distintos materiales, en esta fase se realizó una preselección de los materiales que constituyen cada componente, como se muestra a continuación:

- Correa de velcro: Nylon
- Almohadillas: Neopreno
- Resorte: Acero
- Eje principal: Acero
- Pasador: Acero
- Buje: Acero
- Platinas: Aluminio

Estos materiales son usados ortopédicamente y se han seleccionado de acuerdo al costo que representa cada uno, siendo un estimado total de 50\$ y 60\$, si posteriormente se encuentra necesario sustituir uno de estos materiales por otro más adecuado a lo que se requiere, se hará la aclaratoria. En relación a los precios, materiales como la correa de velcro de nylon tiene un precio de aproximadamente 3\$ por metro, las almohadillas de neopreno comercialmente se venden a 19\$ por metro, el resorte tiene un costo de alrededor de 6\$; y los demás materiales a medida que se vayan especificando posteriormente se conocerá su valor comercial.

Una vez seleccionado los materiales con los que se van a trabajar, se procede a realizar el primer modelo virtual, este modelo es una pieza importante ya que nos permitirá realizar ciertos estudios para determinar la resistencia de los materiales que se han seleccionado, en la figura 16 se presenta el modelo:

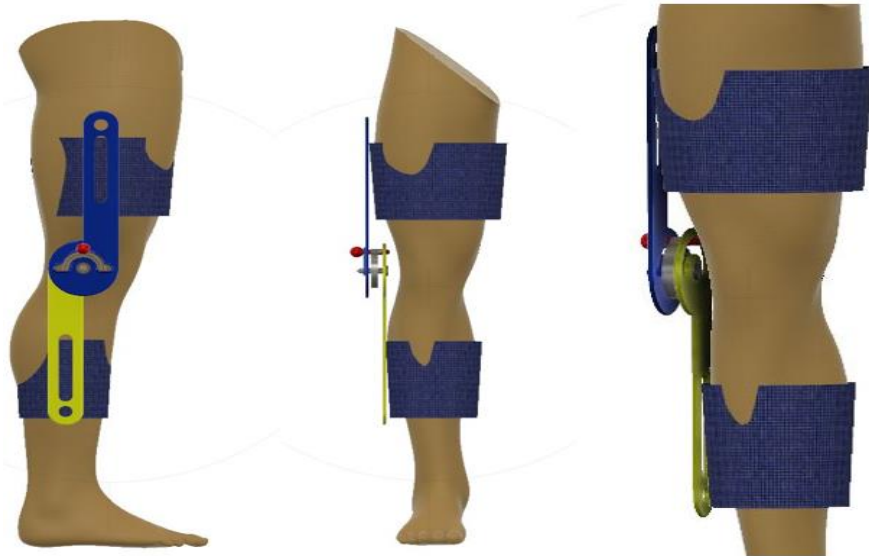


Figura 16 Modelo de órtesis activa de rodilla

Fuente Vivas (2022)

4.4 Análisis estructurales a la órtesis seleccionada para visualizar las ventajas y desventajas que se tienen.

En esta fase de la investigación las distintas piezas que van a estar bajo el efecto de alguna carga, se analizan mediante la herramienta Fusion 360 de manera tal que se puedan detallar los distintos esfuerzos presentes en estas piezas, al igual que la deformación que sufren, para así determinar si el diseño ha sido correcto y se considera seguro y confiable.

Platinas

La primera pieza que se va a analizar, va a ser las platinas de aluminio; estas platinas, como se ve en la figura 17, tienen un alto de 325 mm y un espesor de 5 mm, de igual forma la circunferencia tiene 100 mm de diámetro y la barra un ancho de 50 mm y están hechas de aluminio 1100-H18 el cual es un material considerado comercialmente puro con buenas características como una alta resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica y térmica favorable, y es suave y dúctil; el precio de este material esta alrededor de los 3\$ el kilogramo.

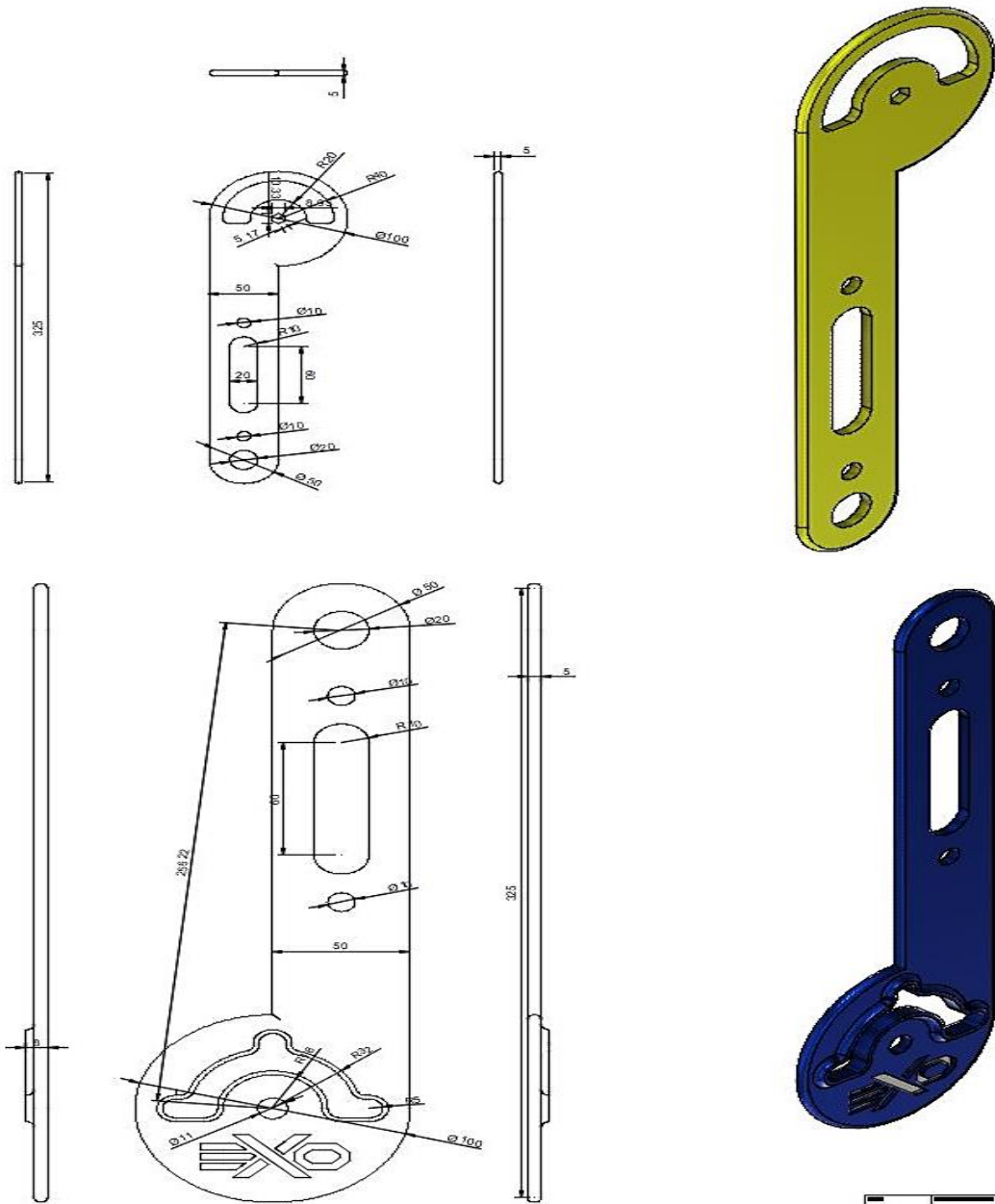


Figura 17 Medidas de platinas de aluminio

Fuente Vivas (2022)

Una vez con los parámetros de diseño y con el material seleccionado, se procede a aplicar el material a la platina y de igual forma se aplicó una carga de 790 N, tal y como se muestra en la figura 18, esto asumiendo que la persona tenga un peso de 80 Kg.

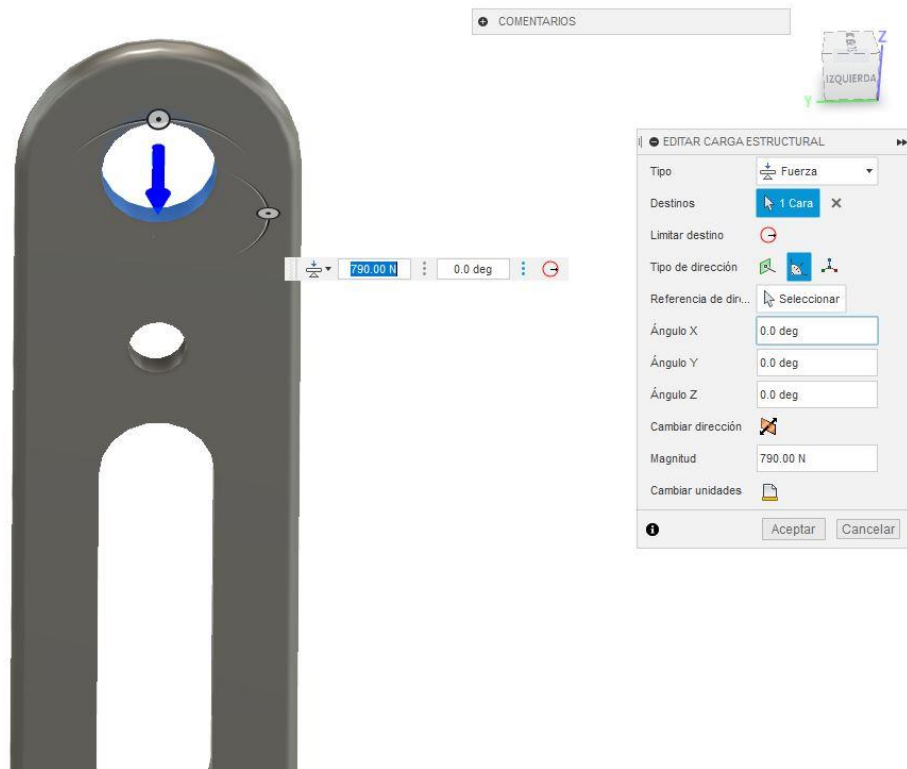
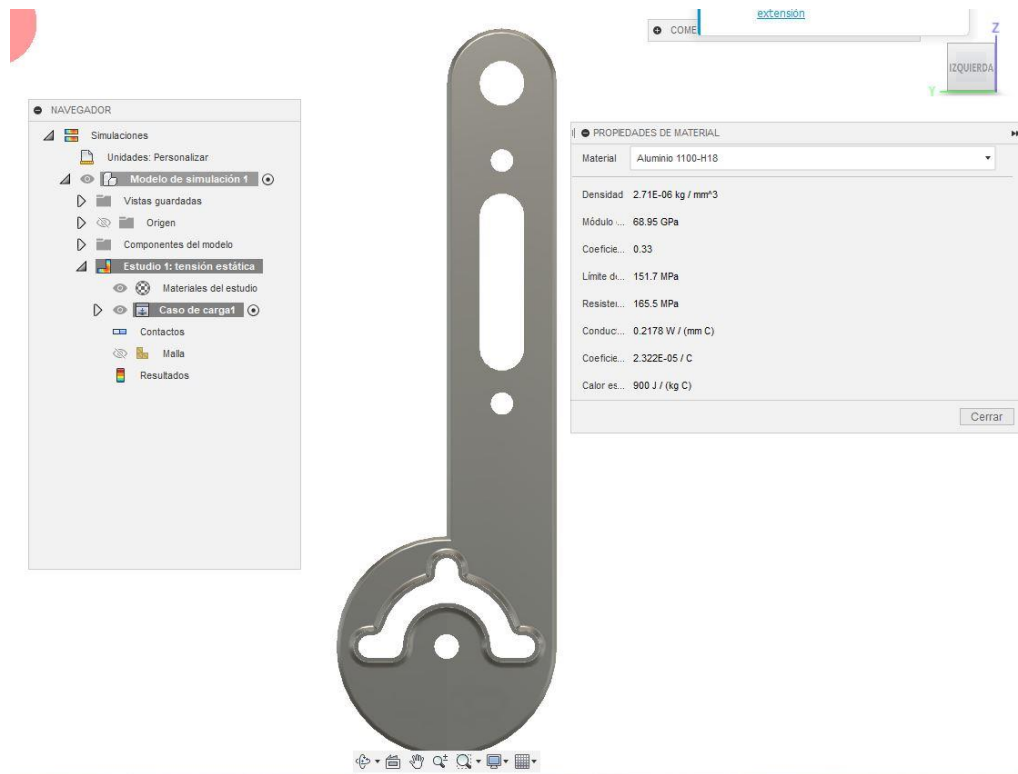


Figura 18 Material de platina y carga de 790 N

Fuente Vivas (2022)

Antes de realizar el análisis estructural se genera el mallado correspondiente, como se nota en la figura 19, se toma como parámetro una malla con refinado medio y se procede a realizar el análisis.

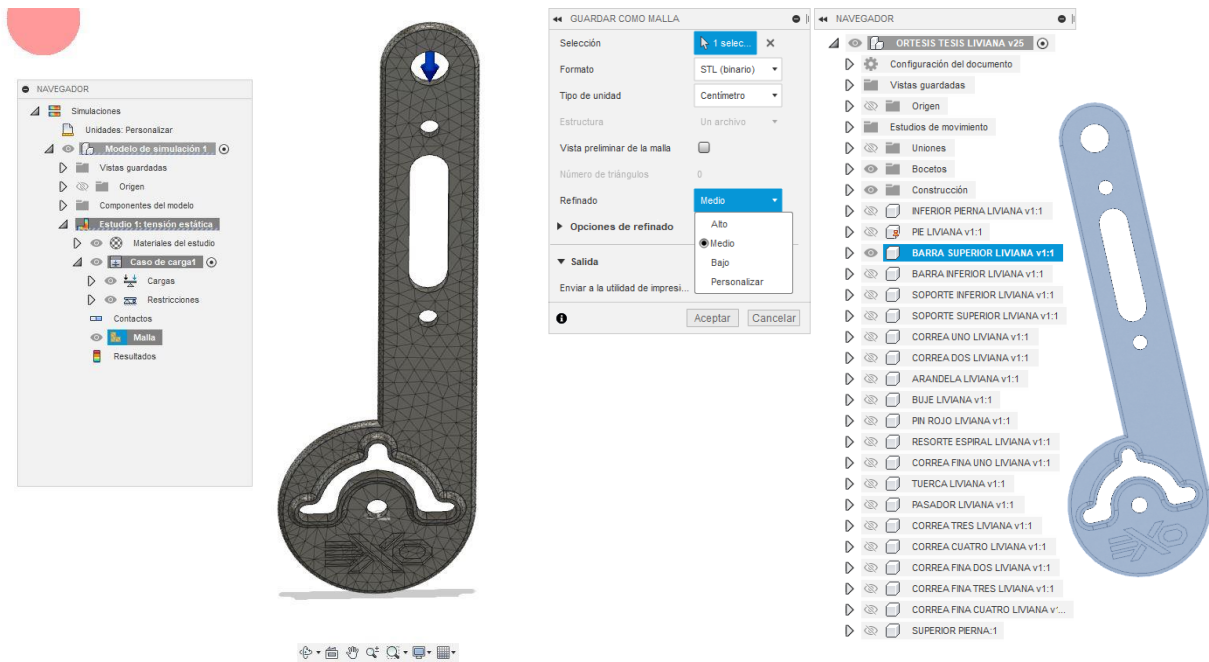


Figura 19 Mallado de platina

Fuente Vivas (2022)

Una vez ingresados estos parámetros, Fusion 360 nos muestra los resultados del diseño, el primer resultado son los esfuerzos a los cuales estarán sometidos estas platinas, en la figura 20 se aprecia un máximo esfuerzo de 45.41 MPa y un mínimo esfuerzo de 0.02 MPa, se sabe por la figura 18 que el aluminio 1100-H18 tiene un límite de elasticidad de 151.7 MPa, por lo tanto, la pieza va a resistir esta carga sin ningún tipo de problema.

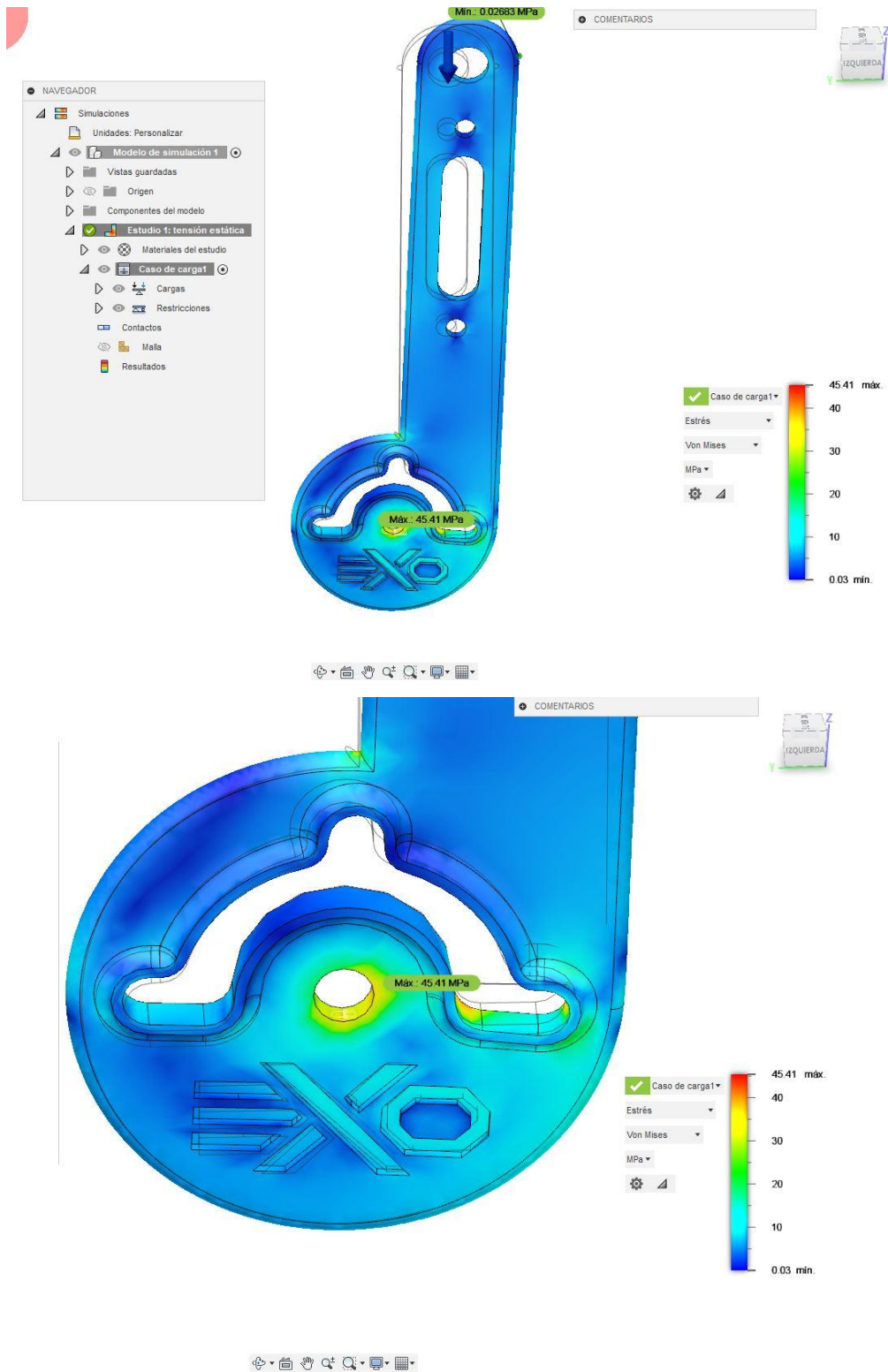


Figura 20 Esfuerzo máximo y mínimo de la platina

Fuente Vivas (2022)

De igual forma revisamos la deformación y el desplazamiento que se presentan en las platinas, en la figura 21 se puede observar que los valores de deformación son imperceptibles al ojo humano, y si bien es cierto que el valor de desplazamiento es un poco mayor, este tampoco representa un factor de riesgo para el usuario.

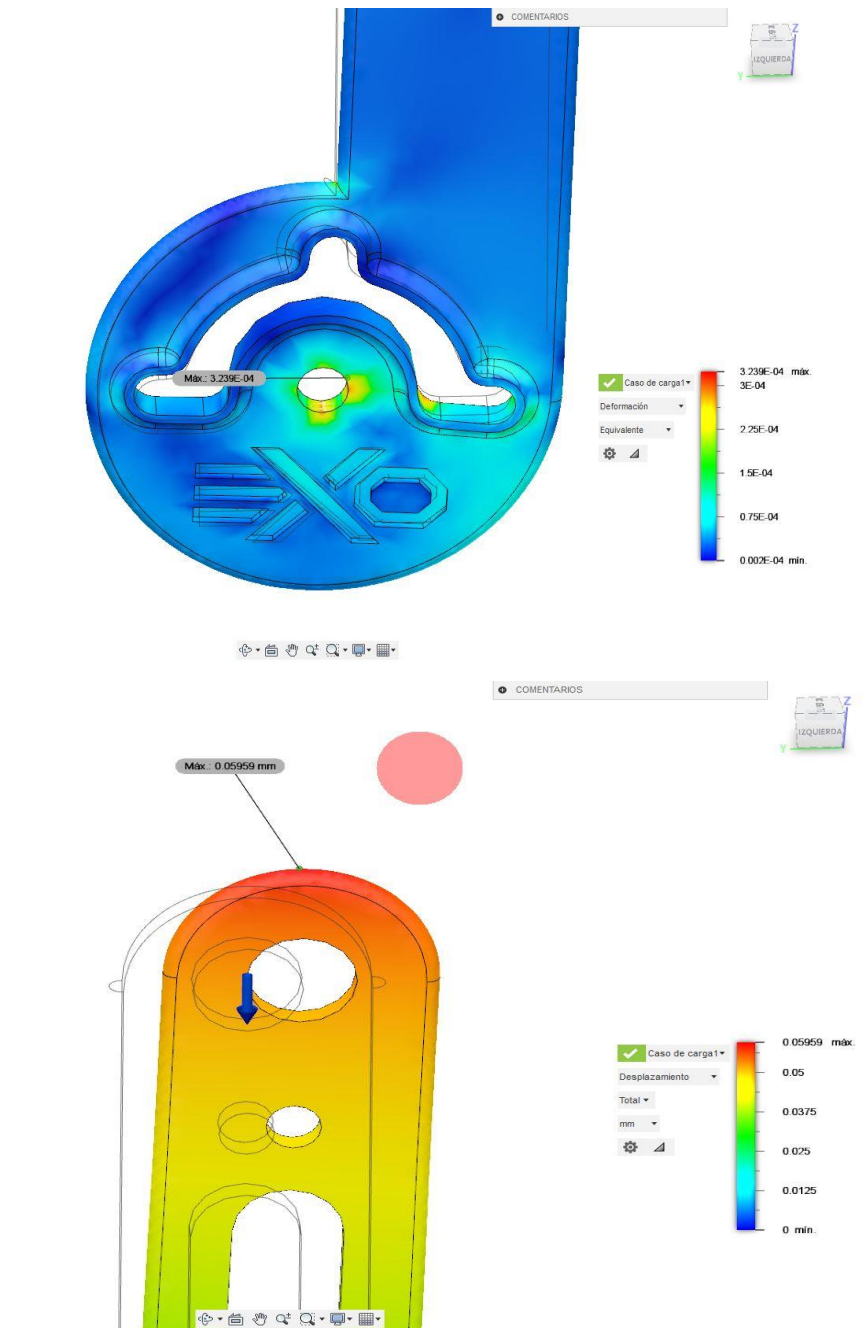


Figura 21 Valor máximo de deformación y valor máximo de desplazamiento

Fuente Vivas (2022)

Por último, se observa el factor de seguridad de las platinas en la figura 22 y se concluye que estas platinas son seguras y confiables para una persona que pese 80 Kg, e incluso se podría decir que siguen siendo seguras para una persona con un peso mayor.

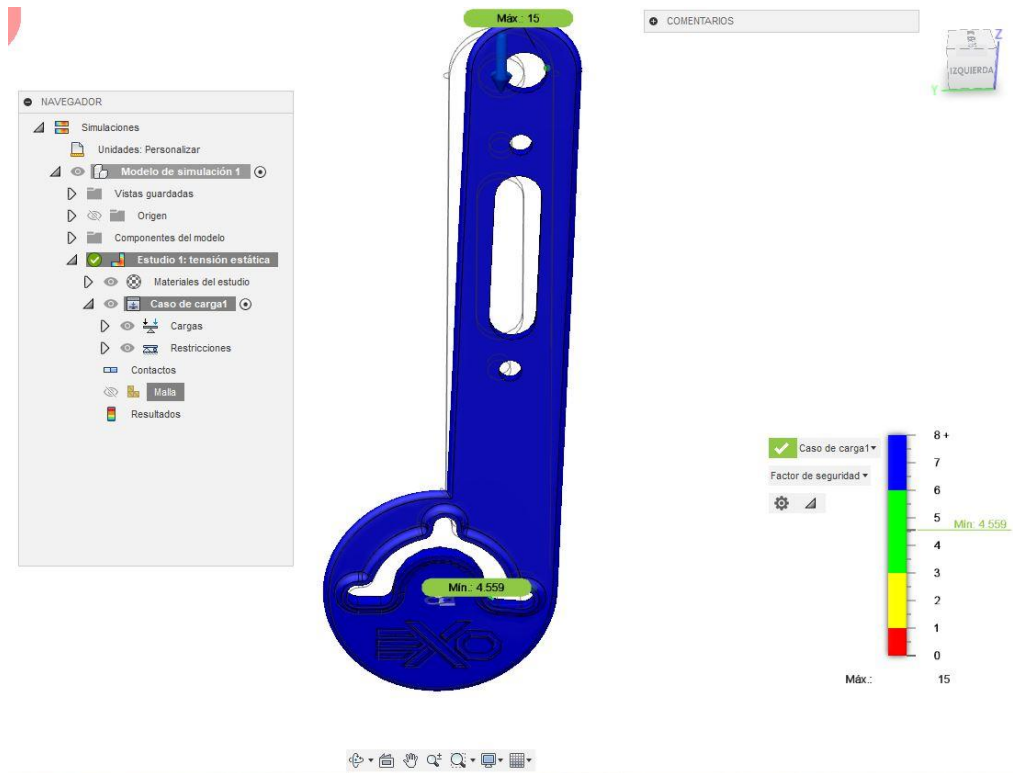


Figura 22 Factor de seguridad de las platinas

Fuente Vivas (2022)

Pin/Eje

A manera de continuar con el análisis, se somete el pin al mismo estudio que la platina, el pin como se nota en la figura 23, tiene un largo total de 45 mm y su cabeza es de 20 mm de diámetro, la sección hexagonal tiene un ancho máximo de 10 mm y la sección circular de 5.12 mm y está hecho de acero inoxidable 17-4 PH el cual se caracteriza por un alto límite elástico, buena resistencia a la corrosión y alta resistencia al desgaste, este material debido a sus buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión es usado en la industria marítima; de igual forma, el precio de este material esta alrededor de los 4\$ el kilogramo.

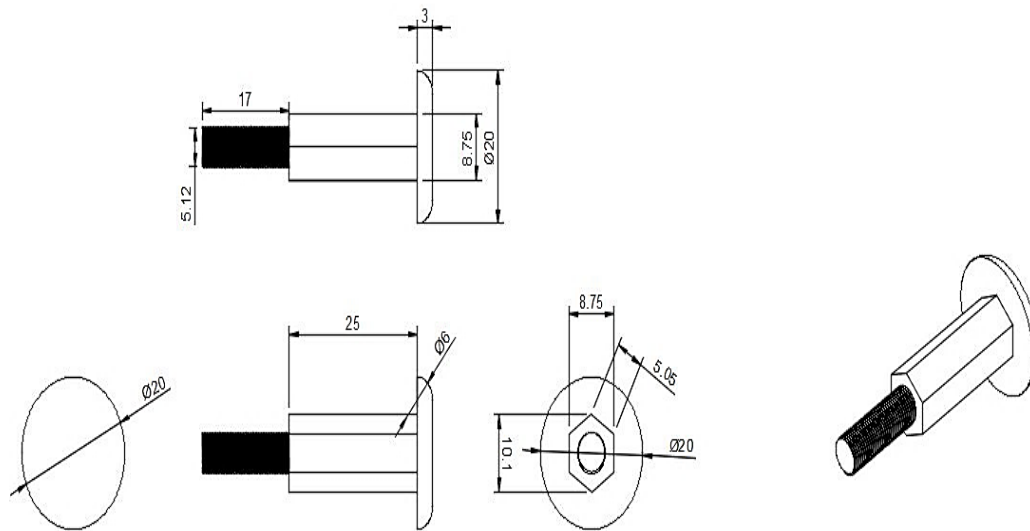


Figura 23 Medidas pin de acero inoxidable

Fuente Vivas (2022)

El siguiente paso es aplicar una carga de 790 N tal y como se muestra en la figura 24, asumiendo que la persona tenga un peso de 80 kg; una vez la carga aplicada, se aplica la correspondiente malla, la cual tiene un refinado medio y se procede a analizar el pin como se ve a continuación.

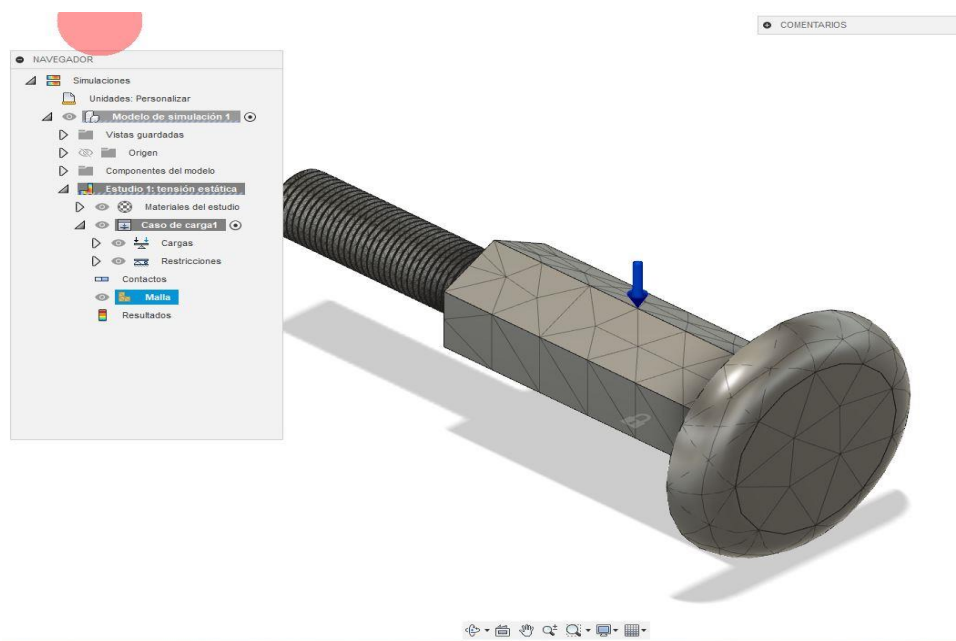


Figura 24 Carga y mallado del pin

Fuente Vivas (2022)

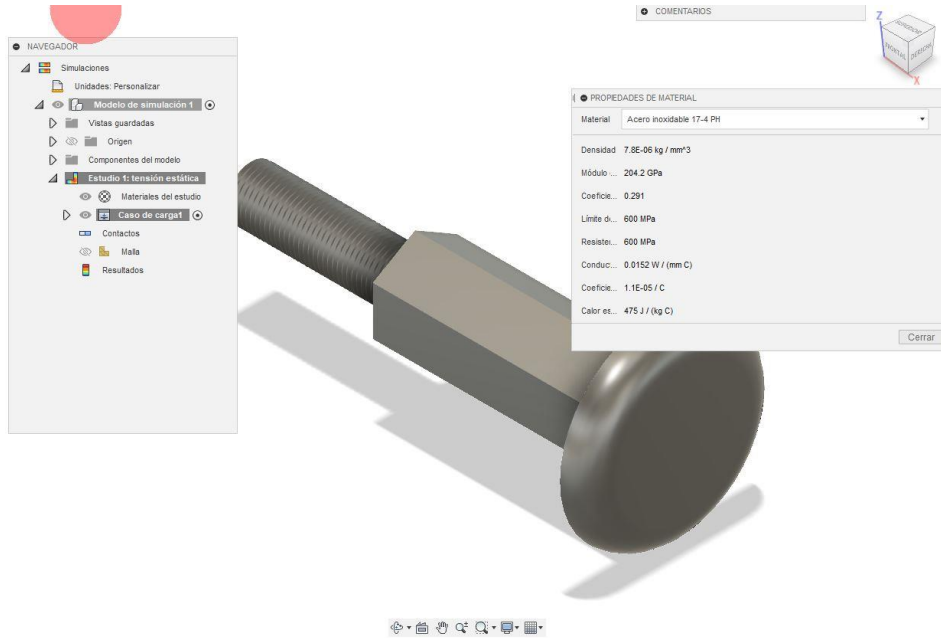


Figura 25 Material del Pin

Fuente Vivas (2022)

Lo primero que se analiza es el esfuerzo al cual se somete el pin, en la figura 26 se aprecia un esfuerzo máximo de 62.2 MPa y se sabe por medio de la figura 25, que el pin es capaz de aguantar un esfuerzo de 600 MPa, por lo tanto, se considera seguro y confiable.

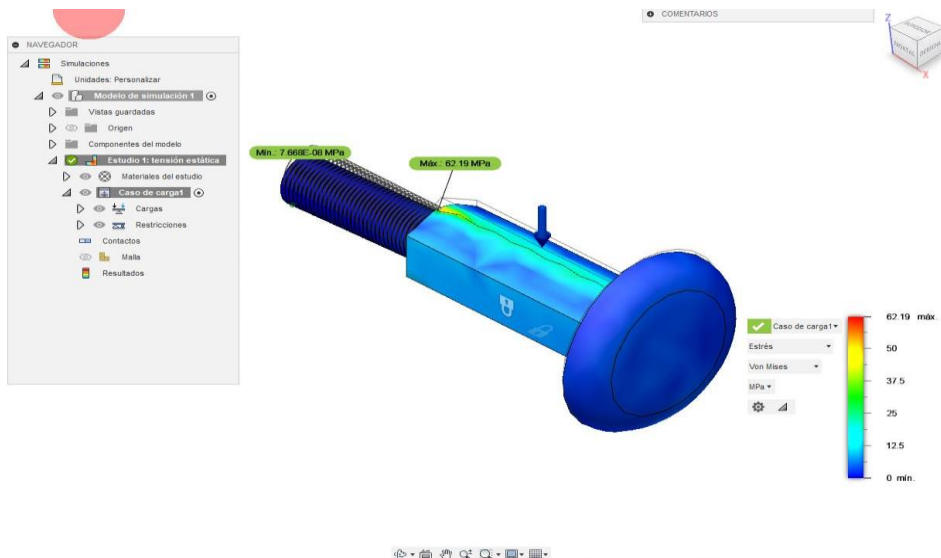


Figura 26 Esfuerzo máximo y mínimo del Pin

Fuente Vivas (2022)

De igual manera se analizan los valores de deformación y desplazamiento, en la figura 27, se demuestra que la deformación que sufre el pin no es significativa y si bien el desplazamiento es un valor un poco mayor, tampoco representa un riesgo para la seguridad del paciente.

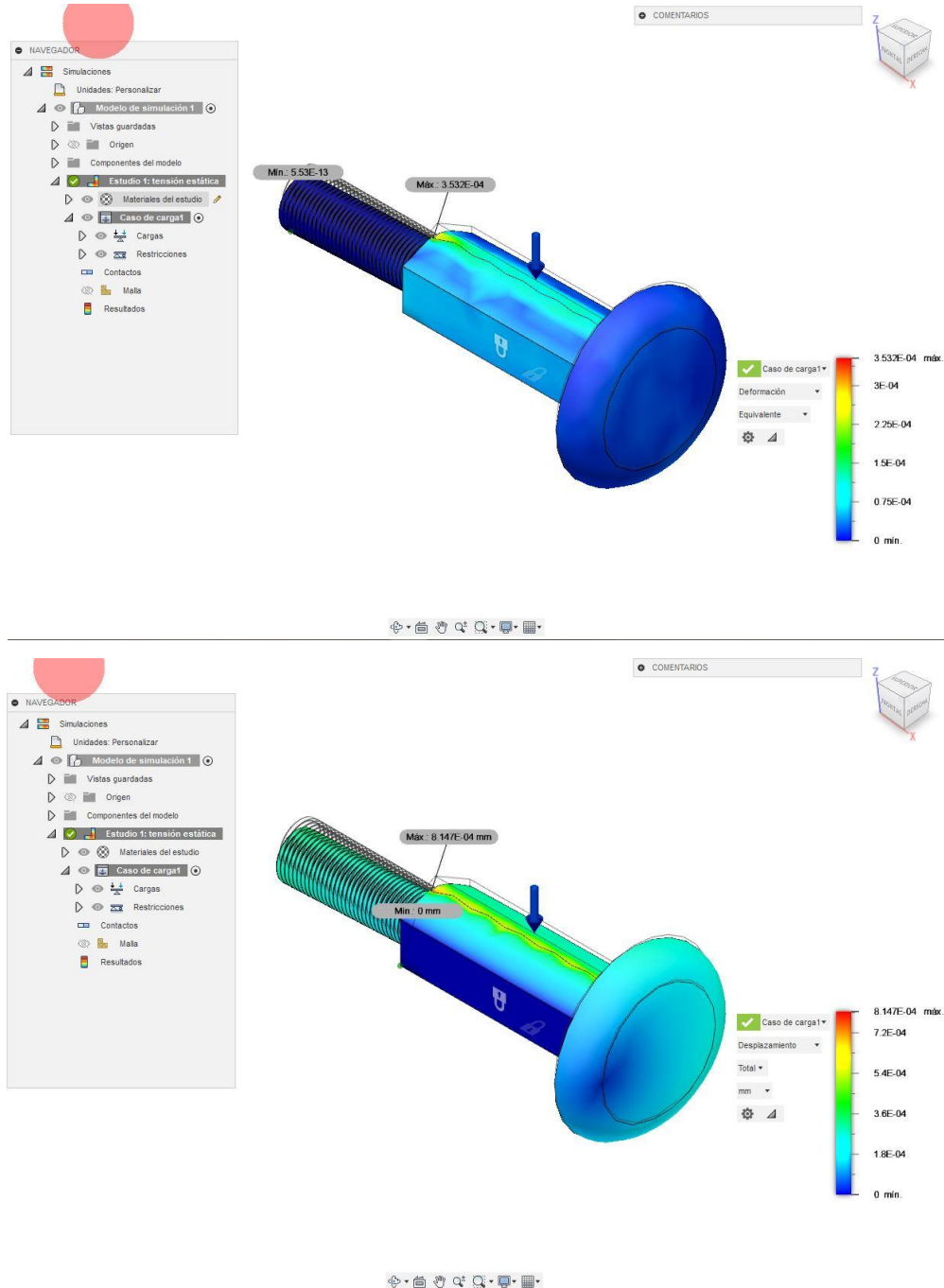


Figura 27 Deformación y desplazamiento del Pin

Fuente Vivas (2022)

El último dato que se obtiene del Pin, es el factor de seguridad, el cual por medio de la figura 28, se puede observar que al utilizar un pin con estos parámetros y materiales el factor de seguridad es de 3.33, por lo cual es un diseño seguro y confiable.

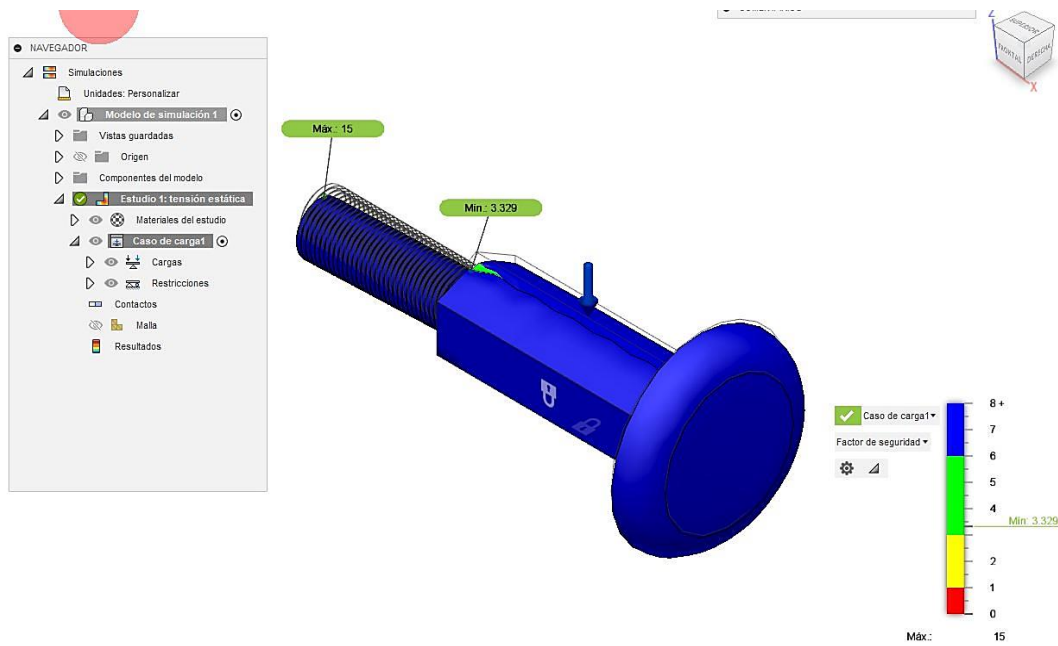


Figura 28 Factor de seguridad del Pin

Fuente Vivas (2022)

Resorte espiral

Se sabe por medio de la figura 29 que el cabezal del resorte tiene 25 mm de ancho y un diámetro de 11.09 mm, de igual forma el resorte completo tiene una altura de 70.89 mm y la sección hexagonal mide un máximo de 11.26 mm, también se estima que la carga que va a soportar será la de una persona de 85 kilogramos y estará hecho de acero, este componente no se analiza directamente con programas como Solidworks o Fusion 360 debido a que su análisis es un proceso complicado, no obstante empresas como NINGBO YUNSHENG ELASTIC COMPONENTS CO., LTD. Diseñan y fabrican los resortes a necesidad del cliente, con las especificaciones dadas anteriormente, estas empresas se encargan de realizar los análisis correspondientes para que la

pieza no presente fallas, de igual forma cuentan con una amplia gama de catálogos que podrían ser útiles al momento de seleccionar el resorte adecuado.

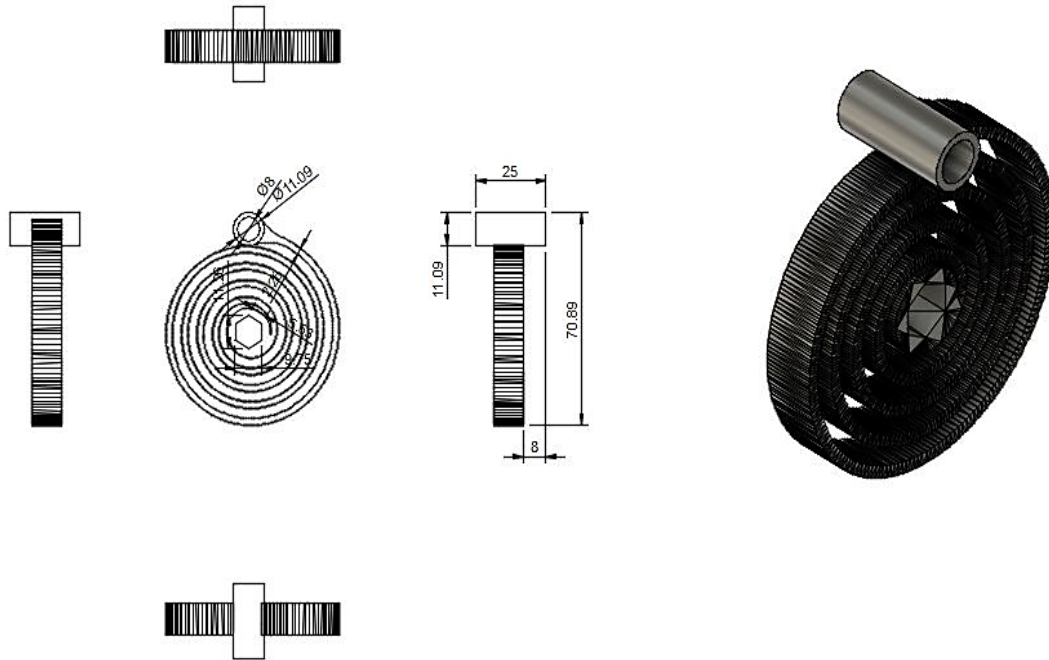


Figura 29 Medidas del resorte espiral

Fuente Vivas (2022)

Pin rojo

En este caso, el pin rojo, no va a estar sometido a ninguna carga que represente un esfuerzo significativo ya que será la pieza que sujete el resorte en las distintas posiciones o niveles y por lo tanto sobre este actuará la resistencia de la platina y la fuerza ejercida por el resorte, sin embargo, se presentan las medidas de este pin a manera de referencia para la investigación, tal y como se muestra en la figura 30, por otra parte, este pin estará hecho de acero inoxidable 17-4PH, se escoge este material ya que es una combinación de acero, cromo y magnesio, por lo tanto, le proporciona a la pieza un alta resistencia a la corrosión, cuenta con un límite elástico de 1560 MPa y una resistencia a la tracción de 1600 MPa, estas características son idóneas para las condiciones a las que va a estar sometida este pin; por último, se sabe que el precio de este material es cerca de los 4\$ el kilogramo.

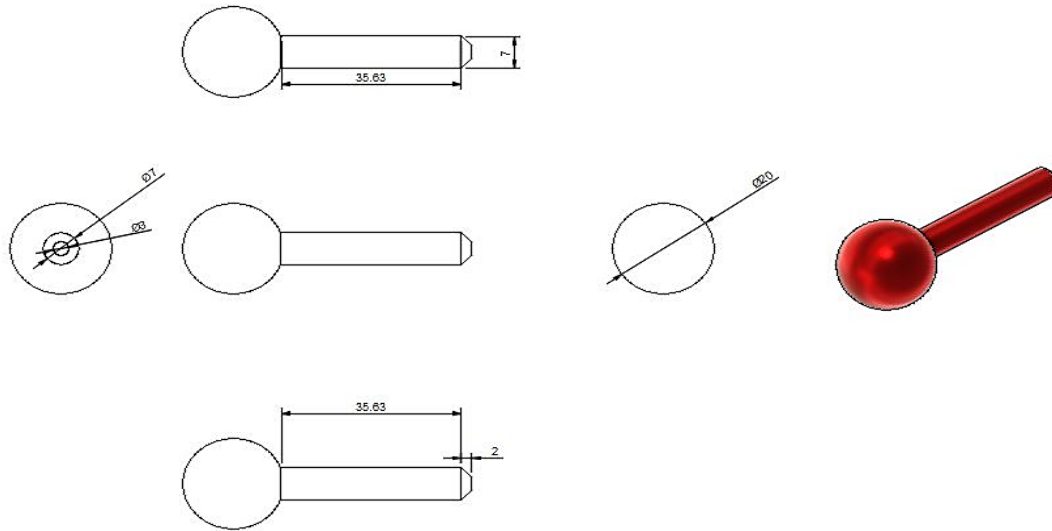


Figura 30 Medidas del pin rojo

Fuente Vivas (2022)

4.5 Simulación virtual a través de la herramienta Fusion 360, del dispositivo diseñado.

La última fase de la investigación, la cual consta de una serie de videos que mostraran el funcionamiento de la órtesis diseñada, estos videos son simulaciones virtuales realizadas en el software “Fusion 360” y mediante los videos se observaran los distintos movimientos que realiza la órtesis una vez se encuentre en uso por alguna persona o paciente que, para este caso, intentara sentarse; como se puede observar en la figura 31, al momento de ponerse la órtesis en la rodilla, se tiene una posición inicial la cual es una posición erguida con un esfuerzo mínimo, en este punto el sistema de retorno de la órtesis se encuentra en reposo.

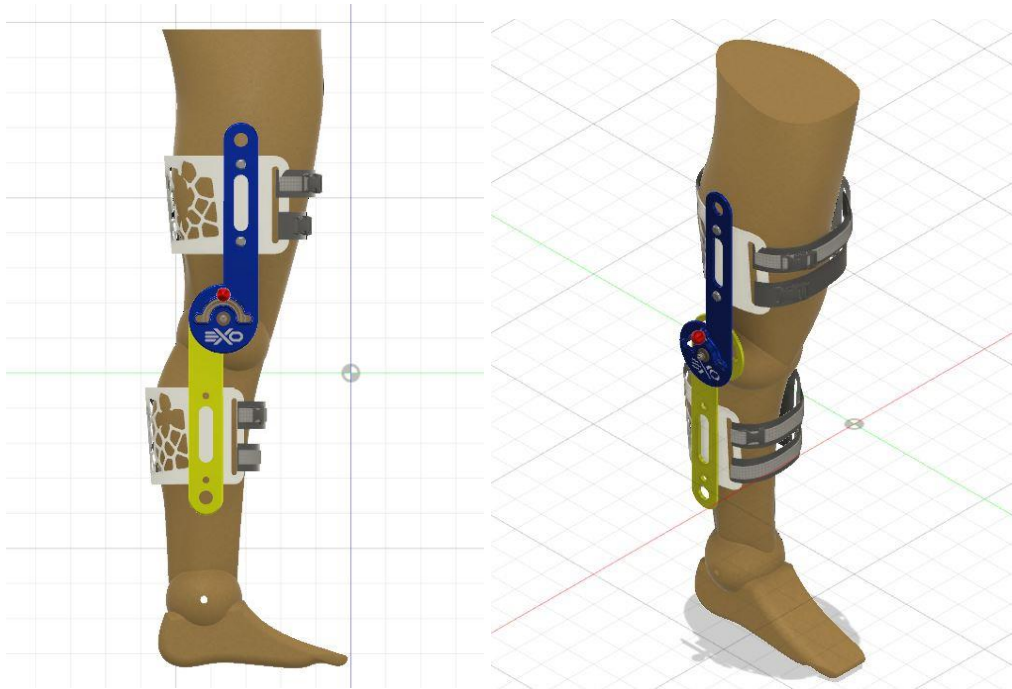


Figura 31 Posición inicial ortesis

Fuente Vivas (2022)

Una vez el usuario empiece el movimiento para intentar sentarse, deberá flexionar la pierna, lo que causara un aumento del esfuerzo que recibe la rodilla, pero una parte de este esfuerzo se va a redireccionar al sistema de retorno de la órtesis, el cual cambiara su estado gradualmente de reposo a cargado acumulando cada vez más carga, tal como se observa en la figura 32.

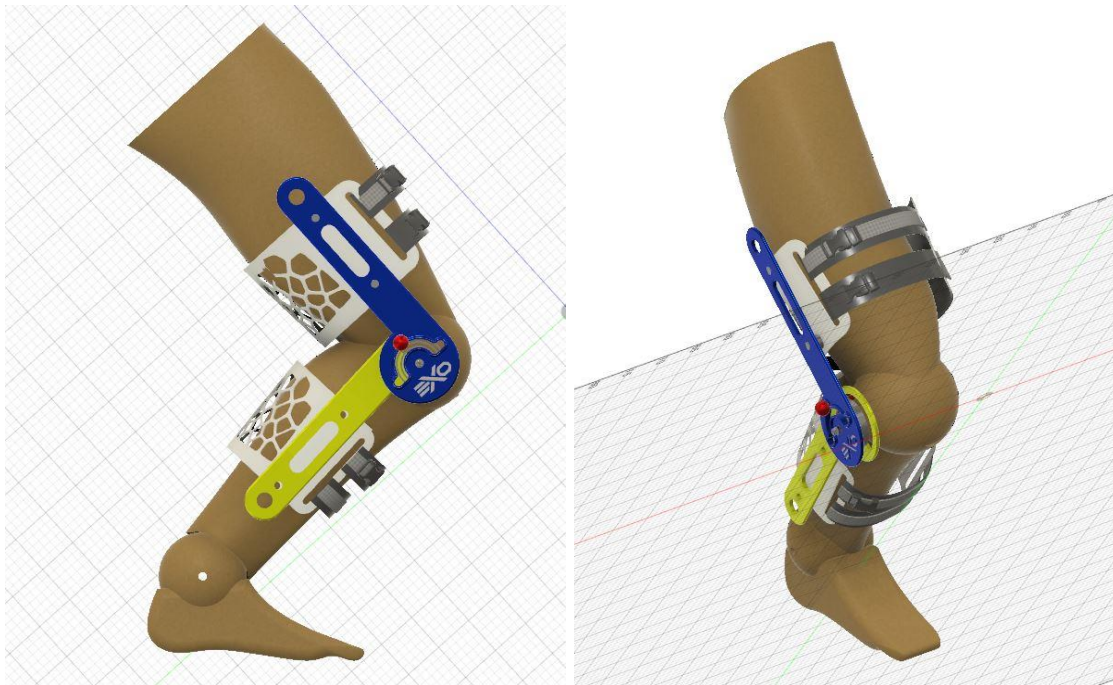


Figura 32 Flexión de la rodilla

Fuente Vivas (2022)

Una vez la persona está sentada, como se ve en la figura 33, el sistema de retorno de la órtesis se encontrará totalmente cargado, disminuyendo así el esfuerzo que tiene que realizar la persona para realizar la flexo-extensión, y estará listo para empezar la fase de descarga, dicha fase consiste en llevar la rodilla a su posición inicial la cual es de reposo, esto se hace extendiendo la pierna.

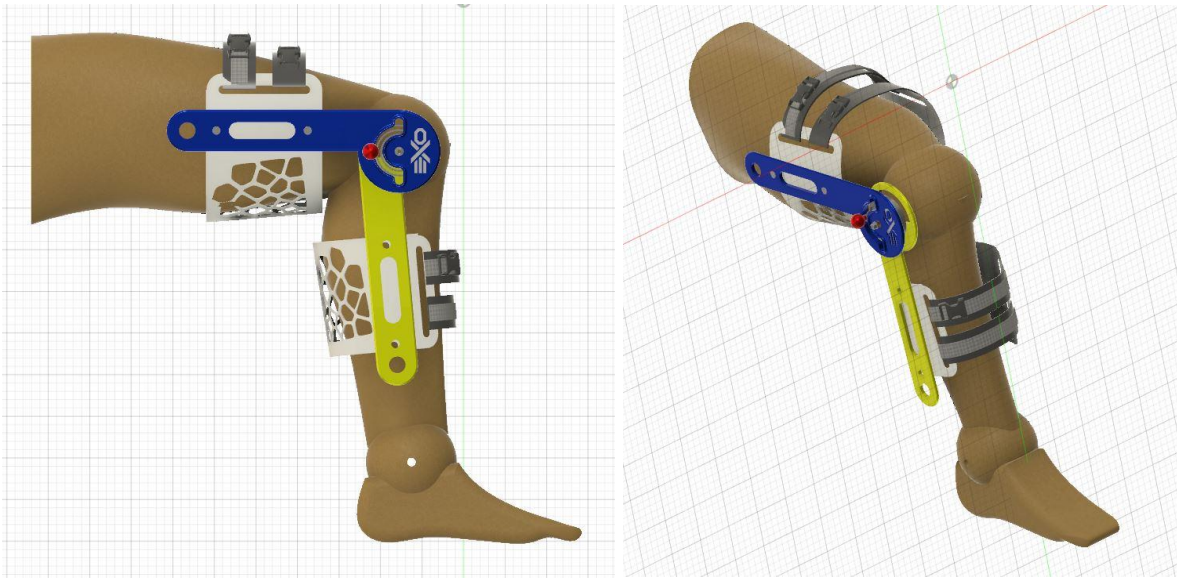


Figura 33 Rodilla flexionada

Fuente Vivas (2022)

Una vez la persona decida levantarse, el ciclo se repetirá, inversamente, el sistema de retorno empezara a descargarse gradualmente, ayudando a la persona a reincorporarse a su posición erguida permitiéndole disminuir el esfuerzo y la energía necesaria para hacerlo, hasta que el sistema de retorno se encuentre en reposo nuevamente. Por último, en la figura 34, se aprecian las piezas que se ensamblan para formar la órtesis mixta.



Figura 34 Piezas del ensamblaje de la órtesis mixta

Fuente Vivas (2022)

CONCLUSIONES

Por medio del siguiente trabajo se pudo notar que el diagnóstico de los distintos tipos de órtesis presenta un terreno amplio para la investigación no solo de problemas en la rodilla sino en distintos sectores de la biomecánica, es válido aclarar que dependiendo de la situación o el diagnóstico que tenga cada persona, se pueden presentar gran variedad de alternativas, siendo la alternativa que se escogió, la órtesis activa mixta, la que aporta un mayor número de ventajas y beneficios para nuestro caso en particular.

De igual forma, los materiales seleccionados anteriormente cumplen con los requisitos del trabajo de investigación, sin embargo, dependiendo de la persona que lo vaya a usar o de los recursos con los que disponga, estos materiales pueden ser sustituidos por otros que cumplan la misma función, siempre y cuando sean materiales factibles y que no representen riesgo para la persona que va a usar la ortesis.

Los análisis estructurales realizados previamente demuestran que el uso de los materiales seleccionados y las dimensiones dadas a cada pieza, son correctos y por lo tanto el diseño de la órtesis es válido y viable, obteniendo como resultado, una órtesis segura, confiable, sencilla de usar y cómoda para la persona que la va a usar. Por otra parte, los análisis estructurales se hicieron tomando como referencia una persona con un peso de 80kg, aunque, se demostró que personas con un peso mayor podrían usar este diseño siempre y cuando se adapte a su fisionomía, por otra parte, se puede mencionar que el dispositivo se puede usar para actividades como caminar o correr, pero no es apto para realizar deportes profesionales.

Gracias a la simulación realizada en Fusion 360, se observó que la órtesis es capaz de replicar los movimientos de flexo extensión de la rodilla, contando con un diseño intuitivo para que cualquier persona pueda usarlo, esto sumado al sistema de reincorporación, le permite a la persona aliviar el esfuerzo que realiza al caminar, correr o hacer otras actividades.

Se menciona que este tipo de diseño presenta una serie de ventajas/beneficios que la mayoría de órtesis en el mercado no tienen, como se vio en durante la investigación, la órtesis activa mixta de rodilla, diseñada es una mezcla de varios tipo de órtesis, asegurando la reducción de desventajas a su vez que se fortalecen sus beneficios, alguno de los cuales son la facilidad de adaptación, el tamaño, su diseño estético, el costo, capacidad de recuperación del paciente, la comodidad, estabilidad y la corrección de postura.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la simulación con ayuda del software Fusion 360, ya que le permite al investigador interactuar con un software que da muchas posibilidades en cuanto animación se refiere, siendo fácil y sencillo de usar y agregando al diseño practicidad y estética, de igual forma softwares como solidworks o inventor proporcionan una alta gama de aplicaciones y configuraciones diferentes que pueden ser útiles según el diseño requerido.

Debido a la diferente fisionomía y gustos de cada persona, es recomendable ajustar el diseño de acuerdo a las especificaciones del paciente, de igual forma, se recomienda que el diagnóstico del uso de la órtesis sea dado por un especialista medico en dicha área.

Por último, se incentiva a investigar y recopilar información sobre lo anteriormente planteado con la finalidad de extender el panorama presentado y dar camino a nuevas investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquero, K. (2019). **Diseño de un estudio experimental para rehabilitación de rodilla con exoesqueleto activo**. Obtenido de https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/21014/Trabajo_de_grado_Catalina_Baquero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, F (2012). **El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica** (5ta. edición). Editorial Episteme. Caracas, Venezuela
- Balestrini, M. (2005). **Elaboración de un proyecto de grado**. 6ta edición. [Documento Línea]. Disponible: <https://drive.google.com/file/d/0B1sTcIvKGVSyT1FFa0JYMXFEejg/view?resourcekey=0-q4eI4j8N4MSEkr7B1O9Vg>
- Carrillo, J. (10 de Marzo de 2012). Balzac y el análisis de la marcha humana. Obtenido de https://www.academia.edu/50451247/Balzac_y_el_an%C3%A1lisis_de_la_marcha_humana
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**. (1999). Caracas.
- Díaz, D., & Salazar, J. (Junio de 2017). **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PRÓTESIS TOTAL DE RODILLA EN VENEZUELA**. Obtenido de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT6451.pdf>
- Equipo Editorial. (Agosto de 5 de 2021). **Dinamica**. Obtenido de <https://concepto.de/dinamica/>
- Estrada, Y. (2018). **Biomecánica: de la física mecánica al análisis de gestos deportivos**. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12464/Obracompleta.2018Estradayisel.pdf?sequence=1>
- Gómez, A. G. (2010). **Órtesis activas y desarrollo del modelo cinemático para miembro inferior**. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/233926052_ORTESIS_ACTIVAS_Y_DESARROLLO_DEL_MODELO_CINEMATICO_PARA_MIEMBRO_INFERIOR
- Hernández, S. (2008) **Metodología de la Investigación**. [Documento en Línea]. Disponible: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hurtado, J. (2008) **Metodología de la Investigación**, Quiron-Sypal. Caracas, Venezuela

Parella, S. y Martins, F. (2010). **Metodología de la Investigación Cuantitativa**. Fondo Editorial de la universidad Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.

Tamayo y Tamayo, M. (2004) **El proceso de la Investigación Científica**. 4ta Edición [Documento en Línea]. Disponible:

[https://www.academia.edu/17470765/EL_PROCESO_DE_INVESTIGACION_CIENTIF
ICA_MARIO_TAMAYO_Y_TAMAYO_1?auto=download](https://www.academia.edu/17470765/EL_PROCESO_DE_INVESTIGACION_CIENTIFICA_MARIO_TAMAYO_Y_TAMAYO_1?auto=download)

UPEL (2010) **Manual de Trabajo de Grados de especialización y Maestría y Tesis Doctorales** [Documento en Línea]. Disponible: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/07/proyectos>

ANEXOS

Anexo 1 Aleaciones de aluminio

TABLA 2 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio forjado

Datos provenientes de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de aluminio forjado	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1100	recocido en hoja	5	34	13	90			35	23
	laminado en frío	22	152	24	165			5	44
2024	recocido en hoja	11	76	26	179			20	-
	tratamiento térmico	42	290	64	441	20	138	19	-
3003	recocido en hoja	6	41	16	110			30	28
	laminado en frío	27	186	29	200			4	55
5052	recocido en hoja	13	90	28	193			25	47
	laminado en frío	37	255	42	290			7	77
6061	recocido en hoja	8	55	18	124			25	30
	tratamiento térmico	40	276	45	310	14	97	12	95
7075	recocido en barra	15	103	33	228			16	60
	tratamiento térmico	73	503	83	572	14	97	11	150

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo 2 Propiedades mecánicas del aluminio 1100

Propiedades Mecánicas Típicas

Tipo	Dureza	UTS (MPa)	YS (MPa)	% Elongación
	0	90	34,5	35
1100	H14	124	117	9
	H18	166	152	5

Anexo 3 Familia de aleaciones de aluminio

Aleaciones Aluminio			
Serie	Designación	Aleantes principales	NHT / HT
1000	1xxx	99 % al menos de aluminio	NHT
2000	2xxx	Cobre (Cu)	HT
3000	3xxx	Manganeso (Mg)	NHT
4000	4xxx	Silicio (Si)	NHT
5000	5xxx	Magnesio (Mg)	NHT
6000	6xxx	Magnesio (Mg) y Silicio (Si)	HT
7000	7xxx	Zinc (Zi) y Magnesio (Mg)	HT
8000	8xxx	Otros elementos	Otro

Anexo 4 Propiedades mecánicas de aleaciones de acero inoxidable 17-4PH

	H900	H925	H1025	H1075	H1100	H1150	H1150-M
Resistencia máxima a la tracción, ksi	200	190	170	165	150	145	t125
0,2% Límite elástico, ksi	185	175	165	150	135	125	85
Elongación % en 2" o 4XD	14	14	15	dieciséis	17	19	22
Reducción del área, %	50	54	56	58	58	60	68
Dureza, Brinell (Rockwell)	420 (C44)	409 (C42)	352 (C38)	341 (C35)	332 (C35)	311 (C33)	277 (C27)
Impacto Charpy con muesca en V, pies - libras	15	25	35	40	25	30	100

Anexo 5 Grupo de aceros inoxidables

EN	AISI	C% min - max	Cr% min - max	Ni% min - max	Mo% min - max	N% min - max	Cu% min - max	Others
1.4021	420	0.16 - 0.25	12 - 14					
1.4116		0.45 - 0.55	14 - 15		0.5 - 0.8			V% = 0.10 to 0.20
1.4125	440C	0.95 - 1.20	16 - 18		0.4 - 0.8			
1.4016	430	0.08	16 - 18					
1.4509	441	0.030	17.5 - 18.5					Nb% = 3xC%+0.30 to 1.00 Ti% = 0.10 to 0.60
1.4510	439	0.05	16 - 18					Ti% = 4x(C%+N%) +0.15 to 0.80
1.4521	444	0.025	17 - 20		1.8 - 2.5	0.030		
1.4301	304	0.07	17 - 19.5	8 - 10.5		0.11		
1.4307	304L	0.030	17.5 - 19.5	8 - 10		0.11		
1.4401	316	0.07	16.5 - 18.5	10 - 13	2.0 - 2.5	0.11		
1.4404	316L	0.030	16.5 - 18.5	10 - 13	2.0 - 2.5	0.11		
1.4541	321	0.08	17 - 19	9 - 12				Ti% = 5xC% to 0.7
1.4539	904L	0.020	19 - 21	24 - 26	4.0 - 5.0	0.15	1.2 - 2.0	
1.4547		0.020	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 7.0	0.18 - 0.25	0.5 - 1.0	
1.4529		0.020	19 - 21	24 - 26	6.0 - 7.0	0.15 - 0.25	0.5 - 1.5	
1.4542	630	0.07	15 - 17	3 - 5	0.6	0.45	3 - 5	Nb% = 5xC% to 0.45
1.4462		0.030	21 - 23	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.10 - 0.22		
1.4362		0.030	22 - 24	3.5 - 5.5	0.1 - 0.6	0.05 - 0.20	0.1 - 0.6	

Anexo 6 Clasificación de los aceros inoxidables

Aceros	Denominación		límite elástico a 0,2% de deformación (MPa)	Resistencia a la rotura (MPa)	Alargamiento %	Dureza HRB	Coeficiente de dilatación medio a 20°C $\times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{K}^{-1}$
	EN	AISI					
Ferr.	1.4512	409	220-280	380-560	25	75	11,6
	1.4016	430	260-280	430-630	20-18	85	10,5
	1.4748	446	380	550-585	15-13	83-84	11
Aust.	1.4301	304	210-230	520-720	45	80	17,5
	1.4308	304L	200-220	500-670	45	79	18,0
	1.4438	316	220	530-730	40	-	17,5
	1.4404	316L	220-240	520-680	45-40	79	17,5
	1.4541	321	200-220	500-720	40	80	17,5
	1.4450	347	200-220	500-720	40	85	17,5
Dúplex	1.4462	2205	460-480	640-950	25-20	31	14
Mart.	1.4006	410	205-450	550-850	20-12	90	12