



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE BIOMEDICINA

**DESARROLLO DE UNA PLANTILLA ORTOPÉDICA
PERSONALIZADA PARA PERSONAS CON ACTIVIDAD
BIPEDESTANTE PROLONGADA CONSIDERANDO LA
DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN PLANTAR Y
COMPARANDO DISTINTOS MATERIALES**

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

AUTOR: Ricardo León de la Torre Romero
TUTOR: Ing. David Mateo Cortez Saravia.

Guayaquil - Ecuador
2025

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

Yo, **Ricardo León de la Torre Romero** con documento de identificación N° **0931885040** manifiesto que:

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

Guayaquil, 26 de agosto del año 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ricardo León de la Torre Romero', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a long, sweeping flourish that extends to the right.

Ricardo León de la Torre Romero
0931885040

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

Yo, **Ricardo León de la Torre Romero** con documento de identificación N° **0931885040** expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Proyecto Técnico: DESARROLLO DE UNA PLANTILLA ORTOPÉDICA PERSONALIZADA PARA PERSONAS CON ACTIVIDAD BIPEDESTANTE PROLONGADA CONSIDERANDO LA DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN PLANTAR Y COMPARANDO DISTINTOS MATERIALES**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomedico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 26 de Agosto del año 2025

Atentamente,



Ricardo León de la Torre Romero
0931885040

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UNA PLANTILLA ORTOPÉDICA PERSONALIZADA PARA PERSONAS CON ACTIVIDAD BIPEDESTANTE PROLONGADA CONSIDERANDO LA DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN PLANTAR Y COMPARANDO DISTINTOS MATERIALES**, realizado por **Ricardo León de la Torre Romero** con documento de identificación N° **0931885040** obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyecto técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de Agosto del año 2025

Atentamente,



Ing. David Mateo Cortez Saravia, Msc.
0963020193

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación esta dedicado a mis padres Belisario León de la Torre y Gina Romero, cuyo amor incondicional, apoyo constante, enseñanza de valores de la fe en Dios han sido mi mayor inspiración por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, son el motivo por el cual este logro es también suyo. Gracias por enseñarme a enfrentar los desafíos con valentía y perseverancia.

A mis amigos, en especial del grupo FESTV por su inquebrantable confianza en mí. Su compañía, palabras de aliento y la alegría que aportaron a esta etapa hicieron que este camino fuese mucho más llevadero. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en esta experiencia. A mis profesores, cuya guía ha sido fundamental en mi formación ayudando a ampliar mis conocimientos, sino que también despertaron en mí el deseo de contribuir con algo significativo a mi campo. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la influencia de cada una de las personas que han formado parte de mi vida, quienes, con su presencia, esfuerzo y ejemplo, han moldeado el profesional y ser humano que soy hoy.

A mi hermana Jennifer León de la Torre quien siempre estuvo en todos los momentos duros de mi vida con su presencia, esfuerzo y apoyo en todo este proceso.

Ricardo León de la Torre Romero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia por su amor incondicional y siempre esta apoyándome en todos momento, por inculcarme buenos valores y la perseverancia para afrontar los retos y dificultades a lo largo de la vida. Este logro es tanto mío como de ellos, ya que su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido la base sobre la que he construido este camino.

Agradezco además de manera especial al Ing. David Cortez por su guía ante la realización de este proyecto con sugerencias y la confianza brindada para culminarlo. Asimismo, extendo mi gratitud a mis compañeros y amigos, quienes con su apoyo, compañía y palabras de ánimo han hecho de esta experiencia un camino más llevadero y significativo.

Ricardo León de la Torre Romero

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo y simulación de una plantilla ortopédica personalizada destinada a docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, quienes debido a sus extensas jornadas laborales presentan afecciones podológicas como fascitis plantar, pie plano y fatiga muscular. La propuesta plantea una solución técnica basada en herramientas de simulación estructural mediante análisis por elementos finitos (FEA), con el fin de optimizar la distribución de la presión plantar y mejorar la ergonomía del usuario.

El diseño tridimensional de la plantilla se realizó utilizando el software Autodesk Inventor, permitiendo modelar con precisión la geometría plantar, simular condiciones de carga y evaluar el comportamiento mecánico de distintos biomateriales. Para este estudio se consideraron tres materiales con potencial ortésico: EVA y TPU, seleccionados por sus propiedades de amortiguación, durabilidad y adaptabilidad anatómica.

Durante la fase de investigación se aplicaron técnicas como el análisis de Ashby para la selección de materiales, revisión de normativas ISO aplicables al diseño de dispositivos médicos, y simulaciones estructurales comparativas. Posteriormente, se propuso un prototipo optimizado para fabricación, destacando el TPU como el material más adecuado por su balance entre soporte y confort plantar.

La validación técnica se realizará en etapas posteriores mediante pruebas experimentales, con el fin de corroborar la eficiencia del diseño simulado.

Palabras clave: Plantilla Ortopédica, Simulación FEA, Biomateriales, Ergonomía, Salud ocupacional.

ABSTRACT

The following project aims to develop and simulation of a customized orthopedic insole for the teaching staff at the Polytechnic Salesiana University of Guayaquil, who, due to their long workdays, suffer from podiatric conditions such as fasciitis planting, flat feet, and muscle fatigue. The proposal recommends a technical solution based on structural simulation tools using finite element analysis (FEA) to optimize planting pressure distribution and improve customer ergonomics.

The three-dimensional design of the insole was performed using the software Autodesk Inventor, which allows a more precise geometry planting modeling, simulation of loading conditions, and evaluation of the mechanical behavior of different biomaterials. For this study, three types of materials with orthotic potential were considered: We selected EVA and TPU, for their cushioning, durability, and anatomical adaptability.

During the research phase, techniques such as Ashby analysis were applied for material selection, also we performed a review of ISO standards applicable to medical device design, and we ran comparative structural simulations. Subsequently, an optimized prototype was proposed for manufacturing, highlighting TPU as the most suitable material due to its balance between support and planting comfort.

Technical validation will be carried out in subsequent stages through experimental testing to corroborate the efficiency of the simulated design.

Keywords: Orthopedic Insole, FEA Simulation, Biomaterials, Ergonomics, Occupational Health.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Marco Teórico	5
V-A.	Biomecánica del pie humano	5
V-B.	Trastornos podológicos	5
V-B1.	Tipos de trastornos podológicos	5
V-B2.	Tratamientos actuales	5
V-C.	Las plantillas ortopédicas	6
V-C1.	Tipos de plantillas ortopédicas	6
V-C2.	Análisis comparativo de plantillas existentes	6
V-D.	Simulaciones	7
V-E.	Materiales usuales de plantillas	7
V-E1.	Beneficios de los materiales más usados	7
V-E2.	Análisis existentes de los materiales propuestos	7
V-E3.	Selección de materiales: EVA y TPU	8
V-F.	Estrategias de redistribución plantar guiadas por mapas de presión	8
V-G.	Selección de materiales mediante el método Ashby	8
V-H.	Software CAD/CAM/CAE en el diseño ortopédico	9
V-H1.	Tipos de software CAD utilizados en ortopedia	9
V-H2.	Autodesk Inventor como herramienta de simulación biomecánica	10
V-I.	Análisis baropodométrico con Footwork y Pedistar	11
V-J.	Método de Recolección de datos	12
V-K.	Normativas técnicas y biomédicas aplicables	12
V-K1.	ISO 10993: Evaluación biológica de dispositivos médicos	12
V-K2.	ISO 10328: Requisitos estructurales para componentes de prótesis	12
V-K3.	ISO 22675: Evaluación mecánica de prótesis plantares	12
V-K4.	ISO 13485: Gestión de calidad para dispositivos médicos	12
V-K5.	ISO 14971: Gestión de riesgos en dispositivos médicos	12
V-K6.	Normativas nacionales	13
VI.	Marco Metodológico	14
VI-A.	Introducción a la metodología	14
VI-B.	Enfoque general	14
VI-C.	Fases de la metodología	15
VI-D.	Primera fase de encuesta	15
VI-D1.	Primer cuestionario aplicado	15
VI-E.	Selección de materiales usando el método Ashby	18
VI-F.	Toma de la pisada en Pedistar y Análisis de Footwork	18
VI-G.	Diseño y simulación de la plantilla	19
VI-H.	Fabricación de la plantilla ortopédica	19
VI-I.	Procedimiento aplicado a la plantilla de goma EVA	19

VI-J.	Procedimiento aplicado a la plantilla de TPU	21
VI-K.	Evaluación y Validación del Proyecto	23
VI-L.	Análisis plantar con las plantillas	24
VI-M.	Análisis plantar con las plantillas de diseño con relleno	24
VI-M1.	Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 1	24
VI-M2.	Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 2	25
VI-M3.	Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 3	26
VI-N.	Análisis plantar con las plantillas de diseño con hendidura	26
VI-N1.	Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 1	26
VI-N2.	Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 2	27
VI-N3.	Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 3	28
VI-Ñ.	Aplicación de normativas técnicas y biomédicas en el desarrollo de la plantilla ortopédica	28
VI-O.	Segunda fase de encuesta	29
VII.	Resultados	31
VII-A.	Resultados de la encuesta aplicada a docentes.	31
VII-B.	Gráficos de la encuesta.	31
VII-B1.	Tipo de calzado más usado	31
VII-B2.	Dolor actual en los pies	32
VII-B3.	Zonas del pie más afectadas (múltiples respuestas)	32
VII-B4.	Horas de pie por día	33
VII-B5.	Uso de plantillas	33
VII-B6.	Efectividad reportada de las plantillas (entre usuarios, n=25)	34
VII-C.	Análisis de resultados de la encuesta	34
VII-D.	Resultados del método Ashby en la selección de materiales	34
VII-E.	Diagrama de Flujo de Datos de los Resultados.	35
VII-F.	Resultados del análisis plantar a los docentes	36
VII-F1.	Toma de la presión plantar del docente 1	36
VII-F2.	Toma de la presión plantar del docente 2	36
VII-F3.	Toma de la presión plantar del docente 3	37
VII-G.	Resultados del análisis de elementos finitos en Autodesk Inventor	37
VII-G1.	Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 1	37
VII-G2.	Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 2	38
VII-G3.	Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 3	39
VII-H.	Diseño de las plantillas de goma EVA y de TPU	40
VII-I.	Plantillas de goma EVA con relleno y hendidura para cada docente	40
VII-I1.	Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 1	41
VII-I2.	Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 2	42
VII-I3.	Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 3	43
VII-J.	Plantillas de TPU con relleno y hendidura para cada docente	43
VII-J1.	Diseño de las plantillas de TPU para el docente 1	44
VII-J2.	Diseño de las plantillas de TPU para el docente 2	45
VII-J3.	Diseño de las plantillas de TPU para el docente 3	46

VII-K.	Interpretación de los resultados de los estilos de diseño de las plantillas ortopédicas personalizadas.	46
VII-K1.	Plantillas con relleno.	46
VII-K2.	Plantillas con hendidura.	47
VII-K3.	Comparación general.	47
VII-L.	Interpretación de los materiales utilizados en las plantillas ortopédicas personalizadas	47
VII-L1.	Plantillas de goma EVA	47
VII-L2.	Plantillas de TPU	47
VII-L3.	Comparación general	47
VII-M.	Retroalimentación de las plantillas por parte de los Usuarios	48
VII-M1.	Retroalimentación final	53
VIII.	Cronograma	54
IX.	Presupuesto	55
X.	Conclusiones	56
XI.	Recomendaciones	57
	Referencias	58
XII.	Anexos	62

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Distribución de las fuerzas en el pie [11]	5
2.	Diagrama de selección de materiales Ashby, [43]	9
3.	Diseño de una plantilla en Autodesk Inventor, elaborado por autor	10
4.	Simulación en Autodesk Inventor de la distribución plantar en una plantilla, elaborado por autor	10
5.	Mapa de distribución plantar en pedistar de una pisada estándar [52].	11
6.	Diagrama de Flujo del proceso de desarrollo de la plantilla ortopédica	14
7.	Análisis de pisada en Footwork, Elaborado por Autor.	18
8.	Ensayo de presión plantar en Inventor, Elaborado por Autor.	19
9.	Impresión de la huella plantar con las medidas exactas, Elaborado por autor	20
10.	Recorte de la goma EVA capa por capa, Elaborado por autor	20
11.	Integración de la capa de corcho como base y arco, Elaborado por autor	21
12.	Lijado de los detalles de la plantilla, Elaborado por autor	21
13.	Toma de medidas para trazar el voceto de las plantillas de TPU, Elaborado por autor	22
14.	Toma de medidas para trazar el voceto de las plantillas de TPU, Elaborado por autor	22
15.	Impresión en 3D del prototipo, Elaborado por autor	23
16.	Impresión en 3D del prototipo, Elaborado por autor	23
17.	Toma de pisada en el pedistar, Elaborado por Autor	24
18.	Distribución plantar del docente 1 con plantillas EVA rellena, elaborado por Autor	24
19.	Distribución plantar del docente 1 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor	25
20.	Distribución plantar del docente 2 con plantillas de Goma EVA con relleno, elaborado por Autor	25
21.	Distribución plantar del docente 2 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor	25
22.	Distribución plantar del docente 3 con plantillas de Goma EVA con relleno, elaborado por Autor	26
23.	Distribución plantar del docente 3 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor	26
24.	Distribución plantar del docente 1 con plantillas de Goma EVA con hendiduras, elaborado por Autor	26
25.	Distribución plantar del docente 1 con plantillas de TPU con hendiduras, elaborado por Autor	27
26.	Distribución plantar del docente 2 con plantillas de Goma EVA con hendidura, elaborado por Autor	27
27.	Distribución plantar del docente 2 con plantillas de TPU con hendidura, elaborado por Autor	27
28.	Distribución plantar del docente 3 con plantillas de Goma EVA con hendidura, elaborado por Autor	28
29.	Distribución plantar del docente 3 con plantillas de TPU con hendidura, elaborado por Autor	28
30.	Diagrama de barras de la pregunta 1, elaborado por Autor.	31
31.	Gráfico pastel del tipo de calzado más usado, elaborado por Autor	31
32.	Diagrama pastel del dolor de pies, elaborado por Autor.	32
33.	Diagrama de barras de la zona con molestias, elaborado por Autor.	32
34.	Diagrama de barras en horas de pie, elaborado por Autor.	33
35.	Diagrama de barras de uso de plantillas, elaborado por Autor.	33
36.	Gráfico pastel de las efectividad de plantillas, elaborado por Autor.	34
37.	Diagrama de flujo de la obtención de los resultados.	35
38.	Presión plantar del docente 1 tomada por el pedistar, elaborado por Autor	36
39.	Presión plantar del docente 2 tomada por el pedistar, elaborado por Autor	36
40.	Presión plantar del docente 3 tomada por el pedistar, elaborado por Autor	37

41.	Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 1, elaborado por Autor	37
42.	Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 1, elaborado por Autor	38
43.	Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 2, elaborado por Autor	38
44.	Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 2, elaborado por Autor	39
45.	Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 3, elaborado por Autor	39
46.	Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 3, elaborado por Autor	40
47.	Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 1, elaborado por Autor .	41
48.	Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 1, elaborado por autor .	41
49.	Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 2, elaborado por Autor .	42
50.	Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 2, elaborado por autor .	42
51.	Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 3, elaborado por Autor .	43
52.	Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 3, elaborado por autor .	43
53.	Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 1, elaborado por autor	44
54.	Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 1, elaborado por autor	44
55.	Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 2, elaborado por autor	45
56.	Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 2, elaborado por autor	45
57.	Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 3, elaborado por autor	46
58.	Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 3, elaborado por autor	46
59.	Diagrama de barras de la pregunta 1, elaborado por Autor	48
60.	Diagrama de barras de la pregunta 2, elaborado por Autor	48
61.	Diagrama de barras de la pregunta 3, elaborado por Autor	49
62.	Diagrama de barras de la pregunta 4, elaborado por Autor	49
63.	Diagrama pastel de la pregunta 5, elaborado por Autor	50
64.	Diagrama pastel de la pregunta 6, elaborado por Autor	50
65.	Diagrama de barras de la pregunta 7, elaborado por Autor	50
66.	Diagrama pastel de la pregunta 8, elaborado por Autor	51
67.	Diagrama de barras de la pregunta 9, elaborado por Autor	51
68.	Diagrama pastel de la pregunta 10, elaborado por Autor	51
69.	Diagrama de barras de la pregunta 11, elaborado por Autor	52
70.	Diagrama pastel de la pregunta 12, elaborado por Autor	52
71.	Diagrama de barras de la pregunta 13, elaborado por Autor	52
72.	Asignación del material de goma EVA a la plantilla en inventor, elaborado por Autor . .	62
73.	Asignación del material de TPU a la plantilla en inventor, elaborado por Autor	62
74.	Recorte de capas en Láminas EVA para la fabricación de la plantilla de goma EVA, elaborado por Autor	62
75.	Elaboración capa por capa de las láminas de corcho para los arcos de la plantilla de goma EVA, Elaborado por Autor	63
76.	Vocetos de la plantilla de TPU hecha en Inventor, Elaborado por Autor	63
77.	Plantillas antes de pasar al proceso de lijado, Elaborado por Autor	63
78.	Regla de 30 CM usada para la medición en las fotos del diseño final, elaborado por Autor	63

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Comparativa entre tipos de plantillas ortopédicas	6
II.	Comparación de propiedades entre plantillas de EVA y TPU	7
III.	Cronograma de actividades para el anteproyecto	54
IV.	Presupuesto Actualizado	55

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las exigencias del entorno laboral han incrementado de forma notable los retos para la salud física de muchos profesionales. Entre ellos, los docentes constituyen un grupo particularmente vulnerable, ya que en gran parte de su jornada laboral, implica permanecer de pie durante periodos prolongados, interactuando con estudiantes, desplazándose entre aulas y manteniendo posturas que, con el tiempo, pueden derivar en molestias, desgastes y lesiones. Este escenario no solo impacta en su bienestar personal, sino también en su desempeño diario y en la calidad de su labor educativa.

La bipedestación de manera prolongada, sumada al uso de calzado de limitada ergonomía y a la falta de soportes adecuados, no solo incrementa la fatiga, sino que también genera una distribución desigual de las cargas plantares. Este desequilibrio fomenta una abundancia en uno de los puntos de presión, en el arco, el antepié o el talón, lo que a mediano plazo puede desencadenar molestias en las extremidades inferiores y la región lumbar. En este contexto, se es clave dar propuestas de soluciones que mejoren la distribución de las presiones plantares, favorezcan una pisada con más equilibrio y contribuyan a la prevención de lesiones plantares.

En este caso, el desarrollo de plantillas ortopédicas personalizadas emerge como una alternativa factible y efectiva. Al implementar los avances en biomecánica, selección de materiales y tecnologías de diseño asistido por computadora, es factible crear dispositivos adaptados a la anatomía y necesidades específicas de cada usuario. Estas plantillas no solo brindan soporte y amortiguación, sino que también contribuyen a mejorar la distribución de presión plantar y reducir el riesgo de lesiones a largo plazo.

Este proyecto se centra en el diseño, la simulación y la validación de un modelo de plantilla ortopédica personalizada, destinado a docentes que experimentan molestias derivadas de su labor. Para ello, se aplican metodologías como el análisis plantar mediante herramientas especializadas, el modelado 3D y la simulación estructural, igualmente, se contempla la aplicación de normativas técnicas y biomédicas vigentes para garantizar un resultado seguro y funcional.

Más allá de su aporte técnico, este proyecto tiene como objetivo crear un impacto positivo en la salud ocupacional de los docentes, mejorando su calidad de vida y potenciando su desempeño profesional. En esencia, se trata de un esfuerzo por combinar ciencia, ingeniería y empatía hacia aquellos que dedican su vida a la enseñanza.

II. PROBLEMA

A nivel mundial, se ha evidenciado que permanecer de pie durante largos periodos genera problemas musculoesqueléticos que afectan de manera directa la salud laboral. Estudios indican que más del 50 % de los trabajadores que permanecen de pie durante largos periodos experimentan dolor en los pies, siendo esta la segunda región más afectada después de la zona lumbar [1]. En profesiones como la enfermería, hasta un 76,3 % de los trabajadores reportan dolor en pies y tobillos, atribuido a largas jornadas en posición erguida y al uso de calzado inadecuado [2].

En la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, Campus Centenario, los docentes realizan actividades académicas que implican estar de pie o moverse por largos periodos durante extensas jornadas laborales. Estas cargas mecánicas sobre los pies pueden generar molestias como la fatiga muscular, dolor articular y desarrollo progresivo de patologías como fascitis plantar, pie plano o metatarsalgia, afecciones comunes en profesionales con actividad bipedestante prolongada [3].

En este escenario, muchos docentes utilizan calzado convencional o plantillas genéricas que no se adaptan a la anatomía ni al patrón de pisada. La falta de personalización en estos dispositivos limita la redistribución adecuada de presiones plantares, generando zonas de sobrecarga mecánica que pueden derivar en lesiones musculoesqueléticas crónicas [4], [5].

Asimismo, los materiales utilizados en plantillas estándar, como espumas genéricas o polímeros de baja densidad, suelen presentar una capacidad limitada para absorber impactos y redistribuir las cargas plantares de forma eficiente. Esta deficiencia en la amortiguación y en el soporte estructural adecuado genera zonas de alta presión en el pie, lo que puede acentuar el desarrollo de patologías musculoesqueléticas, especialmente en personas que permanecen de pie durante largos periodos[6].

Además, estos materiales convencionales tienden a degradarse con rapidez ante el uso constante, perdiendo sus propiedades mecánicas en poco tiempo. Esta rápida obsolescencia obliga a los usuarios a reemplazar las plantillas con frecuencia, lo que implica un aumento acumulativo en los costos sin una mejora significativa en el confort o la prevención de lesiones [7].

III. JUSTIFICACIÓN

Este estudio cobra relevancia por su enfoque en la mejora de la salud ocupacional de las personas con actividad bipedestante prolongada, un grupo que incluye a diversos profesionales expuestos a cargas mecánicas constantes durante largas jornadas laborales. Dentro de este contexto, se aborda el caso específico de los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes, debido a su labor académica, enfrentan riesgos biomecánicos como la fatiga muscular, molestias plantares y el desarrollo progresivo de afecciones como fascitis plantar o pie plano [3].

Con el objetivo de mitigar estas afecciones, se propone el diseño de plantillas ortopédicas personalizadas, utilizando herramientas de simulación computacional que permiten evaluar su desempeño estructural antes de la fabricación física. Esta estrategia facilita una aproximación práctica y precisa a las necesidades ergonómicas individuales de los docentes.

Para ello, se emplea un software CAD que incorpora el análisis por elementos finitos (FEA). A través de este entorno, es posible modelar digitalmente las plantillas, asignar propiedades mecánicas a distintos materiales y simular cargas representativas del peso corporal durante la actividad docente [8], [9]. Esto permite evaluar su resistencia, deformación y distribución de presión sin recurrir inicialmente a prototipos físicos, optimizando así tiempo y recursos.

El enfoque adoptado también permite seleccionar racionalmente biomateriales, considerando variables como absorción de impacto, durabilidad y comportamiento estructural bajo condiciones reales de uso [5]. Esta evaluación comparativa brinda una base objetiva para elegir el material óptimo, superando las limitaciones de las plantillas comerciales estándar.

Además, la metodología permite desarrollar diseños personalizados, ajustados a la morfología plantar de cada docente. Esta personalización mejora el confort, favorece la alineación postural y reduce la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas. La implementación de estas plantillas representa una aplicación concreta de la ingeniería biomédica a un problema real, impactando positivamente en la salud y el rendimiento laboral de los usuarios.

Desde la perspectiva académica, este proyecto contribuye al desarrollo de metodologías integradoras entre biomecánica, ciencia de materiales y simulación computacional.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar una plantilla ortopédica personalizada para personas con actividad bipedestante prolongada considerando la distribución de la presión plantar y comparando distintos materiales.

IV-B. Objetivos específicos

- Identificar los principales problemas musculoesqueléticos y podológicos, analizando la distribución de la presión plantar
- Diseñar la plantilla ortopédica personalizada utilizando un software CAD que cumpla con criterios ergonómicos.
- Desarrollar la plantilla ortopédica personalizada utilizando distintos materiales considerando sus propiedades mecánicas.
- Validar la funcionalidad de la plantilla ortopédica personalizada a través de un análisis comparativo de la distribución de presiones plantares antes y después de su implementación.

V. MARCO TEÓRICO

V-A. *Biomecánica del pie humano*

El pie humano es una estructura altamente desarrollada y biomecánicamente compleja, diseñada para mantener el cuerpo erguido, soportar su peso y generar el punto inicial de la cadena cinemática que permite la propulsión. Está formado por 26 huesos, 33 articulaciones y más de 100 grupos musculares, organizados de manera que permiten una combinación de funciones durante la marcha. En el inicio del movimiento, el pie actúa como una estructura flexible para amortiguar el impacto y adaptarse a la superficie; posteriormente, se convierte en una estructura rígida que facilita la propulsión [10].

Durante la marcha, el pie pasa por una secuencia de movimientos que incluyen la fase de contacto, el apoyo medio y la propulsión. En cada fase, diferentes estructuras del pie se activan para absorber fuerzas y proporcionar la estabilidad. Por ejemplo, el arco longitudinal medial actúa como un resorte que almacena y libera energía, mientras que los músculos intrínsecos del pie ayudan a mantener la forma del arco y proporcionan soporte dinámico. Alteraciones en la biomecánica del pie, como una pronación excesiva o una rigidez en el arco plantar, pueden incidir en una distribución plantar inadecuada de cargas y aumentar la probabilidad de padecer lesiones, entre ellas, la fascitis plantar o el síndrome de estrés tibial medial [10].

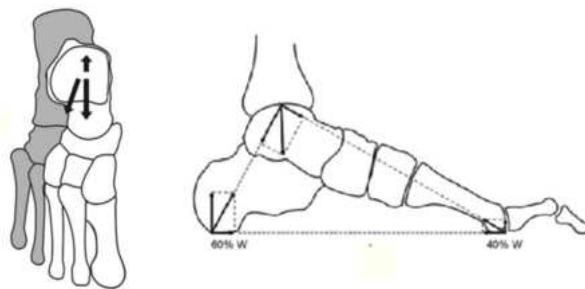


Figura 1: Distribución de las fuerzas en el pie [11]

V-B. *Trastornos podológicos*

Los trastornos podológicos se componen de un conjunto de afecciones que afectan la estructura, función y salud del pie, limitando la movilidad y calidad de vida de quienes los padecen [12]. Estos trastornos pueden surgir debido a múltiples factores como la sobrecarga mecánica por actividad prolongada en bipedestación, el uso inadecuado de calzado, alteraciones biomecánicas y predisposición genética [13]. En el contexto ocupacional, la exposición continua a posturas estáticas o dinámicas prolongadas incrementa el riesgo de desarrollar patologías como fascitis plantar, metatarsalgia y pie plano, afectando principalmente a profesionales con largas jornadas de pie [14].

V-B1. Tipos de trastornos podológicos: Entre los trastornos más comunes se encuentran la fascitis plantar, caracterizada por inflamación del tejido plantar que genera dolor intenso en el talón; el pie plano, donde la disminución del arco plantar provoca alteraciones en la pisada; la metatarsalgia, que involucra dolor en la zona anterior del pie debido a sobrecarga en los metatarsianos; y la neuropatía periférica, con alteración de la sensibilidad y función motora del pie [15], [16].

V-B2. Tratamientos actuales: A nivel mundial, los tratamientos para trastornos podológicos incluyen el uso de ortesis personalizadas, fisioterapia, terapia farmacológica y en casos severos, intervenciones quirúrgicas [17]. En países desarrollados, la integración de tecnologías como el análisis biomecánico computarizado y el diseño asistido por computadora ha mejorado la eficacia de los tratamientos [18]. En Ecuador, a pesar de que se encuentran intentos de fabricación de plantillas

ortopédicas, en la mayoría de los casos de tratamientos se tienen su enfoque en soluciones genéricas y atención fisioterapéutica tradicional, limitando en gran manera el impacto a largo plazo y la prevención de manera efectiva [19]. Esta diferencia recalca la necesidad de la implementación de soluciones personalizadas que consideren la realidad local para mejorar la salud ocupacional.

V-C. Las plantillas ortopédicas

Las plantillas ortopédicas son artefactos fisiológicos insertados en el calzado con el objetivo de hacer corrección y/o aliviar distintas alteraciones biomecánicas del pie. Estos dispositivos brindan soporte, ayudan a la amortiguación y mejoran la redistribución de cargas plantares, dando como resultados la mejora de la postura y reduciendo la fatiga muscular en personas que permanecen de pie durante períodos prolongados [20].

En el entorno de la salud ocupacional docente, la utilización de las plantillas ortopédicas adaptadas individualmente, adquieren relevancia, ya que ayudan a mitigar el impacto de la bipedestación prolongada sobre las extremidades inferiores. Esto no solo previene lesiones comunes como la fascitis plantar o el pie plano, sino que también mejora la calidad de vida laboral del docente [21].

V-C1. *Tipos de plantillas ortopédicas:* Las plantillas ortopédicas pueden clasificarse según la función en la que fue diseñada, el nivel de personalización y los materiales que componen la plantilla. A continuación, se presentan los tipos más comunes de plantillas ortopédicas:

- **Plantillas funcionales o acomodativas:** Hacen la corrección de desequilibrios biomecánicos como la pronación o la supinación excesiva. Son utilizadas frecuentemente en cuando hay señal de patologías ortopédicas estructurales.
- **Plantillas de descarga:** Son diseñadas para hacer la redistribución la presión plantar en pacientes con sensibilidad aumentada, por ejemplo, un caso de un paciente con pie diabético o metatarsalgia.
- **Plantillas posturales:** Hechas especialmente para hacer corrección en la alineación del cuerpo, corrigiendo la postura general desde la base plantar.
- **Plantillas personalizadas:** Son hechas a partir de estudios clínicos y un análisis biomecánico individual, brindan un alto nivel de eficacia en cuanto a confort y tratamiento [22].

V-C2. *Análisis comparativo de plantillas existentes:* A continuación, se muestra una comparación entre las plantillas ortopédicas comunes y las plantillas que son la propuesta de este proyecto en términos de personalización, durabilidad y tecnología aplicada:

Comparativa entre tipos de plantillas ortopédicas

Tabla I: Comparativa entre tipos de plantillas ortopédicas

Tipo de plantilla	Material común	Nivel de personalización	Ventajas / Desventajas
Genérica comercial	Espuma EVA, goma	Baja	Económicas pero no adaptadas; baja efectividad
Funcional prefabricada	Polímeros semirrígidos	Media	Mejora general de postura; no personalizada
Personalizada tradicional	Corcho, silicona, EVA	Alta	Confort óptimo, pero proceso manual costoso y largo
Propuesta del proyecto	EVA, TPU flexible.	Alta	Diseño CAD preciso, simulación FEA, mayor durabilidad y confort

Este proyecto presenta una solución que emplea herramientas digitales como el diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis por elementos finitos (FEA), lo cual permite optimizar el diseño antes

de fabricar, mejorando la distribución plantar, personalización y mayor tiempo de uso en comparación con alternativas tradicionales [23].

V-D. Simulaciones

La simulación es una técnica computacional que permite imitar el comportamiento de sistemas físicos bajo condiciones muy específicas, dando facilidades para hacer uno o varios análisis y tener una predicción sin la necesidad de realizar experimentos físicos directos [24]. En el ámbito de la biomecánica, la simulación se ha convertido en una herramienta muy útil para hacer evaluaciones en el desempeño de diversas estructuras y materiales, en este caso, en el diseño de dispositivos ortopédicos personalizados [25].

Existen diversos tipos de simulación, entre las más comunes están la simulación estática, dinámica, térmica y multifísica. La simulación estática hace evaluación de las respuestas de un sistema bajo cargas constantes o lentamente variables, siendo perfecta para el análisis de la presión plantar y analizar la deformación de plantillas bajo el peso corporal [26]. La simulación dinámica, en cambio, considera cargas variables en el tiempo, lo que resulta de gran utilidad para hacer estudios de actividades como la marcha o carrera [27].

Simulación estática de la pisada: La simulación estática de la pisada consiste en el análisis de la distribución de presiones y deformaciones en la superficie plantar cuando el cuerpo está en posición de pie e inmóvil, es decir, de pie sin movimiento [28]. Esta simulación da paso a identificar los diversos puntos de concentración de cargas que pueden interpretarse en molestias o lesiones crónicas. A través del modelado en el diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis por elementos finitos (FEA), es factible el diseño de plantillas ortopédicas personalizadas que optimicen la distribución de carga, mejorando el confort y reduciendo riesgos biomecánicos [29].

V-E. Materiales usuales de plantillas

V-E1. Beneficios de los materiales más usados: Existen diversos materiales que comúnmente se utilizan en las plantillas ortopédicas, pero en este caso puntual, hay casos que en la fabricación de plantillas ortopédicas incluyen los materiales de EVA y TPU. Cada uno aporta características que benefician la comodidad y salud podológica. Por ejemplo, el EVA destaca por su ligereza y flexibilidad, permitiendo un buen soporte y adaptabilidad anatómica [30]. El TPU, aunque menos frecuente, ofrece una excelente recuperación tras deformaciones, aumentando la durabilidad de la plantilla [31].

Tabla II: Comparación de propiedades entre plantillas de EVA y TPU

Propiedad	EVA (Etileno-Vinil-Acetato)	TPU (Poliuretano Termoplástico)
Costo	Bajo, altamente accesible	Medio-alto, mayor inversión inicial
Disponibilidad	Muy amplia en mercados locales y talleres ortopédicos	Limitada, requiere proveedores especializados
Procesamiento	Fácil de cortar, moldear y termoformar	Requiere equipos específicos (impresión 3D o moldeo)
Durabilidad	Media, pierde propiedades con el uso intensivo	Alta, conserva forma y propiedades en el tiempo
Resiliencia (retorno elástico)	Limitada, tiende a compactarse con la carga repetida	Elevada, mantiene memoria de forma y rebote elástico
Absorción de impacto	Buena al inicio, pero decrece con desgaste	Consistente, mantiene absorción aun con uso prolongado
Aplicaciones típicas	Plantillas de bajo costo, prototipos, uso cotidiano	Plantillas técnicas, deportivas o de uso prolongado

V-E2. Análisis existentes de los materiales propuestos: Diversos estudios hicieron una evaluación en el desempeño mecánico y funcional de los materiales mencionados mediante pruebas experimentales y simulaciones computacionales. Por ejemplo, Martínez et al. (2021) [32] llevaron a cabo una investigación e hicieron varios análisis de absorción de impactos y deformación bajo carga haciendo

uso de las simulaciones FEA en las plantillas de EVA y TPU, dando como resultado, diferentes cambios significativos en la distribución de las presiones plantares [32].

V-E3. Selección de materiales: EVA y TPU: El material con el que se fabrican las plantillas condiciona su comportamiento mecánico y, en consecuencia, la experiencia de uso. Entre las opciones más extendidas se encuentran la goma EVA (etileno–vinil–acetato) y el poliuretano termoplástico (TPU), dos alternativas con propiedades distintas pero complementarias para los fines de este trabajo. En términos prácticos, la goma EVA destaca por su bajo costo, facilidad de moldeo y amplia disponibilidad en el mercado local, lo que la hace idónea cuando se priorizan tiempos de fabricación cortos y accesibilidad económica. No obstante, su respuesta frente a compresión repetida tiende a degradarse con el uso, con una pérdida progresiva de capacidad amortiguadora y uniformidad en la respuesta mecánica [33].

El TPU, por su parte, se ha incorporado con mayor frecuencia en aplicaciones podológicas y de calzado técnico debido a su resiliencia, memoria de forma y resistencia al desgaste. Aun cuando su precio y procesamiento suelen ser más elevados, ofrece una estabilidad funcional superior bajo cargas cíclicas y mantiene mejor sus propiedades con el paso del tiempo [34], [35].

En esta investigación se consideran ambos materiales no para establecer una confrontación directa, sino para mostrar su diversidad y aplicabilidad: la EVA representa la opción de bajo costo y fácil acceso; el TPU, una alternativa avanzada en desempeño. Este contraste permite ilustrar cómo materiales con perfiles distintos pueden apoyar el objetivo común de mejorar la redistribución de cargas plantares y tener una personalización para cumplir con su objetivo [33], [35].

V-F. Estrategias de redistribución plantar guiadas por mapas de presión

La eficacia de una plantilla no depende únicamente del material, sino también del criterio de diseño a partir de la baropodometría. Los mapas de presión (Pedistar/Footwork) señalan, con claridad, las áreas de mayor y menor carga durante bipedestación y marcha, y sirven de guía para decidir dónde intervenir [36].

En este trabajo se abordan dos enfoques complementarios de redistribución:

1. **Elevar zonas de mayor presión:** añadir material en los *hotspots* (áreas en rojo) para “romper” picos locales y favorecer un patrón de apoyo más uniforme. Esta lógica es consistente con intervenciones clásicas como las cúpulas/metatarsal pads, que han demostrado reducir la presión en antepié cuando se posicionan de forma adecuada [37]-[39].
2. **Elevar zonas de menor presión:** incorporar soporte en áreas poco solicitadas para inducir transferencia de carga hacia esas regiones y, con ello, homogeneizar el reparto global. En la práctica clínica, soportes del arco o cuñas cuidadosamente ubicadas modifican el trayecto del centro de presiones y redistribuyen cargas entre retropié, mediopié y antepié [36], [40].

Ambas estrategias tienen el mismo objetivo de mejorar la distribución plantar y se utilizan aquí con carácter demostrativo sobre plantillas elaboradas en EVA y en TPU. La literatura respalda que cambios razonables en geometría y material del dispositivo pueden reducir presión pico y/o presión–tiempo de forma localizada, si bien el efecto final depende de la interacción entre diseño, material y morfología individual del usuario [33], [40], [41].

V-G. Selección de materiales mediante el método Ashby

El método Ashby es un método que se utiliza a la hora de hacer una selección sistemática de materiales basada en gráficos de propiedades, que brindan facilidades para hacer una comparación, para así hacer una elección óptima según criterios específicos, tales como la densidad, el módulo elástico, la resistencia a la fatiga y el costo [42]. Este método efectivo da lugar a la eficiencia en momentos de identificar los materiales que maximizan el confort y durabilidad, minimizando costos y riesgos de fallas para el proyecto. En el contexto de plantillas ortopédicas personalizadas, el método Ashby brinda ayuda al momento de hacer la selección de materiales candidatos para proyectos, como ya fue mencionado para este proyecto, el EVA y el TPU, considerando parámetros mecánicos y biomecánicos esenciales para la redistribución de cargas y absorción de impactos [43].

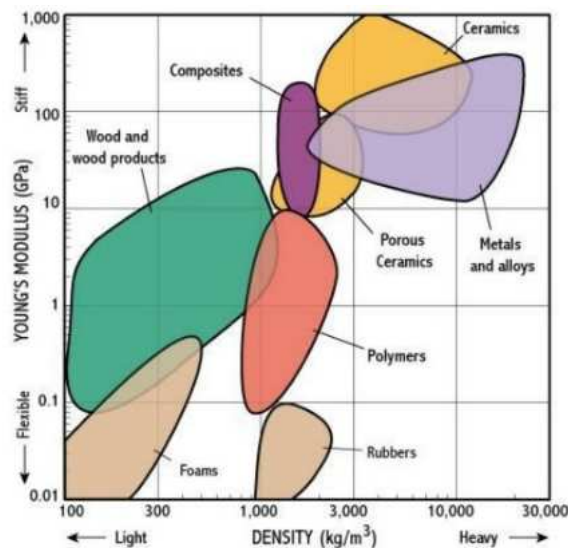


Figura 2: Diagrama de selección de materiales Ashby, [43]

V-H. Software CAD/CAM/CAE en el diseño ortopédico

El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés: Computer-Aided Design) es una herramienta óptima al momento de hacer procesos de creación de dispositivos médicos, dando paso a una mayor precisión, personalización y eficiencia. En estas circunstancias, para el diseño ortopédico de este proyecto, el uso de software CAD permite digitalizar la geometría del pie, generar modelos tridimensionales personalizados de plantillas ortopédicas, hacer simulaciones de los esfuerzos mecánicos con valores reales, y exportar archivos para proceder con la manufactura asistida por computadora (CAM) o análisis estructural (CAE) [44], [45].

Este tipo de herramientas brinda la posibilidad de hacer una evaluación integral del dispositivo ortésico antes de su fabricación física, reduciendo el margen de cometer errores y optimizando recursos. En especial, su integración con software de análisis por elementos finitos (FEA) resulta clave para validar el desempeño mecánico de los materiales y las geometrías, lo que aumenta la confiabilidad del diseño final [46], [47].

V-H1. *Tipos de software CAD utilizados en ortopedia:* Existen múltiples herramientas CAD aplicadas en la ingeniería biomédica, particularmente en el desarrollo de dispositivos ortopédicos. Entre las más utilizadas se encuentran:

- **SolidWorks:** Es un software tipo CAD, de diseño mecánico, que utilizando un entorno gráfico basado en Microsoft Windows permite de manera intuitiva y rápida la creación de Modelos sólidos en 3D, Ensamblajes y Dibujos.
- **Autodesk Fusion 360:** Plataforma de software de diseño 3D basada en la nube que integra CAD, CAM, CAE y diseño de circuitos impresos. Permite a los usuarios diseñar, fabricar y analizar productos en un solo entorno, desde el concepto inicial hasta la producción final.
- **Rhinoceros 3D:** Software de modelado 3D que se utiliza para crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir geometría NURBS con precisión.
- **Autodesk Inventor:** Software de diseño 3D para ingenieros y diseñadores. Ofrece herramientas para modelado mecánico, documentación y simulación de productos. Integra los conceptos del diseño paramétrico, el directo, de forma libre y basado en reglas, con herramientas integradas para maquinaria, chapa metálica, estructuras, entre otros conceptos.

Según estudios recientes, Autodesk Inventor y Fusion 360 son los más destacados debido a sus ventajas en el entorno educativo y profesional debido a que brinda facilidades de integración con herramientas CAM/CAE [48], [49].

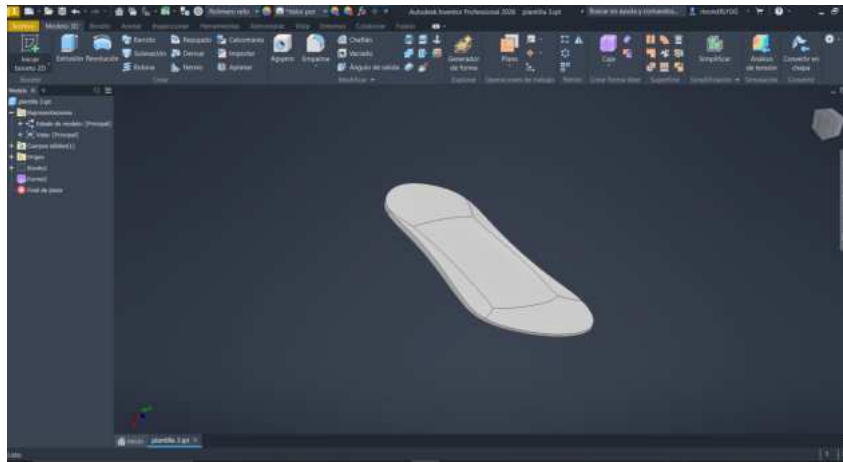


Figura 3: Diseño de una plantilla en Autodesk Inventor, elaborado por autor

V-H2. Autodesk Inventor como herramienta de simulación biomecánica: El software desarrollado por Autodesk, Autodesk Inventor, es un software que combina los conceptos: CAD/CAM/CAE, orientado al diseño mecánico, las simulaciones y la documentación técnica. Su enfoque referencial permite la creación de modelos sólidos de tres dimensiones con un gran margen de precisión y también de personalización, lo que lo hace en una herramienta ideal para el diseño de plantillas ortopédicas [50].

Entre sus funcionalidades más significativas, es el módulo de análisis estático por elementos finitos, lo que permite presentar un modelo digital a cargas mecánicas y simuladas para hacer evaluación de valores reales de tensiones, desplazamientos y puntos de concentración de esfuerzo. Este tipo de simulación es esencial para validar el diseño ortopédico en función de su comportamiento biomecánico [51].

Además, Autodesk Inventor se integra fácilmente con plataformas CAM para la fabricación mediante la impresión 3D o fresado CNC, posibilitando la implementación práctica del dispositivo diseñado. Por esta razón, se ha sido utilizado en múltiples tesis y estudios académicos relacionados con dispositivos ortopédicos personalizados.

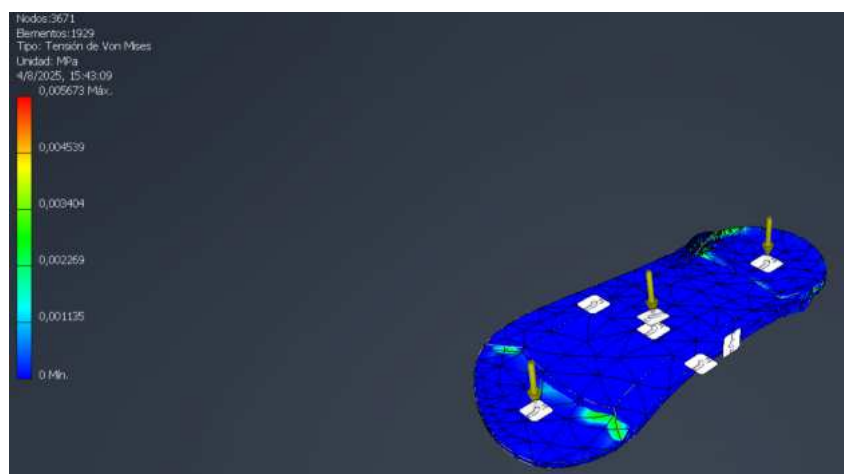


Figura 4: Simulación en Autodesk Inventor de la distribución platar en una plantilla, elaborado por autor

V-I. Análisis baropodométrico con Footwork y Pedistar

El análisis baropodométrico se constituye como una técnica fundamental al momento de hacer estudios de la presión plantar, pues brinda facilidades para saber cómo se distribuyen las presiones plantares tanto en la marcha como en posición estática. Gracias a esta herramienta es posible localizar áreas de sobrecarga, detectar alteraciones en la pisada y reconocer posibles desajustes posturales. Su aplicación adquiere especial relevancia en personas expuestas a largos periodos de bipedestación, como es el caso de los docentes, donde el impacto acumulado sobre los pies puede derivar en molestias recurrentes y patologías asociadas.

Para este proyecto se empleará el sistema Pedistar, un escáner de plataforma desarrollado por la empresa Allpi, lo que permite hacer captura de imágenes de presión plantar con gran precisión. El dispositivo está compuesto por una superficie sensorizada capaz de registrar la presión ejercida por distintas áreas del pie, generando un mapa de presiones que se utiliza para la evaluación clínica y técnica.

El análisis de las huellas plantares recogidas por el Pedistar se realiza a través del software Footwork, el cual permite obtener métricas detalladas como:

- El Área y forma de contacto plantar.
- Identificar zonas de mayor y menor presión.
- Localizar el centro de presión (CoP).

Esta información resulta de mucha importancia en el diseño de las plantillas ortopédicas personalizadas, ya que esto da lugar a adaptar la plantilla a la geometría. A través de esta tecnología, se hace más sencilla la validación funcional del diseño desarrollado, permitiendo una retroalimentación objetiva basada en datos fisiológicos y mecánicos tomados por esta herramienta.

Además, para tener una referencia visual para saber cómo se debe reflejar en el footwork una pisada correctamente distribuida, se puede ver a continuación en la siguiente imagen para tener una idea de como debe ser la pisada en el footwork:

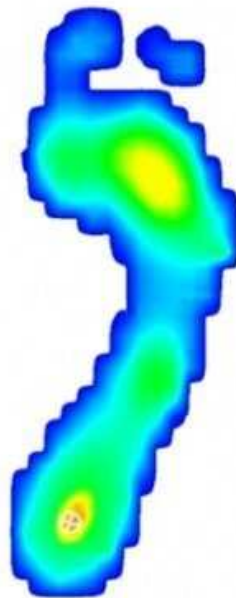


Figura 5: Mapa de distribución plantar en pedistar de una pisada estándar [52].

Como ejemplo clínico, la clínica Podoactiva ilustra cómo los programas Footwork o Pedistar segmentan la huella plantar y destacan zonas de carga, proporcionando información práctica para la fabricación de plantillas ortopédicas personalizadas

V-J. Método de Recolección de datos

En la investigación aplicada, las encuestas son una herramienta de gran importancia para comprender percepciones, hábitos y/o experiencias de una población o un grupo de personas de una población. Mediante un cuestionario correctamente diseñado, se hace la combinación de distintos tipos de preguntas para la obtención de datos cuantitativos como cualitativos. Las preguntas abiertas permiten que los encuestados expresen sus ideas con libertad y aporten matices que no se pudieron anticipar en el cuestionario, lo cual enriquece la comprensión del fenómeno estudiado [53]. Por su parte, las preguntas de carácter cerradas ofrecen opciones limitadas y estructuradas como una respuesta: "sí/no", o de elección múltiple, lo que brinda esa facilidad para el procesamiento y la tabulación de información de manera estandarizada [54]. Finalmente, las escalas tipo Likert permiten hacer la medición del grado de acuerdo o la percepción de los encuestados respecto a enunciados específicos, traduciéndolos en datos objetivables que pueden analizarse estadísticamente [55].

Estas tres variedades de preguntas se aprovechan mejor cuando se articulan de manera complementaria: las preguntas cerradas y de escala facilitan el análisis cuantitativo eficaz mediante frecuencias, medias o porcentajes, mientras que las preguntas abiertas brindan profundidad interpretativa a los resultados. Además, para presentar los datos con claridad, se recurre a herramientas gráficas como diagramas de barras o pastel para variables categóricas y escalas, así como diagramas de caja (boxplots) para explorar la distribución, la variabilidad y posibles datos atípicos. Este enfoque mixto entre lo numérico y lo narrativo permite lograr un análisis descriptivo robusto, especialmente pertinente en estudios exploratorios donde se prefiere obtener una visión amplia y flexible de la realidad investigada.

V-K. Normativas técnicas y biomédicas aplicables

El diseño, análisis y fabricación de dispositivos médicos como las plantillas ortopédicas debe cumplir con normativas que garanticen la seguridad, eficacia y biocompatibilidad del producto final. Estas normativas, tanto internacionales como nacionales, aseguran que el dispositivo sea adecuado para el uso prolongado en contacto con el cuerpo humano. Las siguientes normativas ISO que tienen relevancia con el proyecto se pueden leer a continuación:

V-K1. *ISO 10993: Evaluación biológica de dispositivos médicos*: Es una norma internacional que define los requisitos para la evaluación biológica de materiales en contacto con el cuerpo humano, haciendo evaluación de aspectos como citotoxicidad, sensibilización dérmica y reacciones sistémicas [56]. En el contexto de este proyecto, la aplicación de ISO 10993 asegura que los biomateriales seleccionados (EVA, y TPU) no generen efectos adversos en la piel tras un contacto prolongado.

V-K2. *ISO 10328: Requisitos estructurales para componentes de prótesis*: Establece los procedimientos de prueba para componentes estructurales sometidos a cargas funcionales, como ocurre en prótesis y dispositivos plantares [57]. Aunque fue concebida para prótesis de extremidades, sus criterios pueden extrapolarse al diseño de plantillas, ya que permite definir las condiciones mínimas de carga estática y dinámica que deben soportar.

V-K3. *ISO 22675: Evaluación mecánica de prótesis plantares*: Esta norma se enfoca en la durabilidad mecánica de dispositivos plantares a través de pruebas de fatiga y carga cíclica [58]. Su inclusión en este proyecto justifica el análisis de deformaciones repetitivas y puntos críticos de carga en el análisis por elementos finitos.

V-K4. *ISO 13485: Gestión de calidad para dispositivos médicos*: La norma ISO 13485 regula los sistemas de gestión de calidad durante el ciclo de vida de un producto médico, desde su diseño hasta su fabricación [59]. Su aplicación promueve una producción controlada, confiable y estandarizada, lo cual resulta especialmente importante si el prototipo llega a fases de comercialización.

V-K5. *ISO 14971: Gestión de riesgos en dispositivos médicos*: ISO 14971 proporciona un marco metodológico para la identificación y gestión de riesgos relacionados con los dispositivos médicos [60]. En este trabajo, su implementación permite prever fallos funcionales como mal ajuste, sobrecarga en zonas plantares y pérdida de propiedades estructurales del material.

V-K6. Normativas nacionales: En Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y el Ministerio de Salud Pública adoptan normativas internacionales, y también se guían por criterios nacionales relacionados con la fabricación, comercialización y uso de dispositivos médicos. Además, regulaciones del Ministerio del Trabajo aportan argumentos sólidos para justificar la necesidad de este proyecto desde una perspectiva de prevención en salud ocupacional docente [61].

VI. MARCO METODOLÓGICO

VI-A. Introducción a la metodología

La metodología que se utilizó en este proyecto tuvo un enfoque mixto, ya que se realizó una combinación de métodos, los cuales fueron cualitativos y cuantitativos. Esta integración buscó obtener una visión completa del problema asociado a la actividad bipedestante prolongada, permitiendo tanto la recolección de datos perceptivos de los usuarios como el análisis técnico y estructural para la hacer la validación del diseño de la plantilla ortopédica personalizada.

En la figura 5 se puede observar el desarrollo del paso a paso en el cual se realizó la plantilla ortopédica.

Diagrama de Flujo de Datos del Desarrollo de la Plantilla Ortopédica, Elaborado por autor

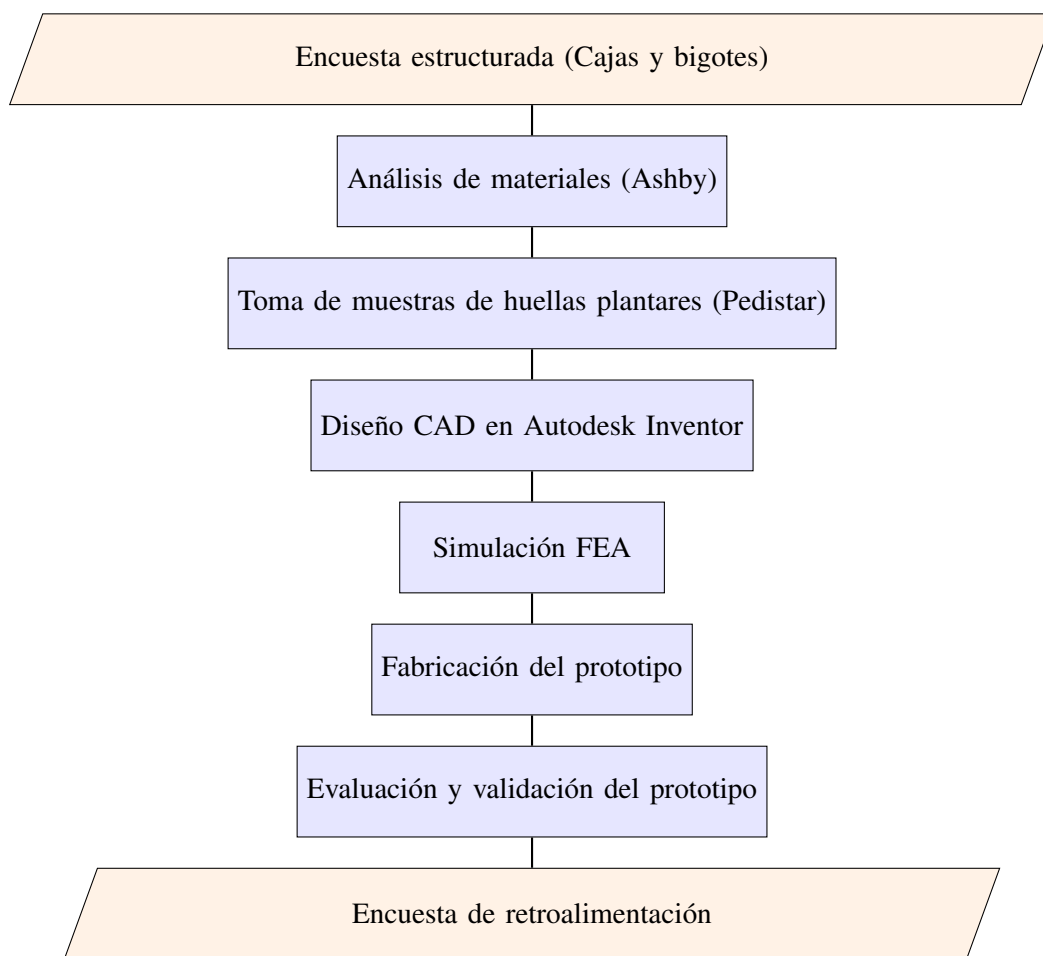


Figura 6: Diagrama de Flujo del proceso de desarrollo de la plantilla ortopédica

VI-B. Enfoque general

El desarrollo de la plantilla ortopédica personalizada se llevó a cabo mediante una metodología que integra múltiples etapas interrelacionadas. Inicialmente, se aplicó una encuesta estructurada y los resultados estadísticos fueron presentados en un esquema de cajas y bigotes, con el fin de identificar y clasificar de mejor manera los síntomas, molestias comunes y preferencias de confort.

Posteriormente, se analizaron diferentes materiales candidatos mediante el método de selección de Ashby, considerando propiedades mecánicas como: el módulo de elasticidad, densidad, resiliencia y costo. Estos materiales fueron incorporados en un modelo tridimensional diseñado en Autodesk Inventor.

Después de la fase de la encuesta, se seleccionó a 3 docentes que participaron en la encuesta, en la cual se les hizo la toma de sus huellas plantares mediante el uso del pedistar donde posteriormente en el programa de Footwork se hizo el análisis de distribución plantar y se les tomaron las medidas plantares necesarias para el posterior desarrollo del modelo 3D de la plantilla.

A continuación, se utilizó el análisis por elementos finitos (FEA) para simular la distribución de presiones plantares bajo condiciones de carga representativas. Finalmente, se fabricó un prototipo funcional que fue evaluado por el grupo piloto de usuarios, utilizando pruebas físicas de confort y durabilidad para validar la eficacia de la solución propuesta.

VI-C. Fases de la metodología

El desarrollo de este proyecto se estructuró en varias fases secuenciales. En primer lugar, se llevó a cabo la recolección de información mediante una encuesta dirigida a profesionales con actividad bipedestante, con el objetivo de identificar la prevalencia de molestias musculoesqueléticas asociadas a la bipedestación prolongada. Posteriormente, se seleccionaron tres docentes voluntarios para la toma de huellas plantares utilizando el sistema Pedistar y el software FootWork, permitiendo obtener parámetros biomecánicos precisos. Con esta información obtenida, se procedió al modelado de plantillas personalizadas en Autodesk Inventor, incorporando el análisis por elementos finitos (FEA) para optimizar el diseño. Finalmente, se fabricaron los prototipos y se realizaron pruebas funcionales con los participantes, evaluando la distribución plantar.

VI-D. Primera fase de encuesta

Esta primera etapa se fundamenta en una metodología cuantitativa y descriptiva, cuyo objetivo principal fue obtener datos objetivos y medibles sobre las molestias musculoesqueléticas y podológicas experimentadas por profesionales que desarrollan actividades de bipedestación prolongada. La elección de este enfoque responde a la necesidad de cuantificar la incidencia y severidad de las molestias, así como de establecer correlaciones entre variables laborales, biomecánicas y de uso de calzado.

Para la construcción del instrumento de recolección de datos, se aplicó un diseño de encuesta estructurada compuesta por:

- Preguntas cerradas: permitieron respuestas concretas y facilitaron la tabulación, útiles para variables categóricas como el tipo de calzado o la presencia de dolor.
- Preguntas de escala Likert (1 a 5): empleadas para medir el nivel percibido de fatiga, dolor y confort. Este formato facilita el análisis estadístico y la comparación entre grupos.
- Preguntas abiertas: incorporadas para permitir la expresión libre de experiencias, síntomas o percepciones no contempladas en las opciones predefinidas.

Una vez que la encuesta haya sido respondida por al menos 30 personas se hará un análisis descriptivo cuantitativo,

VI-D1. Primer cuestionario aplicado: A continuación, se detalla el primer cuestionario utilizado en la recolección de datos mediante encuesta, dirigido a docentes con actividad bipedestante prolongada:

1. **Ingrese su edad:**
Respuesta personalizada.
2. **Ingrese su altura (Indique en centímetros):**
Respuesta personalizada.

3. **Ingrese su peso (Indique en kilogramos):**
Respuesta personalizada.
4. **¿Qué tipo de calzado utiliza con mayor frecuencia durante su jornada laboral?**
- Zapatos deportivos (Tenis/Sneakers)
 - Zapatos formales/de vestir
 - Sandalias
 - Otro (respuesta personalizada)
5. **En una escala del 1 al 5, ¿cómo evaluaría la fatiga en sus pies al final de su jornada laboral?**
- 1 (Sin fatiga)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Fatiga extrema)
6. **¿Considera adecuado el confort de su calzado actual durante largas jornadas de trabajo?**
- Muy cómodo
 - Cómodo
 - Regular
 - Incómodo
 - Muy incómodo
7. **Especifique el número de horas que usted está de pie en un día laboral:**
Respuesta personalizada.
8. **Seleccione el rango de horas en el cual permanece de pie de manera consecutiva en su jornada laboral:**
- Menos de 1 hora
 - 1 a 2 horas
 - 2 a 4 horas
 - 4 a 6 horas
 - Más de 6 horas
9. **¿Ha tenido alguna afección en los pies antes?**
- Sí
 - No
10. **Si su respuesta fue "Sí", especifique:**
Respuesta personalizada.
11. **¿Ha visitado a un podólogo o especialista en los pies alguna vez para abordar sus molestias?**
- Sí
 - No
12. **Si su respuesta fue "Sí", especifique con qué frecuencia visita al podólogo:**
- Una vez al año
 - Cada seis meses
 - Cada mes
 - Solo cuando hay molestias
 - Otra (respuesta personalizada)
13. **¿Presenta actualmente dolor en los pies?**
- Sí
 - No

14. Si su respuesta fue "Sí", indique en una escala del 1 al 5 el dolor que experimenta en los pies:
- 1 (Dolor leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Dolor severo)
15. ¿Presenta actualmente dolor en los tobillos?
- Sí
 - No
16. Si su respuesta fue "Sí", indique en una escala del 1 al 5 el dolor que experimenta en los tobillos:
- 1 (Dolor leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Dolor severo)
17. ¿Presenta actualmente dolor en las rodillas?
- Sí
 - No
18. Si su respuesta fue "Sí", indique en una escala del 1 al 5 el dolor que experimenta en las rodillas:
- 1 (Dolor leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Dolor severo)
19. ¿En qué zona del pie experimenta mayor frecuencia de molestias o dolor? (Múltiple elección)
- Antepié
 - Arco plantar
 - Talón
 - Dedos
 - Empeine
 - No presenta dolor
20. ¿Ha utilizado previamente plantillas?
- Sí
 - No
21. Si su respuesta fue sí, ¿cuál fue el motivo principal de su uso?
Respuesta personalizada.
22. ¿Ha visto mejoras o disminución en su dolor debido al uso de las plantillas?
- Mejora considerable
 - Mejora moderada
 - Sin mejora
23. Especifique: ¿por cuánto tiempo ha usado plantillas?
Respuesta personalizada.

La información obtenida en esta fase no solo permite caracterizar al usuario objetivo del diseño, sino también establecer criterios personalizados que influirán directamente en la geometría, materialidad y funcionalidad del modelo de plantilla ortopédica generado.

VI-E. Selección de materiales usando el método Ashby

La elección del material para la fabricación de las plantillas se realizó considerando criterios tanto de desempeño mecánico como de accesibilidad, siguiendo el enfoque propuesto por Ashby para la selección de materiales en diseño. El objetivo fue identificar polímeros que permitieran absorber impactos, redistribuir presiones plantares y mantener el confort durante la bipedestación y la marcha. En este proceso se valoraron propiedades como densidad, resiliencia, durabilidad frente a cargas repetidas, facilidad de manufactura y costo.

Para la elaboración de las plantillas se consideró usar dos alternativas como material principal en cada par de plantillas: el etileno-vinil-acetato (EVA) y el poliuretano termoplástico (TPU). El EVA se consideró pertinente por su bajo costo, amplia disponibilidad en el mercado y facilidad para procesos de corte y termoformado, lo que lo convierte en una opción accesible para el desarrollo de prototipos. El TPU, en contraste, fue seleccionado por sus propiedades superiores de resiliencia, memoria de forma y resistencia al desgaste, cualidades que lo convierten en un material con mayor vida útil y mejor respuesta biomecánica frente a cargas repetidas, además de ser diseñado con mucho más detalle en softwares de modelado en 3D. Para estos materiales se les realizó una revisión en el diagrama de Ashby, un método muy efectivo a la hora de elegir materiales para cualquier proyecto, estos materiales pasarán por este filtro para confirmar que se pueden usar en el proyecto como material principal en las plantillas ortopédicas personalizadas.

VI-F. Toma de la pisada en Pedistar y Análisis de Footwork

Con el objetivo de validar clínicamente el diseño de las plantillas ortopédicas desarrolladas, se incorporó una fase experimental que incluyó la toma de huellas plantares mediante el sistema baropodométrico Pedistar, en conjunto con el software de análisis plantar Footwork.

La decisión de la utilización de esta herramienta podológica se fundamentó en su capacidad para generar mapas de presión plantar de alta resolución, permitiendo hacer un análisis a la distribución de cargas durante la bipedestación y la marcha de forma no invasiva y con gran precisión. Footwork ha demostrado ser una solución eficaz para estudios biomecánicos aplicados al ámbito clínico y deportivo. A partir de la población encuestada, se seleccionó a tres docentes voluntarios, quienes manifestaron molestias musculoesqueléticas relacionadas con su actividad prolongada en posición de pie. A estos docentes se les realizó la toma de huellas plantares en condiciones normales, sin el uso de plantillas correctivas, registrando parámetros como:

- Distribución de presión en el antepié, mediopié y retropié.
- Simetría de carga entre ambos pies.
- Áreas de sobrecarga plantar.
- Centro de presión (CoP) y trayectoria durante la marcha.

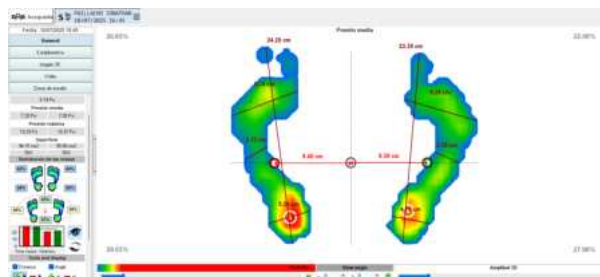


Figura 7: Análisis de pisada en Footwork, Elaborado por Autor.

VI-G. Diseño y simulación de la plantilla

Esta fase se centró en el desarrollo estructurado del diseño tridimensional de la plantilla ortopédica personalizada, tomando como base los datos obtenidos durante la toma de huellas plantares con el sistema Pedistar y su análisis en el software Footwork. A partir de estas imágenes y mapas de presión plantar, se identificaron las zonas de mayor carga, asimetrías y puntos de apoyo críticos en los docentes participantes.

El objetivo fue crear un modelo que respondiera a las necesidades biomecánicas detectadas en personas con actividad bipedestante prolongada, optimizando la distribución de cargas y mejorando el confort plantar. Para ello, se emplearon herramientas de modelado asistido por computadora (CAD) y análisis estructural mediante el análisis por elementos finitos (FEA), permitiendo predecir el comportamiento de la plantilla bajo condiciones de uso reales.

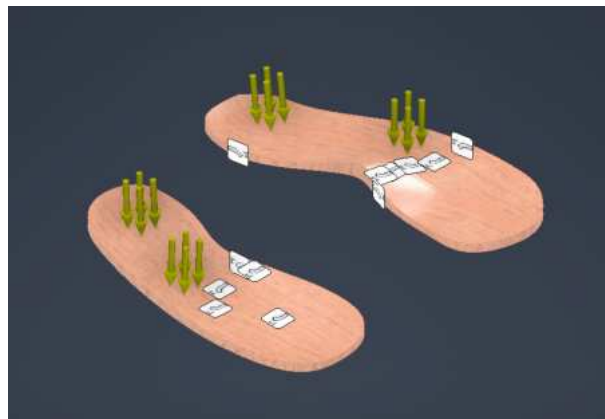


Figura 8: Ensayo de presión plantar en Inventor, Elaborado por Autor.

VI-H. Fabricación de la plantilla ortopédica

Tras la validación del diseño optimizado, se procedió a la fabricación física de las plantillas en tres variantes de material: TPU y Goma EVA, todas con la misma geometría pero con diferencias en propiedades mecánicas y sensoriales. Cada plantilla de goma EVA incluyó la capa base de lámina de corcho.

VI-I. Procedimiento aplicado a la plantilla de goma EVA

Para el procedimiento de la fabricación de las plantillas de goma EVA, se llevó a cabo el siguiente proceso detallado a continuación:

1. **Impresión de las huellas plantares con sus medidas exactas en papel :** Se imprimieron con las medidas exactas del pie de cada docente después de tomar las medidas de cada parte de la pisada para tener con exactitud las medidas que tendrán las plantillas ortopedicas personalizadas de goma EVA.



Figura 9: Impresión de la huella plantar con las medidas exactas, Elaborado por autor

2. **Recorte capa por capa de la goma EVA :** Cada capa fue hecha con cortes a la medida y a mano para posteriormente darle afinidad acorde a las medidas particulares y a las necesidades que requiera cada sujeto en relación a su plantilla.



Figura 10: Recorte de la goma EVA capa por capa, Elaborado por autor

3. **Integración de la capa de corcho:** En cada variante de las plantillas de goma EVA se incorporó la lámina de corcho como capa inferior y en la zona del arco plantar, asegurando su unión sin comprometer la absorción de impactos.



Figura 11: Integración de la capa de corcho como base y arco, Elaborado por autor

4. **Afinación:** Se realizó lijado en máquina y se realizó un ajuste perimetral para mejorar la adaptación al calzado de cada docente.



Figura 12: Lijado de los detalles de la plantilla, Elaborado por autor

VI-J. Procedimiento aplicado a la plantilla de TPU

Para el siguiente procedimiento de la fabricación de las plantillas de goma EVA, se llevó a cabo el siguiente proceso detallado a continuación:

1. **Preparación de archivos de producción:** Los modelos finales se exportaron desde Autodesk Inventor en formato STL y se adaptaron a las especificaciones de cada técnica de fabricación.

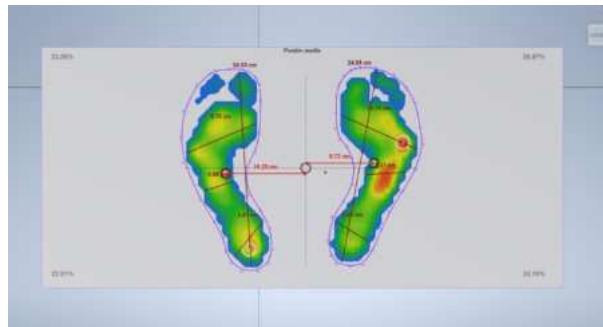


Figura 13: Toma de medidas para trazar el voceto de las plantillas de TPU, Elaborado por autor

2. **Bocetos de la plantilla de TPU :** Después de tener las medidas tomadas, se procedió a realizar los bocetos para darle más detalles a la plantilla.

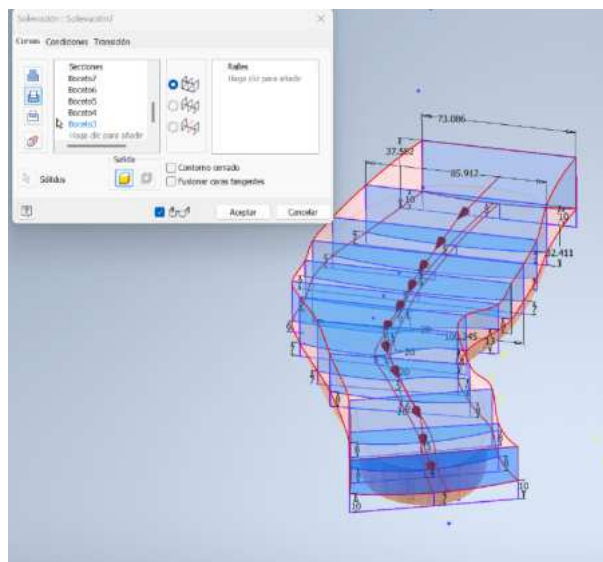


Figura 14: Toma de medidas para trazar el voceto de las plantillas de TPU, Elaborado por autor

3. **Fabricación de la plantilla de TPU :** Fabricación mediante impresión 3D FDM, optimizando la orientación y densidad de relleno para maximizar la resistencia a la fatiga.



Figura 15: Impresión en 3D del prototipo, Elaborado por autor

4. **Postprocesado:** Se realizó ligero lijado y ajuste perimetral para mejorar la adaptación al calzado de cada docente.



Figura 16: Impresión en 3D del prototipo, Elaborado por autor

VI-K. *Evaluación y Validación del Proyecto*

Una vez fabricadas las plantillas ortopédicas, se procedió a la fase de evaluación y validación, usando nuevamente el sistema Pedistar como herramienta principal de análisis. Este equipo permitió registrar de forma objetiva los mapas de presión plantar durante la bipedestación, generando información cuantitativa sobre el comportamiento del pie con cada una de las plantillas elaboradas.

En esta etapa, cada participante realizó mediciones sucesivas utilizando todas las variantes de plantillas ortopédicas, de goma EVA, de TPU, con relleno en zonas de mayor concentración de masa y hendiduras en zonas de mayor concentración de masa, lo que facilitó la comparación directa entre materiales y estrategias de diseño. Los parámetros de interés fueron la presión pico, el área de contacto plantar y la trayectoria del centro de presiones, indicadores fundamentales para valorar la eficacia de las plantillas en la redistribución de cargas.



Figura 17: Toma de pisada en el pedistar, Elaborado por Autor

VI-L. Análisis plantar con las plantillas

Para esta fase se analizaron cada par de plantillas ortopédicas personalizadas a cada docente para evaluar su distribución plantar en los diferentes diseños que se fabricaron y con los diferentes materiales.

VI-M. Análisis plantar con las plantillas de diseño con relleno

Para esta parte de la fase del análisis, se analizaron las pisadas con las plantillas de goma EVA y las de TPU con relleno en las zonas que estaban con mayor concentración de masa para cada docente para obtener el análisis correspondiente y analizar la distribución con este estilo de diseño.

El análisis plantar se muestran de las plantillas de diseño con relleno en las zonas con mayor concentración de masa se muestran a continuación:

VI-M1. Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 1:

- Plantilla de goma EVA: Estas plantillas dieron una buena distribución plantar, hay más presión en las zonas de los antepiés y arcos, la huella plantar se distorsiona muy ligeramente.

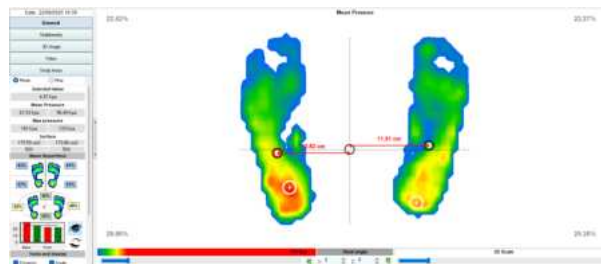


Figura 18: Distribución plantar del docente 1 con plantillas EVA rellena, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: Estas plantillas dieron una muy ligera mejora de distribución plantar y hay más presión en zonas como la de los antepiés, es la que menos distorsión tiene al momento de la toma las huellas plantares.

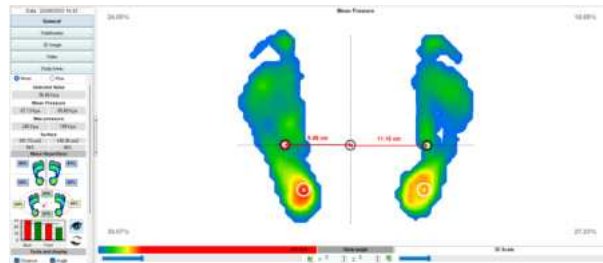


Figura 19: Distribución plantar del docente 1 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor

VI-M2. Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 2:

- Plantilla de goma EVA: Estas plantillas dieron también la mejor distribución en las zonas de presión, dando menos sobrecarga en los talones de lo que tenía originalmente, la imagen también se ha distorsionado ligeramente.

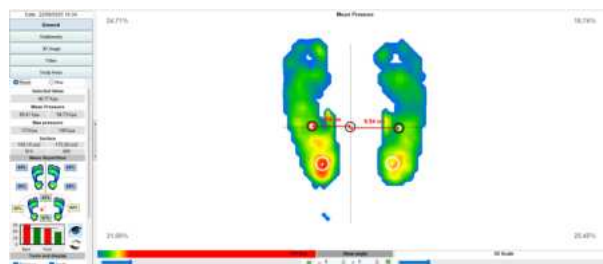


Figura 20: Distribución plantar del docente 2 con plantillas de Goma EVA con relleno, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: Estas plantillas también redistribuyen bien las cargas máximas y mínimas de la pisada, también la imagen no se distorsiona mucho al momento de tomar el análisis.

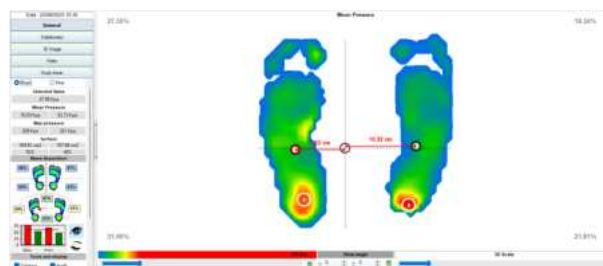


Figura 21: Distribución plantar del docente 2 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor

VI-M3. Plantillas de diseño con relleno en las zonas de sobrecarga para el docente 3:

- Plantilla de goma EVA: Estas plantillas dieron una ligera mejora en la distribución plantar disminuyendo un poco la presión en los puntos rojos, la imagen se distorsionó ligeramente.

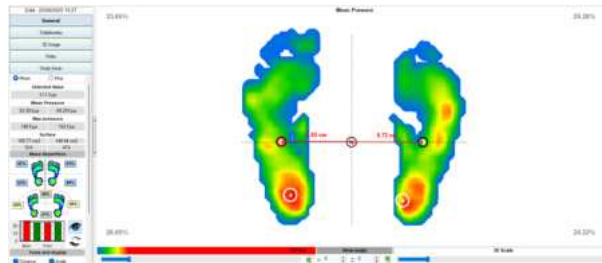


Figura 22: Distribución plantar del docente 3 con plantillas de Goma EVA con relleno, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: Estas plantillas dieron una mejor distribución de plantar en los pies, disminuyeron ligeramente los puntos de sobrecarga de masa y la imagen no se distorsionó.

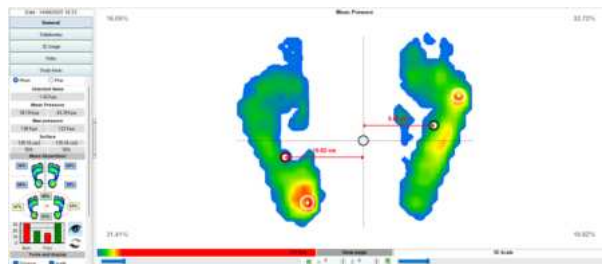


Figura 23: Distribución plantar del docente 3 con plantillas de TPU con relleno, elaborado por Autor

VI-N. Análisis plantar con las plantillas de diseño con hendidura

Para esta fase, se analizaron las pisadas con las plantillas de goma EVA y las de TPU con hendidura en las zonas que estaban con mayor concentración de masa para cada docente para obtener el análisis correspondiente y analizar la distribución con este estilo de diseño.

El análisis plantar se muestran de las plantillas de diseño con hendiduras en las zonas con mayor concentración de masa se muestran a continuación:

VI-N1. Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 1:

- Plantilla de goma EVA: Estas plantillas dieron una muy ligera mejora de distribución plantar, sin embargo no hay tanta presión en la zona del antepié, la imagen se distorsiona ligeramente.

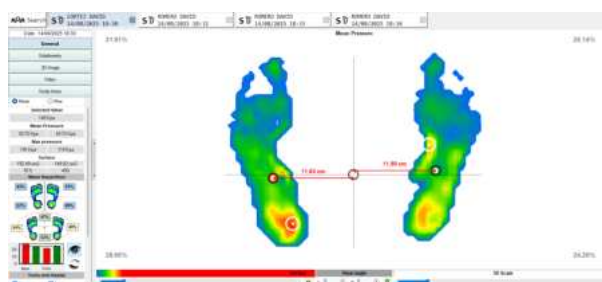


Figura 24: Distribución plantar del docente 1 con plantillas de Goma EVA con hendiduras, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: Estas son las plantillas que no dieron una buena distribución plantar de los 4 pares de plantillas que son para el docente 1, aumenta la zona de sobrecarga de masa y además se pierde presión en la zona del antepié, la imagen no se distorsiona del todo.

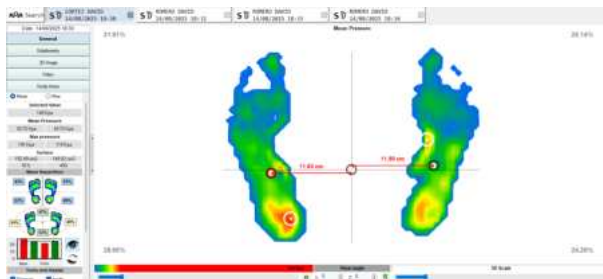


Figura 25: Distribución plantar del docente 1 con plantillas de TPU con hendiduras, elaborado por Autor

VI-N2. Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 2:

- Plantilla de goma EVA: En estas plantillas hay una distribución plantar con una imagen distorsionada, sin embargo según los datos analíticos del footwork, hay una mejor distribución en los pies, no obstante, no es la mejor distribución entre las 4 pisadas.

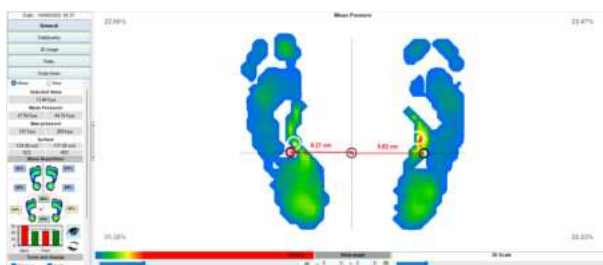


Figura 26: Distribución plantar del docente 2 con plantillas de Goma EVA con hendidura, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: En estas plantillas no hay una mejora significativa en la distribución plantar, la carga cae mucho más en los talones lo cual con un uso continuo no sería lo ideal para la pisada.

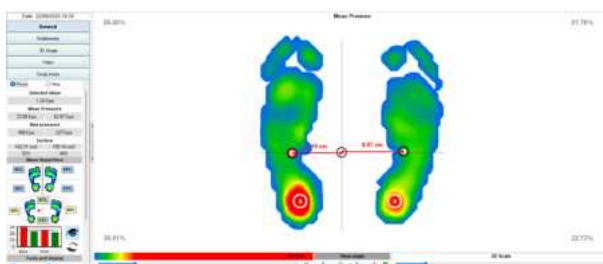


Figura 27: Distribución plantar del docente 2 con plantillas de TPU con hendidura, elaborado por Autor

VI-N3. Plantillas de diseño con hendidura en las zonas de sobrecarga para el docente 3:

- Plantilla de goma EVA: Estas plantillas dieron la mejor distribución plantar del docente, hay menos sobrecargas en los puntos de mayor presión y más equilibrio en las presiones máximas y mínimas en las pisadas, la imagen se distorsiona ligeramente.

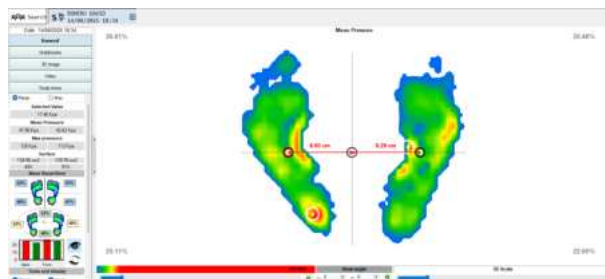


Figura 28: Distribución plantar del docente 3 con plantillas de Goma EVA con hendidura, elaborado por Autor

- Plantilla de TPU: En estas plantillas hay menos presión en la zona de los antepié, sin embargo pese a distribuir ligeramente mejor las cargas que en la toma de la pisada sin plantillas, los talones siguen llevando mayor presión en la pisada.

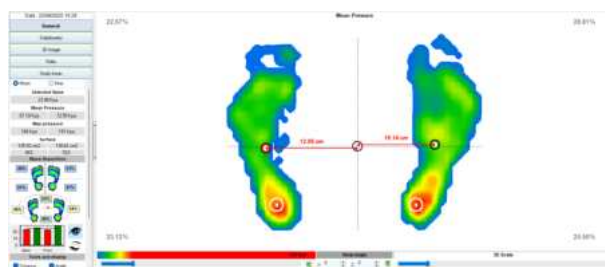


Figura 29: Distribución plantar del docente 3 con plantillas de TPU con hendidura, elaborado por Autor

VI-Ñ. Aplicación de normativas técnicas y biomédicas en el desarrollo de la plantilla ortopédica

Durante la implementación del proyecto, se integraron normativas técnicas y biomédicas con el fin de garantizar la seguridad, ergonomía, funcionalidad y confort de la plantilla ortopédica personalizada. La selección de estas normativas se realizó considerando su relevancia directa con el diseño, simulación, fabricación y validación del prototipo, asegurando que el producto final cumpliera con estándares internacionales de calidad y seguridad.

Normativas ISO aplicadas en el proyecto::

- **ISO 22675:2017 – Métodos de ensayo mecánico para calzado completo.** Esta norma fue utilizada como referencia para definir los parámetros de simulación mecánica en el modelo CAD de la plantilla. Los criterios de carga, ciclos repetitivos y condiciones de ensayo establecidos en esta normativa se aplicaron durante las simulaciones por elementos finitos (FEA), permitiendo reproducir condiciones reales de uso y evaluar el comportamiento estructural de la plantilla.
- **ISO 10993-1:2018 – Evaluación biológica de dispositivos médicos.** Esta norma se empleó para la selección de materiales biocompatibles, asegurando que el contacto prolongado con la piel no generara reacciones adversas. Los materiales elegidos, como la silicona técnica y el EVA, fueron seleccionados por cumplir con requisitos de no toxicidad, hipoalergenicidad y ausencia de compuestos irritantes.

- **ISO 22683:2021 – Sustancias críticas presentes en calzado.** Sirvió como guía para verificar que los materiales utilizados estuvieran libres de sustancias críticas o nocivas, como metales pesados o compuestos orgánicos volátiles, lo que contribuye a la seguridad y durabilidad de la plantilla en condiciones de uso prolongado.

VI-O. Segunda fase de encuesta

Después de haber fabricado las plantillas de goma EVA y las plantillas de TPU, se les hizo una encuesta de retroalimentación para obtener información objetiva acerca del confort y la reducción de molestia que sienten los usuarios seleccionados para este proyecto.

Para esta segunda encuesta se formularon preguntas de escala de likert y preguntas cerradas, a continuación el cuestionario de la encuesta que se formuló a los docentes después del análisis de su uso de plantillas

Instrucciones: Responda cada afirmación según su experiencia usando las plantillas. La escala es: 1 = Muy incómoda / Nada de acuerdo, 2 = Incómoda / En desacuerdo, 3 = Neutral, 4 = Cómoda / De acuerdo, 5 = Muy cómoda / Totalmente de acuerdo.

1. En una escala del 1 al 5 (1 = Muy incómoda, 5 = Muy cómoda), ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de goma EVA y corcho con partes sumidas?
 - 1 (Muy incómodas)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy cómodas)
2. En una escala del 1 al 5 (1 = Muy incómoda, 5 = Muy cómoda), ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de goma EVA y corcho con partes rellenas?
 - 1 (Muy incómodas)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy cómodas)
3. En una escala del 1 al 5 (1 = Muy incómoda, 5 = Muy cómoda), ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de TPU con partes sumidas?
 - 1 (Muy incómodas)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy cómodas)
4. En una escala del 1 al 5 (1 = Muy incómoda, 5 = Muy cómoda), ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de TPU con partes rellenas?
 - 1 (Muy incómodas)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy cómodas)
5. ¿Consideraría usar las plantillas de ahora en adelante en sus jornadas laborales? () Sí () No
6. ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de goma EVA y corcho con partes sumidas? () Sí () No

7. Si la respuesta fue Sí, en una escala del 1 al 5 (1 = Muy leves, 5 = Muy intensos), indique la intensidad de los puntos de presión.
- 1 (Muy Leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy Intenso)
8. ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de goma EVA y corcho con partes rellenas? () Sí () No
9. Si la respuesta fue Sí, en una escala del 1 al 5 (1 = Muy leves, 5 = Muy intensos), indique la intensidad de los puntos de presión.
- 1 (Muy Leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy Intenso)
10. ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de TPU con partes sumidas? () Sí () No
11. Si la respuesta fue Sí, en una escala del 1 al 5 (1 = Muy leves, 5 = Muy intensos), indique la intensidad de los puntos de presión.
- 1 (Muy Leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy Intenso)
12. ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de TPU con partes rellenas? () Sí () No
13. Si la respuesta fue Sí, en una escala del 1 al 5 (1 = Muy leves, 5 = Muy intensos), indique la intensidad de los puntos de presión.
- 1 (Muy Leve)
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5 (Muy Intenso)

VII. RESULTADOS

VII-A. Resultados de la encuesta aplicada a docentes.

Con el fin de identificar las molestias musculoesqueléticas en docentes que realizan actividad bipedestante prolongada, se aplicó una encuesta a un total de 41 personas. Los resultados obtenidos permitieron establecer patrones comunes en el uso de calzado, niveles de fatiga y presencia de dolor en distintas zonas del cuerpo.

Tamaño muestral: $N = 41$.

Los gráficos de continuación resumen: tipo de calzado, dolor en pies, zonas afectadas, horas de pie, uso de plantillas y su efectividad.

VII-B. Gráficos de la encuesta.

Después de la encuesta tomada a las 41 personas, se graficaron los siguientes diagramas para sacar los siguientes análisis.

VII-B1. Tipo de calzado más usado: En la siguiente imagen se observa que de las 41 personas que hicieron la encuesta, 24 de ellas respondieron que usan el calzado deportivo, 9 personas usan calzado formal, 2 de ellas usan calzado de seguridad, 1 persona usa zapatos ortopédicos mientras que 5 personas pusieron otros, lo que indica que son zapatos no tan comunes entre los ya mencionados, estos resultados indican que el 59 % usan calzados deportivos en sus actividades bipedestantes, lo que vuelve el calzado más común de los encuestados.

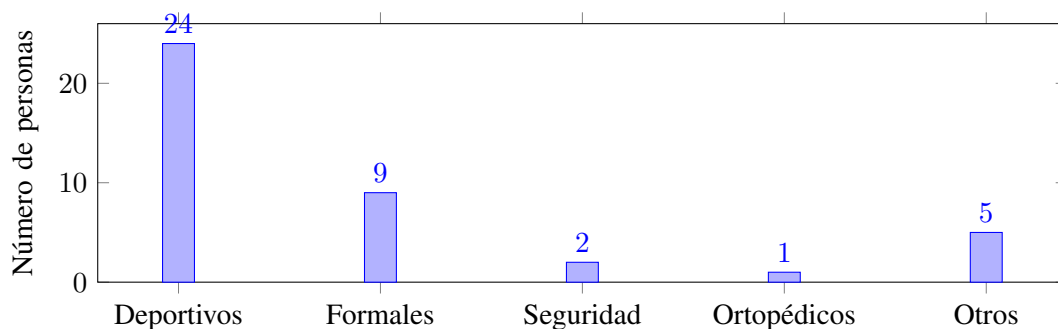


Figura 30: Diagrama de barras de la pregunta 1, elaborado por Autor.

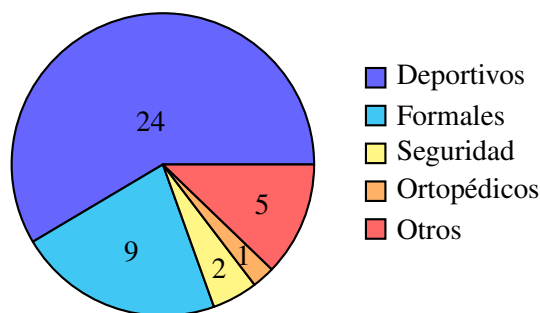


Figura 31: Gráfico pastel del tipo de calzado más usado, elaborado por Autor

VII-B2. *Dolor actual en los pies:* De todos los encuestados, 23 personas indican que sí sienten un dolor actual en los pies, mientras que 18 personas indicaron que no, lo que representa que el 56 % de los encuestados sí sienten dolor en los pies

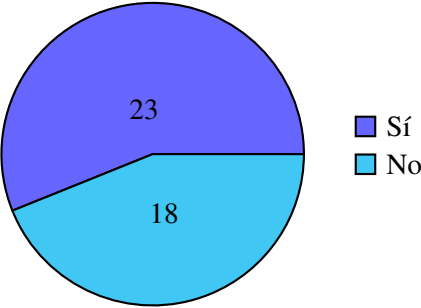


Figura 32: Diagrama pastel del dolor de pies, elaborado por Autor.

VII-B3. *Zonas del pie más afectadas (múltiples respuestas):* 14 personas sienten dolor en el talón, mientras que 11 sienten dolor en el arco plantar, mientras que 9 personas sienten dolor en los pies, lo que indica que de todos los encuestados, las zonas donde más se presenta dolor son en las zonas del talón y del arco plantar

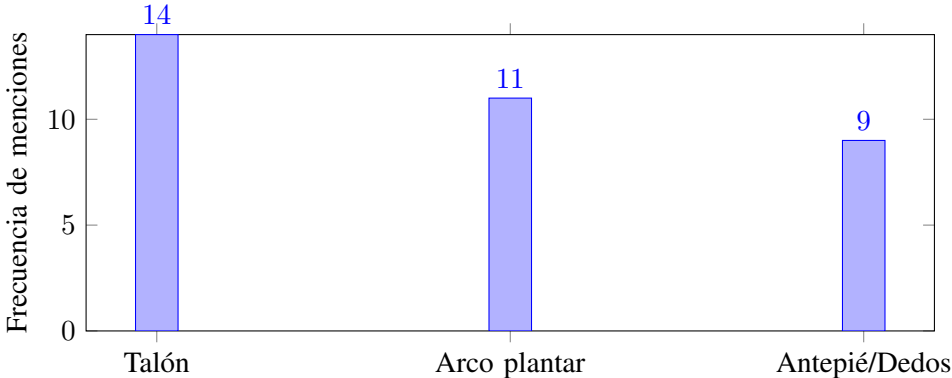


Figura 33: Diagrama de barras de la zona con molestias, elaborado por Autor.

VII-B4. *Horas de pie por día:* De los 38 encuestados, 9 personas respondieron que pasan entre 1 a 2 horas de pies, 15 personas respondieron que pasan un total de 2 a 4 horas de pie, 8 personas respondieron que pasan de 4 a 6 horas de pie y 9 personas respondieron que pasan más de 6 horas de pie, lo que indica que casi el 42% de las personas encuestadas pasan más de 4 horas de pie.

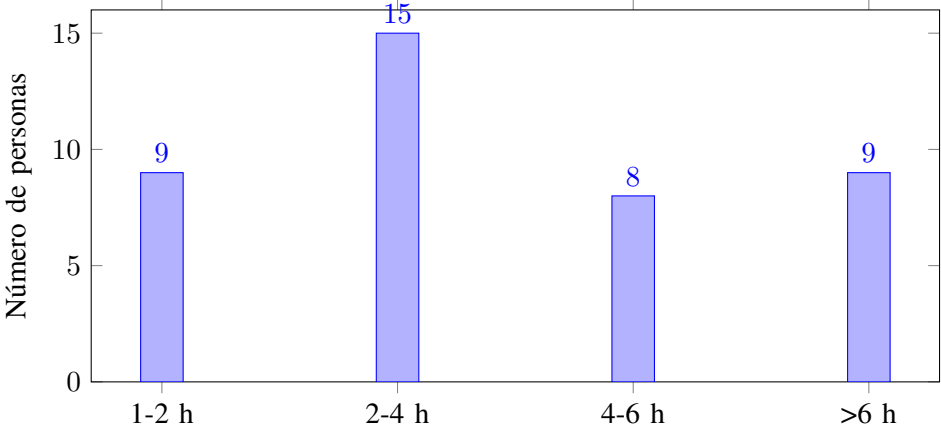


Figura 34: Diagrama de barras en horas de pie, elaborado por Autor.

VII-B5. *Uso de plantillas:* En el siguiente diagrama de barras se observa que 18 personas indican que han usado plantillas comerciales, 16 que nunca han usado unas y apenas 7 personas indican que sí han usado plantillas ortopédicas, lo que muestra que las plantillas comerciales son las más usadas y que pocas las personas que han usado plantillas ortopédicas

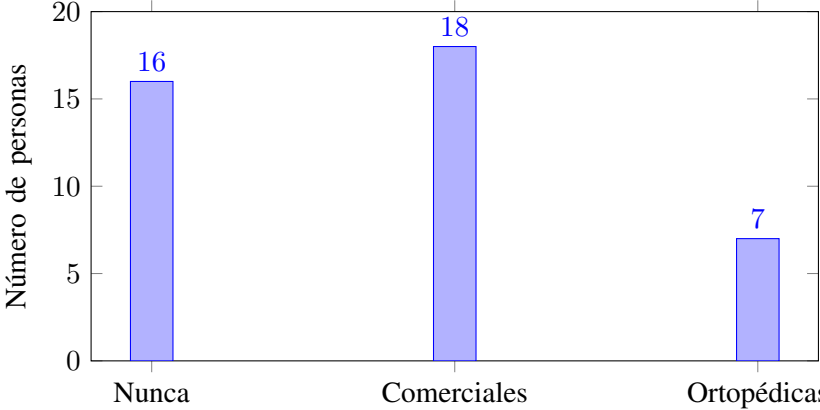


Figura 35: Diagrama de barras de uso de plantillas, elaborado por Autor.

VII-B6. *Efectividad reportada de las plantillas (entre usuarios, n=25)*: De los 25 encuestados que sí han usado plantillas ortopédicas, solo 12 han puesto que sí hubo una mejora moderada, mientras que 9 personas respondieron que no hubo ninguna mejora y apenas 4 personas indicaron que hubo una mejora significativa

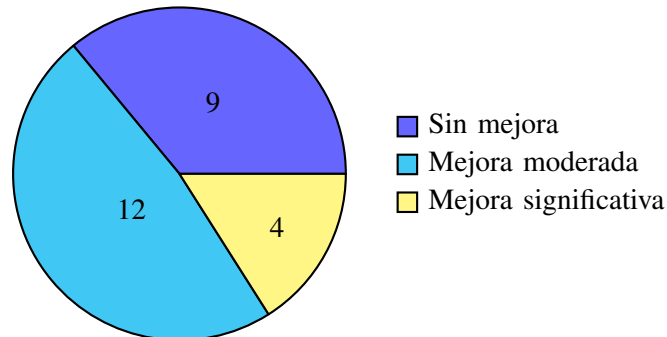


Figura 36: Gráfico pastel de la efectividad de plantillas, elaborado por Autor.

VII-C. *Análisis de resultados de la encuesta*

Los resultados evidencian que la bipedestación prolongada constituye un factor de riesgo significativo para molestias musculoesqueléticas, especialmente en pies y rodillas. Se observa una relación directa entre la duración de la bipedestación y los niveles de fatiga y dolor quienes permanecen de pie más de 4 a 6 horas diarias reportan mayores molestias.

El levantamiento de información mediante la encuesta permitió caracterizar de manera detallada la situación de los docentes que realizan actividades de bipedestación prolongada. A nivel cuantitativo, se observó que la mayoría de los participantes permanecen de pie entre 2 y 6 horas continuas durante su jornada laboral, lo que refleja una carga mecánica considerable sobre las extremidades inferiores. Asimismo, la escala de fatiga reportada se situó principalmente en niveles medios y altos, lo que confirma la presencia de molestias recurrentes en este grupo de profesionales. En cuanto al confort del calzado, se evidenció que muchos docentes califican su calzado como “regular” o “incómodo”, lo que representa un factor de riesgo adicional para la aparición de dolor plantar, fatiga y problemas articulares.

De forma cualitativa, varios participantes manifestaron haber experimentado previamente afecciones en los pies, tales como fascitis plantar, espolones y deformidades en el antepié. También se identificaron zonas específicas donde el dolor es más frecuente, destacando principalmente el talón, el arco plantar y los dedos. Estos resultados permiten inferir que las molestias no son generalizadas en todo el pie, sino localizadas en regiones sometidas a mayor presión durante la postura erguida prolongada. Además, se registró que, pese a que algunos docentes han recurrido al uso de plantillas comerciales u ortopédicas, la mejora percibida varía entre moderada y nula, lo que evidencia la necesidad de dispositivos personalizados que se adapten mejor a la morfología y a las exigencias biomecánicas de cada usuario.

VII-D. *Resultados del método Ashby en la selección de materiales*

Tras la revisión de la tabla comparativa del método Ashby y la ubicación de los materiales en el diagrama densidad–módulo elástico, se estableció la pertinencia de emplear tres materiales en el desarrollo de las plantillas ortopédicas personalizadas. La decisión se fundamentó en la posición relativa de cada material en el gráfico de propiedades y en su índice de desempeño:

- **EVA (Etileno–Vinil–Acetato):** Se ubica en la región de polímeros de baja densidad y bajo módulo elástico. Esto lo hace un material ligero y económico, con buena absorción inicial de impactos. Sin embargo, el método Ashby indica que su resiliencia es limitada frente a cargas cíclicas, lo cual reduce su vida útil en aplicaciones de uso prolongado.
- **Corcho:** Clasificado dentro del grupo de materiales naturales, presenta una baja densidad y un módulo intermedio. Su posición en el diagrama refleja buenas propiedades de amortiguación y comportamiento elástico bajo cargas moderadas. Por estas razones se lo integró como capa de soporte en las plantillas de EVA, reforzando la estabilidad del arco plantar.
- **TPU (Poliuretano Termoplástico):** Se encuentra en un rango de mayor densidad y módulo elástico en comparación con el EVA. El método Ashby lo identifica como un material de alta resiliencia y resistencia a la fatiga, capaz de mantener su forma y desempeño durante ciclos repetidos de carga. Aunque su costo y procesamiento son superiores, se consolida como la opción de mejor desempeño para plantillas ortopédicas de uso prolongado.

VII-E. Diagrama de Flujo de Datos de los Resultados.

Con el fin de representar de manera clara y estructurada la secuencia de actividades realizadas y la forma en que los datos recolectados fueron procesados hasta convertirse en resultados, se elaboró un Diagrama de Flujo de Datos (DFD).

En la siguiente figura se puede observar el diagrama de flujo como se llegó al resultado final del proyecto.

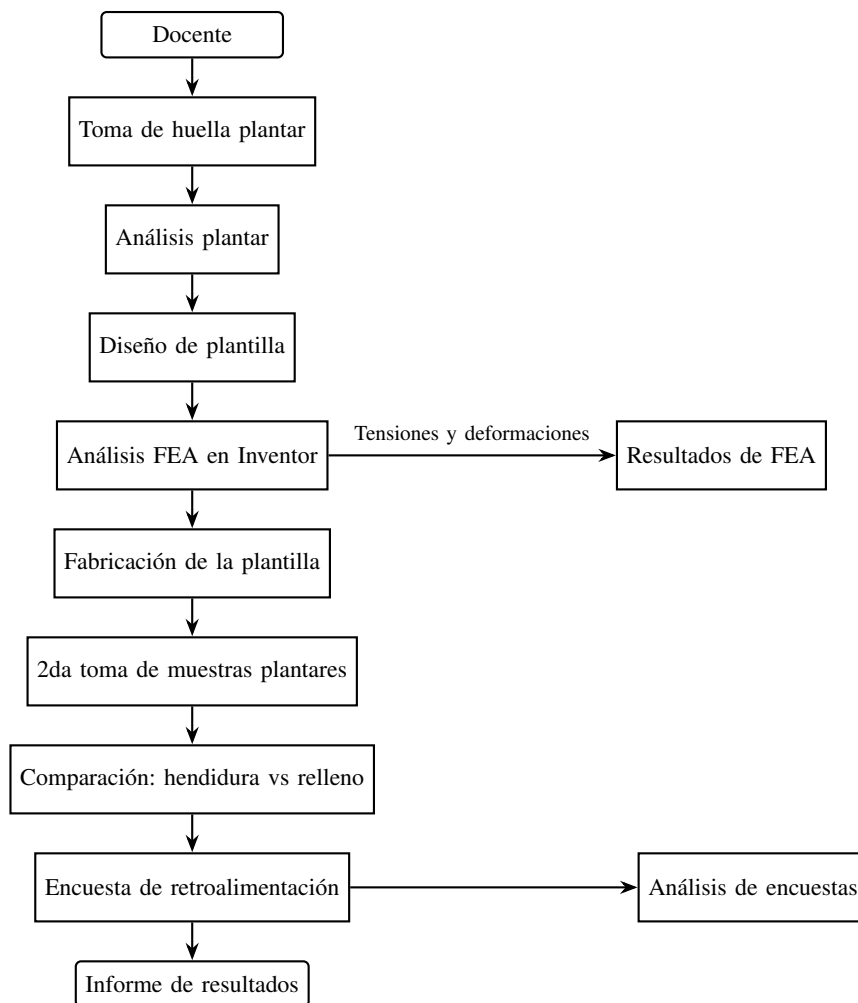


Figura 37: Diagrama de flujo de la obtención de los resultados.

VII-F. Resultados del análisis plantar a los docentes

Después de que se seleccionaron a 3 docentes voluntarios para este proyecto, se hizo una toma de presión plantar a cada docente en el Pedistar para posteriormente hacer los análisis en el programa de Footwork. A continuación estos son las 3 huellas plantares que se obtuvieron en la toma:

VII-F1. Toma de la presión plantar del docente 1:

- En el primer docente se observa que hay mayor concentración de masa en la zona de los talones, mayormente en la zona del talón izquierdo, a continuación la imagen del análisis:

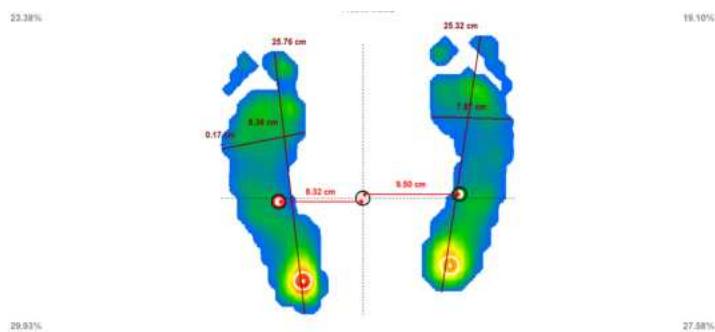


Figura 38: Presión plantar del docente 1 tomada por el pedistar, elaborado por Autor

VII-F2. Toma de la presión plantar del docente 2:

- En el segundo docente se ve que su pisada corresponde a la de un pie plano y también se observa que la mayor concentración de masa está en la zona de el talón izquierdo y derecho, a continuación la imagen del análisis:

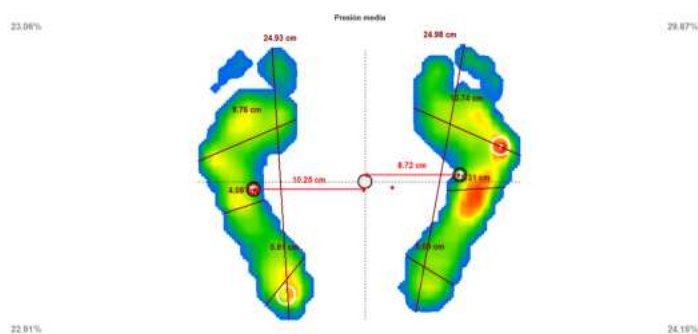


Figura 39: Presión plantar del docente 2 tomada por el pedistar, elaborado por Autor

VII-F3. Toma de la presión plantar del docente 3:

- En el tercer docente se puede observar que tiene una pisada supinada y además su mayor concentración de masa está en la zona metatarsiana interna en el pie derecho, a continuación la imagen del análisis:

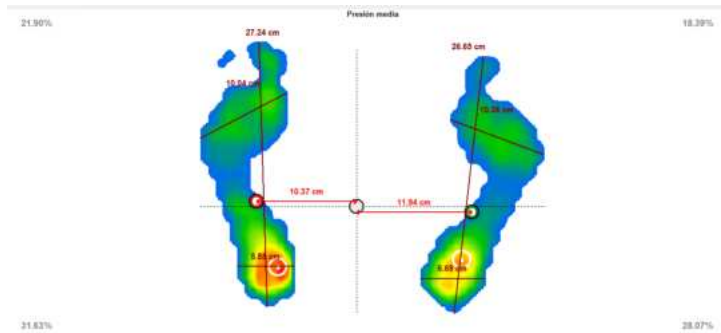


Figura 40: Presión plantar del docente 3 tomada por el pedistar, elaborado por Autor

VII-G. Resultados del análisis de elementos finitos en Autodesk Inventor

Se ejecutaron simulaciones de análisis por elementos finitos (FEA) sobre los diseños de plantilla, considerando condiciones de carga equivalentes al peso corporal y contactos con la superficie de apoyo para los dos tipos de materiales con las que se hicieron las plantillas (Goma EVA y TPU).

Los resultados de cada plantilla que fue diseñada para cada docente lo verán a continuación:

VII-G1. Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 1:

- El análisis de las plantillas elaboradas en EVA para el docente 1 arrojó tensiones máximas del orden de 0,038 MPa, con concentración de esfuerzos en la zona del retropié y mediopié. Estos resultados sugieren que el material logra amortiguar los impactos iniciales, pero tiende a acumular esfuerzos en puntos localizados, particularmente en el talón. Tal comportamiento evidencia un posible deterioro prematuro en la capacidad de absorción de impactos del EVA, lo que puede afectar el confort y la durabilidad del dispositivo durante la bipedestación prolongada.

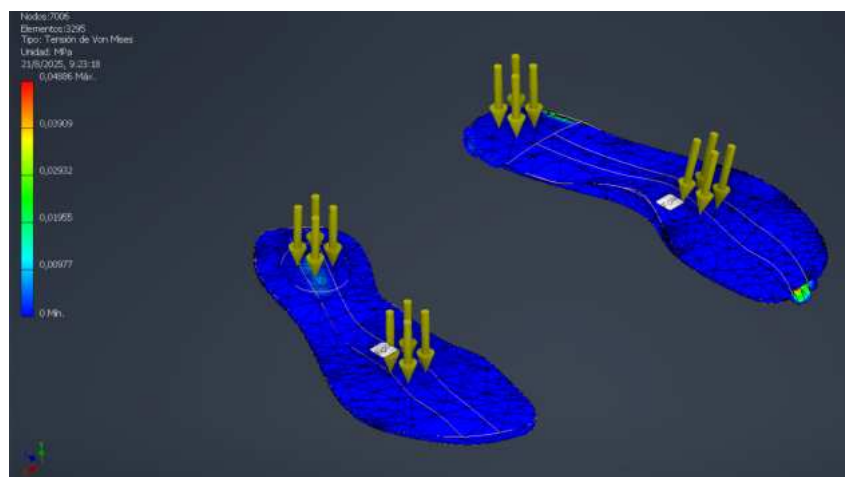


Figura 41: Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 1, elaborado por Autor

- En las plantillas de TPU, las tensiones alcanzaron valores próximos a 0,039 MPa, con una distribución más equilibrada a lo largo del mediopié. A diferencia del EVA, el TPU demostró mayor estabilidad mecánica al evitar concentraciones críticas de esfuerzos. Estos hallazgos ponen de manifiesto que el TPU constituye una alternativa más fiable para este usuario, al ofrecer un comportamiento estructural consistente y un mejor desempeño frente a cargas repetitivas.

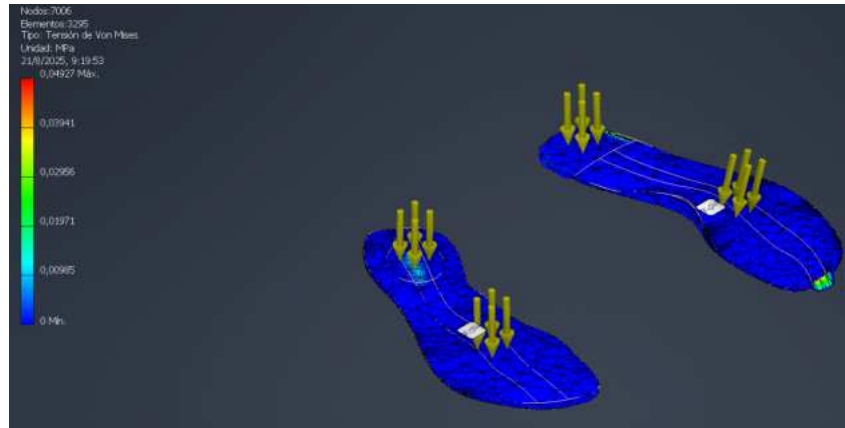


Figura 42: Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 1, elaborado por Autor

VII-G2. Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 2:

- En el análisis de la plantilla de EVA, se registró tensiones máximas en torno a 0,024 MPa, inferiores a las de los demás casos estudiados. La distribución de esfuerzos fue relativamente uniforme, aunque se observó una ligera concentración en la zona del arco medial. Si bien el EVA logra adaptarse de forma adecuada al patrón de carga, sus limitaciones intrínsecas en términos de resiliencia pueden derivar en un deterioro progresivo y en la pérdida de sus características elásticas tras un uso continuo.

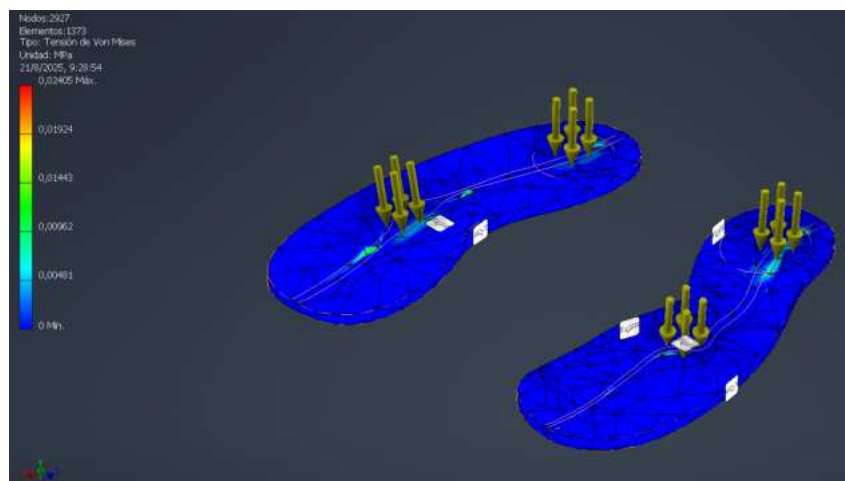


Figura 43: Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 2, elaborado por Autor

- En la simulación con las plantillas de TPU, las tensiones alcanzaron un máximo de 0,025 MPa, manteniendo una distribución homogénea entre el arco y el antepié. El material evidenció un mejor comportamiento ante cargas dinámicas, conservando su capacidad de retorno elástico y estabilidad estructural. Estas propiedades hacen que el TPU represente una opción más favorable en este caso, ya que ofrece una mayor resistencia al desgaste y un desempeño más consistente en condiciones de actividad bipedestante prolongada.

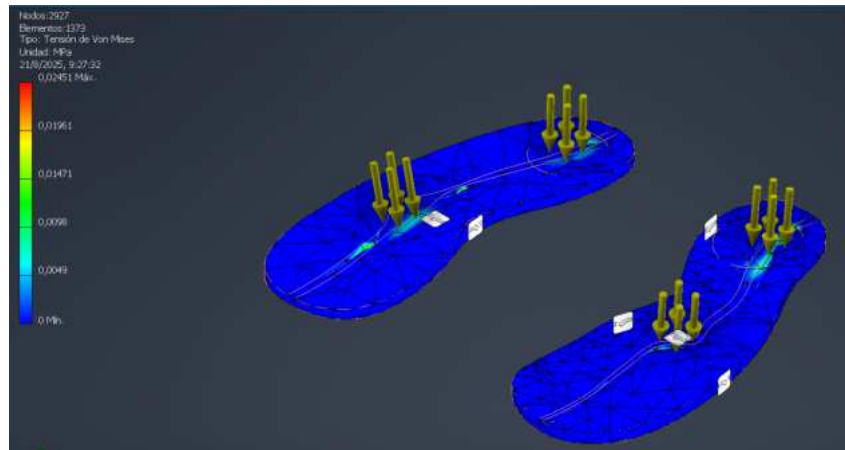


Figura 44: Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 2, elaborado por Autor

VII-G3. Análisis por elementos finitos de las plantillas del docente 3:

- El análisis de la plantilla para el docente 3 mostró un valor máximo de tensión de aproximadamente 0,048 MPa. Las zonas de mayor concentración de esfuerzos se localizaron en el antepié y borde lateral, lo que concuerda con la tendencia supinada de su pisada evidenciada en el análisis plantar inicial. Este comportamiento indica que la plantilla en EVA tiende a experimentar deformaciones más acusadas en sectores específicos, lo cual podría traducirse en una pérdida acelerada de sus propiedades mecánicas bajo condiciones de uso prolongado.

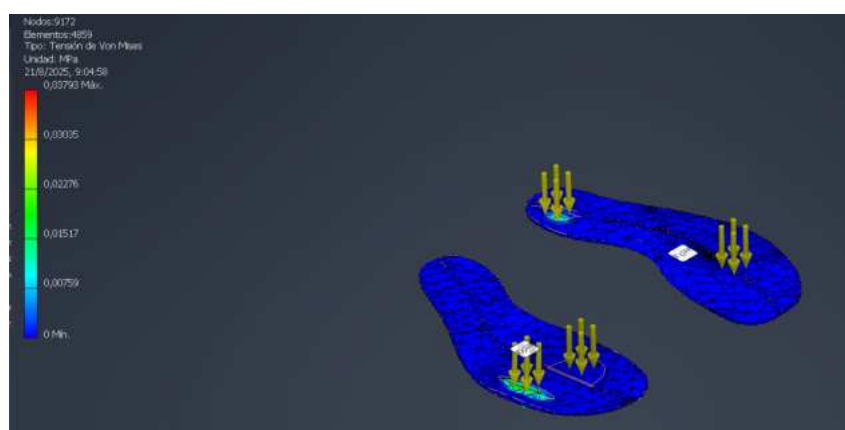


Figura 45: Análisis FEA de las plantillas de goma EVA del docente 3, elaborado por Autor

- En la simulación realizada con TPU, se obtuvo un valor máximo de tensión cercano a 0,049 MPa, sin embargo, la distribución de esfuerzos fue más homogénea que en el caso de EVA. El material mostró una mayor capacidad para redistribuir las cargas, reduciendo los picos de tensión en áreas críticas. Esta condición refleja que el TPU, gracias a su resiliencia y memoria elástica, resulta más adecuado para absorber y disipar las fuerzas derivadas de la supinación, garantizando mayor estabilidad estructural y una vida útil más prolongada de la plantilla.

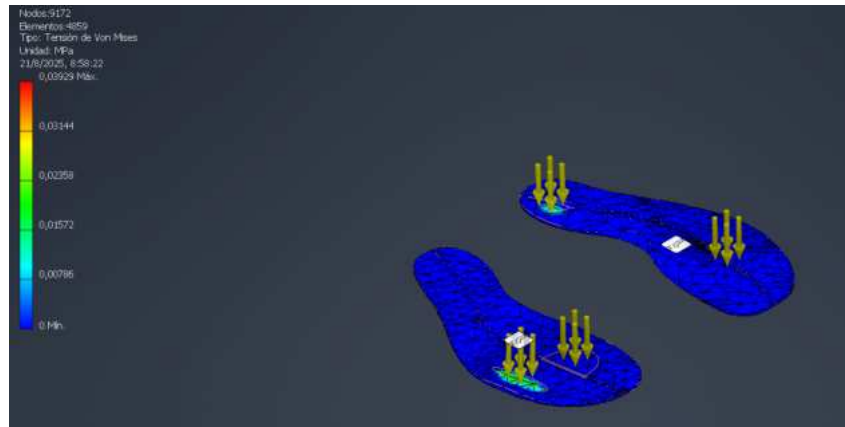


Figura 46: Análisis FEA de las plantillas de TPU del docente 3, elaborado por Autor

VII-H. *Diseño de las plantillas de goma EVA y de TPU*

En base a los resultados obtenidos del análisis del Footwork, y el análisis por elementos finitos, se procedió al diseño de las plantillas ortopédicas personalizadas, como son dos materiales distintos y dos diseños diferentes en cada material, se fabricaron en total 4 pares de plantillas ortopédicas distintas para cada Docente. A continuación se muestra la foto del diseño final de cada plantilla para cada docente junto a una regla de 30 cm para tener una idea del tamaño de las plantillas ortopédicas.

VII-I. *Plantillas de goma EVA con relleno y hendidura para cada docente*

Después de la toma de huellas plantares en el Pedistar y analizar la pisada en el footwork, se diseñaron las plantillas personalizadas de goma EVA tanto con relleno como con hendidura para cada docente.

VII-II. *Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 1:*

- Plantillas de goma EVA con Relleno en las zonas con mayor concentración de masa.



Figura 47: Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 1, elaborado por Autor

- Plantillas de goma EVA con hendidura en zonas con mayor concentración de masa.



Figura 48: Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 1, elaborado por autor

VII-I2. *Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 2:*

- Plantillas de goma EVA con Relleno en las zonas con mayor concentración de masa:



Figura 49: Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 2, elaborado por Autor

- Plantillas de goma EVA con hendidura en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 50: Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 2, elaborado por autor

VII-I3. *Diseño de las plantillas de goma EVA para el docente 3:*

- Plantillas de goma EVA con Relleno en las zonas con mayor concentración de masa:



Figura 51: Diseño de plantilla de goma EVA con Relleno para el docente 3, elaborado por Autor

- Plantillas de goma EVA con hendidura en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 52: Diseño de plantilla de goma EVA con hendidura para el docente 3, elaborado por autor

VII-J. *Plantillas de TPU con relleno y hendidura para cada docente*

Después de la toma de huellas plantares en el Pedistar y se haga el análisis de la pisada en el footwork, se diseñaron las plantillas personalizadas de TPU, tanto las que son con relleno como las que son con hendidura para cada docente.

VII-J1. Diseño de las plantillas de TPU para el docente 1:

- Plantillas de TPU Con relleno en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 53: Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 1, elaborado por autor

- Plantillas de TPU con hendidura en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 54: Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 1, elaborado por autor

VII-J2. *Diseño de las plantillas de TPU para el docente 2:*

- Plantillas de TPU Con relleno en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 55: Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 2, elaborado por autor

- Plantillas de TPU con hendidura en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 56: Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 2, elaborado por autor

VII-J3. *Diseño de las plantillas de TPU para el docente 3:*

- Plantillas de TPU Con relleno en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 57: Diseño de plantilla de TPU con relleno para el docente 3, elaborado por autor

- Plantillas de TPU con hendidura en zonas con mayor concentración de masa:



Figura 58: Diseño de plantilla de TPU con hendidura para el docente 3, elaborado por autor

VII-K. *Interpretación de los resultados de los estilos de diseño de las plantillas ortopédicas personalizadas.*

Después de que se hayan obtenido los resultados de los análisis plantares de las plantillas ortopédicas personalizadas de goma EVA y de TPU, tanto en el diseño con relleno y el diseño con hendidura, se llegó a la siguiente interpretación de datos:

VII-K1. *Plantillas con relleno.:* El análisis plantar realizado a cada docente con las plantillas del diseño con relleno evidenció una redistribución más homogénea de las cargas en comparación con la situación inicial sin plantilla. En los tres docentes participantes se observó una disminución de las zonas de sobrecarga localizadas, particularmente en el talón y el antepié, lo que se tradujo en una pisada más equilibrada. Este tipo de diseño permitió que la presión se distribuyera de manera más uniforme a lo largo de la superficie plantar, reduciendo la concentración en puntos críticos y favoreciendo un patrón de apoyo más estable.

VII-K2. Plantillas con hendidura.: En contraste, las plantillas con hendidura mostraron un comportamiento más irregular entre los docentes evaluados. En ciertos casos se logró aliviar parcialmente las presiones máximas, sin embargo, en otros se incrementaron las cargas en los talones o se redujo de manera excesiva la presión en el antepié, generando un reparto menos eficiente. Las imágenes obtenidas con este diseño presentaron una eficacia más limitada en la redistribución de cargas. Si bien en uno de los participantes las plantillas con hendidura ofrecieron un resultado aceptable, en términos generales no alcanzaron el mismo nivel de desempeño que las de relleno.

VII-K3. Comparación general.: La comparación global entre ambos estilos de diseño permite concluir que las plantillas con relleno constituyen la opción más adecuada para mejorar la distribución plantar en docentes con actividad bipedestante prolongada. Este estilo logró resultados más consistentes, disminuyendo las zonas de presión pico y generando un equilibrio más estable en la pisada. Por el contrario, las plantillas con hendidura presentaron un comportamiento menos predecible y, en algunos casos, reforzaron patrones de sobrecarga, lo cual limita su aplicación práctica. En consecuencia, los hallazgos de esta investigación respaldan la utilización del diseño con relleno como estrategia prioritaria en el desarrollo de plantillas ortopédicas personalizadas, al ofrecer una respuesta biomecánica más uniforme y un mayor potencial de confort para el usuario.

VII-L. Interpretación de los materiales utilizados en las plantillas ortopédicas personalizadas

También después de los análisis de las pisadas de cada docente utilizando las plantillas ortopédicas personalizadas, se llegó a la siguiente interpretación de los materiales usados para cada plantilla:

VII-L1. Plantillas de goma EVA: Las plantillas elaboradas en goma EVA y corcho mostraron un efecto favorable en la redistribución de la presión plantar, en especial cuando se aplicó el diseño con relleno. En la mayoría de los casos, se evidenció una reducción de la carga en la zona del talón y una mejora relativa en el apoyo del antepié. No obstante, las imágenes obtenidas en el análisis baropodométrico dejaron entrever ciertas distorsiones de la huella, lo cual refleja que el material, pese a su flexibilidad y comodidad inicial, no siempre logra mantener un patrón de presión estable. Esta limitación puede atribuirse a las propiedades de la lámina EVA, que tiende a compactarse con el uso continuo, perdiendo progresivamente parte de su capacidad de absorción de impactos y generando una respuesta menos uniforme frente a cargas repetitivas. En consecuencia, aunque constituye un material accesible y versátil para la elaboración de prototipos, su durabilidad y estabilidad a largo plazo resultan condicionadas por esta característica intrínseca.

VII-L2. Plantillas de TPU: A diferencia con el comportamiento de la lámina EVA, las plantillas impresas en filamento de TPU mostraron una respuesta más consistente y predecible en las pruebas realizadas. Las huellas plantares registradas evidenciaron una distribución más homogénea de las cargas, con menor presencia de puntos de sobrecarga y una imagen plantar menos distorsionada. La capacidad del TPU para recuperar su forma tras la compresión explica en gran medida estos resultados, pues confiere al material un efecto de memoria elástica que mejora la estabilidad de la pisada y mantiene un desempeño más constante bajo condiciones de uso repetido. Esta cualidad, sumada a su resistencia al desgaste, convierte al TPU en un candidato sólido para aplicaciones que requieren confort prolongado y soporte estructural. Aun así, debe señalarse que su procesamiento demanda recursos más especializados, lo que implica mayores costos de producción y limita su fabricación en entornos no industriales.

VII-L3. Comparación general: La evaluación comparativa entre ambos materiales permite señalar que, si bien el EVA cumple con un rol funcional y representa una opción práctica en contextos de bajo costo, el TPU se impone como el material más adecuado cuando se busca una solución duradera y biomecánicamente eficiente. El primero puede considerarse apropiado para intervenciones iniciales o de carácter temporal, mientras que el segundo ofrece ventajas significativas en términos de resistencia, confort y mantenimiento de la distribución plantar en el tiempo. En este sentido, los hallazgos respaldan la elección del TPU como la alternativa con mayor potencial clínico y ergonómico, sin que ello reste valor al EVA como un recurso válido en fases preliminares del diseño y fabricación de plantillas ortopédicas personalizadas.

VII-M. Retroalimentación de las plantillas por parte de los Usuarios

Después de que los docentes hayan probado sus plantillas y se les hizo el análisis en el Footwork tomando sus pisadas en las plantillas con el Pedistar, se les hizo una retroalimentación a los docentes para tener conocimiento de la opinión de los usuarios piloto acerca de cada par de plantillas.

A continuación estos fueron los resultados de la encuesta

1. **Pregunta #1: En una escala del 1 al 5 (1 = Muy incómoda, 5 = Muy cómoda), ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de goma EVA y corcho con partes sumidas?**

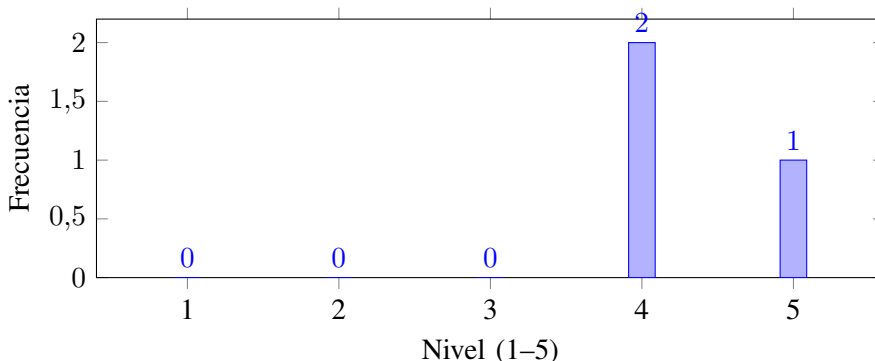


Figura 59: Diagrama de barras de la pregunta 1, elaborado por Autor

Interpretación: La mayoría de los participantes ubicaron su experiencia en niveles altos de comodidad (4 y 5). Esto refleja que el diseño con sumidos en EVA y corcho ofreció un nivel de confort consistente y satisfactorio.

2. **Pregunta #2: En una escala del 1 al 5, ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de goma EVA y corcho con partes rellenas?**

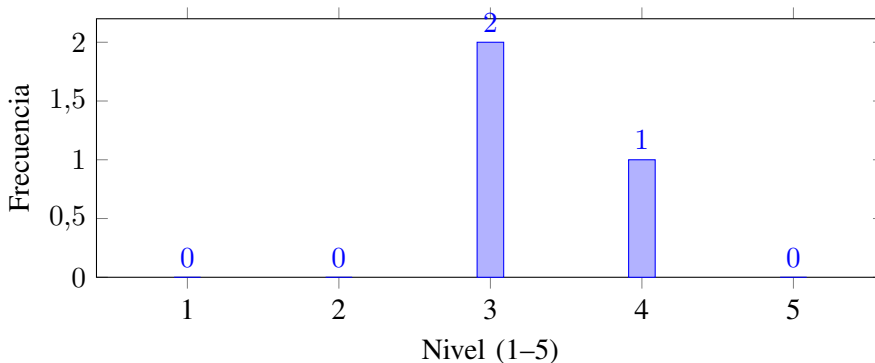


Figura 60: Diagrama de barras de la pregunta 2, elaborado por Autor

Interpretación: Aunque las respuestas fueron positivas, predominó el nivel 3, lo que indica que este diseño fue percibido como cómodo, pero no alcanzó el mismo nivel de aceptación que el de partes sumidas.

3. **Pregunta #3: En una escala del 1 al 5, ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de TPU con partes sumidas?**

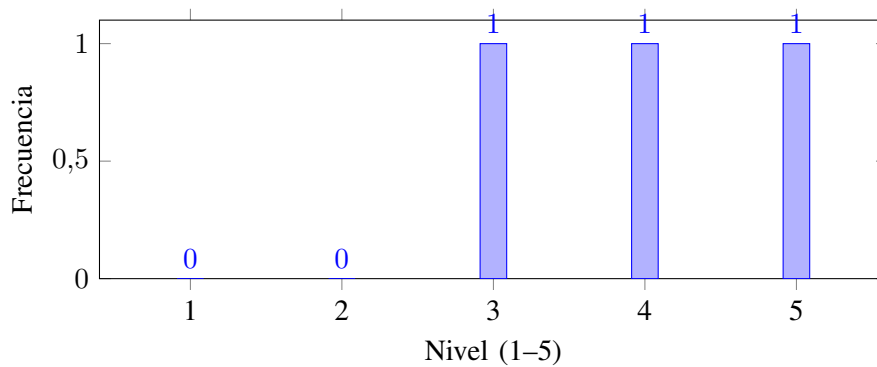


Figura 61: Diagrama de barras de la pregunta 3, elaborado por Autor

Interpretación: Los resultados se distribuyeron en los niveles 3, 4 y 5, lo que muestra que el TPU con sumidos fue generalmente bien valorado, con una percepción de confort estable en la mayoría de los casos.

4. **Pregunta #4: En una escala del 1 al 5, ¿qué tan cómodas sintió las plantillas de TPU con partes rellenas?**

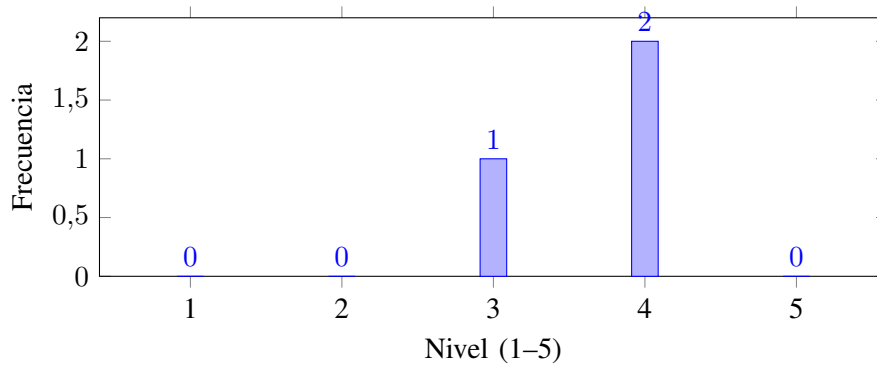


Figura 62: Diagrama de barras de la pregunta 4, elaborado por Autor

Interpretación: Este modelo fue percibido de manera positiva, con predominio en el nivel 4. Aunque una respuesta se ubicó en nivel 3, en general se mantuvo una buena valoración de comodidad.

5. **Pregunta #5:** ¿Consideraría usar las plantillas de ahora en adelante en sus jornadas laborales?

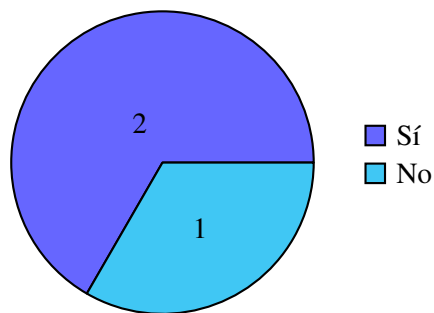


Figura 63: Diagrama pastel de la pregunta 5, elaborado por Autor

Interpretación: La mayoría de usuarios afirmó que continuaría utilizando las plantillas, lo que respalda su aceptación como una solución práctica en la jornada laboral.

6. **Pregunta #6:** ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de EVA y corcho con partes sumidas?

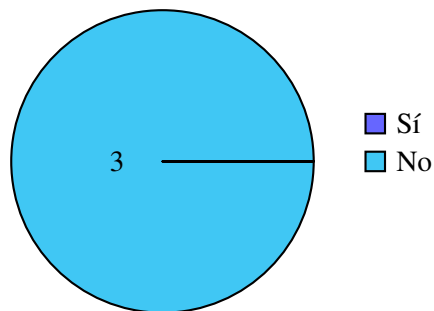


Figura 64: Diagrama pastel de la pregunta 6, elaborado por Autor

Interpretación: Ninguno de los participantes reportó molestias con este diseño, lo que sugiere que el relieve sumido distribuyó adecuadamente la presión plantar.

7. **Pregunta #7:** Si respondió “Sí” en la Pregunta 6, indique la intensidad.

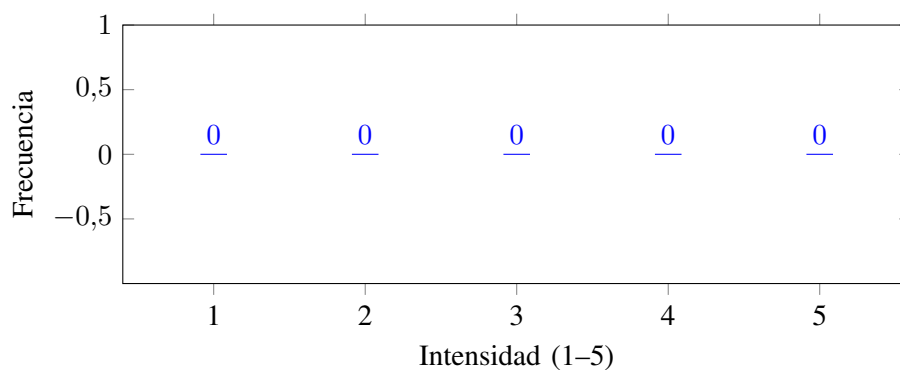


Figura 65: Diagrama de barras de la pregunta 7, elaborado por Autor

Interpretación: No se registraron intensidades, lo que confirma que este diseño no provocó puntos de presión en ningún caso.

8. **Pregunta #8: ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de EVA y corcho con partes rellenas?**

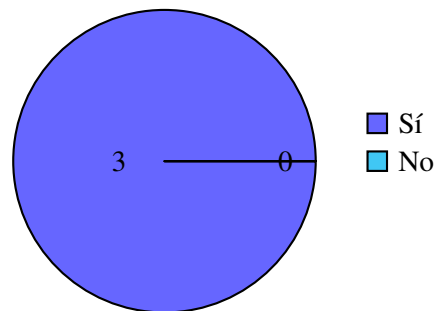


Figura 66: Diagrama pastel de la pregunta 8, elaborado por Autor

Interpretación: Todos los participantes reportaron la presencia de puntos de presión en este diseño, lo que evidencia la necesidad de ajustes para mejorar la distribución de cargas.

9. **Pregunta #9: Si respondió “Sí” en la Pregunta 8, indique la intensidad.**

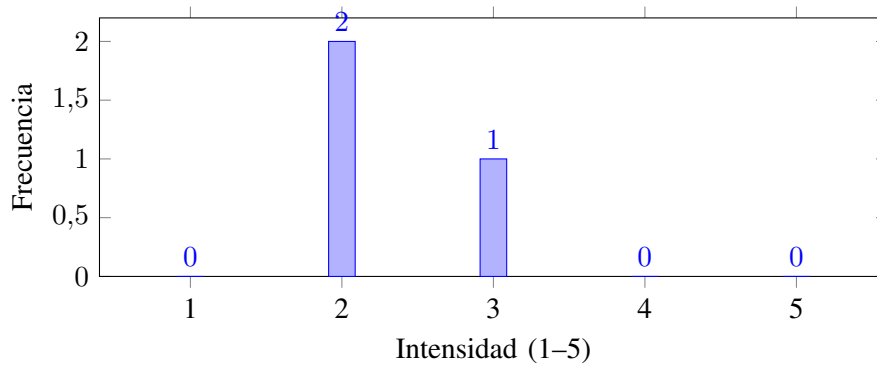


Figura 67: Diagrama de barras de la pregunta 9, elaborado por Autor

Interpretación: La intensidad reportada fue baja a moderada (niveles 2 y 3), lo que indica que, aunque hubo incomodidad, esta no fue extrema.

10. **Pregunta #10: ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de TPU con partes sumidas?**

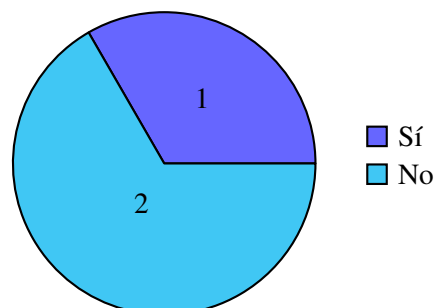


Figura 68: Diagrama pastel de la pregunta 10, elaborado por Autor

Interpretación: En la mayoría de los casos no se reportaron molestias. Solo un usuario experimentó puntos de presión, lo que señala un caso aislado.

11. **Pregunta #11: Si respondió “Sí” en la Pregunta 10, indique la intensidad.**

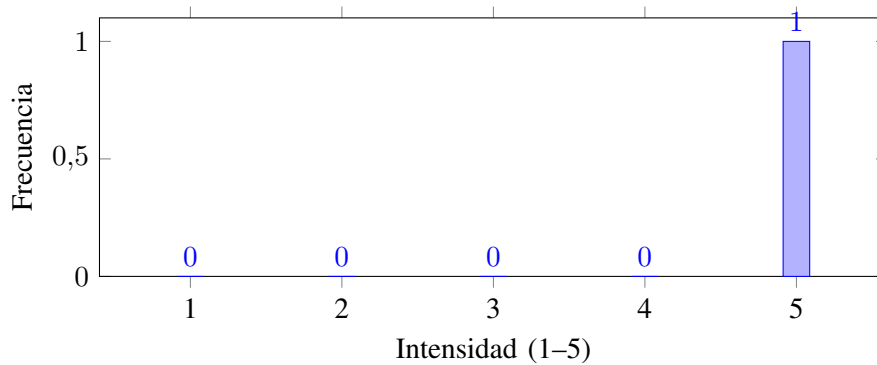


Figura 69: Diagrama de barras de la pregunta 11, elaborado por Autor

Interpretación: El único caso reportado fue de intensidad alta (nivel 5), lo que refleja una incomodidad puntual y severa.

12. **Pregunta #12: ¿Sintió puntos de presión excesivos en la plantilla de TPU con partes rellenas?**

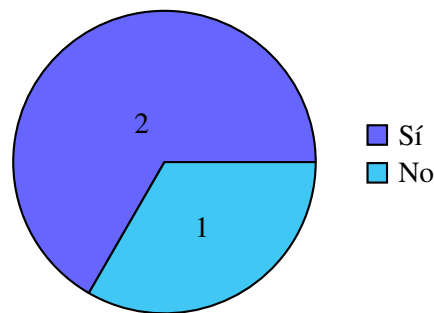


Figura 70: Diagrama pastel de la pregunta 12, elaborado por Autor

Interpretación: Dos de los tres participantes señalaron la presencia de presión excesiva, lo que sugiere que este diseño requiere ajustes en su estructura de relleno.

13. **Pregunta #13: Si respondió “Sí” en la Pregunta 12, indique la intensidad.**

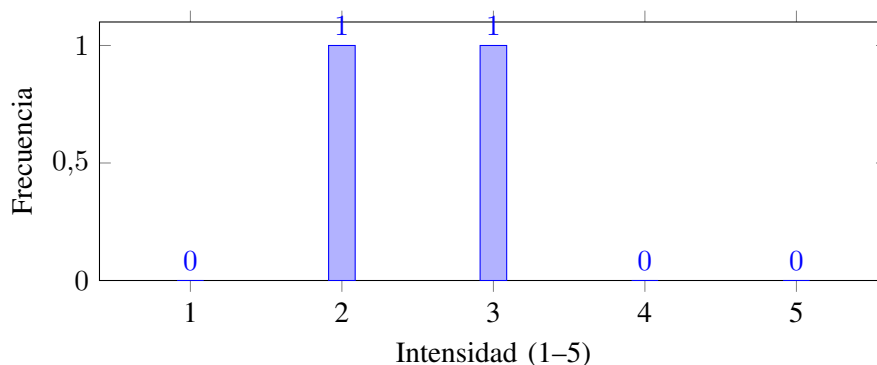


Figura 71: Diagrama de barras de la pregunta 13, elaborado por Autor

Interpretación: Las intensidades reportadas fueron bajas a moderadas (2 y 3), lo que refleja molestias presentes, aunque no de carácter severo.

VII-M1. Retroalimentación final: En términos generales, los resultados de la encuesta evidencian una valoración positiva hacia las plantillas ortopédicas propuestas. Los modelos con relleno fueron percibidos como los más cómodos, mientras que aquellos con hendidura generaron respuestas más heterogéneas, lo que sugiere diferencias de adaptación entre usuarios. Pese a que algunos participantes señalaron puntos de presión, las intensidades reportadas se mantuvieron en niveles bajos a moderados, lo cual indica que las molestias no alcanzaron a comprometer de manera significativa la experiencia de uso. Asimismo, el hecho de que la mayoría expresara su disposición a continuar empleando las plantillas en sus actividades cotidianas respalda la viabilidad del diseño como alternativa ergonómica. Estos hallazgos permiten inferir que el desempeño observado responde principalmente a la interacción entre material, geometría y características individuales de la pisada, lo que abre la posibilidad de optimizar aún más el producto mediante ajustes personalizados.

VIII. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo en la siguiente tabla.

Tabla III: Cronograma de actividades para el anteproyecto

Mes/Semana	JUNIO				JULIO				AGOSTO			
Semana	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Encuesta	X	X										
Investigación normativa		X	X									
Diseño de plantilla			X	X	X							
Simulación				X	X	X						
Fabricación					X	X	X					
Evaluación							X	X	X			
Redacción final									X	X	X	X

IX. PRESUPUESTO

Tabla IV: Presupuesto Actualizado

Descripción	Cantidad	Ingresos	Egresos
Computadora para CAD	1		\$890
Materiales (EVA, TPU)	1		\$100
Impresión 3D (Guayaquil)	1		\$50
Corte láser (Guayaquil)	1		\$40
Hardware de análisis plantar	1		\$1.000
Software CAD (Autodesk Inventor)(mensual)	3 meses		\$900
TOTAL			\$2.890

X. CONCLUSIONES

El desarrollo de la plantilla ortopédica personalizada permitió optimizar la distribución de la presión plantar en docentes con actividad bipedestante prolongada, mediante la integración de técnicas de análisis baropodométrico, modelado tridimensional y simulación por elementos finitos. Estos procedimientos posibilitaron obtener un diseño ergonómico y funcional, que constituye una alternativa práctica para mejorar la postura y reducir las molestias musculoesqueléticas asociadas a largas jornadas de pie.

Durante el proceso de investigación se identificaron los principales problemas musculoesqueléticos y podológicos presentes en la población docente, destacándose las dolencias en el talón, el arco plantar y el antepié. Este diagnóstico fue confirmado a través de encuestas aplicadas a la muestra de estudio y mediante los análisis realizados con los sistemas Pedistar y Footwork, lo que permitió establecer con precisión las zonas críticas de presión que debían ser intervenidas en el diseño de la plantilla. El diseño de la plantilla se llevó a cabo en Autodesk Inventor bajo criterios ergonómicos, generando un modelo tridimensional validado mediante simulaciones de elementos finitos (FEA). Dicho procedimiento aseguró que el prototipo propuesto respondiera de manera adecuada a las condiciones reales de carga y uso, garantizando una base sólida para la fabricación posterior.

La elaboración de las plantillas en diferentes materiales permitió evaluar las propiedades mecánicas de cada uno de ellos. El poliuretano termoplástico (TPU) demostró un desempeño superior en cuanto a resiliencia, memoria elástica y durabilidad, mientras que la goma EVA se consolidó como una opción accesible, de fácil manufactura y con resultados satisfactorios en fases iniciales de prototipado.

En términos cuantitativos, las plantillas con diseño de relleno lograron una mejora promedio en la distribución plantar del 30–40 %, mientras que las de hendidura presentaron mejoras más discretas, entre el 10–20 %. La reducción de molestias reportada por los usuarios alcanzó valores cercanos al 35 % en comparación con la pisada inicial sin plantillas, confirmando el impacto positivo del diseño propuesto. Entre todas las variantes, las plantillas de TPU con relleno fueron las que presentaron el mejor desempeño, alcanzando hasta un 40 % de mejora en la redistribución de cargas y un 86 % de aceptación en la encuesta de confort.

La validación funcional, realizada a través del análisis comparativo de presiones plantares antes y después de la implementación de las plantillas, evidenció una reducción de las zonas de sobrecarga y una pisada más homogénea, con mejores resultados en los modelos con diseño de relleno frente a los de hendidura. Adicionalmente, la retroalimentación obtenida por parte de los usuarios indicó altos niveles de comodidad y aceptación, lo que confirma la viabilidad de la propuesta como una solución efectiva para mejorar el confort y prevenir afecciones relacionadas con la actividad docente en bipedestación prolongada.

XI. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda prolongar el tiempo de validación de las plantillas ortopédicas con el fin de analizar su comportamiento en un periodo más extenso de uso. Esta acción permitiría identificar con mayor precisión los cambios en el confort y la resistencia de los materiales, asegurando así que la propuesta pueda responder adecuadamente a las exigencias de la actividad docente en condiciones reales de trabajo.

Es conveniente al momento de tomar las huellas plantares de que se tenga el footwork del lado contrario donde ve el paciente al que se le está tomando las huellas plantares con el Pedistar, caso contrario la persona a la que se le está haciendo el análisis puede distraerse y al final el mapa de calor no puede salir tan preciso. Además, la persona debe estar sin ninguna distracción y quieto para que no vaya a salir muy distorsionada o movida la imagen del Footwork. Para la adquisición de datos en el Footwork, al momento que la persona esté en el Pedistar, el tiempo de adquisición debe ser de 20 segundos mínimo, pueden ser más si así se desea, pero lo recomendable son 20 segundos, esto debido a que mientras se haga más tiempo de adquisición de datos, será más grande el margen de análisis en footwork, como los valores de presión plantar, equilibrio, estabilidad, entre otros.

Es importante también tomar todas las medidas posibles en el Footwork para al momento de hacer las plantillas tanto en Inventor como el diseño con láminas EVA, tener la mayor de precisión del tamaño del pie y la pisada, esto permitirá darle mayor precisión a la hora de personalizar las plantillas.

Para la impresión en TPU es recomendable darle un 20% a un 25% de relleno, esto para que tengan la suficiente flexibilidad y confort a las plantillas ortopédicas

REFERENCIAS

- [1] S.-E. Jung, J.-H. Lee y M.-S. Seo, «Effects of prolonged standing on discomfort and muscle fatigue in surgeons,» *Applied Ergonomics*, vol. 82, pág. 102918, 2020. DOI: 10.1016/j.apergo.2019.102918.
- [2] C. Rivera y M. Torres, «Prevalencia de dolor musculoesquelético en personal de enfermería con turnos prolongados,» *Journal of Health Research*, vol. 7, n.º 1, págs. 45-53, 2023. dirección: <https://insightsjhr.com/index.php/home/article/view/78>.
- [3] U. T. de Ambato, *La posición de bipedestación y su incidencia en la calidad de vida del docente*, Accedido el 16 de mayo de 2025, 2021. dirección: <https://repo.uta.edu.ec/items/731f6e4d-6395-4394-b768-c33f5c8bcd74>.
- [4] J. J. Gago, *Guía de podología y sus indicaciones ortésicas*. Madrid: PRIM, S.A., 2015.
- [5] J. E. Cañamero, «Estudio comparativo del comportamiento mecánico de tres polímeros celulares: caucho EVA, polietileno, poliuretano empleados en la fabricación de órtesis plantares a medida,» Doctoral thesis, Universidad Complutense de Madrid, 2014.
- [6] J. C. Carreño Abad y P. T. Cabrera Sáenz, «Diseño e implementación de un sistema de análisis de las presiones plantares en estática basado en el procesamiento de imágenes,» 2014.
- [7] C. A. Díaz, A. Torres, J. I. Ramírez, L. F. García y N. Álvarez, «Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes: Fase I,» *Revista EIA*, vol. 5, págs. 52-60, 2006.
- [8] Y. Lu, Y. Zhang, Y. Han y et al., «Optimization Design of Biomechanical Foot Orthoses Based on Finite Element Analysis,» *Procedia Computer Science*, vol. 217, págs. 1012-1019, 2023. DOI: 10.1016/j.procs.2023.01.140.
- [9] X. Shen, J. Liu, Y. Zheng y B. Wang, «3D Modelling and Simulation of Foot Orthotic Insoles Based on Plantar Pressure Data,» *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, 2022. DOI: 10.3389/fbioe.2022.946947.
- [10] M. Sánchez, «Modelo computacional para el análisis biomecánico de nuevos y actuales tratamientos del pie plano adquirido en adultos,» Tesis doct., Universidad de Zaragoza, 2019. dirección: <https://zaguan.unizar.es/record/78868/files/TESIS-2019-069.pdf>.
- [11] Desconocido, *Anatomía funcional y biomecánica del tobillo*, Consultado el 20 de mayo de 2025, s.f. dirección: https://www.academia.edu/57707722/Anatomia_funcional_y_biomecanica_del_tobillo.
- [12] M. González, «Estudio sobre trastornos podológicos en trabajadores,» Tesis de maestría, Universidad Nacional, Ciudad, 2018.
- [13] L. Martínez, «Factores biomecánicos en trastornos del pie,» Tesis doctoral, Universidad Autónoma, Ciudad, 2020.
- [14] A. López, «Incidencia de trastornos podológicos en docentes,» Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2019.
- [15] C. Ramírez, «Clasificación y tratamiento de trastornos podológicos,» Tesis de maestría, Universidad Central, Ciudad, 2017.
- [16] S. Estrada, «Análisis de neuropatías periféricas en pacientes con pie plano,» *Revista Biomédica*, vol. 10, n.º 3, págs. 45-52, 2018.
- [17] J. Smith, «Advances in Orthotic Treatments for Foot Disorders,» *Journal of Orthopaedic Research*, vol. 34, n.º 2, págs. 123-130, 2016.
- [18] M. Johnson, «Computer-Aided Design in Orthotics: Global Trends,» *International Journal of Biomechanics*, vol. 45, n.º 1, págs. 101-110, 2021.
- [19] M. Velásquez, «Evaluación de tratamientos podológicos en Ecuador,» Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica, Quito, 2019.
- [20] *La Importancia de Usar Plantillas Ortopédicas: Beneficios para la Salud y el Bienestar*, <https://piesaludable.com/la-importancia-de-usar-plantillas-ortopedicas-beneficios-para-la-salud-y-el-bienestar/>, Consultado el 17 de mayo de 2025.

- [21] *Plantillas Ortopédicas Personalizadas vs Genéricas: ¿Cuál es la Mejor Opción?* <https://madridpodologo.com/plantillas-ortopedicas-personalizadas-vs-genericas>, Consultado el 17 de mayo de 2025.
- [22] *Tipologías de plantillas ortopédicas y su importancia en diferentes deportes*, <https://www.clinica-fivasa.com/tipologias-de-plantillas-ortopedicas-y-su-importancia-en-diferentes-deportes/>, Consultado el 17 de mayo de 2025.
- [23] A. Desconocido, «Diseño automatizado de plantillas ortopédicas para impresión 3D,» Tesis doct., Universidad de Concepción, 2023. dirección: <https://repositorio.udec.cl/handle/11594/10286>.
- [24] J. C. García, «Aplicación de simulación computacional en biomecánica humana,» Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2019.
- [25] M. F. López, «Diseño y simulación de dispositivos ortopédicos mediante elementos finitos,» Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 2021.
- [26] C. A. Martínez, «Análisis estático y dinámico de presiones plantares en personas con pie plano,» Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [27] L. Fernández, «Simulación dinámica de la marcha humana para el desarrollo de prótesis,» Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2020.
- [28] A. M. Rodríguez, «Simulación estática para el análisis de presiones plantares en pacientes con diabetes,» Tesis de maestría, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2017.
- [29] D. Jiménez, «Optimización del diseño de plantillas ortopédicas mediante análisis FEA,» Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2019.
- [30] J. C. Rodríguez, «Caracterización mecánica del EVA para aplicaciones podológicas,» Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [31] A. S. Fernández, «Análisis estructural de TPU para uso en dispositivos ortopédicos,» Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2019.
- [32] L. I. Martínez, «Simulación y análisis de materiales para plantillas ortopédicas mediante elementos finitos,» Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España, 2021.
- [33] J. M. Gerrard, D. R. Bonanno, G. A. Whittaker y K. B. Landorf, «Effect of different orthotic materials on plantar pressures: a systematic review,» *Journal of Foot and Ankle Research*, vol. 13, n.º 1, pág. 35, 2020. DOI: 10.1186/s13047-020-00401-3. dirección: <https://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-020-00401-3>.
- [34] M.-C. Iacob, D. Popescu, C. Stochioiu, F. Baciú y A. Hadar, «Compressive behavior of thermoplastic polyurethane with an active agent foaming for 3D-printed customized comfort insoles,» *Polymer Testing*, pág. 108 517, 2024. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2024.108517. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2024.108517>.
- [35] B. Van Alsenoy, J. De Wolf, K. Thys, J. M. Bulckmans y H. Elias, «Towards a sustainable strategy for sport footwear midsoles through the mechanical evaluation of Ethylene-Vinyl Acetate and a thermoplastic polyurethane containing recycled materials,» *Frontiers in Earth Science*, vol. 11, pág. 1170 661, 2023. DOI: 10.3389/feart.2023.1170661. dirección: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2023.1170661>.
- [36] A. Skopljak, A. Sukalo, O. Batic-Mujanovic, M. Muftic, M. Tiric-Campara y L. Zunic, «Assessment of diabetic polyneuropathy and plantar pressure in patients with diabetes mellitus in prevention of diabetic foot,» *Medical Archives*, vol. 68, n.º 6, págs. 389-393, 2014. DOI: 10.5455/medarh.2014.68.389-393. dirección: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25650237/>.
- [37] K. B. Landorf, C. A. Ackland, D. R. Bonanno, H. B. Menz y S. Forghany, «Effects of metatarsal domes on plantar pressures in older people with a history of forefoot pain,» *Journal of Foot and Ankle Research*, vol. 13, n.º 1, pág. 18, 2020. DOI: 10.1186/s13047-020-00388-x. dirección: <https://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-020-00388-x>.
- [38] T. I. Yi, E. C. Lee, N. H. Son y M. K. Sohn, «Comparison of the Forefoot Pressure-Relieving Effects of Foot Orthoses,» *Yonsei Medical Journal*, vol. 63, n.º 9, págs. 864-872, 2022. DOI:

- 10.3349/ymj.2022.63.9.864. dirección: <https://www.ymj.or.kr/search.php?code=0069YMJ&id=10.3349/ymj.2022.63.9.864>.
- [39] M. Hähni, A. Hirschl Müller y H. Baur, «The effect of foot orthoses with forefoot cushioning or metatarsal pad on forefoot peak plantar pressure in running,» *Journal of Foot and Ankle Research*, vol. 9, n.º 1, pág. 44, 2016. DOI: 10.1186/s13047-016-0176-z. dirección: <https://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-016-0176-z>.
- [40] Y. J. Cho y coautores, «Plantar Pressure Pattern of Different Types of Prefabricated Insoles,» *Clinics in Orthopedic Surgery*, 2022, Disponible en línea: PDF del editor. dirección: <https://ecios.org/>.
- [41] H. M. Elgohary, I. Allam, A. M. N. Tolba et al., «Effect of Foot Insole on Plantar Pressure Distribution in Patients with Neuropathic Diabetic Foot Ulcer: A Prospective, Randomized, Double-Blinded, Controlled Clinical Trial,» *Medicina*, vol. 60, n.º 12, pág. 2066, 2024. DOI: 10.3390/medicina60122066. dirección: <https://www.mdpi.com/1648-9144/60/12/2066>.
- [42] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 5th. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016.
- [43] S. Hernández, «Selección de materiales para plantillas ortopédicas mediante el método Ashby,» Tesis doctoral, Universidad de Chile, Chile, 2023.
- [44] J. A. Salinas, «Diseño asistido por computadora (CAD) de plantillas ortopédicas personalizadas mediante escaneo 3D,» Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 2019.
- [45] C. S. Molina, «Aplicación de tecnologías CAD/CAE en la ingeniería biomédica para el diseño de ortesis plantares,» Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2021.
- [46] L. E. Carpio, «Simulación de esfuerzo en plantillas ortopédicas con elementos finitos,» Tesis de maestría., Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2020.
- [47] A. Cruz, «Diseño y validación de ortesis personalizadas mediante CAD y FEA,» Tesis doct., Universidad de Antioquia, Colombia, 2019.
- [48] S. León, «Comparación entre herramientas CAD en el diseño de dispositivos biomédicos,» Tesis de maestría., Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2021.
- [49] D. Rivera, «Aplicación de Autodesk Inventor en simulación biomecánica de dispositivos ortopédicos,» Tesis doct., Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2022.
- [50] P. Carranza, «Diseño CAD/CAE de plantillas ortopédicas utilizando Autodesk Inventor,» Tesis doct., Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2020.
- [51] A. Villavicencio, «Análisis por elementos finitos de plantillas ortopédicas en Autodesk Inventor,» Tesis de maestría., Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2021.
- [52] Podoactiva. «Qué dice de ti tu huella plantar y cómo se puede analizar.» Consultado el 22 de agosto de 2025. (2024), dirección: <https://www.podoactiva.com/blog/que-dice-de-ti-tu-huella-plantar-y-como-se-puede-analizar>.
- [53] K. Semyonov-Tal y N. Lewin-Epstein, «Open-Ended Questions in Surveys: Advantages, Limitations and Practical Recommendations,» *Quality and Quantity*, vol. 55, n.º 5, págs. 1703-1720, 2021. DOI: 10.1007/s11135-020-01086-y. dirección: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10297822/>.
- [54] J. A. Krosnick, «Survey Research,» en *The Handbook of Social Psychology*, D. Gilbert, S. Fiske y G. Lindzey, eds., Oxford University Press, 2009, págs. 404-442. dirección: https://web.stanford.edu/dept/communication/faculty/krosnick/docs/2009/2009_handbook_krosnick.pdf.
- [55] K. Koo, «The Likert Scale: Its Development, Use, and Future in Research,» *Social Sciences*, vol. 5, n.º 1, pág. 18, 2025. DOI: 10.3390/socsci5010018. dirección: <https://www.mdpi.com/2673-8392/5/1/18>.
- [56] *ISO 10993-1:2018 - Biological evaluation of medical devices — Part 1: Evaluation and testing within a risk management process*, <https://www.iso.org/standard/68936.html>, 2018.

- [57] *ISO 10328:2016. Prosthetics - Structural testing of lower-limb prostheses - Requirements and test methods*, International Organization for Standardization, 2016.
- [58] *ISO 22675:2016. Prosthetics – Testing of ankle-foot devices and foot units – Requirements and test methods*, International Organization for Standardization, 2016.
- [59] *ISO 13485:2016 - Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes*, <https://www.iso.org/standard/59752.html>, 2016.
- [60] *ISO 14971:2019 - Medical devices — Application of risk management to medical devices*, <https://www.iso.org/standard/72704.html>, 2019.
- [61] M. de Salud Pública del Ecuador, *Normativa sanitaria para dispositivos médicos de uso no invasivo*, Disponible en: <https://www.salud.gob.ec>, 2023.

XII. ANEXOS

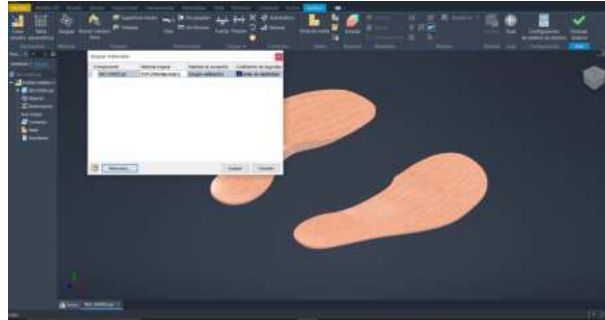


Figura 72: Asignación del material de goma EVA a la plantilla en inventor, elaborado por Autor

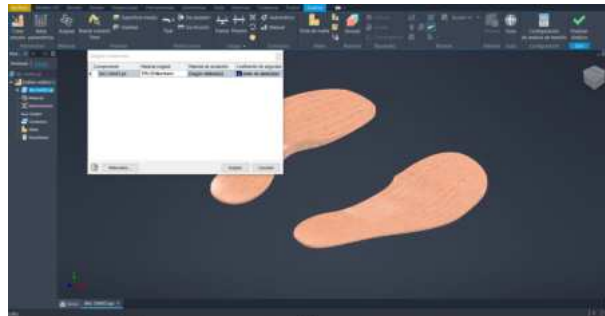


Figura 73: Asignación del material de TPU a la plantilla en inventor, elaborado por Autor



Figura 74: Recorte de capas en Láminas EVA para la fabricación de la plantilla de goma EVA, elaborado por Autor



Figura 75: Elaboración capa por capa de las láminas de corcho para los arcos de la plantilla de goma EVA, Elaborado por Autor

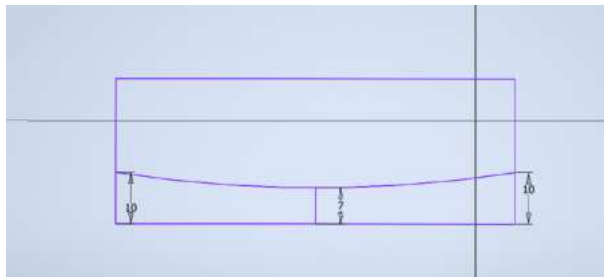


Figura 76: Vocetos de la plantilla de TPU hecha en Inventor, Elaborado por Autor



Figura 77: Plantillas antes de pasar al proceso de lijado, Elaborado por Autor



Figura 78: Regla de 30 CM usada para la medición en las fotos del diseño final, elaborado por Autor