

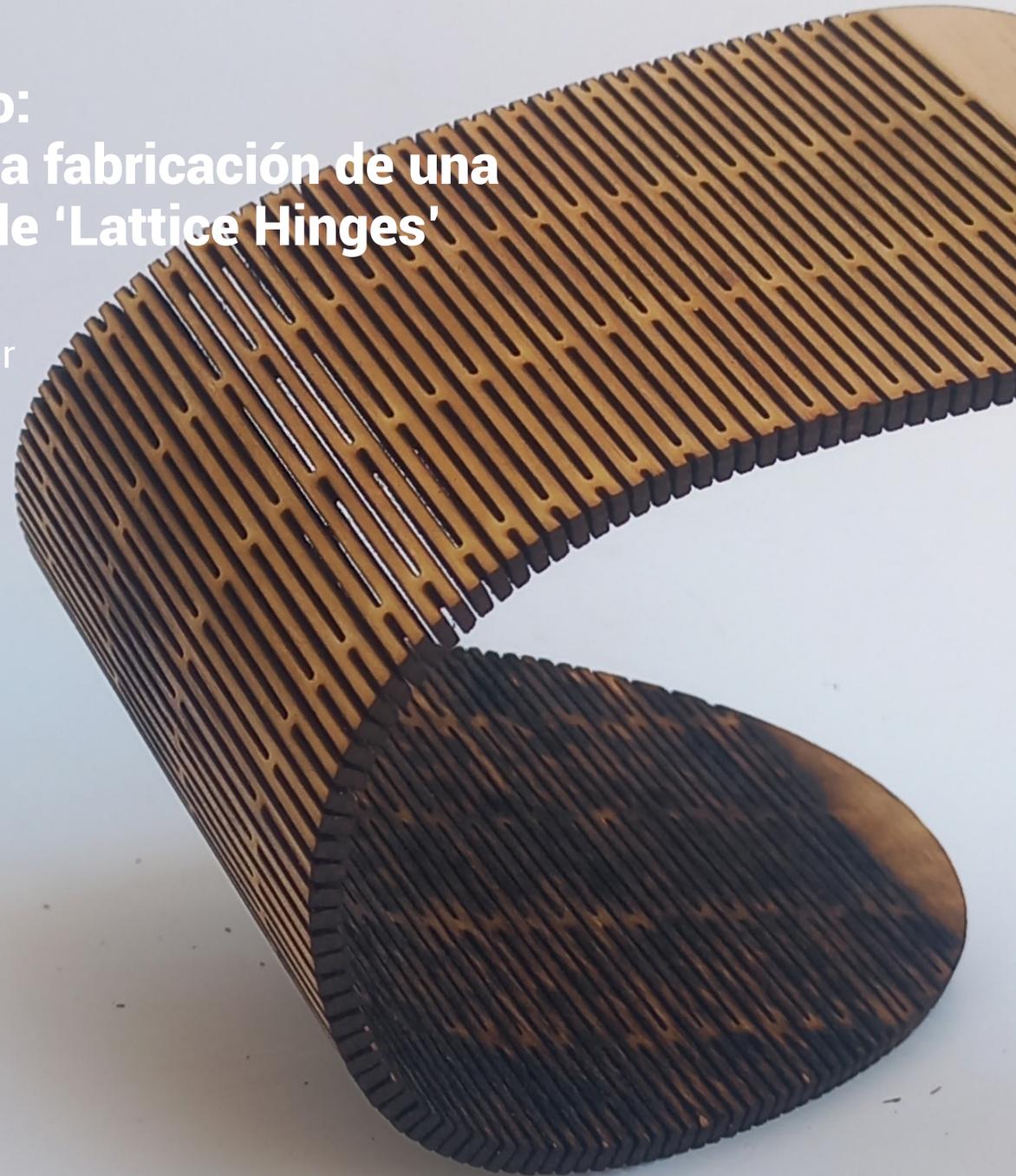
# Suela paramétrica de calzado: Herramientas digitales para la fabricación de una sandalia utilizando sistema de 'Lattice Hinges'

Memoria para optar al título de Diseñador

Ariel del Fierro Carvallo

Profesor guía: Félix Maldonado

Santiago de Chile, 2024



# Indice

## 1. Presentación del proyecto

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Planteamiento del problema	9
Preguntas de investigación	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos	13
Estrategias de diseño utilizadas en el desarrollo del proyecto	14
Ventajas y proyección disciplinar	16
Conclusiones preliminares	17

## 2. Antecedentes y marco teórico

Diseño paramétrico	19
Lattice hinges	20
Compliant Mechanism	21
Kerfing	23
Ergonomía	24
Antropometría del pie	25

Personalización masiva	26
Calzado	27
Tecnología digital	31
Proceso tradicional de fabricación de calzado	34
Tecnología del calzado	40
Materialidad en calzado: orgánico versus sintético	44
Historia del calzado: Relación entre lo simbólico, la estética y lo funcional	50
Industria del calzado	56
Discusión teórica	62
Mapa de actores involucrados	66
Estado del arte	67
Referentes	67
Estudios de calzado	68
Calzado paramétrico	70
Calzado con suelas de origen vegetal	72
Lattice hinges en diseño	74
Compliant Mechanism en calzado	76

### 3. Proyecto de Diseño

Metodología de diseño	79
Técnicas y herramientas aplicadas	83
Diseño tradicional de fabricación de calzado	84
Diseño paramétricos	86
Sistema de modelado de hormas	88
Encuestas	91
Entrevistas	94
Definición de atributos y requerimientos	95
Caracterización del usuario y contexto	98
Propuesta conceptual del proyecto	100
Modelo aplicado	102
Bocetaje	104
Horma	106
Suela	126
Aplicación del lattice hingses	144
Patronaje	160
Armado	164
Acabado	168
Naming y branding	174

### 4. Conclusiones y Proyección

Conclusiones	183
Proyección	185
Viabilidad	186

<b>Bibliografía</b>	188
---------------------	-----

<b>Anexo 1: Encuestas</b>	194
---------------------------	-----

<b>Anexo 2: Planimetría</b>	196
-----------------------------	-----

*Dedicatoria y Agradecimientos:*

*No tengo palabras para agradecer el inmenso apoyo y cariño que recibo de mi familia y amigos, solo darle mi gratitud a ese grupo humano que amo y que me enseñó por primera vez lo que significa lo que es dejar una huella y por quienes espero dejar muchas más.*



# Presentación del proyecto

1

## Resumen

Este proyecto de tesis propone el diseño de un calzado tipo sandalia que integra tecnología paramétrica, biomecánica, conocimientos de ergonomía y técnicas tradicionales de fabricación, para responder a necesidades de personalización y funcionalidad en el calzado. A través de encuestas a usuarios y entrevistas a maestros zapateros, se identificaron tanto las preferencias de comodidad como la limitada oferta de modelos de suelas disponible para artesanos locales. Para abordar esta limitación, se implementa un sistema paramétrico de lattice hinges en la suela, que facilita la creación de suelas personalizables mediante materiales alternativos, optimizando tiempo y costos, permitiendo a los zapateros ofrecer opciones únicas y adaptadas a cada usuario.

Por otro lado, el diseño paramétrico también se emplea en la entre-suela, donde se desarrolla una curva plantar óptima basada en datos anatómicos extraídos de literatura académica, proporcionando un soporte ergonómico y adaptado a distintos tipos de pie. La combinación de estas tecnologías permite crear

un calzado que no solo cumple con los estándares de ergonomía, sino que también revaloriza a las sandalias como una opción de calidad y durabilidad.

Este proyecto también promueve la sostenibilidad cultural mediante la revalorización de la producción local en Chile y ofrece una alternativa accesible para futuros diseñadores y entusiastas del oficio. La tesis se inspira en el uso de herramientas digitales en combinación con técnicas tradicionales para innovar en el diseño de calzado, mostrando que es posible crear productos culturalmente relevantes, ergonómicos y sostenibles. Al combinar tecnología avanzada con conocimientos artesanales, este modelo contribuye al desarrollo de un diseño de calzado funcional y adaptado a las necesidades contemporáneas, respetando y revitalizando el oficio artesanal.

## Abstract

This thesis project proposes the design of a sandal-type shoe that integrates parametric technology, biomechanics, ergonomic knowledge and traditional manufacturing techniques to respond to the needs of customization and functionality in footwear. Through user surveys and interviews with master shoemakers, both comfort preferences and the limited supply of sole models available to local artisans were identified. To address this limitation, a parametric system of lattice hinges is implemented in the sole, which facilitates the creation of customizable soles using alternative materials, optimizing time and costs, allowing shoemakers to offer unique options tailored to each user.

On the other hand, parametric design is also used in the midsole, where an optimal plantar curve is developed based on anatomical data extracted from academic literature, providing ergonomic support and adapted to different foot types. The combination of these technologies creates a shoe that not only meets ergonomic

standards, but also revalues sandals as a quality and durable option.

This project also promotes cultural sustainability through the revaluation of local production in Chile and offers an accessible alternative for future designers and enthusiasts of the craft. The thesis is inspired by the use of digital tools in combination with traditional techniques to innovate in footwear design, showing that it is possible to create culturally relevant, ergonomic and sustainable products. By combining advanced technology with artisanal knowledge, this model contributes to the development of functional footwear design adapted to contemporary needs, respecting and revitalizing the craft.

## Introducción

Según la Real Academia Española (s.f., definición 5), cuando hablamos de calzado nos referimos a “una clase o conjunto de prendas que cubren o protegen el pie y tienen suela”. El término calzado abarca un amplio campo de productos fabricados con diversos materiales, es así como botas, zapatos, sandalias, zapatillas, zuecos, etc., se elaboran en base a cuero, goma, materiales sintéticos y plásticos, lona, cuerda y madera (Conradi & Portich, s.f.) entre otros.

El calzado es un objeto indispensable para el día a día de muchas personas alrededor del mundo. Este posee una gran diversificación, pudiendo variar según tamaño, género, disciplina, clima, geografía, formalidad y también festividades y ritos.

La historia nunca se ha quitado los zapatos, desde la sandalia neolítica hasta el tacón de cuña de Salvatore Ferragamo o el actual barefoot, hace más de diez mil años que el ser humano lleva calzado. Los zapatos han pasado de tener un significado meramente utilitario y un simbolismo religioso a convertirse en

símbolo de poder y estatus; nos hablan de un modo de vivir y de pensar y revelan los usos sociales, los criterios estéticos, los modelos de producción y también las tragedias de cada época (González, 2024)

Según Semmelhack (2018), curadora del Bata Shoe Museum, la Revolución Industrial marcó un punto de inflexión en la fabricación de calzado. Con el surgimiento de la clase media nació también el calzado deportivo que es usado en momentos de ocio o descanso. Este concepto de calzado mantiene su vigencia hoy en múltiples estilos.

Dentro del calzado de uso diario se encuentran las sandalias, un diseño milenario que ha evolucionado a lo largo de la historia en su función y valor simbólico. Es así como en la antigua Roma, los soldados usaban las cáligas, que eran sandalias fabricadas con varias capas de cuero (Rodríguez et al., 2012), pasando por las ojotas que es un calzado típico del campesino chileno, fabricada de cuero o de neumático (Educar Chile, s.f.), hasta la actual sandalia o

"chala" generalmente hecha de goma, que en la actualidad ocupa un lugar importante en el vestir casual de las personas.

Dentro de los componentes del calzado, la suela cumple una función esencial en las características que se buscan. Siendo la superficie de contacto con el suelo (Instituto de Biomecánica de Valencia, 2002), elementos como la calidad, confort y durabilidad deben estar presentes en los productos que se ofrecen.

En el presente proyecto se abordará el desarrollo de un calzado del tipo sandalia, que cumpla con los requerimientos de confort, higiene y seguridad, factores necesarios para el día a día de quienes utilizan este tipo de calzado. El principal enfoque estará en la elaboración de una suela, utilizando la tecnología aplicada al diseño, lo cual permitirá diversificar la oferta y mejorar los estándares de calidad para obtener pares que cumplan con las necesidades y preferencias de los consumidores.

# Planteamiento del problema

## Problemática

Las sandalias son un tipo de calzado utilizado de manera transversal en la sociedad chilena, sin embargo, los modelos que existen en el mercado presentan algunos inconvenientes relacionados principalmente con la higiene, el confort y la seguridad, como hemos comprobado en una encuesta realizada en este proyecto a 60 personas

Los materiales utilizados en la elaboración de suelas para sandalias dependen del tipo de sandalia y su uso, siendo las más comunes las elaboradas a partir de polímeros plásticos, que son compuestos derivados de hidrocarburos, como el petróleo o el caucho (Faster Capital, 2024). Entre ellos se encuentran la goma, EVA (etileno-vinil-acetato), poliuretano y PVC (Policloruro de Vinilo) (CAIP, 2024), elementos que pueden presentar inconvenientes en cuanto a su deformación, durabilidad, resistencia e higiene (CICASA, 2024)

La industria del calzado está entrando en un nuevo período, en que la tecnología, el diseño y la sostenibilidad confluyen para crear zapatos que no son solo una parte de un ropero sino una extensión de la identidad digital y ética. La tecnología inteligente está destinada a redefinir la funcionalidad del calzado (Serma, 2024)

## Diagrama Sistémico del Problema

El diagrama representa de manera visual y estructurada el funcionamiento del proceso de fabricación de calzado, mostrando las interacciones entre sus elementos clave y las áreas donde ocurren las fallas o desafíos.

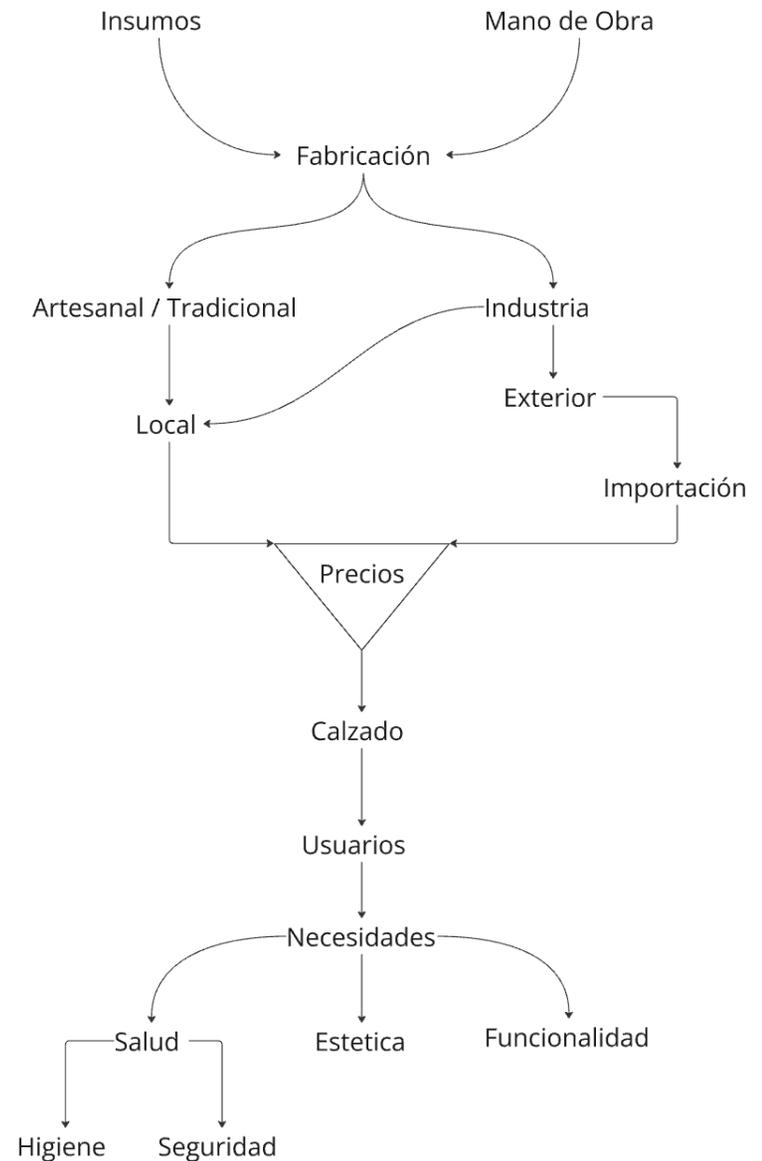


Figura 1. Diagrama sistémico del problema. Elaboración propia.

# Pregunta de investigación

## Pregunta Movilizadora:

El proceso de pregunta movilizadora es una metodología que permite identificar y abordar problemas específicos dentro de un contexto determinado. A través de la definición de un desafío, la selección de una temática, el análisis de la problemática y el descubrimiento de hallazgos, se formula una pregunta de investigación que guía el estudio.

<b>Desafío</b>	Falta de diversidad de tecnología aplicada a la suelería
<b>Temática</b>	Baja oferta y variedad de suelas para el calzado de sandalias.
<b>Problemática</b>	Los materiales de los que están hechas las suelas de las sandalias poseen inconvenientes en cuanto a su deformación, firmeza e higiene
<b>Hallazgo</b>	El método de 'Lattice Hinges' y el diseño paramétrico junto con el uso de tecnología digital permite flexibilizar materiales rígidos y crear formas que se adapten a usuarios específicos, los cuales pueden ser utilizados para suplir las necesidades de una suela.
<b>Pregunta</b>	¿Cómo puede la implementación del método de 'Lattice Hinges' y el diseño paramétrico, junto con el uso de tecnología digital, contribuir a la creación de suelas para sandalias que superen los inconvenientes de deformación, funcionalidad e higiene, y al mismo tiempo aumentar la diversidad y variedad de opciones en el mercado?

## Preguntas secundarias

- ¿Qué beneficios tiene la utilización de tecnología digital en el diseño y elaboración de suelas para la fabricación de sandalias, usando materiales menos tradicionales?
- ¿En qué etapas del proceso productivo de la elaboración de calzado es más práctica la utilización de tecnología digital y herramientas de diseño y en cuáles es preferible el método tradicional preexistente?

## Objetivo general

Desarrollar una suela para sandalia con la técnica de Lattice Hinges, utilizando como material principal la madera, con el fin de crear una suela que sea firme, flexible e higiénica, con una perspectiva de diseño personalizado, a través del uso de tecnología digital.

## Objetivos específicos

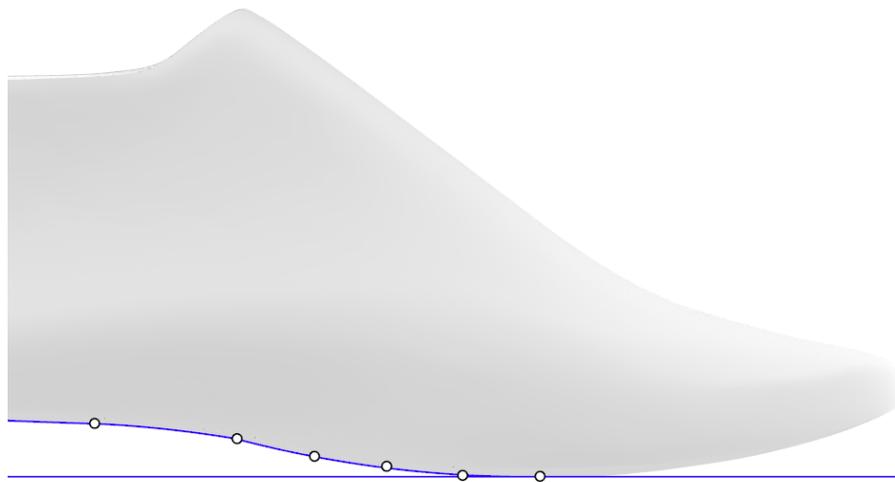
- Identificar herramientas digitales para implementar en la creación de suelas, entendiendo las etapas de la producción de calzado, para optimizar la producción en menor escala.
- Reconocer y clasificar cuáles son los parámetros y atributos que una sandalia debe tener para cumplir con las necesidades de los usuarios.
- Potenciar el énfasis en la personalización del calzado durante el proceso de diseño, para acelerar la diferenciación del calzado.
- Fabricar una sandalia con el apoyo de tecnologías y herramientas digitales para el diseño y confección de su suela, para comprobar el híbrido de herramientas y procesos investigados.

# Estrategias de Diseño Utilizadas en el Desarrollo del Proyecto

## Descripción de Estrategias

Este proyecto utiliza una combinación de enfoques centrados en el usuario, el diseño paramétrico aplicado a la biomecánica, el método tradicional de fabricación de calzado y una revisión cultural y económica del contexto local y global del calzado. A continuación, se describen las estrategias de diseño implementadas.

**Diseño Centrado en el Usuario:** Esta estrategia de diseño tiene como objetivo principal desarrollar un calzado que responda a las preferencias y necesidades de comodidad de los consumidores. Para fundamentar esta definición, se realizaron encuestas a 60 personas sobre aspectos como comodidad, estilo y funcionalidad de las sandalias. Los datos recopilados permiten que el diseño final esté alineado con las expectativas de los futuros usuarios y posibilitan la personalización de elementos ergonómicos y estéticos. La implementación de esta estrategia asegura que el producto no solo sea atractivo visualmente, sino que también proporcione comodidad y funcionalidad.



**Diseño Paramétrico y Biomecánica Aplicada** :El enfoque paramétrico y biomecánico se utiliza en el diseño de la entresuela basándose en la fórmula adaptada del sistema de diseño de hormas de zapatos AKA 64, en la que se calcula la curva ideal de la planta del pie y la altura del talón, permitiendo así una adaptación óptima a la anatomía del pie. Este enfoque paramétrico introduce al diseño de calzado un componente científico, generando un producto que proporciona ventajas significativas en términos de confort y ergonomía.

El diseño de la suela utiliza la tecnología de lattice hinges o bisagras de celosía, que es un método de flexión en frío que permite dar curvatura al material utilizado, en este caso la madera, a través de cortes en paralelo utilizando la fórmula desarrollada por DefProc Engineering.

**Diseño Artesanal:** La implementación de métodos de fabricación tradicionales de calzado, en colaboración con maestros zapateros locales, refuerza el valor de la sostenibilidad en el proyecto. Las entrevistas realizadas a dos maestros zapateros aportan conocimientos técnicos y prácticas artesanales que promueven la durabilidad del producto y reducen el impacto ambiental frente a métodos de producción industrial. De este modo, el diseño artesanal de esta sandalia contribuye al desarrollo local y fomenta el respeto por el oficio zapatero, alineándose con las tendencias actuales hacia un consumo consciente y sostenible.

**Investigación Histórica y Cultural:** A través de la revisión bibliográfica de la historia del calzado y su situación actual en el contexto global y local en Chile, se construye un marco contextual que enriquece el diseño final de la sandalia. Este análisis permite comprender el desarrollo del calzado a lo largo del tiempo, identificar tendencias y desafíos actuales, y valorar la relevancia del calzado en el contexto cultural chileno. Esta perspectiva histórica y cultural refuerza el enfoque del proyecto, no solo en la funcionalidad del producto, sino también en su vinculación con la realidad social y cultural de los usuarios.

## Ventajas y Proyección Disciplinar

El diseño propuesto en este proyecto presenta una serie de ventajas tanto en su aplicación metodológica como en los posibles enfoques futuros dentro del diseño de calzado y el diseño industrial en general.

**Ventajas del Proyecto:** La combinación del diseño paramétrico con tecnología de lattice hinges en la suela de la sandalia proporciona un calzado con una estructura adaptable a la ergonomía del usuario. Este tipo de diseño proporciona una nueva alternativa para la elaboración de suelas de manera local a un precio más competitivo, además de permitir un diseño personalizado según los requerimientos específicos del pie de cada usuario.

**Oportunidades para el Diseño de Calzado:** La incorporación de diseño paramétrico basado en datos biomecánicos abre la puerta a un campo en el que la suela del calzado pueda adaptarse a las características individuales del usuario. Además, este enfoque puede servir como referencia para futuros diseñadores interesados en integrar ergonomía y personalización en la fabricación de

calzado de descanso, que generalmente no incorpora estos factores, destacándose como una innovación en el diseño de calzado que responde a las demandas contemporáneas de comodidad y adaptación al usuario.

**Contribución a la Disciplina del Diseño:** La combinación interdisciplinaria de biomecánica, diseño paramétrico y métodos artesanales representa una contribución significativa al campo del diseño de calzado. Este proyecto demuestra que es posible fusionar tecnología avanzada con saberes tradicionales para crear productos que sean simultáneamente ergonómicos y culturalmente relevantes. Esta aproximación multidisciplinaria no sólo añade valor al diseño de calzado, sino que también sienta las bases para investigaciones futuras en diseño de productos que busquen equilibrar innovación tecnológica, sostenibilidad artesanal y valoración de la identidad local del país.

## Conclusiones Preliminares

**Reflexión sobre el Proceso de Diseño:** La integración de un enfoque centrado en el usuario, junto con la aplicación de métodos paramétricos y biomecánicos, ha permitido desarrollar una propuesta de calzado que responde a las necesidades identificadas en la fase de investigación. La información obtenida con maestros zapateros ha sido fundamental para comprender a profundidad las necesidades del rubro, su flujo de trabajo y valorar la historia y tradición de este antiguo oficio.

**Evaluación de los Objetivos:** El proyecto ha logrado avanzar significativamente en los objetivos propuestos. La recopilación de información mediante encuestas y entrevistas ha permitido consolidar una comprensión de las necesidades de los usuarios y las características del proceso artesanal. Esto ha reforzado la validez del enfoque paramétrico y ergonómico en el diseño de la suela, confirmando que el proyecto es viable y alineado con los requerimientos del proyecto.

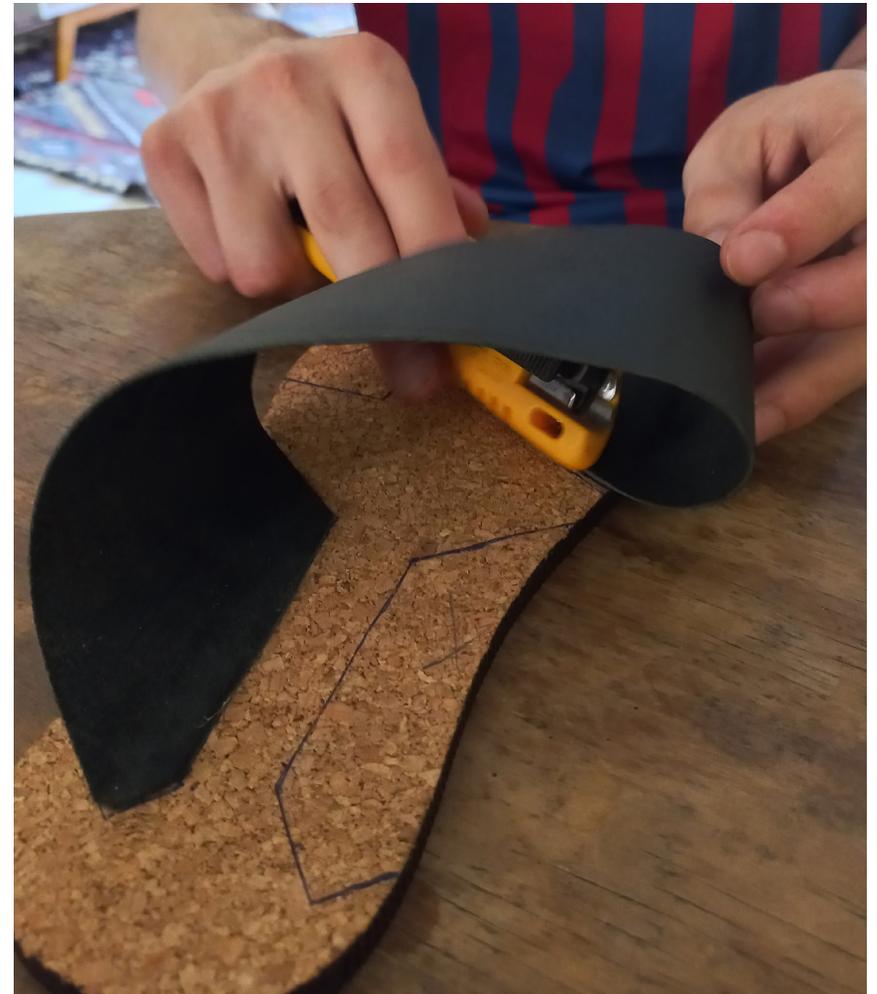


Figura 2. Proceso de armado. Elaboración propia.



# Antecedentes y Marco Teórico

2

Figura 3. Trabajadores del taller de Jorge Teke, 1967 (Memorias del siglo XXI, s.f.)

## Diseño Paramétrico

El diseño paramétrico, que tiene sus raíces en la matemática, se define como un método de diseño no lineal basado en parámetros predefinidos que controlan las relaciones entre ellos para definir una geometría. Este enfoque permite a los diseñadores crear innumerables variaciones y soluciones en sus diseños (Christodoulou, 2020).

El modelado analítico-paramétrico es un proceso que permite generar elementos geométricos utilizando un enfoque analítico, donde sus dimensiones y proporciones se determinan a partir de valores específicos conocidos como parámetros, definidos previamente por un programador. Este método tiene como objetivo modelar sistemas basados en características y parámetros, estableciendo una relación entre dimensiones y variables geométricas que permite que la geometría se actualice automáticamente cuando los parámetros cambian, generando formas adaptadas a los nuevos valores (Lucic, 2009).

Este enfoque se vuelve especialmente relevante en áreas como la personalización y el diseño para usuarios específicos, ya que permite adaptar las proporciones y características geométricas de un producto en función de parámetros predefinidos, facilitando la creación de soluciones personalizadas. En el diseño de calzado, por ejemplo, este enfoque permite ajustar fácilmente la geometría de las hormas para adaptarse a la forma particular del pie, mejorando el ajuste y la comodidad. Además, al actualizar automáticamente la geometría cuando los parámetros cambian, se optimiza el proceso de diseño, reduciendo tiempos y costos asociados con modificaciones manuales.

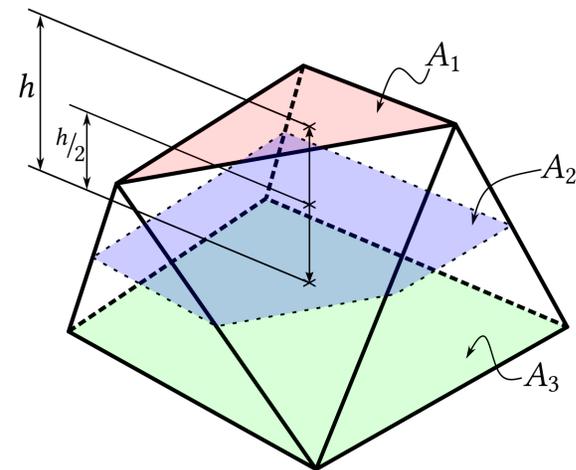


Figura 4. Parámetros de un prismoide (Baltakatei, 2019).

## Lattice Hinges

Lattice Hinges o también conocido como bisagras de celosía es un método de flexión en frío, que permite insertar una curvatura de forma paramétrica sobre un plano (Jimeno, s.f.) .

Las bisagras reticulares se forman cuando un conjunto de cortes superpuestos y paralelos dividen una lámina plana en secciones más delgadas y unidas que pueden deformarse más fácilmente que la lámina sólida. Al dividir la lámina en una serie de columnas paralelas, cada columna puede torcerse a lo largo de su propia longitud para permitir que la lámina forme una curva al girar alrededor del eje de estos enlaces torsionales . La flexibilidad de la unión está determinada por las propiedades del material de la placa y la geometría (longitud de los cortes superpuestos y área de la sección transversal) de los enlaces torsionales (DefProc, s.f.)

Este método está inspirado en el Kerfing (Jimeno, s.f.), que provee una solución fácil y práctica para el doblado de madera con fines no estructurales y consiste en realizar una serie de cortes perpendiculares, en dirección de la curva deseada, para reducir el

espesor del material, lo que incrementa su flexibilidad en lo que se denomina la membrana y permite que exista el espacio necesario, entre cada costilla, para que la madera doble

Este sistema aplica el principio de compliant mechanisms para crear estructuras que, sin necesidad de piezas adicionales, pueden adaptarse a fuerzas aplicadas y recuperar su forma. Este enfoque permite el uso de materiales alternativos en aplicaciones donde la flexibilidad y la ligereza son fundamentales, proporcionando diseños más eficientes en términos de producción.



Figura 5. Retícula de lattice hinges en madera (Dukta, s.f.).

## Compliant Mechanism

Larry Howell es un académico e ingeniero mecánico reconocido por su trabajo pionero en el desarrollo teórico de los “Compliant Mechanism”.

Según Howell (2001), un “mecanismo” es un sistema mecánico diseñado para cambiar o transmitir movimiento, fuerza o energía. Mientras que los mecanismos tradicionales están compuestos por cuerpos rígidos conectados a través de articulaciones móviles, los mecanismos flexibles logran la transmisión de estas propiedades gracias a la elasticidad de los materiales que los conforman. A diferencia de los mecanismos rígidos, los mecanismos flexibles o complacientes obtienen su capacidad de movimiento mediante la flexión de sus componentes en lugar de depender únicamente de articulaciones móviles.

Una de las principales ventajas que poseen los mecanismos flexibles es la capacidad de minimizar considerablemente la cantidad de piezas necesarias para cumplir una tarea específica.

Algunos diseños incluso permiten fabricar todo el mecanismo utilizando una sola pieza haciendo uso de técnicas avanzadas, como el moldeo por inyección. Además, estos mecanismos al no contar con articulaciones móviles, disminuyen el desgaste por fricción, como sí ocurre en las piezas de los mecanismos de enlaces rígidos, reduciendo la necesidad de lubricación. Esto representa una ventaja especialmente útil para reducir costos, debido a la reducción del número de piezas y tiempo de montaje, y la simplificación del proceso de fabricación, además de aumentar el rendimiento, con la reducción del desgaste, del peso y del mantenimiento (Howell, 2001).

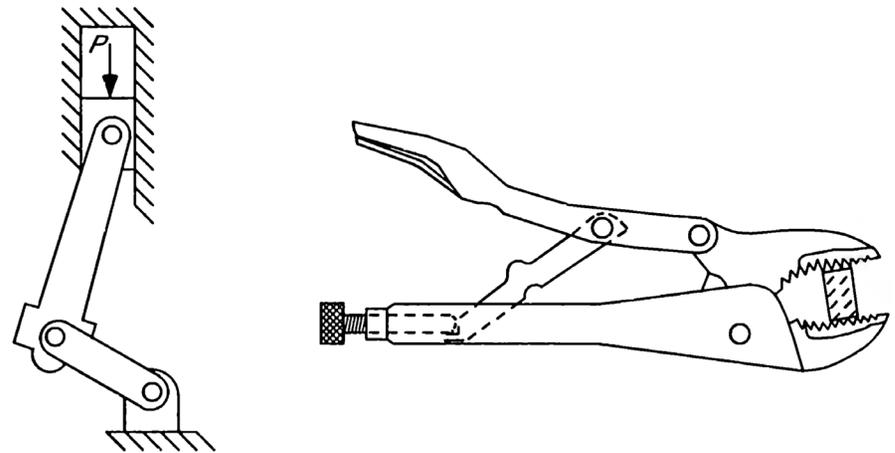


Figura 6. Comparación entre mecanismo flexible y articulado (Howell, 2001)



Figura 7. Mizuno Wave prophecy (Hypebeast, 2023)

En este contexto, los lattice hinges también forman parte de estos mecanismos, utilizando estructuras reticuladas para crear flexibilidad en materiales sólidos bajo el mismo principio de los Compliant Mechanism.

## Kerfing

La técnica tradicional de ranurado o kerfing (en inglés), consiste en realizar pequeñas y sucesivas incisiones en la madera, de forma de debilitar el material a un punto tal en que se pueda flexionar unidireccionalmente para alcanzar la curvatura deseada. Esta técnica permite la elaboración de piezas de madera de curvatura simple con gran precisión, que pueden ser utilizados en con fines ornamentales, funcionales o en piezas estructurales menores (Loyola et al., 2017)

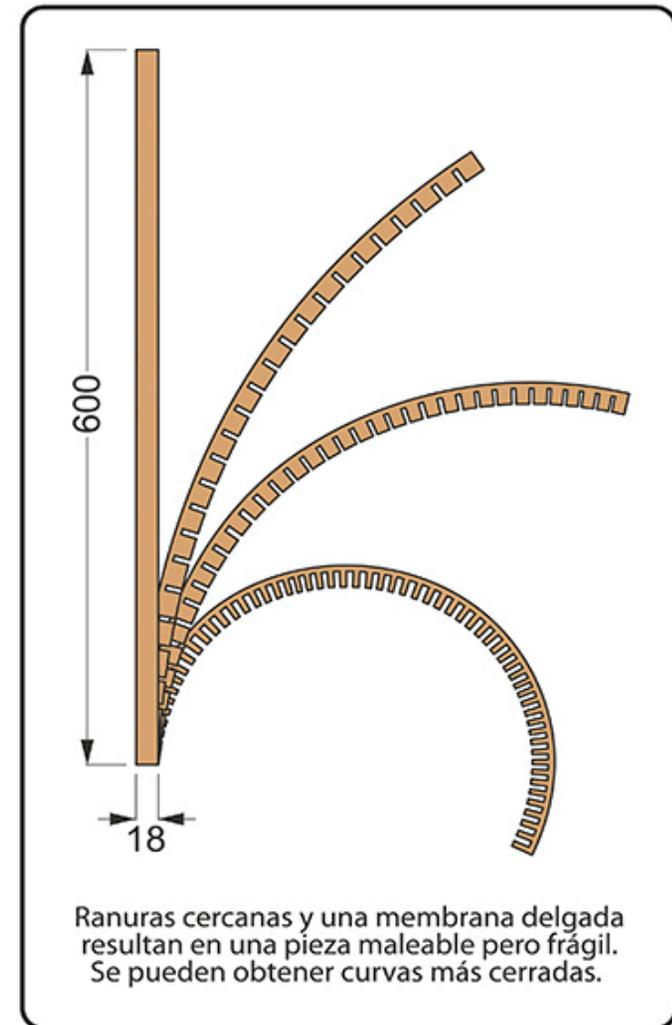
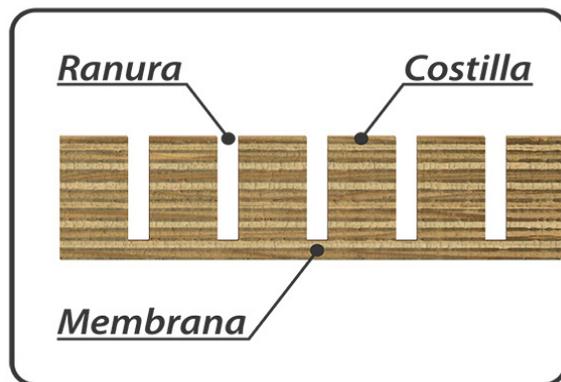


Figura 8 y 9. Esquemas de kerfing (Victoria, s.f.)

## Ergonomía

La ergonomía, en un enfoque multidisciplinar, trata de comprender y optimizar de una manera integral, la relación entre las personas y su entorno, interconectando los aspectos de calidad, eficiencia y condiciones de trabajo, para hacerlos compatibles con las necesidades, capacidades y limitaciones de las personas (ISPCh, 2020). )

Para una correcta selección del calzado siempre hay que tener presente la diversidad existente entre los usuarios. Por ejemplo, en el ámbito laboral, hay que considerar las diferentes actividades desempeñadas por los trabajadores para asegurar la adecuación del calzado a las mismas. También es importante considerar que , al igual que en calzado no laboral, los requerimientos funcionales varían en las distintas épocas del año

Cabe mencionar que la antropometría y la ergonomía son disciplinas relacionadas, pero con enfoques diferentes. Mientras la antropometría se refiere a la medición de las dimensiones corporales, la ergonomía aplica esos datos para diseñar productos

y ambientes que optimicen el confort y el rendimiento de las personas.

La investigación y estudios en el área del calzado están enfocados en el área de la salud por especialistas en las áreas de la ortopedia, la kinesiología, traumatología, ergonomía y educación física. Pero si buscamos sobre el desarrollo e innovación en el calzado con una mirada desde el diseño, los resultados están enfocados en el styling, y no proyectos centrados en el usuario, prevaleciendo la estética en relación al confort (Marinho, 2016).

Lo anterior abre una posible oportunidad de aumentar los aportes sobre la investigación del calzado desde la disciplina del diseño y que posean una mirada con foco principal en el usuario. Esto no quiere decir que la estética no debe estar presente en el desarrollo de esta industria sino que, al contrario, debe estar integrada a ella.

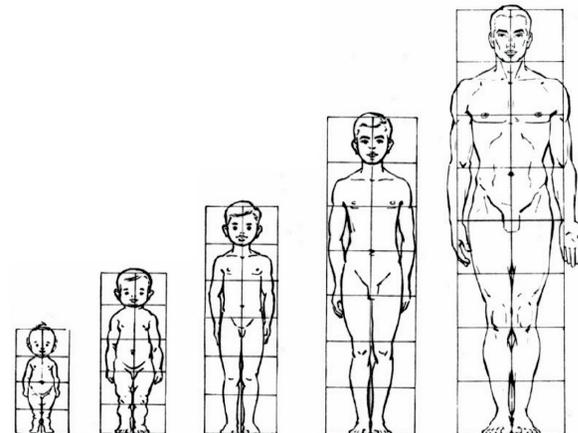


Figura 10. Proporciones del cuerpo humano (Imagen retribuida de Pinterest, s.f.)

## Antropometría del Pie

La antropometría está definida como el estudio cuantitativo de las características físicas del cuerpo humano, y etimológicamente deriva del griego anthropos (hombre) y metrikos (medida).

Existen dos áreas principales en su estudio, la antropometría estática y la antropometría dinámica. La primera, también llamada estructural, tiene por objeto la medición de las dimensiones estáticas del cuerpo, es decir, con el cuerpo en una posición fija. Por el contrario, la antropometría dinámica o funcional tiene por objetivo medir las dimensiones dinámicas del cuerpo, por lo que son realizadas a partir del movimiento relacionado a algunas actividades (Valero, s.f.).

En este estudio, dado que el pie es una parte del cuerpo que está en constante movimiento y que el uso de calzado está precisamente destinado a proteger y mejorar su desempeño al moverse, es crucial considerar ambas ramas de la antropometría.

Al caminar o realizar cualquier actividad, factores como la longitud del pie, el movimiento de los tobillos, la postura de la pierna e

incluso el balance del cuerpo completo interactúan de manera coordinada. Esta unión de factores hace que los problemas espaciales en el diseño de sistemas ergonómicos, como el calzado, se vuelvan más complejos de resolver.

Debido a estas exigencias, en la fabricación artesanal de calzado lo más común es recurrir a la antropometría estática, que mide el pie en posiciones fijas. Aunque esta aproximación es más accesible en términos de tiempo, costo y equipamiento, reduce algunos factores críticos relacionados con la comodidad y el rendimiento óptimo del calzado.v

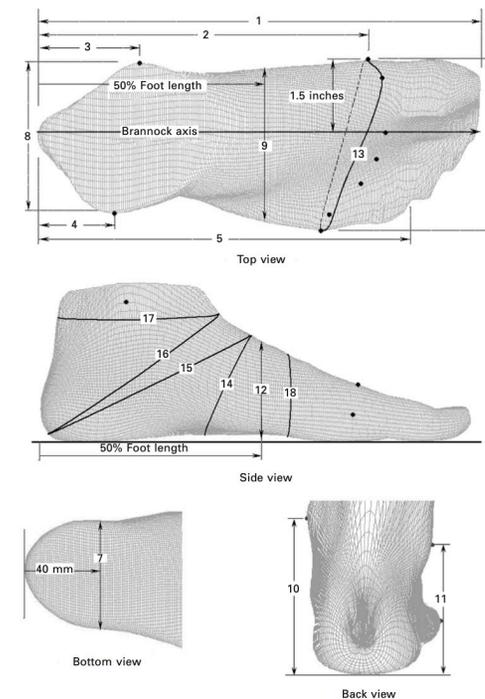


Figura 11. Dimensiones del pie (Luximon citando a Witana et al., 2006)

## Personalización Masiva

La personalización masiva cumple un papel fundamental en la elección de los elementos que formarán parte del entorno del usuario, reconociendo su individualidad. Este aspecto es especialmente relevante en las generaciones más jóvenes, quienes construyen su identidad a través de los objetos que eligen (Arbaiza, 2013).

Cuando se habla de personalización masiva, se refiere a un sistema que permite la creación y adaptación de productos de manera rápida y eficiente, similar a la producción en masa (Arbaiza citando a Davis, 1996). Esto se debe a que hay tantas variaciones posibles de un producto como usuarios que lo utilizan, y esta diversidad se incrementa a medida que el consumidor experimenta cambios en sus percepciones, deseos y necesidades (Arbaiza, 2013).

# Calzado

Cuando hablamos de calzado nos referimos a una prenda o indumentaria que cubre el pie, con el fin de protegerlo, facilitar alguna actividad, mantener su higiene o simplemente adornarlo, por lo que es un objeto indispensable para muchas personas alrededor del mundo.

El uso de calzado es milenario y cada grupo humano adoptó diferentes tipos de calzado a lo largo de la historia, de acuerdo a sus necesidades particulares y lugares geográficos en los que se encontraban.

Teniendo entendido lo anterior, es importante señalar que existen varios tipos de calzado dependiendo de su uso. Cada tipo de calzado está diseñado para cumplir funciones específicas, ya sea para actividades deportivas, formales, casuales o de trabajo.

De esta forma, los zapatos deportivos están diseñados para proporcionar soporte y comodidad durante el ejercicio, mientras que los zapatos de vestir son elegantes y se utilizan en ocasiones formales.

Además, el calzado puede variar en materiales, estilos y tecnologías, adaptándose a las tendencias actuales y a las necesidades de cada persona.

A continuación se describen cuatro tipos de calzado, que conceptualmente son atingentes a este proyecto

## Alpargata

Las alpargatas son un tipo de calzado que se caracteriza por tener una suela hecha de cáñamo o yute, trenzada o tejida, lo que les da una estructura flexible. La parte superior suele estar confeccionada de lona, algodón o materiales similares, y se unen a la suela mediante costuras visibles. Su diseño es típicamente sin cierres, lo que permite un fácil calzado.

Tradicionalmente las alpargatas se han asociado a la vida rural y con posterioridad pasaron a formar parte de los trajes folclóricos de algunas regiones de Europa y América Latina (Martin, 2016). Este modelo de calzado se mantiene vigente al día de hoy en diferentes ámbitos, principalmente como un calzado de descanso, con leves variaciones, pero manteniendo su esencia clásica en su materialidad y diseño.



Figura 12. Alpargatas (Toms Shoes, s.f.)

## Zapato de Cordón

Los zapatos de cordón son un calzado cerrado que se ajusta al pie mediante un sistema de cordones. Suelen tener una parte superior de cuero o material sintético, con suelas de diferentes materiales, dependiendo del modelo, como cuero, goma, EVA, entre otros. Este tipo de zapato se caracteriza por tener una puntera cerrada y un diseño que puede variar desde un modelo formal como los zapatos Derby y Oxford, hasta modelos casuales como las zapatillas deportivas.

## Calzado a medida o Bespoke

El calzado a medida o bespoke, se fabrica específicamente según las medidas del cliente. A diferencia de otros tipos de calzado que utilizan hormas de tamaños más estándar, en el calzado bespoke se toma una impresión precisa del pie del cliente y se crea una horma personalizada.

Este proceso requiere más tiempo, ya que cada par de zapatos se elabora de manera única para adaptarse perfectamente a la forma del pie del usuario.



Figura 13. Zapatero tomando medidas (Imagen retribuida de Freepik, s.f.)

## Sandalia

Las sandalias consisten en una suela que se sujeta al pie mediante correas. Las suelas pueden estar hechas de materiales como cuero, polímeros o madera. Las correas pueden ser simples o múltiples, y la estructura suele ser abierta, dejando el pie expuesto.

Las sandalias llevan presentes en la vida del hombre alrededor de diez mil años. Con la aparición de las civilizaciones antiguas pasaron de constituir un elemento funcional de la indumentaria a un símbolo de estatus social. Desde la Edad Media hasta el siglo XX, la moda ha estado marcada por las clases acomodadas, quienes no solían mostrar los pies o tobillos en público, por lo cual las sandalias quedaron prácticamente relegadas. Tras la I Guerra Mundial, las sandalias vuelven a incorporarse definitivamente a la moda, gracias a importantes creadores como el diseñador André Perugia, lo que ha permitido que el calzado abierto se transforme un accesorio imprescindible tanto de la moda como del lujo (Martin, 2016).



Figura 14. Sandalias Havaianas (Havaianas, s.f.)



## Modelaje en 3D

El modelado 3D es el proceso de crear representaciones tridimensionales de objetos mediante software especializado, utilizando técnicas como el modelado basado en polígonos, que construyen mallas flexibles a partir de vértices, y el modelado NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), que permite generar superficies suaves y precisas mediante curvas matemáticas, como en el software Rhinoceros. Otra técnica es el modelado sólido, utilizado en programas como Fusion 360, que emplea un enfoque paramétrico para crear y modificar objetos a través de operaciones booleanas. Este proceso incluye la texturización, donde se aplican materiales para simular la apariencia realista del objeto, y el renderizado, que produce imágenes o animaciones mediante algoritmos que simulan la interacción de la luz con las superficies.

## Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación aditiva que crea objetos físicos a partir de modelos digitales, añadiendo material capa por capa. Este proceso comienza con un modelo 3D que se divide en capas mediante un software de slicing, que traduce el diseño digital en instrucciones para la impresora. Existen diversas tecnologías de impresión, como la FDM (Fused Deposition Modeling), que utiliza filamentos termoplásticos que se funden y extruyen para construir el objeto, y la SLA (Stereolithography), que emplea un láser para curar resina líquida en capas. La impresión 3D permite la creación de geometrías complejas y personalizadas que serían difíciles de lograr con métodos de fabricación tradicionales, haciendo posible la producción rápida de prototipos y piezas finales.

## Vectorización o Dibujo CAD

La vectorización es el proceso de convertir imágenes rasterizadas (compuestas por píxeles) en gráficos vectoriales, que se basan en líneas y formas matemáticas, permitiendo escalabilidad sin pérdida de calidad. En el contexto del dibujo CAD (Diseño Asistido por Computadora), se utilizan herramientas especializadas para crear planos técnicos y diseños detallados, facilitando la representación precisa de objetos en 2D y 3D. Los software de CAD permiten a los usuarios dibujar y modificar formas utilizando "geometrías primitivas" como líneas, círculos y polígonos, lo que resulta fundamental en campos como la arquitectura, la ingeniería y el diseño industrial, donde la precisión es esencial.

para una amplia variedad de materiales, como madera, acrílico, metal y cartón.

## Corte Láser

El corte láser es una técnica de fabricación que utiliza un rayo láser de alta potencia para cortar o grabar materiales con gran precisión. Este proceso comienza con un diseño digital que se envía a una máquina de corte láser, la cual dirige el láser sobre el material, vaporizando o fundiendo el área en la que se aplica. El corte láser es un tipo de CNC (Control Numérico por Computadora), lo que significa que la máquina es controlada por un software que traduce el diseño digital en coordenadas específicas. Funciona en dos ejes, X e Y, permitiendo mover el láser a lo largo de la superficie del material para crear formas y patrones complejos. Es adecuado para una amplia variedad de materiales, como madera, acrílico, metal y cartón.



## Proceso Tradicional de Fabricación de Calzado

### Oficio de la Zapatería

La fabricación de un zapato es un proceso complejo desarrollado en varias etapas que se pueden agrupar en seis fases: diseño, patronaje, corte, aparado, montado y acabado. Cada fase está a cargo de un profesional específico, como el diseñador, patronista, cortador, etc., que además de dominar su área, tiene el conocimiento necesario del proceso completo para que entre todos logren la fabricación del zapato (Martin, 2016).

El desarrollo del sector zapatero en Chile comienza en el siglo XVI con el desarrollo de curtiembres que además de zapatos fabrican principalmente indumentaria agrícola (Kassai, 2020). Esta industria pasó de ser una industria artesanal altamente calificada a mediados del siglo XIX, a una que utilizaba maquinarias en casi todas sus operaciones, a finales del siglo XIX, con la incorporación de la máquina de coser y su adaptación al uso del cuero (Stern, 1939).

En 1870 existían 170 talleres artesanales de zapatos, llegando a 450 a finales del siglo (Kassai, 2020). En Santiago, el barrio Victoria, ubicado en la comuna de Santiago, en el sector denominado Matta Sur, nace a partir de las curtiembres que emergen en este período alrededor del Matadero Franklin, dando paso a un mercado especializado con la instalación de talleres dedicados al oficio del cuero y por consiguiente, al oficio del calzado, a lo largo de la calle Victoria (Estay, 2023).

En la década de 1930, la introducción de modelos de producción en masa modernizó la producción, aumentando la productividad y calidad. En las décadas de 1950 y 1960, se sumaron políticas de industrialización y sustitución de importaciones que fortalecieron el sector, llegando a consolidarse a comienzo de los años 70, con una industria del cuero altamente protegida (Kassai, 2000).

Tras la reducción de aranceles a partir de 1974, se produjo una fuerte caída en la producción local. Actualmente Chile tiene un reducido tamaño del mercado interno, con un bajo desarrollo sectorial por causas tecnológicas, de fomento y capacitación lo que impide su crecimiento, dificultando la respuesta frente a la competencia externa (Kassai, 2000). En ese sentido, el barrio Victoria ha logrado mantenerse y posicionarse en el rubro del calzado y el trabajo del cuero (Estay, 2023).

## Anatomía del Calzado

Según MA & Luximon (2013) la industria moderna del calzado consta de tres principales etapas:

- (i) diseño y fabricación de la horma.
- (ii) diseño y fabricación del patrón superior.
- (iii) diseño y fabricación de la suela.

A partir de la horma del pie se producen las piezas de la parte superior que darán como resultado el patronaje, el que luego es aparado y sobrepuesto en la horma, formando el cuerpo del zapato, que finalmente se une a la suela. Cada parte involucra un planteamiento y una técnica de producción diferente, siendo a la vez, cada una totalmente indispensable para la otra y para la confección completa de un calzado.

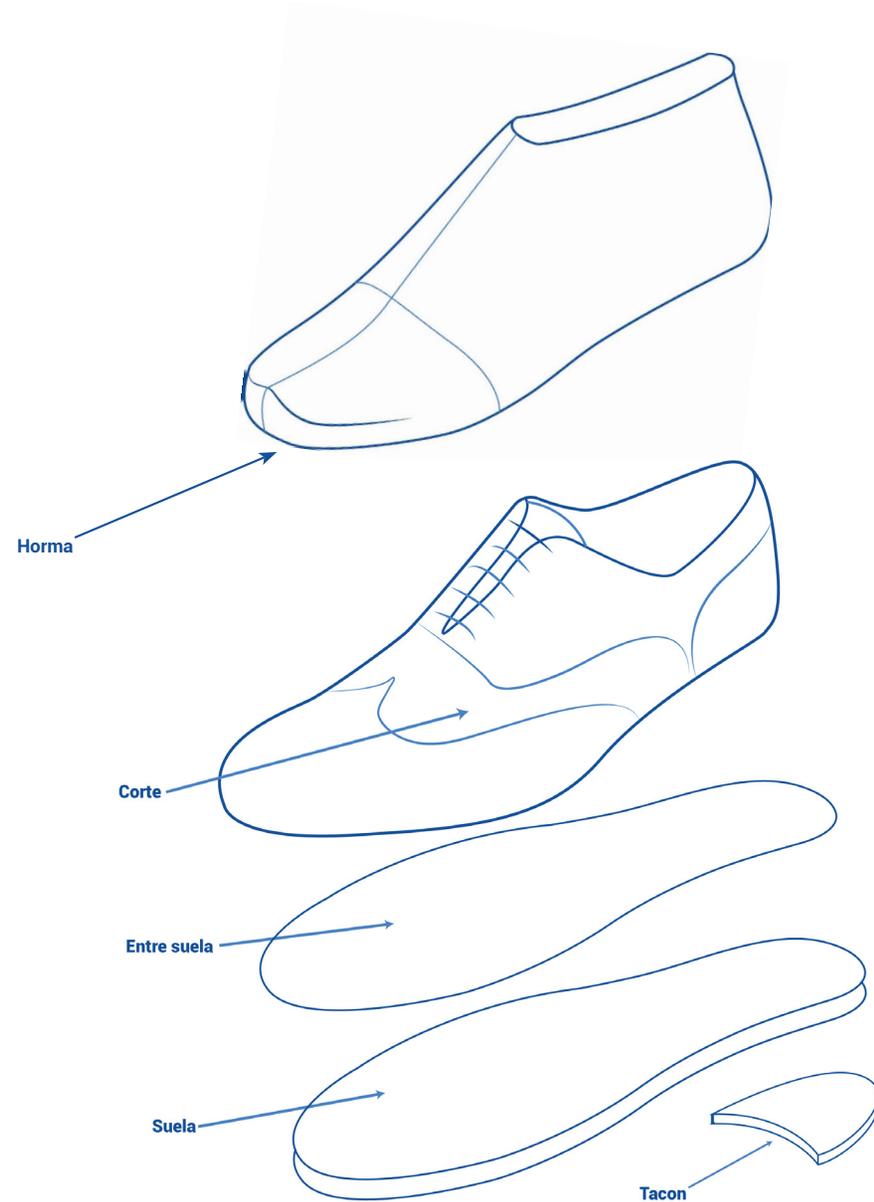


Figura 15. Diagrama explotado de las partes de un calzado. Elaboración propia.

## Horma

La horma es una representación tridimensional de la forma del pie y se utiliza en la fabricación del calzado para darle estructura y forma.

El diseño y la fabricación de la horma constituyen el núcleo de la tecnología del calzado. El diseño de la horma determina los estilos del empeine y otros accesorios. Por ejemplo, la forma de una suela exterior viene determinada por el patrón del fondo de la horma; la inclinación de un tacón debe coincidir con la curva de la caña de la horma; y el diseño de la forma de la puntera de una horma influirá en el diseño de la parte superior. La horma del zapato es tanto el molde como el soporte para unir la parte superior, la suela y otros accesorios en el proceso de fabricación. por tanto, influye no sólo en el estilo y la estética, sino también en el ajuste y la comodidad de los zapatos. (MA & Luximon, 2013)

Las hormas pueden estar hechas de diversos materiales, como madera, plástico o metal, y vienen en diferentes tamaños y formas para adaptarse a las distintas necesidades de diseño y comodidad del calzado.

La precisión en el diseño de la horma es esencial para garantizar que el calzado sea cómodo y funcional.



Figura 16. Hormas. Luximon & Luximon (2009)

## Patronaje

El patronaje de calzado se refiere al conjunto de patrones o moldes de las piezas que conforman el zapato. Estos patrones se crean a partir del diseño original y se utilizan para cortar los materiales que formarán el calzado.

La base del patronaje es la horma. Siempre que se realice un patrón, se parte del volumen para convertirlo en plano. Como la horma tiene dos caras, la interna y la externa, el diseño y por tanto el patrón, pueden ser simétricos (igual para las dos caras) o asimétricos (una cara es diferente a la otra) (Martin, 2016).

El proceso de patronaje incluye la creación de patrones para la parte superior (empeine), forros, plantillas y cualquier otro componente necesario.

Un patronaje preciso asegura que todas las piezas encajen correctamente durante el ensamblaje y que el calzado final tenga la forma y el estilo deseados.



Figura 17. Horma enmascarada sobre suela. Elaboración propia.

## Suela

Es la parte de un zapato, bota, zapatilla u otro artículo de calzado que entra en contacto con el suelo durante el uso. Su función principal es proporcionar tracción, soporte y protección al pie. Según Martin (2016), la suela cumple las funciones de aislar el pie del suelo y amortiguar la pisada; y dependerá del tipo de calzado la importancia que tenga cada una de estas funciones.

La suela está conformada, a grandes rasgos, de la entresuela y el tacón. Estas partes pueden estar fabricadas de diversos materiales como cuero, goma, madera, poliuretano o EVA (etileno-vinil-acetato), dependiendo del tipo de calzado y su uso previsto.

Además, las suelas pueden incorporar diferentes tecnologías para mejorar la comodidad, durabilidad y rendimiento del calzado, como amortiguación, resistencia al desgaste y propiedades antideslizantes.

## Tecnología del calzado

Hasta fines del siglo XIX los zapatos eran elaborados a mano y en forma individual. Con la Revolución Industrial se empezaron a fabricar en serie, sin embargo, las piezas de alta costura se siguieron produciendo a mano y a medida, con hormas personalizadas y materiales de acuerdo al estilo del diseñador y al gusto personal de cada persona (Espinoza, 2013).

La fabricación de calzado es una actividad interdisciplinaria que abarca diferentes técnicas (Medina, 2019). La incorporación integrada de las diferentes herramientas tecnológicas y softwares que existen en la actualidad, permiten obtener los parámetros indicados para la fabricación de un calzado con características específicas.

Tecnologías como el modelaje y la impresión 3D cada vez están siendo más utilizadas en el área del diseño, y si bien pueden ayudar de varias maneras en la industria del calzado, presentan algunas limitaciones, como la velocidad de producción, por lo que su uso está orientado a ser una herramienta para crear piezas esenciales

en el proceso de proyección de un calzado, como la impresión de hormas o piezas específicas para crear prototipos de calzado, más que en la fabricación de un calzado en sí (Medina, 2019).

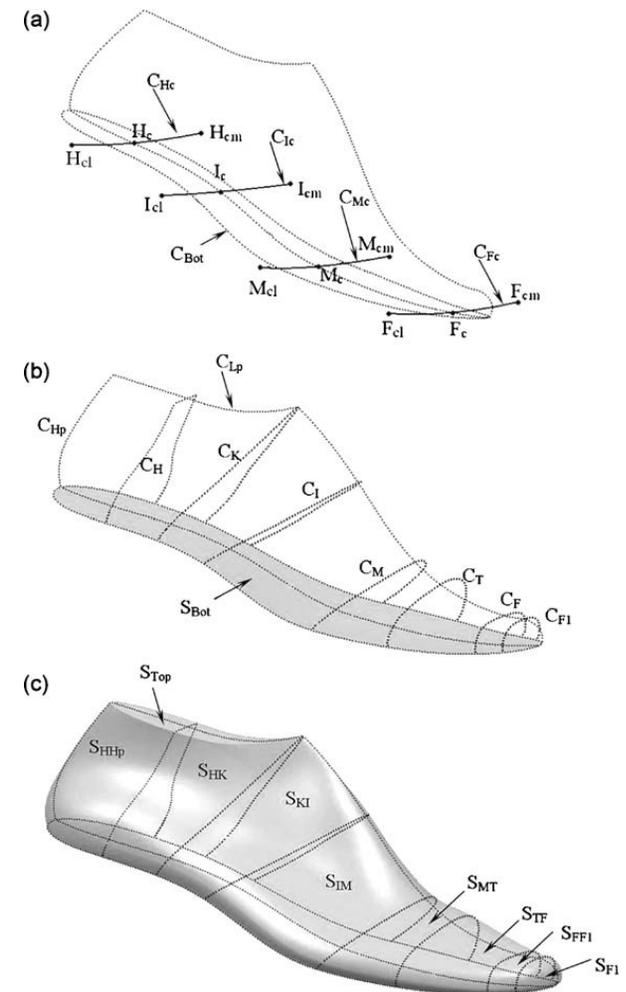


Figura 18. Secciones constructivas de la horma (Luximon & Luximon, 2009)

## Sistema de Diseño de Hormas

En la producción de hormas, las plantillas son fundamentales para la personalización masiva, ya que determinan el ajuste, la comodidad y el diseño del calzado. Las hormas, desarrolladas en fábricas especializadas, suelen partir de modelos preexistentes conocidos como hormas maestras, que los diseñadores ajustan manualmente para modificar elementos como la puntera, más orientada a la estética, o la parte trasera, enfocada en la comodidad. Estas modificaciones permiten adaptar el diseño a diferentes alturas de tacón, lo que afecta directamente el ajuste del zapato. A nivel internacional, cada país tiene normativas específicas para el diseño y clasificación de hormas. Entre los sistemas más destacados se encuentra el AKA64-WMS, creado en Alemania en 1964 y el sistema chino, desarrollado en 1984. Si bien tanto el sistema AKA64-WMS como el sistema chino cumplen con su propósito de generar y clasificar plantillas, el primero carece de directrices claras para evitar inconsistencias en su aplicación, mientras que el segundo, a pesar de basarse en estudios detallados

y tablas extensivas, presenta ambigüedades que dificultan su completa implementación. (Luximon & Luximon, 2009).

En el artículo "Shoe-last design innovation for better shoe fitting" (Luximon & Luximon, 2009), se entrega una extensa explicación de los parámetros que deben ser considerados para diseñar un calzado y especialmente, aquellas mediciones y líneas constructivas del pie que son más relevantes para la fabricación de una horma personalizada, de manera digital. El texto otorga las directrices para la construcción digital de hormas con enfoque en la personalización masiva para la industria del calzado, además de proporcionar plantillas, fórmulas y tablas de mediciones para facilitar la elaboración personalizada de una horma para calzado, tomando como base los sistemas preexistentes del sistema AKA64-WMS y el sistema chino para hormas.

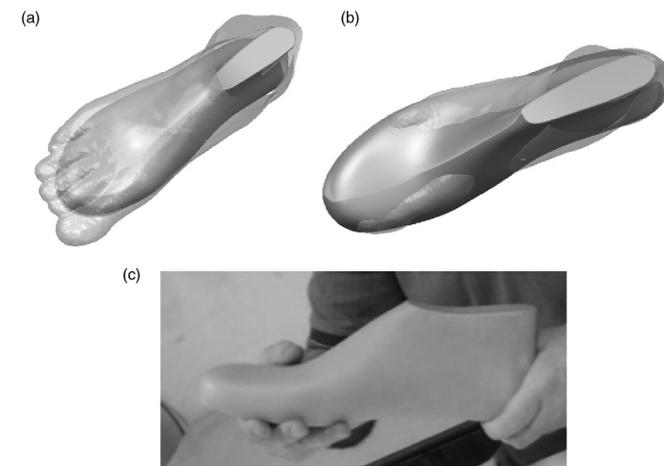


Figura 19. Adaptación digital de la horma al pie (Luximon & Luximon, 2009)

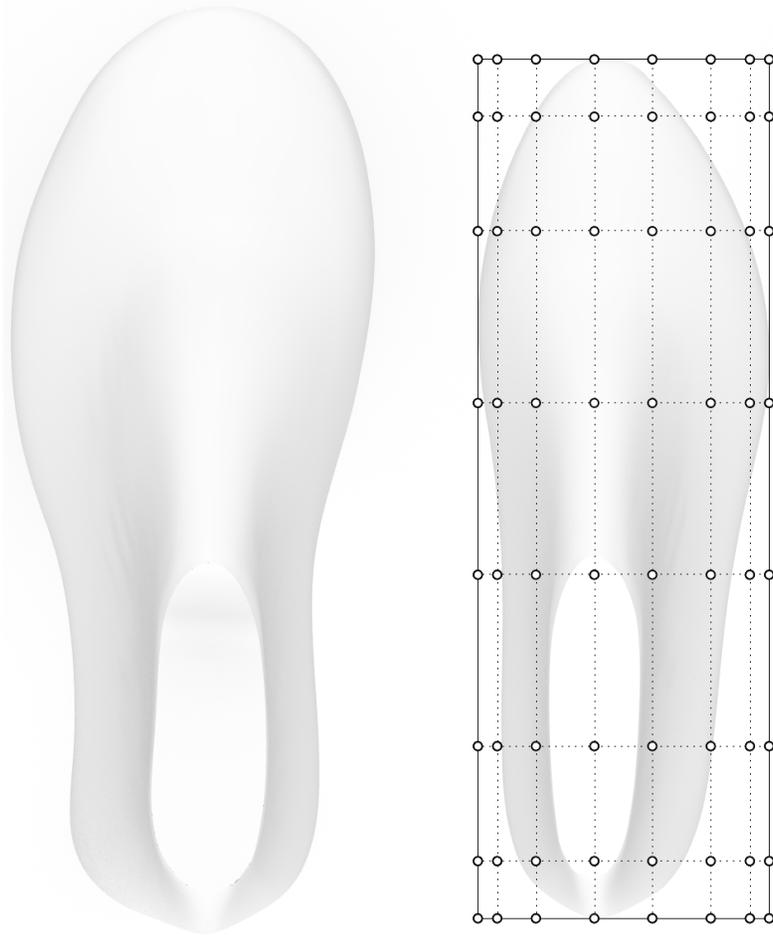


Figura 20. Personalización 3D de una horma. Elaboración propia.

## Diseño Paramétrico en Calzado

El diseño paramétrico, que comenzó a ser utilizado inicialmente en la arquitectura, ha revolucionado la manera en que se conceptualizan y crean estructuras, permitiendo a arquitectos y diseñadores generar formas complejas y adaptables mediante la manipulación de parámetros específicos, facilitando la personalización y optimización de los diseños, teniendo un impacto significativo en la industria del calzado.

En la última década, la industria del calzado ha sido testigo de un movimiento de investigación e innovación impulsado por el diseño paramétrico y la fabricación digital. Los diseñadores han comenzado a explorar nuevas posibilidades de personalización al vincular datos humanos directamente en el proceso de diseño y fabricación. Esto ha llevado a un cambio de la producción masiva a la personalización masiva, donde los consumidores pueden obtener productos adaptados a sus necesidades y preferencias. (Christodoulou, 2020).

El diseño 3D y especialmente la mayor accesibilidad a herramientas como las impresoras 3D han ido de la mano con el diseño paramétrico y el caso del calzado no es una excepción.

Ejemplo de ello son diseñadoras como Pauline van Dongen e Iris van Herpen que han sido pioneras en la incorporación de la fabricación digital en el diseño de calzado utilizando la impresión 3D.

En su trabajo, Van Dongen explora el potencial de la impresión 3D en su colección "Morphogenesis", colaborando con "Freedom of Creation" para explorar el potencial de la impresión 3D en el calzado. Por su parte, Iris van Herpen fusiona técnicas digitales avanzadas con materiales naturales en su estilo "organic futurism", creando geometrías complejas y productos como zapatos impresos en 3D que imitan la naturaleza. También, marcas como Adidas han adoptado la fabricación 3D con proyectos como "Futurecraft", que personalizan el calzado en función de las características anatómicas del usuario. (Christodoulou, 2020).

En resumen, el diseño paramétrico en calzado representa una evolución significativa en la forma en que se concibe y produce el calzado. Al integrar tecnología avanzada y datos humanos en el proceso de diseño, se abre un nuevo horizonte para la personalización y la innovación en la industria del calzado.

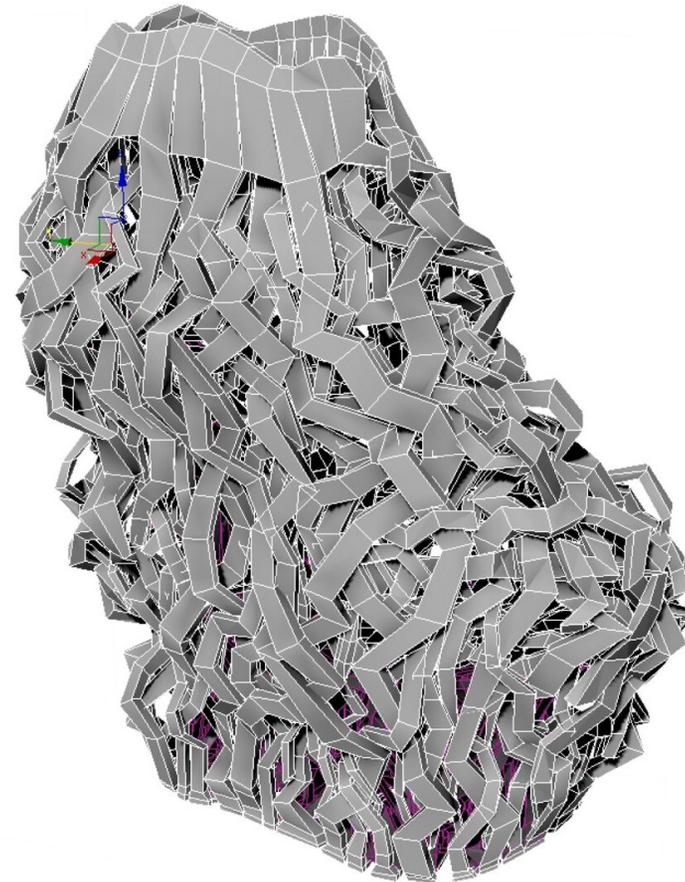


Figura 21. Render de zapato impreso en 3D por Iris Van Herpen (Kukucka, s.f.)

## Materialidad en Calzado: Orgánico v/s Sintético

El uso de madera y fibras vegetales en la fabricación de calzado no es una novedad, sino una práctica que ha estado presente en diversos modelos de calzado. Estos materiales ofrecen una alternativa más sostenible frente a los más comúnmente utilizados en la industria actual, que suelen derivar del petróleo, como los plásticos y otros materiales sintéticos. En un momento en que la industria mundial enfrenta la presión de reducir su impacto ambiental, la necesidad de explorar opciones más sostenibles se ha vuelto necesaria.

Si se realiza una comparación con los materiales comúnmente utilizados para la elaboración de suelas, se encuentra que los más utilizados son los plásticos y otros materiales sintéticos, debido a su bajo costo y versatilidad, pero que tienen un alto costo ambiental, tanto en su producción como en su disposición final.

En el caso particular de las sandalias, su impacto ambiental está bien documentado en el libro "Flip-Flop: A Journey Through Globalisation's Backroads" (Knowles et al., 2014). En este texto, la autora aborda una reflexión sobre la procedencia de las sandalias y el recorrido que siguen hasta llegar a los pies de los consumidores.

En el libro se menciona el recorrido de las sandalias, que comienza con la extracción de petróleo en el Medio Oriente, que luego es procesado en Corea para fabricar el plástico necesario. Este plástico es enviado a China, donde se manufacturan las sandalias, principalmente en la ciudad industrial de Fuzhou. Una vez producidas, las sandalias son transportadas a África Oriental, donde muchas de ellas son populares debido a su bajo costo y al clima cálido del continente. Sin embargo, tienen una vida útil corta, lo que genera grandes cantidades de desechos que terminan acumulándose en enormes basurales dentro de la región (Knowles et al., 2014). Así como en este ejemplo, la mayor parte de las sandalias en el mundo siguen un recorrido similar para llegar a los pies de sus consumidores.

"The materials from which flip-flops are made – plastic – may seem cheap and insignificant. But so many things in the world in which we live are made of plastics. In a world on the move, what could be more important than the shoes in which we tread the journeys of our everyday lives? And flip-flops are simple in design, cheap and accessible: they are worn by more people on the planet than any other shoes. In flip-flops we are all fellow travellers."

(Knowles et al., 2014)

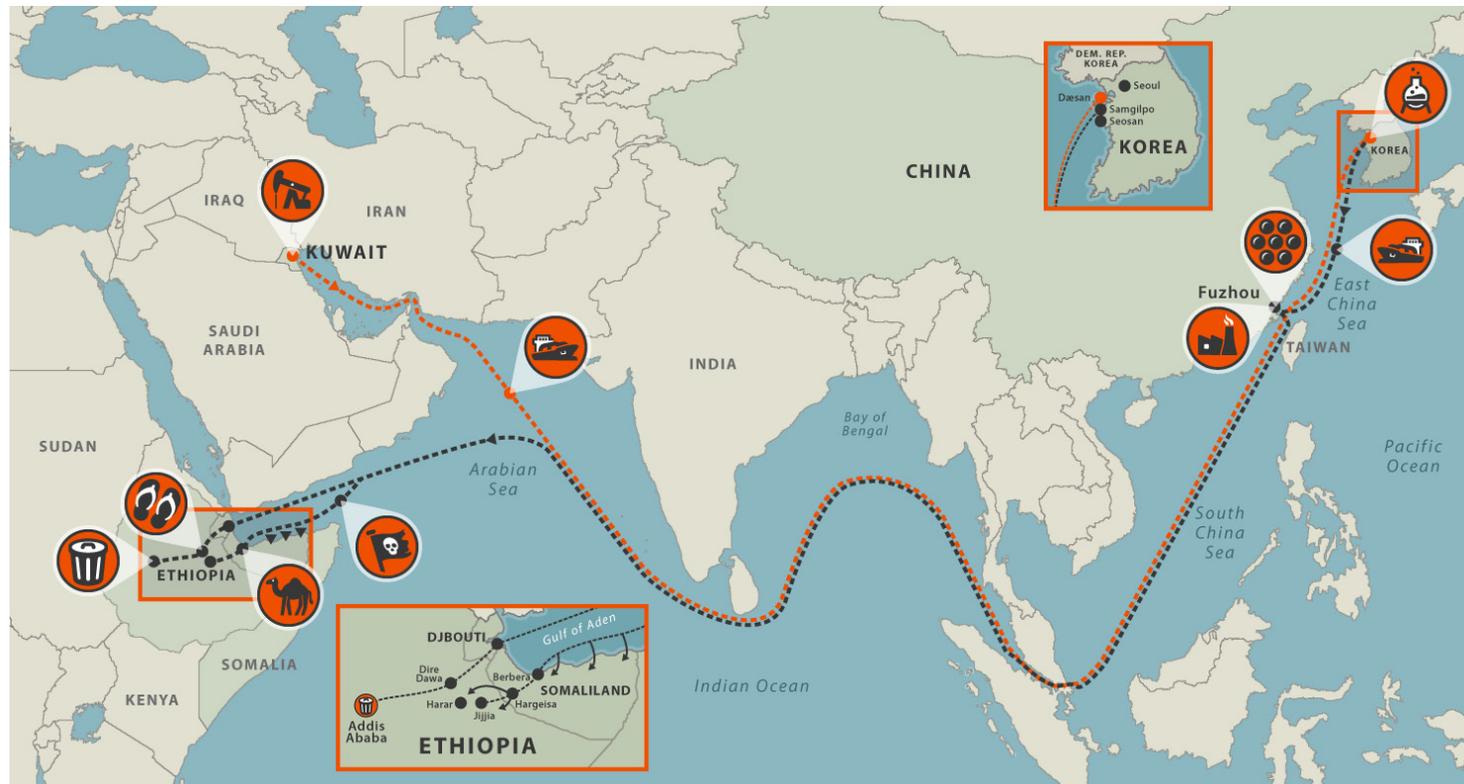


Figura 22. Mapa de la ruta de las sandalias (Knowles et al., 2014)

Además del impacto ambiental que estos materiales generan, existen otros aspectos negativos en su uso, que están asociados a la higiene y salud del pie. Se observa que por lo general estos materiales dificultan la ventilación del pie, pudiendo generar una sudoración excesiva, lo cual termina provocando malos olores y un ambiente propicio para la generación de hongos, características que se corresponden con los problemas que fueron descritos en las encuestas realizadas para esta investigación.

Por otro lado, el uso de madera y fibras vegetales, no se trata de un descubrimiento reciente, especialmente en lo que respecta a las suelas. Este tipo de materiales han sido empleados a lo largo de la historia y a día de hoy se pueden encontrar modelos que siguen aprovechando estos materiales en el diseño de sus suelas.

Entre sus características, además de ser un material más sustentable que el plástico, facilita la transpiración del pie, lo que ayuda a prevenir posibles problemas relacionados con la sudoración (Marin, 2011), como los ya mencionados. Esto se debe a que las fibras vegetales y la madera son un material higroscópico, o sea, que es capaz de absorber o liberar agua del entorno hasta alcanzar un estado de equilibrio con la humedad relativa del ambiente, mientras esta se mantenga estable (Popescu, 2017) lo que contribuye a mantener el pie seco.

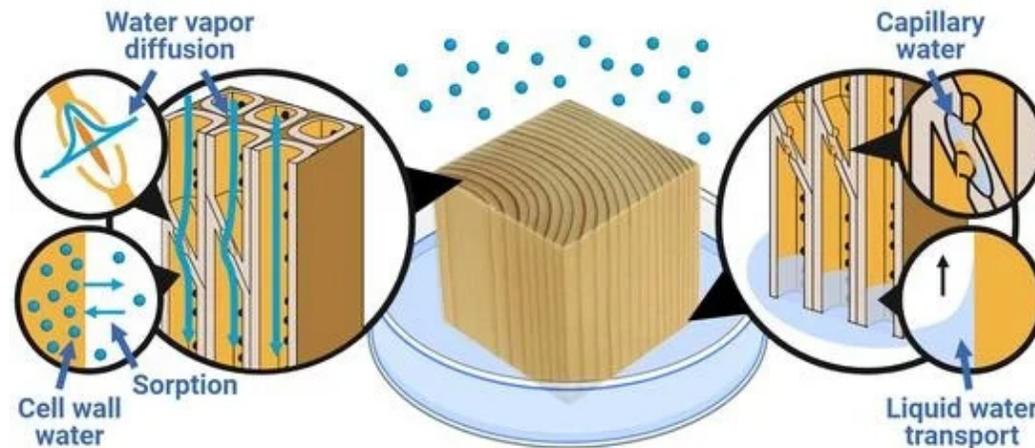


Figura 23. Propiedad higroscópica de la madera (Engelund et al., 2022)

Asimismo, en el caso particular de la madera, se caracteriza por tres propiedades térmicas principales: un calor específico elevado, lo que le permite absorber calor más lentamente que otros materiales como el metal o el vidrio, lo que mejora sus capacidades aislantes; una conductividad térmica baja, que aumenta con la humedad, la densidad y la temperatura, así como con la orientación de las fibras; y una difusividad térmica baja, debido a su baja conductividad y densidad moderada, lo que hace que la madera absorba calor de forma más lenta (Popescu citando a Czajkowski et al., 2016 , Glass & Zelinka, 2010) en comparación con el plástico.

Estas características hacen de la madera un buen aislante térmico, lo que reduce la acumulación de calor dentro del calzado, proporcionando mayor comodidad y evitando los problemas relacionados con la sudoración.

Entre los ejemplos de fabricación de calzado que emplean madera y fibras vegetales para sus suelas, destacan los siguientes:

### Alpargatas: Yute

Se caracterizan por tener una suela hecha de cáñamo o yute que se enrolla de tal manera que adquiere la forma de la plantilla para la suela, entregándole una estructura flexible.

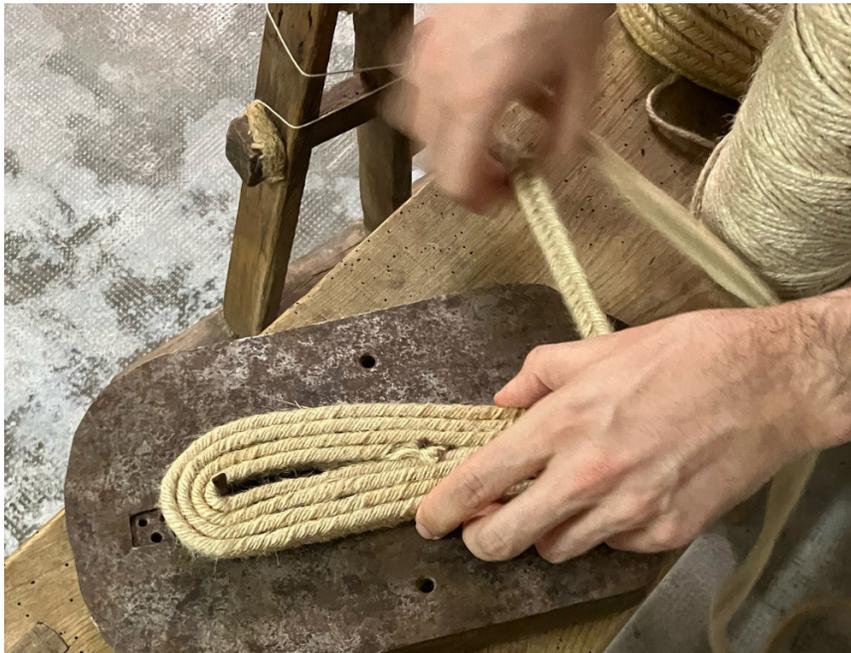


Figura 24. Elaboración suela de alpargata (Terra d' Espardenyes, s.f.)

### Birkenstock: Corcho

Las sandalias Birkenstock se caracterizan por poseer una entresuela hecha de corcho y látex, que permite amoldarse a la anatomía del pie en la medida que se usa. Su diseño incluye tiras ajustables de cuero o materiales sintéticos que se sujetan al pie, junto con una suela de goma.



Figura 25. Sandalia Birkenstock (Birkenstock, s.f.)

### Suecos: Madera

Originarios de los países del norte de Europa, eran tradicionalmente confeccionados completamente de madera, tanto la suela como el resto de la estructura del zapato, lo que los hacía robustos y duraderos. Hoy en día, la mayoría de los modelos solo mantiene la suela de madera, mientras que la parte superior se fabrica con materiales más livianos como cuero o textiles. Esta adaptación ha permitido que los suecos sigan siendo utilizados actualmente, conservando la esencia de la madera en la suela.



Figura 26. Sueco de madera (Nikolic, 2020)

### Geta: Madera

Las sandalias Geta son un tipo de calzado tradicional japonés compuesto por una base de madera plana con dos soportes inferiores que elevan al usuario del suelo. Se sujetan al pie mediante una correa en forma de "V" hecha de tela.



Figura 27. Sandalia Geta (Haragayato, 2005)

## Historia del Calzado: Relación entre lo simbólico, la estética y lo funcional.

La evolución del calzado tiene componentes diversos y la historia va mostrando, desde las culturas más antiguas, hasta la actualidad, que sus cambios son complejos y no lineales, donde lo simbólico, lo estético y lo funcional van aportando en las diferentes culturas y épocas.

El calzado que nos ponemos a diario o el que elegimos para ocasiones especiales, además de proteger nuestros pies, sirve para comunicar, pertenecer o resaltar en algún ámbito (González, 2019). Su origen es una respuesta a la necesidad del hombre de proteger y dar abrigo a sus pies (Bossan, 2007), no fue inventado por una persona en particular, y su creación es transversal en diversas culturas (Marinho, 2016).

Sus orígenes datan de 15000 años a.C. lo que da cuenta de que el ser humano desde tiempos remotos sintió la necesidad de proteger sus pies de las inclemencias del tiempo. Las primeras formas de calzado eran cubiertas de piel o primitivas sandalias elaboradas con rafia, hojas de palma o madera (Caliz & Miranda, 2011), y sus características estaban relacionadas a las condiciones del clima, la vegetación y la condición del suelo. El calzado podía identificar los distintos hábitats y tareas, dando indicios importantes sobre los estilos de vida de cada cultura (Bossan, 2007).

Con el tiempo, la función básica del calzado fue cambiando y adquirió valores simbólicos, como es el caso en la antigua sociedad egipcia, donde sólo el faraón y las máximas autoridades podían llevar calzado; o en Roma, donde los esclavos andaban descalzos y los criminales usaban pesados zapatos de madera (Shephard, 2008). También existía un componente social, en la antigüedad el calzado indicaba clases sociales, es así como en Roma los cónsules usaban zapatos blancos, los senadores zapatos cafés y las tropas botines con los dedos descubiertos (González, 2019).

Es a partir de la Edad Media, cuando los zapatos dejaron de tener un significado simbólico y comenzarían a popularizarse en función de su estética (Shephard, 2008)

La Revolución Francesa termina con todos los símbolos de la aristocracia, pero durante el Imperio de Napoleón Bonaparte los zapatos recuperan sus adornos y se incorporan nuevos materiales y zapatos acordes con diferentes tipos de actividades (MODO, 2013). En el ámbito mesoamericano, también tuvo un importante papel social y suntuario, y no solo relegado al plano funcional (González, 2019).

El surgimiento de la clase media en la era industrial permitió que las personas tuvieran mayor poder adquisitivo y por ende tiempo libre y de ocio, lo que conlleva a la invención de la zapatilla para satisfacer las necesidades en este ámbito (Simmelhack, 2018).

A comienzos del siglo XX se produce la incorporación de las mujeres en la esfera pública y su consiguiente emancipación, promoviendo un cambio en la modas del vestir femenino. Durante la Primera Guerra Mundial se incorpora el traje sastre y el calzado bajo en la mujer (Burbridge, 2007), en parte debido a que tienen que sustituir en el trabajo a los hombres que iban a la Guerra (Medina, 2019). En la década de 1920 se incorpora la falda corta, y el calzado adquiere formas menos convencionales, con colores inesperados y materiales renovados, como cocodrilo, lagarto y charol. Alrededor de la década 1930, se empiezan a elaborar zapatos con orificios y

tiras, dejando el pie al descubierto, lo que en el futuro se traducirá en las sandalias para uso estival (Espinoza, 2013). En la década del 50, comienza a surgir con fuerza el uso de las zapatillas, las que hasta hoy no solo se usan para hacer deportes, sino para la vida cotidiana e incluso para el trabajo (Medina, 2019). La llegada del taco aguja y los stiletos, pasan a ser una atractiva moda femenina en el calzado (Burbridge, 2007) y tuvieron su apogeo aproximadamente en 1958, aunque se continuaron usando hasta principios de la década siguiente. Durante este período, se masificó el uso de sandalias durante el verano, en versiones con taco para la noche y con plataforma para ocasiones más informales (Espinoza, 2013).

La escasez de materiales durante la guerra hace que el cuero sea sustituido por otros menos nobles, como sintéticos y textiles (Medina, 2019), es así como en la década de 1940 surge el nylon, usado en ropa e indumentarias, con la desventaja de ser un material no respirable, con bajo nivel de confort e higiene (Marinho, 2016). Materiales como el plástico fueron usados en la década del 60 por diseñadores vanguardistas como Pierre Cardin y André Courrèges (Espinoza, 2013).

A mediados de los sesenta se incorporan las botas en la moda femenina, y otros con un estilo más juvenil. A partir de esta década comienza una rápida evolución de estilos cada vez más variados, influenciado por movimientos políticos y sociales que también se van a reflejar en la moda (Espinoza, 2013).

A partir de la década del setenta se incorpora un estilo más relajado que dará pie a los conceptos de comodidad propios de las décadas siguientes y del mundo de hoy (Espinoza, 2013). En términos de estilo, la línea entre calzado informal y formal empieza a desaparecer y la demanda de zapatos versátiles que se adapten a diversas actividades (desde el trabajo hasta el ocio), impulsará la creación de diseños que sean a la vez funcionales y modernos. La tendencia athleisure toma fuerza y refleja un cambio más amplio hacia la comodidad, sin comprometer la estética (Serma, 2017).



Figura 28. Ojota de campesino chileno (Educar Chile, s.f.)

# Línea del tiempo



Figura 29. Línea del tiempo. Elaboración propia con datos extraídos del Victoria & Albert Museum, s.f.

### Mules



1700

A principios del siglo XVIII, los hombres utilizaban las mules como zapatillas de casa. El tacón ligeramente acampanado es típico de esta época. Las mules se fabricaban en diversos colores y materiales. Este par lleva un delicado trenzado de plata, lo que sugiere que su dueño era adinerado.

### Zapatos para izquierda y derecha



1830

Antes de la década de 1830, los zapatos se fabricaban con hormas rectas, sin diferenciación entre el pie izquierdo y el derecho. Los zapateros franceses introdujeron pequeñas etiquetas de papel en las plantillas de los zapatos, "gauche" (izquierda) y "droit" (derecha) en francés, aunque seguían siendo hormas rectas. Estas etiquetas eran como una marca y pronto otros países las copiaron, ya que los zapatos franceses se consideraban más de moda.

### Plimsoll



1870

Fueron los primeros zapatos en incorporar una suela de goma, siendo considerado como la primera forma de zapato deportivo o zapatilla como es denominado hoy en día. El primer modelo fue creado en Inglaterra por New Liverpool Rubber Company en 1876.

### Loafer



1920

el loafer o mocasín fue una alternativa muy popular al zapato Oxford o la bota Chelsea en la década de 1960. Se consideraba un zapato extremadamente elegante, adecuado para llevar en ocasiones formales, y se convirtió en un símbolo de opulencia y estilo tanto para hombres como para mujeres en la década de 1980.

# Industria del calzado

## Situación mercado mundial

En 2022 la producción mundial de calzado alcanzó los 23.900 millones de pares, con un 7,6 % de aumento en comparación con el año anterior. La producción está concentrada en Asia con cerca del 87% de la producción mundial, siendo China el principal productor con 13.047 millones de pares, que representan el 54,5% de la participación mundial, seguido por India Vietnam e Indonesia.

América del Sur tiene una participación del 4,8 % de la producción, siendo Brasil su principal productor con 849 millones de pares, que representa el 3,5 % de la producción mundial. Europa y América del Norte han experimentado una disminución en sus participaciones, con cerca del 4,2% de participación en conjunto, mientras que África ha ganado en participación, pero representa menos del 4% de la producción mundial.

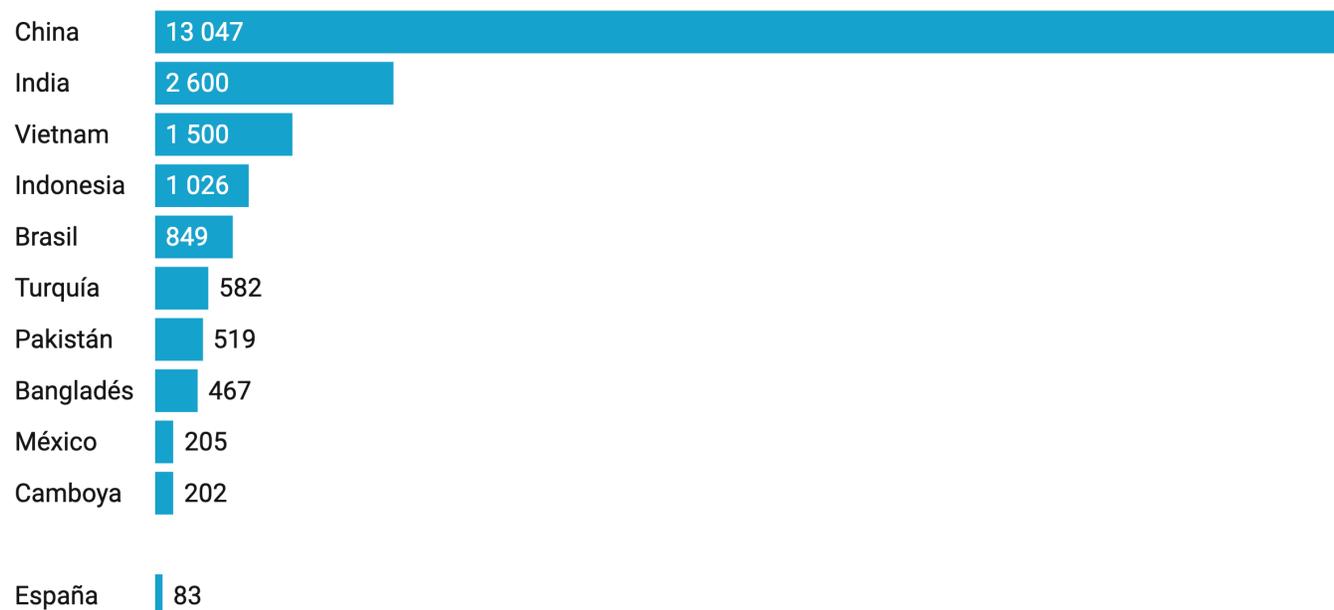


Gráfico 1. Ranking mayores productores mundiales de calzado 2022 en millones de pares  
(Revista del Calzado citando a WorldFootwear - Apiccaps, 2023)

En cuanto al consumo de calzado, al año 2022, Asia representa el 53,2% del consumo mundial, siendo China el país con una mayor participación con 3.930 millones de pares, seguido por EEUU e India. África aporta con el 9% del consumo de calzado, en tanto que América del Norte y Europa concentran el 15,9% y 14,9% de consumo de calzado respectivamente. El consumo per cápita en el mundo, va desde los 1,4 pares por persona en África hasta los 5,9 pares en América del Norte (Revista del Calzado, 2023).

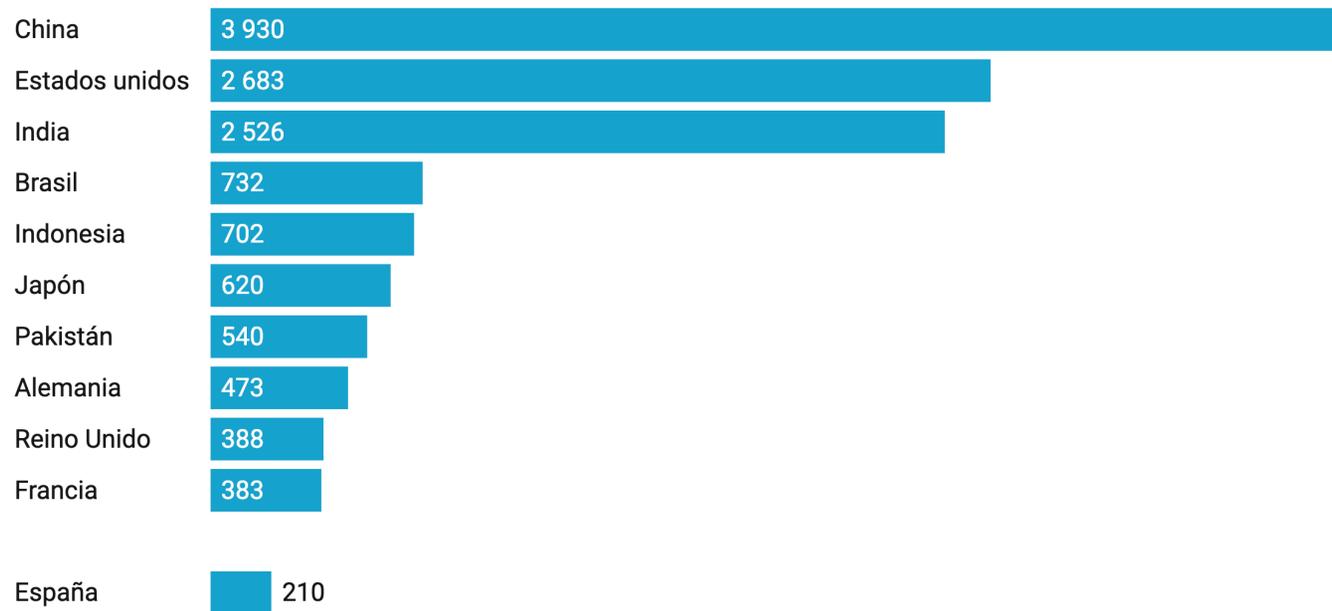


Gráfico 2. Ranking mayores consumidores mundiales de calzado 2022 en millones de pares  
(Revista del Calzado citando a WorldFootwear - Apiccaps, 2023)

## Importaciones

En cuanto a las importaciones, Europa es el principal destino, con más de 3.360 millones de pares, equivalentes a un tercio del total mundial, mientras que a nivel país EEUU lidera las cifras con 2.729 millones de pares, que representa cerca del 20% del total de las importaciones de calzado a nivel mundial.

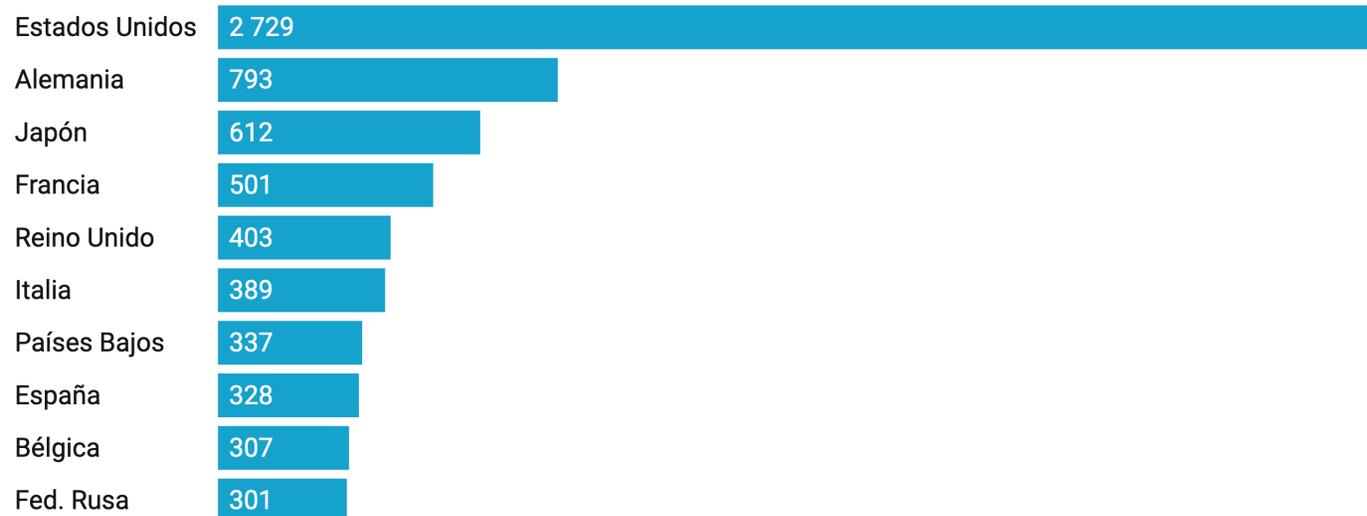


Gráfico 3. Ranking mayores importadores mundiales de calzado 2022 en millones de pares  
(Revista del Calzado citando a WorldFootwear - Apiccaps, 2023)

## Exportaciones

Las exportaciones de calzado tuvieron un incremento de 9 % en 2022, alcanzando 15.200 millones de pares. Asia concentra el 77,6% de las exportaciones, liderado por China con 9.308 millones de pares, equivalente al 61,2% del total exportado, seguido por Vietnam e Indonesia. Los países europeos como España, Bélgica e Italia representan cerca del 8% de las exportaciones de calzado a escala mundial.



Gráfico 4. Ranking mayores exportadores mundiales de calzado 2022 en millones de pares  
(Revista del Calzado citando a WorldFootwear - Apiccaps, 2023)

## Situación del mercado en Chile

Según datos de la Cámara de Industriales de Cuero, Calzado y Afines (FEDECCAL) al comparar el año 1991 con 2017, las cifras muestran una caída en la producción local desde 35,7 millones de pares a sólo 5 millones respectivamente (Olivares, 2019).

Por otro lado, las importaciones crecieron en ese período de 2,2 a 114,5 millones de pares. Este incremento implicó que el número de trabajadores en el sector bajara desde 35.000 a 13.145, y que el número de empresas pasara de 1.000 a 491 (Olivares, 2019).

La demanda de calzado en Chile es una de las más altas del mundo, con un consumo per cápita de 6 pares al año (Ferreira, s.f.).

El tratado de libre comercio firmado entre Chile y China el año 2010, permitió la fuerte entrada de las importaciones chinas al territorio nacional, convirtiéndose en el origen principal de las importaciones de calzado.

Esto se suma a los costos de mano de obra por hora de los trabajadores del calzado, que de acuerdo a la Cámara de Industriales del Cuero, Calzado y Afines, en el caso de Brasil son US\$3,1, de China US\$3, de México US\$3,2, de Vietnam US\$1,8, mientras que en Chile alcanza los US\$7,5 (CHICIT, 2019), lo que hace menos competitiva a la industria de calzado nacional frente a otros oferentes mundiales.

El siguiente gráfico muestra la evolución en el período 2010-2024 de las exportaciones e importaciones de calzado a nivel nacional.

## Importaciones y exportaciones de calzado período 2010-2024 (Miles de USD)



Gráfico 5. Importaciones y exportaciones de calzado en Chile, período 2010-2024.

Elaboración propia con datos de United Nations Comtrade Database (2024)

## Discusión Teórica:

Las sandalias son un tipo de calzado que posee un uso transversal en el mundo, y la sociedad chilena no se queda de lado. Las sandalias son la forma primigenia del calzado contemporáneo, habiendo sido utilizadas por las primeras civilizaciones hace miles de años para diferentes usos. Los romanos batallaron y obtuvieron la victoria en múltiples guerras utilizando sandalias, al igual que los griegos, egipcios, etc. Por otro lado, en Mesoamérica, los emperadores ostentaban el uso de sandalias como algo exclusivo de la realeza. En América del Sur, los chaskis, antiguos mensajeros del Imperio Inca, recorrían kilómetros vistiendo sandalias para entregar mensajes. Los campesinos en la patagonia argentina y chilena históricamente han hecho uso de las alpargatas, como un calzado para labores en el campo, haciéndolo un ícono característico de la cultura gaucha. Por su parte, en las zonas centro y norte de Chile, el uso de las ojotas para las labores agrícolas sigue siendo un símbolo de la cultura campesina del país.

De todo lo anterior se puede establecer que las sandalias han acompañado al ser humano en diferentes e importantes labores a lo largo de la historia y han ido evolucionando en cuanto a materialidad, simbolismo y funcionalidad según el uso que se les ha dado.

En la actualidad, se puede observar que las sandalias siguen siendo usadas en todo el planeta, pudiendo encontrar diferentes modelos según gustos y preferencias. En Chile, el consumo de sandalias no se queda atrás. Su uso está presente en gran parte de la población, como se pudo observar en la encuesta realizada a 60 personas para este proyecto (Anexo 1), donde un 83,4% de los encuestados declara utilizar sandalias habitualmente. Sin embargo, el uso que se les da a las sandalias según los encuestados parece estar bastante acotado a cierto tipo de actividades y no como un calzado de uso casual para cualquier tipo de actividad. La encuesta muestra que una mayoría opina que las sandalias poseen limitaciones, debido a que estas no suelen estar hechas con materiales de calidad o no tienen un diseño adecuado, lo cual afecta en la transpiración, el roce, daño, desgaste y fatiga del pie, comprometiendo la higiene, seguridad y funcionalidad de éste.

Los resultados de la encuesta revelan que los problemas más comunes asociados con las sandalias son, a grandes rasgos, la higiene, la seguridad, la funcionalidad y en menor medida pero igualmente mencionado, la estética. La transpiración, la suciedad, la materialidad, la propensión a tropiezos o resbalones y la exposición a agentes externos que puedan causar un daño, son respuestas que se repiten en la encuesta. Por otra parte, en relación al uso, los encuestados asocian las sandalias principalmente a actividades domésticas o a un uso exclusivo para contextos como la playa o piscina, lo que sugiere una percepción limitada de su funcionalidad.

Parece paradójico pensar que el mismo calzado que sirvió para las más arduas tareas en el desarrollo de la humanidad, ahora es catalogado como un calzado que es sinónimo de baja calidad y costo.

Esto plantea la pregunta: ¿por qué un calzado con tanta historia, utilizado en diversas culturas y contextos, ha sido relegado a un uso tan limitado en la actualidad?

Si bien existen sandalias de alto estándar y valor, con diseños bastante sofisticados, la percepción que remiten cuando se habla de sandalias o “chalias” son de aquellas que suelen ser más desechables y de bajo costo.

Hoy en día las sandalias son mayoritariamente hechas de plástico. En Estados Unidos su fabricación masiva se remonta a las plantaciones hawaianas de los años 30, donde se convirtieron en un sustituto de las botas de goma, imitando el diseño de las sandalias japonesas del siglo IX fabricadas en junco y bambú que fueron llevadas por emigrantes japoneses del siglo XIX a estas plantaciones. En los años 50 aparecieron en la cultura playera y surfista de California, y luego se extendieron por la costa de México y Sudamérica, volviéndose frecuente su uso en los estratos más bajos (Knowles et al., 2014).

A pesar de la predominancia del plástico en la fabricación moderna de sandalias, no siempre fue el material principal. Antes de su masificación, las sandalias se producían con una variedad de materiales naturales, adaptados a las necesidades y recursos disponibles en diferentes regiones. El uso de estos materiales sigue vigente al igual que la exploración de materiales de origen orgánico con enfoque en la producción de calzado. Un claro ejemplo son las alpargatas, que tal como se ha señalado previamente, representan hasta el día de hoy un ícono de la cultura gaucha de la patagonia chilena y argentina.

Esto demuestra que el uso de materiales derivados de la madera no se encuentran obsoletos y, por el contrario, representan una amplia gama de posibilidades para continuar con avances en cuanto a su uso y la investigación de sus beneficios, ya sea por su accesibilidad o su funcionalidad.

En paralelo, se tiene la situación de declive tanto de la industria como del oficio artesanal del rubro del calzado en Chile, donde surge como una alternativa la implementación de nuevas técnicas y tecnologías de diseño con el apoyo de herramientas digitales que podrían facilitar o abaratar costos en su producción para que puedan volverse más competitivos.



Figura 30. Chasqui usando sandalias (MINEDUC, s.f.)

No obstante, se debe tener en cuenta que la confección de calzado como tal es un procedimiento que si bien se ha modernizado, su proceso y etapas siguen siendo las mismas que hace varias décadas. Los intentos que han habido para modernizar la industria del calzado reemplazando ciertos procesos por el uso de máquinas más automatizadas, se ha comprobado que no son viables como por ejemplo lo menciona Medina (2019) sobre el caso de la tecnología 3D, en su artículo "Tecnología 3D en el calzado. Artesanato y tradición" :

"... observamos un tímido acercamiento a la tecnología, temiendo resignar calidad. Y cuando hablamos de calidad, nos referimos al trabajo artesanal desarrollado por artesanos altamente calificados, que realizan una de las pocas tareas que aun se continúan haciendo a mano: el calzado artesanal. Por lo tanto, el sector de calzado fino se encuentra en un dilema: ¿aplico tecnología 3D o no? Por el momento, solo percibimos la incorporación de 3D en productos mono materiales tales como bases inyectadas, hormas o tacos, aplicándose la tecnología solo en un sector de la actividad. No teniendo en cuenta el calzado como un todo, sino como la sumatoria de diferentes partes."

El costo de ciertas tecnologías, los tiempos que toman y la limitaciones de los materiales que pueden ser utilizados, comprueban que el proceso de confección de calzado y sus etapas todavía no pueden ser reemplazadas del todo. Incluso en las mayores fábricas las etapas siguen siendo las mismas que en un taller artesanal, el proceso de creación de horma, patronaje, corte, aparado, montado y acabado se sigue manteniendo, solo que en las fábricas cada uno de estos procesos recibe la ayuda de maquinaria especializada y la producción es mucho mayor, pero en términos conceptuales y prácticos, para obtener un par de calzado, el proceso es el mismo. Lo que sí se puede concluir de esto es que efectivamente, las nuevas técnicas de diseño en conjunto con la utilización de tecnologías digitales, pueden ser implementadas en cada una de las etapas en forma de apoyo, sin embargo la etapa productiva en sí seguirá siendo la misma.

En conclusión, lo crucial de este proyecto, por un lado será el análisis del proceso productivo del calzado y a partir de ello, la identificación de las posibles herramientas que servirán de apoyo para poder mejorar, facilitar o abaratar las dinámicas ya existentes durante el proceso. Y por otro lado, aplicar las herramientas y técnicas observadas, utilizando metodologías de diseño que apunten a solucionar los problemas que ya han sido mencionados, como la higiene, la seguridad, la funcionalidad y la estética.

# Mapa de Actores Involucrados

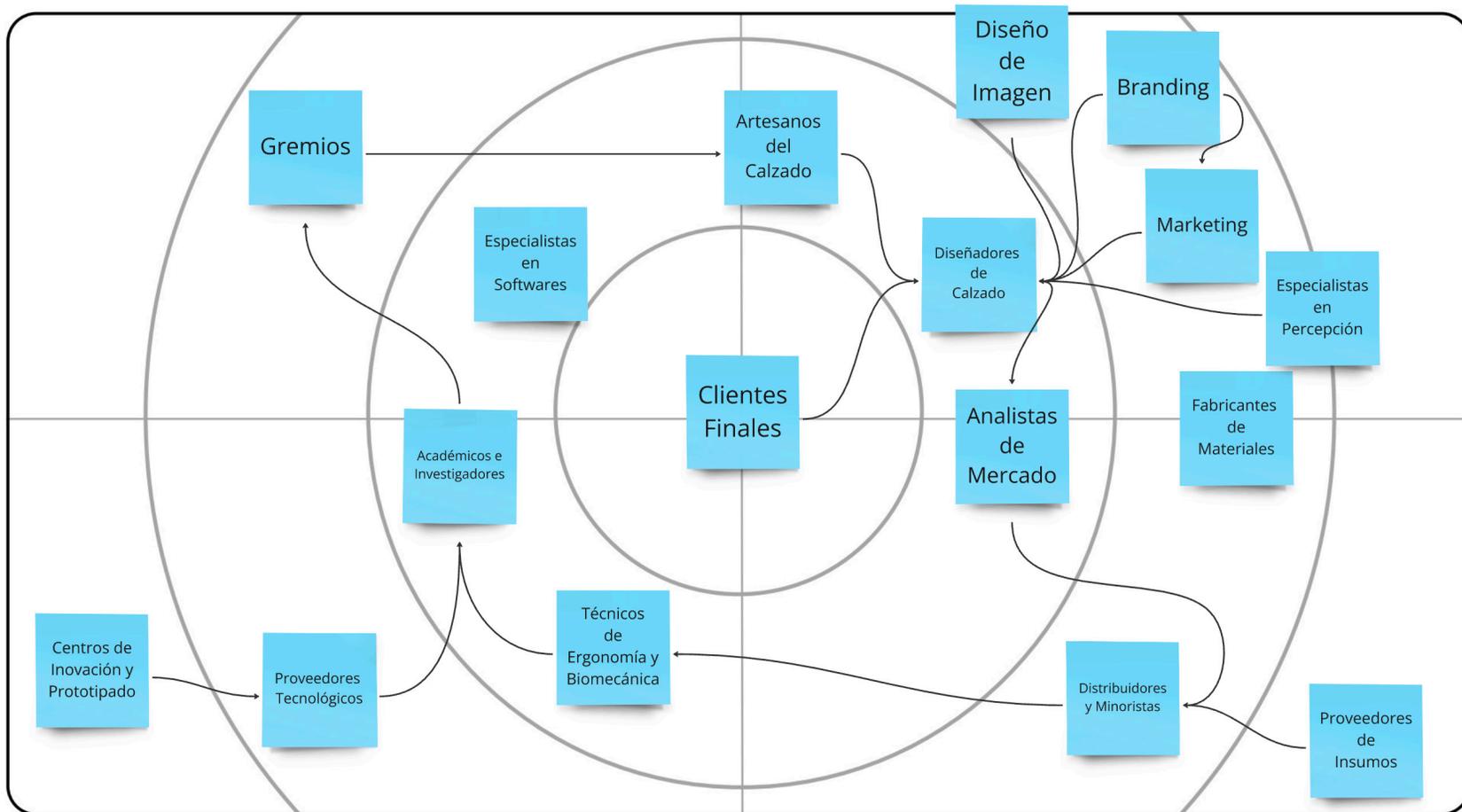


Figura 31. Mapa de actores involucrados. Elaboración propia.

## Estado del Arte

En la actualidad existe un sin fin de modelos de sandalias alrededor del mundo, y al igual como ocurre con los otros tipos de calzado, dependiendo del uso que se le dará a la sandalia, esta tendrá una forma, materialidad y método de fabricación distintivo.

Con el objetivo de responder a las necesidades de funcionalidad y confort, como también a las necesidades visuales o de apariencia para acompañar las tendencias actuales, varias tecnologías y métodos de producción han comenzado a ser aplicadas en el diseño de sandalias.

El Estado del Arte en el contexto de esta tesis se enfoca en las innovaciones y tendencias que actualmente influyen en el diseño de calzado, especialmente en el diseño y elaboración de sandalias. Entre estos destacan el diseño paramétrico y la biomecánica aplicada al diseño de suelas, así como la utilización de estructuras de lattice y el uso de materiales poco convencionales, como aquellos derivados de la madera y fibras vegetales, para crear alternativas a los modelos de sandalias que suelen ser vistas en el mercado.

## Referentes

En esta sección se presentan los referentes utilizados para fundamentar y contextualizar este estudio. Con el fin de organizar y analizar de manera clara la información recopilada, los referentes han sido divididos en categorías específicas que abarcan distintos aspectos relevantes del diseño y fabricación de calzado. Estas categorías son:

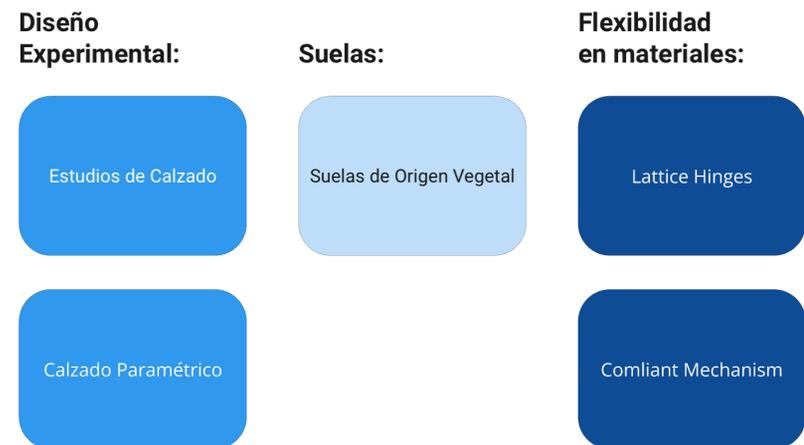


Figura 32. Diagrama de referentes. Elaboración propia.

## Estudios de Calzado

Proyectos y laboratorios enfocados en el desarrollo de nuevos procesos y técnicas para el diseño y fabricación de calzado. Los estudios destacan por su enfoque en la experimentación con materiales diversos y en la integración de herramientas digitales para optimizar tanto el diseño como la producción, explorando métodos innovadores que buscan reducir el trabajo manual y acelerar la creación de prototipos.

### Footwearology

En este Laboratorio localizado en Barcelona, se desarrollan proyectos innovadores, tanto propios como para clientes. Además, se trabaja en colaboración con los participantes de los cursos que imparten para materializar sus ideas. El objetivo principal del laboratorio es crear sistemas de diseño y fabricación que puedan ser automatizados. Se pone un enfoque especial en el diseño y la fabricación digitales, utilizando solo algunas tecnologías clave que permitan minimizar el trabajo manual.



Figura 33. Calzado impreso en 3D (Footwearology, s.f.)

## Hagel Studio

Estudio creado por el diseñador Mathieu Hagelaars, oriundo de Ámsterdam. Con gran enfoque hacia la experimentación de materiales y la deconstrucción de diseños, llegando a colaborar con creativos como Virgil Abloh o Takashi Murakami. Sus primeras creaciones, son basadas en la deconstrucción de pares para crear un 'remix' entre varios modelos. Otra vertiente de sus diseños es el enfoque en la combinación de zapatillas con tejidos técnicos de todo tipo, como cuerdas, cinta adhesiva, espuma, etc.



Figura 34. Calzado hecho con empaque plástico (Hagel, 2020)

## Kooj Lab

Laboratorio chileno de diseño y prototipado digital para la producción de calzado, que busca desarrollar y testear diseño y prototipos rápidos, basados en la fabricación digital con herramientas de modelado y prototipado 3D. El laboratorio busca estandarizar, empaquetar y transferir efectivamente un nuevo procedimiento de diseño y fabricación de productos junto a todos los elementos y recursos que sustentan dicho proceso con el objetivo de mejorar y agilizar la generación de vestuario, calzado y accesorios, aprovechando un recurso como el diseño 3D y las tecnologías de testeo rápido.



Figura 35. Prototipo impreso en 3D (KoojLab, 2022)

## Calzado Paramétrico

Aborda diseños en los que se emplea el modelado paramétrico para personalizar las formas del calzado, permitiendo explorar nuevas formas y estructuras, adaptando el diseño a necesidades específicas y ofreciendo soluciones más ajustadas a los requerimientos del usuario.



Figura 36. Calzado impreso en 3D de la colección Morphogenesis de Pauline Van Dongen (CNET, 2012)

### Pauline van Dongen

La diseñadora holandesa Pauline Van Dongen fue pionera en integrar la impresión 3D en sus procesos creativos, explorando tecnología portátil y materiales de alta tecnología. En 2010, colaboró con la empresa Freedom of Creation en el proyecto de zapatos Morphogenesis, caracterizado por un enfoque arquitectónico y nuevas formas espaciales, logrado gracias a un diseño completamente digital. Este proceso eliminó la necesidad de moldes o prototipos físicos, ya que el diseño se transfirió directamente a una geometría tridimensional mediante impresión 3D. Sin embargo, enfrentó limitaciones como la rigidez del material (poliamida) y los altos costos de la tecnología, dificultando su comercialización. A pesar de ello, el proyecto recibió múltiples premios por su innovación en diseño de calzado (Christodoulou, 2020).

## Iris van Herpen

La diseñadora holandesa Iris van Herpen, también es de las pioneras en la incorporación de técnicas de fabricación digital en la moda, combinando tecnología de punta con inspiración en la naturaleza, a lo que llama "organic futurism".

Van Herpen colaboró con Rem D Koolhaas, fundador de United Nude, y la empresa de impresión 3D Stratasys para crear 12 pares de zapatos impresos en 3D, presentados en su desfile "Wildness Embodied" durante la Semana de la Moda de París. Inspirados en las raíces de los árboles, los zapatos presentan estructuras entrelazadas y detalladas que envuelven el pie. Estos fueron fabricados con impresoras 3D avanzadas, como las Stratasys Objet Connex y Objet Eden.

Sus diseños no solo han desafiado a las empresas de manufactura aditiva, sino también a los ingenieros de materiales, al requerir un equilibrio entre calidad y adaptación a la producción en masa. (Christodoulou, 2020).



Figura 37. Zapato impreso en 3D por Iris Van Herpen (Kukucka, s.f.)

## Calzados con suelas de origen vegetal

Ejemplos que demuestran cómo el uso de materiales vegetales en suelas de calzado es una práctica conocida y aplicada en diversos contextos. Desde diseños tradicionales hasta innovaciones contemporáneas, estos referentes subrayan que materiales como madera o fibras vegetales han sido utilizados de manera efectiva en productos que se comercializan y valoran por su funcionalidad y originalidad.

### Toms

Marca argentina conocida por sus alpargatas inspiradas en el calzado tradicional del país. El modelo más clásico consiste en una alpargata hecha con suela de yute trenzado a la manera tradicional, manteniendo el estilo clásico de este tipo de calzado. La marca destaca por su variedad de colores y estampados que ofrecen en sus diseños, manteniendo la sencillez y funcionalidad en sus pares.



Figura 38. Alpargata Toms (Toms Shoes, s.f.)

## Wave - Luoto

Wave es un sandalia creada por la diseñadora finlandesa Marita Huurinainen, en 2013. La suela está compuesta por capas de abedul finlandés, la cual es curvada por medios físicos sin alterar su estructura interna, osea, sin aplicar cortes en su estructura para su doblado. El diseño incluye una correa que puede ser de cuero, plástico o diversos textiles.



Figura 39. Sandalia Wave - Luoto de Maarita Huurinainen (Virtual Shoe Museum, s.f.)

## Birkenstock

Las sandalias Birkenstock son fabricadas con una mezcla de corcho y látex, diseñadas usando una plantilla que se amolda a la anatomía del pie en la medida que se usa, proporcionando una distribución uniforme del peso. Las tiras superiores, por lo general hechas de cuero, son ajustables mediante hebillas metálicas. La suela exterior está fabricada con goma o EVA.



Figura 40. Suela Birkenstock (Birkenstock, s.f.)

## Lattice Hinges en Diseño

Referentes que muestran la aplicación de retículas de Lattice Hinges en madera para generar flexibilidad en ella, destacando cómo esta técnica permite modificar la rigidez natural del material, abriendo nuevas posibilidades en su uso dentro del diseño.

### Makoi

Lampara que utiliza una retícula de madera curvada con el metodo de Lattice hinges en la fabricación de la pantalla, logrando un efecto estético y funcional que distribuye la luz de manera eficiente. Fue galardonada con el primer lugar en el concurso de diseño 2024 de Madera21.



Figura 41. Lampara Makoi (Madera21, 2024)

## Dukta – Flexible Wood

Su trabajo se centra principalmente en el ámbito del interiorismo. Utilizando esta técnica, permiten que la madera y materiales derivados, como contrachapado, MDF y tableros de terciado, sean flexibles mediante la aplicación de patrones geométricos de cortes. Esta técnica otorga al material propiedades similares a las textiles, ampliando sus usos.

Aunque Dukta se enfoca principalmente en el diseño de interiores, debido a las características que consigue la madera, como la capacidad de curvado, la transparencia y la absorción acústica, han hecho que la firma se amplíe a más disciplinas a través de nuevas creaciones, siempre en torno a la aplicación de Lattice Hinges en madera.



Figura 42. Biombo de MDF con aplicación de lattice hinges (Dukta, s.f.)

## Compliant Mechanism en Calzado

Calzados que apliquen mecanismos complacientes o compliant mechanism en su diseño, primordialmente en el uso de la suela, donde la flexión de los materiales reemplaza las juntas móviles tradicionales, proporcionando una integración funcional más eficiente.

### Steve McDonald

Diseñador y Arquitecto, con extensa trayectoria en el mundo del calzado al igual que otras áreas. Creador de la línea ACG de Nike, es destacado por utilizar habitualmente en sus diseños el concepto de 'compliant mechanism', con el cual logra explorar los límites de flexibilidad que presentan diferentes materiales a partir de incisiones y estructuras reticulares, especialmente en su aplicación para las suelas de sus diseños para zapatillas deportivas.

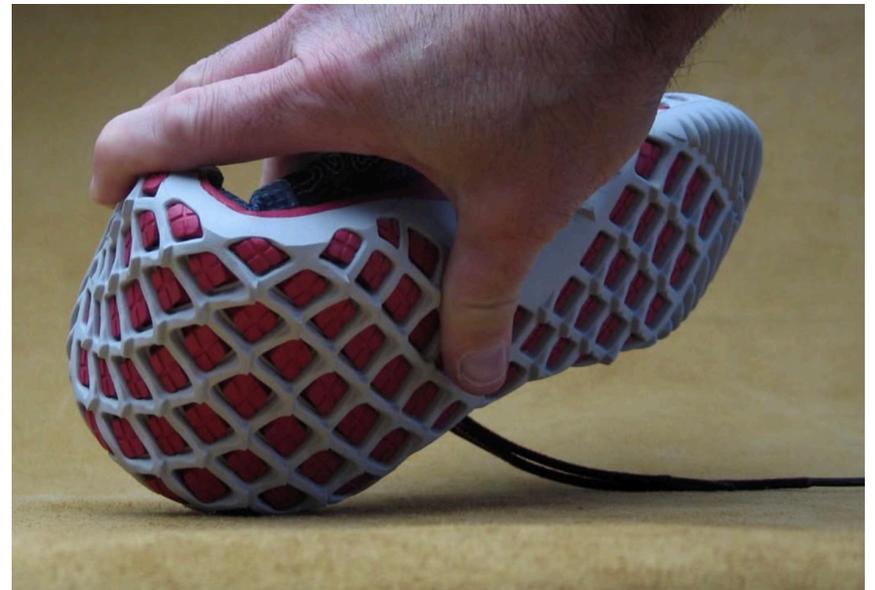


Figura 43. Nike Considered Humara (McDonald, 2022)

## Kenner - Rakka

Kenner es una reconocida marca brasileña de sandalias que combina diseño innovador, durabilidad y confort. Sus productos destacan por materiales de alta calidad y tecnología avanzada, lo que las vuelve una de las marcas de sandalias de mayor prestigio en Brasil.

El modelo Rakka de Kenner incorpora un mecanismo flexible en el talón, donde integra un sistema de resorte que mejora la amortiguación durante el uso. Este mecanismo aplica el concepto de compliant mechanism, utilizando la deformación controlada del material para absorber y disipar energía, lo que destaca como una solución novedosa en el diseño de sandalias.



Figura 44. Sandalia Kenner Rakka (Kenner,s.f.)



**Proyecto de diseño**

**3**

# Metodología de Diseño

La metodología de investigación escogida para este proyecto se basa en el modelo de diseño propuesto por Ogrodnik (2013). El modelo metodológico aplicado al proyecto tiene seis fases de investigación y desarrollo, atendiendo a la ISO 13485, sobre el diseño y desarrollo de dispositivos médicos, que es para lo que fue construido inicialmente este modelo.

La relevancia que posee el modelo que se explica a continuación, es la capacidad que posee de conjugar diferentes áreas del conocimiento, en el caso de Ogrodnik, las del Diseño junto a la de medicina para el diseño de dispositivos médicos. Para el caso del presente proyecto, se intentan juntar 3 ejes metodológicos principalmente, los cuales son: El diseño tradicional de calzado, el diseño paramétrico y el sistema de elaboración de hormas para calzado.

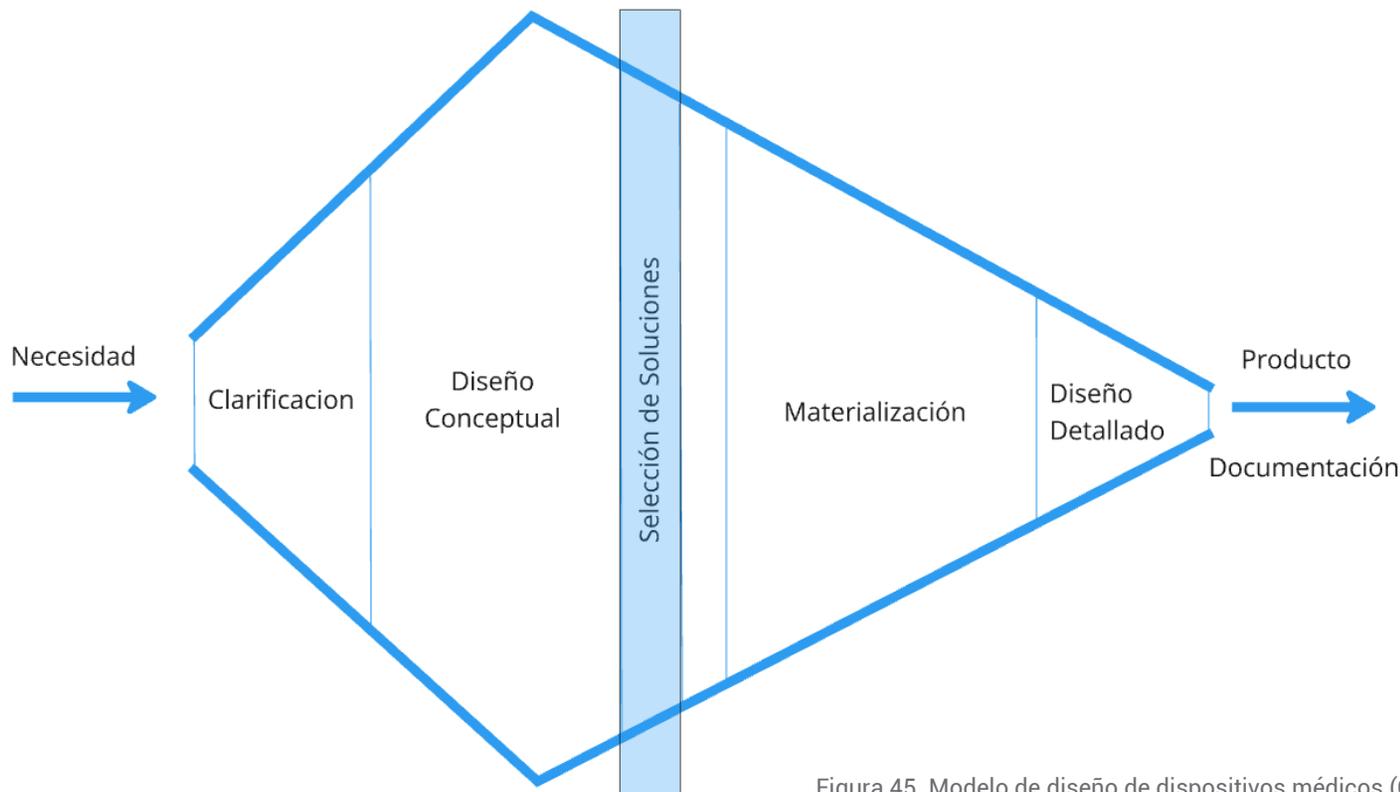


Figura 45. Modelo de diseño de dispositivos médicos (Ogrodnik, 2013)

## Fase 1: Necesidad

La metodología planteada para el desarrollo de este proyecto comienza con una identificación detallada del problema, en la que se define y analiza el contexto específico de las dificultades en el diseño y el proceso productivo. En esta fase inicial, se exploran los aspectos más críticos, delimitando claramente las áreas que ofrecen oportunidades de mejora, y estableciendo una base sólida para el proyecto.

## Fase 2: Clarificación

Una vez identificado el problema, se procede a la realización de encuestas dirigidas a usuarios y trabajadores del sector, con el fin de recolectar datos directos que permitan esclarecer las necesidades reales del mercado. Este paso es fundamental para obtener una comprensión de las expectativas y preferencias de los usuarios finales, lo que ayudará a orientar las soluciones a sus demandas específicas.

A continuación, se realiza una revisión y análisis bibliográfico de referentes en el ámbito del calzado, enfocados en estudios previos, diseños históricos y actuales, lo cual permite situar el problema en un contexto más amplio y obtener inspiración en patrones, suelas, estilos y técnicas que puedan ser relevantes para la propuesta

### Fase 3: Diseño conceptual

El siguiente paso se centra en entender el proceso tradicional de fabricación de calzado, analizando cada etapa de la producción desde la concepción del diseño hasta la obtención del producto final. De esta forma se lograrán identificar los puntos donde podrían surgir problemas o ineficiencias que requieran una intervención.

Tras este análisis, se procede a detectar problemas específicos en el proceso productivo de calzado. Aquí se identifican áreas de ineficiencia en la cadena de producción que afectan directamente la calidad, el costo o los tiempos de fabricación. Esto permite una evaluación de los puntos críticos a mejorar para optimizar el rendimiento del proceso.

### Fase 4: Selección de Soluciones

Posteriormente, se lleva a cabo una revisión de tecnologías o métodos que ofrezcan soluciones potenciales. En esta fase se exploran innovaciones tecnológicas, herramientas o metodologías actuales que puedan aplicarse en el proceso de fabricación, considerando opciones que puedan mejorar tanto la calidad como la eficiencia productiva de manera efectiva.

Con las soluciones potenciales identificadas, se procede a la implementación de las tecnologías seleccionadas dentro del proceso productivo que fueron halladas en la fase de análisis bibliográfico. Este paso involucra la integración de herramientas o métodos elegidos en el flujo de trabajo de producción, asegurando que las soluciones adoptadas sean viables, rentables y sostenibles, además de alinearse con los objetivos del proyecto.

## Fase 5: Materialización

Tras la implementación de las mejoras, se procede a la materialización del producto, utilizando las técnicas y tecnologías previamente establecidas. En este paso se busca que el diseño y la funcionalidad del producto respondan de manera óptima a las necesidades y preferencias identificadas en las etapas iniciales del proceso.

## Fase 6: Diseño de Detalles

Finalmente, se realiza una evaluación formal del producto, para evaluar su desempeño, calidad y respuesta ante las necesidades detectadas. De esta manera se logra verificar si el producto final cumple con las expectativas y objetivos iniciales, y en caso necesario, realizar ajustes finales, para luego desarrollar el registro y documentación final.

## Técnicas y herramientas aplicadas

El proyecto se estructura en torno a tres ejes metodológicos principales:

- Diseño Tradicional de Fabricación de Calzado.
- Diseño Paramétrico.
- Sistema de Modelado de Hormas.

Cada uno de estos ejes se ubica en diferentes etapas del proceso metodológico y cuenta con objetivos específicos, así como con herramientas y técnicas distintas.

Además, se realizaron entrevistas a 5 maestros zapateros y encuestas a 60 personas, las cuales se usaron como base para utilizar las herramientas de Árbol de Problemas y Arbol de Oportunidades, para definir atributos y requerimientos de proyecto, y la herramienta de Mapa de Empatía para caracterizar al usuario y su contexto.

## Diseño Tradicional de Fabricación de Calzado

La confección de calzado es un método que a pesar de los avances tecnológicos, ha mantenido durante años un mismo sistema, donde las etapas productivas siguen siendo las mismas. Esta metodología de confección del calzado define el orden y las etapas de cómo debe ser elaborado el proyecto, comenzando por la horma, pasando por el patronaje y terminando con el armado. Esta metodología entrega el conocimiento de cuáles son las herramientas que se necesitan para la confección de un calzado. Dentro de cada etapa se podrán aplicar las demás técnicas y hallazgos que son utilizados en el proyecto. Además, este método entrega las nociones básicas de la confección de calzado y una cronología del proceso de elaboración de las partes.

La herramientas y técnicas involucradas en este eje son:

- Bocetaje de Diseño
- Selección y Uso de Horma
- Enmascarado de Horma
- Patronaje
- Corte
- Armado

La relevancia de entender el proceso productivo de un par de zapatos recae en poder tener una base teórica y práctica para luego poder identificar las etapas de este método en las que se le puedan implementar nuevas innovaciones o hallazgos tecnológicos que puedan ser utilizados, manteniendo el fin que se debe cumplir en cada etapa del proceso.

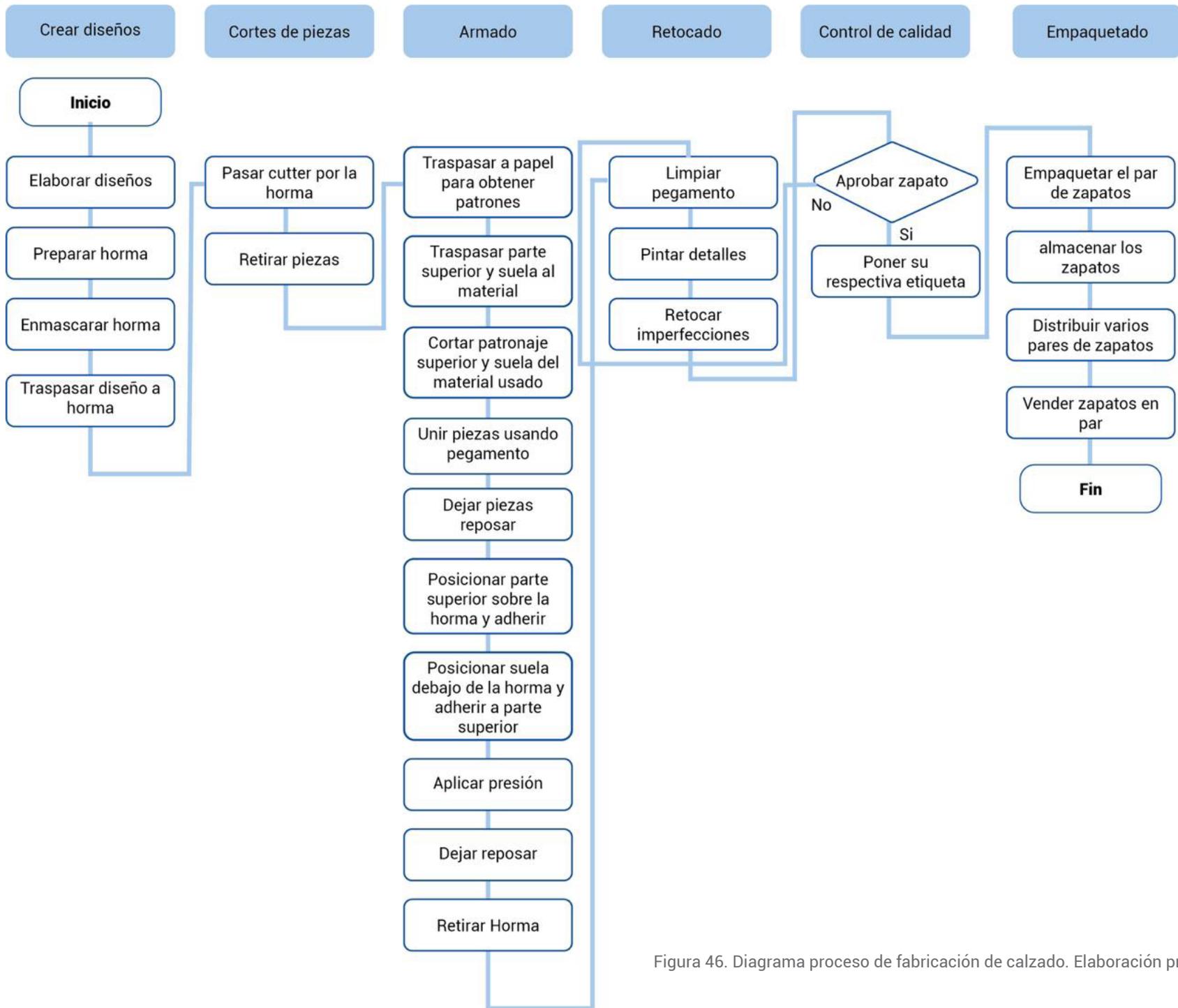


Figura 46. Diagrama proceso de fabricación de calzado. Elaboración propia.

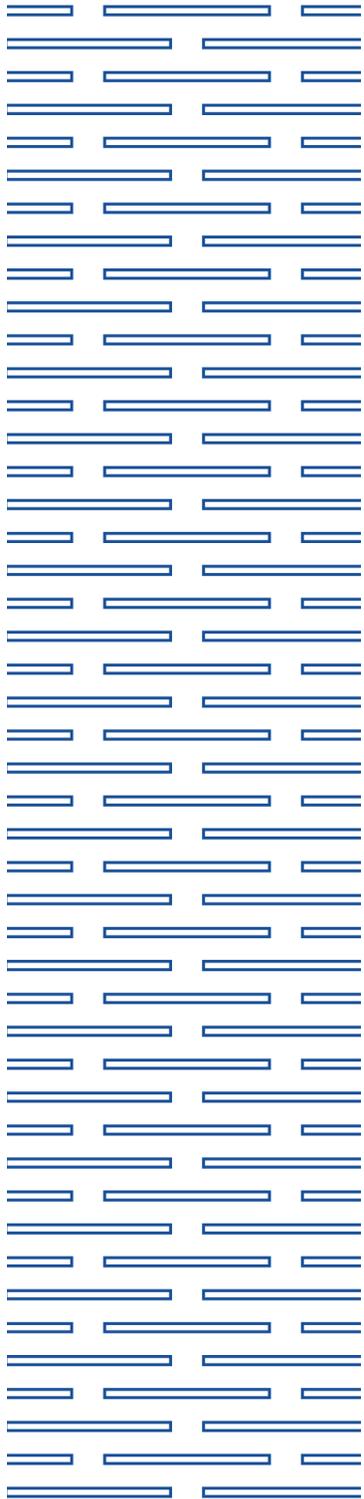
## Diseño Paramétrico

El diseño paramétrico que en sus inicios fue mayormente aplicado en la arquitectura, hoy se ve como una alternativa aplicable al diseño industrial para varias áreas. Junto con la personalización masiva, la era digital ha facilitado el cómo llevar a cabo esta personalización, especialmente cuando se requiere crear diseños para usuarios específicos. Aquí tiene relevancia la antropometría, ya que sin esta sería imposible customizar un calzado ideal para cada tipo de pie, pues permite personalizar cada pie y sus necesidades específicas. De esta manera, el diseño paramétrico se vuelve una opción muy eficiente para cumplir con las necesidades de quienes busquen una personalización individual, utilizando las medidas de sus propios pies para ello.

El diseño paramétrico en relación a este proyecto se ve reflejado en el uso del método de Lattice Hinges o Bisagras de Celosía, en español. Este método de flexibilización de materiales rígidos, varía en sus medidas y estructura, dependiendo de la materialidad que se esté usando, al igual que las dimensiones del material y también el ángulo o uso deseado que se quiera obtener en él.

El uso de lattice hinges para este proyecto se enfoca en la fabricación de la suela de calzado, motivado por diversas ventajas que los convierten en una solución eficiente tanto para el usuario como para el fabricante. Entre sus principales beneficios se encuentran la personalización, que abarca tanto el ajuste al tamaño del pie de cada persona como la posibilidad de personalizar la flexibilidad de la suela según las necesidades del cliente. Además, la posibilidad de su aplicación utilizando materiales como la madera, ofrece protección contra objetos cortopunzantes presentes en el suelo y permite aprovechar las cualidades térmicas y de transpiración de esta, ayudando a mantener el pie fresco, mejorando la experiencia del usuario.

Un aspecto clave es la facilidad con la que la madera, material elegido para este proyecto, puede ser manipulada. En comparación, la manipulación de polímeros resulta más compleja debido a los residuos que generan, los cuales son más difíciles de manejar y potencialmente más nocivos. Asimismo, los pegamentos necesarios para trabajar con polímeros suelen ser más tóxicos. La madera, por su parte, permite un acabado más sencillo, con formas y terminaciones más versátiles y refinadas, mejorando tanto el proceso de fabricación como el producto final.



Gracias a este método paramétrico, es posible mantener la rigidez del material haciendo que sea flexible al mismo tiempo. Esto permite que la suela mantenga su forma, evitando deformaciones como las que pueden ocurrir en materiales más blandos debido al desgaste en el uso, mientras conserva la flexibilidad necesaria para adaptarse al movimiento del pie, asegurando comodidad y soporte a lo largo del tiempo.

Para poder aplicar el Lattice Hinges a la suela, que en este proyecto será de madera, se necesita aplicar una función matemática que ha sido desarrollada por la empresa de ingeniería DefProc Engineering. Esta fórmula permite obtener los parámetros que serán necesarios para diseñar el patrón que se busca aplicar en la madera y así poder flexibilizarla.

Las herramientas y técnicas utilizadas en esta etapa son:

- Vectorización y Dibujo CAD
- Modelaje en 3D
- Corte Laser
- Fórmula matemática de Lattice Hinges

## Sistema para Modelado de Hormas

La horma es una parte fundamental para el proceso de fabricación de calzado, si bien esta parte no forma parte en sí del calzado como producto final, le entrega la figura y morfología al zapato, además de ser la que entrega el soporte y ajuste al momento del armado final del calzado. El diseño de hormas es un proceso bastante complejo y puede ser considerado como un caso de estudio totalmente aparte, sin embargo se hace imposible prescindir de la horma al momento de realizar un calzado. Más aún, cuando se habla sobre personalización, la horma es la principal herramienta que entregará un diseño personalizado, ya que es a partir de esta pieza que se implementan las medidas antropométricas del usuario para una buena ergonomía.

En este proyecto el diseño y la confección de la horma ha sido realizada a partir de los estudios desarrollados por Ameersing Luximon and Yan Luximon en el libro "Handbook of Footwear Design and Manufacture", el cual presenta un método renovado para el modelado de hormas.



Figura 47. Render de horma sobre plantilla. Elaboración propia.

Este método toma en consideración dos modelos previos de fabricación: el sistema AKA64 y el sistema chino, ambos aportando importantes referencias en este ámbito.

Para esto, los autores entregan un plantilla que permite obtener las líneas constructivas de la planta de la horma y posteriormente, entregan una matriz que puede ser utilizada para obtener la curvatura óptima de la planta del pie, considerando que el talón debe estar con una cierta altura. Con estos dos elementos, líneas constructivas de la base del pie y la altura de talón escogida para el zapato, se obtienen los parámetros constructivos para utilizar en la fórmula que se entrega en forma de matriz.

Es relevante destacar que este proceso de diseño de la horma puede ser considerado como parte de ambos ejes metodológicos que fueron mencionados anteriormente:

- Por un lado su diseño utiliza parámetros que permiten personalizar la horma para cada usuario específico,
- Forma parte del proceso productivo tradicional de confección de calzado, pues se requiere en el enmascarado para obtener posteriormente el patronaje de las piezas.
- Finalmente se utilizará en la etapa de armado, donde la horma servirá como soporte y estructura para unir las partes superiores con la suela del zapato.

Las herramientas y técnicas utilizadas en este método son:

- Modelaje 3D
- Diseño Paramétrico
- Excel (para poder automatizar las fórmulas)
- Impresión 3D
- Fórmula para obtener Curva de la planta del Pie
- Líneas constructivas para la base del pie
- Sistema de Modelado de Horma.

La entresuela, que forma parte de la suela, tiene gran relevancia en este punto, pues será la parte que entregará la amortiguación al pie para dar a la sandalia una mayor comodidad. La suela al estar elaborada con un material rígido como la madera, no puede aportar la amortiguación necesaria y por el contrario, la entresuela, al ser de un material blando como el corcho, no puede entregar la resistencia necesaria para proteger la planta del pie del suelo.

De la obtención de la curvatura de la planta del pie se puede obtener la curvatura necesaria para la elaboración de la entresuela, la que si bien no es parte de la horma, utiliza la misma fórmula que se usa para obtener la curvatura de la base de la horma, de tal manera que pueda calzar con la entresuela al momento del armado.

La entresuela también utiliza la parametrización, ya que utiliza parámetros específicos para cada usuario en particular.

En esta parte del proceso, también fue utilizado el corte láser y el dibujo vectorizado para obtener las piezas que formarán la entresuela. Herramientas utilizadas:

- Modelado 3D
- Vectorización
- Corte láser

## Encuestas

Se diseñó una encuesta utilizando Google Forms, la cual fue compartida con conocidos y publicada en dos foros de estudiantes, permitiendo el libre acceso a cualquier persona interesada en participar, alcanzando un total de 60 encuestados. La encuesta comienza recopilando información sobre el perfil social de los encuestados y luego se secciona en dos grupos de preguntas a partir de un ítem donde el encuestado debe responder si utiliza o no sandalias habitualmente.

Para quienes responden utilizar habitualmente sandalias, el objetivo de la encuesta fue recopilar información relevante acerca de los hábitos y preferencias de los participantes en relación con el uso de sandalias. Comienza por preguntas sobre el contexto de uso de las sandalias, qué tipo de sandalias utilizan, sus características y qué aspectos disfrutaban al usarlas. Posteriormente, la encuesta se centra en explorar las molestias que experimentan al usar sandalias, los aspectos que deberían mejorar en los modelos disponibles en el mercado y las características que consideran clave a la hora de comprar sandalias.

¿Utilizas sandalias / chalas / ojotas ?  
60 respuestas

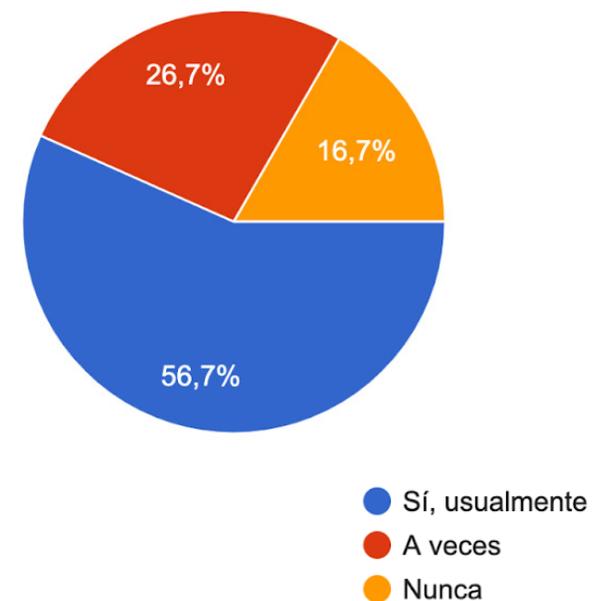


Gráfico 6. Preferencia en el uso de sandalias. Elaboración propia

## Caracterización:

- El 90% de los encuestados tiene entre 18 y 35 años, siendo entre los 18 y los 25 años donde se concentra el 55% del total de encuestados.
- El 85% vive en la región metropolitana, el 13,3% vive en la región de Valparaíso y el 1,7 en la región del Maule.
- Las tallas de calzado son demasiado variadas, sin embargo la más repetida corresponde a la talla 38 con un 20,3% , seguido de la talla 41 con 16,9%.
- 83,4% responde utilizar habitualmente sandalias.

## ¿En qué época del año usas sandalias?

50 respuestas

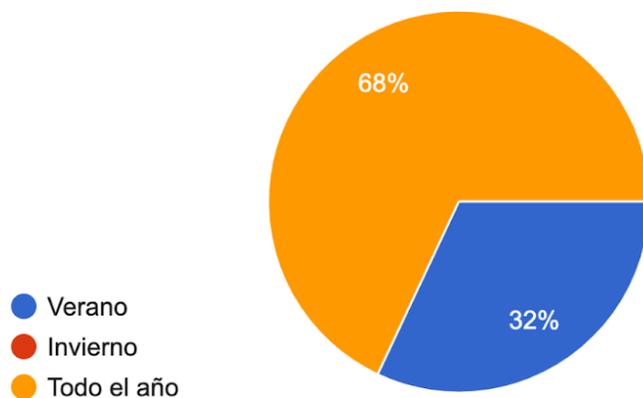


Gráfico 7. Preferencia en el uso de sandalias según estación. Elaboración propia

## Sí utiliza sandalias habitualmente:

- Frente a la pregunta con respuestas múltiples, sobre para qué ocasiones utiliza sandalias fueron: 90% para estar dentro de casa, 70% cuando hace calor y 70% para ir a la playa.
- el 68% declara usar sandalias durante todo el año y el 32% dice usarlas solamente en verano.
- Consultados sobre qué es lo que te gusta de usar sandalias, con posibilidad de respuesta múltiple, lo que más valoran es la comodidad (84%), su facilidad de colocar y retirar del pie (70%) y la frescura (64%).
- Las respuestas más mencionadas sobre las características que debe tener la suela de un par de sandalias, con sobre un 40% de menciones son resistencia, flexibilidad, protección del suelo y que no causen sudoración.
- Frente a la pregunta abierta acerca de qué es lo que más incomoda al usar sandalias, las respuestas que más se repitieron dicen relación con heridas que pueden causar como quemaduras o roce, problemas de seguridad, estética e higiene, principalmente ligada a la sudoración y suciedad de la calle.

### ¿Qué características debe tener la suela de un par de sandalias para que las compres?

49 respuestas

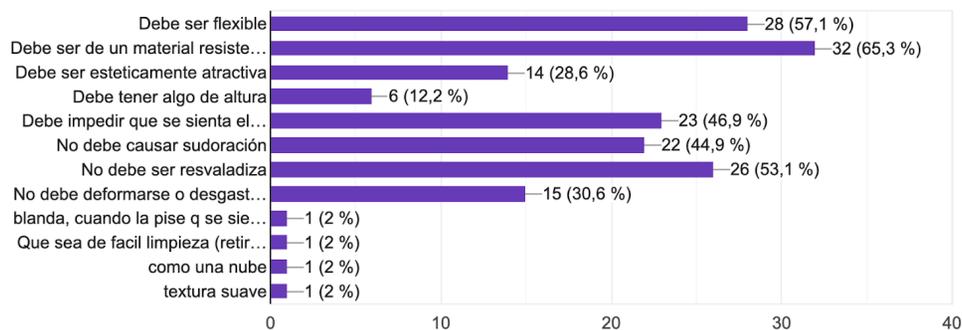


Gráfico 8. Características buscadas en sandalias. Elaboración propia.

### ¿Para qué ocasiones utilizas sandalias?

50 respuestas

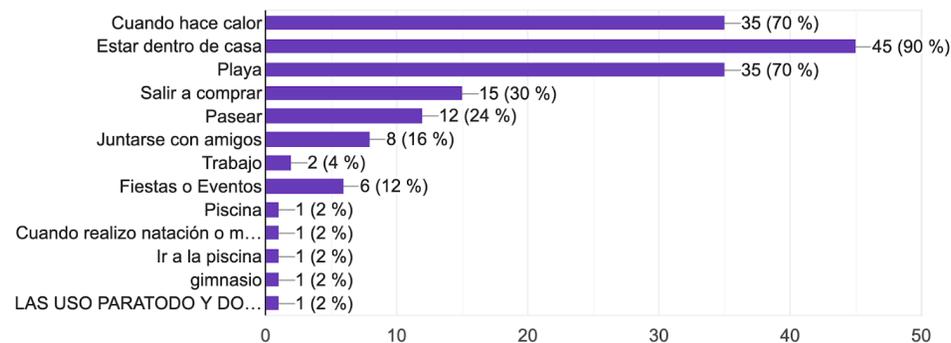


Gráfico 9. Contexto de uso. Elaboración propia. Elaboración propia.

### ¿Qué es lo que te gusta de usar sandalias?

50 respuestas

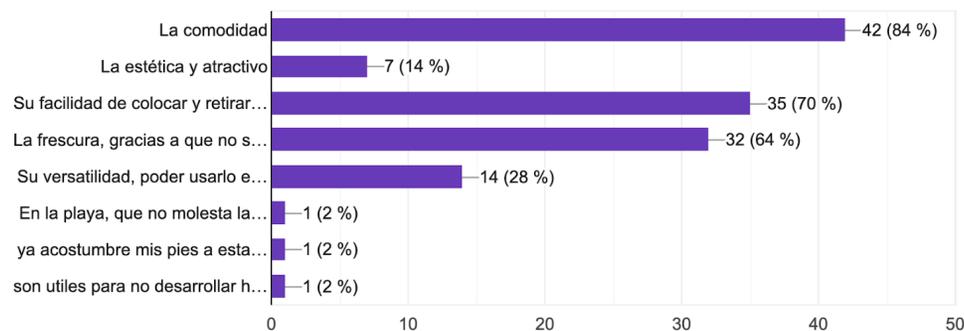


Gráfico 10. Atributos positivos en sandalias. Elaboración propia

# Entrevistas

Se realizaron cinco entrevistas a diferentes zapateros, de los cuales cuatro son de Santiago y una de Valparaíso. Entre los aspectos que comparten todos los entrevistados, se destacan las siguientes respuestas:

- Todos aseguran que el calzado nacional posee una alta calidad, sin embargo todos recalcan que cada vez se vuelve más difícil mantener el oficio, principalmente debido a la falta de insumos y a la competencia del zapato importado.
- Los modelos que fabrican dependen fuertemente de la estación del año en la que se encuentren, colocando principal énfasis en botas y botines para invierno y en sandalias para el verano.
- Cuatro de los entrevistados mencionan que un calzado con demanda durante todo el año, sin relación a la estación del año, son los zapatos de descanso, con esto se refieren a todo tipo de calzado que no posea ajuste y sea fácil de colocar y remover, como lo son el caso de los suecos, los mocasines o las alpargatas. En el caso de la entrevistada de Valparaíso, ella se dedica exclusivamente a la elaboración de calzado de descanso o calzado ligero, siendo el mocassin su producto estrella.
- El público objetivo son por lo general adultos jóvenes y adultos mayores
- Todos mencionan que ya no hay dónde conseguir que fabriquen hormas dentro del país y que la mayoría utiliza hormas que poseen de hace años o bien tienen que mandar a fabricar las hormas a Perú o a Argentina en caso de querer un par. En este punto todos los entrevistados recalcan que uno de los problemas que existen hoy en el área del calzado artesanal es la dificultad para encontrar hormas, llegando a incluso mandar a reparar hormas antiguas ya que no es posible encontrar hormas de fácil acceso en Chile.
- Ninguno fabrica sus propias suelas a partir de alguna materia prima. Todos mencionan que sus modelos dependen de las suelas que se encuentren disponibles en las suelerías, cuyos modelos son limitados y cambian periódicamente, dificultando la estandarización de sus pares, teniendo que reinventar el ajuste de las suelas a sus calzados cada cierto tiempo. No obstante, señalan que aun así no vale la pena hacer ellos mismos sus propias suelas por temas de tiempo y costo.
- Ninguno de los entrevistados dice utilizar alguna tecnología en particular y que todo su proceso es realizado de manera 100% artesanal y tradicional.

## Definición de Atributos y Requerimientos

Los resultados obtenidos en las entrevistas y encuestas, junto con la revisión bibliográfica, permitieron identificar los objetivos esenciales para el desarrollo del proyecto. Para garantizar que la propuesta respondiera de manera precisa a los objetivos planteados, se empleó la herramienta de árbol de objetivos (Cross, 2002). La aplicación de esta metodología facilitó la descomposición de los objetivos en sus componentes básicos, permitiendo así establecer los atributos y requerimientos necesarios para poder alcanzar los objetivos ya planteados.

## Árbol de Problemas

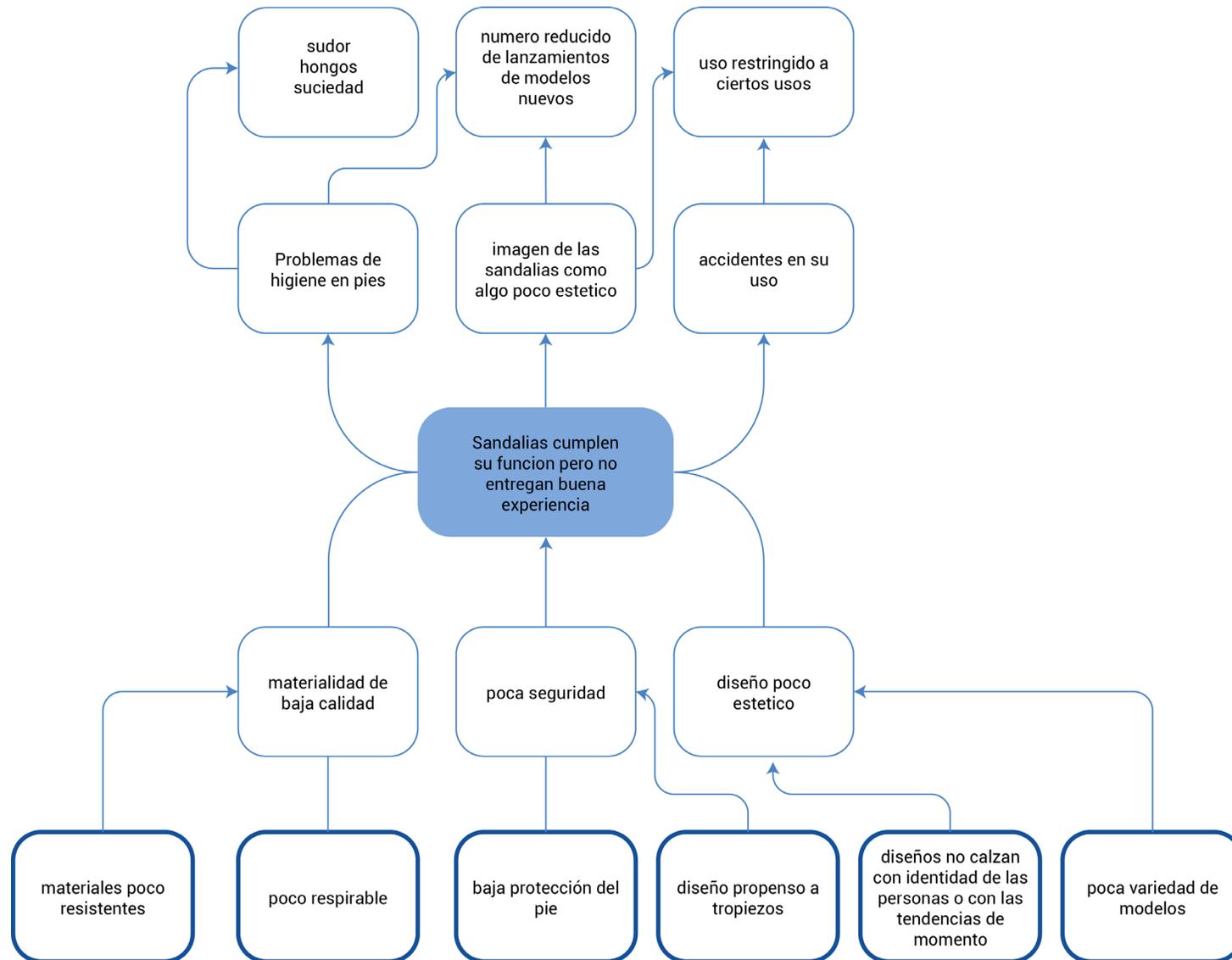


Figura 48. Arbol de problemas. Elaboración propia.

## Árbol de Oportunidades

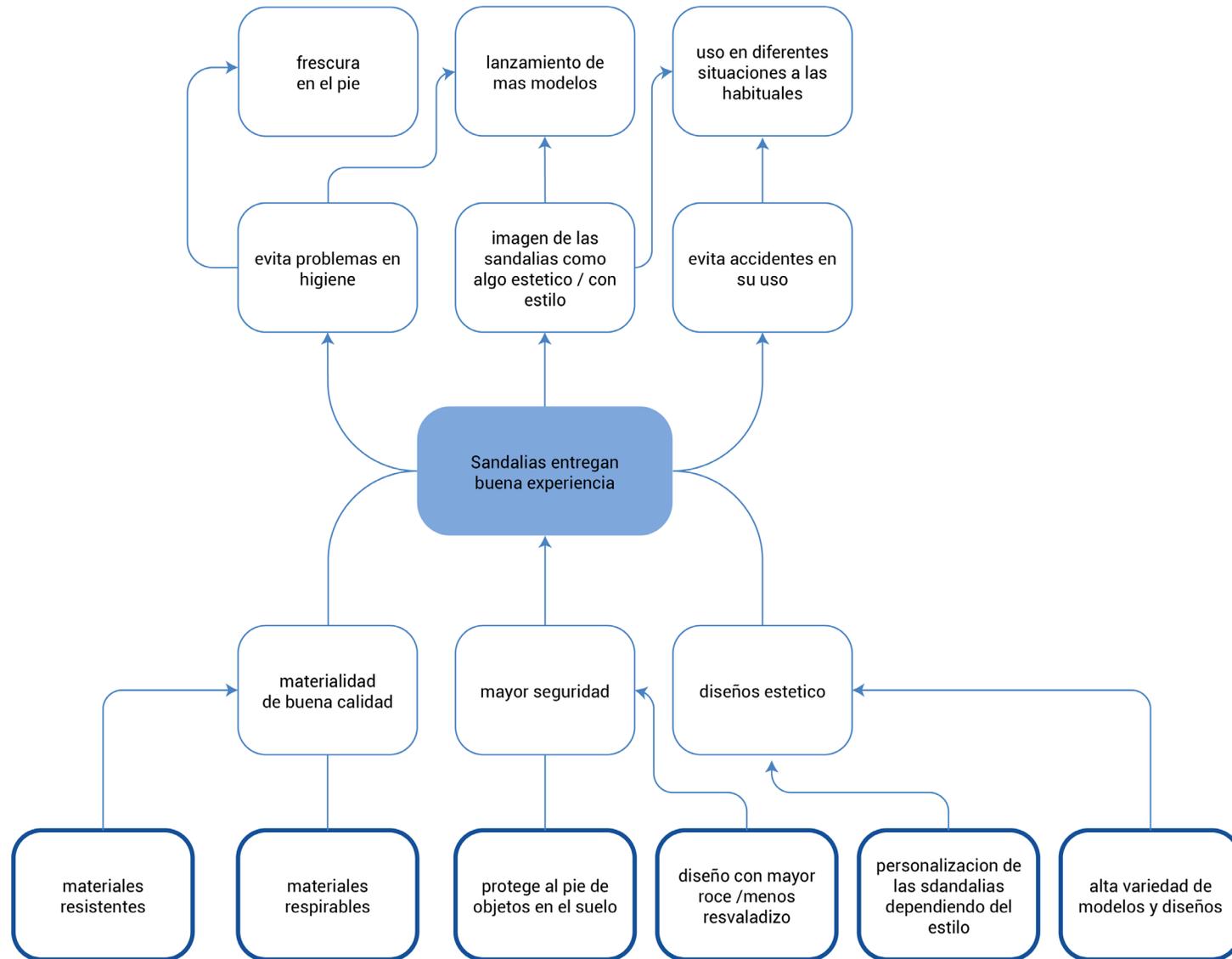


Figura 49. Arbol de oportunidades. Elaboración propia.

## Caracterización del usuario y contexto

El usuario objetivo de esta investigación se centra en jóvenes de entre 25 y 35 años que trabajan fuera de su hogar en la zona central de Chile. Por diversas razones, estos jóvenes eligen utilizar sandalias para relajar sus pies, sin embargo, no las consideran un calzado que brinde suficiente protección.

Al pasar largas horas en su entorno laboral, ven las sandalias como una opción cómoda y adecuada para el descanso de sus pies. No obstante, sienten que no son lo suficientemente aptas para realizar actividades cotidianas fuera de casa, lo que los obliga a volver a usar zapatos cerrados. Aunque este tipo de calzado les ayuda a reducir la fatiga después de extensas jornadas, la necesidad de utilizar zapatos cerrados persiste, ya que las sandalias

generalmente no están fabricadas con los materiales que ofrecen la protección necesaria para el exterior.

Esta necesidad se intensifica aún más en climas cálidos, donde el aumento de la temperatura provoca mayor sudoración y, en consecuencia, la generación de malos olores en los pies. Por lo tanto, existe una demanda por un calzado que combine la comodidad de las sandalias con las características de protección requeridas para actividades al aire libre.

Para garantizar una clara comprensión de los usuarios, se utilizó como base la herramienta de mapa de empatía. Esta herramienta permite identificar las perspectivas y sensaciones de los usuarios, brindando una visión de su personalidad, pensamientos y comportamientos.

## Mapa de Empatía



Figura 50. Mapa de empatía. Elaboración propia.

## Propuesta Conceptual del Proyecto

La propuesta conceptual del proyecto consiste en el diseño de una sandalia que integra el diseño tradicional de confección de calzado, el diseño paramétrico y el sistema de hormas de Ameersing Luximon y Yan Luximon. Utilizando un sistema de lattice hinges en la suela, se facilitará la creación de suelas adaptables que puedan ser fabricadas o encargadas fácilmente, utilizando madera como material principal. Esto permitirá a los fabricantes de calzado reducir su dependencia de proveedores y modelos de suelas limitados.

Además, se desarrollará una entre-suela que se adapte a ciertos parámetros antropométricos del pie, guiada por las líneas constructivas del modelo de hormas ya mencionado. Esto proporcionará un soporte que se ajuste a la curva del pie del usuario.

Este enfoque busca solventar los problemas identificados sobre la escasez de opciones en las ofertas de suelas existentes en el país y apunta a cumplir con los objetivos del proyecto, que incluyen el

desarrollo de una suela resistente, flexible, cómoda e higiénica, así como la optimización de la producción y la potenciación de la personalización durante el proceso de diseño.

Para la propuesta conceptual se utilizará la herramienta Árbol de Problemas, para la definición de los atributos de uso y los requerimientos de diseño del producto. Por otra parte, se utilizará la herramienta de Mapa de Empatía para la caracterización del usuario y contexto.

Estos a su vez serán inspirados a partir de los resultados obtenidos en las entrevistas que fueron hechas a 5 maestros zapateros en conjunto con las encuestas que fueron realizadas a 60 personas, con las cuales se pudo comprobar las necesidades y falencias que existen actualmente en el rubro del calzado y también la percepción que tienen los usuarios sobre el uso específico de calzado ligero o de descanso, que en el caso de esta investigación y encuesta, se enfoca en las sandalias.

## Lluvia de Ideas

La ideación de este proceso creativo comienza tomando en cuenta todas las ideas disponibles, incluyendo tanto las propuestas y observaciones de los entrevistados como la revisión de referentes y literatura en el área de estudio. El propósito principal es desarrollar una propuesta que no solo satisfaga los requisitos funcionales de un calzado ligero, sino que también ofrezca la posibilidad de crear un diseño que sea estético y adecuado para una variedad de ocasiones más amplias de las que normalmente se utilizan.

Durante la exploración, se consideró la versátil y amplia variedad de modelos y formas que puede ofrecer el calzado. Desde los materiales hasta los estilos, que pueden variar en forma, textura y funcionalidad, incluyendo opciones para diversas actividades y climas. La esencia de la propuesta se centra en diseñar un calzado

que aborde las limitaciones de los modelos existentes, permitiendo su uso en más situaciones o contextos.

Esto no solo implica la creación de un par de zapatos bien elaborados, sino también la oportunidad de redefinir el valor simbólico de las sandalias, que con frecuencia se perciben como calzado de bajo costo y calidad. La intención es elevar su estatus, reconociendo la importancia que han tenido a lo largo de la historia y su relevancia en diversas esferas sociales alrededor del mundo.



Figura 51. Lluvia de ideas. Elaboración propia.

## Modelo Aplicado

Se presenta el modelo metodológico final basado en el esquema de Ogrodnik (2013) con los elementos que fueron descritos en la metodología de diseño. En el esquema se detallan cada una de las herramientas y técnicas que serán aplicadas en las 6 etapas desarrolladas en el presente trabajo.

Este modelo permite visualizar de manera clara la conjugación de los tres ejes metodológicos planteados, cada uno con enfoques distintos, para llegar a un resultado común que resuelva la problemática inicial.

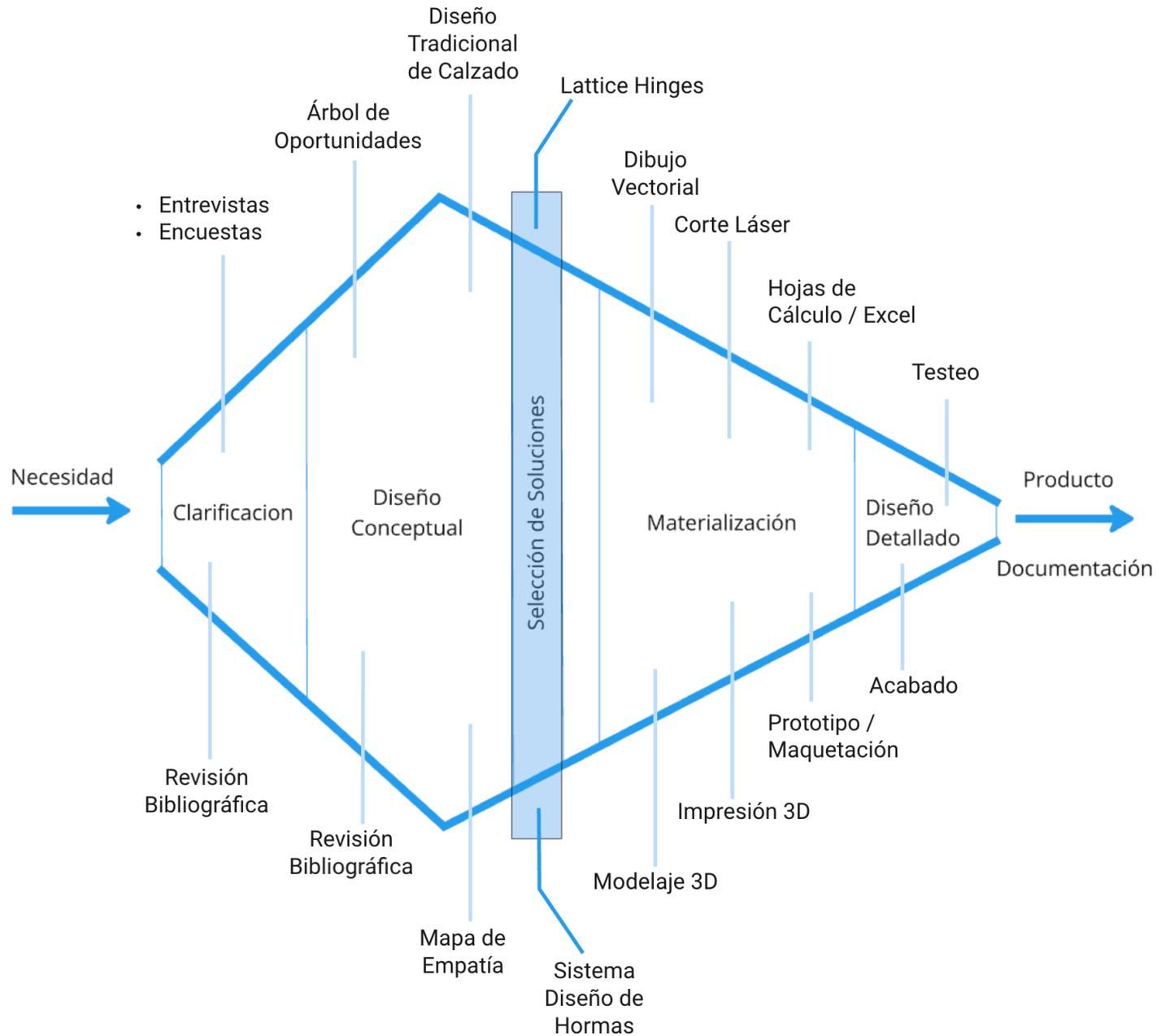
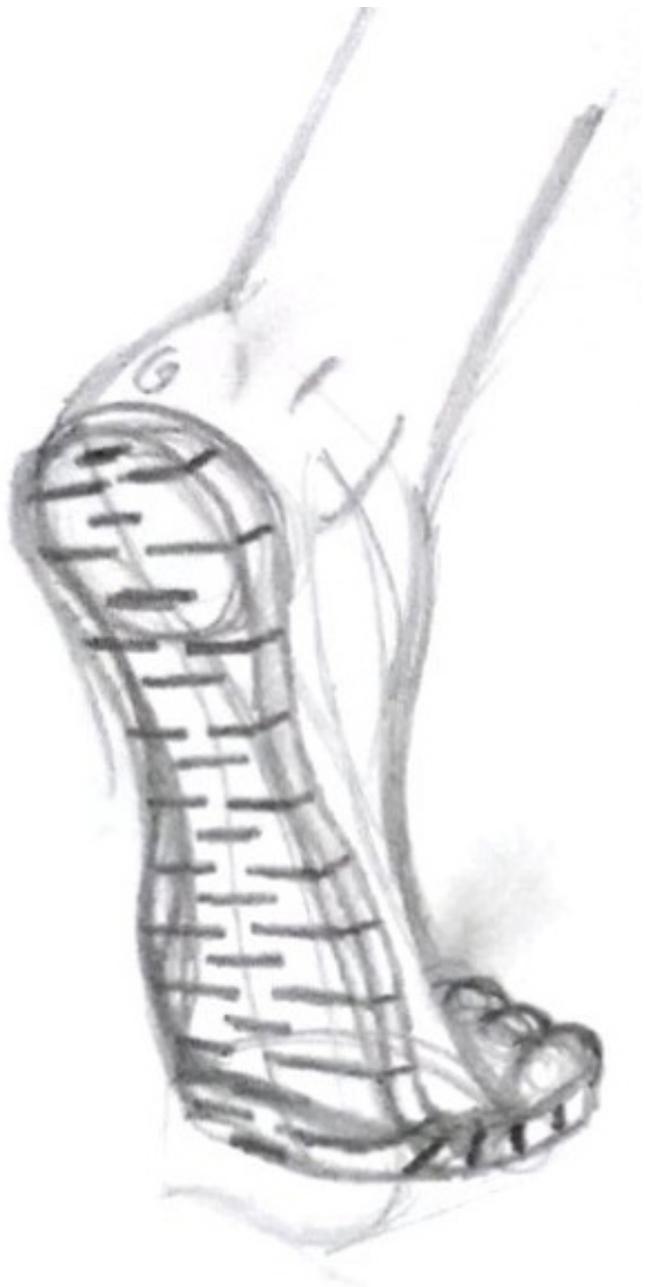


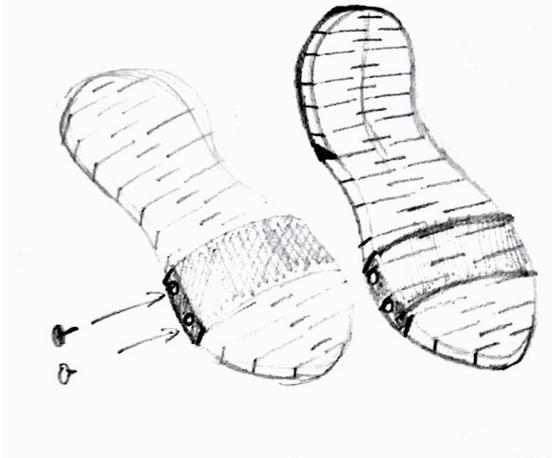
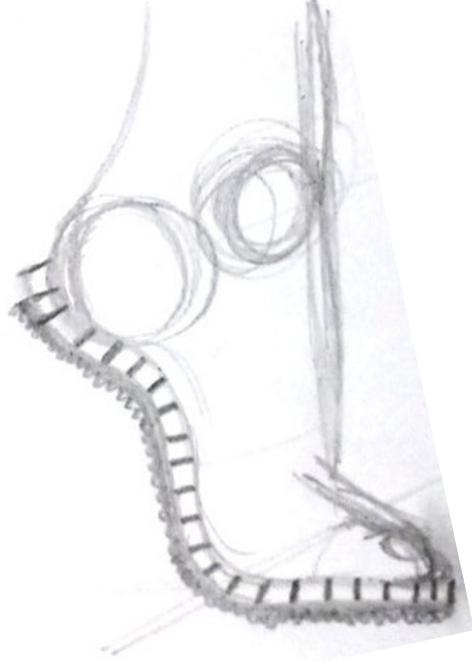
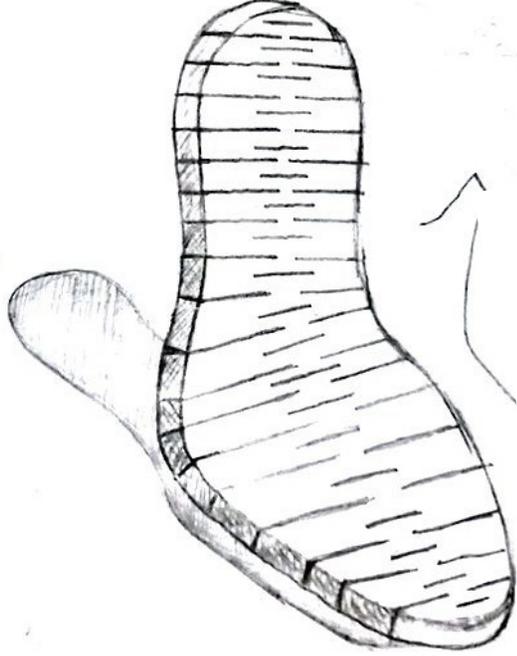
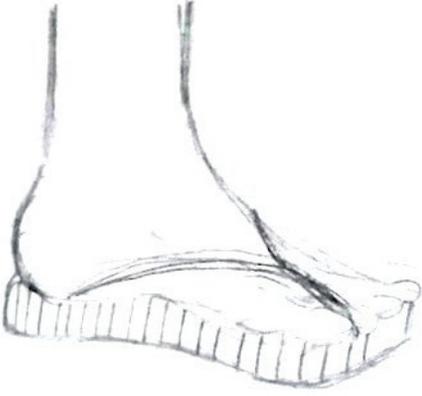
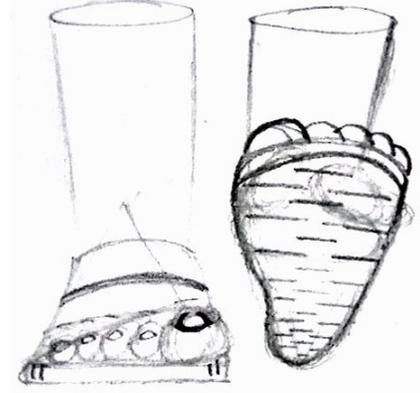
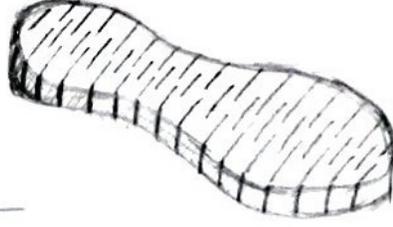
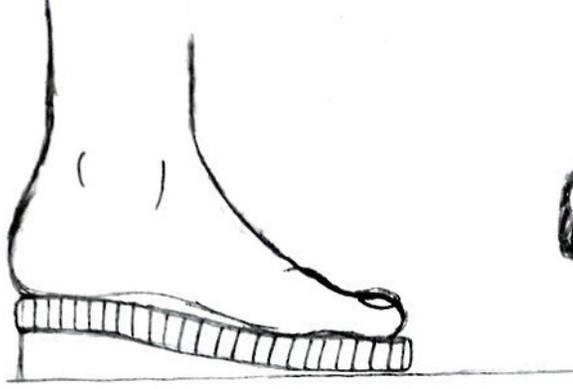
Figura 52. Modelo de diseño de dispositivos médicos. Modificado. (Ogrodnik, 2013)



## Bocetaje

Es la primera etapa del proceso de diseño del calzado, donde se plasman las ideas iniciales en dibujos o bocetos. Aquí se definen el estilo, la forma y los detalles del zapato.

El objetivo es crear una representación visual del concepto del calzado que servirá como guía para las etapas posteriores.



# Horma

La horma es el punto de partida en la creación de cualquier calzado. Si bien la horma no es una parte integrante del zapato como tal, resulta indispensable para obtener una representación fidedigna del pie al que estará destinado. Esto permite desarrollar el patronaje adecuado y definir tanto la forma como el estilo del zapato.

Por lo general, muchos zapateros escogen una horma genérica que utilizan y adaptan dependiendo de la talla del consumidor. Otros en cambio, para hacer un producto más personalizado, toman las medidas del pie, las que son enviadas a un hormero, quien confecciona una horma que se ajusta a las medidas deseadas y sobre la cual el zapatero trabajará.

Los Bespoke shoes o zapatos a medida, son hechos con una horma que se ajusta a la perfección a los pies del cliente, y que dan como resultado, por lo general, piezas únicas. Se trata de procesos costosos debido a los detalles y el tiempo utilizado en su elaboración.

Hace ya algunos años se está utilizando el modelado en 3D para realizar las hormas en base a las propias medidas del pie, que luego pueden ser reproducidas utilizando mecanizado CNC o impresión 3D. Obteniendo hormas que se acomodan a las medidas y forma de cada pie.

Pero ¿cómo se crea una horma?

Para poder crear una horma de manera digital, primero se debe entender cuáles son las medidas más relevantes del pie para ser utilizadas como parámetros y cuál es la secuencia correcta para crearla y pueda ser útil en los siguientes pasos.

## Sistema de fabricación de Hormas

En el diseño de hormas de acceso público, existen dos enfoques principales: el sistema AKA64-WMS y el sistema chino. El sistema AKA64, creado en 1964 por el grupo de trabajo "Arbeitskreis Kinderschuh", que incluye a fabricantes de calzado y hormas de origen alemán, ofrece un método para diseñar plantillas de hormas. Este sistema permite verificar la orientación de la horma y proporciona tablas para comprobar las medidas.

Por su parte, el sistema chino, desarrollado en 1984, se fundamenta en estudios detallados del pie humano para establecer un modelo de diseño de hormas. Este método incluye numerosas tablas con datos específicos del pie y escalas de tallas para las hormas. Aunque permite desarrollar hormas basadas en mediciones precisas, todavía presenta ciertas imprecisiones, como en la definición del contorno inferior (Luximon & Luximon, 2009).





Figura 54. Huella plantar utilizada para la elaboracion de la sandalia. Elaboración propia.

## Curva del Arco del Pie

Uno de los mayores desafíos que se encuentran cuando se quiere modelar la horma es saber cómo funciona la curvatura del pie. Esta curvatura se encuentra desde el talón hasta la línea de cambre, que es la línea que demarca la flexión plantar de nuestro pie y que está guiada por la flexión de nuestros dedos (Figura 55).

Para la obtención de la curva ideal para el pie, utilizaremos las líneas constructivas que fueron trazadas en la plantilla para que estas den origen a las cotas de la curva, la cual también se verá influenciada por la altura del talón (Figura 55).

Para obtener tales puntos, se recurre nuevamente al texto de Luximon & Luximon (2009), donde se adjunta una tabla de medidas respecto a la plantilla y además, la fórmula en formato de matriz para poder obtener las cotas de la curva.

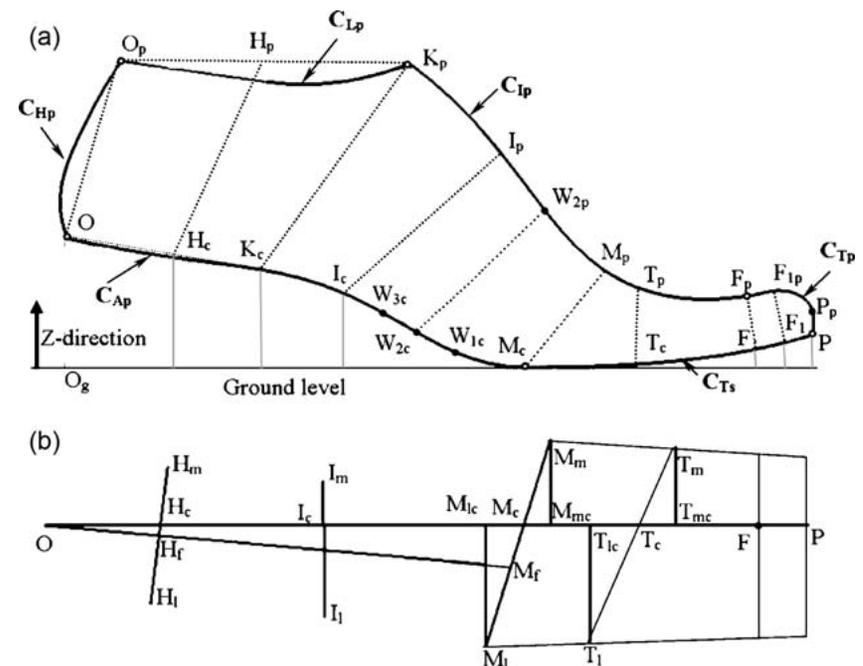


Figura 55. Plantilla cálculo de arco del pie (Luximon & Luximon, 2009)

El texto proporciona una tabla de medidas (figura 57) donde especifica qué medidas debe tener cada distancia en la plantilla del pie, sin embargo en la fórmula utiliza las medidas de una horma maestra como es llamada, la cual equivale a una talla 36 europea.

Luego de una rigurosa lectura, se logra interpretar cómo funciona la aplicación de las fórmulas que se encuentran en las matrices utilizando la tabla de valores entregada en el mismo texto, para poder interpretar qué valores corresponden a constantes y que valores corresponden a variables.

Para poder agilizar este proceso, lo que se ha hecho es transcribir la fórmula que aparece en la figura 56, usando los valores que han sido utilizados como constantes tanto en la tabla como en la fórmula, en una plantilla de hojas de cálculo (formato .xlsx), dejando como incógnita o valor variable, las longitudes del pie que se requieran dependiendo de la talla, o bien, de las medidas particulares del pie de un usuario en específico.

De esta manera cada usuario podrá utilizar las hojas de cálculo según sus preferencias y así volver este proceso mucho más rápido.

$$\begin{bmatrix} X_{W_{1c}} \\ X_{W_{2c}} \\ X_{W_{3c}} \\ X_{I_c} \\ X_{K_c} \\ X_{H_c} \\ X_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0004 & -0.0249 & -16.088 \\ 0.0013 & -0.0414 & -32.047 \\ 0.0017 & 0.0004 & -48.790 \\ 0.0021 & 0.0361 & -65.346 \\ 0.0029 & 0.0376 & -92.276 \\ 0.0035 & 0.0253 & -119.17 \\ 0.0046 & 0.0403 & -156.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_H^2 \\ H_H \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_{W_{1c}} \\ Z_{W_{2c}} \\ Z_{W_{3c}} \\ Z_{I_c} \\ Z_{K_c} \\ Z_{H_c} \\ Z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0005 & 0.0074 \\ 0.0005 & 0.1428 \\ -0.0004 & 0.3754 \\ -0.0012 & 0.5881 \\ -0.0015 & 0.8168 \\ -0.0012 & 0.9329 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_H^2 \\ H_H \end{bmatrix}$$

Figura 56. Matriz de cálculo para determinar las coordenadas de la curva del arco del pie, usando valores de un pie de 230 mm de largo (Luximon & Luximon, 2009)

New model*	
Parameters	Values
OF	230 mm
BG	215 mm
IG	224 mm
FP	15 mm
$OH_c$	$0.167*OF$
$H_m H_f (=H_f H_1)$	27 mm
$OI_c$	$0.40*OF$
$I_l I_c$	$0.16*IG$
$OM_{Ic}$	$0.628*OF$
$M_l M_{Ic}$	$0.222*BG$
$OM_{mc}$	$0.72*OF$
$M_m M_{mc}$	$0.157*BG$
$OT_{Ic}$	$0.776*OF$
$T_l T_{Ic}$	$0.212*BG$
$OT_{mc}$	$0.899*OF$
$T_m T_{mc}$	$0.145*BG$
$I_l I_m$	$0.472*I_l I_c$
$\angle PH_c M_f$	$6^\circ$
$\angle T_m M_m M_f$	$100.8^\circ$
$\angle T_l M_l M_f$	$71.9^\circ$
$\angle PM_c M_m$	$75.4^\circ$
$OM_c$	$0.682*OF$
$\delta O$	3 mm
$\delta H_m$	3.6 mm
$\delta H_1$	2.2 mm
$\delta I_m$	10 mm
$\delta I_l$	3 mm
$\delta M_m$	3 mm
$\delta M_l$	2 mm
$\delta T_m$	0.5 mm
$\delta T_l$	2 mm

Figura 57. Tabla para calculo de valores utilizando un pie de 230 mm de largo como referencia (Luximon & Luximon, 2009)

La tabla presentada, incluye algunas abreviaciones que corresponden a diferentes medidas del pie tomadas desde distintos puntos y distancias. Estas abreviaciones están basadas en las definiciones utilizadas en la literatura de referencia. Cada abreviación representa una medida específica del pie, estas son:

- **OF:** Representa la longitud total del pie, esta distancia va desde el talón hasta la punta del pie.
- **BG:** Es la abreviación de "Ball Girth" y corresponde al perímetro del contorno que pasa a través de los puntos de las articulaciones metatarso-falángica primera y quinta.
- **IG:** Abreviación de "Instep Girth", corresponde al perímetro del contorno que pasa por el empeine y la concavidad del arco del pie, en su parte más angosta.

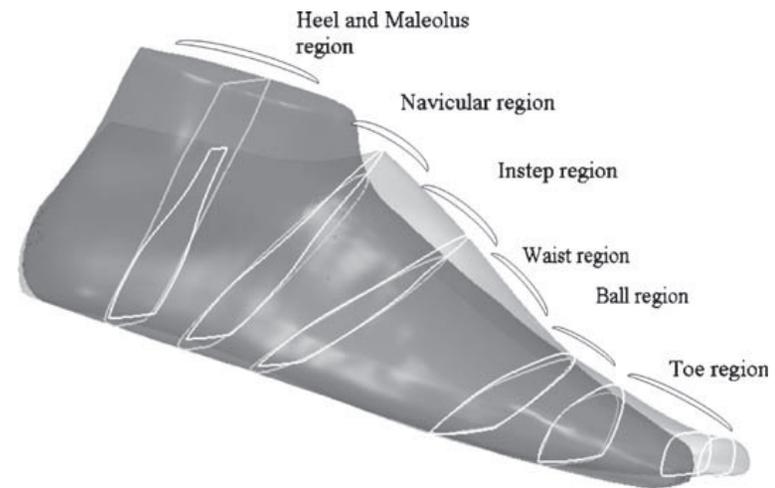


Figura 58. Secciones del pie para el uso de formula (Luximon & Luximon, 2009)

## Hojas de Cálculo y Fórmula

Se implementó la fórmula presentada por Luximon & Luximon (2009) en hojas de cálculo de Google (Figura 59 ) para calcular las coordenadas de los ejes X e Y que definen la curva del arco del pie más adecuada para la construcción de una horma para calzado de manera digital. Este cálculo está diseñado para ajustarse a las dimensiones y parámetros específicos del pie y así, facilitar el diseño de la horma.

En la hoja de cálculo, se establecieron casillas editables que permiten ingresar los siguientes parámetros:

- Largo del pie: Distancia total desde el talón hasta la punta del pie.
- Altura del talón: Distancia vertical deseada para el talón en la curva del arco.

Al ingresar estos valores, la fórmula implementada calcula automáticamente las coordenadas correspondientes en los ejes X e Y, valores que posteriormente son ingresados en el software de modelado en 3D, en el caso de este proyecto Rhinoceros 3D, generando la curva del arco del pie que se busca usar para la construcción de la horma.

Este cálculo asegura que la curva se ajuste a las proporciones y características individuales definidas por los parámetros ingresados.

Esta metodología permite sistematizar la aplicación de la fórmula presentada, otorgando una visualización clara y personalizable de las curvas, contribuyendo al desarrollo de una solución con mirada hacia la ergonomía y anatómicamente adecuada para el contexto de este proyecto.

Curva Talón ☆ 📁 ☁

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Ex

🔍 ↶ ↷ 🖨 🗑 100% | € % .0\_ .00 123 | Predet... ▾

B8 |  $f_x = (0,0021*(A2*A2)) + (0,0361*A2) - ((0,68*B2) - (0,4*B2))$

	A	B	C
1	Altura de Talon /Heel Height (mm)	Largo del Pie (mm)	
2	15	250	
3			
4			
5	X W1c	-17,53	
6	X W2c	-34,8215	
7	X W3c	-51,351	
8	X Ic	-68,986	
9	X Kc	-101,2835	
10	X Hc	-128,833	
11	X O	-168,8605	
12			
13			
14			
15			
16	Z W1c	0,2235	
17	Z W2c	2,2545	
18	Z W3c	5,541	
19	Z Ic	8,5515	
20	Z Kc	11,9145	
21	Z Hc	13,7235	
22	Z O	15	
23			
24			

Para este proyecto se trabajó con una talla 38, que corresponde a un largo de pie de 25 cm, junto con una altura de talón de 15 mm, como se puede observar en la imagen presentada. Con estos valores, se generaron todas las coordenadas sujetas a los parámetros ingresados, las cuales permitirán construir, a partir de estos puntos, la curva del arco del pie.

**Observación:** Es importante destacar que las coordenadas se establecen tomando como punto de origen del plano cartesiano el punto **Mc** (ver figura 55), ubicado en la línea de cambré, también conocida como "Ball Girth".

Figura 59. Hoja de calculos con formula transcrita de Luximon & Luximon (2009) .

Elaboración propia.

Ahora que se obtuvieron las coordenadas, se procede a ingresarlas en el software Rhinoceros 3D, donde serán utilizadas para construir la curva del arco del pie. A continuación, se presenta la curva construida en la la figura 60:

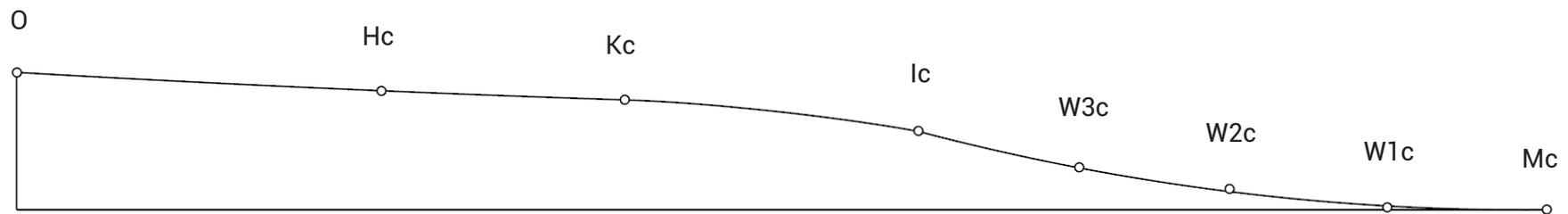


Figura 60. Curva construida a partir de coordenadas obtenidas en hoja de calculo.

Elaboración propia.

## Modelado 3D

Una vez ya obtenidos los valores de las cotas que darán forma a la curva del pie, se procede a posicionar tales puntos en el modelado 3D. Para este proyecto, el software utilizado es Rhinoceros 3D, el cual funciona como una poderosa herramienta que ayudará a la construcción tridimensional del modelo de la horma.

Aunque la producción y la automatización de hormas han avanzado considerablemente, la creación de la horma maestra, que suele corresponder a una talla 36 o 37 europea (talla 6 en Estados Unidos), sigue siendo un proceso manual. Este trabajo recae en un maestro modelista, quien, gracias a su habilidad artística y experiencia, da forma a la horma "ideal" esculpiéndose cuidadosamente a partir de un bloque de madera (Luximon & Luximon, 2009).

En base a lo anterior, para poder continuar con el proceso de obtención de la horma, se requiere la utilización de una horma maestra, que será modificada utilizando el Rhinoceros 3D, para que ésta se adapte tanto a la plantilla que se está usando, como también para que tome la forma de la curva del arco ya hecha

En internet existen múltiples modelos de hormas que pueden ser descargadas desde diferentes bancos de modelos 3D, algunas gratuitas y otras pagadas. Para este proyecto, la horma maestra seleccionada corresponde a una de talla 37, de arco plano. La horma fue obtenida a través de un material didáctico entregado por Abel Quiles (2017), diseñador industrial español especializado en 3D para la industria del calzado, quien además de dedicarse a la docencia, crea contenido de aprendizaje en materia relacionada al modelado 3D. Desde el link aportado por el autor se pudo descargar el modelo de horma con el que se trabajó en este proyecto. Al modelo descargado se le realizan las modificaciones para que calce con la plantilla utilizada y luego se procede a deformar la horma en relación a la curva que se ha dibujado previamente.

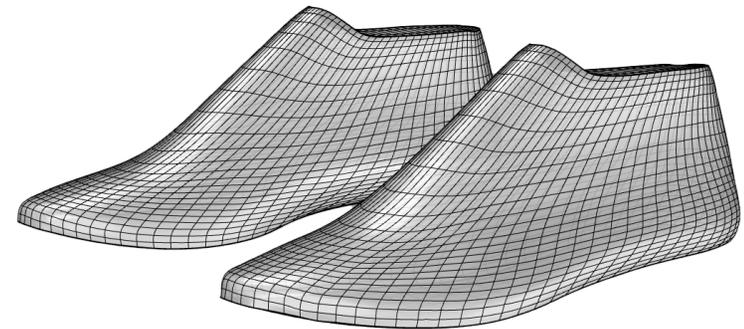


Figura 61. Horma base o maestra (Quiles, 2017)

En los pasos recién descritos, la principal función que fue ejecutada en el software Rhinoceros, fue la de caja de edición, la cual permite crear un polígono que envuelve toda la horma, comúnmente denominada bounding box, para que luego sobre este polígono sean posicionados múltiples puntos de control, los cuales pueden ser escogidos según cada preferencia.

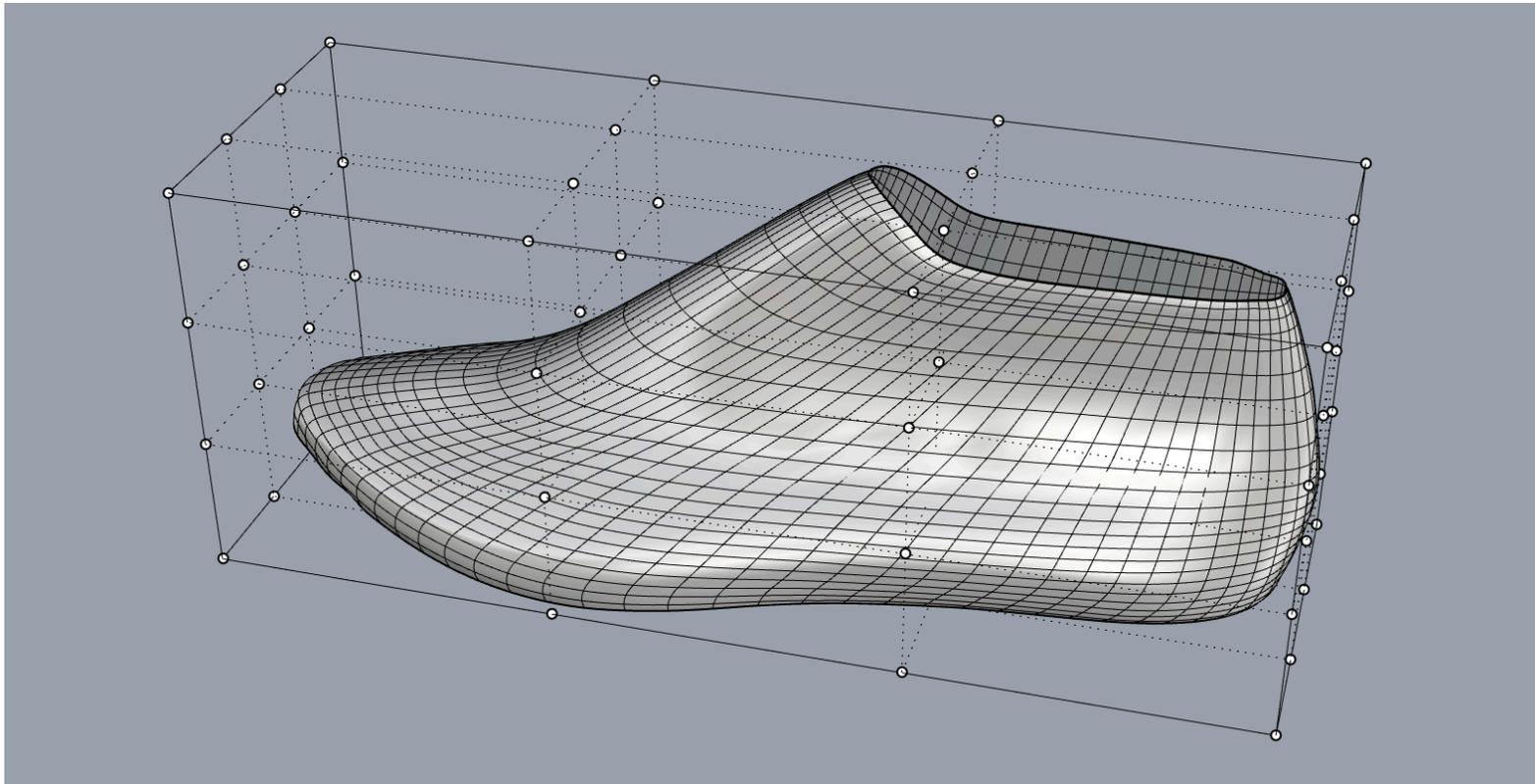


Figura 62. Herramienta Bounding Box para alterar horma. Elaboración propia.

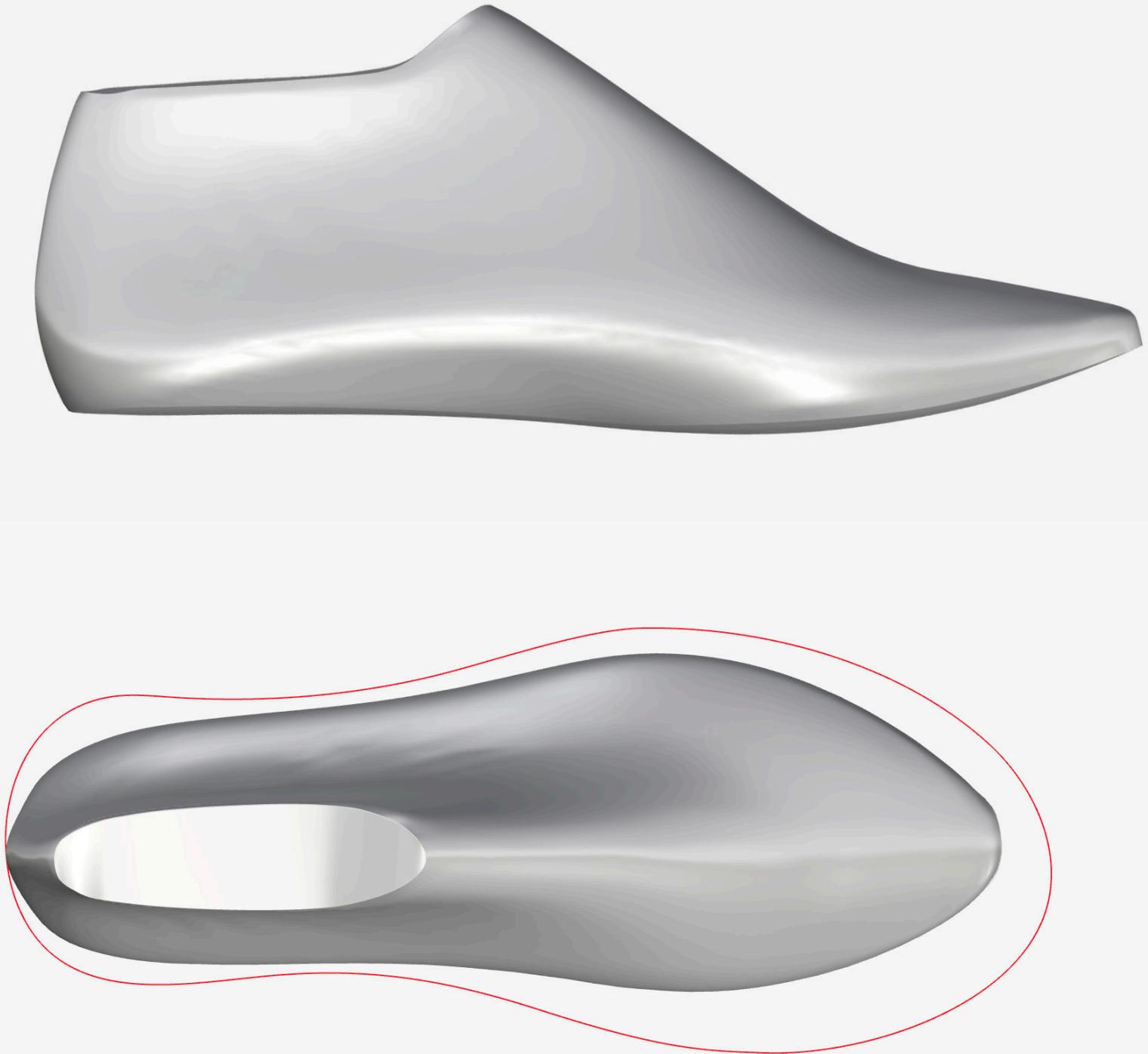


Figura 63. Horma base (Quiles, 2017)

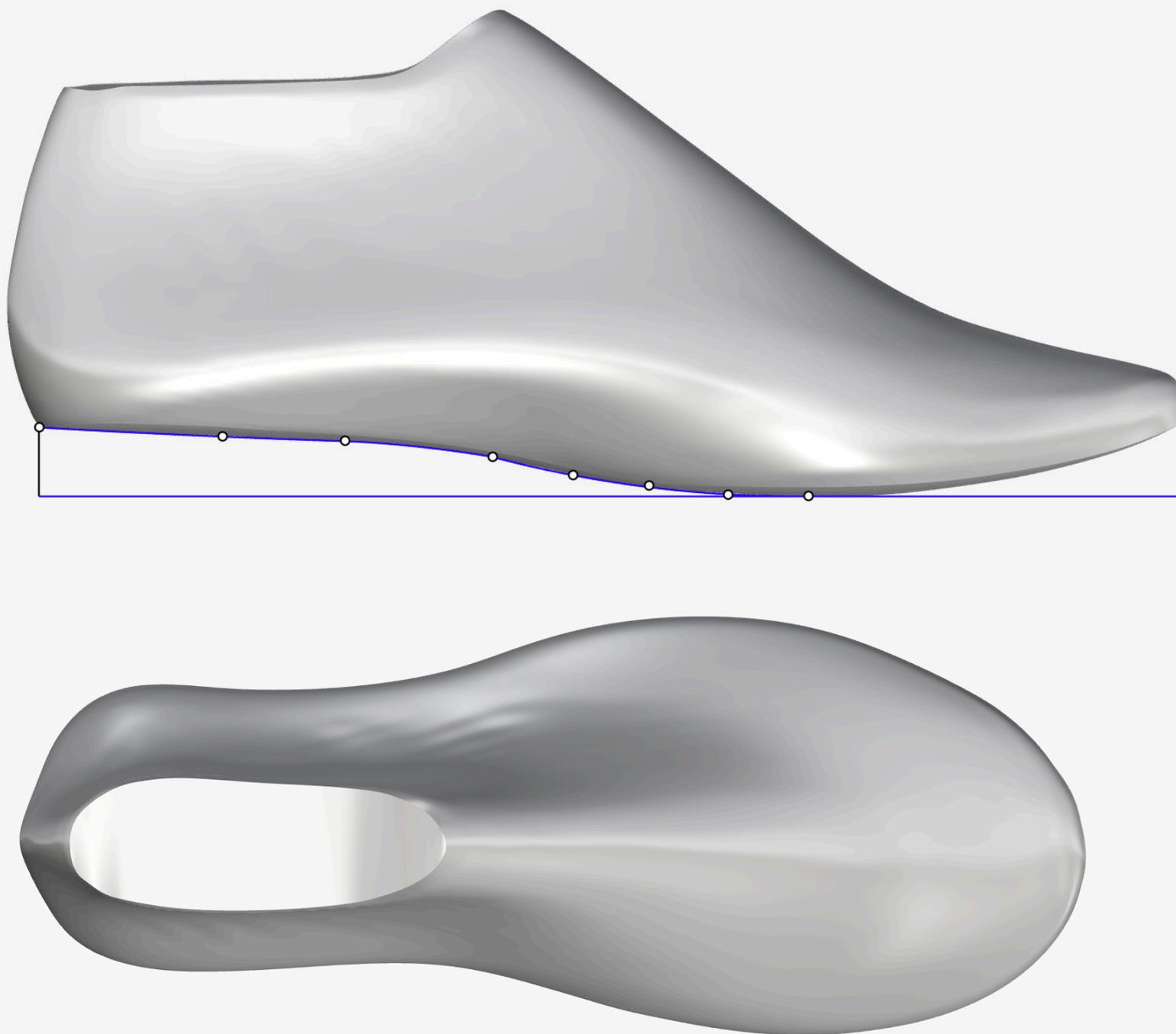


Figura 64. Horma alterada, adaptada a la plantilla y a la curva del arco. Elaboración propia.

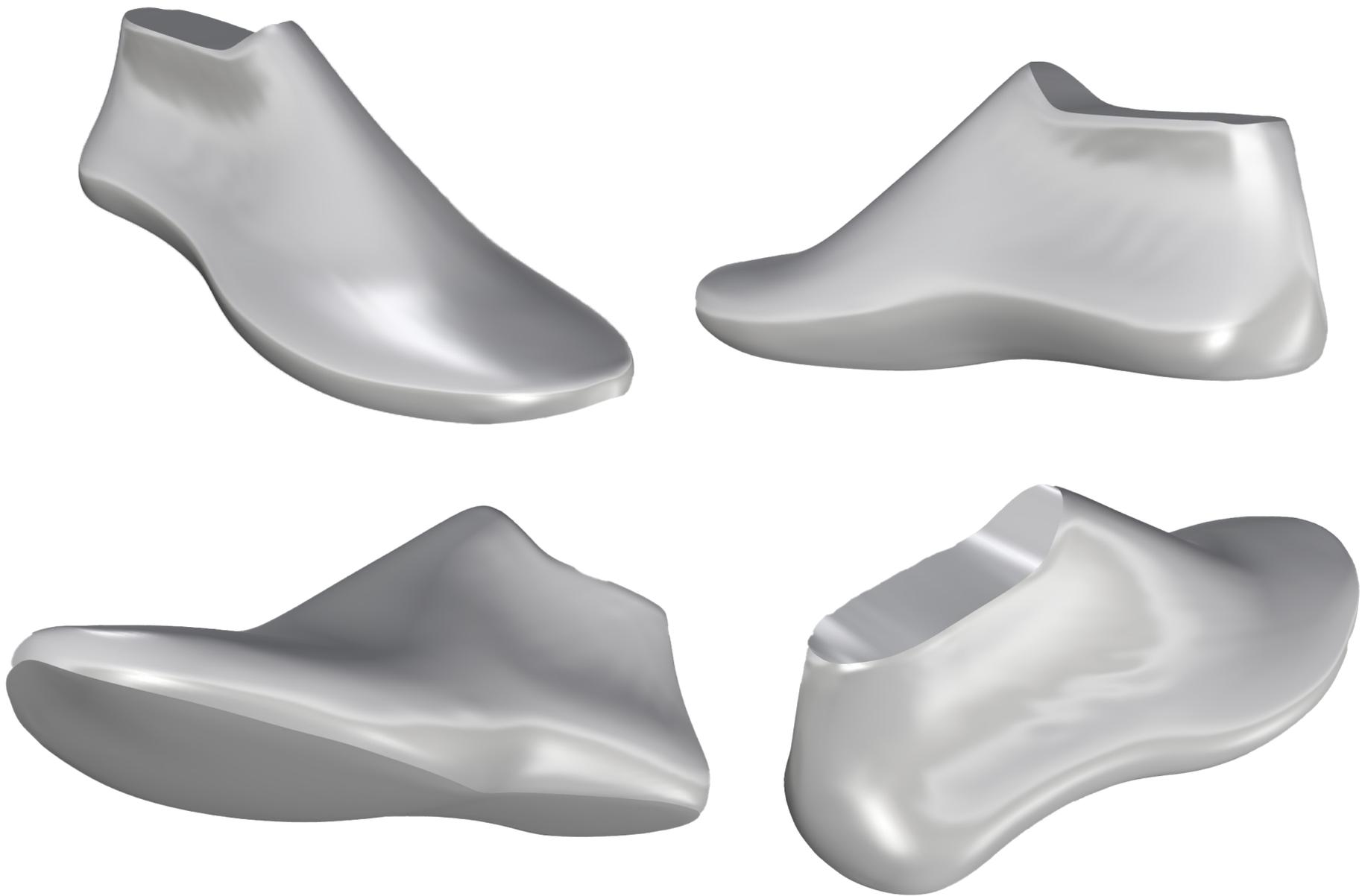


Figura 65.



Figura 66.

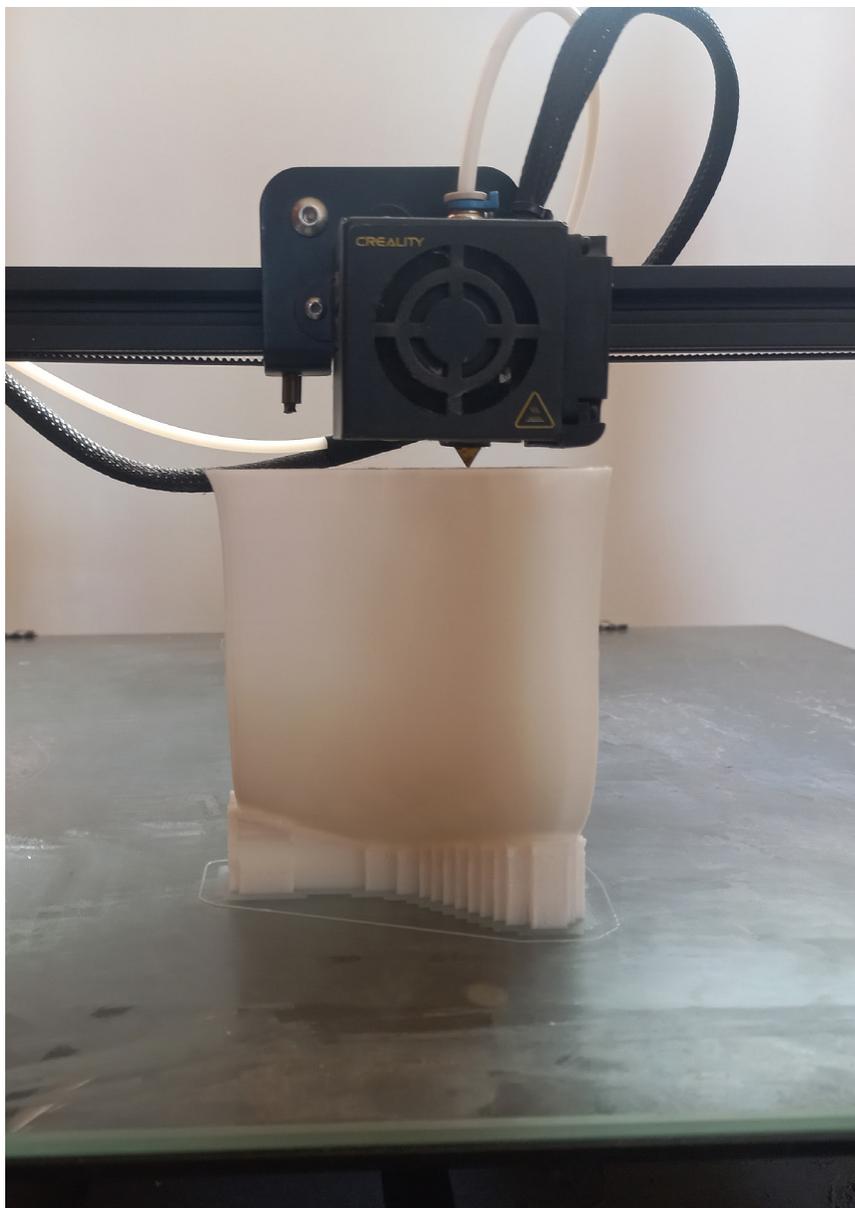


Figura 67. Impresión 3D de la horma. Elaboración propia.

## Impresión 3D

Una vez lista la horma en su formato digital, se procede a guardar el modelo en la extensión STL, para posteriormente exportarla al software de laminado para impresión en 3D, que en el caso de este proyecto es PrusaSlicer.

Se configuran los parámetros de impresión, según las preferencias de rapidez y densidad, además de posicionar la horma de una manera práctica y que de esta forma no haya errores en su impresión. Lo más recomendado es imprimir la horma de manera vertical, y de esta manera evitar demasiados soportes de impresión, los que luego tienen que ser extraídos, lo que se traduce en mayor tiempo de impresión y mayor trabajo al término de la impresora para retirar los soportes. Una vez listo el archivo en la laminadora se prosigue a exportar el archivo para que este pueda ser impreso en la impresora 3D.



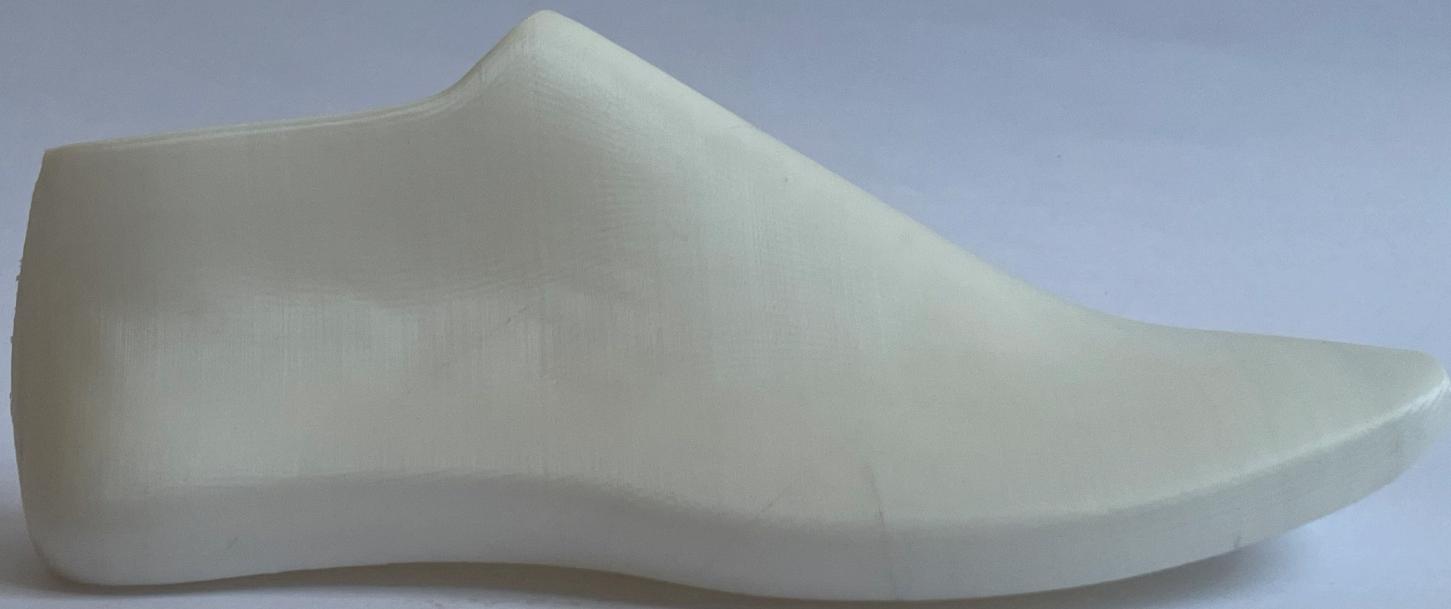


Figura 69. Forma impresa, cara exterior. Elaboración propia.

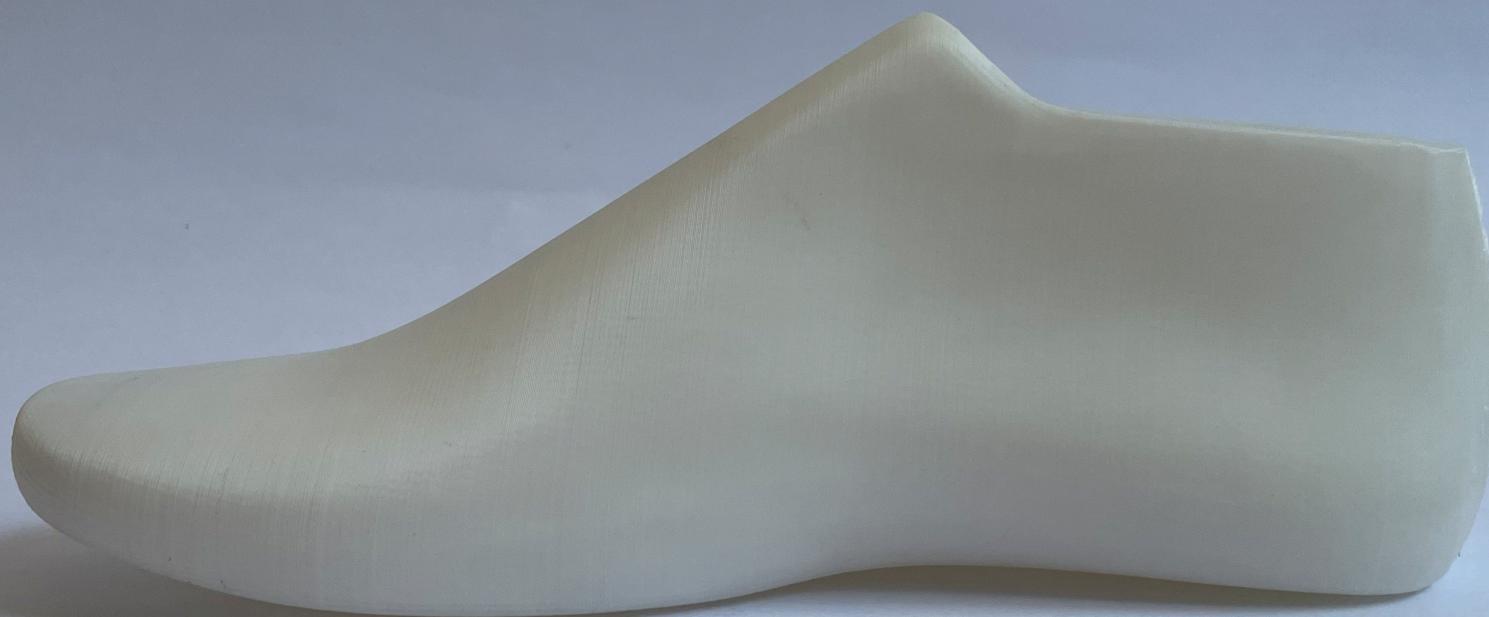


Figura 70. Horma impresa, cara interior. Elaboración propia.

## Suela

La suela es la última parte del zapato en ser colocada, ésta puede ser adherida con pegamento, costurada o ambas. Normalmente la suela se compra según talla de zapato, pero nuevamente, en la fabricación de un zapato a medida, ésta debe confeccionarse.

Existen varios tipos de materiales que se utilizan para suelas, como el corcho, cuero, caucho, goma, poliuretano, EVA, etc., que se elegirá dependiendo del estilo y funcionalidad del zapato a fabricar. Cada material tiene diferentes características y sus respectivas limitaciones.

Además, dependiendo del modelo de calzado, las suelas pueden poseer una entresuela, que actúa como una capa adicional sobre la suela exterior. Esta entresuela suele ofrecer características como amortiguación, soporte y estabilidad, mejorando así la comodidad y el rendimiento del calzado.

En algunos modelos, la entresuela también puede estar diseñada para proporcionar propiedades de absorción de impactos o para adaptarse a la forma del pie, lo que contribuye a una experiencia de uso más ergonómica. La elección de materiales para la entresuela también influye en el peso y la flexibilidad del calzado, siendo crucial para su funcionalidad en diferentes actividades.

## Entre-suela

Tomando en consideración los atributos y requerimientos que fueron planteados para este proyecto, el material para la entre-suela que se ha escogido ha sido el corcho.

El corcho es extraído de la corteza del alcornoque, sin dañar el árbol, por lo que se considera que es un material amigable con el medio ambiente. Entre sus beneficios destacan que no genera desperdicios y es reutilizable, (Gaitán & Torres, 2018).

El corcho es un material muy utilizado en la industria y en el oficio del calzado, gracias a sus propiedades que lo hacen ideal para diversas aplicaciones. Es un material ligero, flexible y resistente (Saade & Valdéz, 2003), lo que lo convierte en una opción adecuada para la fabricación de suelas, plantillas y entresuelas. Su uso también se observa en la industria de la construcción, ropa, accesorios de vestir, accesorios de hogar, además del calzado (Gaitán & Torres, 2018). Además, el corcho tiene propiedades de amortiguación y absorción de impactos, proporcionando una mayor comodidad al

caminar y reduciendo la fatiga del pie. Su capacidad para regular la temperatura y la humedad también lo hace adecuado para el calzado, ya que ayuda a mantener un ambiente saludable e higiénico para el pie. Este, al ser un material transpirable, permite la circulación del aire, lo que reduce la acumulación de sudor y olores. Esto contribuye al confort del pie, especialmente en climas cálidos o durante actividades prolongadas.

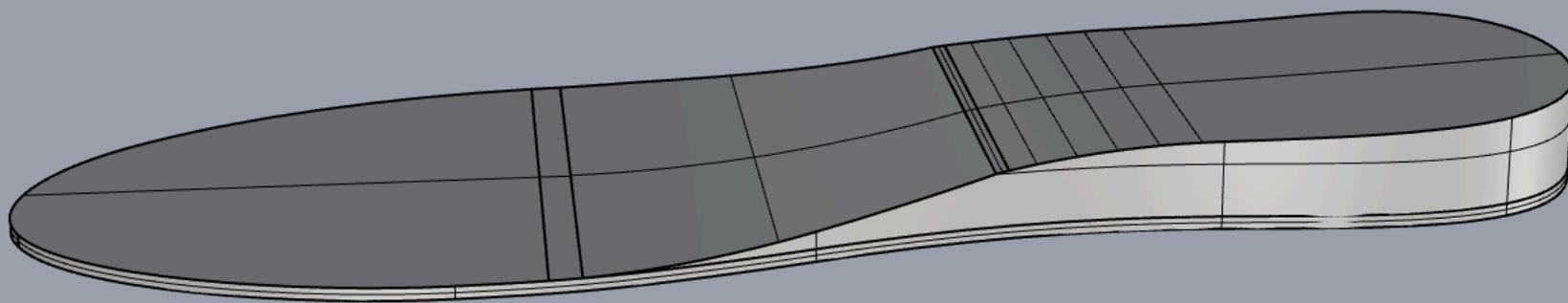
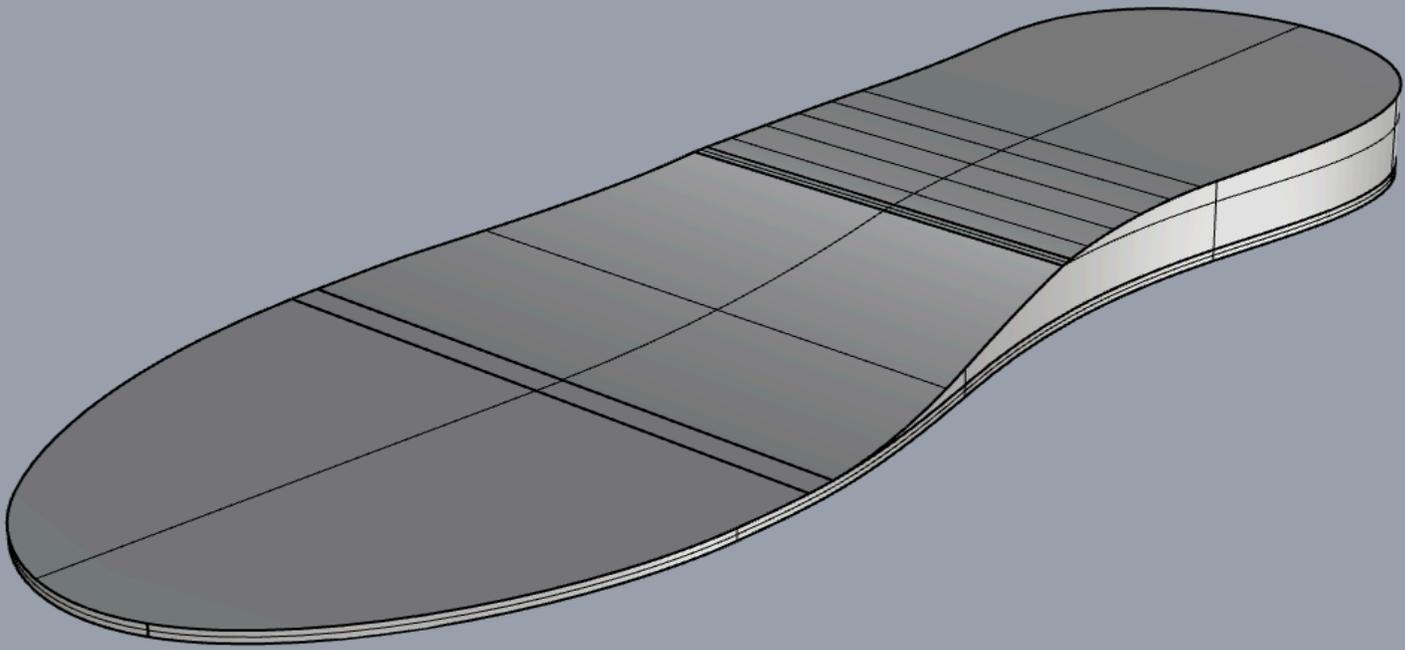


Figura 71 y 72. Modelo 3D entresuela. Elaboración propia.



Para la confección de la entresuela, gran parte del trabajo ha sido realizado en la etapa anterior, en el proceso de creación de la horma. En este proceso previo ya fueron obtenidos dos elementos principales para la confección de la entresuela.

La primera es la plantilla, que como bien se observó, fue la primera en ser desarrollada en la horma, por lo que será esta misma plantilla la que se va a utilizar para la confección de la entresuela. Al marcar la huella del pie para la elaboración de la plantilla se observan claramente las zonas donde se ejerce mayor presión, lo cual también será tomado en consideración para la fabricación de la entresuela.

En segundo lugar, la otra parte fundamental que ya pudo ser adelantada, es la curvatura de la base del pie. Para efectos de un acomodamiento del pie sobre la entresuela, se utilizará la misma curvatura de base del pie que fue hecha para la horma, ya que esta corresponde a la curvatura ideal para el pie.

Teniendo ya listas estas partes se procede nuevamente a generar un taco o talón para la entresuela utilizando los factores que acaban de ser mencionados. La creación de éste será hecho utilizando el software Rhinoceros.

Una vez lista la creación de la entresuela en el programa, se procede a ser laminada en relación al espesor de la plancha de corcho que se ha comprado. En el caso de este proyecto, la lámina de corcho que fue adquirida posee 2 mm de espesor, por lo que la entresuela será dividida en partes iguales de 2 milímetros de espesor para que pueda ser replicada físicamente.

Teniendo ya cada una de las capas que conforman a la entresuela, estas son exportadas en formato .SVG en el programa de Adobe Illustrator.



Figura 73. Vista lateral entresuela en ambiente 3D. Elaboración propia.



Figura 74. Entresuela laminada en capas. Elaboración propia.

A continuación se aplica un proceso que dependerá del tipo de proyecto que se esté realizando, pudiendo ser utilizada una huella genérica de pie para la talla en particular o bien, utilizando la impresión de la huella del pie del usuario con el que se esté trabajando.

Esta huella es escaneada y llevada al programa vectorial de Adobe Illustrator y es acomodada sobre las capas que ya se encuentran inseridas, para efectos de contornearse vectorialmente la huella que es visualizada en la imagen y así poder marcar sobre las capas de la entresuela la ubicación de la huella, para que de esta manera el pie se pueda acomodar más fácilmente al entrar en contacto con la entresuela de la sandalia.

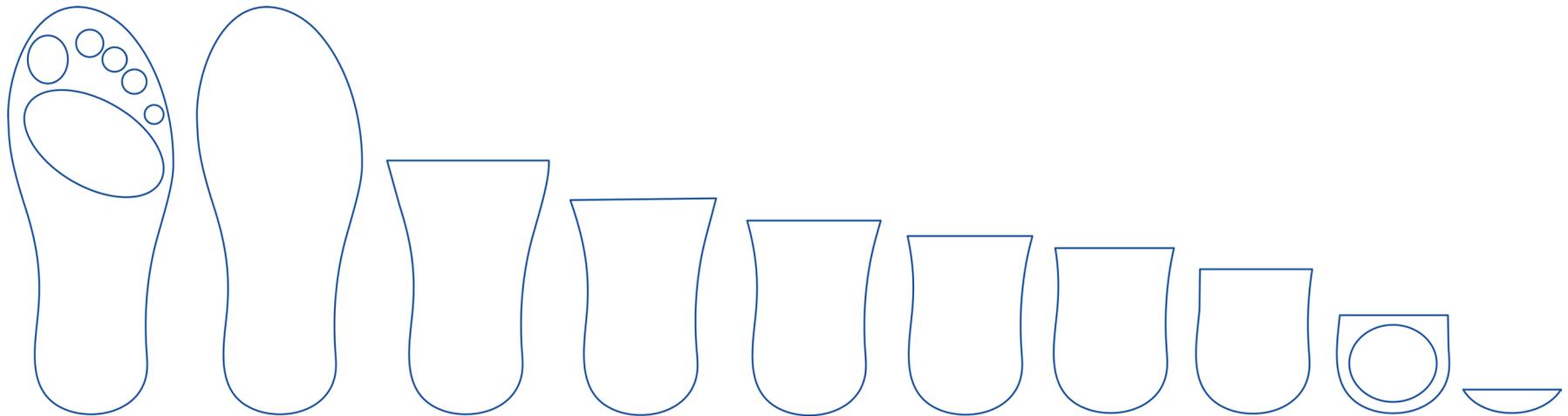


Figura 75. Capas de la entresuela laminada. Elaboración propia.

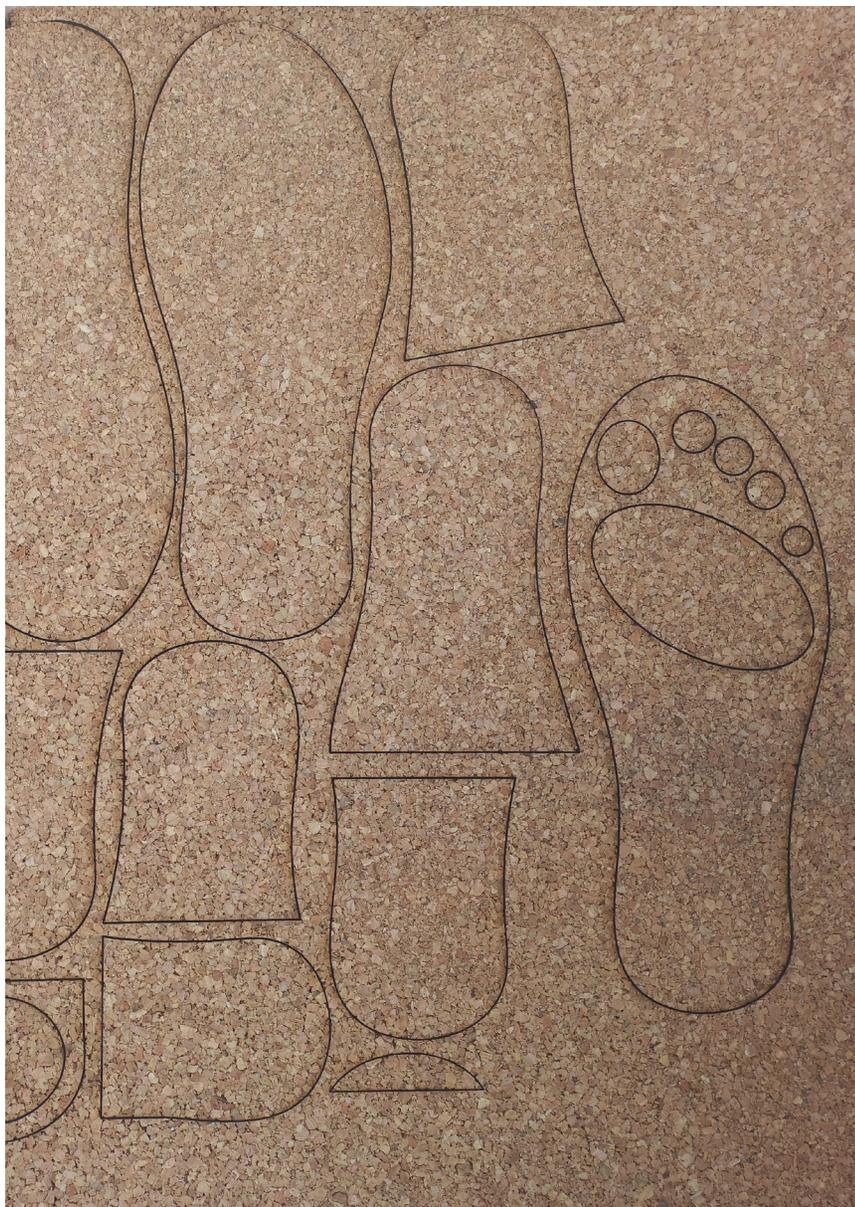


Figura 76. Capas de la entresuela cortadas en láser sobre corcho. Elaboración propia.

Una vez realizados los pasos anteriores, se procede a preparar el archivo final para la fabricación de la entresuela. Cada una de las secciones laminadas que conforman la entresuela se organiza de manera separada en el programa vectorial, en el caso de este proyecto Adobe Illustrator. Luego, el archivo se exporta en el formato requerido para la cortadora láser, que se encargará de cortar las piezas en la lámina de corcho, asegurando precisión y calidad en la construcción de la entresuela.



Figura 77. Capas de la entresuela montadas. Elaboración propia.

Ya cortadas las piezas que darán forma a la entre-suela, se procede a pegar las partes de la suela de manera ordenada utilizando cola. Posteriormente y para fines también estéticos, se decide aplicar una contraforma a presión, para disimular mejor la curvatura de la entre-suela y evitar el aspecto escalonado que tiene. Para conseguir el resultado anterior de la manera más prolija posible, se lijan los cantos de las capas de corcho para que la contraforma se acomode más fácilmente una vez sea puesta sobre la entre-suela de corcho.

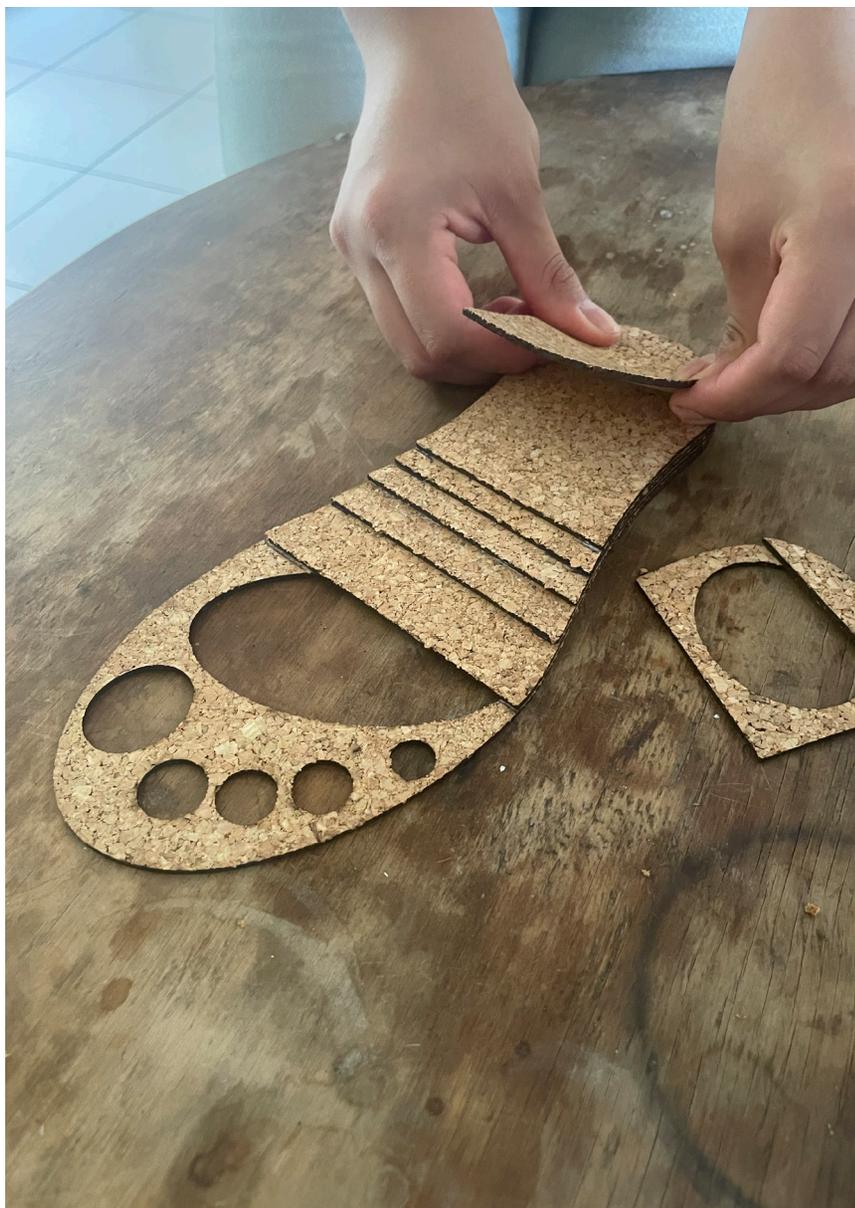


Figura 78. Proceso de armado de la entresuela. Elaboración propia.



Figura 79. Proceso de lijado de los cantos. Elaboración propia.



Figura 80. Entresuela con cantos lijados. Elaboración propia.

Usando nuevamente el programa Rhinoceros 3D, se vuelve a utilizar la misma curva del pie que ya había sido utilizada, para poder generar esta vez una contraforma.

Esta contraforma será aplicada sobre la entresuela que ha sido construida aplicando presión para poder replicar de manera más fidedigna la morfología de la entresuela que fue modelada.

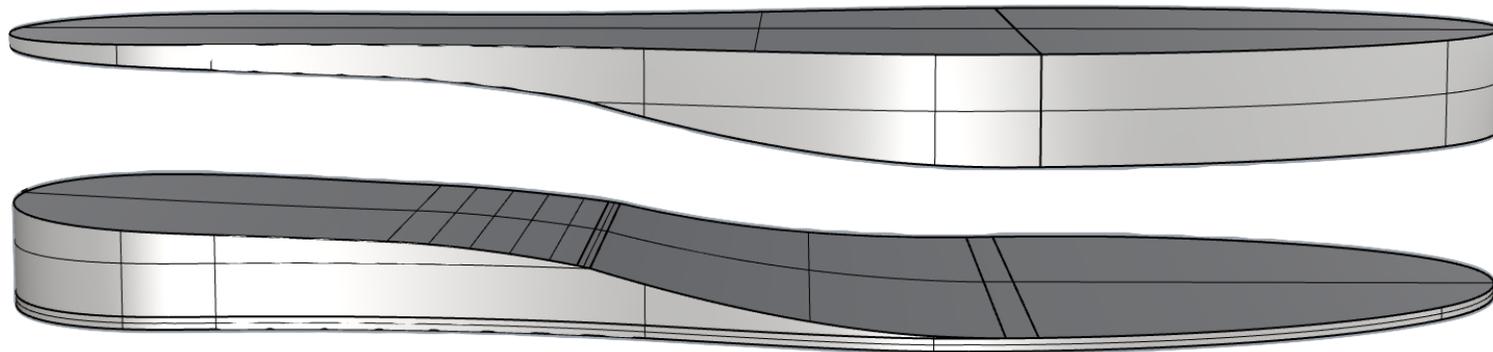


Figura 80. Entresuela y su contraforma en ambiente 3D. Elaboración propia.

Una vez construida la contraforma, esta es llevada al software de laminado para impresión 3D, para poder preparar el archivo y finalmente poder ser enviada a la máquina de impresión 3D donde será impresa.

Teniendo ya lista la impresión de la contraforma de la entresuela, esta es sobrepuesta sobre la entre suela que fue construida, aplicando pinzas que otorgaran mayor presión sobre la entresuela para poder obtener la curvatura a la que se quiere llegar.

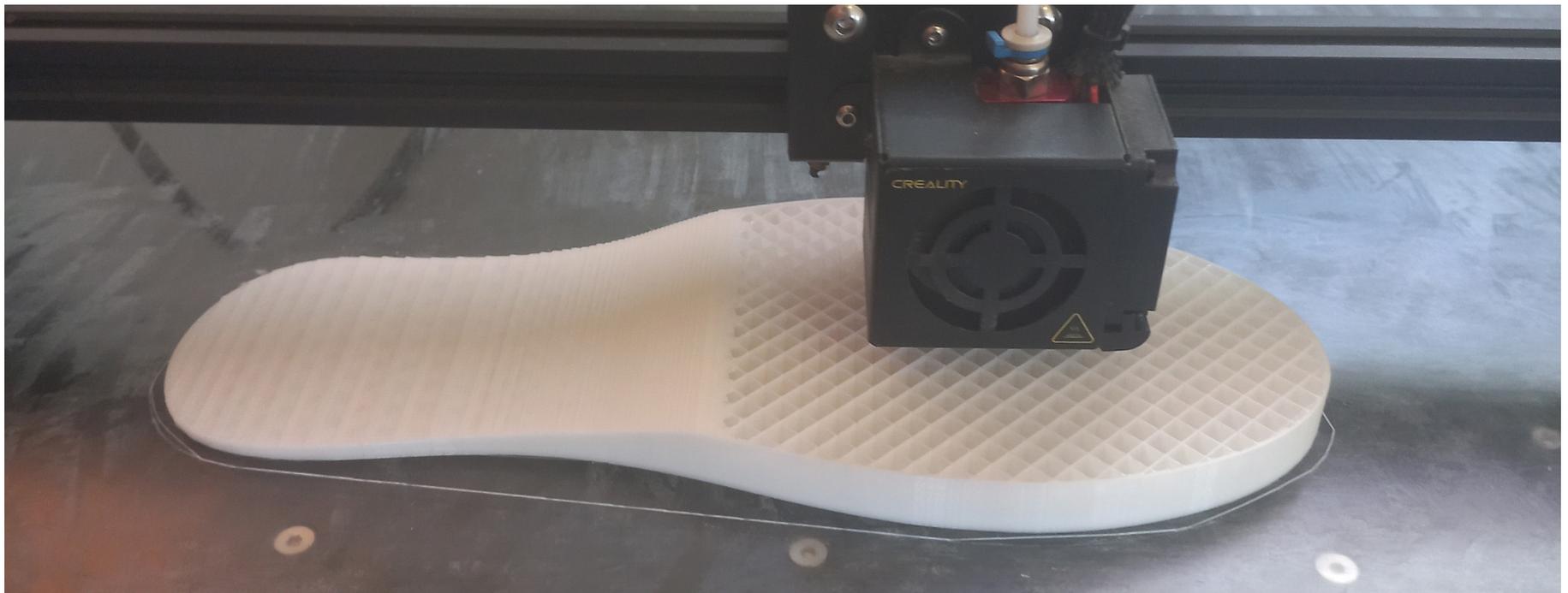


Figura 81. Impresión 3D de la contraforma. Elaboración propia.



Figura 82. Contraforma impresa. Elaboración propia.



Figura 83. Contraforma sobrepuesta en la entresuela aplicando presión. Elaboración propia.



Figura 84. Entresuela terminada. Elaboración propia.



Figura 85. Suelas en negocio de barrio Victoria. Elaboración propia.

## Suela Externa

Con la entre-suela ya acabada, el paso siguiente es la confección de la suela. Las suelas por lo general, son hechas del material más resistente dentro del calzado, debido a que son las que están en constante contacto con el suelo. Para efectos de este proyecto y volviendo a recordar los atributos y requisitos de proyecto, el material no puede ser uno demasiado ligero y frágil como el corcho, dejando como una posibilidad varios otros materiales que son usados comúnmente, sin embargo, tras las observaciones que se han podido realizar a partir de los entrevistados y la revisión de literatura y también de referente, para el caso de la suela en este proyecto no serán utilizados los materiales que son más utilizados.

Según toda la información que se ha podido obtener, uno de los problemas que hay en la fabricación de calzado son la poca oferta o variedad de suelas que se encuentran disponibles, lo cual limita la exploración de nuevos modelos o estilos para diferentes calzado. Además, la mayoría de las suelas que existen y son ofrecidas corresponden a materiales como goma, TPU o caucho, los cuales, sin bien poseen cualidades muy beneficiosas para el uso de suelas, estas también poseen algunas limitaciones.

Entre las limitaciones que se encuentran está: la dificultad de su fabricación, y por lo tanto la dificultad de que sean personalizadas; su precio ; su control de temperatura, pudiendo llegar a altas temperaturas; su poca transpiración.



## Aplicación de Lattice Hinges

Como se expuso previamente, la madera tiene varias cualidades que le permiten ser escogido como un material indicado para la suela. Sin embargo una de las mayores limitaciones que tiene es su rigidez. Es por esto que la aplicación de una retícula con la técnica aplicada del kerfing como lo son los lattice hinges, puede ser una buena opción para poder flexibilizar la madera y así permitir una locomoción eficiente de la suela.

La compañía británica de ingeniería DefProc Engineering, ha sido una de las pioneras en desentrañar la fórmula que permite calcular los parámetros, como longitudes, anchos y número de enlaces, dependiendo del material que se esté utilizando junto con su espesor y el ángulo que se quiera alcanzar para elaborar una retícula con la técnica de Lattice Hinges.

Este procedimiento, en teoría, puede ser aplicado en cualquier material; sin embargo, la madera suele ser el material preferido para la aplicación de esta técnica debido a su combinación de propiedades mecánicas, ligereza y facilidad de trabajo.

La madera es un material naturalmente flexible y resistente, lo que permite que las estructuras diseñadas con Lattice Hinges sean tanto funcionales como adaptables a diferentes condiciones de uso. Además, su capacidad para absorber impactos y su durabilidad en diversas condiciones ambientales la convierten en una opción ideal para aplicaciones en arquitectura y diseño de productos. Cabe resaltar que la sostenibilidad de la madera, al ser un recurso renovable en comparación a otros materiales constructivos, añade un valor adicional en un contexto donde la conciencia ambiental es cada vez más importante.

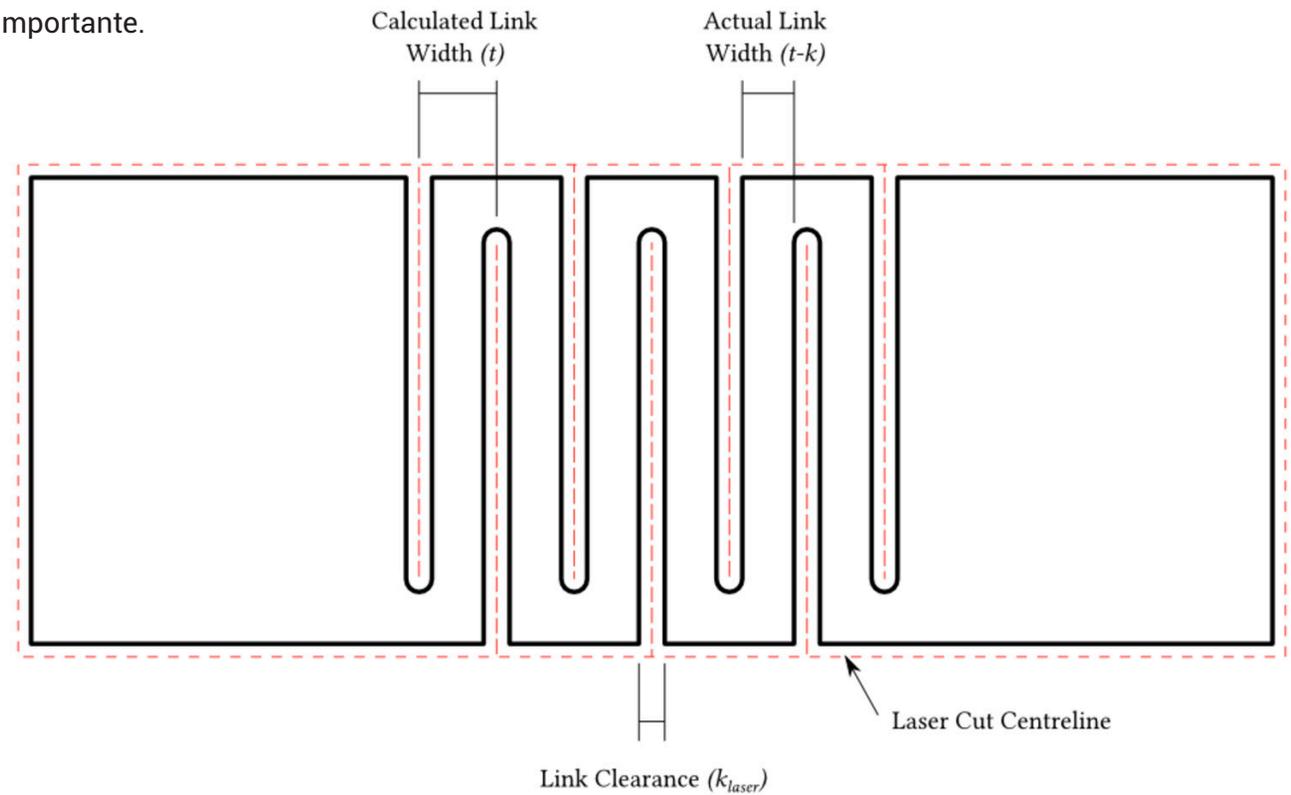


Figura 86. Diagrama de lattice hinges (DefProc, s.f.)

Para comenzar a aplicar esta técnica, se deben conocer algunas de las características de la madera que se esté utilizando y también tener definido el ángulo que se desea alcanzar.

Teniendo ya definido el ángulo que se desea alcanzar y sabiendo el espesor de la madera que se está utilizando, se deben averiguar dos factores sumamente importantes para el cálculo de la fórmula. A estos factores se les conoce como Módulo de Ruptura (M.O.R.) y Módulo de Elasticidad (M.O.E.).

Tanto M.O.R. como M.O.E. son factores únicos para cada material y son medidos a través de Megapascales (MPa) o Newton por milímetro cuadrado (N/mm<sup>2</sup>). Estos suelen ser encontrados en la ficha técnica del material.

MDF TRUPAN									
PROPIEDAD	UNIDAD	DELGADOS (D)			ESTÁNDAR (ST)				
		3	4,75	5,5 - 6	7 - 11	12 - 12.7	15 - 22	25	30
Espesor	mm								
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	830-870	800-850	720-780	700-760	690-750	680-740	670-730	670-730
Tolerancia Espesor	mm	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15	+/- 0.15
Hinchamiento 24Hs	%	<22	<22	<22	<15	<10	<10	<10	<6
Absorción 24 Hs	%	<30	<30	<30	<25	<20	<20	<20	<15
MOR (*)	N/mm <sup>2</sup>	-	35-45	35-45	33-37	28-32	28-32	28-32	26-30
MOE (*)	N/mm <sup>2</sup>	-	2500-3000	2500-3000	2600-3000	2400-2800	2400-2800	2400-2800	2000-2400
IB	Kpa	800-1000	800-1000	800-1000	700-900	700-900	700-900	700-900	600-800
Emisión E1	mg/100g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Emisión E2	mg/100g	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Escurrimiento Tol.	mm	>150	>150	>150	>150	>150	>150	>150	>150
Extracc-tornillo-cara (*)	N	-	-	-	-	-	1050-1500	1050-1500	950-1050
Extracc-tornillo-canto (*)	N	-	-	-	-	-	850-1100	850-1100	850-950
Humedad	%	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-10.5
Desprend. Superficial (*)	N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	>1200	>1200	>1200	>1200	>1200
Dureza	ASTM	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60
Moldurado (*)	B/N	-	-	-	-	B/N	B/N	B/N	B/N
Rugosidad Ra	µm	<3.1	<3.1	<3.1	<3.1	<3.1	<3.1	<3.1	<3.1
Rugosidad Ry	µm	<21.1	<21.1	<21.1	<21.1	<21.1	<21.1	<21.1	<21.1
Densidad Mín/Media	%	94-98	94-98	93-97	91-94	90-93	88-92	86-90	86-90
Densidad mínima	kg/m <sup>3</sup>	740-780	740-780	730-760	660-730	650-710	640-680	610-660	610-660
Densidad en las caras	kg/m <sup>3</sup>	900-970	900-990	900-990	880-990	880-970	890-990	900-970	900-970

Figura 87. Ficha técnica del MDF (Arauco, s.f.)

### Módulo de Elasticidad (M.O.E.)

Según señala Popescu (2017), cuando describe la relación entre la carga (tensión) y la deformación axial. La elasticidad implica que las deformaciones producidas por una tensión baja son completamente recuperables tras retirar las cargas. Sin embargo, al aplicar tensiones más altas, pueden ocurrir deformaciones plásticas o incluso el fallo del material. Tanto las relaciones elásticas y las propias constantes elásticas varían dentro de cada especie y entre especies, así como con el contenido de humedad y la gravedad específica (Popescu citando a Kretschmann, 2010).

### Módulo de Ruptura (M.O.R.)

Popescu (2017) describe la distribución interna de la tensión de corte a la deformación de corte o, más precisamente, el desplazamiento angular (es decir, rotacional) dentro de un material. Al igual que con los módulos de elasticidad, los módulos de rigidez varían dentro y entre especies y con el contenido de humedad y la gravedad específica (Popescu citando a Kretschmann, 2010).

## Fórmula de Lattice Hinges

DefProc (s.f.) proporciona diferentes fórmulas según el parámetro que se quiera encontrar. Para cada una de estas fórmulas existen diferentes parámetros y valores que deben ser aplicados. Existen también valores que son requeridos en todas las fórmulas, como otros valores que son específicos para cada fórmula en particular.

Las variables totales que son necesarias para emplear las fórmulas junto a su nomenclatura dentro de las fórmulas son las siguientes:

- $\Theta$  = Ángulo (Radianes)
- $G$  = Módulo de Elasticidad (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  = Módulo de Ruptura (N/mm<sup>2</sup>)
- $t$  = Espesor del Material / Ancho del enlace de torsión \* (mm)
- $n$  = Número de hileras de eslabones\*
- $l$  = Largo del enlace de torsión (mm)
- $k$  = ranura de los enlaces de torsión (mm)

### \*Observaciones:

Según indica la misma página de DefProc (s.f.), se asigna al ancho del enlace torsional, el mismo valor que el espesor del material. Si bien, esto no es obligatorio para la correcta elaboración de una retícula de Lattice Hinges, esta es la manera como recomiendan que sea hecho y la que utilizan en sus fórmulas. En caso de no utilizar el mismo valor en ambas variables, el espesor del material es el que tiene que ser utilizado en las fórmulas planteadas.

El número de hileras de enlaces de torsión es una variable que se debe escoger. Este número dependerá exclusivamente de la elección de quien utilice las fórmulas y también de los resultados deseados, así como de las limitaciones físicas o materiales que puedan existir en base a su ejecución. La firma también proporciona una fórmula para determinar el número de eslabones, sin embargo, esta fórmula requiere un valor preestablecido para el ancho de las ranuras. En otras palabras, para obtener el número de hileras se requerirá de un ancho de ranura predefinido y en caso contrario, para obtener el ancho de ranura se requerirá un número de eslabones predefinido.

Teniendo claro lo anterior, las fórmulas que serán utilizadas en este proyecto son las siguientes:

#### Largo de Enlace de Torsión:

$$l = 0.676125 \times \frac{\Theta G t}{\tau_{allowed} n}$$

Figura 88. Fórmula para calcular largo de enlace de torsión (DefProc, s.f.)

#### Ancho de Ranura:

$$k = -t + 2\sqrt{\frac{t^2}{2}} \times \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Theta}{n}\right)$$

Figura 89. Fórmula para calcular ancho de ranura (DefProc, s.f.)

Para poder automatizar y de esta manera agilizar el proceso de cálculo para poder realizar testeos, se ha transcrito la fórmula de Lattice Hinges de DefProc en una Hoja de cálculos de google (Figura 90), que permite calcular, en función de las características del material y los parámetros deseados, tanto el largo de los enlaces torsionales como el ancho de la ranura.

En la hoja de cálculo se definieron casillas editables que permiten ingresar los siguientes parámetros:

- Espesor del material: Grosor del material a utilizar.
- Número de eslabones: Cantidad de hileras de enlaces torsionales en la retícula.
- Ángulo objetivo: Ángulo máximo de flexión que se busca alcanzar en la pieza
- Módulo de ruptura: Resistencia al esfuerzo máximo antes de la fractura.
- Módulo de elasticidad: Rigidez del material ante deformaciones.

Al completar estas casillas con los valores correspondientes, la fórmula implementada calcula automáticamente:

- El largo de los enlaces torsionales
- El ancho de las ranuras en la retícula

Formula Lattice Hinges ☆ 📁 ☁

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Extensiones Ayuda

🔍 ↶ ↷ 🖨 📄 100% | € % .0 .00 123 | Predet... | - 10 + | B

C9 |  $f_x = (0,676125 * ((\text{RADIANS}(A2)) * B2 * C2)) / (D2 * E2)$

	A	B	C	D	E
1	Angulo	M.O.E. (N/mm <sup>2</sup> )	Espesor Material (r	M.O.R. (N/mm <sup>2</sup> )	Número de Eslabones
2	90	6733,5	9	45,7	50
3					
4					
5					
6					
7					
8			Largo Eslabones (mm)		Ancho Ranura (mm)
9			28,16722358		0,278255875
10					

Figura 90. Hojas de cálculo con fórmulas de ancho de ranura y largo de enlaces transcritas. Elaboración propia.

Habiendo obtenido la longitud de enlace y el ancho de ranura utilizando la calculadora que fue elaborada, se procede a diseñar la retícula a partir de estos valores utilizando Adobe Illustrator, donde posteriormente esta retícula será contorneada por la silueta de la misma plantilla que se ha utilizado en los pasos anteriores.

Una vez lista la plantilla con la retícula de Lattice Hinges integrada, se prepara el archivo para que este sea exportado al programa de la cortadora láser donde se colocará la plancha de madera y así la plantilla pueda ser materializada.

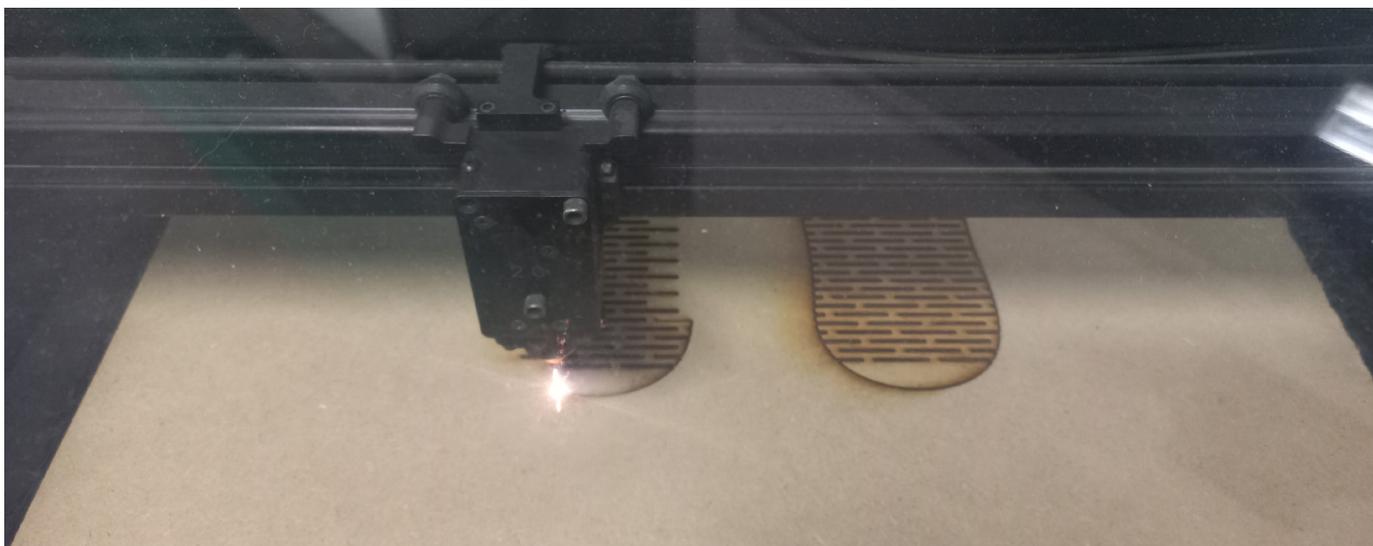


Figura 91. Corte láser de la suela con patrón lattice hinges sobre MDF. Elaboración propia.

## Test 1

El material escogido para hacer las pruebas en el primer intento de aplicación de la trama fue MDF de 3 milímetros. Este primer intento resultó fallido debido al error de interpretación del resultado, en el que se creyó que el valor obtenido en la hoja de cálculos eran 3 mm en vez de 0,3 mm. A esto también se suma la elección del número de hileras de eslabones aplicado y el espesor y ángulo escogidos. El error de interpretación en el tamaño de la ranura junto al reducido número de eslabones y los demás parámetros escogidos, no permitió que la plantilla fuese lo suficientemente flexible, dejándola demasiado rígida para el propósito buscado. Si bien, la plantilla se conseguía flexibilizar levemente, lo permitía de manera forzosa y no de manera ligera o leve, habiendo que recurrir a más fuerza de lo imaginado para poder flexibilizarla. Luego de doblarla durante varios intentos, esta terminó por quebrarse.

Para esta prueba el número de eslabones seleccionados fueron 27, con un ángulo aplicado de  $60^\circ$  para un espesor final de material igual a 9 mm, hecho a partir de 3 capas de 3 mm. El resultado fue una ranura de 0,3 mm, la cual fue erróneamente interpretada como 3 mm, y un largo de enlace torsional de 12 mm.

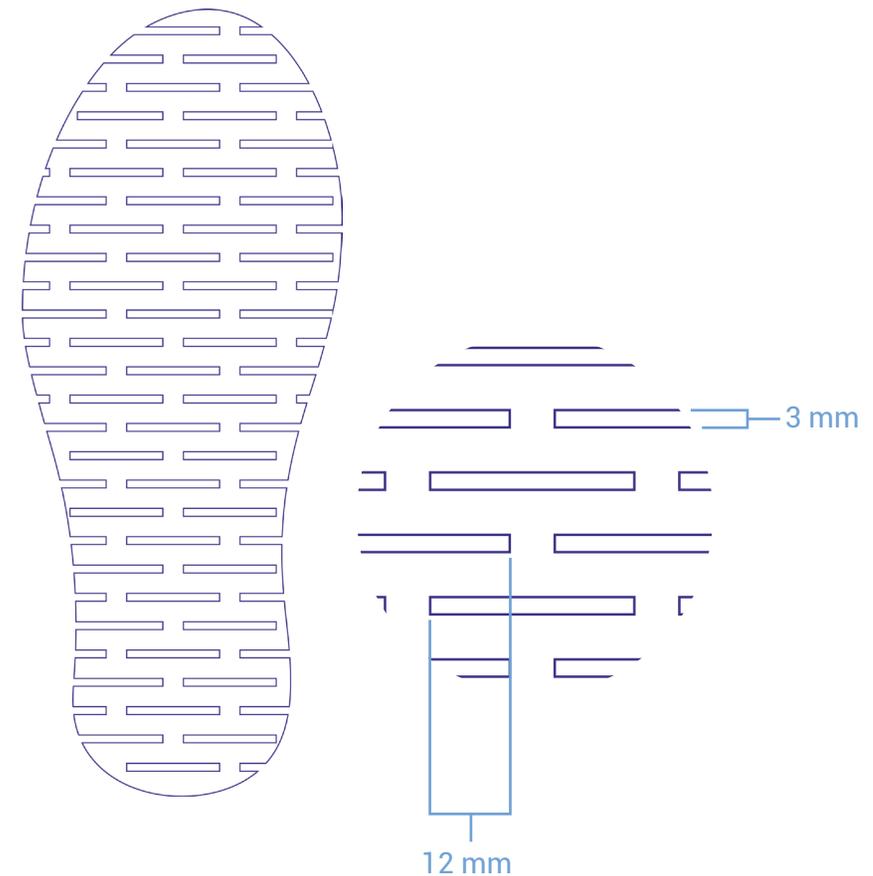


Figura 92. Dibujo vectorial, Test 1. Elaboración propia.



Figura 93. Suela en MDF, Test 1. Elaboración propia.

## Test 2

En el segundo test fue utilizado el mismo MDF nuevamente, se mantuvo el mismo espesor y se escogió un ángulo esperado de 90°. El número de eslabones que serían usados son escogidos tomando en consideración solamente una zona específica de la plantilla, que es por donde se encuentra la línea de cambre, la cual corresponde a la línea que por donde se efectúa la flexión del pie en los metatarsos. Esta decisión es decidida tomando en consideración que la zona de cambre es donde se efectúa la principal flexión del pie en su biomecánica. Por lo tanto, el cálculo hecho con la calculadora es tomando en consideración solo 13 eslabones, los cuales abarcan la zona ya explicada. De todas maneras, el patrón resultante es aplicado en la demás extensión de la plantilla, ya que en ellas también existe flexión, aunque en menor medida. También, se escoge dejar un margen de eslabones tanto en la punta como en el talón con la idea de que no sería necesario aplicar el método en esas zonas ya que no son puntos donde haya una importante flexibilización del pie durante la pisada.

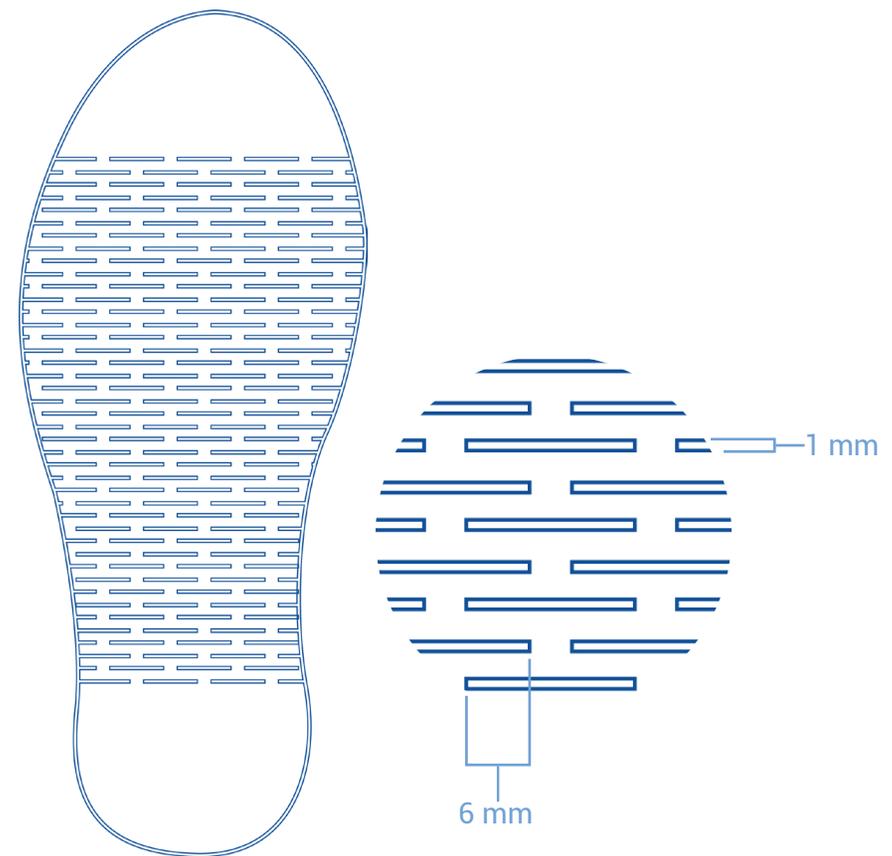


Figura 94. Dibujo vectorial, Test 2. Elaboración propia.

El resultado entregó una plantilla mucho más flexible que la del primer intento, permitiendo que se pudiese manipular de manera más leve con mayor libertad y así visualizar de forma mucho más clara la flexibilidad que puede llegar a alcanzar el MDF.

Por otro lado, los márgenes que fueron considerados en la punta y en el talón no tuvieron el resultado esperado, principalmente en la zona del talón, ya que al dejar esta zona sin eslabones y, por lo tanto, manteniéndola rígida, generó un punto crítico en una hilera de eslabones específica, generando demasiada dependencia en la flexibilidad de esta zona donde se encontraba la hilera mencionada. Si bien no llegó a quebrarse, se logró visualizar el debilitamiento del MDF en los eslabones ubicados en esa la parte mencionada.

Para esta prueba el número de eslabones seleccionados en la calculadora fueron 13, tomando en consideración la zona de cambre, sin embargo el número de eslabones finalmente aplicados a lo largo de la plantilla fueron 40. El ángulo aplicado fue de  $90^\circ$  para un espesor final de 9 mm, hecho a partir de 3 capas de 3 mm. El resultado entregó una ranura de 1 mm y un largo de enlace torsional de 6 mm.



Figura 95. Suela en MDF, Test 2. Elaboración propia.

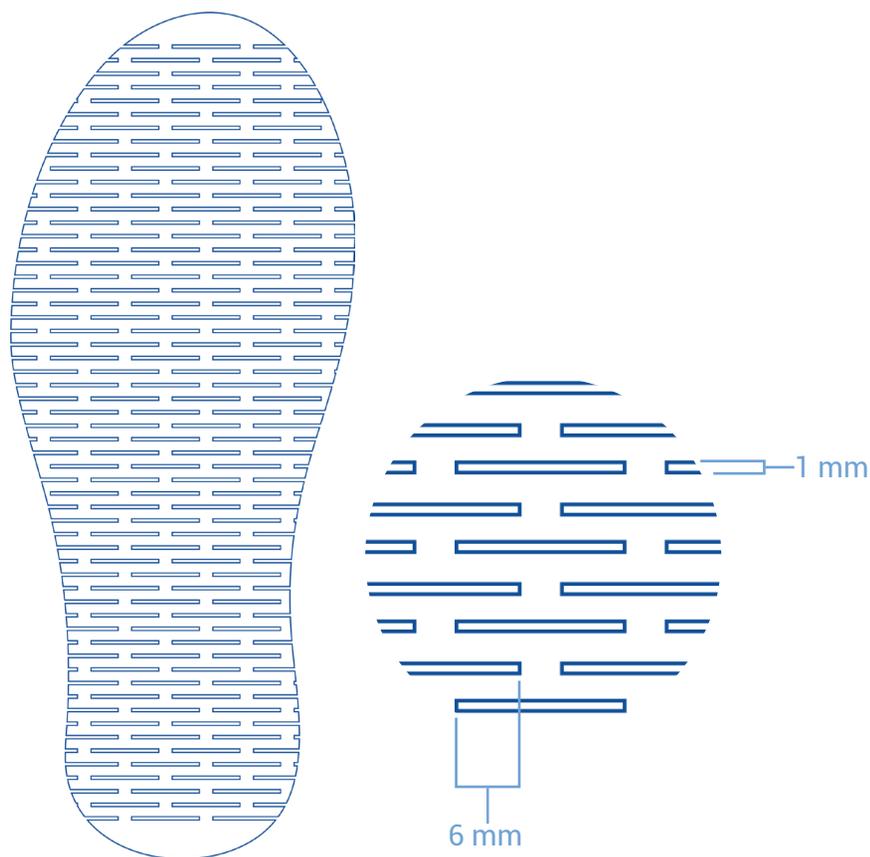


Figura 96. Dibujo vectorial, Test 3. Elaboración propia.

## Test 3

El tercer test utilizó la misma trama que fue construida en el Test 2, con la diferencia de replicar más hileras de eslabones donde se habían aplicado los márgenes en el test 2.

Los motivos de esta decisión fueron por un lado, liberar la zona crítica de flexión para distribuir las cargas de forma más equitativa a lo largo de la plantilla y así no generar un punto crítico de demasiada dependencia de flexión, lo cual permitió un movimiento mucho más fluido por parte de la plantilla cuando era doblada. Además, por un fin estético, se prefirió no utilizar márgenes en la plantilla, haciendo que su diseño se viese más parejo.

Esto permitió que la plantilla pudiese ser utilizada con mucha mayor libertad, corroborando la efectividad del método de Lattice hinges y también de la fórmula aplicada.

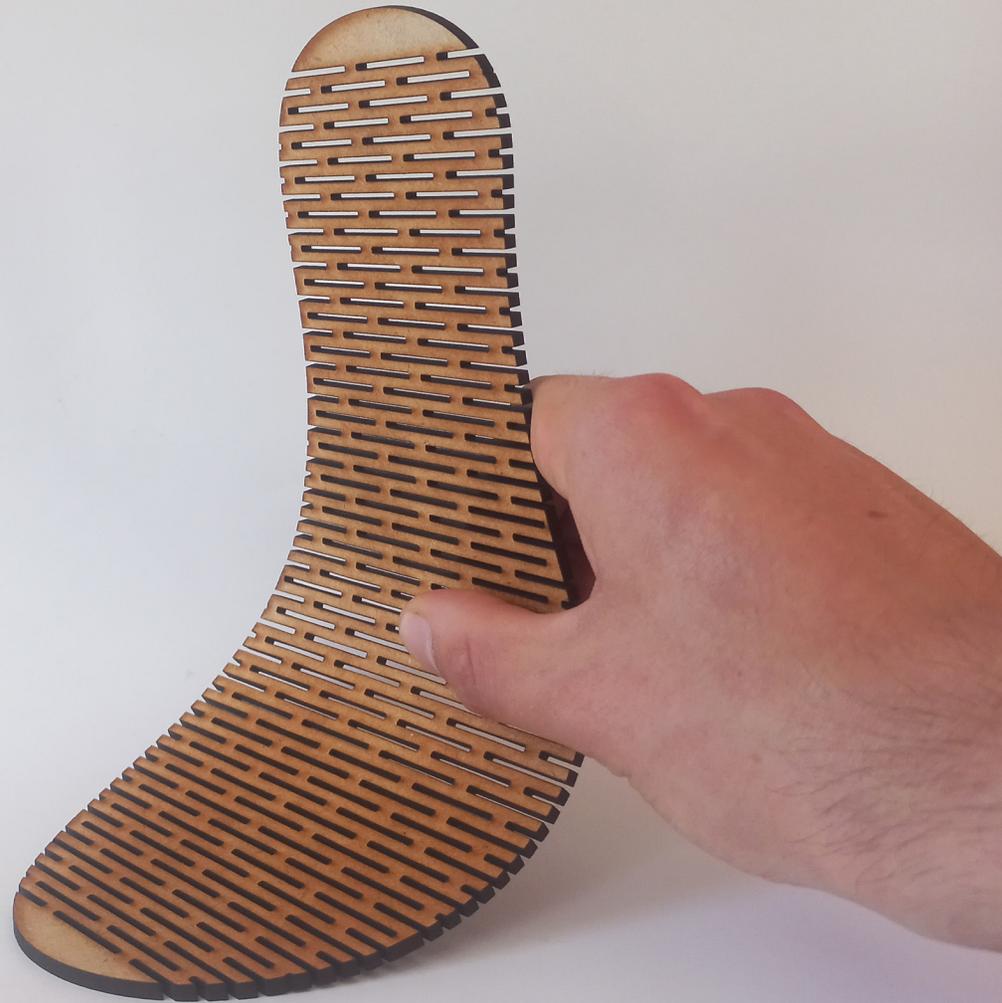


Figura 97. Suela en MDF, Test 3. Elaboración propia.

## Test Final

Con el test 3 se pudo comprobar la veracidad del método y la efectiva flexibilidad en su aplicación sobre materiales rígidos. No obstante, como se mencionaba anteriormente, dependiendo del material que sea utilizado, este tendrá diferente M.O.R. y M.O.E. lo cual también limitará los resultados en la aplicación sobre los materiales. Por lo que los resultados de la trama aplicada para este material se verán restringidos a sus capacidades de elasticidad y ruptura.

Debido a lo anterior, se escogió realizar la prueba final utilizando Terciado de Pino, el cual posee un M.O.E. y M.O.R. mayores a los de el MDF, lo cual permitiría una aplicación de la trama que permita ser más osada en su diseño y en su flexibilidad.

El resultado obtenido posee una flexibilidad mucho más fluida, requiriendo de mucho menos esfuerzo para hacer que se flexionen los eslabones. La utilización de este material, permitió la aplicación de un diseño de trama más intrépido que se afecta de manera más natural, casi sin requerir de la aplicación de esfuerzo para su flexibilización.

En esta prueba el número de eslabones seleccionados en la calculadora fueron 50, tomando en consideración la zona de cambre y de pie medio, sin embargo el número de eslabones finalmente aplicados a lo largo de la plantilla fueron 100. El ángulo aplicado fue de 90° y el espesor se redujo a 6 mm. El resultado entregó una ranura de 0,2 mm y un largo de enlace torsional de 18,7 mm.

### Observaciones:

Al permitirse usar una trama con mayor número de eslabones y ranuras más pequeñas, el diseño se volvió mucho más detallado, lo que se tradujo en un mayor tiempo de corte, lo cual implicaría eventualmente en un mayor costo para la posible comercialización del producto.

Al igual que en el Test 2, la selección del número de eslabones fue tomando en consideración las zonas de cambre y de pie medio, ya que es donde se concentra la mayor flexibilización durante la pisada del pie. No obstante, como en los test anteriores, las hileras de eslabones resultantes fueron aplicadas a lo largo de todo el pie para que no se volviesen a generar puntos críticos de tensión que dependieran de las zonas más rígidas. De esta manera las cargas de tensión son distribuidas de manera más equitativa.

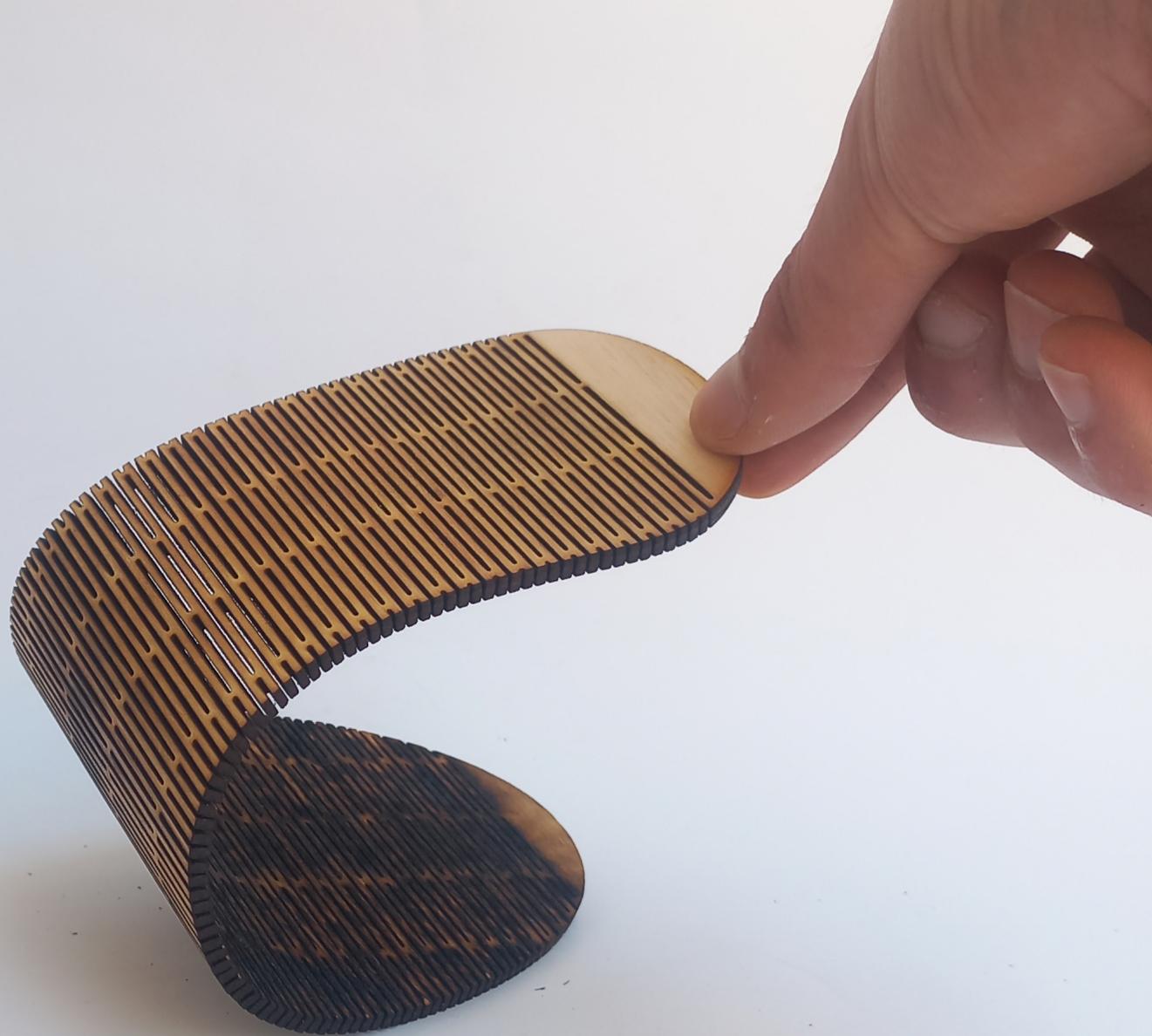


Figura 98. Suela en contrachapado, Test final. Elaboración propia.

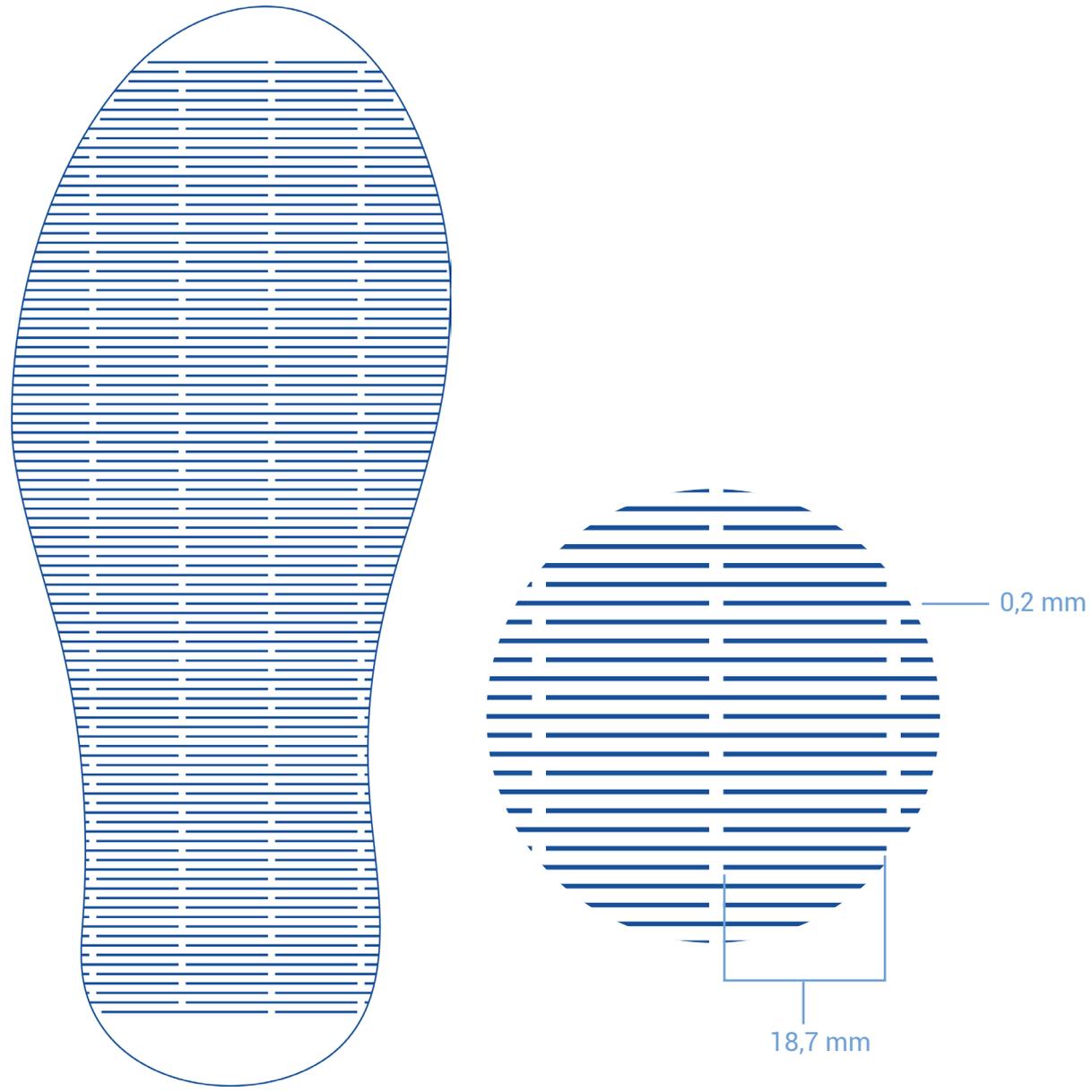


Figura 99. Dibujo vectorial, Test final. Elaboración propia.

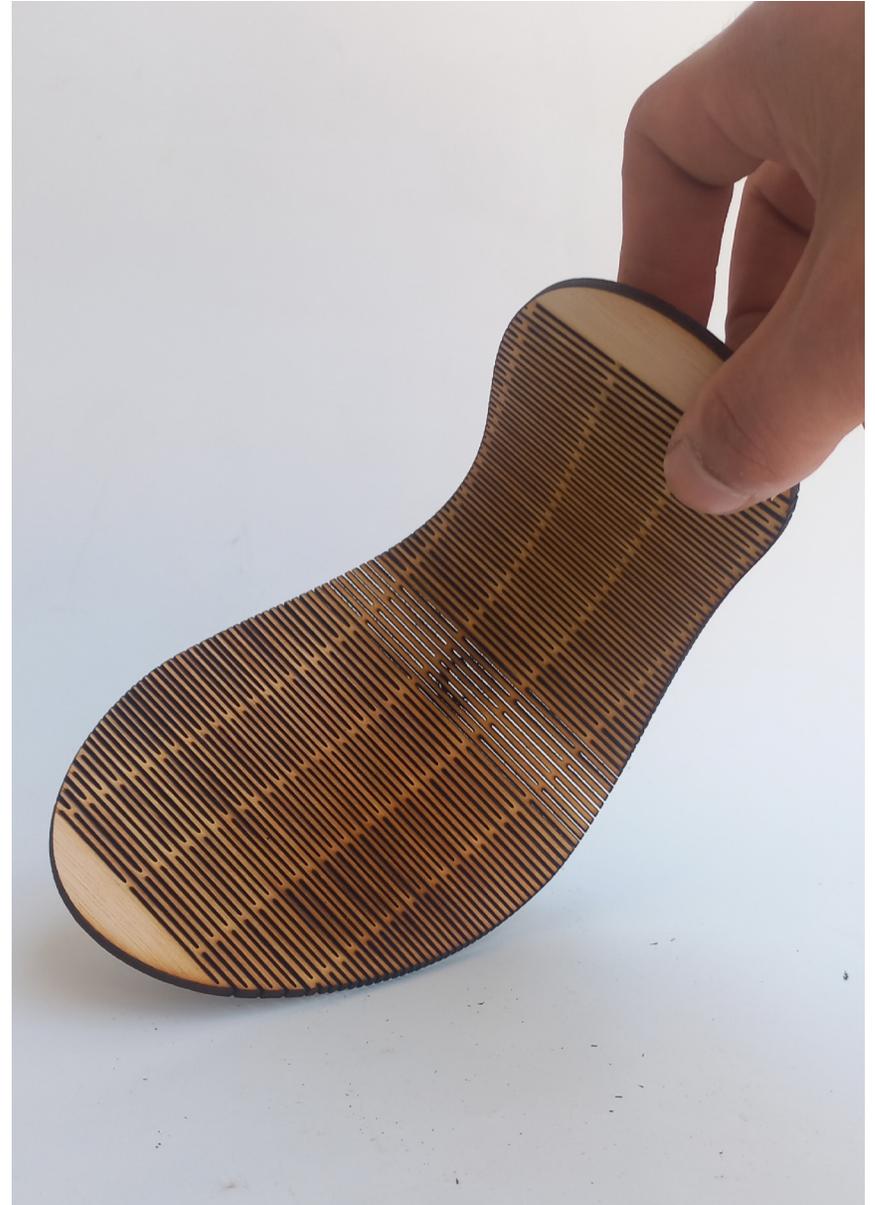
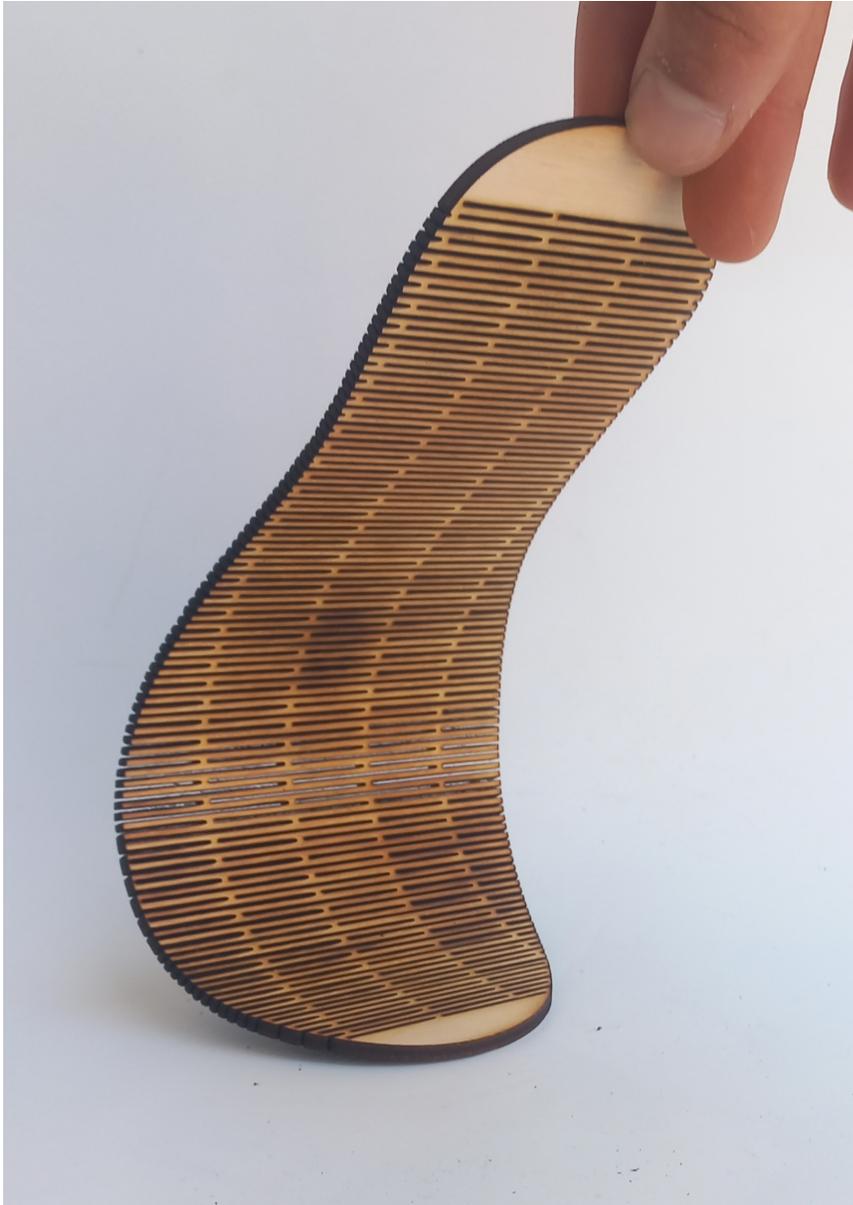


Figura 100. Suela en contrachapado, Test final. Elaboración propia.

## Patronaje

Teniendo la horma ya impresa, se puede comenzar el proceso de enmascarado sobre esta. Con cinta de papel se cubre completamente la horma, tomando la precaución de colocar siempre una cinta sobre otra y en la misma dirección para facilitar su remoción posterior.

Cuando la horma está completamente enmascarada, traspasamos el diseño que se tiene pensado, el cual fue diseñado en la etapa de bocetaje, dibujando con lapiz sobre la horma enmascarada.

Una vez listo el diseño sobre la horma, se procede a desenmascarar cuidadosamente. Al retirar la cinta, esta se pega en una hoja de papel para manipularla con mayor facilidad. Esta será la pieza maestra, a partir de la cual se obtendrán las demás piezas que darán forma al zapato.

Utilizando la pieza maestra se calca en una hoja de papel nueva. Con la plantilla replicada, se calcan las demás piezas sobre el material, para que posteriormente sean cortadas las piezas. Para este proyecto se utilizaron retazos de cuero natural de origen bovino, que se compraron a granel en una talabartería del barrio Victoria.



Figura 101. Horma enmascarada. Elaboración propia.



Figura 102. Patronaje. Elaboración propia.



Figura 103. Prueba de calce sobre horma. Elaboración propia.



## Armado

El armado del zapato es el proceso en el que todas las partes previamente confeccionadas se ensamblan para dar forma al producto final. Este procedimiento debe asegurar una unión firme entre el empeine y la suela.

Inicialmente, el empeine ensamblado se coloca sobre la horma diseñada específicamente para el zapato. Durante esta etapa, se estira cuidadosamente el material de la parte superior para que se adapte fielmente a la forma de la horma, asegurando que quede ajustado, sin áreas sueltas o deformaciones, y que todo el conjunto esté montado de manera uniforme.

Una vez que el empeine está completamente ajustado a la horma, se procede a unir la suela al conjunto. En este caso, para adherir la suela al empeine, el procedimiento se realizó utilizando un adhesivo de contacto fabricado a partir de neopreno, especializado para el pegado de cuero y madera.

Este paso requiere precisión para asegurar un buen calce y una correcta alineación de la suela con el resto del calzado.

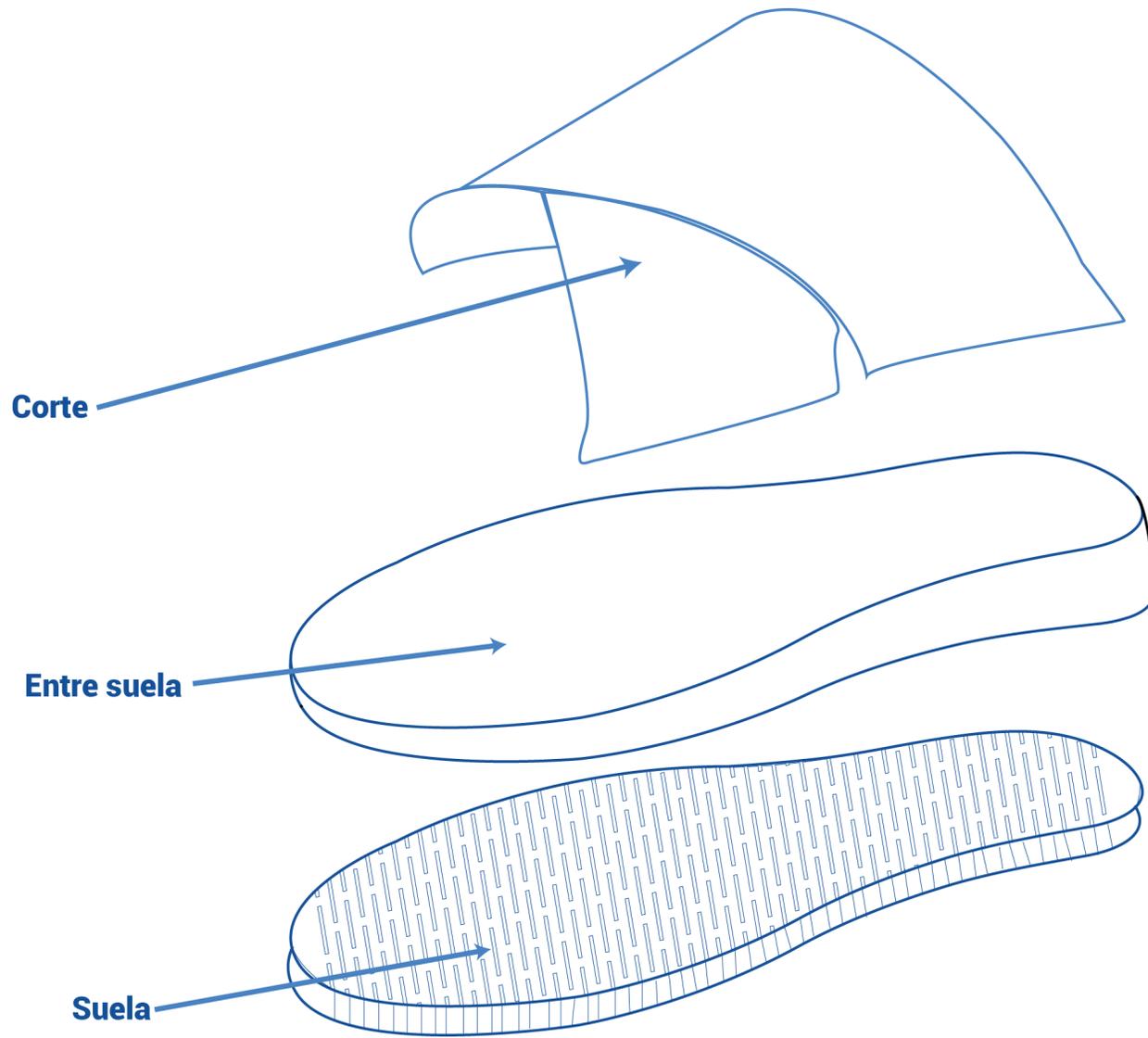


Figura 104. Diagrama armado de sandalia. Elaboración propia.



Figura 105. Proceso de armado. Elaboración propia.



Figura 106. Proceso de armado. Elaboración propia.

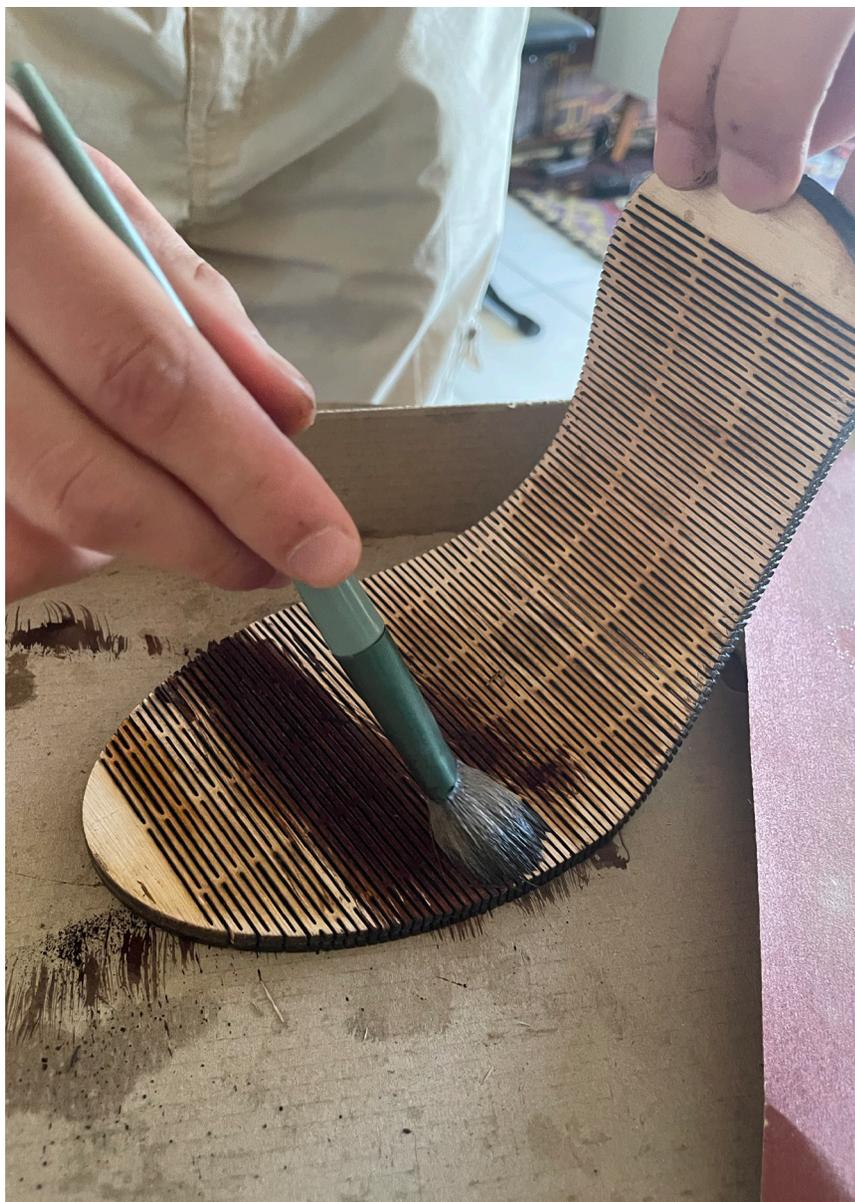


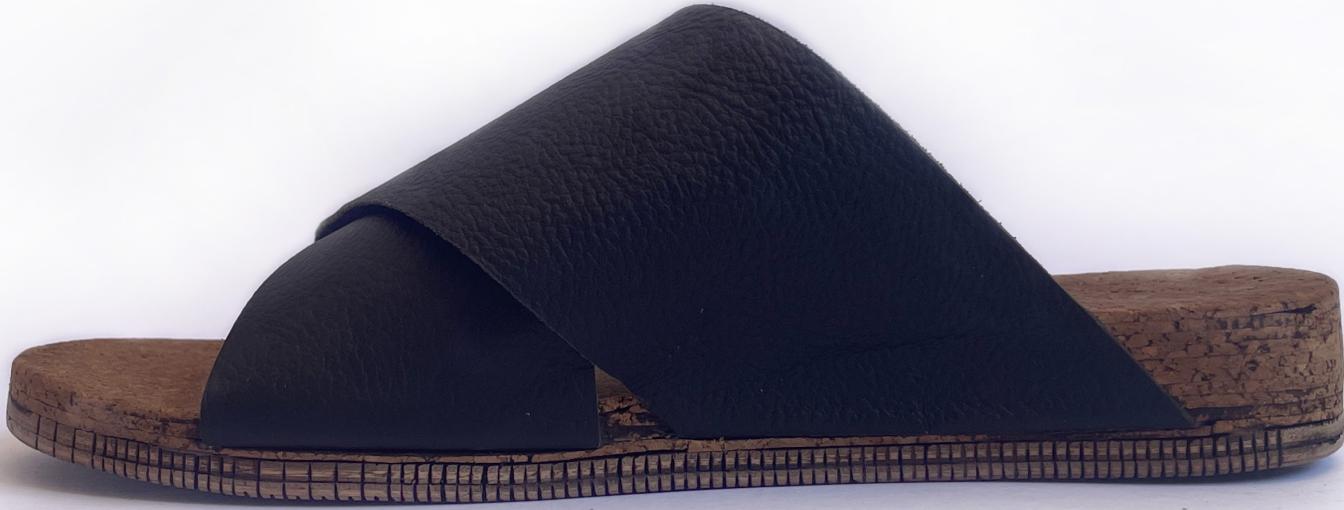
Figura 107. Proceso de acabado. Elaboración propia.

## Acabado

En la etapa final, conocida como acabado, se afinan todos los detalles necesarios para que el zapato esté listo para su uso y comercialización. Se realiza un lijado minucioso en las uniones entre el empeine y la suela para suavizar cualquier irregularidad y se pulen las superficies para lograr una mejor apariencia y textura. Si el material lo requiere, se aplica el teñido en esta fase, asegurando una distribución uniforme del color.

Finalmente, el zapato pasa por una limpieza completa para eliminar restos de adhesivos, polvo u otros residuos generados durante el armado. Se lleva a cabo una inspección del par para verificar que cumpla con los estándares de calidad y presentación esperados. Una vez aprobado, queda completado el proceso de fabricación.











## Naming y Branding

El nombre escogido para el producto final es “Poda” haciendo referencia a la poda que se realiza tanto en árboles como en arbustos.

La definición de poda según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) corresponde a:

“Se entiende por poda todas aquellas operaciones que modifican la forma natural del árbol, dando vigor o restringiendo el desarrollo de sus ramas y que tienen como finalidad darle una forma adecuada y conseguir en el menor tiempo posible la máxima producción, así como renovar o restaurar parte o la totalidad del árbol.”

De la misma manera en que para poder obtener plantas más vigorosas y así con mayor productividad a través de cortar sus ramas, en este proyecto para poder obtener una suela que tenga mayor funcionamiento y volverla más productiva, se requiere extraer de sí los pedazos que darán forma a la retícula de Lattice Hinges, volviéndola mucho más valiosa y funcional.

Además, la palabra poda, remite al concepto de “podo” el cual está totalmente relacionado con el proyecto en sí.

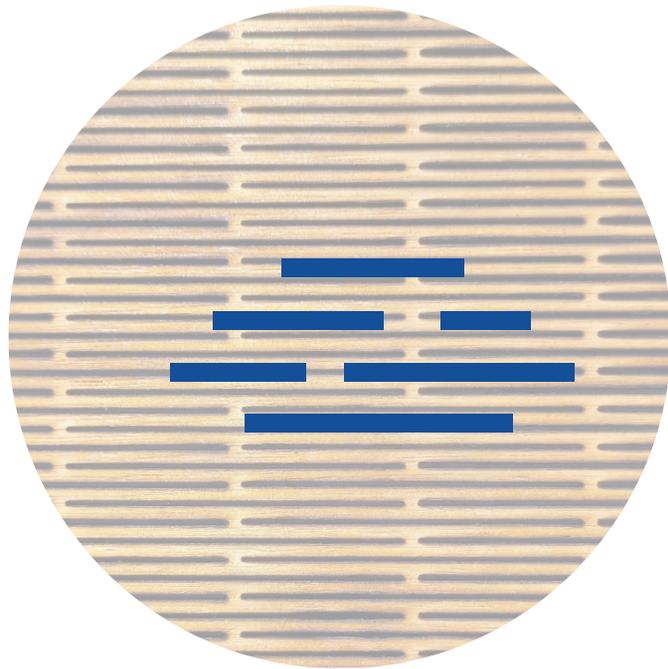
Podo procede del griego y significa “pie” , de ahí palabras como Podología o Podometría son utilizadas en esos contextos.

Para la construcción del logotipo, se utilizó como base la tipografía Chillax, diseñada por Manushi Parikh y publicada por Indian Type Foundry (ITF) a través de la plataforma Fontshare, ofrecida bajo licencia ITF Free Font License, que permite su uso en proyectos personales y comerciales bajo ciertas condiciones.

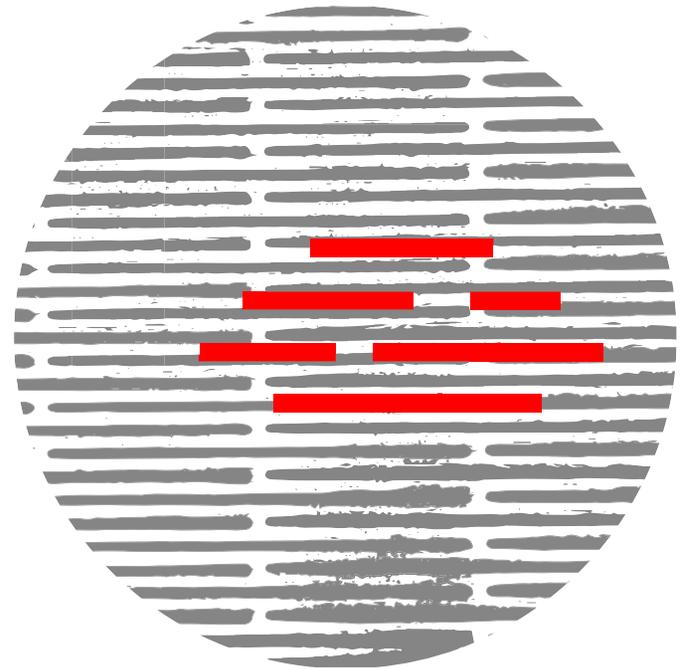
Para adaptar la tipografía a las necesidades específicas del diseño, se realizaron pequeñas modificaciones en el grosor y contorno de las letras, para que estas se alinearán a las características del isotipo diseñado.

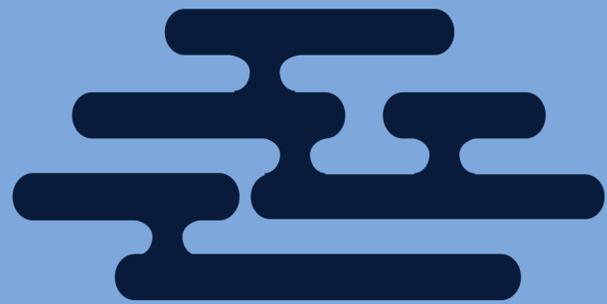
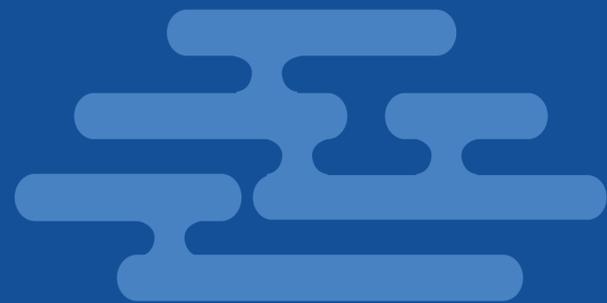
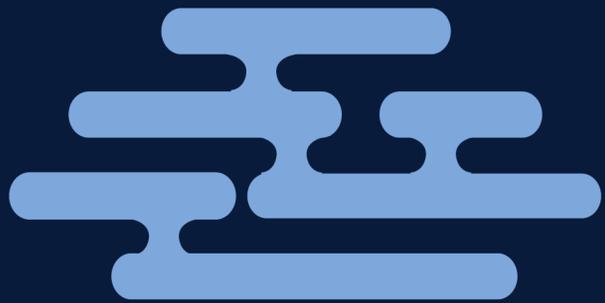
Por otra parte, el isotipo diseñado está hecho utilizando como base la retícula de lattice hinges resultante de este proyecto. La retícula proporcionó las guías para crear un logogrid que pudo dar origen a la arquitectura del logo y su posterior acabamiento para su resultado final.

Podda



**Logogrid**

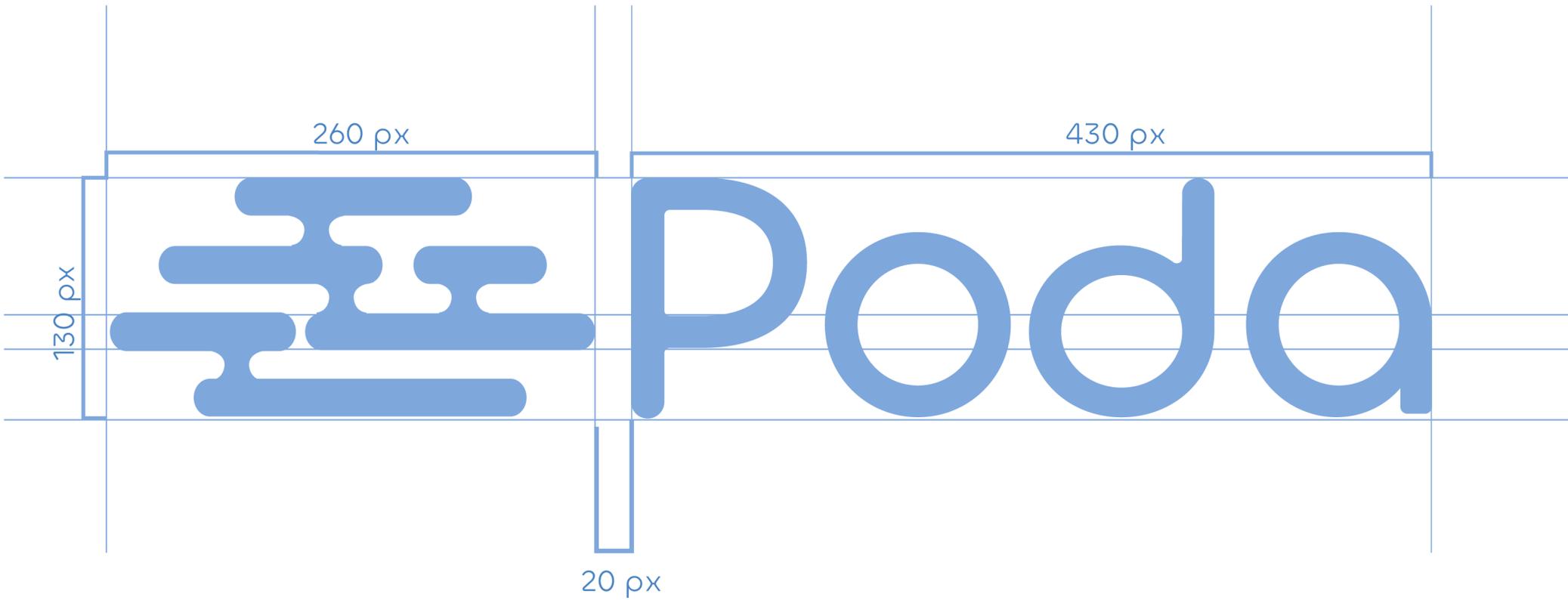




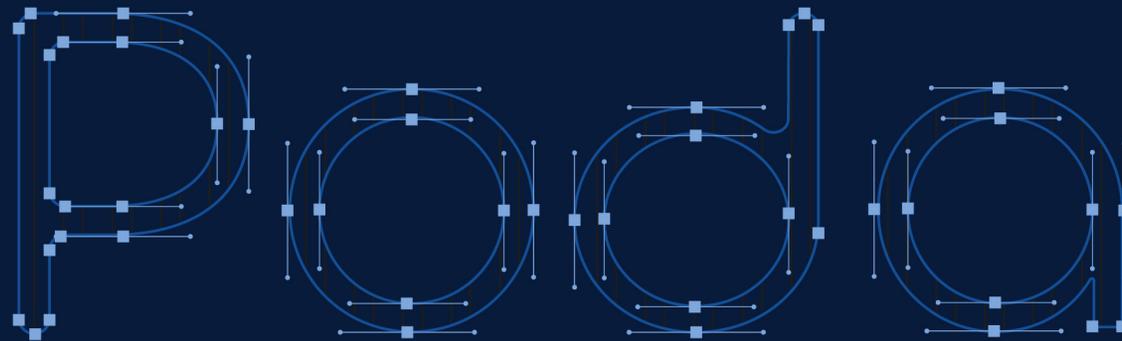
# Paleta Cromática

<b>01</b> <b>Egyptian Blue</b>  HEX 145098	<b>02</b> <b>Moderate Blue</b>  HEX 4882c2	<b>03</b>  HEX a7c9ea	
		<b>04</b>  HEX 7ea7dc	<b>05</b>  HEX 081b3b

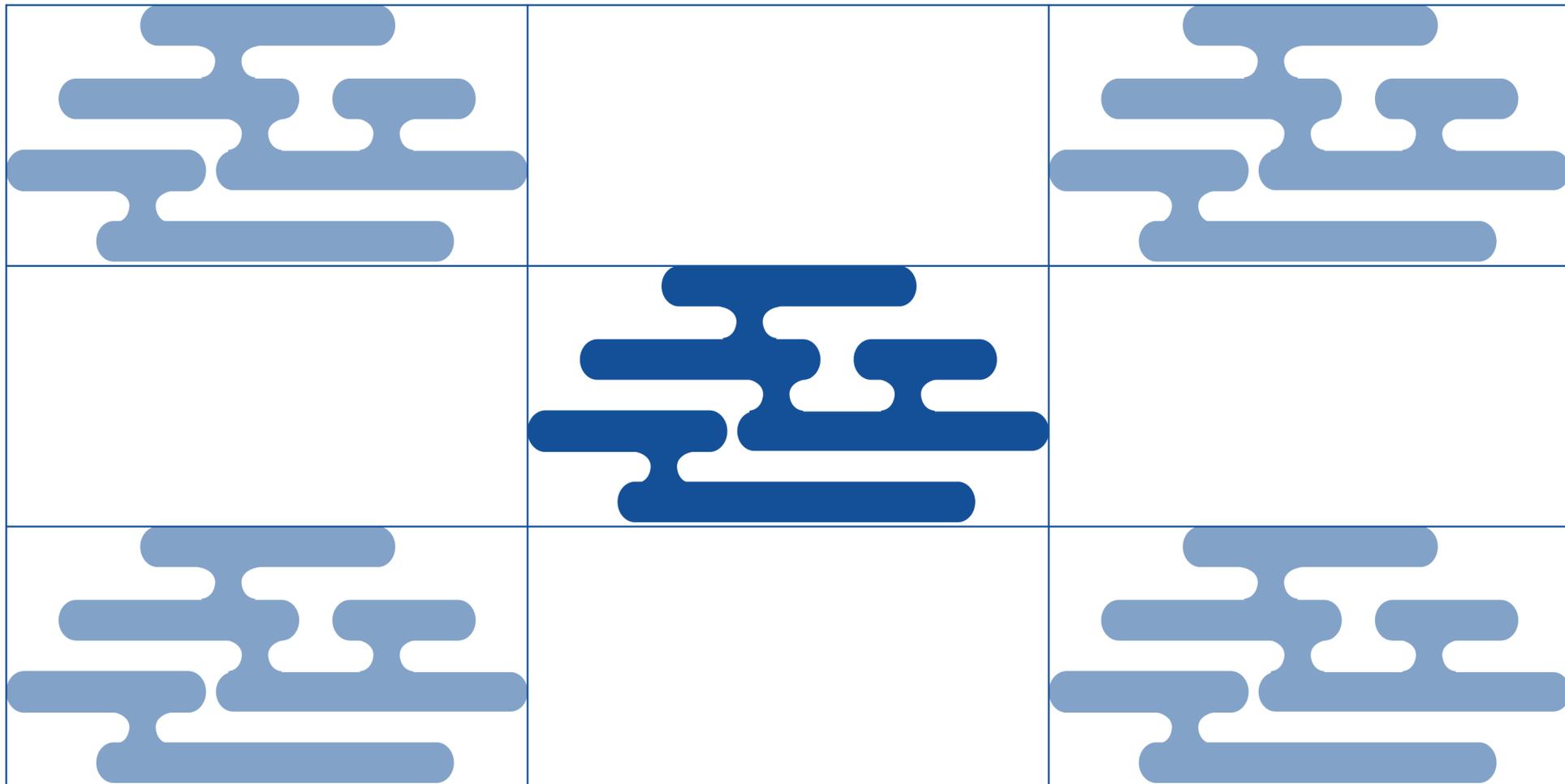
# Estructura de logo



# Estructura de texto



# Logo clear space



A close-up photograph of a person's legs from the knees down, wearing black, wide-strap, open-toe sandals with cork soles. The person is sitting on a lush green lawn. The text "Conclusiones y Proyección" is overlaid in white, bold font across the middle of the image.

# Conclusiones y Proyección

4

## Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo principal desarrollar una suela para sandalia con la técnica de Lattice Hinges, utilizando como material principal la madera a través del uso de tecnología digital, con el propósito de crear una suela que sea firme, flexible e higiénica, con una perspectiva de diseño personalizado.

Por tanto, el propósito de esta investigación se cumplió, ya que fue posible desarrollar una suela de manera personalizable, utilizando el diseño paramétrico en la fabricación de la horma y de la suela, con el apoyo de tecnologías digitales como modelado e impresión 3D, dibujo vectorial y corte láser.

El objetivo específico "reconocer y clasificar cuáles son los parámetros y atributos que una sandalia debe tener para cumplir con las necesidades de los usuarios" se realizó con el uso de encuestas y entrevistas con las que se pudieron caracterizar y tabular las necesidades que existen en el uso y fabricación del calzado.

Para esto las herramientas de árbol de objetivos y mapa de empatía fueron precisos para poder caracterizar al usuario y definir los atributos y los requerimientos de producto que se buscaban. Estos atributos se resumen en higiene, comodidad, estética y calidad en sus materiales. El proyecto dio como resultado una sandalia que debido a su materialidad reúne los atributos de calidad de materiales junto a higiene y, gracias a las técnicas paramétricas, la comodidad y ajuste esperados.

El objetivo específico "potenciar el énfasis en la personalización del calzado durante el proceso de diseño" se logró, ya que se consiguió elaborar una horma personalizada a partir de parámetros escogidos, los cuales pueden ser adaptados a futuro en otros usuarios.

Del mismo modo, se consiguió fabricar una suela que también puede ser personalizable para distintos usuarios a partir de los parámetros deseados; ambas con la ayuda de la transcripción en hojas de cálculo de las fórmulas adquiridas en la revisión bibliográfica en un formato digital más amigable y comprensible.

Los objetivos específicos de Identificar herramientas digitales para implementar en la creación de suelas y fabricar una sandalia con el apoyo de éstas para comprobar su híbrido con los procesos investigados, fueron clave, ya que a partir de estos objetivos no solo se identificaron las herramientas digitales más propicias para

el proyecto, si no que se determinó cuál era su mejor aplicación dentro de cada etapa productiva del calzado.

Se destaca el hecho de que la implementación de estas tecnologías no logró ser un reemplazo del proceso productivo como tal, sino más bien, una adaptación o facilitamiento para poder realizar el mismo proceso, lo cual demuestra que las herramientas y tecnologías digitales son aliadas a las técnicas tradicionales de confección y no su reemplazo. Las tecnologías y herramientas deben facilitar, agilizar o entregar mayor detalle en sus resultados que pretender cambiar el paradigma productivo, ya que aún no presentan las cualidades necesarias para reemplazarlas y llegar a los mismos resultados, especialmente en calzado, donde se requiere de un gran nivel de detalle.

En definitiva, este trabajo nos muestra también que la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas en calzado, tal como se ha visto a lo largo de la historia, no ha significado un cambio radical en el proceso productivo, siendo el zapatero el principal actor en cada etapa y sus manos las principales herramientas.



## Proyección

### Perspectivas Futuras

Este proyecto abre nuevas oportunidades para futuros diseñadores de calzado interesados en combinar tecnologías digitales con técnicas tradicionales. La aplicación de diseño paramétrico en la obtención de la curva del arco del pie, y la técnica de lattice hinges en la suela, facilita la creación de calzado personalizado adaptado a cada usuario, algo que la producción masiva no puede ofrecer. Esto permite no solo responder a demandas individuales, sino también elevar los estándares de ergonomía y funcionalidad en sandalias, revalorizando este tipo de calzado como una opción de calidad. Además, el proyecto impulsa a creativos en Chile a desarrollar productos locales, mostrando cómo el uso de herramientas tecnológicas puede potenciar una producción sostenible y culturalmente significativa.

## Viabilidad

Se realiza un análisis de rentabilidad en el que se considera un modelo de negocio general, para un taller de calzado ubicado en Santiago. Se trata de una microempresa con capacidad para contratar a un trabajador. La proyección contempla que las maquinarias y herramientas forman parte de la inversión inicial para este negocio y por lo tanto no están incluidas en la tabla de costos.

El producto corresponde a una línea para calzado de descanso de las características desarrolladas en este proyecto, con variaciones propias de la estacionalidad. El precio de venta se calculó en base a un estudio comparativo de la oferta de este tipo de calzado.

Se hace un análisis de sensibilidad bajo tres volúmenes de producción, en el que los resultados arrojan utilidades positivas en los tres escenarios.

Cabe resaltar, que la proyección es un análisis general que permite tener una idea respecto a los eventuales costos productivos, con la tecnología propuesta en este trabajo.

<b>Costos directos</b>	Cantidad	Unidad	Precio (\$)	Rendimiento (N° pares)	Costo unitario (\$/par)
cuero	1	kg	6.500	8	813
corcho	0,35	m2	6.000	3	2.000
madera terciada	2,88	m2	12.500	38	329
mano de obra	1	JH	40.000	10	4.000
pegamento	1	litro	10.600	80	133
<b>Total</b>					<b>7.274</b>

<b>Costos indirectos</b>					
horma (filamento)	1	rollo	13.000	30	433
cinta adhesiva	1	rollo	2.000	3	667
luz	1	kwh	210	10	21
packaging	1	unidad	250	1	250
Otros (lija, papel, lápices, etc)	1	unidad	50	1	50
<b>Total</b>					<b>1.421</b>

**Costo total unitario** **8.695**

#### Precio de venta

\$24.990

<b>N° Pares</b>	120	150	180
	(\$)	(\$)	(\$)
<b>Ingresos por venta</b>	<b>2.998.800</b>	<b>3.748.500</b>	<b>4.498.200</b>
Costos directos	872.874	1.091.092	1.309.311
Costos indirectos	170.520	213.150	255.780
<b>Costo total</b>	<b>1.043.394</b>	<b>1.304.242</b>	<b>1.565.091</b>
<b>Resultado operacional</b>	<b>1.955.406</b>	<b>2.444.258</b>	<b>2.933.109</b>
<b>Gastos de administración y ventas</b>	1.930.000	1.930.000	1.930.000
<b>Utilidad</b>	<b>25.406</b>	<b>514.258</b>	<b>1.003.109</b>

<b>Gastos de administración y ventas</b>	(\$/mes)
arriendo taller	500.000
servicios generales	50.000
remuneración administración	1.300.000
Publicidad y RRSS	80.000
<b>Total</b>	<b>1.930.000</b>

## Bibliografía

- Arbaíza, F. (2013). Orígenes de la customización masiva: las interacciones individuales consumidor-marca dentro de mercados masivos en el marketing. Revista de Comunicación N° 12, Pg. 182-196. Recuperado de: [Dialnet-OrigenesDeLaCustomizacionMasiva-4509792.pdf](https://dialnet.org/urn/diariolite/Dialnet-OrigenesDeLaCustomizacionMasiva-4509792.pdf)
- Baltakatei, S. (2019). Prismaoid (parameters h, A, A, A). Recuperado de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prismaoid\\_\(parameters\\_h,A%E2%82%81,A%E2%82%82,A%E2%82%83\).svg?uselang=es](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prismaoid_(parameters_h,A%E2%82%81,A%E2%82%82,A%E2%82%83).svg?uselang=es)
- Birkenstock (s.f). Sandalia. Recuperado de <https://www.birkenstock.com/es/mujer/sandalias/>
- Bossan, M.J. (2007). El Arte del zapato.
- Bossan, M.J. (2013) Shoes. Recuperado de: <https://archive.org/details/shoes0000boss/page/n1/mode/2up>
- Caliz, J. & Miranda, D. (2011). Análisis situacional del comportamiento del sector del calzado colombiano en los últimos diez años (2001-2010). Tesis para optar al título de Finanzas y Negocios Internacionales. Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Finanzas y Negocios Internacionales, Cartagena. Recuperado de: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0061851.pdf>
- Cámara Chileno China de Comercio, Industria y Turismo CHICIT (2019). Mano de obra en la industria del calzado en Chile cuesta más del doble que en Brasil y China. Recuperado de: <https://www.chicit.cl/sitio/?p=15613>
- Christodoulou, M. (2020). The History of Parametric Design and Its Applications in Footwear Design. Design and Technology. 29-10-2020. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Marilena-Christodoulou/publication/344956133\\_The\\_History\\_of\\_Parametric\\_Design\\_and\\_Its\\_Applications\\_in\\_Footwear\\_Design/links/608ff96792851c490fb16109/The-History-of-Parametric-Design-and-Its-Applications-in-Footwear-Design.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marilena-Christodoulou/publication/344956133_The_History_of_Parametric_Design_and_Its_Applications_in_Footwear_Design/links/608ff96792851c490fb16109/The-History-of-Parametric-Design-and-Its-Applications-in-Footwear-Design.pdf)
- CNET (2012). Morphogenesis shoes from Pauline van Dongen. Recuperado de: <https://www.cnet.com/pictures/technosensual-crazy-catwalk-of-future-fashion-pictures/>
- Conradi, F.L. & Portich, P. (s.f.). Enciclopedia de Salud, y Seguridad en el trabajo. Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+88.+Cuero,+pieles+y+calzado>
- Corporación Industrial del Calzado CICASA (2024). Suelas EVA vs Suelas de Goma: ¿Cuáles son mejores para tus zapatillas de correr? Recuperado de: <https://cicasa.es/suelas-eva-vs-suelas-de-goma-cuales-son-mejores-para-tus-zapatillas-de-correr/#:~:text=El%20principal%20inconveniente%20de%20las,de%20un%20muy%20muy%20prolongado>
- Cross, N. (2002). Métodos del Diseño. Estrategias para el diseño de productos. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/>

- slideshow/mtodos-de-diseo-nigel-cross-2002/250042715
- DefProc Engineering (s.f.). Lattice Hinge Design. Choosing Torsional Stress. Recuperado de: <https://www.defproc.co.uk/analysis/lattice-hinge-design-choosing-torsional-stress/>
- DefProc Engineering (s.f.). Lattice Hinge Design. Minimum BendRadius. Recuperado de: <https://www.defproc.co.uk/analysis/lattice-hinge-design-minimum-bend-radius/>
- Dukta (s.f.). Retícula de Lattice Hinges. Recuperado de: <https://dukta.com/en/>
- Educar Chile (s.f.). Ojota. Centro de Recursos Digitales. Recuperado de: <https://centroderecursos.educarchile.cl/items/f947908a-ce3b-400f-9128-0730669e4649>
- Ministerio de Educación MINEDUC (s.f.). Chasqui. Unidad de currículum y evaluación. Recuperado de: <https://www.curriculumnacional.cl/estudiantes/Educacion-General/Historia-geografia-y-ciencias-sociales/Historia-Geografia-y-Ciencias-Sociales-4-basico/26812:Chasqui>
- Engelund, E., Fredriksson, M., Zelinka, S. & Glass, S. (2022). Water in Wood: A Review of Current Understanding and Knowledge Gaps. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/12/2051>
- Espinoza, F. (2013). Zapatos femeninos, seducción paso a paso, Colecciones del Museo Histórico Nacional, 2013. Recuperado de: [https://www.mhn.gob.cl/sites/www.mhn.gob.cl/files/images/articles-37579\\_archivo\\_01.pdf](https://www.mhn.gob.cl/sites/www.mhn.gob.cl/files/images/articles-37579_archivo_01.pdf)
- Faster Capital (2024). Polímero hidrocarburos polimerizantes de plásticos a fibras sintéticas. Recuperado de: <https://fastercapital.com/es/contenido/Polimero--hidrocarburos-polimerizantes--de-plasticos-a-fibras-sinteticas.html>
- Ferreira, H. (s.f.). Chile y Brasil: Aliados estratégicos en la industria del calzado. Diario Estrategia. Recuperado de: <https://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/5044100/chile-brasil-aliados-estrategicos-industria-calzado>
- Foodwearology (s.f.). 3D printing wearable footwear. Recuperado de: <https://www.footwearology.com/course/3d-printing-wearable-footwear>
- Freepik (s.f.). Zapatero. Recuperada de [https://www.freepik.es/foto-gratis/imagen-recortada-zapatero-que-mide-zapato\\_7573189.htm#fromView=keyword&page=1&position=24&uuid=f77f03d7-7dab-4852-bdc3-4176063529ea](https://www.freepik.es/foto-gratis/imagen-recortada-zapatero-que-mide-zapato_7573189.htm#fromView=keyword&page=1&position=24&uuid=f77f03d7-7dab-4852-bdc3-4176063529ea)
- Gaitán, N & Torres, S. (2018). El Corcho, una estructura que conserva el mejor sabor del vino. Revista Punto de Vista, Vol 9, N° 2, 17-12-2018. Recuperado de: <https://revistas.poligran.edu.co/index.php/puntodevista/article/view/1173>
- González, A. (2019). El calzado en la época Prehispánica, una mirada a través del arte mesoamericano. <https://es.studenta.com/content/111131837/el-calzado-en-la-epoca-prehispanica-una-vision-a-traves-del-arte-mesoamericano>
- González, P. (2024). Historia del Calzado, Emblema del poder y la seducción. Recuperado de: <https://www.google.cl/books/>

- edition/Historia\_del\_calzado/o9UVEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&pg=PA2&printsec=frontcover
- Haggel (s.f). Makers Monday. Publicado en 05-02-2020. Recuperado de: <https://www.instagram.com/p/B8Mx9ELA723/>
  - Haragayato (2005). Sandalia Geta. Recuperado de: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Geta.JPG>
  - Havaianas (s.f). Havaianas blancas. Recuperado de: [https://havaianas.com.br/p/chinelo%20havaianas%20brasil-4000032\\_0001.html?srsId=AfmBOopudKLI9wPKqrHhA5sym\\_udtHV4OX62FBkcFbtkEP0JS2quck5T](https://havaianas.com.br/p/chinelo%20havaianas%20brasil-4000032_0001.html?srsId=AfmBOopudKLI9wPKqrHhA5sym_udtHV4OX62FBkcFbtkEP0JS2quck5T)
  - Howell, L. (2001). Compliant Mechanisms. Rescuperado de: [https://books.google.cl/books?id=tiiSOuhsIfgC&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=tiiSOuhsIfgC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
  - Huurinainen, M. (s.f). Wave-Luoto. Virtual Shoe Museum. Recuperado de: <https://virtualshoemuseum.com/marita-huurinainen/luoto/>
  - Hypebest (s.f). Mizuno's Wave Prophecy LS Gets the "Black/Black" Treatment. Recuperado de: <https://hypebeast.com/2023/2/mizuno-ls-wave-prophecy-black-black-campaign-imagery>
  - Instituto de Biomecánica de Valencia (2002). El Pie Calzado, Guía Para el Asesoramiento en la Selección del Calzado Saludable. Pikolinos. Recuperado de: [https://www.ibv.org/wp-content/uploads/2020/01/calzado\\_saludable.pdf](https://www.ibv.org/wp-content/uploads/2020/01/calzado_saludable.pdf)
  - Instituto de Salud Pública de Chile (2020). Guía para Implementar la Ergonomía Participativa en los Lugares de Trabajo, primera versión 2020. Recuperado de: <https://www.ispch.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Ergonom%C3%ADa-Participativa-v0.pdf>
  - ISO: Technical Committee ISO/TC 210, (2016). ISO 13485:2016. Medical devices: Quality management systems. Requirements for regulatory purposes. Recuperado de: <https://www.iso.org/standard/59752.html>
  - Jimeno, I. (s.f.) Lattice Hinge. Madera y Construcción. Recuperado de: <https://maderayconstruccion.com/lattice-hinge/>
  - Kassai, L. (2000). Cuero, calzado y afines en Chile. Serie Desarrollo Productivo. CEPAL. Santiago, 2000. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/957d7381-b00e-41eb-97bf-90daab04fee0/content>
  - Kenner (s.f). Sandali Knner Rakka. Recuperado de: <https://www.kenner.com.br/sandalia-kenner-rakka---u1-preto-122485-3804/p>
  - Knowles, C., Amit, V. & Garsten, C. (2014) Flip-Flop: A Journey Through Globalisation's Backroads. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt183p50x>
  - Koojlab (2022). Prototipado 3D. Publicación 01-07-

2022. Recuperado de [https://www.instagram.com/p/CfesimWOLXw/?locale=us&hl=am-et&img\\_index=1](https://www.instagram.com/p/CfesimWOLXw/?locale=us&hl=am-et&img_index=1)
- Kukucka, M. (s.f). Iris Van Herpen - Haute couture runway shoe. Recuperado de: <https://www.michalkukucka.com/iris-van-herpen-haute-couture-shoe>
  - Loyola, M., Rozas, S. & Caldera, S. (2017). Kerfing: Una técnica para el diseño, fabricación y optimización de elementos de doble curvatura a partir de placas rígidas de madera. SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-Americana de Gráfica Digital 22-24 Noviembre, 2017, Concepción, Chile. Recuperado de: [https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2017\\_045.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2017_045.pdf)
  - Lucic, Y. (2009). El ruido como problema en el aprendizaje. Personalización Masiva, Modelamiento Paramétrico y Diseño Generativo enfocados al desarrollo de paneles acústicos para salas de clase. Memoria para optar al título de Diseñador Industrial. Universidad de Chile. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/100197/0274\\_aq-lucic\\_y.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/100197/0274_aq-lucic_y.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
  - Luximon, A. & Luximon, Y. (2009). Shoe-last design innovation for better shoe fitting. *Computer in Industry*. Vol. 60 (8). Pag. 621-628. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361509001365>
  - Ma, X & Luximon, A. (2013). Design and manufacture of shoe lasts. En Luximon, A., *Handbook of footwear design and manufacture*. Cap. 9. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/book/9780857095398/handbook-of-footwear-design-and-manufacture>
  - Mapa Victoria (s.f.). Historia del Barrio. Recuperado de: <https://www.mapavictoria.cl/historia-del-barrio>
  - Marín, L. (2011). Ecodiseño como estilo de vida. Dejando huella desde el sector del calzado. *Grafías Disciplinarias de la UCP*, Pereira, Colombia, Sept. 2011, N° 14, Pag. 7-12. Recuperado de: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/grafias/article/view/1526/1530>
  - Marinho Silva, J. A. (2016). Tesis de Doctorado O Design de Calçados Na (re)Evolucao. Campus FAUUSP, Universidad de Sao Paulo.
  - Martin, N. (2016). Patronaje y Confección de Calzado. Recuperado de: <https://www-digitaliapublishing-com.us1.proxy.openathens.net/a/41412>
  - Mc Donald, S. (2022). Nike Considered Humara. Publicado el 28-10-2022. Recuperado de: <https://www.instagram.com/p/CkRCuD8JOEW/>
  - Medina, P. (2019). Tecnología 3D en el calzado. Artesanato y tradición. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación de Ensayos. Recuperado de: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-35232021001100229](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232021001100229)
  - Memorias del Siglo XXI (s.f). Zapateros. Trabajadores del taller

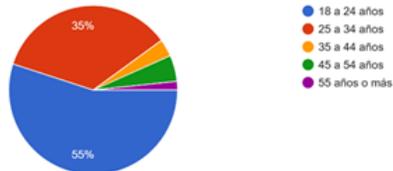
- de Jorge Teke, ubicados en calle Riquelme de Ancud, 1967. Recuperado de: <https://www.memoriasdelsigloxx.cl/601/w3-article-3138.html>
- Museo del Objeto del Objeto MODO (2013). La Historia del Zapato. Recuperado de: <https://elmodo.mx/el-modo-del-modo/la-historia-del-zapato/>
  - Nikolic, N. (2020). Zapatillas de dormitorio marrones y beige. Recuperado de: [https://unsplash.com/es/fotos/zapatillas-de-dormitorio-marrones-y-beige-GyRllueDo\\_4](https://unsplash.com/es/fotos/zapatillas-de-dormitorio-marrones-y-beige-GyRllueDo_4)
  - Ogrodnik, P. (2013). Medical Device Design: Innovation from Concept to Market. Academic Press by Elsevier, Second Edition. UK.
  - Olivares, R. (2019). Crecimiento de importaciones de calzado redujo empresas del sector a la mitad. Diario Financiero. 13-03-2019. Recuperado de: <https://www.df.cl/empresas/industria/crecimiento-de-importaciones-de-calzado-redujo-empresas-del-sector-a-la>
  - Pinterest (s.f.). Proporciones para dibujar el cuerpo humano. Recuperado de: <https://cl.pinterest.com/pin/8022105561675729/>
  - Popescu, C. (2017). Wood as bio-based building material. Performance of Bio-based Building Materials. Pag. 21-96. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081009826000021>
  - Aquiles76, 10-07-2017 "0101 Reparando una horma (crea una zapato en 3D con Rhinoceros y Keyshot)"[video] Recuperado de: <https://youtu.be/lysE2KUfG-8?si=XTl61HEXqETyENT2>
  - Real Academia Española. (s.f.). Cultura. En Diccionario de la lengua española. Recuperado de <https://dle.rae.es/calzado>
  - Revista del Calzado (2023). Anuario del sector mundial del calzado: año 2022. 4-08-2023. Recuperado de: <https://revistadelcalzado.com/zapatos-anuario-sector-mundial-calzado-2022/>
  - Rodríguez, J., Fernández, J. L., Sánchez, J. & Benítez de Lugo, J. (2012). Los clavi caligarii o tachuelas de cáliga. Elementos identificadores de las calzadas romanas. Recuperado de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/28863/1/lucentum\\_31\\_08.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/28863/1/lucentum_31_08.pdf)
  - Saade, H. & Valdez, J. (2003). El Corcho, un material irremplazable. Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Recuperado de: <file:///C:/Users/Nani/Downloads/Dialnet-ElCorchoUnMaterialIrremplazable-6141484.pdf>
  - Semmelhack, E. (2018). Then Why Factor, Entrevistada por BBC News. Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45884410.amp>
  - SERMA (2024). El calzado ingresa a una nueva era. Recuperado de: <https://serma.net/noticias/tecnicas/el-calzado-ingresa-a-una-nueva-era>
  - Shephard, N. (2008). In step with fashion: 200 years of shoe

styles, Madrid, España: Schiffer.

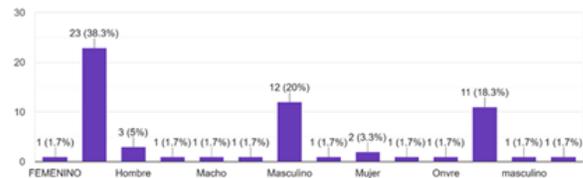
- Stern, B. (1939). Labor productivity in the boot and shoe industry. *Monthly labor review*, 48(2), 271–292. <http://www.jstor.org/stable/41815683>
- Terra d'espardenyes (s.f.). Urdir la suela. Conoce el oficio de espardenyer. Recuperado de: <https://www.terradespardenyes.cat/es/blog/noticias/conoce-el-oficio-de-espardenyer>
- Toms Shoe Argentina (s.f.). Alpargata de yute. Recuperado de <https://www.tomsshoesargentina.com/>
- United Nations Comtrade Database (2024). Trade Database. Recuperado de: <https://comtradeplus.un.org/>
- Valero, E. (s.f.). Antropometría. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración, España. Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/524376/DTEAntropometriaDP.pdf/032e8c34-f059-4be6-8d49-4b00ea06b3e6#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20antropometr%C3%ADa%20proviene%20del,cuerpo%20humano%20es%20muy%20antiguo>
- Victoria, J.A. (s.f.) Esquemas de kerfing. El Kerfing: Técnica de ranurado para el doblado de madera, sus variaciones y aplicaciones. *Revista M & M*. Recuperado de: <http://revista-mm.com/taller/kerfing-tecnica-ranurado-doblado-madera-variaciones-aplicaciones/>
- Victoria & Albert Museum (s.f.). A History of Shoes. Recuperado de: <https://www.vam.ac.uk/shoestimeline/>

# Anexo 1: Encuestas

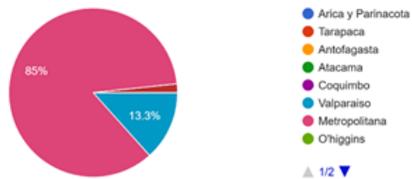
¿Cuál es tu edad?  
60 respuestas



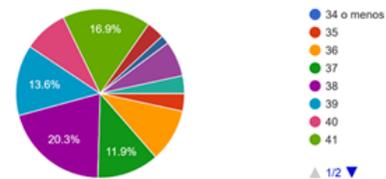
¿Cuál es tu género?  
60 respuestas



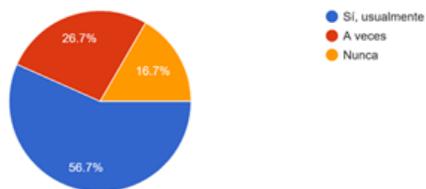
¿En qué región vives?  
60 respuestas



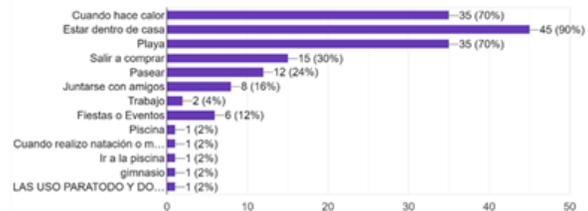
¿Cuánto calzas?  
59 respuestas



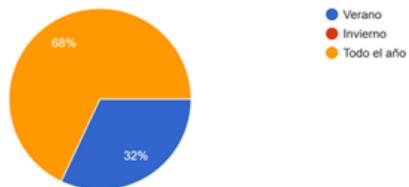
¿Utilizas sandalias / chalas / ojotas?  
60 respuestas



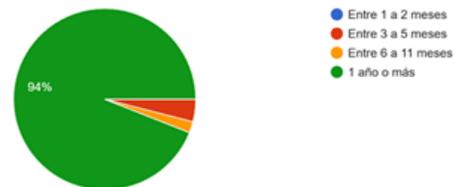
¿Para qué ocasiones utilizas sandalias?  
50 respuestas



¿En qué época del año usas sandalias?  
50 respuestas

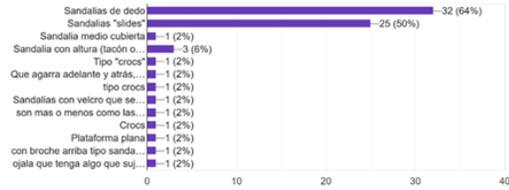


¿Cada cuanto renuevas tus sandalias?  
50 respuestas



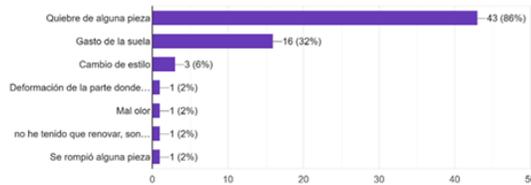
¿Qué tipo de sandalia utilizas o cuál prefieres?

50 respuestas



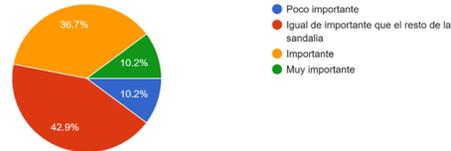
¿Cuándo sabes que debes renovar tus sandalias?

50 respuestas



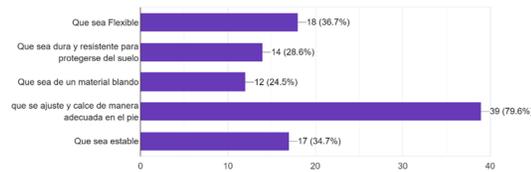
¿Qué tan importante es la suela de la sandalia para ti?

49 respuestas



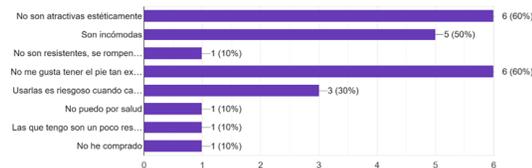
¿Cuales de los siguientes factores son los más importantes en una sandalia?

49 respuestas



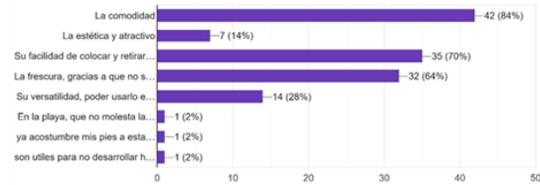
¿Por qué no utilizas sandalias?

10 respuestas



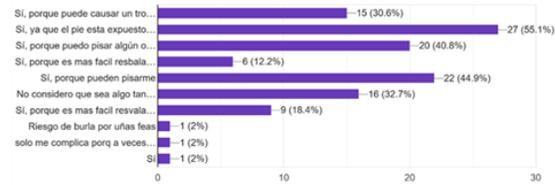
¿Qué es lo que te gusta de usar sandalias?

50 respuestas



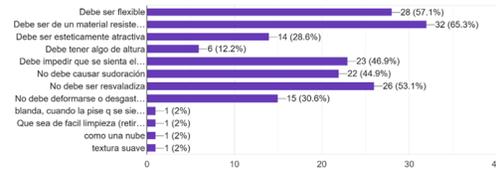
¿Crees que usar sandalias te puede exponer a algún riesgo?

49 respuestas



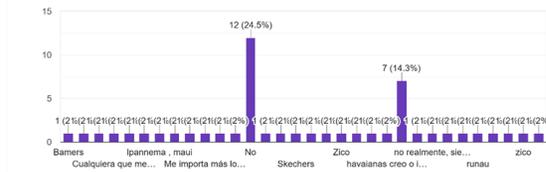
¿Qué características debe tener la suela de un par de sandalias para que las compres?

49 respuestas



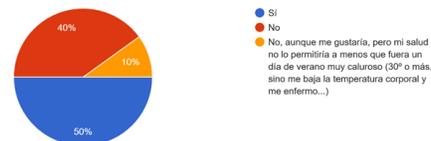
¿Utilizas algún modelo o marca en particular?

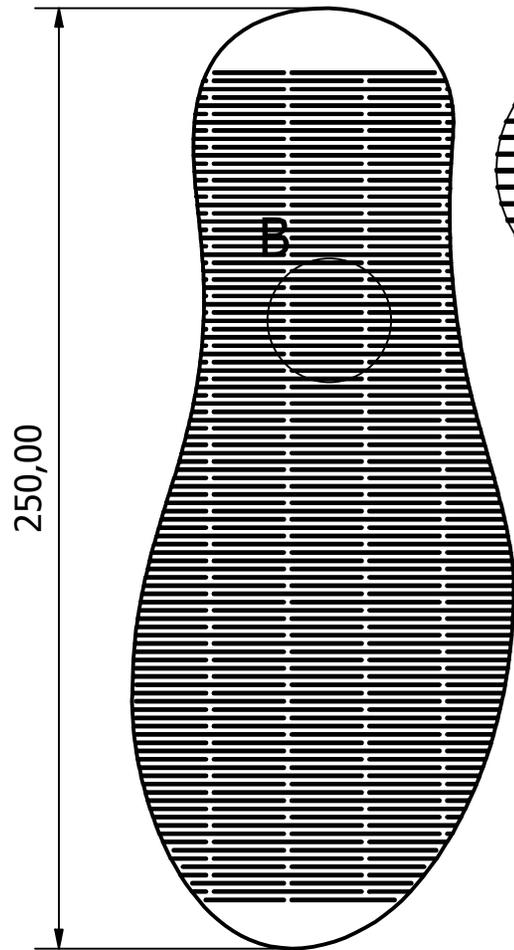
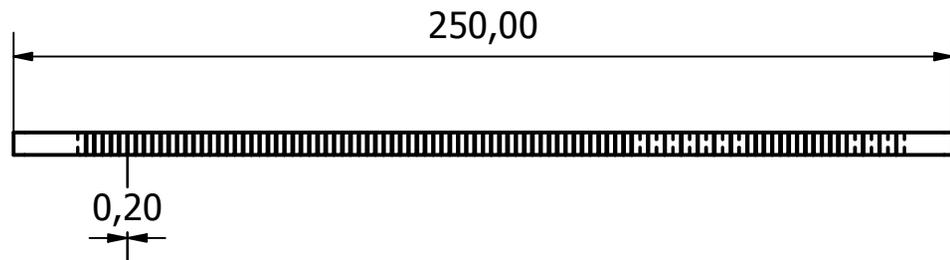
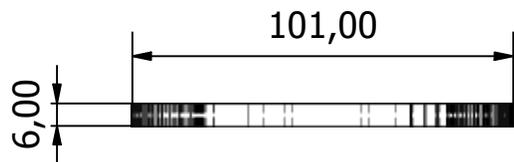
49 respuestas



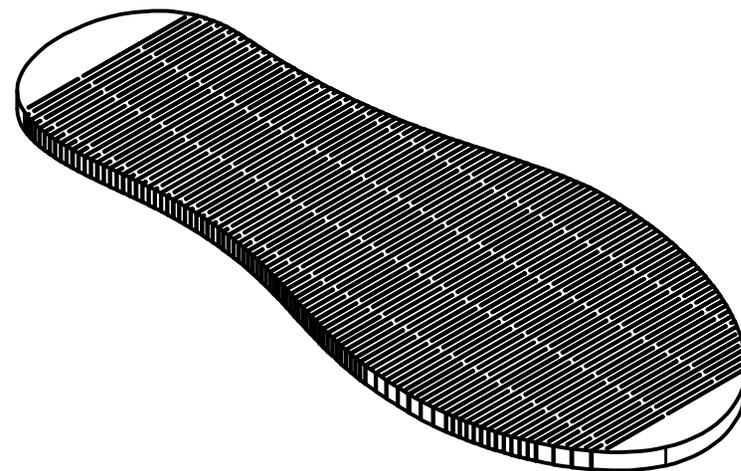
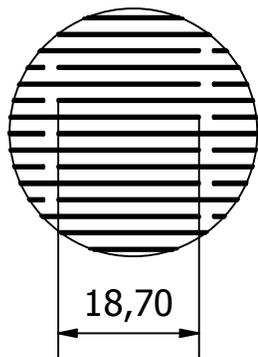
¿Intentarías usar unas sandalias que tuviesen resueltas las características que marcaste anteriormente?

10 respuestas

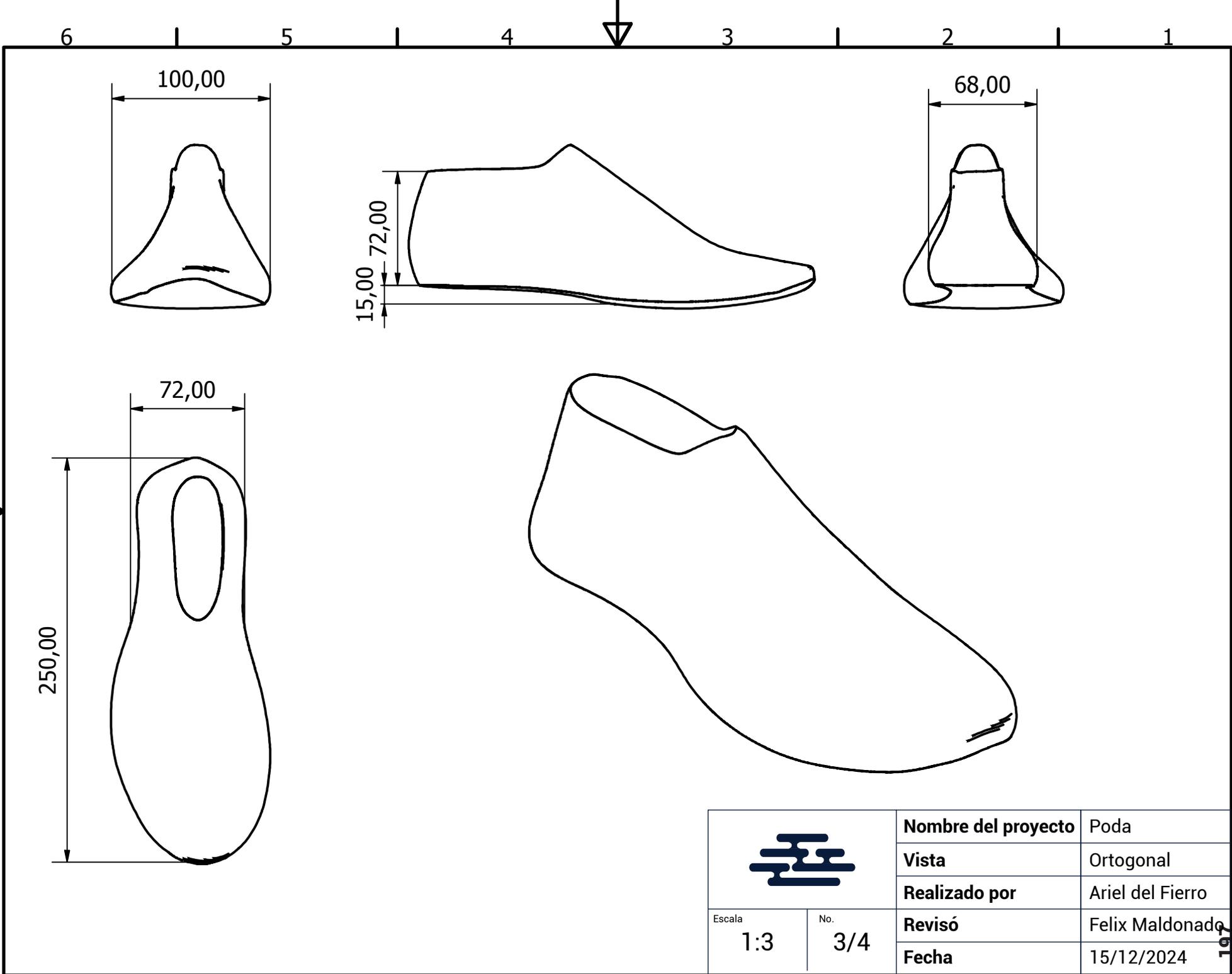




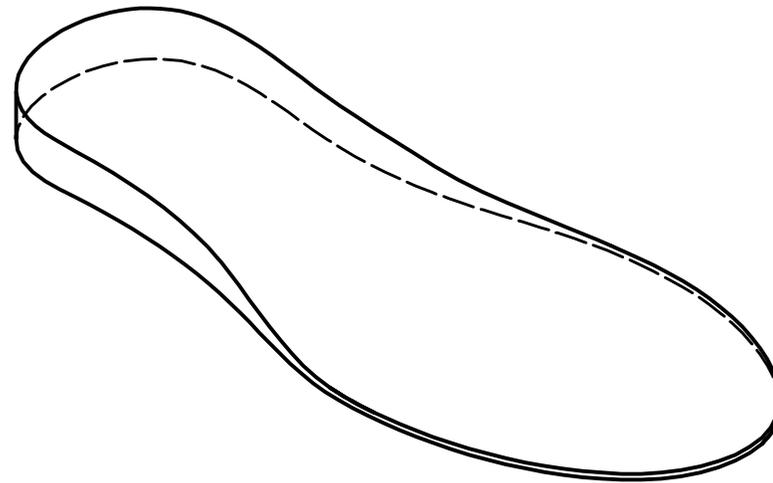
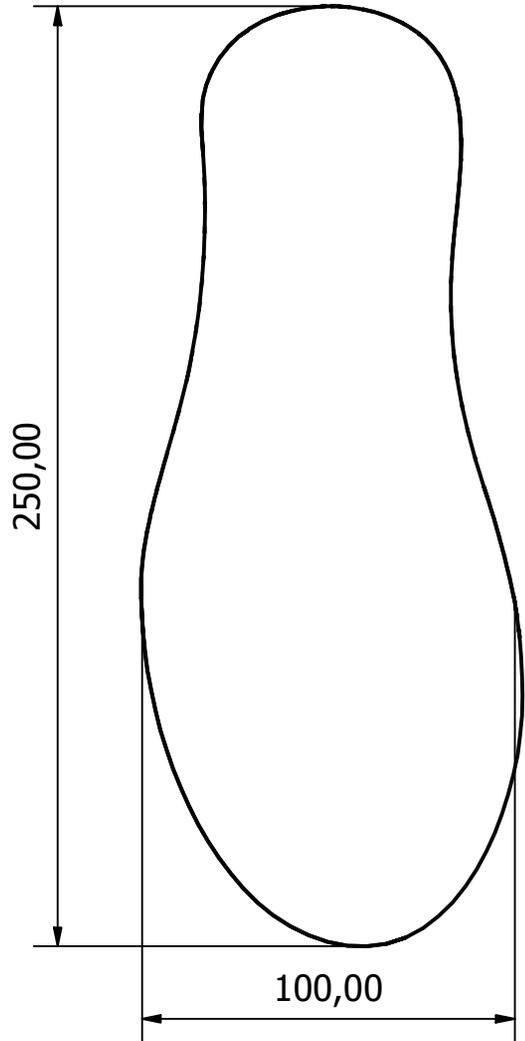
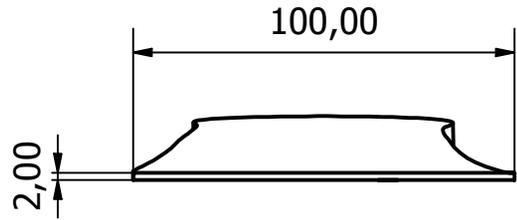
B (1:1)  
Torsional Link



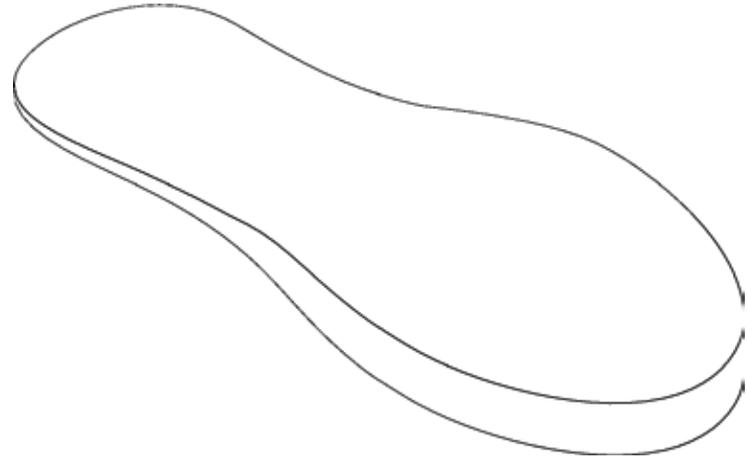
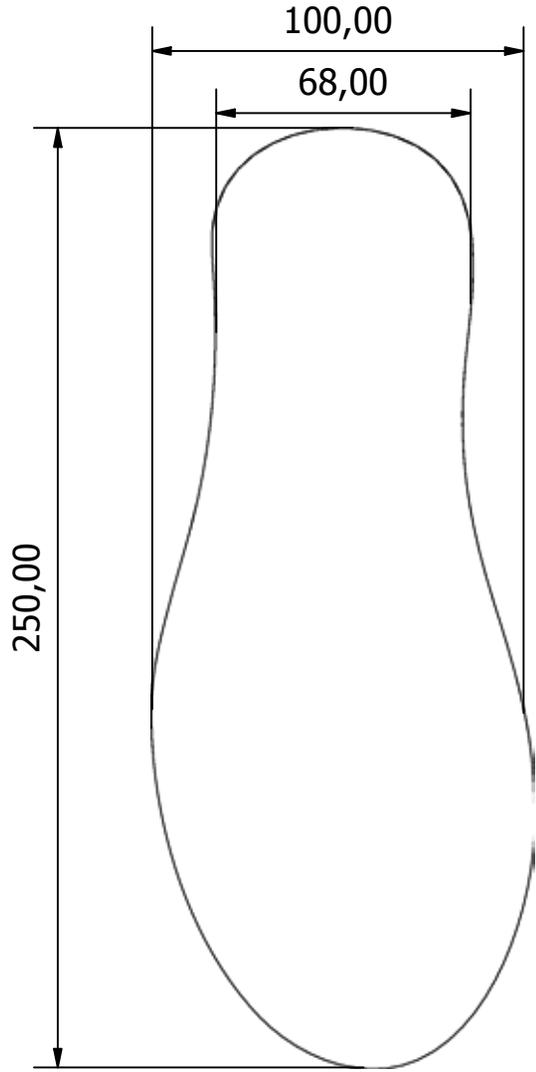
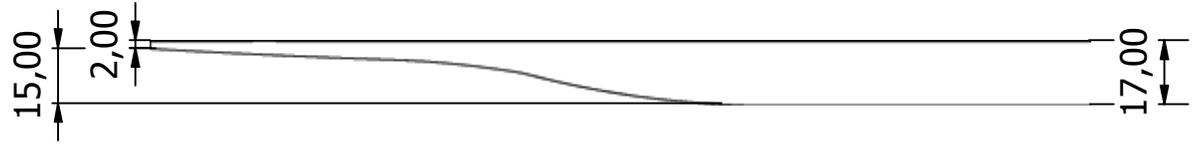
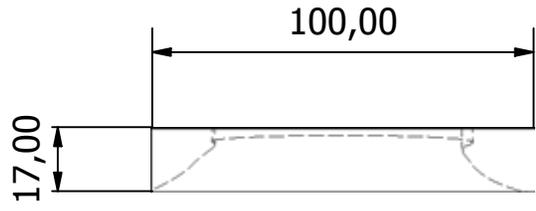
		<b>Nombre del proyecto</b>	Poda
		<b>Vista</b>	Ortogonal
Escala <b>1:3</b>	No. <b>1/4</b>	<b>Realizado por</b>	Ariel del Fierro
		<b>Revisó</b>	Felix Maldonado
		<b>Fecha</b>	15/12/2024



		<b>Nombre del proyecto</b>	Poda
		<b>Vista</b>	Ortogonal
Escala <b>1:3</b>		<b>Realizado por</b>	Ariel del Fierro
		<b>Revisó</b>	Felix Maldonado
No. <b>3/4</b>		<b>Fecha</b>	15/12/2024



	<b>Nombre del proyecto</b>	Poda
	<b>Vista</b>	Ortogonal
Escala <b>1:3</b>	<b>Realizado por</b>	Ariel del Fierro
	<b>Revisó</b>	Felix Maldonado
	<b>Fecha</b>	15/12/2024
No.	<b>4/4</b>	



	<b>Nombre del proyecto</b> Poda	
	<b>Vista</b> Ortogonal	
<b>Realizado por</b> Ariel del Fierro		<b>Revisó</b> Felix Maldonado <b>Fecha</b> 15/12/2024
Escala <b>1:3</b>	No. <b>2/4</b>	