



UNIVERSITAT  
JAUME·I

Escola Superior de Tecnologia I Ciències Experimentals

Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente.

Trabajo Fin de Grado

AUTOR: MARÍA CUMBRES TENA  
TUTOR: JOSÉ MARTÍNEZ SOTOCA

Junio 2019

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo de productos

## Agradecimientos

A Celia, por su apoyo y confianza incondicional.

A Alex, por apoyarme siempre y estar ahí.

A José Martínez Sotoca, por su dedicación y su apoyo que han hecho posible el desarrollo de este proyecto.

## 1. Memoria

1. Objeto
2. Alcance
3. Antecedentes
4. Normas y referencias
5. Definiciones y abreviaturas
6. Requisitos de diseño
7. Análisis de soluciones
8. Resultados finales

## 2. Anexos

1. Información
2. Entrevistas
3. Diseño de detalle
4. Materiales y componentes empleados
5. Innovaciones tecnológicas
6. Plan de lanzamiento

## 3. Planos

## 4. Pliego de condiciones

1. Introducción
2. Objetivo
3. Ámbito de uso
4. Características técnicas de los materiales
5. Especificaciones técnicas de producción
6. Montaje
7. Normativa del producto
8. Especificaciones de utilización y mantenimiento del producto

## 5. Estado de mediciones y presupuesto

1. Estado de mediciones
2. Presupuestos

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETO DEL PROYECTO.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	4
<b>2. ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
3.1. ESTUDIO DE MERCADO .....	6
3.2. PATENTES.....	13
3.2.1. CICLO DE VIDA .....	16
3.3. CONCLUSIONES.....	17
<b>4. NORMAS Y REFERENCIAS .....</b>	<b>17</b>
4.1 CONDICIONES DE SEGURIDAD .....	18
4.2 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	19
4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO .....	19
<b>5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>19</b>
<b>6. DESARROLLO DEL DISEÑO Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
6.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	20
6.1.1 NECESIDADES DEL CLIENTE.....	20
6.1.2 NECESIDADES LEGALES.....	20
6.1.3 NECESIDADES DE USO.....	20
6.1.4 NECESIDADES ESTÉTICAS.....	21
6.1.5 NECESIDADES TÉCNICAS Y DE FABRICACIÓN .....	21
6.1.6 NECESIDADES ECONÓMICAS .....	21
6.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	22
6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS .....	23
6.2.2 ESTABLECIMIENTOS DE RESTRICCIONES Y ESPECIFICACIONES. ....	27
6.2.3 TABLA DE VARIABLES QUE DEFINEN CADA OBJETIVO Y EL TIPO DE ESCALA. ..	30
6.3 ENTREVISTAS .....	31
<b>7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES .....</b>	<b>32</b>
7.1 PRIMERAS IDEAS.....	32
7.1.1 Tipos de unión. ....	45
7.1.2 Elementos complementarios del diseño .....	47
7.1.3 Estudio de diseño de sensores .....	51
7.2 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES .....	62
7.2.1 MÉTODO CUALITATIVO .....	64

7.2.2	MÉTODO CUANTITATIVO .....	66
7.3	SELECCIÓN DEL DISEÑO .....	69
7.3.1	Justificación de la solución adoptada.....	70
7.3.2	Elección de los componentes .....	70
8.	RESULTADOS FINALES.....	71
8.1	DISEÑO DEFINITIVO .....	73
8.1.1	FORMA .....	73
8.1.2	BASES DE LA PLANTILLA .....	73
8.1.3	GROSOR DE LA ENTRESUELA .....	74
8.1.4	ESTÉTICA DEL DISPOSITIVO .....	74
8.2	PROCESOS DE FABRICACIÓN .....	75
8.3	DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE .....	76
8.3.1	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	76
8.4	PLAN DE PROMOCIÓN Y LANZAMIENTO .....	83
8.4.1	PÚBLICO OBJETIVO DEL PRODUCTO .....	83
8.4.2	NAMING DEL PRODUCTO .....	83
8.4.3	LOGOTIPO .....	84
8.4.4	COLOR .....	84
8.4.5	VERSIÓN EN POSITIVO Y NEGATIVO .....	84
8.4.6	TIPOGRAFÍA .....	85
8.4.7	FORMATOS DE REPRODUCCIÓN .....	85
8.5	PROMOCIÓN DEL PRODUCTO .....	85
8.6	VIABILIDAD DEL PRODUCTO .....	86
8.6.1	VIABILIDAD TÉCNICA .....	86
8.6.2	VIABILIDAD ECONÓMICA .....	86
8.6.3	VIABILIDAD LEGAL Y LABORAL.....	87

## ANEXOS

1.	BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN .....	97
1.1	DEFINICIÓN DE ÓRTESIS .....	97
1.2	MÉTODOS CUANTITATIVOS .....	97
1.2.1	Huella plantar .....	97
1.3	BIOMECÁNICA DEL PIE .....	98
1.3.1	Estudio de la pisada .....	100
1.3.2	Estudio realizado para pisada pronadora .....	101
2.	ENTREVISTA.....	109

2.1 DATOS DE LAS ENTREVISTAS .....	109
<b>3. DISEÑO DE DETALLE.....</b>	<b>120</b>
3.1 PARÁMETROS DIMENSIONALES DEL PIE .....	120
3.1.1 MEDIDAS LONGITUDINALES DEL PIE EN CARGA.....	121
3.1.2 MEDIDAS LONGITUDINALES CON EL PIE EN DESCARGA .....	122
3.1.3 MEDIDAS DE CONTORNOS SOBRE EL PIE .....	122
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA BIOMECÁNICA DEL PIE.....	123
3.3 MEDIDAS DE LAS SUPERFICIES DE LA PLANTILLA .....	125
3.4 PERÍMETRO ALREDEDOR DE LAS ARTICULACIONES .....	126
3.5 Fuerzas de impacto en la pisada .....	127
3.6 Material de la suela .....	131
3.7 Geometría de la suela.....	131
3.8 Grosor de la suela .....	134
<b>4. MATERIALES Y COMPONENTES EMPLEADOS .....</b>	<b>134</b>
4.1 Sensores de medición.....	134
4.2 Receptores de la información .....	137
4.3 Transmisión y envío de datos.....	137
4.4 MICROCONTROLADORES .....	139
4.5 Materiales para la fabricación .....	145
4.6 Modos de impresión 3D .....	150
4.6.1 Tecnologías de impresión.....	151
<b>5. TECNOLOGÍA EN ANÁLISIS DE PARÁMETROS .....</b>	<b>152</b>
5.1 Análisis de movimiento basado en tecnología inercial.....	152
5.2 Análisis basado en tecnología óptica .....	153
5.3 Sistemas EMG inalámbricos o cableados.....	153
5.4 Biofeedback .....	153
5.4.1 Tipos de Biofeedback.....	153
5.5 Software de análisis y tratamiento de datos biomecánicos .....	154
<b>6. PLAN DE PROMOCIÓN Y LANZAMIENTO.....</b>	<b>154</b>
6.1 SLOGAN.....	155
6.1.2 Tipografías .....	155
6.2 LOGOTIPO .....	155
6.2.1 Ideas previas .....	156
6.2.2 Selección del logotipo.....	156
6.2.3 Icono.....	157

## **PLANOS**

<b>1. Piezas del modelado .....</b>	<b>162</b>
-------------------------------------	------------

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>1. ALCANCE .....</b>	<b>179</b>
<b>2. OBJETO.....</b>	<b>179</b>
<b>3. ÁMBITO DE USO .....</b>	<b>179</b>
<b>4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES .....</b>	<b>179</b>
<b>4.1 Listado de materiales .....</b>	<b>179</b>
<b>4.2 Indicaciones fabricante .....</b>	<b>181</b>
<b>5. Pruebas y ensayos .....</b>	<b>183</b>
<b>6. Normativa del producto.....</b>	<b>187</b>
<b>7. Mantenimiento del producto.....</b>	<b>188</b>

## **PRESUPUESTOS**

<b>1. ESTADO DE MEDICIONES .....</b>	<b>195</b>
<b>1.1 LISTADO DE COMPONENTES .....</b>	<b>195</b>
<b>1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES .....</b>	<b>196</b>
<b>2. PRESUPUESTOS .....</b>	<b>197</b>
<b>2.1 COSTE DE LOS COMPONENTES.....</b>	<b>197</b>
<b>2.1.1 Elementos fabricados .....</b>	<b>197</b>
<b>2.1.2 Elementos comerciales.....</b>	<b>197</b>
<b>2.1.3 Elementos auxiliares.....</b>	<b>198</b>
<b>2.1.4 Mano de obra .....</b>	<b>198</b>
<b>2.1.5 Coste Unitario del producto .....</b>	<b>199</b>
<b>2.1.6 Inversión .....</b>	<b>199</b>
<b>2.1.7 Precio de venta .....</b>	<b>200</b>
<b>2.2 ANÁLISIS DEL PRECIO DE VENTA .....</b>	<b>201</b>
<b>2.2.2 Viabilidad económica .....</b>	<b>202</b>

<b>9. REFERENCIAS</b> .....	<b>204</b>
9.1 INFORMACIÓN PREVIA.....	204
9.2 MALFORMACIONES DEL PIE .....	205
9.3 ESTUDIO DE PRODUCTOS SIMILARES EN EL MERCADO .....	206
9.4 SENSORES Y PLANTILLAS INSTRUMENTADAS.....	206
9.5 TIPOS DE SENSORES.....	207
9.6 NORMATIVA .....	207
9.7 ESTUDIOS BIOMECÁNICOS DE LA PISADA .....	208
9.8 TECNOLOGÍAS E INNOVACIONES .....	209
9.9 MATERIALES.....	209





## Índice de ilustraciones

Figura 1. Happystep.....	6
Figura 2. Plantilla rígida.....	7
Figura 3. Estudio biomecánico .....	7
Figura 4. Tobillera.....	8
Figura 5. Dispositivo Voelux .....	8
Figura 6. UpRight.....	8
Figura 7. Lumo Lift.....	8
Figura 8. iPosture.....	9
Figura 9. RunScribe.....	9
Figura 10. Plantilla Tune .....	9
Figura 11. Lumo Run.....	10
Figura 12. STRYD.....	10
Figura 13. Plataforma Infnit-y.....	11
Figura 14. Plataforma P-walk .....	11
Figura 15. Plataforma Metron.....	11
Figura 16. Acelerómetro .....	11
Figura 17. Giroscopio.....	12
Figura 18. Ciclo de vida útil .....	16
Figura 19. Zonas más cargadas durante la pisada.....	32
Figura 20. Opción 1 Base plantilla .....	38
Figura 21. Render opción 1 .....	38
Figura 22. Opción 2 Base plantilla .....	39
Figura 23. Render opción 2 .....	39
Figura 24. Opción 3 Base plantilla .....	40
Figura 25. Render opción 3 .....	40
Figura 26. Elevaciones correctoras opción 1.....	41
Figura 27. Render elevación correctora .....	41
Figura 28. Elevaciones correctoras opción 2.....	42
Figura 29. Elevación correctora.....	42
Figura 30. Opción 1 esponja fascitis.....	43
Figura 31. Render Opción 1.....	43
Figura 32. Opción 2 Esponja fascitis.....	44
Figura 33. Render opción 2 Esponja fascitis.....	44
Figura 34. Ajuste por presión .....	46
Figura 35. Unión presión .....	46
Figura 36. Mecanismo clic.....	46
Figura 37. Plantilla sensores.....	50
Figura 38. Sensor piezoeléctrico .....	50
Figura 39. Plantilla con sensores opción 2 .....	50
Figura 40. iShoe .....	51
Figura 41. Plantilla Moticon .....	51
Figura 42. F-Scan .....	51
Figura 43. Plantilla IEEs.....	51
Figura 44. iEES smart foot .....	52
Figura 45. Diagrama esquemático de un acelerómetro .....	52
Figura 46. Esquema transmisión y recepción de datos.....	55
Figura 47. Envío, transmisión e interpretación de datos .....	60
Figura 48. Diagrama esquemático <sup>19</sup> .....	61
Figura 49. Registro de datos.....	62

Figura 50. Justificación de la solución adaptada .....	71
Figura 51. Estructura plantilla .....	75
Figura 52. Bases de la plantilla .....	75
Figura 53. Suela .....	75
Figura 54. Mecanismo Unión .....	75
Figura 55. Esponja .....	75
Figura 56. Elevaciones laterales correctoras .....	75
Figura 57. Gráfico de las posiciones angulares durante la marcha .....	79
Figura 58. Fuerza a deformación .....	80
Figura 59. Extracción de los parámetros de la marcha .....	81
Figura 60. Logotipo final .....	84
Figura 61. Logotipo .....	84
Figura 62. Logotipo versión negativo .....	84
Figura 63. Ejemplo página web .....	86



## Índice de tablas

Tabla 1. Plataforma Infnit-y.....	11
Tabla 2.Características P-Walk .....	11
Tabla 3. Características Metron .....	11
Tabla 4. Características acelerómetro MPU6050.....	11
Tabla 5.Giroscopio 6050.....	12
Tabla 6. Rangos de funcionamiento.....	12
Tabla 7. Patentes.....	15
Tabla 8. Variables que definen los objetivos.....	30
Tabla 9. Diseño de la base de la plantilla .....	40
Tabla 10. Diseño elevaciones laterales correctoras.....	42
Tabla 11. Diseño esponja fascitis plantar.....	44
Tabla 12. Diseño mecanismo unión de piezas por ajuste presión .....	46
Tabla 13. Diseño mecanismo unión piezas por clic.....	46
Tabla 14. Comparación de sensores de presión .....	50
Tabla 15. Comparación con plantillas sensorizadas.....	51
Tabla 16. Sensores Neumáticos .....	56
Tabla 17. Método datum.....	65
Tabla 18. Método cuantitativo.....	66
Tabla 19. Ponderación de las alternativas .....	67
Tabla 20. Suma de los objetivos ponderados.....	68
Tabla 21. Grosor entresuela .....	74
Tabla 22. Procesos de fabricación.....	75
Tabla 23. Perfil usuario.....	78
Tabla 24. Conversión de la tensión de salida en una fuerza .....	80
Tabla 25. Coordenadas espaciales del sensor.....	80
Tabla 26. Algoritmo de segmentación .....	81
Tabla 27. Ecuación para calcular la cadencia .....	81
Tabla 28. Resistencia al desgaste.....	83



# 1. INTRODUCCIÓN.

Caminar define la actividad que realizan millones de personas cada día, ya sea para hacer ejercicio o para ir de un lado a otro. De esta forma, tener un problema a la hora de caminar hace que la vida diaria de una persona sea más complicada.

La idea del proyecto surge debido a que la autora presenta un problema médico que le impide apoyar totalmente la planta del pie, provocando que el peso se distribuya en el lado izquierdo. A partir de aquí, se investiga sobre el tema de los hándicaps que se producen en la forma de andar, destacando las formas de pisar pronadora y supinadora.

Para el estudio del pie desde el punto de vista morfológico y biomecánico se utilizan diferentes métodos:

- I. Cinético.
- II. Radiológico.
- III. Fotográfico.
- IV. Hipodinámico.
- V. Metodología de Shulzhenko.
- VI. Tensométrico.
- VII. Amplificador de Strain.
- VIII. Oscilografía de cargas.
- IX. Plantografía.

Por otra parte, también se explorarán otra serie de problemas que afectan a la forma de pisar, tales como la fascitis plantar o el fibroma plantar. De esta manera, y a modo de indagar en las causas que dificultan nuestra forma de caminar se presentarán una serie de estudios biomecánicos para contextualizar el proyecto. Por un lado, se encuentran los problemas de índole genética, los cuales pueden ser malformaciones arteriovenosas o de origen venoso.

Las malformaciones vasculares son anomalías presentes en el nacimiento que nunca desaparecen, y pueden crecer durante toda la vida. La presentación clínica de las malformaciones vasculares es extremadamente variable dependiendo de cada persona. También están las deformaciones del pie, cuyos tipos son: pie cavo y pie plano con distintos grados, pie equino y el pie talo presentes en el eje transversal. Por otra parte, están las alteraciones presentes en el eje vertical tales como pie aducto, pie con abducción, pie varo y pie valgo.

A continuación, se muestra la distinta terminología de los pies planos y cavos:

#### I. Pie plano.

Se trata de la ausencia o disminución del arco plantar o bóveda plantar que se encuentran separados por una línea curva. Se tienen los siguientes grados presentes en el pie plano, Grado I (pie débil), Grado II (desplegado), Grado III (disminuido) y Grado IV (aplanado).

- Grado I. Se produce una ampliación del apoyo externo de la bóveda. Si la anchura mínima no excede la mitad de la anchura máxima del antepié se considera normal.
- Grado II. Existe contacto del borde interno del pie, pero la bóveda se mantiene.
- Grado III. La bóveda plantar desaparece completamente.
- Grado IV. La anchura del apoyo central es mayor que en la parte anterior y la posterior.

#### II. Pie cavo.

Es un aumento de la bóveda plantar y se asocia con un agarrotamiento del segundo al quinto dedo del pie, que provoca un aumento de tensión en la musculatura de la zona plantar. Están los Grado I (arqueado) y Grado II.

- Grado I. Hay algo de apoyo a la hora de andar.
- Grado II. No hay apoyo.

#### III. Pie equino.

El pie se encuentra en una posición de flexión plantar permanente, es decir, el pie está estirado hacia abajo. Esta situación se produce por causas congénitas, traumáticas o están relacionadas con procesos reumáticos.

#### IV. Pie talo.

Es característico de los recién nacidos. Éstos presentan los pies doblados hacia delante y hacia arriba, de forma que el pie llega a tocar la parte anterior e inferior de la pierna.

#### V. Pie aducto.

Deformación del pie en la que los huesos de la mitad frontal del pie se doblan hacia el lado del dedo gordo del pie.

#### VI. Pie con abducción.

El pie se encuentra desviado hacia fuera de la línea media.



## VII. Pie varo.

La planta del pie se orienta hacia dentro, apoyando el borde externo y los dedos anular y meñique.

## VIII. Pie valgo.

Se produce una desviación lateral del talón hacia la parte interna y esto provoca que el peso del cuerpo se desplace hacia la zona media del pie.

Dentro de las complicaciones físicas se tienen la mala postura del pie y la fascitis plantar. En el primer caso, los problemas derivados son la pisada supinadora y la pronadora. Sin embargo, la fascitis plantar, se produce al encontrarse mucho tiempo de pie y realizar una intensa actividad física.

Por otro lado, se explica la fase de apoyo del pie durante la marcha. Durante la fase de contacto se observa una fuerza vertical máxima. El talón se encuentra en contacto con el suelo reduciéndose la progresión hacia delante del pie. Durante la fase de soporte se da una caída de fuerza vertical. Esto ocurre cuando el pie está en el plano y corresponde al cambio de frenada del impulso anterior.

### **1.1 OBJETO DEL PROYECTO.**

El objetivo del proyecto es el diseño de una plantilla con una serie de sensores que analizan la pisada, y unas elevaciones correctoras para corregir la supinación y pronación de la pisada. Para ello se tratará de fusionar las técnicas y productos existentes, y conseguir así un producto que se adapte a los problemas de cada paciente sin necesidad de crear un producto específico y permanente, tal y como ocurre en el caso de las plantillas.

Por otro lado, la parte que permitirá que el producto se adapte a las condiciones del usuario, serán una serie de sensores que medirán los parámetros de la postura del pie, en reposo y mientras el paciente camina. De esta forma, se podría controlar la posición correcta de los pies. A partir de aquí, se utilizarán una serie de elevaciones correctoras con distinta graduación para corregir la pisada.

En este caso, el proyecto se dirigirá a corregir y mejorar la fascitis plantar de los pacientes, que en consecuencia provocan que el sujeto camine con la pisada supinadora o pronadora.

Con el producto a desarrollar se intenta prevenir las causas de dolor a la hora de realizar actividades, y si el problema es crónico, tratar de mejorar el bienestar de la persona. Con este producto se busca ayudar a proporcionar un mejor diagnóstico al podólogo sobre la dolencia del paciente y así poder corregir o mejorar su postura al caminar.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto presentado se corresponde con la asignatura del Trabajo Final de Grado (TFG) del grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo de productos. El objetivo de esta asignatura pretende mostrar los conocimientos y competencias adquiridas, de forma que se puedan evaluar y obtener el título de graduado.

Como se ha explicado anteriormente, la finalidad que se quiere conseguir es tratar una serie de patologías con un solo producto que se ajuste a las complicaciones del paciente y ofrezca una solución a largo plazo.

En la introducción se ha hablado de los tipos de pisada que existen y de los diferentes problemas que pueden darse en los pies. En el mercado, se encuentran algunas soluciones para cada uno de estos problemas, pero no para personas que tengan problemas en la pisada y patologías físicas en el pie.

Partiendo de esta necesidad, se piensa en abordar los problemas descritos anteriormente como un conjunto, esto es, se diseñará un producto que ayude a mejorar la fascitis plantar, mediante un sistema de amortiguación que reduzca el impacto contra el suelo<sup>1</sup>.

## 2. ALCANCE

En esta sección se desarrollan las partes que conforman el proyecto, tanto internamente, que explica el funcionamiento, como externamente, el aspecto estético del mismo.

Se pretende encontrar una solución final, teniendo en cuenta todas las fases como son: estudio de antecedentes, viabilidad, desarrollo del diseño, estudio de las necesidades hasta alcanzar soluciones previas, diseño preliminar definitivo, fase de diseño de detalle, presupuesto y planificación del proyecto. Para llevarlo a cabo, se utilizarán bocetos, renders, planos de diseño, especificación de materiales, etc.

Una vez definido el objetivo del proyecto, se elaborará un prototipo. Para ello, se tendrán en cuenta a la parte electrónica (sensores de medición) y la estructura exterior (parte que contendrá a los componentes electrónicos).

También se planteará la posibilidad de elaborar una app para controlar los sensores y ver en el dispositivo móvil la posición inicial de los pies y cómo van cambiando según la postura que se esté corrigiendo.

---

<sup>1</sup> La información se mostrará en diferentes documentos, según la norma UNE 157001, Memoria, Planos, Pliegos de condiciones Técnicas, Presupuesto y los Anexos, que formaran el trabajo final.

### **Fase 1. Estudio de antecedentes.**

En esta fase se realiza un estudio de mercado, con el que se pretende conocer en profundidad la gama de productos existentes. Se han buscado las distintas plantillas, y dispositivos electrónicos que se utilizan actualmente para corregir la postura. También se expone un apartado con las patentes relacionadas con el objeto del proyecto.

Esto proporciona una visión conjunta del producto, donde se ven las características que lo conforman, donde se puede observar los puntos fuertes y débiles de cada una, que posteriormente han sido incorporados al diseño.

### **Fase 2. Desarrollo del diseño.**

Esta parte consiste en la concreción de los objetivos e implementación del diseño y características de los productos vistos en la fase anterior, es decir, se elabora una serie inicial de los requisitos que debe cumplir la plantilla con los sensores. Para ello, se parte de una serie de categorías que a su vez dividen los objetivos del proyecto. Estas categorías serán: resistencia, seguridad, utilidad, mantenimiento, fabricación y estética.

### **Fase 3. Diseño preliminar / soluciones previas.**

Se ejecutan una serie de propuestas que reúnan los requisitos de diseño establecidos. Comienza con unos bocetos que representan las alternativas a partir de las cuales se utilizarán en fases posteriores del proyecto.

Con todas las propuestas elaboradas, se seleccionará aquella que cumpla los objetivos fijados, mediante métodos de eficiencia.

### **Fase 4. Diseño de detalle.**

En esta fase se presenta la alternativa elegida mediante una serie de renders realizados con el programa SolidWorks. Se precisan todos los detalles necesarios para poder desarrollar el producto hasta su etapa de producción.

### **Fase 5. Cálculos y elección de materiales.**

Una vez decidido el diseño final, hay que tener en cuenta los componentes y la fabricación de éste para elaborar posteriormente la viabilidad y rentabilidad del producto. Por tanto, se ha de llevar a cabo un estudio de materiales para conformar la parte soporte y estética del trabajo.

Para ello se ha realizado una selección de materiales con alta resistencia al desgaste y que se aseguren la resistencia mecánica. También se han determinado las dimensiones que tendrá cada parte del producto.

## **Fase 6. Estimación de los tiempos de fabricación.**

En este apartado se analizan los materiales empleados en el producto durante el proceso de fabricación de las partes del diseño. Además, es necesario para la determinación del presupuesto y el tiempo de producción del producto. Por último, se estima el tiempo de elaboración y montaje de cada pieza.

## **Fase 7. Presupuesto.**

En esta última parte del proyecto, se muestran unas tablas donde se resumen los precios de todos los componentes y de los procesos implicados en la fabricación del diseño, detallados en los apartados anteriores. Conforme la búsqueda de proveedores y el cálculo del coste de fabricación, así será el precio de venta del producto.

## **Fase 8. Planificación del proyecto.**

La planificación será la determinación del tiempo para la producción del producto, según la previsión de ventas establecidas.

# **3. ANTECEDENTES**

Esta parte se centra en búsqueda de productos similares existentes en el mercado semejantes al producto que se propone en el proyecto. Como actualmente no hay dispositivos que engloben todas las características del producto propuesto, se ha decidido establecer un análisis de los productos con funciones parecidas a las que se pretende conseguir.

Actualmente, existen distintas alternativas para solventar o bien para reducir el dolor en las pisadas, tales como pueden ser las plantillas de descarga o los distintos productos textiles de compresión.

## **3.1. ESTUDIO DE MERCADO**

### **1. Happystep (Figura 1).**

Son plantillas que están fabricadas con espuma de memoria de alta calidad que permite un ajuste personalizado a los pies del usuario. Proporciona la sujeción del arco con excelente amortiguación para ayudar a mitigar el estrés que sufre el arco y aliviar el dolor. Precio: 8-10€



*Figura 1. Happystep*

Como se puede ver en la imagen superior, la mayoría de los dispositivos existentes en el mercado para corregir la postura del pie son los soportes plantares o plantillas. En el caso de las

plantillas, se encuentran aquellas hechas a medida gracias a un programa de software con el que se realiza un análisis biomecánico de los pies del paciente. El uso de este tipo de producto ayuda a conseguir un reparto homogéneo de las presiones de los pies, además de la amortiguación de ciertas partes del pie que lo precisen y se consigue mejorar la alineación de los pies.<sup>2</sup>

Sin embargo, también presenta una serie de inconvenientes tales como ofrecer una solución fija al paciente, ya que el producto final no permite ninguna modificación, en caso de que el paciente lo necesite. También es importante el material con el que este elaborado, para asegurar la manipulación y la mayor duración posible del producto. Una plantilla muy rígida inhabilita el efecto amortiguador del pie, provocando la aparición de lesiones por sobrecarga mecánica. El efecto que producen es el de la cazoleta o inestabilidad del pie.



Figura 2. Plantilla rígida

En cambio, los soportes de una consistencia blanda generarán un efecto de inestabilidad que puede afectar negativamente a estructuras como la rodilla. El componente mecánico fundamental de una plantilla tiene que ser la elasticidad y la alta resistencia a la fatiga debido a que la carga que soportan los pies es realmente elevada.

Toda plantilla que tiene una geometría va a producir un efecto en nuestra pisada, ya sea positivo o negativo. Esto dependerá del previo estudio biomecánico que se ha hecho de los pies del paciente y de su adaptación a la plantilla.<sup>3</sup>

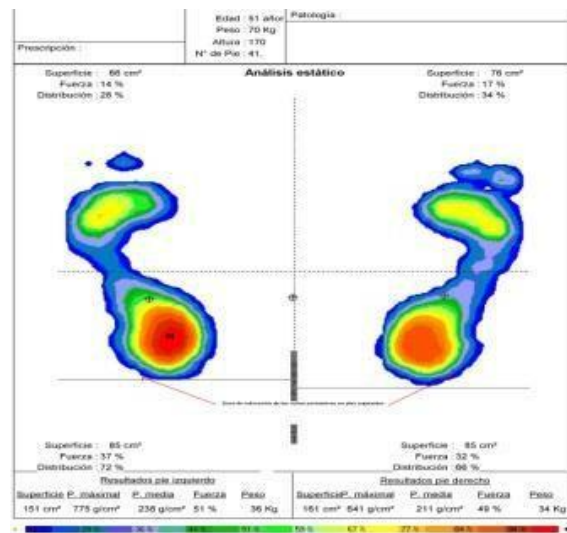


Figura 3. Estudio biomecánico

El estudio de estas fuerzas hace posible localizar zonas que muestran los valores más elevados de presión y además permite cuantificar estos valores. Se distinguen dos tipos de esfuerzo mecánico.

1. Fuerza aplicada de forma vertical sobre la superficie plantar.
2. Fuerza paralela a la superficie plantar.

<sup>2</sup> Moufawad\_C. (2016) *Instrumented shoes for daily activity monitoring in healthy and at risk populations.*

<sup>3</sup> Elvira\_J.L.L., Vera\_F.J., Meana\_M., García\_J.A. (2008). *Análisis biomecánico del apoyo plantar en la marcha atlética.*

Por otra parte, se encuentran los productos textiles de compresión, cuya función es ejercer presión sobre el sistema vascular. De esta forma se impide que la sangre se acumule, mejorando el flujo sanguíneo. Respecto a la utilización de estos modelos como elemento corrector, no modifica la postura de los pies al caminar, pero sí aporta sujeción. De esta forma, se evitan las posibles roturas musculares.



Figura 4. Tobillera

También, se tienen los correctores de espalda que implica una mayor diversidad. Es por eso que se mencionan en esta fase del diseño.

## 2. Voelux (Figura 5).

Dispositivo que se lleva puesto para ayudar a corregir la postura y reducir la inclinación que tienen muchas personas en ciertos tipos de entorno de trabajo.



Figura 5. Dispositivo Voelux

Respecto al uso de dispositivos para corregir la postura de la persona, en el mercado se encuentran aquellos destinados a solventar la postura de la espalda, ya que en el ámbito biomecánico apenas se encuentran soluciones. Por esta razón se incluye una sección con estos dispositivos.

## 3. UpRight (Figura 6).

Dispositivo portátil diseñado para ayudar a los usuarios a alcanzar una postura perfecta. Es capaz de monitorizar constantemente la postura del usuario. Al detectar una mala postura vibra suavemente con el objetivo de avisarle para que pueda corregirla.



Figura 6. UpRight

## 4. Lumo Lift (Figura 7).

Dispositivo que actúa como un rastreador de actividad y corrector de postura que funciona con una aplicación.



Figura 7. Lumo Lift

5. iPosture. (Figura 8).

Consiste en un aparato en contacto con el cuerpo, que avisa mediante una serie de vibraciones con mayor o menor intensidad, dependiendo de la inclinación de la espalda.



Figura 8. iPosture

Desde otro punto de vista, existen distintos sensores que se colocan en los calcetines y en las zapatillas de los deportistas. De este modo, se permite conocer la colocación de la pisada, evaluar la corrección de zapatillas con soportes de estabilidad o para realizar estudios sobre el aumento de la pronación o supinación y la pérdida de estabilidad debido al esfuerzo prolongado en distancias largas.

La aplicación de este producto se extiende exclusivamente al ámbito deportivo.

6. RunScribe (Figura 9).

Consiste en un producto donde los sensores van acoplados mediante un enganche a la parte trasera de las zapatillas (en una o en las dos). Este acople permite obtener datos relativos a los ángulos de pronación en carrera. Su precio, más de 200 euros si compramos el pack de dos sensores. La capacidad de la batería es aproximadamente de 16 horas.



Figura 9. RunScribe

7. Tune. (Figura 10).

Consta de unas plantillas unidas a un sensor de comunicación acoplado en el lateral de la zapatilla.



Figura 10. Plantilla Tune

## 8. Lumo Run. (Figura 11).

Registra los datos principales relativos a la zancada (tiempo de contacto con el suelo, longitud de zancada y oscilación vertical), además de la posición del cuerpo (rotación de la pelvis) y fuerza de impacto.

La principal diferencia respecto a otros es que va fijado en unos pantalones especiales que se venden junto al sensor. La transmisión de datos es vía bluetooth y su aplicación móvil nos va informando mediante mensajes de voz si la técnica es correcta o no.<sup>4</sup>



Figura 11. Lumo Run

## 9. STRYD. (Figura 12).

Se puede conectar vía bluetooth a una app móvil propia y a la mayoría de los relojes GPS de gama media y alta de Garmin, Polar o Suunto. Junto al dato de potencia, el sensor que se inserta en una banda pectoral hace las funciones de pulsómetro. La principal ventaja, es que permite monitorizar la postura del pie (tiempo de contacto con el suelo, oscilación vertical y longitud de zancada) además de la posición del cuerpo, junto con la fuerza de impacto.

Como se ha comentado anteriormente, este tipo de sensores lo unico que proporcionan es la medición de parámetros, pero no ayuda a la corrección de la postura de la pisada.



Figura 12. STRYD

Por otra parte, se van a mostrar una serie de sensores que se emplearán en el diseño de las plantillas.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Marco Colás\_S. (1993). *Optimización de sensores de presión piezorresistivos de silicio para instrumentación biomédica y aplicaciones a alta temperatura*

<sup>5</sup> Apartado 4.1 Anexos "Sensores de medición"



## Plataformas de presiones


<b>Imagen</b>	<b>Dimensión de un módulo individual</b>	Área sensible → 40 x 40 cm o 60 x 40 cm
 <p>Figura 13. Plataforma Infnit-y</p>	<b>Salida</b>	Digital
	<b>Capacidad (X e Y) para cada módulo</b>	Hasta ±8000 N
	<b>Capacidad (Z) para cada módulo</b>	Hasta 8000 N
	<b>Sensibilidad / Resolución</b>	16 bit en el rango seleccionado
	<b>Desviación de la sensibilidad en la superficie</b>	< 1,0 % de salida a escala completa
	<b>Amplificador</b>	Incorporado

Tabla 1. Plataforma Infnit-y


<b>Imagen</b>	<b>Dimensión sensor</b>	1 cm x 1 cm
 <p>Figura 14. Plataforma P-walk</p>	<b>Número de sensores</b>	2304
	<b>Tipo de sensor</b>	Resistivo
	<b>Frecuencia adquisición</b>	Hasta 100 Hz
	<b>Rango de presión</b>	30 – 400 Kpa
	<b>Fuente de alimentación</b>	A través de USB

Tabla 2. Características P-Walk


<b>Imagen</b>	<b>Número de sensores</b>	2304
 <p>Figura 15. Plataforma Metron</p>	<b>Rango de presión por sensor</b>	0,4 – 100 N
	<b>Frecuencia de muestreo</b>	200 Hz
	<b>Alimentación</b>	USB

Tabla 3. Características Metron

## Acelerómetros.


<b>Frecuencia</b>	0,1 – 1,5 KHz	<b>Imagen</b>  <p>Figura 16. Acelerómetro</p>
<b>Rangos dinámicos</b>	1,5 – 250 g	
<b>Sensibilidad</b>	7,62 – 1300 mV /g	

Tabla 4. Características acelerómetro MPU6050

Giroscopio.


Frecuencia		Imagen
Rangos	-250°/sec a +250°/sec	 <p>Figura 17. Giroscopio.</p>

Tabla 5. Giroscopio 6050

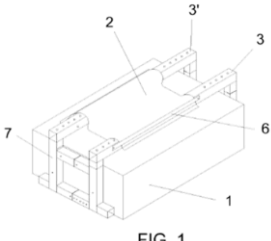
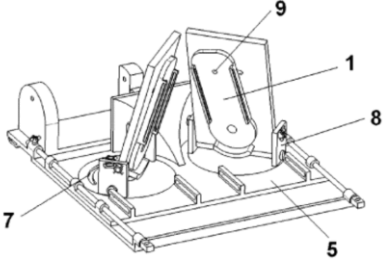
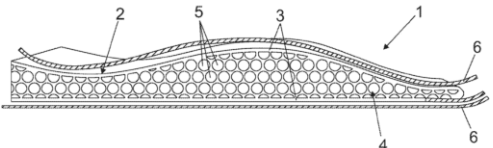
A continuación, se muestran los rangos de escala y el valor máximo raw.

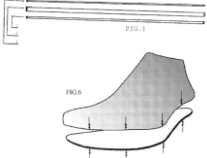
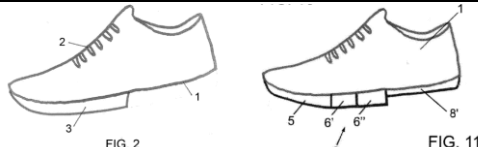
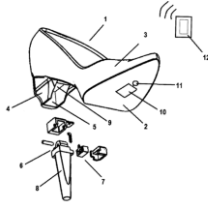
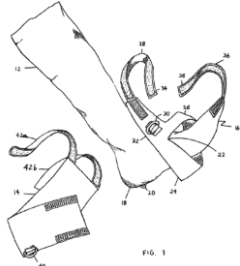
Rango de escala completa (giroscopio)	Sensibilidad del giroscopio	Rango de escala completa (acelerómetro)	Sensibilidad del acelerómetro
± 250° /sec	131 dps	± 2 g	16.384 mV /g
± 500° /sec	65.5 dps	± 4 g	8.192 mV /g
± 1000° /sec	32.8 dps	± 8 g	4.096 mV /g
± 2000° /sec	16.4 dps	± 16 g	2.048 mV /g

Tabla 6. Rangos de funcionamiento

### 3.2. PATENTES

En el siguiente apartado se verán los avances tecnológicos presentes en el mercado sobre las plantillas para supinación y pronación.

<b>Código</b> WO/2010/007200 A1		
<b>Fecha:</b>	21/01/2010	<b>Descripción:</b> Se trata de un instrumento para la captación de la imagen plantar a través de medios de sujeción y tensión de una membrana elástica, materializados en dos barras horizontales regulables sobre un escáner o una pluralidad de cámaras y un cristal antirreflejante.
<b>Autor:</b>	Alfaro Santafé, Víctor Podoactiva, S.L	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
 <p>FIG. 1</p>		
<b>Código:</b> WO 2013/041754 A1		
<b>Fecha:</b>	28/03/2013	<b>Descripción:</b> Dispositivo destinado para el estudio y el diagnóstico de patologías óseas de la extremidad del retropié que permite hacer una valoración completa de la mecánica de la articulación subastragalina.
<b>Autor:</b>	Tejero, Sergio Giráldez, Miguel Carranza, Andrés	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
 <p>FIG. 4(a)</p>		
<b>Código:</b> WO 2014/009587 A1		
<b>Fecha:</b>	16/01/2014	<b>Descripción:</b> Plantilla de estructura reticular. Estas retículas, son de geometría, orientación, inclinación, grosor y densidad variable respecto del resto, para otorgar al cuerpo mayor o menor elasticidad en determinados puntos.
<b>Autor:</b>	Alfaro, José Víctor Alfaro, José Javier Lanuza, Carla Huertas, José Luis	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
 <p>Fig. 1</p>		

<b>Código:</b> WO 2014/068160 AI		
<b>Fecha:</b>	08/05/2014	<b>Descripción:</b> Plantilla para calzado constituida por un forro con material esponjoso y un material de planta. El forro es el que permanece en contacto con el pie, y los otros materiales se quedan adheridos formando una sola pieza.
<b>Autor:</b>	Ripoll Juan, Francisco	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
		
<b>Código:</b> WO 2015/059332 AI		
<b>Fecha:</b>	30/04/2015	<b>Descripción:</b> Se trata de una zapatilla que tiene el talón suspendido. Es decir, la suela no tiene parte del retropié, sólo se tiene la suela y la entresuela en la zona del antepié y el mediopié para que el apoyo del pie sea únicamente sobre esa parte.
<b>Autor:</b>	Beneyto Abad, Francisco José	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
		
<b>Código:</b> WO 2015/093927 AI		
<b>Fecha:</b>	25/06/2015	<b>Descripción:</b> Sistema inalámbrico de control de altura de zapatos de tacón. Se trata de un dispositivo electrónico receptor y procesador de una señal inalámbrica para accionar el mecanismo de accionamiento para plegar o desplegar el tacón alto.
<b>Autor:</b>	Rojas Villanueva, Luis Gerardo	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
		
<b>Código:</b> US 8246562 B2		
<b>Fecha:</b>	21/08/2012	<b>Descripción:</b> Se trata de un calcetín elástico que tiene una parte del dedo del pie y un talón. El calcetín se extiende sobre el pie hasta una zona calcárea sobre el pie.
<b>Autor:</b>	Jacqueline Colon	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
		

<b>Código:</b> US 7056299B2		
<b>Fecha:</b>	06/06/2006	<b>Descripción:</b> Dispositivo ortopédico para la absorción del impacto del talón al caminar, mejorar el tratamiento del edema y la hinchazón, y para disminuir el dolor. Se compone de una manga elástica adaptada para ajustarse sobre el pie y el talón de una persona.
<b>Autor:</b>	Brown, Iván Road, Krivosha	
<b>Estado:</b>	Vigente	
<b>Fotografías:</b>		
<b>Código:</b> US006000147A		
<b>Fecha:</b>	14/12/1999	<b>Descripción:</b> Se trata de una órtesis formada por dos secciones que permiten adaptarse a las necesidades específicas de un paciente. Estas secciones pueden articularse entre sí por el mecanismo de una bisagra.
<b>Autor:</b>	David Kellerman	
<b>Estado:</b>	Caducada	
<b>Fotografías:</b>		

Tabla 7. Patentes

Como se ha podido ver de forma resumida en las tablas anteriores, se presentan las patentes relacionadas con las plantillas, para tratar la supinación o pronación, existentes en el mercado. Por un lado, se muestran una serie de aparatos implicados en la medición de la huella plantar. Estos dispositivos se encuentran en las clínicas podológicas y su utilización se lleva a cabo mediante los podólogos. Por otro, se tienen las plantillas cuyas partes se pueden montar o desmontar sobre la base según las necesidades que se requieran, tales como aumentar la parte del mediopié para tratar la fascitis plantar o aumentar el talón para reducir el dolor al caminar.

También, se ha incluido una patente que trata sobre el proceso de fabricación más extendido en la fabricación de las plantillas. Por último, se tiene una serie de patentes relacionadas con plantillas instrumentadas, donde se habla sobre los sensores utilizados y las características de cada uno.

### 3.2.1. CICLO DE VIDA

Es un proceso que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto del uso de recursos y emisiones.\*

Se refiere a las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, a la producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

- I. Adquisición de materias primas: son todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente incluyendo el transporte previo a la producción.
- II. Procesado y fabricación: conversión de las materias primas y energía en el producto deseado. Se divide en subetapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.
- III. Distribución y transporte: traslado del producto final al cliente.
- IV. Uso, reutilización y mantenimiento: es la utilización del producto una vez que se ha acabado su vida útil.
- V. Reciclaje: se da una vez que el producto ha servido para su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema del producto (ciclo de reciclaje cerrado) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).
- VI. Gestión de los residuos: comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medioambiente como residuo.

\*Ciclo de vida del producto de una unidad.



Figura 18. Ciclo de vida útil

### 3.3. CONCLUSIONES

Como se puede ver en las imágenes anteriores, la variedad de dispositivos en el mercado es muy limitada. La mayoría de los productos existentes se focalizan en tratar de mejorar los problemas derivados de la espalda, pero hay muy pocos que se centren en corregir la postura de los pies al andar. Es decir, se trata de productos que emiten una señal acústica que avisa al usuario del dispositivo de que debe corregir su postura. Estos aparatos electrónicos sólo avisan al usuario de que debe modificar su postura, pero el dispositivo en sí, no la corrige.

Debido a que el diseño de la plantilla irá destinado al tratamiento de la fascitis plantar, se tomará como referencia los diseños de las plantillas existentes para a partir de esa forma elaborar un diseño que sea lo más adaptable posible a la anatomía plantar. Las plantillas existentes son únicas, es decir, no son adaptables a las modificaciones que se puedan producir en la pisada de los usuarios.

Por otra parte, las plantillas para el tratamiento de la fascitis plantar requiere de un material blando situado en la fascia para amortiguar la pisada. Por tanto, es necesario que éstas tengan la suficiente resistencia para que sea lo suficientemente duradera. Como también se han visto los materiales de las plantillas, las que están fabricadas de un material rígido dificultan el bienestar del paciente a la hora de caminar.<sup>6</sup>

Respecto a las patentes existentes en el mercado, se puede ver la aplicación de ciertos dispositivos que se colocan en la pierna entera para tratar la supinación y la pronación. Esto hace que la movilidad y la comodidad del usuario se vea afectada. Lo ideal es que el diseño invada lo menos posible la anatomía plantar del paciente. También se tienen las patentes relacionadas con los aparatos eléctricos que proporcionan información sobre módulos electrónicos para monitorear la posición de los parámetros que influyen en la pisada.<sup>7</sup>

Finalmente, se tomará como referencia los sensores empleados en los dispositivos que miden los parámetros que influyen en la carrera, para posteriormente incluirlos en el diseño de la plantilla final. Por ello, se tendrá el diseño sencillo y adaptable de una plantilla a partir de los productos que se han visto en el estudio de mercado.

## 4. NORMAS Y REFERENCIAS

En el siguiente apartado se muestra la normativa que se ha utilizado para la realización del proyecto.

---

<sup>6</sup> SD\_Yoo, HS\_Kim, S.\_Han. (2017). *Biomechanical parameters in plantar fascitis measured by Gait análisis system with pressure sensor.*

<sup>7</sup> Martínez\_F. (2016). *Desarrollo de plantillas instrumentadas para la monitorización de parámetros biométricos.*

## Normativa para documentación

- UNE 157001. Criterios generales para elaboración de proyectos.
- UNE 1039: 1994. Dibujos técnicos. Acotación.
- UNE EN ISO 9001: 2008. Sistemas de Gestión de la Calidad.
- UNE 1026:1950. Criterios generales para la elaboración de planos técnicos.
- UNE 1032:1982. Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- UNE 1135:1989. Dibujos técnicos. Lista de elementos.
- UNE 1035:1983. Dibujos técnicos. Cuadros de rotulación.
- UNE 1120:1996. Dibujos técnicos. Tolerancia de cotas lineales y angulares.
- UNE 1027:1995. Dibujos técnicos. Plegado de planos.

Se utiliza la normativa relacionada con el calzado, por la similitud que hay entre los materiales, y los estudios que se realizan para soportar diferentes condiciones para luego fabricar las plantillas.

## Normativa referente a ortesis

- BS 5943:1980. Dimensionado de calzado ortopédico.
- UNE-EN 12182:2012. Productos de apoyo para personas con discapacidad.
- UNE-EN 12568:2011. Protectores de pies y piernas.
- UNE 111909-1:1990. Prótesis y órtesis. Vocabulario. Parte 1.
- UNE 111909-2:1990. Prótesis y órtesis. Vocabulario. Parte 2.
- UNE 111909-3:1990. Prótesis y órtesis. Vocabulario. Parte 3.
- UNE-EN ISO 22523:2007. Prótesis de miembros y órtesis externas.

Por otra parte, se tiene la siguiente normativa donde se ve de forma más específica las condiciones mínimas que deben tener tanto las plantillas como el calzado. También se ven las medidas estándar empleadas en las suelas de los zapatos, que son aquellas que determinarán la medida de las plantillas.

## Normas para ensayos utilizados en calzado y plantillas

- UNE-EN ISO 17707:2005. Calzado. Métodos de ensayo para suelas.
- UNE-EN 12803/AC:2002. Calzado. Métodos de ensayo para suelas.
- UNE-EN 12772:2000. Calzado. Métodos de ensayo para suelas. Estabilidad dimensional.
- UNE-EN 16837:2018. Superficies para áreas deportivas.
- UNE-EN 12961:2001. Adhesivos para piel y materiales para calzado.
- UNE 59531:2014. Calzado. Medidas de superficies en suelas.

### **4.1 CONDICIONES DE SEGURIDAD**

La implantación del nuevo diseño al sistema de producción debe tener en cuenta las condiciones de seguridad, así como las condiciones de sanidad, e higiene relativas a la prevención de riesgos laborales en los procesos de fabricación, que quedan reguladas por la norma básica española.



## 4.2 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para asegurar la calidad del proyecto y su adecuado desarrollo se han llevado a cabo las siguientes medidas:

- Utilización del programa Google drive, en el que se subirá el archivo realizado en forma comprimida y se irá actualizando acorde a cada sesión de trabajo.
- Consulta de libros de texto para extraer la información vital para desarrollar el proyecto, así como, contenidos obtenidos a través de internet para ampliar la información que se tiene o para el desarrollo de apartados específicos.
- Revisión periódica de la documentación.
- Envío de la documentación al tutor, y modificación de todo lo recomendado por él.
- Seguimiento de la planificación con los cambios que sean necesarios para el desarrollo del proyecto de la forma más idónea.
- Seguimiento de la norma UNE 157001: criterios generales para la realización formal de los documentos que forman el proyecto, con el fin de desarrollar el mismo de forma correcta.
- Consulta a otros profesionales del sector sobre dudas específicas del diseño.
- Revisión anterior a la impresión del documento para minimizar erratas.

## 4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO

- SolidWorks
- Adobe Photoshop
- Adobe illustrator
- Solidthinking Evolve

## 5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Normativas:

- AENOR: Asociación Española de Normalización
- UNE: Una Norma Española
- ISO: Normativa internacional
- EN: Norma Europea
- ASTM: Organización de Normas Internacionales
- BS: British Standards

Unidades monetarias y de tiempos:

- PVP: Precio de Venta al Público.
- VAN: Valor Actual Neto.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- Payback: Periodo de Recuperación de la Inversión.

## 6. DESARROLLO DEL DISEÑO Y METODOLOGÍA

### 6.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En el siguiente punto se establecen ciertos objetivos que debe cumplir nuestro producto. Estos objetivos, vienen determinados a la luz de revisar diversas fuentes y diferentes necesidades.

- Necesidades del cliente.
- Necesidades legales.
- Necesidades de uso.
- Necesidades estéticas.
- Necesidades técnicas y de fabricación.
- Necesidades económicas.

Con el fin de dar cumplimiento a dichas necesidades, se tendrá un listado con objetivos que se deben cumplir y otros en los que puede ser prescindible su ejecución, aunque siempre pueden ser positivos para el diseño.

#### 6.1.1 NECESIDADES DEL CLIENTE.

El proyecto nace a partir de la necesidad que existe en la determinación y solución de las patologías presentes en la forma de andar y caminar.

En este sentido, el producto que se ofrece a las clínicas de podología es un dispositivo multifuncional, adaptable, fácil de utilizar y duradero, que permita la medición de parámetros que influyen en la pisada y ofrezca una solución a los pacientes.

#### 6.1.2 NECESIDADES LEGALES

El diseño debe cumplir las normas indicadas en secciones anteriores para evitar cualquier problema de normativa una vez lanzado al mercado, así como, asegurar las medidas de seguridad y de uso.

#### 6.1.3 NECESIDADES DE USO

Es necesario tener claro la utilidad del dispositivo desde el punto de vista de los pacientes. El abanico de usuarios que pueden utilizar el producto es muy amplio. Por esta razón, es importante analizar al mínimo detalle las configuraciones que vaya a tener el dispositivo, y utilizar herramientas para calcular el porcentaje de personas que se beneficiarían del diseño del producto propuesto. Con ello se busca que el producto cumpla las necesidades del máximo número de usuarios.

Debido a estas razones, se ha realizado un análisis del uso referente a los sensores de presión instalados en el dispositivo, ya que influirá en el diseño y calidad de los materiales empleados en la fabricación, los cuales deberán de ser óptimos para el sector al que va destinado.

#### **6.1.4 NECESIDADES ESTÉTICAS**

Cada producto tiene unas características que lo definen y le dan unos valores únicos que son importantes. La funcionalidad del producto es la que determinará la estética para dotarlo de carácter, y así enmarcarlo en las tendencias actuales de diseño.

Como el producto, está encaminado al ámbito sanitario, hay que intentar crear un producto atemporal, que perdure en el tiempo, y que le permita realizar modificaciones según las necesidades de los pacientes y las innovaciones que se produzcan en el futuro.

#### **6.1.5 NECESIDADES TÉCNICAS Y DE FABRICACIÓN**

En este apartado se ven los factores que hay que tener en cuenta para minimizar los procesos de fabricación. Por otra parte, esto conlleva una reducción de los recursos que más consuman, y por supuesto a aprovechar al máximo el material para minimizar los gastos.

Para conseguir estos requisitos será necesario que:

- El dispositivo debe poder ser fabricado con las técnicas comunes de fabricación
- El número de procesos necesarios para la fabricación de cada una de las piezas que lo integren debe ser el mínimo posible.

Como punto a tener en cuenta, se valorará que las diferentes partes del dispositivo se puedan fabricar en una misma fábrica o sean de carácter estándar.

#### **6.1.6 NECESIDADES ECONÓMICAS**

La parte económica es un factor que influyen en gran medida, debido a que puede ser determinante tanto para su fabricación como para su venta. Es por esta razón que es importante tener en cuenta la fase inicial, en la cual influyen a los procesos de fabricación, y la parte comercial.

- El precio final debe ser competitivo.
- Se debe minimizar al máximo los costes, siempre que esto no perjudique la calidad del diseño, dentro de un estándar marcado.
- La fabricación de dicho producto debe ser rentable.

## 6.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En el siguiente punto, se establece la conceptualización de la idea, de tal forma que se llegue a un resultado final concreto y adecuado. Para ello es necesario conocer el nivel de generalidad en el que se va a introducir el producto.

Aunque se va a aportar el diseño de un producto fabricado por medios convencionales, el nivel de generalidad será medio, debido a que se va a realizar el diseño de una plantilla con sensores y con elevaciones correctoras para corregir la postura durante la pisada.

Por otra parte, es necesario conocer una serie de requisitos que se deben tener en cuenta antes de elaborar el producto final. Estas fases son:

### I. Estudio de las expectativas del diseñador.

El propósito del diseñador es elaborar un producto que permita corregir la postura del usuario al caminar, ya que esta actividad define y condiciona nuestra vida diaria. Se trata de conseguir un producto único e individualizado que se adapte a la mayor cantidad de pacientes posible.

### II. Estudio de las condiciones que rodean al diseño.

El diseño del presente producto se realiza con motivo de la realización del trabajo final de grado, correspondiente al Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo de productos. A continuación, se enumeran las circunstancias a tener en cuenta en la realización del proyecto.

#### Climatológicas.

El dispositivo tiene que poder trabajar en condiciones de humedad, en seco, y estar sometido a diferentes temperaturas, dependiendo del tiempo estacionario. Como puede estar dentro del calzado que utilice el paciente y también tiene la posibilidad de usarlo sin estar dentro del zapato, el dispositivo trabaja en condiciones muy distintas en ambos casos.

#### Fisiológicas.

El dispositivo debe ser lo suficientemente resistente como para asegurar la mayor durabilidad del producto.

#### Medioambientales.

Los procesos de fabricación implicados en el diseño del producto deben ser lo más respetuoso con el medioambiente. Por tanto, la selección de materiales y el ciclo de vida del producto tienen que producir el menor impacto ambiental posible.

### **6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS**

Tras definir los objetivos, éstos se dividirán en dos tipos: los objetivos secundarios o deseos (d) y los objetivos esenciales (Oe) y se organizarán en los siguientes departamentos.

#### **Diseñador.**

1. Introducirse en el mercado de las órtesis.
2. Precio no superior a los productos existentes mediante fabricación en impresión 3D.
3. Conseguir beneficio económico.
4. Crear un producto de gran calidad.
5. Producto adaptable al usuario.
6. Suela que se adapte a la forma plantar del pie del paciente.
7. Plantilla adaptada a los hábitos de uso del usuario.
8. Producto único.
9. La estructura de la plantilla se fabrica mediante impresión en 3D.
10. Estéticamente sea atractiva.

#### **Fabricación.**

11. Fácil de fabricar
12. Rapidez de fabricación.
13. Montaje rápido y sencillo.
14. Coste de fabricación bajo.
15. Mínimo gasto de material.
16. Fabricación con bajo impacto medioambiental.

#### **Pacientes.**

17. Ergonómico.
18. Ligero.
19. Estética adecuada.
20. Multifuncional.
21. Resistente tanto en asfalto como en terreno liso.
22. Larga durabilidad.
23. Cómoda.
24. Resistente a impactos.
25. Protección del pie frente a choques contra el suelo debido a la actividad física.
26. Fijación a la anatomía plantar.
27. Materiales de alta calidad.
28. Fácil de limpiar.
29. Rapidez en la entrega desde que se realiza el pedido.
30. Protección del pie de las condiciones externas.

#### **Distribuidores.**

31. Rapidez de entrega en la clínica cuando se realiza el pedido.
32. Beneficio obtenido.
33. Procedimiento sencillo a la hora de hacer el pedido.
34. Sencillez a la hora de proporcionar los datos del paciente para crear un modelo personalizado.

Una vez vistos los apartados previos, se ha realizado una lista con los objetivos, los cuales se clasificarán en dos grupos, los imprescindibles y los deseables. El resto de los objetivos se encuentran en un nivel inferior y son referidos al diseño del producto. Los grupos que los definen son:

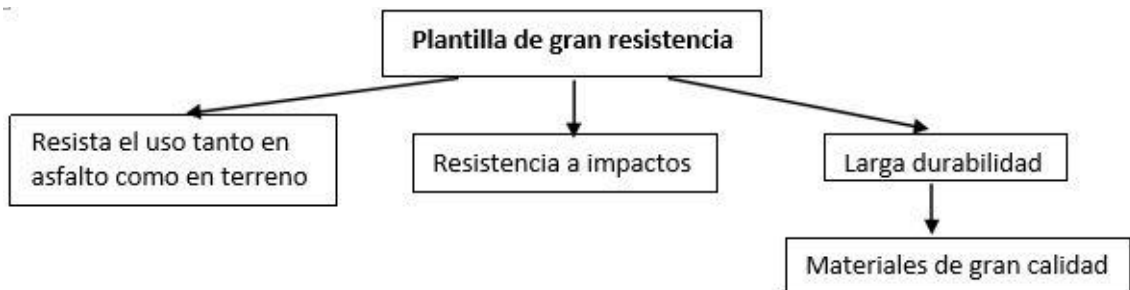
1. Resistencia
2. Seguridad
3. Funcionamiento
4. Mantenimiento
5. Fabricación
6. Estética

De este modo los objetivos con tendencia a repetirse serán suprimidos. En este momento se deben comprobar las relaciones para verificar que la jerarquía que se ha decidido es la correcta. Así, el objetivo 32 se ha eliminado al ser igual que el número 2.

### 1. Resistencia

- Resistencia al caminar por una superficie lisa. (Oe)
- Materiales empleados deben ser de calidad. (Oe)
- Larga durabilidad. (Oe)
- Alta resistencia a impactos. (Oe)

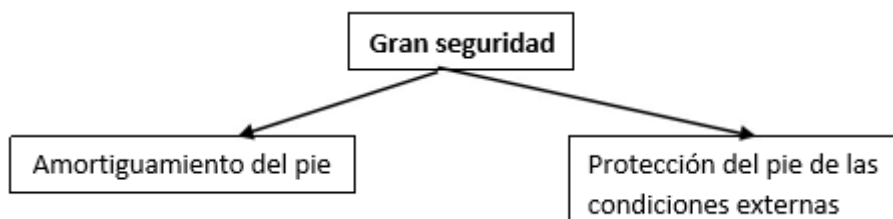
Ordenación jerárquica.



### 2. Seguridad

- Ofrecer protección y amortiguamiento mientras se camina. (Oe)
- Proteger al pie de las condiciones externas. (Oe)

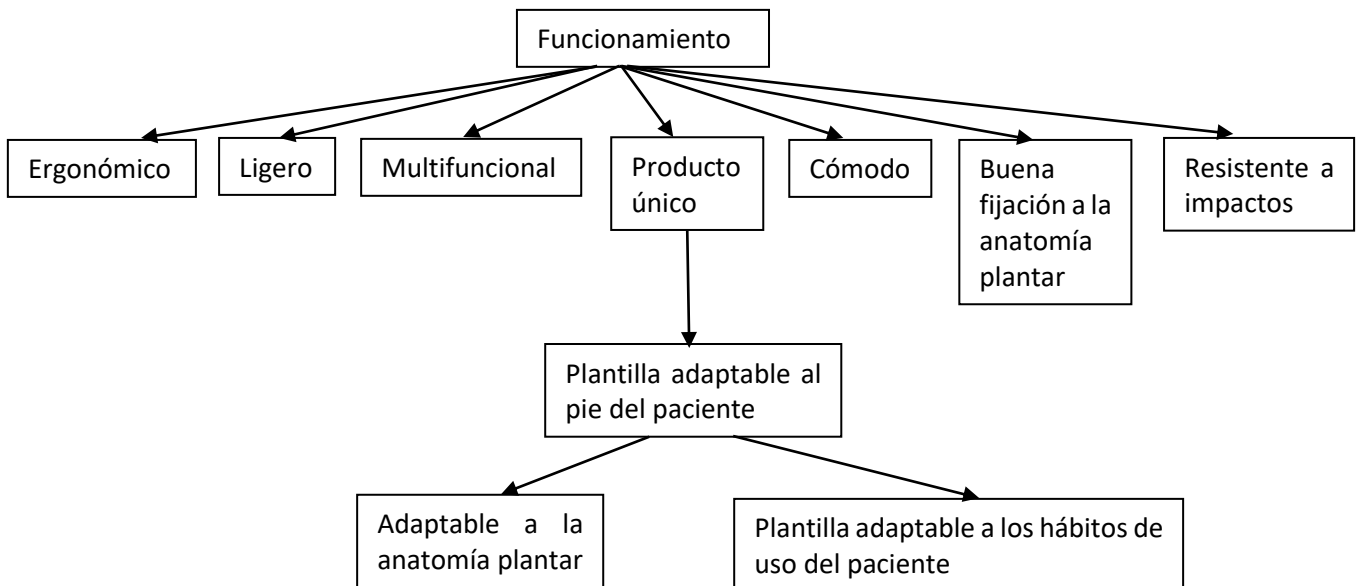
Ordenación jerárquica.



### 3. Funcionamiento

- El diseño debe ser ergonómico. (Oe)
- El producto es un dispositivo multifuncional. (Oe)
- Cómodo. (Oe)
- Ligero. (Oe)
- Producto único. (Oe)
- Adaptable al usuario. (Oe)
- Adaptable a la anatomía plantar del paciente. (Oe)
- Plantilla que se adapte a los hábitos de uso del paciente. (Oe)
- Multifuncional. (Oe)
- Resista impactos. (Oe)
- Buena fijación a la anatomía plantar. (Oe)

Ordenación jerárquica.



### 4. Mantenimiento

- Fácil de limpiar e higiénico durante el uso.

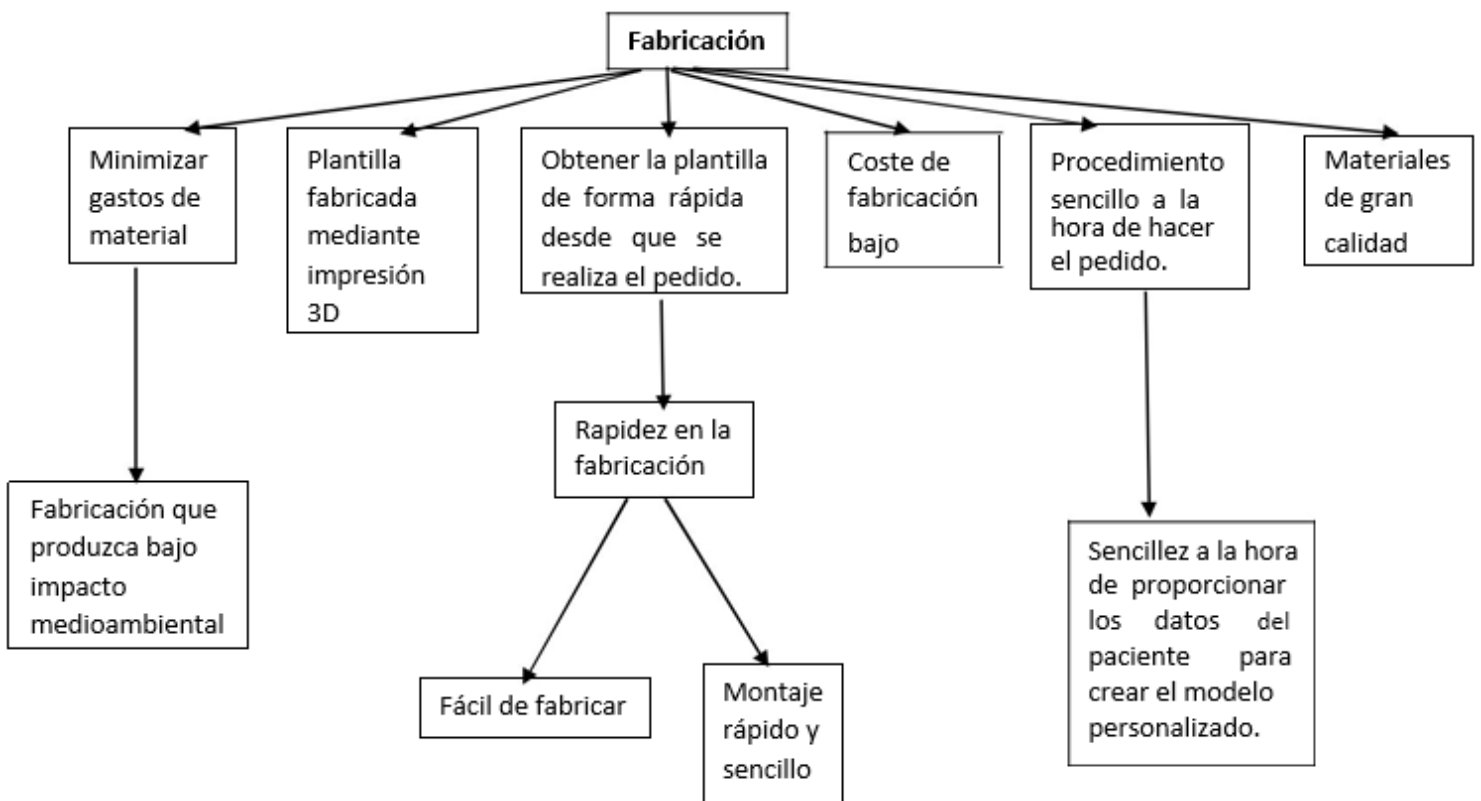
Ordenación jerárquica:

Fácil de limpiar

## 5. Fabricación

- Facilidad para la fabricación. (Oe)
- Rapidez de fabricación. (Oe)
- Montaje rápido y sencillo. (Oe)
- Costes de fabricación bajos, dentro del rango de precios de productos similares. (Oe)
- Minimizar los gastos de material. (Oe)
- Fabricación que produzca bajo impacto medioambiental. (D)
- Plantilla fabricada mediante impresión en 3D. (Oe)
- Procedimiento sencillo a la hora de hacer el pedido. (Oe)
- Agilizar la distribución del pedido. (Oe)
- Materiales de gran calidad. (Oe)
- Rapidez en la fabricación. (Oe)
- Sencillez a la hora de proporcionar los datos del paciente para crear un modelo personalizado. (Oe)

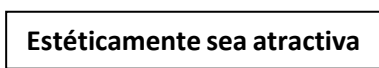
Ordenación jerárquica:



## 6. Estética

- Estética agradable y cuidada. (D)

Ordenación jerárquica:





Por otra parte, los sensores empleados en el diseño deben de cumplir una serie de objetivos, los cuales son:

1. Se tendrá una buena resolución de los sensores.
2. El tamaño será el más reducido posible.
3. El espesor del sensor no debe exceder de 0,5 mm.
4. Debe tener una buena frecuencia de muestreo, 45 y 100 Hz durante la marcha, y 200 Hz para carrera.
5. Alta fiabilidad en cada sesión de medida.
6. Tener un buen sistema de calibración, es decir, con una buena linealidad, muy baja histéresis y alta respuesta dinámica.

## **6.2.2 ESTABLECIMIENTOS DE RESTRICCIONES Y ESPECIFICACIONES.**

Fijar los límites entre los que se encontrará la solución del problema.

Definir por especificaciones, restricciones, y variables de cada objetivo y sus escalas de medición.

### **6.2.2.1 Conjunto de objetivos**

En los esquemas anteriores se han realizado una serie de objetivos definidos, necesarios para obtener las especificaciones.

### **6.2.2.2 Transformación de los objetivos en especificaciones de diseño**

Objetivo 1 pasa a ser 1'. Es una restricción, no es escalable.

Objetivo 2 pasa a ser 2'. El precio no debe ser superior a los productos similares existentes en el mercado.

Objetivo 3 pasa a ser 3'. Mayor beneficio total con las ventas del producto.

Objetivo 4 pasa a ser 4'. El producto tiene que ser de gran calidad.

Objetivo 5 pasa a ser 5'. La suela se adaptará al usuario.

Objetivo 6 pasa a ser 6'. El producto se adaptará a la forma del pie del paciente.

Objetivo 7 pasa a ser 7'. El producto se ajusta lo mejor posible a los hábitos de uso del paciente.

Objetivo 8 pasa a ser 8'. La plantilla es única e individual.

Objetivo 9 pasa a ser 9'. La plantilla se realiza mediante impresión en 3D.

Objetivo 10 pasa a ser 10'. Diseño de la plantilla debe ser atractivo.

Objetivo 11 pasa a ser 11'. Facilidad en el proceso de fabricación del producto.

Objetivo 12 pasa a ser 12'. La fabricación de sus componentes debe ser la más rápida posible.

Objetivo 13 pasa a ser 13'. El montaje tiene que ser lo más rápido y sencillo posible.

Objetivo 14 pasa a ser 14'. El coste de fabricación debe ser el más bajo posible.

Objetivo 15 pasa a ser 15'. Reducir al máximo posible el desperdicio de material durante la fabricación.

Objetivo 16 pasa a ser 16'. La fabricación del producto debe producir el menor impacto medioambiental posible.

Objetivo 17 pasa a ser 17'. Producto más ergonómico posible.

Objetivo 18 pasa a ser 18'. Máxima ligereza del producto.

Objetivo 19 pasa a ser 19'. Estética de acuerdo con el mayor número de ámbitos de uso posibles.

Objetivo 20 pasa a ser 20'. Que desarrolle más de una función en el análisis de la pisada.

Objetivo 21 pasa a ser 21'. La plantilla se puede usar tanto en terreno liso como en asfalto.

Objetivo 22 pasa a ser 22'. Mayor vida útil posible.

Objetivo 23 pasa a ser 23'. La parte superior de la plantilla en contacto con la zona plantar debe ser lo más cómoda posible.

Objetivo 24 pasa a ser 24'. Debe resistir lo mejor posible los impactos de la pisada.

Objetivo 25 pasa a ser 25'. Debe contar con materiales que resistan los choques, durante la actividad física, para proteger al pie contra impactos.

Objetivo 26 pasa a ser 26'. Fijación al pie se produzca de la mejor forma posible.

Objetivo 27 pasa a ser 27'. Materiales de alta calidad.

Objetivo 28 pasa a ser 28'. La limpieza del dispositivo debe ser lo más sencilla posible.

Objetivo 29 pasa a ser 29'. La obtención de la plantilla desde que se realiza el pedido tiene que ser lo más rápida posible.

Objetivo 30 pasa a ser 30'. Proteger al pie de las condiciones externas.

Objetivo 33 pasa a ser 33'. Facilidad a la hora de hacer el pedido.

Objetivo 34 pasa a ser 34'. Proceso de envío de los datos del paciente para la creación del dispositivo debe ser la más sencilla posible.

Los objetivos mostrados a continuación se corresponden a los sensores.

- Objetivo 35 pasa a ser 35'. Es una restricción, no es escalable.
- Objetivo 36 pasa a ser 36'. El tamaño será el más reducido posible. (Escala lineal: Metro)
- Objetivo 37 pasa a ser 37'. El espesor del sensor no debe exceder de 0,5 mm. (Escala lineal: metro)
- Objetivo 38 pasa a ser 38'. Debe tener una buena frecuencia de muestreo, 45 y 100 Hz durante la marcha, y 200 Hz para carrera. (Escala: frecuencia Hz)
- Objetivo 39 pasa a ser 39'. Es una restricción, no es escalable.
- Objetivo 40 pasa a ser 40'. Es una restricción, no es escalable.

Los objetivos que no aparecen en la lista son debido a su semejanza con los demás por lo que se ha decidido suprimirlos. En la siguiente tabla se tienen los requisitos que se deben cumplir para el desarrollo de la plantilla.

Sin embargo, los objetivos relacionados con el funcionamiento de los sensores no se pondrán en la tabla ya que no es necesario una vez que se ha explicado la variable y la escala.

### 6.2.3 TABLA DE VARIABLES QUE DEFINEN CADA OBJETIVO Y EL TIPO DE ESCALA.

OBJETIVO	VARIABLE	ESCALA
Introducirse en el mercado de las órtesis	Restricción	
Precio no superior o ligeramente superior a productos relacionados	Restricción	
Obtener beneficio económico	Beneficio obtenido	Proporcional (dinero)
Producto de gran calidad	Tiempo de permanencia en condiciones optimas	Proporcional (h)
Adaptable al usuario	Restricción	
Suela adaptable a la anatomía plantar	Restricción	
Plantilla adaptada a los hábitos de uso del Paciente	Kilómetros que recorrerá el usuario	Proporcional (km)
Producto único	Restricción	
Fabricación con impresión en 3D	Restricción	
Estéticamente atractiva	Restricción	
Fácil de fabricar	Número de procesos que intervienen en la fabricación	Proporcional (procesos)
Rapidez de fabricación	Tiempo de fabricación	Proporcional (h)
Montaje rápido y sencillo	Tiempo de montaje	Proporcional (h)
Coste de fabricación bajo	Coste de fabricación	Proporcional (coste)
Mínimo gasto de material	Material desperdiciado en la fabricación	Proporcional (kg)
Fabricación que produzca bajo impacto Medioambiental	Impacto en el medioambiente	Proporcional (Kg de CO <sub>2</sub> )
Ergonómico	Medidas antropométricas	Proporcional (mm)
Ligero	Masa de la plantilla	Proporcional (Kg)
Multifuncional	Funciones	Proporcional (funciones)
Resistente tanto en asfalto como en terreno liso	Restricción	
Larga durabilidad	Tiempo en perfectas condiciones	Proporcional (h)
Resistente a impactos	Tenacidad	Multidimensional
Cómoda	Restricción	
Materiales de alta calidad	Restricción	
Fijación a la anatomía plantar	Presión del pie contra la plantilla	Multidimensional (N/m <sup>2</sup> )
Fácil de limpiar	Tiempo de limpieza	Proporcional (min)
Obtener la plantilla de forma rápida desde que se realiza el pedido	Tiempo de recibido	Proporcional (h)
Proteger al pie de las condiciones externas	Conductividad térmica	Multidimensional (W/K m)
Facilidad a la hora de hacer el pedido	Tiempo en realizar el pedido	Proporcional (h)
Introducción de datos para adaptar la plantilla al paciente	Tiempo de recopilación de datos del paciente.	Proporcional (h)

Tabla 8. Variables que definen los objetivos

### 6.3 ENTREVISTAS

En este apartado se presenta un resumen de la información que se ha obtenido de las entrevistas a los profesionales del sector al que va dirigido el producto. El resultado completo se puede consultar en los anexos.

En todas las entrevistas realizadas, todos los especialistas han coincidido en la importancia de acudir al podólogo en cuanto el paciente detecte cualquier molestia, tanto al caminar como al realizar actividad física. La metodología a seguir cuando se analiza una patología es realizar una historia clínica. Una vez identificada la lesión o molestia, el proceso a seguir es el de una exploración física comprobando los ángulos del pie en el astrágalo.

Por otra parte, se dispone de los métodos empleados en la identificación de la marcha. Muchos especialistas recurren en primer lugar, a colocar al paciente sobre una pasarela, y hacerle caminar varias veces para ver la postura que adopta al caminar, apoyando un pie distinto cada vez sobre la plataforma de presiones con el fin de elaborar el mapa de presiones de cada pie.

También coinciden en que el tipo de calzado influye en la pisada provocando sobrecargas en el pie, ya que es un indicador de que una zona está más cargada que el resto. Al caminar con algún problema fisiológico también pueden formarse un tipo de fibroma en la zona de los metatarsianos. Sin embargo, la supinación o pronación se aborda desde el punto de vista de las lesiones que provocan un exceso de las dos. Este tipo de lesiones discurren desde la rodilla hasta la espalda, destacando el síndrome de la cintilla iliotibial.

Referente al tiempo de recuperación de las lesiones dependen de muchos factores: edad del paciente, peso, tipo de lesión y gravedad de ésta. Los especialistas han coincidido en que los avances en biotecnología han permitido que se logren muchos avances en este campo. Es por eso que en estos años se han diseñado y desarrollado plantillas instrumentadas que han permitido el uso de sensores para lograr la monitorización del paciente.

Por último, cada uno de los entrevistados ha ofrecido un enfoque diferente sobre el aspecto de los sensores utilizados y sobre los avances producidos en el proceso de almacenamiento y envío de los datos recogidos por los sensores.

## 7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En el siguiente punto, se muestran las ideas que surgen a través de la investigación mediante una serie de bocetos. Será en la selección de ideas cuando el cumplimiento de las especificaciones determine la propuesta más adecuada y con la que se continuará a la fase de diseño de detalle.

### 7.1 PRIMERAS IDEAS

A la hora de empezar la fase conceptual del diseño, se debe tener en cuenta la forma de la pisada y las zonas que más influyen en esta. De esta forma, en la imagen de la izquierda se muestra en forma de gráfica lo que se ha comentado anteriormente.

A continuación, se muestran una serie de ideas en las que se ve reflejado los objetivos que se fijaron al principio del proyecto.

- Figura 18.

Se muestran las distintas posiciones del pie que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar el producto. Para ello, se toman las vistas superiores e inferiores de la anatomía plantar. Una vez que se ha realizado un estudio a nivel conceptual, se procede a la fase de diseño de alternativas, intentando que se ajusten lo máximo posible a la planta del pie.

Además, en este apartado se presentan las diferentes alternativas de diseño que se han tenido en cuenta para las distintas partes elementales del diseño del dispositivo. Debido a la complejidad del proyecto no se mostrarán tres opciones completas, sino que la alternativa final estará formada por la suma de varias elecciones de las partes que conforman el conjunto del proyecto.

Tal y como se ve en la siguiente figura, cada parte seleccionada se ha tenido en cuenta para elaborar la base de la plantilla, las elevaciones laterales que ayudarán a corregir la supinación o pronación del paciente, el tamaño de la esponja para el tratamiento de la fascitis plantar, el mecanismo de unión de las partes de la plantilla, y por último la disposición de los sensores empleados en la monitorización de la pisada.

Para lograr un diseño que se ajuste lo máximo posible a la anatomía plantar, se lleva a cabo una serie de dibujos en los que se muestran las distintas posiciones a tener en cuenta en el diseño. En estas imágenes se observan las formas de caminar y las partes señaladas anteriormente cuando el sujeto camina. Como se puede ver, se empieza con el talón, el mediopié y finalmente con la zona que contiene a las cabezas de los metatarsianos.

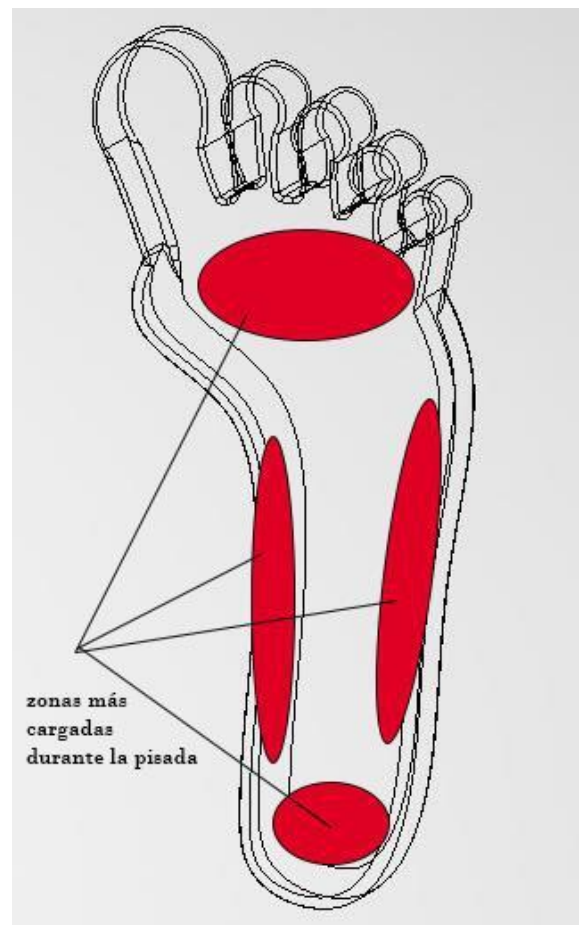


Figura 19. Zonas más cargadas durante la pisada









Graduación de los tacos

MEDIO

ALTO

BASO



Respecto a la forma de la plantilla, se presentan tres alternativas que determinarán el diseño final del producto. A partir de los bocetos que muestran el funcionamiento y la adaptación en la planta del pie del usuario, se puede ver que cada diseño abarca una superficie diferente de la huella plantar.

Esto determina el mayor grado de adaptabilidad de los pacientes. El objetivo es que el diseño sea inclusivo, es decir, que solucione los problemas de la gran mayoría de las personas.

Así, las tres formas propuestas toman mayor o menor extensión del espacio plantar para intentar que sea lo más inclusivo posible. Como el tamaño de la huella plantar de cada persona es diferente, se contará con aquella propuesta que intente solucionar el problema que describe el proyecto a un mayor número de pacientes.

Las tablas muestran las diferentes opciones para el diseño de las elevaciones correctoras para pronación y/o supinación, y la forma de la esponja de descarga para el tratamiento de la fascitis plantar. Toda la descripción de cada componente se detalla en las tablas. Por otro lado, se exponen las alternativas para el mecanismo de unión de las elevaciones laterales a la plantilla.

Por último, y una vez descritas todas las alternativas que formaran el conjunto del diseño final, se mostrará la colocación de los sensores en la plantilla.

## Diseño de la base de la plantilla

### Alternativa 1

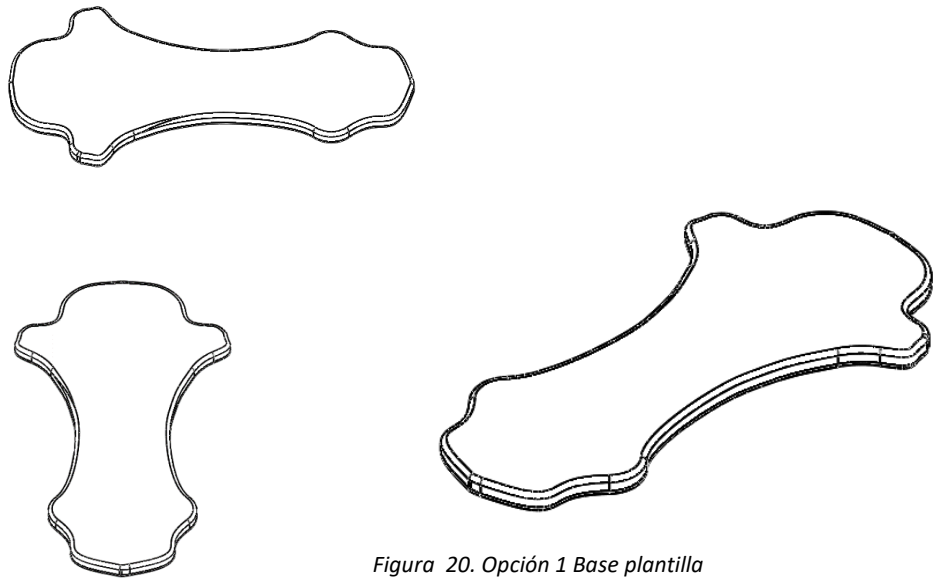


Figura 20. Opción 1 Base plantilla

Vistas en perspectiva.



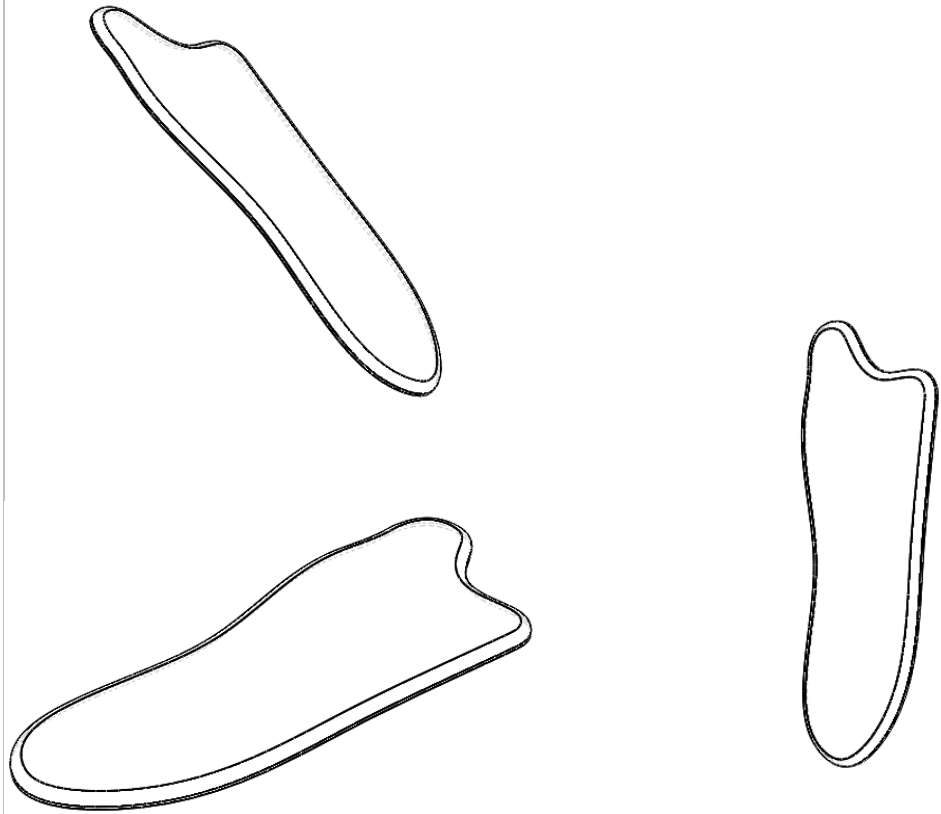
Figura 21. Render opción 1

### Descripción:

La primera propuesta es una suela que se utiliza tanto dentro de la zapatilla como en el caso donde el usuario esté descalzo. Una gran parte del pie está en constante contacto con el suelo, por tanto, con la forma de este diseño se abarca desde la zona del tarso hasta el metatarso superior y se consigue así un mayor detalle de los parámetros que analizan la pisada, que se llevan a cabo mediante los sensores que van instalados en esta suela. Cuenta con los bordes redondeados para adaptarse lo mejor posible a la anatomía plantar del usuario sin causar molestias durante su uso.

La superficie que va adherida a la planta del pie tiene una serie de estrías de flexión en la parte media, para reducir el esfuerzo para doblarse. De esta forma se favorece el movimiento del pie.

**Alternativa 2**



*Figura 22. Opción 2 Base plantilla*

**Vistas en perspectiva.**

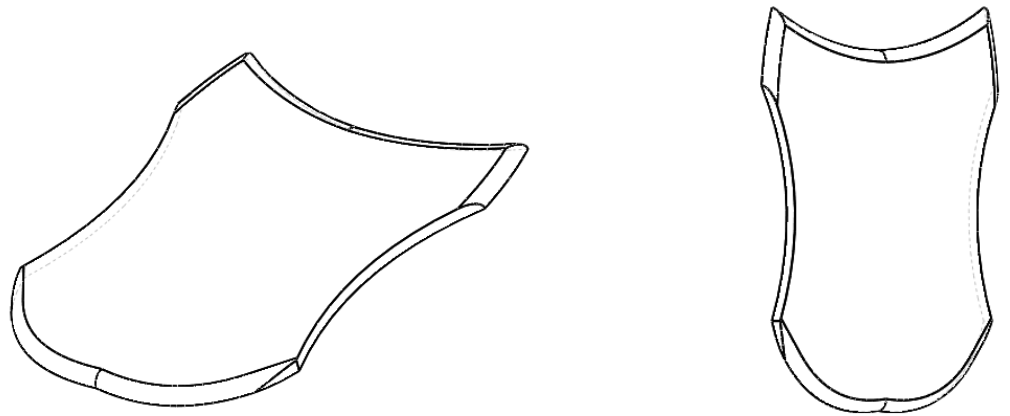


*Figura 23. Render opción 2*

**Descripción:**

Esta propuesta es más anatómica que la anterior ya que tiene la forma de una plantilla común, pero incluye la forma del dedo gordo. Se trata de un punto que marca la forma de pisar y caminar. Por otro lado, se tiene el apoyo central para controlar y mejorar la fascitis plantar. Este apoyo se detallará más adelante, debido a que en esta parte se analiza exclusivamente con la suela.

**Alternativa 3**



*Figura 24. Opción 3 Base plantilla*

Vistas en perspectiva.



*Figura 25. Render opción 3*

**Aspecto real**

**Descripción:**

Esta suela abarca desde la zona media del metatarso hasta el talón. Al igual que las alternativas anteriores cuenta en la parte que se ajusta al pie con una serie de estrías para mejorar el movimiento del pie. La diferencia con el resto es el territorio de la zona plantar que abarca.

*Tabla 9. Diseño de la base de la plantilla*

## Diseño de elevaciones laterales para corregir la supinación o pronación del paciente

Opción 1:  
Elevaciones  
laterales  
correctoras

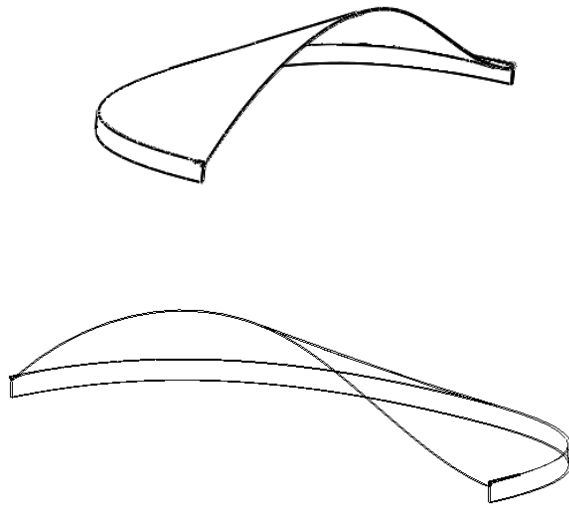


Figura 26. Elevaciones correctoras opción 1

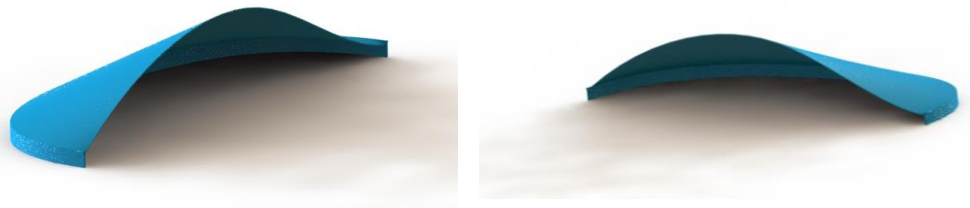


Figura 27. Render elevación correctora

**Aspecto real.**

### Descripción:

Esta primera opción tiene una forma curva que permite adaptarse mejor a la zona lateral del pie. De esta manera se consigue corregir la pronación o supinación del paciente de una forma más ergonómica. La altura a la que se tendrá la elevación correctora dependerá de las condiciones que exija cada paciente. A menor altura el pie estará prácticamente en posición horizontal, y la pisada será más neutral, ya que el pie se mueve en las mismas condiciones que si el paciente camina descalzo.

Por otro lado, no tendrá la misma altura un caso de supinación que uno de hiperpronación. Por todo esto es necesaria una buena adaptación técnica y ergonómica.

Opción 2:  
Elevaciones  
laterales  
correctoras

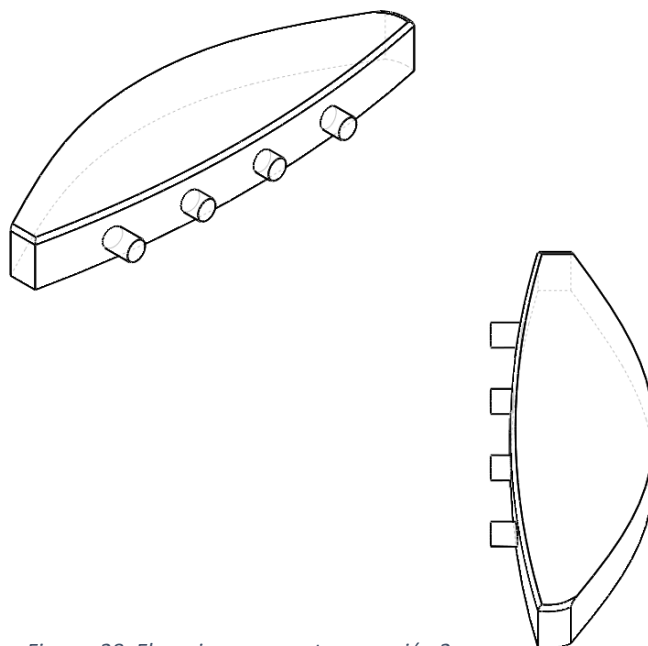


Figura 28. Elevaciones correctoras opción 2

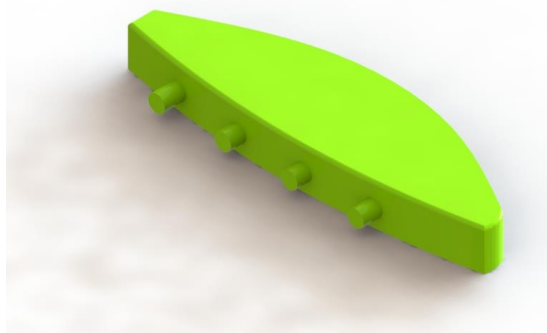


Figura 29. Elevación correctora

**Aspecto real.**

**Descripción:**

En este caso, se tiene una elevación con una forma de media luna. Al contrario que en la alternativa presentada anteriormente, este diseño presenta una forma más rígida que no consigue adaptarse totalmente al tendón del peroneo lateral corto, que es el musculo que se encarga de la extensión, pronación, abducción y aducción del tobillo.

De esta manera, si se necesitara corregir la pronación o supinación del paciente con este tipo de elevación no se consigue abarcar la totalidad del tendón que controla estos movimientos.

Tabla 10. Diseño elevaciones laterales correctoras



## Diseño de elevaciones en el mediopié para tratar la fascitis plantar

Opción 1:  
Esponja fascitis

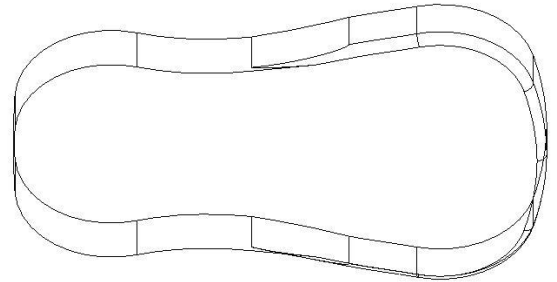
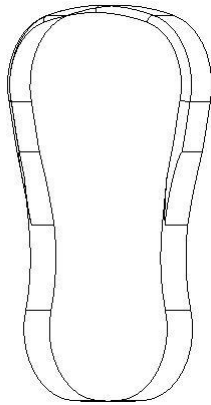


Figura 30. Opción 1 esponja fascitis

Vistas en perspectiva.



Figura 31. Render Opción 1

Aspecto real.

### Descripción:

La forma de este diseño está realizada para redistribuir de forma efectiva las presiones que se producen al caminar, ejercidas por el peso corporal a lo largo del pie. De este modo, con la utilización de esta esponja al paciente se le proporciona una mayor absorción contra impactos cuando se realiza actividad física, y mayor estabilidad, mejorando el estado general de los pies y rodillas.

El objeto está diseñado para poder colocarse y desmontarse fácilmente cuando se desgaste sobre la plantilla, y soportar el arco plantar del pie. Por otra parte, la esponja ayuda a que se fortalezca el arco natural a la vez que proporciona un apoyo para éste, previniendo el sobre esfuerzo y la formación de desgarros en el ligamento de la fascia. Así, se consigue aliviar la fascitis plantar y los espolones calcáneos.

La esponja tiene una vital importancia a la hora de prevenir y mejorar la fascitis plantar del paciente ya que está relacionada en el desarrollo de la hiperpronación.

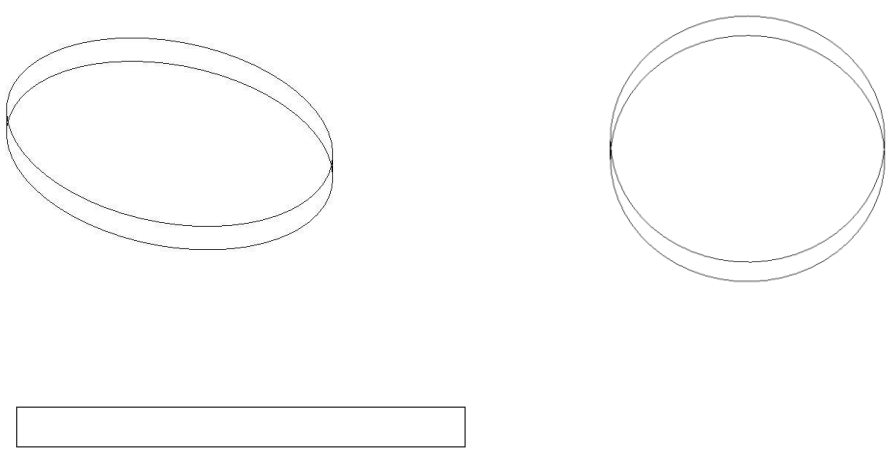

<p>Opción 2: Esponja fascitis</p>	 <p><i>Figura 32. Opción 2 Esponja fascitis</i></p> <p><b>Vistas en perspectiva.</b></p>
	 <p><i>Figura 33. Render opción 2 Esponja fascitis</i></p> <p><b>Aspecto real.</b></p>
	<p><b>Descripción:</b></p> <p>La principal función de la esponja es que el peso recaiga y se distribuya por todo el pie, para no forzar tanto la fascia. En este caso, la forma que se presenta no consigue en su totalidad distribuir de forma uniforme las presiones que se producen al caminar.</p> <p>Al realizar actividad física, la forma del presente diseño hará que el peso de la persona se reparta principalmente en las zonas superior e inferior de la esponja. Esto es debido a la marcha del paciente. Por lo tanto, se tendrá una menor adaptabilidad y calidad ergonómica que en el diseño anterior. Esta opción también supondrá un mayor desgaste de la parte más elevada y la más baja debido a la forma tan rígida que posee.</p>

Tabla 11. Diseño esponja fascitis plantar

### 7.1.1 Tipos de unión.

En el siguiente apartado se explican los métodos para unir polímeros de la forma más apropiada para la construcción final del producto. Los métodos de montajes más importantes son:

- Mecánicos con tornillos, pernos y remaches. Debido a la configuración del diseño este método queda descartado.
- Térmicos con soldadura. La soldadura se debe usar en materiales homogéneos. El desmontaje es difícil, ya que la alta temperatura causa tensiones que pueden provocar el fallo.
- Químicos con adhesivos. La unión adhesiva influye en el coste de fabricación y la calidad del producto, otorgando así un ahorro productivo y una ventaja competitiva frente a los métodos tradicionales de fabricación.
- Ajustes por presión. Mediante este método se permite la unión de todo tipo de materiales. Se cuenta con una pestaña que soporta una deformación elástica para poder ser desmontado. Junto con la opción anterior es un tipo de unión económica y rápida.

Por tanto, una vez vistos los métodos más comunes en uniones, se han descartado las uniones atornilladas y las que van por soldadura. Se continua el estudio con el tipo de unión factible para llevar a cabo el proyecto.

#### *Adhesivos.*

- Adhesivos solubles en agua. Basados en polímeros naturales como emulsiones de Poliacetato de vinilo (PVAc). Se utilizan principalmente para llevar a cabo uniones en carton y papel.
- Adhesivos en disolventes orgánicos. Empleados en cintas adhesivas y etiquetas.

Según su estabilidad al calor pueden ser:

#### ***Adhesivos termoplásticos.***

Resisten a la humedad y a un ataque químico, son flexibles y compatibles con resinas epoxi para actuar como endurecedores. El resultado de este adhesivo da lugar a uniones fuertes, resistentes y flexibles.

#### ***Adhesivos termoendurecibles.***

Proporcionan una unión rígida y dura. Se utilizan para la industria automovilística mayoritariamente. No son soldables.

Finalmente, y revisadas todas las alternativas presentes para llevar a cabo la unión de las piezas se ha llegado a la conclusión de que la opción que mejor se adapta al diseño a través de uniones por presión. Luego, en la siguiente página se muestran dos alternativas mediante ajuste por presión.

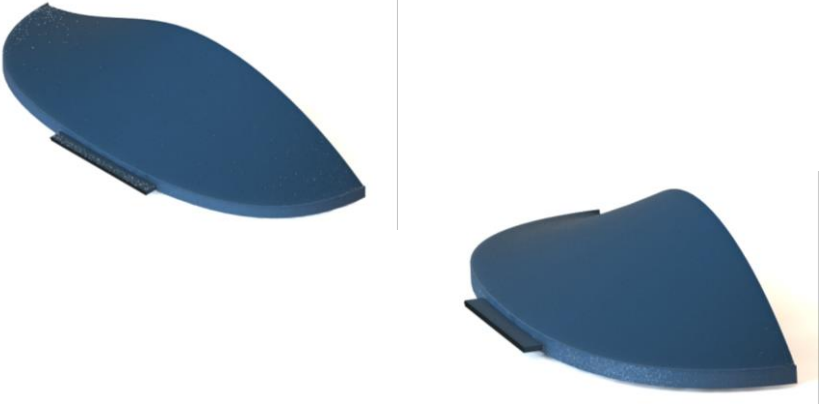

<p><b>Mecanismo por ajuste de presión</b></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Figura 34. Ajuste por presión</i></p>	
<p><b>Imágenes</b></p>  <p><i>Figura 35. Unión presión</i></p>	<p><b>Descripción:</b></p> <p>La plantilla cuenta con la geometría que se presenta en la parte superior de la tabla que al encajar con la que tiene la elevación produce la unión entre ambas partes.</p>	

Tabla 12. Diseño mecanismo unión de piezas por ajuste presión

<p><b>Mecanismo de clic</b></p>	<p><b>Imágenes:</b></p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 36. Mecanismo clic</i></p>	
	<p><b>Descripción:</b></p> <p>La elevación cuenta con una serie de pinchos que se unen a la parte de la plantilla de acuerdo con las exigencias que requiera el paciente. Por otra parte, la plantilla debe tener un conjunto de cavidades del mismo radio para permitir el encaje de las elevaciones.</p>	

Tabla 13. Diseño mecanismo unión piezas por clic

Las tablas superiores muestran la estructura de cada una de las partes que formarán el conjunto final. Posteriormente se hablará de cómo influye esta forma a la inclusión de los sensores y el uso que tendrán.

### 7.1.2 Elementos complementarios del diseño

En este apartado, se muestra la información previamente desarrollada para establecer una alternativa para el diseño de la plantilla. Es por ello que las partes a tener en cuenta son:

- Batería.
- Sistema electrónico personalizado.
- Diseño sencillo y ligero.
- Resistente a posibles infiltraciones de agua.

#### I. Fuente de alimentación

El uso de la plantilla va a estar en permanente contacto con el paciente, por tanto, es necesario que la batería proporcione una gran durabilidad. Actualmente las opciones que se tienen respecto a la fuente de alimentación son las siguientes:

- Baterías de litio tipo pastilla. Proveen de 3 voltios por unidad.
- Batera recargable removible que funciona como un dispositivo de respaldo.

También existe la posibilidad de recargar de forma inalámbrica. Actualmente para cargar un dispositivo de esta forma hay que hacerlo por inducción o por carga electromagnética.

El sistema de carga consiste en generar un campo electromagnético y emisor de energía, para conseguir captar la energía en el otro extremo. El paso de energía entre el cargador y el dispositivo solo se produce cuando están cerca. El resto del tiempo el campo electromagnético permanece en espera.

Todo esto se logra gracias a las bobinas de inducción electromagnética. El soporte para carga, conectado a la corriente eléctrica, utiliza esta bobina para convertir la electricidad que recibe del enchufe en corriente alterna de alta frecuencia, y a su vez genera con ella un campo electromagnético para transmitir la electricidad.

#### Carga inalámbrica estándar Qi.

Efectúa la carga a través de frecuencias muy altas y necesita que ambas bobinas se encuentren cerca.

#### Carga inalámbrica PMA.

Permite campos electromagnéticos mayores, por tanto, el dispositivo no necesita estar en contacto a la bobina de inducción. Con esta tecnología se pueden conseguir superficies de carga más amplias para cargar un dispositivo o incluso poner varios de forma simultánea al mismo soporte.

### Carga inalámbrica Cota.

Puede cargar teléfonos hasta a 10 metros de distancia gracias al uso de conexiones inalámbricas como el WiFi o el Bluetooth. Sin embargo, el mayor inconveniente es que es demasiado lenta, tan sólo de 1 W.

### Carga inalámbrica WattUp.

Sistema que permite una mayor distancia entre el cargador y los dispositivos. Puede cargar aparatos situados a cinco metros de la estación de carga.

Una vez vistas las posibilidades de las distintas formas de llevar a cabo la fuente de alimentación, y tras ver los futuros avances, se ha decidido no continuar con el proceso de mejorar estos sistemas ya que no se disponen de los medios para poner en funcionamiento esta idea.

## **II. Sistema electrónico personalizado**

La determinación de los parámetros que va a analizar el sistema electrónico se ha realizado mediante un estudio biomecánico de la pisada. Para cada paciente se realiza este mismo estudio una vez que se han realizado las pruebas físicas complementarias para descartar algún tipo de lesión.

Este inconveniente provoca que los pacientes sean tratados de forma general, cuando cada persona requiere de un tratamiento personalizado a sus necesidades.

Es por esta razón, que se va a realizar una serie de pruebas para determinar las demandas que el perfil usuario de este proyecto necesita.

Finalmente, esta explicación se llevará a cabo puesto que se cuentan con los medios y conocimientos necesarios para desarrollar esta parte.

## **III. Diseño sencillo y ligero**

Previamente, se han visto diseños de plantillas y de dispositivos que cuentan con sensores para la medición de los parámetros que influyen en la carrera. Esto hace que el conjunto final sea bastante grande y pesado. Por este motivo, se ha propuesto la idea de realizar un diseño sencillo que no le sea incomodo al paciente durante su uso.

## **IV. Resistente a posibles infiltraciones de agua**

En este apartado, se va a analizar la hipótesis de condiciones climáticas extremas. Por ejemplo, cuando el uso del producto se dé en condiciones con bastante humedad. Es por esto, que podrían emplearse materiales que resistan al agua, como los hidrofóbicos, o en la posibilidad de forrar la parte de la plantilla que esté en contacto con la superficie de la zapatilla. Como no es posible contar con los recursos para investigar sobre este tema, se ha decidido descartar esta medida.

### 7.1.3 Estudio de diseño sensores

En este apartado se muestran las diferentes alternativas entre modelos de sensores de presión. Por otra parte, se comentarán la utilidad de giroscopios y acelerómetros, también se justificará la elección del sistema wifi. Por último, se verá un esquema del mecanismo de comunicación.

#### Sensores de presión.

Antes de la elaboración de la plantilla final, se van a analizar los sensores empleados en plantillas instrumentadas. Estos pueden ser: sensores capacitivos, resistivos, piezoeléctricos, piezorresistivos y sistemas microelectromecánicos (MEMS).<sup>8</sup> Las principales ventajas que ofrecen los sensores de presión son:

- Comunicación fácil con elementos eléctricos a través de chips semiconductores.
- Tamaño pequeño.
- Bajo consumo de energía.
- Coste en precio relativamente bajo.
- Mayor confiabilidad.
- Buena precisión.

En el apéndice del documento se muestran las características de los sensores mencionados anteriormente.<sup>9</sup>

Actualmente en el tema de los sensores de presión, existen varios modelos. Por una parte, se tiene la posibilidad de colocar sensores de presión individualizados de forma personalizada en diferentes regiones del pie. Por otro lado, existen diferentes productos que contienen una lámina con sensores localizados en las zonas donde se produce mayor presión al caminar. La diferencia entre ambos se produce en el ámbito económico debido a que el precio de un solo sensor suele oscilar entre 6 y 10 euros, sin embargo, en el caso de una plantilla con todos los sensores incluidos el producto es más caro. Sin embargo, la plantilla al venir con todos los sensores incluidos resulta más factible su uso.

Otro aspecto a analizar es el espacio que ocupan cada una de las alternativas propuestas. Si se habla de sensores individualizados, la solución puede ser más flexible y ocupar un mayor espacio que la plantilla con los sensores incluidos. En la tabla 22, se muestran diversos ejemplos de ambos tipos de sensores.

La solución de incorporar al diseño sensores individualizados es más económica, pero resta comodidad y fiabilidad en los resultados que en el caso de una plantilla estandarizada donde los sensores están colocados en los puntos clave para el análisis de las presiones.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Marco Colás\_S. (1993). *Optimización de sensores de presión piezorresistivos de silicio para instrumentación biomédica y aplicaciones a alta temperatura.*

<sup>9</sup> *Apartado 4.5 Anexos "Materiales y componentes empleados"*

<sup>10</sup> Martínez\_A., Sánchez\_R., Cuevas\_J.C. (2006) *Patrón de presiones plantares en el pie normal: Análisis mediante sistema Biofoot de plantillas instrumentadas.*

En este sentido se ha tomado la decisión de incorporar una plantilla estandarizada a nuestro producto pues permite recoger los puntos más críticos del pie (antepié, mediopié y retropié) cuando camina el paciente y se producen los picos de presión máxima.<sup>11</sup>

En cuanto a la elección del tipo de plantilla estandarizada que vendrá incorporada al diseño del producto existen diferentes empresas que facilitan este tipo de plantillas:

Imagen	Precio	Funcionamiento
 <p>Figura 37. Plantilla sensores</p>	Aprox. 185€	Se trata de una plantilla que cuenta con 4 pares de 8 sensores colocados en los puntos clave del pie. Presión máxima: 8 kg/cm <sup>2</sup> . Dispone de conexión Bluetooth para PC o teléfono inteligente Android.
 <p>Figura 38. Sensor piezoeléctrico</p>	6.10 €	Sensor de fuerza resistivo. Puede detectar presión desde tan solo 2 gramos y aunque puede soportar hasta 50 Kg de presión. Área sensible: 0.3" (0.76 cm).
 <p>Figura 39. Plantilla con sensores opción 2</p>	Aprox. 235€	Consta de dos unidades ultraligeras. Cada una controla nueve sensores ultrafinos calibrados. Los sensores pueden ser posicionados libremente en el pie para medir el contacto de presión.

Tabla 14. Comparación de sensores de presión

En la figura 37, se muestra la plantilla, pero el funcionamiento de los sensores de presión es el siguiente. La resistencia de detección de fuerza de la plantilla utiliza resistencia eléctrica, que varía en función de la presión aplicada a la celda del sensor. El sensor puede medir la presión plantar puntual hasta 6 bar. La plantilla proporciona un monitoreo dinámico de la presión plantar en el pie. Se conecta a un módulo electrónico portátil. La plantilla proporciona datos de un número personalizado de células de presión. Posteriormente, los datos se pueden enviar para su análisis a un terminal remoto.

La plantilla que se muestra en la figura 30 tiene las siguientes características.

- Superficie activa de 12 mm de diámetro.
- Sensores resistivos HD calibrados.
- El grosor del sensor es de 0.5 mm.
- Presión mínima/máxima por sensor de 0.1 a 8 KgF.
- La fuente de alimentación es mediante conexión USB.
- El tipo de interfaz puede ser por ordenador y por Bluetooth.

<sup>11</sup> Martínez\_A., Sánchez\_R., Pérez\_P., Llana\_S., Leal\_A., Pedrera\_J.D. (2010) *Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus*.



Como se ha decidido que el diseño sea un conjunto de sensores que formen una plantilla las alternativas que quedan son las que aparecen en las figuras 29 y 31. Dicho esto, y una vez visto las características de ambas, se ha llegado a la conclusión de que la plantilla que mejor encaja en el diseño es la que solo tiene los sensores dispuestos en forma de una plantilla.

Por esta razón, se muestra una tabla comparativa entre los distintos modelos existentes, tales como los que aparecen a continuación:

Imagen	Ventajas	Inconvenientes
 <p data-bbox="240 734 405 763">Figura 40. iShoe</p> <p data-bbox="240 831 485 898"><b>FlexiForce Standard Sensors</b></p> <p data-bbox="240 972 384 1001">Precio: 105 €</p>	<p data-bbox="512 533 1027 667">Pueden medir la fuerza entre casi dos superficies y son lo suficientemente duraderos como para resistir la mayoría de los entornos.</p> <p data-bbox="512 712 1027 779">Entre las ventajas que tiene se destacan las siguientes:</p> <ul data-bbox="560 801 1027 981" style="list-style-type: none"> <li>• Linealidad y precisión superiores (<math>\pm 3\%</math>)</li> <li>• Mayor rango de fuerzas.</li> <li>• La salida del sensor no es una función del área de carga.</li> </ul>	<p data-bbox="1059 566 1487 633">Están diseñados para ser utilizados con su propia electrónica.</p> <p data-bbox="1059 678 1487 846">Se trata de un solo sensor, por tanto, no es adecuado para el objetivo de este proyecto ya que se trata de conseguir un análisis de la pisada lo más detallado posible.</p>
 <p data-bbox="264 1144 459 1196">Figura 41. Plantilla Moticon</p> <p data-bbox="240 1227 453 1294"><b>Moticon/Sensing Foot Dynamics</b></p> <p data-bbox="240 1305 459 1335">Precio: aprox. 135 €</p>	<ul data-bbox="560 1048 1027 1283" style="list-style-type: none"> <li>• No hay cables.</li> <li>• Tiene software de escritorio y aplicación móvil que ofrecen una gama completa para el análisis de datos.</li> <li>• Son inalámbricas.</li> </ul>	<p data-bbox="1059 1048 1487 1149">No permite la adaptación a un gran número de pacientes ya que viene predefinida de una forma.</p> <p data-bbox="1059 1171 1487 1238">Solo puede utilizarse dentro del calzado.</p>
 <p data-bbox="272 1518 448 1547">Figura 42. F-Scan</p> <p data-bbox="240 1579 416 1608"><b>F-Scan System</b></p> <p data-bbox="240 1686 453 1715">Precio: aprox 160 €</p>	<p data-bbox="512 1350 1027 1496">Los sensores son suficientemente duraderos como para durar varias pruebas. Captura parámetros temporales además de presión y fuerza.</p> <p data-bbox="512 1518 1027 1619">Muestra los gráficos de fuerza en función del tiempo y los perfiles de presión en tiempo real.</p> <p data-bbox="512 1641 1027 1742">Proporciona información sobre la posición y trayectorias para el centro de fuerza (CoF) durante las fases de postura de la marcha.</p>	<p data-bbox="1059 1384 1487 1451">Tiene cables, por tanto, dificulta su uso al usuario.</p> <p data-bbox="1059 1485 1487 1597">Posee demasiados componentes externos para llevar a cabo el análisis de la pisada.</p>
 <p data-bbox="240 1883 475 1912">Figura 43. Plantilla IEEs</p> <p data-bbox="240 1944 427 1973"><b>IEEs Smart Foot</b></p> <p data-bbox="240 1984 453 2013">Precio: aprox. 185€</p>	<p data-bbox="512 1783 1027 1906">Dan alta respuesta de celda dinámica, lo que permite una fácil lectura electrónica del sensor y una alta frecuencia de medición.</p> <p data-bbox="512 1939 1027 2007">Los datos pueden enviarse para su análisis a un terminal remoto.</p>	<p data-bbox="1059 1783 1487 1850">No forma un solo producto para el análisis de la pisada.</p> <p data-bbox="1059 1861 1487 1917">Aporta información sobre el mapeo de presiones plantares.</p> <p data-bbox="1059 1928 1487 2029">Se trata de un producto complementario a hora de diseñar una plantilla.</p>

Tabla 15. Comparación con plantillas sensorizadas

La elección de esta plantilla se ha basado en la minimización de los componentes, y tal como se puede ver en las imágenes superiores, la única plantilla que cumple con los objetivos que se han propuesto es la figura 29.

En este caso, la plantilla elegida es IEEs Smart Foot [ref: IEEs] que proporciona una monitorización dinámica de la presión plantar en el pie. Este tipo de plantillas se basa en el uso de sensores de presión basados en resistencia de detección de fuerza (FSR) que corresponden a un tipo de sensores de presión resistivos. Esta tecnología es muy fiable y se puede incorporar en aplicaciones delgadas y flexibles. Las FSR disponen de un alto grado de libertad de diseño y se adaptan a una interfaz electrónica simple.

Las características por las que se ha decidido contar con este diseño para el producto son:

- Alta dinámica. El sensor tiene una alta sensibilidad para medir las presiones cuando el sujeto camina, corre o realiza actividades de salto.
- Tecnología robusta. La tecnología ha sido validada por su durabilidad ambiental y mecánica.
- Libertad en el diseño. El sensor se puede adaptar de acuerdo con las aplicaciones requeridas.
- Fácil integración. Ofrece una detección de menos de 0,5 mm de grosor.
- Gran flexibilidad.



Figura 44. iEES smart foot

La resistencia de detección de fuerza utiliza resistencia eléctrica, la cual varía en función de la presión aplicada a la celda del sensor. Por otro lado, es importante que el diseño de los sensores cumpla con una baja histéresis y que soporten más de un millón de ciclos de activación.

La empresa que proporciona este tipo de plantillas es **IEE a sense for innovation**. [URL: <https://www.iee.lu/en>]

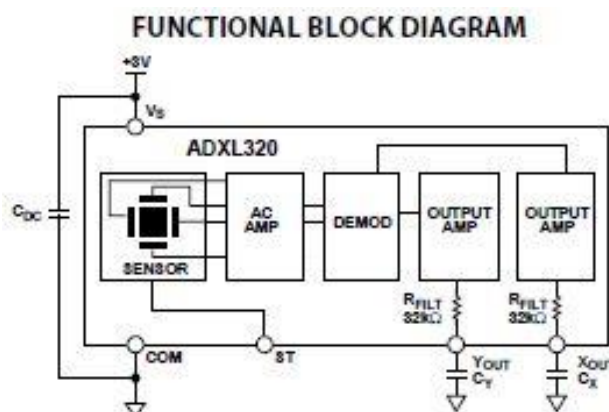


Figura 45. Diagrama esquemático de un acelerómetro

<sup>12</sup> Figura 32. <https://www.analog.com/en/products/adxl322.html#product-overview>

## **Acelerómetro ADXL320**

Acelerómetro de doble eje completo, de bajo costo y consumo de energía. Mide la aceleración con un rango completo de  $\pm 5$  g. También puede medir tanto la aceleración dinámica como la estática. Se pueden seleccionar anchos de banda de 0,5 Hz a 2,5 kHz para adaptarse a la aplicación.

## **Giroscopio L3GD20**<sup>13</sup>

Sensor de 3 ejes que puede ser configurado con una escala de sensibilidad de  $\pm 200$ , 500 y 2000°/seg. Es importante destacar que este sensor admite I2C y SPI con lo que se puede usar con cualquier microcontrolador.

Antes de seleccionar todos estos componentes se han tenido en cuenta todas las especificaciones a tener en cuenta en diseño. En el caso del giroscopio se han tenido en cuenta:

- Alcance. El rango de medición es la velocidad angular máxima que el giroscopio puede leer.
- Sensibilidad. Se mide en  $\text{mV} / ^\circ / \text{s}$  (mV por grado por segundo), y determina la cantidad de los cambios de voltaje para una velocidad angular dada.

El proceso de información del acelerómetro y giroscopio se lleva a cabo mediante el microcontrolador que almacena los datos de los sensores en el siguiente orden.

En primer lugar, el valor del temporizador con el que se puede ver si se ha perdido alguna muestra. Posteriormente, se toman los valores de presión de los sensores junto a los valores del acelerómetro de ambos pies para después dividir cada valor del sensor con comas.<sup>14</sup>

El sistema se comunica fácilmente con dispositivos móviles u ordenadores para obtener datos en tiempo real y le permiten almacenar cientos de horas de datos medidos. Permite conectar múltiples registradores a un solo dispositivo móvil para recopilar datos en aplicaciones médicas de forma sincronizada. El análisis de datos y los algoritmos de retroalimentación se pueden implementar y verificar.

El objetivo principal del proyecto es conseguir que toda la electrónica quede integrada en la plantilla. Por tanto, para llevar a cabo este fin es necesario dividir la unidad de registro de datos en dos dispositivos independientes.

Una unidad de control electrónico (ECU) conectada al sensor administra la comunicación de datos de forma inalámbrica a sistemas de interfaz como ordenadores portátiles o smartphones. Esto permite que se desarrollen aplicaciones móviles en tiempo real, que normalmente no son factibles con equipos de monitoreo incómodos tales como plataformas de fuerza que llevan demasiado cableado y conectores. Cada plantilla se conecta a una ECU que tiene incluidos un acelerómetro 3D y un giroscopio. Los datos se envían mediante bluetooth y/o WiFi.

---

<sup>13</sup> Giroscopio L3GD20. <https://sandorobotics.com/producto/2125/>

<sup>14</sup> Marco Colás\_S. (1993). *Optimización de sensores de presión piezorresistivos de silicio para instrumentación biomédica y aplicaciones a alta temperatura.*

### **Sistema de alimentación de la plantilla.**

A la hora de desarrollar una plantilla inteligente para el control de la marcha es importante tener en cuenta el consumo de energía. Este se encuentra limitado debido al tamaño y el peso de la plantilla.

En plantillas estándar el espacio disponible para colocar fuentes de alimentación permite la instalación para una batería de litio de 400 mAh. Según la información del muestreo de la matriz de la plantilla de sensores de presión la frecuencia ideal para este tipo de análisis es de 30 Hz.

Dicho esto, la duración del estudio de la pisada que puede proporcionar la plantilla es aproximadamente dos horas. Por tanto, no se cumple el objetivo en el que la plantilla debe soportar 24 horas de duración para analizar el mapa de presiones y otros parámetros que influyen en la pisada.

Una forma de aumentar el número de horas de uso de la plantilla es reducir el número de puntos de muestra. Esto se basa en emplear un esquema de detección selectiva para llevar a cabo el análisis de la pisada.

De esta forma, se puede reducir considerablemente el número de muestras que requiere cada cuadro del sensor de presión, y aun así mantener una buena calidad de señal y parámetros de la marcha. Esta es la razón por la que se ha decidido contar con una plantilla prefabricada con los sensores de presión colocados en los puntos clave del pie.

### **Justificación de la solución seleccionada.**

Los sensores anteriormente presentados en el este apartado corresponden a la medición de los parámetros de las presiones plantares, determinación de la rotación definida por la línea de Helbing y la aceleración con la que se produce la marcha del paciente. En este caso, se han presentado solo dos alternativas respecto a los giroscopios y acelerómetros.

Esto se debe a que en aplicaciones biomédicas los sensores que mejor se ajustan a las exigencias del diseño son los dos modelos presentados. Se tratan de las alternativas que cumplen con los objetivos de este proyecto y de las que más se utilizan en aplicaciones relacionadas con plantillas de instrumentación.

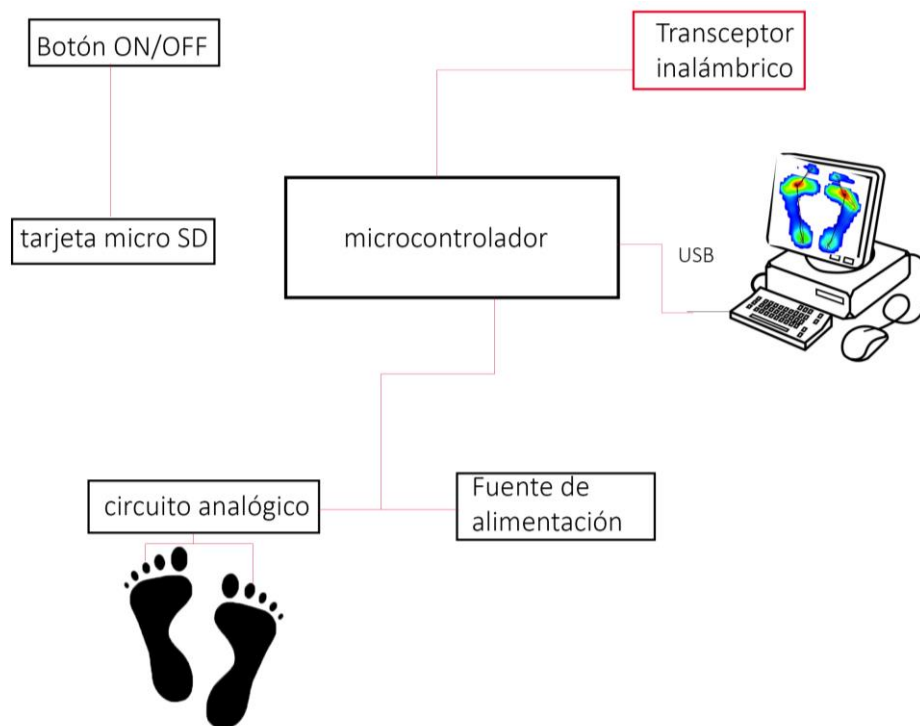


Figura 46. Esquema transmisión y recepción de datos

### **Utilidad médica de los acelerómetros, giroscopios y sensores de presión**

En las siguientes páginas se muestran los rangos de medida de los sensores que se utilizarán y se compararán con los rangos de las plataformas de presión existentes en las clínicas podológicas. Por ello se va a aclarar la utilidad médica de estos sensores.

#### **Acelerómetros.**

Proporcionan información de los 3 ejes de movimiento (x, y, z) en conjunto y también por separado. En el ámbito médico se utiliza para medir la actividad y establecer la postura del paciente para poder controlar los estímulos de un dispositivo. De esta forma, aumenta la efectividad del tratamiento y el bienestar del paciente.

#### **Giroscopios.**

Aplicado en el campo médico, sirve para medir el movimiento de las articulaciones. Sin embargo, su uso está más extendido a las aplicaciones de smartphones, donde su función es *detectar los gestos y movimientos* que se realizan con el teléfono para transmitirlo a la aplicación que estamos usando. Aplicado al campo médico se destaca la siguiente utilidad:

En la pisada, hay línea que comunica tres puntos: talón, tobillo y rodilla. Si esta línea se desvía de los parámetros que se establecen como valores normales, se produce la supinación o pronación. Por tanto, el giroscopio ayudará a comprobar la desviación que se produzca en la línea explicada anteriormente. El valor con el que se diagnostica la pisada neutra (con una ligera pronación) es de 15°.

## **Sensor de presión.**

Se han desarrollado una serie de sensores para medir la presión máxima sobre la superficie de contacto. Los más utilizados son los sensores eléctricos de presión y los neumáticos.

### **Sensores eléctricos de presión.**

Se trata de una serie de células eléctricas de medición que funcionan dependiendo de los cambios en resistencia, junto con la inducción del sensor provocado por cambios de presión. En este grupo se encuentran los sensores resistentes, piezorresistivo, capacitivo, piezoeléctrico y el sensor de fuerza.

El resistivo y el piezorresistivo presentan una desventaja respecto a los demás sensores. Esto es debido a que el material debe ser bastante blando para poder asegurar la sensibilidad a la presión.

### **Sensores neumáticos.**

Este tipo de sensores registrar la presión en el momento en el que la presión interna y externa de las células hinchables ha alcanzado un equilibrio. Presenta las siguientes características:

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Insensibles a las fuerzas de cizalla y a la temperatura</b>	La frecuencia de medida es muy baja. Alrededor de 5 Hz.
<b>Relativamente barato</b>	
<b>Facilidad respecto al tamaño</b>	
<b>Flexibles</b>	

Tabla 16. Sensores Neumáticos

La incorporación de sensores a tejidos hace que objetos como calzados o camisetas se conviertan en sistemas inteligentes que ayudan a mejorar la salud del usuario. Un caso del uso de estos sensores es el del *Polo Tech*, que es capaz de proporcionar información sobre los movimientos corporales del individuo, con detalles cardiovasculares, gasto de energía o niveles de estrés. De esta forma, al usuario se le proporciona de un mejor control de su salud física.

Por otra parte, la utilidad de estos sensores en el campo médico se debe al mapeo de presiones del espacio plantar. Gracias a estos sensores, se pueden localizar las zonas más cargadas durante la pisada para posteriormente elaborar un diagnóstico.

- Distribución de presiones

En este subapartado se detalla la información sobre las presiones y su distribución a lo largo del pie durante la pisada. Por un lado, se tiene la presión real y la medida.

### *Presión real.*

Es la fuerza total en la estructura del pie a través de la piel y los tejidos blandos sobre la superficie de la pisada.

### *Presión medida.*

Fuerza local sobre el área de medida de los sensores.

- I. Las principales diferencias entre las presiones anteriormente descritas se deben a:
- II. Área real de la suela y área cubierta por sensores.
- III. Precisión del sensor de medida.
- IV. Dimensiones de los sensores.
- V. Número de sensores.
- VI. Distribución de sensores en la zona de medida.
- VII. Frecuencia de medida.
- VIII. Características de la plantilla donde se realiza la medida (rígida o flexible, gruesa o fina).

### *Presiones plantares en estática y dinámica.*

En condición estática las presiones plantares se han visto afectadas por el peso del cuerpo que se transmite a lo largo de ambas extremidades inferiores llegando a cada pie el 50% de su valor total. El astrágalo distribuye esta fuerza hacia sus puntos de apoyo. El pie durante esta posición presenta dos triángulos que va desde el calcáneo hasta la cabeza de los metatarsianos y otro anterior formado por los metatarsianos y los dedos.

Los dedos del pie presentan un apoyo relativamente débil. Sin embargo, en el dedo gordo se dan valores de presión mayores. Durante el apoyo estático éste recibe la mayor presión. Los dedos presentan una presión mayor en apoyo monopodal debido al aumento de la carga, trabajo de los músculos flexores que realizan la función de agarre al suelo y de estabilización.

Si el apoyo es unipodal, todos los puntos del pie estarán sometidos a mayor presión ya que la carga no se reparte. En el antepié las presiones se elevan en relación con el apoyo bipodal, pero de modo uniforme entre los cinco metatarsianos.

- Factores que influyen sobre la distribución de las presiones plantares.

Los elementos que influyen sobre las presiones plantares son:

- I. Peso.
- II. Edad.
- III. Género.
- IV. Velocidad.
- V. Cadencia de la marcha.

Las personas con mayor peso tienden a usar menos la zona media del antepié.

### *Edad.*

Las presiones plantares en el niño son menores que en el adulto, debido a su menor peso. Por tanto, existe una mayor presión sobre la cabeza del primer metatarsiano debida al valgo de la rodilla lo que conlleva a una mayor pronación del pie.

En las personas de edad avanzada el pie es más horizontal en el contacto del talón, debido a un menor rango de movimiento en las articulaciones de las extremidades inferiores, lo que condiciona a una disminución de la fuerza de reacción vertical.

### *Género.*

El sexo no es el factor que determina la distribución de las presiones plantares, sino la utilización del calzado y las características antropométricas. La movilidad articular de las mujeres es mayor. Sin embargo, en el caso del sexo masculino se produce una mayor rigidez y una menor pronación en la fase de apoyo.

### *Velocidad y cadencia.*

Ambos factores están relacionados entre sí. A menor velocidad mayor será el número de pasos que se puedan dar por minuto, es decir, mayor será la cadencia. Al aumentar la velocidad se incrementa de forma lineal la presión en el talón, en la zona media del antepié y en los cuatro primeros dedos.

## **Elección del sistema de transmisión de datos**

Se ha decidido que los datos almacenados se envíen mediante comunicación inalámbrica debido a la comodidad del paciente cuando esté utilizando las plantillas, ya que el uso de cables resulta invasivo y más incómodo durante el uso. Otro hecho a tener en cuenta es que la velocidad de transmisión de datos es mayor mediante WiFi que mediante USB.

Hardware. El rango ideal para el hardware de las plantillas está comprendido entre los 8 y 16 bits por cada canal, para la digitalización de las salidas del acelerómetro y giroscopio.

Los sensores previamente mencionados analizan de forma simultánea tres tipos de parámetros. La aceleración y la distribución de presión de la planta del pie y la posición de éste con respecto al eje vertical y horizontal del paciente. Dicho esto, el sensor que determinará si la posición del paciente es correcta o no, será el giroscopio. Para saber cuándo el paciente tiene un problema en la pisada se tendrán en cuenta los siguientes factores:

### **Ángulo que existe entre la línea del tendón de Aquiles y la línea del retropié.**

Cuando estas líneas tienen la misma dirección el ángulo es 0°. <sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Los ángulos de supinación se toman como positivos y los de pronación como negativos.



Para que la articulación tenga un funcionamiento normal, el pie del paciente contactará con el suelo en posición neutra o supinando un poco. En el momento de apoyo de la planta del pie, se produce una pronación de 15° (valores normales) y durante la impulsión se produce una supinación de hasta 20°.

### **Línea de Helbing.**

Unión de dos líneas que se unen en el centro de la articulación posterior calcáneo-astragalina. Se dan tres situaciones:

- Talón neutro. El eje entre las dos líneas es vertical, es decir, es de 0°.
- Talón pronado. El vértice del ángulo entre las dos líneas se dirige hacia el lado interno del cuerpo.
- Talón supinado. El vértice del ángulo entre las dos líneas se encamina hacia el externo del cuerpo (valores negativos)

Por tanto, para que se tenga una posición neutra del pie es necesario que el apoyo medio del pie se corresponda con 1/3 total del ancho de la huella plantar, y que los valores de los ángulos descritos anteriormente no superen los valores indicados.<sup>16</sup>

Mediante estos tres tipos de sensores que analizan el control del equilibrio del pie, las zonas de presión y la velocidad. Todo esto ayuda a la elaboración de un diagnóstico acerca del tipo de pisada del paciente, ya que con solo caminar sobre una plataforma de presión se muestran los primeros indicios para saber si un paciente prona en exceso o supina.

Así, la pronación es un movimiento natural que no indica ninguna molestia si se mantiene en un nivel bajo. Es cuando el paciente inclina el peso hacia dentro en exceso, cuando se produce la sobrepronación y, por tanto, la molestia al caminar.

La funcionalidad del sensor de presión es proporcionar un mapa con las presiones que se dan en el pie para posteriormente ayudar al podólogo en su diagnóstico de la pisada del paciente.

En definitiva, estos sensores son las alternativas perfectas para analizar y monitorizar el equilibrio del paciente cuando camina y ayudan al especialista a tomar decisiones para el diagnóstico de la posición del pie.<sup>17</sup>

El dispositivo pretender prevenir determinadas dolencias, tales como la fascitis plantar, y la corrección de la supinación o pronación del paciente. Para ello, cuenta con un receptor que aporta información sobre variables como el exceso de presión en la zona plantar, alteraciones de la marcha, posturas anómalas o tipo de pisada (supinadora o pronadora, dependiendo de hacia dónde bascule el pie, si es hacia afuera o hacia dentro).<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Kirby\_Kevin (2017). *Longitudinal arch load-sharing system of the foot.*

<sup>17</sup> Yu-Chi Lee & Mao-Jiun Wang (2014). *Taiwanese adult foot shape classification using 3D scanning data.*

<sup>18</sup> Barish\_Bettina, Schmeltzpfenning \_Timo, Plank\_Clemens, Grau\_Stefan. (2014) *Foot deformation during walking: differences between static and Dynamic 3D foot morphology in developing feet.*

Esquema del mecanismo de comunicación.

Para monitorizar los movimientos del pie, las plantillas llevan integradas distintos sensores en su base. Los receptores almacenan la información y la envían al dispositivo externo de forma inalámbrica.

Este dispositivo externo envía a su vez la información, de forma inalámbrica, a un ordenador donde un programa la analiza en tiempo real. De esta forma, la información queda almacenada para un posterior análisis por parte del podólogo.

La tecnología wifi en este caso, se emplea para enviar los datos que recoge la plantilla al dispositivo externo, que es el ordenador. De esta forma, el envío de datos se produce de forma más rápida que mediante Bluetooth.

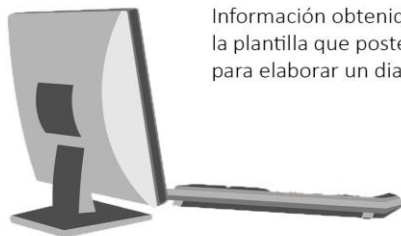


Mapa de presiones plantares medidas con los sensores de la plantilla



orientación de la pisada llevada a cabo por un giroscopio

Gráfica con la velocidad medida por el acelerómetro



Información obtenida de los distintos sensores de la plantilla que posteriormente el podólogo analiza para elaborar un diagnóstico.

Envío de datos mediante comunicación Inalámbrica



Figura 47. Envío, transmisión e interpretación de datos

De acuerdo a la imagen superior, una vez que los datos han sido analizados e interpretados por el podólogo, se procede a realizar un diagnóstico de la pisada. Para determinar si el paciente sufre fascitis plantar se le realizan las siguientes pruebas:

- Examen físico, donde el profesional busca evidencias de hinchazón, enrojecimiento de la zona y sensibilidad a la presión en el talón.

- Estudio biomecánico de la pisada, debido a que la fascia plantar está dentro del sistema calcáneo-aquileo-plantar, y actúa de forma activa y pasiva en todas las fases de la marcha.
- En otros casos puede recurrirse a las radiografías o ecografías para descartar otro tipo de lesión.

En la mayoría de los casos se recurre al examen físico para ver si el paciente presenta problemas en la fascia plantar. Es importante conocer el hecho de que la fascitis plantar puede ocurrir debido a tensiones por un uso excesivo, un mal funcionamiento biomecánico del miembro inferior, excesiva pronación o supinación o un inicio rápido de actividad deportiva.

Así mismo, la postura y la patología podológica producen cambios tanto en la forma en la que se distribuyen las presiones plantares como en la intensidad de las presiones. Este tipo de cambios están relacionados con el dolor y la patología en la superficie de apoyo plantar (independientemente de la patología que lo condicione).

El hecho de que el podólogo disponga del registro de las presiones plantares a escala natural ayuda a la posterior confección adecuada de las ortesis.

Seguidamente se muestra la estructura del sistema de comunicación WiFi.

El sistema está compuesto por dos unidades, el coordinador y el esclavo. El primero contiene los circuitos necesarios para almacenar los datos en una tarjeta microSD, que son los que inician y detienen las mediciones.

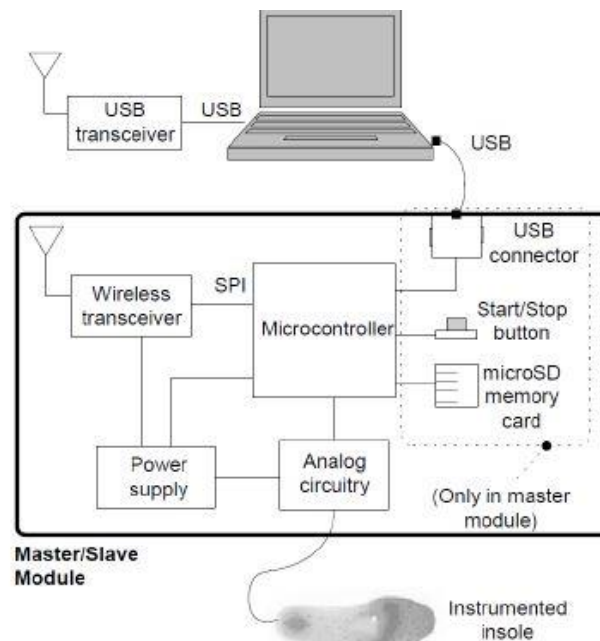


Figura 48. Diagrama esquemático<sup>19</sup>

<sup>19</sup> [(Martínez\_F, 2016) Development of instrumented insoles for biometric parameters monitoring"]

En el proceso de envío y recepción de los datos, se dan los siguientes esquemas:

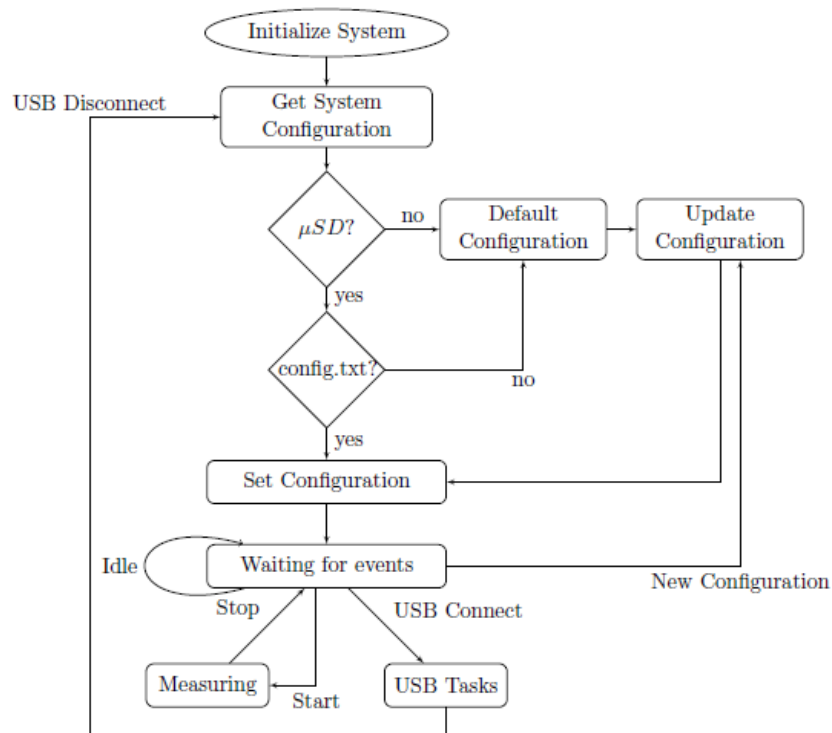


Figura 49. Registro de datos

Una vez vistas las distintas partes que forman el conjunto del apartado de análisis de soluciones se llevará a cabo la siguiente fase, la evaluación de soluciones. A partir de este punto, se irán eligiendo una serie de propuestas que mejor cumplan con los objetivos que se han fijado para el producto.

## 7.2 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

Después de realizar diferentes propuestas con el fin de lograr un diseño que cumpla con los objetivos establecidos, se realizará una evaluación de dichas soluciones. Para ello se utilizarán dos métodos diferentes, uno cualitativo y otro cuantitativo.

- Método cualitativo. Utiliza una escala ordinal para las diferentes alternativas de diseño.
- Método cuantitativo. Permite cuantificar la evaluación de las diferentes propuestas de diseño.

Para ello se cuenta con la siguiente lista de objetivos que el producto debe cumplir:

1. Resistente al caminar por una superficie lisa
2. Ser duraderos
3. Tener alta resistencia a impactos
4. Cómodo durante el uso
5. Resistencia al desgaste
6. Ofrezca protección mientras se utiliza
7. Estar compuesto por materiales de calidad
8. Proporcionar una mayor vida útil
9. Fabricado por procesos de fabricación sencillos
10. Facilidad de montaje de las piezas
11. Fabricación produzca menor impacto ambiental
12. Unión de piezas simple
13. Minimizar los gastos de material
14. Diseño ergonómico
15. Ser ligero
16. Multifuncional
17. Coste de fabricación sea el más bajo posible
18. Obtener el mayor beneficio total con las ventas del producto
19. Mayor facilidad de limpieza
20. Mejor fijación a la anatomía plantar
21. Estética acorde con los ámbitos de uso posibles
22. Menor número de procesos de fabricación implicados en el desarrollo del producto
23. Los sensores tendrán una buena resolución
24. El tamaño será el más reducido posible
25. El espesor del sensor no debe exceder de 0,5 mm
26. Debe tener una buena frecuencia de muestreo, 45 y 100 Hz durante la marcha, y 200 Hz para carrera.
27. Alta fiabilidad en cada sesión de medida.
28. Tener un buen sistema de calibración, es decir, con una buena linealidad, muy baja histéresis y alta respuesta dinámica.

### 7.2.1 MÉTODO CUALITATIVO

El siguiente método consiste en realizar la evaluación de las propuestas de diseño, las cuales se agruparán en columnas las diferentes alternativas y en filas, las especificaciones ordenadas, creando una matriz. Una vez creada la tabla, una de las propuestas será la que se usará como referencia para comparar con las demás. La elegida será señalada como DATUM.

Las alternativas que cumplan con una especificación mayor que la de referencia, se señalarán con el signo "+". Del mismo modo, las propuestas que cumplan en menor grado con la especificación se calificarán con un "-". Sin embargo, si la alternativa cumple con una especificación de una manera similar a la de referencia, se indicará con el signo "=".

Dada la comparación de las distintas alternativas de diseño y se les haya aplicado los símbolos correspondientes, se realizará un cálculo de los valores totales. El signo "+" sumará +1, y el signo "-" restará, -1. Sin embargo, el signo "=" tendrá el valor de 0. Posteriormente, se llevará a cabo el método DATUM para las diferentes alternativas de diseño.

#### Resultados Método DATUM

En primer lugar, se ha decidido prescindir del análisis de los objetivos que se corresponde con los requisitos que deben cumplir los sensores. Esto es debido a que no se pueden evaluar de forma cualitativa. Con este método lo que se está valorando son las formas externas que van a formar el conjunto final de la plantilla.

Por otra parte, en la parte de la tabla en la que se está comparando la unión de las piezas, se refiere al tipo de unión que se va a desarrollar para las elevaciones laterales correctoras.

En esta parte del proyecto, los objetivos relacionados con los sensores se verán aplicados más adelante en distintas tablas comparativas donde se evaluarán los rangos de funcionamiento, una buena calibración y una baja histéresis.

En la posterior tabla, se ven los resultados a los que se ha llegado una vez realizado el DATUM. la resolución del método queda de la siguiente forma:

Con una puntuación de 4, la base de la plantilla mejor valorada es la alternativa número 3.

Sin embargo, tanto en la evaluación de las elevaciones correctoras como en la selección de la forma de la esponja para el tratamiento de la fascitis plantar se ha obtenido una puntuación de 0. Por tanto, se tomará como elección más adecuada la opción que está señalada como DATUM.

Respecto a la elección del mecanismo de unión de las elevaciones correctoras a la plantilla, la alternativa mejor puntuada es la que ha sido seleccionada como DATUM, ya que la otra opción ha obtenido una puntuación negativa de -1. Posteriormente y una vez que se tienen los resultados del DATUM se continuará con el método cuantitativo.

Obj	SUELA			ELEVACIONES LATERALES CORRECTORAS		ESPONJA		UNIONES						
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 1	Propuesta 2	Presión	Click					
Obj 1	D  A  T  U  M	=	=	D  A  T  U  M	-	D  A  T  U  M	-	D  A  T  U  M	-					
Obj 2		-	+		=		+		D	-				
Obj 3		-	+		-		-		-	-				
Obj 4		-	+		=		=		-	=				
Obj 5		=	+		A  T  U  M		+		A  T  U  M	+	A  T  U  M	-		
Obj 6		+	=				=			=		A	=	
Obj 7		=	=				=			=		=	=	
Obj 8		=	-				-			-		-	-	
Obj 9		-	=				+			+		+	+	
Obj 10		=	=				+			+		=	+	
Obj 11		=	=				=			=		-	+	
Obj 12		=	=				=			=		+	+	
Obj 13		+	-				U			+		U	+	=
Obj 14		-	=				-			-		-	-	
Obj 15		-	+				=			=		=	+	
Obj 16		=	=				M			=		M	=	-
Obj 17		+	-				+			+		+	+	+
Obj 18		-	+				=			=		=	=	
Obj 19		=	=				+			+		+	+	
Obj 20		-	+				-			-		-	-	
Obj 21		=	+				-			-		-	-	
Obj 22		+	-				=			+		+	+	
<b>ΣTOTAL</b>		<b>-4</b>	<b>4</b>			<b>0</b>		<b>0</b>				<b>-1</b>		

Tabla 17. Método datum

## 7.2.2 MÉTODO CUANTITATIVO

Una vez realizado el método DATUM, se procede a la realización del método cuantitativo. En primer lugar, se usará el siguiente orden, en el que las especificaciones están ordenadas en función de su importancia. Para ello, es necesario calcular el peso de cada una de las especificaciones que van a ser utilizadas para evaluarlas.

Una vez obtenido el peso de cada una de las especificaciones, se debe otorgar una puntuación del 1 al 5 (siendo 1 el menor valor y 5 el máximo) al grado de cumplimiento de cada especificación por parte de las diferentes propuestas de diseño.

<b>Especificación por importancia</b>	<b>1/rj</b>	<b>Wj</b>
1	1	0.254
2	0.5	0.127
3	0.333	0.0848
4	0.25	0.0637
5	0.2	0.0509
6	0.1666	0.04230
7	0.1428	0.03639
8	0.125	0.03185
9	0.111	0.0282
10	0.1	0.0254
11	0.090	0.0229
12	0.0833	0.0211
13	0.07692	0.0196
14	0.07142	0.0182
15	0.0666	0.0168
16	0.0625	0.0159
17	0.0588	0.0149
18	0.0555	0.0141
19	0.05263	0.0134
20	0.05	0.0127
21	0.04761	0.0121
22	0.04545	0.0115
23	0.04348	0.0111
24	0.04166	0.0106
25	0.04	0.0101
26	0.03846	0.0098
27	0.0370	0.0094
28	0.03571	0.0091
<b>Total</b>	<b>3.924</b>	<b>1</b>

Tabla 18. Método cuantitativo

La obtención de los pesos se ha realizado dividiendo el valor 1 entre el número de los objetivos que se tienen para llevar a cabo el método. Sin embargo, para calcular los valores Wj se divide el valor 1/rj entre el sumatorio total 3.924.

El siguiente paso es calcular el grado de cumplimiento de cada especificación por parte de las diferentes propuestas de diseño. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Puntuación} = \text{Valor de la especificación} \times (Wj)$$



	SUELA			ELEVACIONES CORRECTORAS LAT.		ESPONJA		UNIONES	
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 1	Propuesta 2
<b>O1</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	4
<b>O2</b>	5	4	3	5	5	5	4	4	3
<b>O3</b>	5	4	4	5	4	5	4	5	3
<b>O4</b>	5	3	3	4	3	5	5	4	4
<b>O5</b>	4	3	3	4	4	4	4	4	4
<b>O6</b>	5	4	5	5	4	4	4	5	5
<b>O7</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	4
<b>O8</b>	5	3	4	4	3	5	5	4	3
<b>O9</b>	4	3	3	4	3	3	4	3	5
<b>O10</b>	5	5	5	3	4	4	4	3	4
<b>O11</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>O12</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	4
<b>O13</b>	3	4	3	3	4	3	4	3	3
<b>O14</b>	3	2	3	4	3	4	3	4	4
<b>O15</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>O16</b>	3	3	3	3	3	3	3	4	3
<b>O17</b>	3	2	3	3	4	3	4	3	4
<b>O18</b>	3	2	3	4	3	4	3	4	3
<b>O19</b>	3	2	4	3	4	3	3	3	2
<b>O20</b>	3	2	3	4	3	4	3	4	3
<b>O21</b>	3	2	4	4	3	4	3	4	4
<b>O22</b>	3	3	4	3	4	3	4	3	3
<b>O23</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>O24</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>O25</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>O26</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>O27</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>O28</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Tabla 19. Ponderación de las alternativas

	SUELA			ELEVACIONES CORRECTORAS LATERALES		ESPONJA		UNIONES	
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 1	Propuesta 2
O1	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.016
O2	0.635	0.508	0.381	0.635	0.635	0.635	0.508	0.508	0.381
O3	0.424	0.3392	0.3392	0.424	0.3392	0.424	0.3392	0.424	0.2544
O4	0.3185	0.1911	0.1911	0.2548	0.1911	0.3185	0.3185	0.2548	0.2548
O5	0.2036	0.1527	0.1527	0.2036	0.2036	0.2036	0.2036	0.2036	0.2036
O6	0.2115	0.1692	0.2115	0.2115	0.1692	0.1692	0.1692	0.2115	0.2115
O7	0.18195	0.18195	0.18195	0.18195	0.18195	0.18195	0.18195	0.18195	0.14556
O8	0.15925	0.0955	0.1274	0.1274	0.0955	0.15925	0.15925	0.1274	0.0955
O9	0.1128	0.0846	0.0846	0.1128	0.0846	0.0846	0.1128	0.0846	0.141
O10	0.127	0.127	0.127	0.0762	0.1016	0.1016	0.1016	0.0762	0.1016
O11	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687
O12	0.0633	0.0633	0.0633	0.0633	0.0633	0.0633	0.0633	0.0633	0.0844
O13	0.0588	0.0784	0.0588	0.0588	0.0784	0.0588	0.0784	0.0588	0.0588
O14	0.0546	0.0364	0.0546	0.0728	0.0546	0.0728	0.0546	0.0728	0.0728
O15	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504	0.0504
O16	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0636	0.0477
O17	0.0447	0.0298	0.0447	0.0447	0.0596	0.0447	0.0596	0.0447	0.0596
O18	0.0423	0.0282	0.0423	0.0564	0.0423	0.0564	0.0423	0.0564	0.0423
O19	0.0402	0.0268	0.0536	0.0402	0.0536	0.0402	0.0402	0.0402	0.0268
O20	0.0381	0.0254	0.0381	0.0508	0.0381	0.0508	0.0381	0.0508	0.0381
O21	0.0363	0.0242	0.0484	0.0484	0.0363	0.0484	0.0363	0.0484	0.0484
O22	0.0345	0.0345	0.046	0.0345	0.046	0.0345	0.046	0.0345	0.0345
O23	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555
O24	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424	0.0424
O25	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404	0.0404
O26	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392	0.0392
O27	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
O28	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455
<b>TOTAL</b>	<b>4.4932</b>	<b>3.90305</b>	<b>3.95305</b>	<b>4.40395</b>	<b>4.18075</b>	<b>4.4544</b>	<b>4.2597</b>	<b>4.26465</b>	<b>3.7075</b>

Tabla 20. Suma de los objetivos ponderados

A diferencia del método anterior, en el cuantitativo se ha decidido contar con los objetivos relacionados con los sensores. Esto se debe a que cada objetivo tiene una ponderación. Se procede a multiplicar los datos de la tabla 18 con los de la 19.

Así se consigue evitar que alguna de las opciones del diseño quede de forma igualada con el resto de alternativas. De esta forma, se consigue una mayor ventaja y distancia sobre los modelos a analizar a la hora de seleccionar las mejores opciones para el conjunto del diseño final.

Por otra parte, en la tabla 16a se ven distintas puntuaciones que van desde el valor 1 hasta 5. Cada uno de los objetivos tiene una valoración distinta dependiendo de cada parte del diseño que se está evaluando. Estas puntuaciones se hacen a juicio del diseñador.

El proceso llevado a cabo para obtener los valores de la tabla 16b se debe al valor  $W_j$  de cada objetivo para posteriormente multiplicarlo por el valor correspondiente de la tabla 16a.

Una vez realizado el método cuantitativo, se tienen las siguientes conclusiones.

La propuesta de suela ha variado según los métodos realizados. En el DATUM la opción más adecuada es la número 3, sin embargo, en la suma de objetivos ponderados la elección más puntuada es la número 1. Es por ello, que tras evaluar correctamente ambos métodos se he llegado a la siguiente conclusión:

Como se quiere utilizar el producto en el mayor número de pacientes la forma que permitiría conseguir este objetivo sería la opción 1, ya que abarca las cabezas de los metatarsianos, y por tanto consigue mayor superficie del pie para el análisis de las presiones y la posterior determinación de la posición de la pisada.

En el caso de las elevaciones laterales correctoras y la esponja, se han alcanzado los mismos resultados que con el método DATUM, es decir, las alternativas que elegidas han sido la propuesta 1 para elevaciones correctoras y la forma ergonómica para la esponja.

Por otra parte, el proceso de unión de ajuste por presión ha logrado una gran diferencia de puntuación sobre la opción de mecanismo de clic. Finalmente, todas las alternativas comparadas y ya elegidas son las que formarán parte del conjunto de la plantilla que más adelante se irá desarrollando.

### **7.3 SELECCIÓN DEL DISEÑO**

El siguiente apartado se encuentra dividido en dos partes. En primer lugar, la justificación de la solución que se ha elegido y por otra la selección de las distintas partes que forman el producto final.

### 7.3.1 Justificación de la solución adoptada.

Las mejoras elegidas van a resolver los problemas de mayor importancia en el estudio biomecánico de la pisada: el tratamiento personalizado, los diferentes tamaños de las ortesis y la funcionalidad de la plantilla. De modo que se han decidido combinar estas tres mejoras en un nuevo diseño de las plantillas convencionales que contará con un sistema electrónico y una mejora en el diseño externo.

En primer lugar, y debido a la finalidad del producto, se ha llevado a cabo la personalización del sistema electrónico, lo que va a permitir obtener una respuesta segura y eficaz para ayudar al posterior diagnóstico llevado a cabo por el podólogo. Desde otra perspectiva, el diseño de las plantillas supone una gran ayuda para abrir el campo de la investigación a las distintas tecnologías presentes en el análisis personalizado de la pisada. Cada parte del diseño seleccionada tiene gran importancia en formar parte del conjunto de la solución adoptada, por lo que es esencial combinarlas para lograr un producto que se adapte a los pacientes y consiga tener una diferenciación en el mercado.

### 7.3.2 Elección de los componentes

Se ha elegido la propuesta 1 para la estructura del dispositivo ya que es la que mejor cumple los objetivos fijados y ha resultado más favorecedora según los métodos de evaluación de soluciones, DATUM y regla de la mayoría.

Por otra parte, en la elección de las elevaciones correctoras, se tiene que la alternativa ganadora es aquella en la que tiene una forma más orgánica y por tanto más ergonómica ya que se adapta mejor a la anatomía plantar.

La altura de cada elevación dependerá del grado de pronación y supinación de cada paciente. Aun así, se tomará como referencia una serie de medidas estándar para elaborar tres alturas de esta propuesta para el producto final.

Respecto a la forma de la esponja que se utiliza para el tratamiento de la fascitis plantar, la alternativa mejor valorada es aquella que tiene una forma asimétrica y curvada, logrando así un mejor reparto de las presiones que se dan al caminar.

Por último, la selección del mecanismo de unión de todas las piezas ha sido elegida mediante ajuste por presión. Es decir, la unión de las piezas se hará al juntar la base de la plantilla y la elevación que sea necesario para la corrección de la pisada.

Tanto en el método DATUM como en el método cuantitativo la opción de ajuste por presión ha resultado ganadora.

Finalmente, el diseño seleccionado queda de la siguiente forma:

- La propuesta 1 es la base del dispositivo
- La altura a convenir por el podólogo o especialista (elevaciones laterales)
- Alternativa 1 para las elevaciones correctoras de supinación o pronación
- La esponja para la fascitis plantar es la número 1
- La unión de las piezas mediante ajuste por presión



*Figura 50. Justificación de la solución adaptada*

## 8. RESULTADOS FINALES

El producto final es un dispositivo que se adapta totalmente al usuario, gracias a los estudios biomecánicos de la pisada y la tecnología empleada en producir el diseño. La forma de la base de la plantilla se realiza mediante tecnología 3D, es decir, impresión en 3D.

Para ello se necesita la ayuda de un escáner 3D. este aparato cuenta con una gran precisión geométrica (0,020 mm + 0,100 mm/m, 0,020 mm +0,060 mm/m). Con el escáner se capta la geometría del diseño de la plantilla y se procede a la elaboración del prototipo en 3D.

Impresora 3D de FDM. La Scalar XL Premium es una impresora 3D con un gran volumen de impresión, que es capaz de fabricar piezas de un volumen de hasta 40 x 40 x 40 cm. Una de las aplicaciones más importantes es que permite imprimir con PLA y ABS. Cuenta con una pantalla LCD, así como con calibración automática de la plataforma de impresión, facilitando el manejo para el usuario.

\*FDM. La tecnología FDM es aquella que permite crear piezas capa por capa de abajo a arriba calentando y extruyendo el filamento termoplástico.

### Justificación del método de fabricación.

Se ha decidido contar con la tecnología 3D para la realización de este proyecto, ya que es el método que mejor permite desarrollar una plantilla totalmente personalizada. Una vez que

el paciente acude a la consulta del podólogo, se le realizan pruebas físicas y un escáner en 3D para ver el tipo de patología que presenta.

Por tanto, aprovechando la información del escáner 3D se puede realizar posteriormente una plantilla que se ajusta totalmente a la anatomía plantar. Por esta razón, se ha elegido este método de fabricación.

#### *Tiempos de fabricación de la plantilla.*

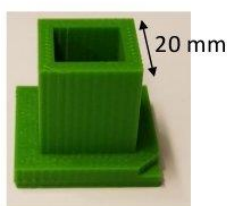
Una vez que se conocen todos los parámetros necesarios para el desarrollo y fabricación de la plantilla, es importante saber cuánto tiempo se tarda en realizar una unidad. En comparación con los métodos de fabricación convencionales, la impresión 3D tarda más que el prensado en caliente, que es el método más utilizado para conseguir una plantilla ajustada. Sin embargo, el principal inconveniente de esta técnica es el error que puede producirse cuando el paciente se mueva inconscientemente por el calor y la presión que se están ejerciendo en el pie.

#### *Innovaciones para reducir el tiempo de impresión 3D.*

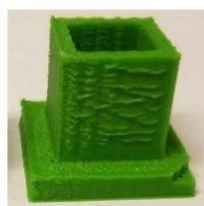
Se ha desarrollado un nuevo software que permite acortar el tiempo de la impresión 3D sin reducir la calidad del objeto a desarrollar. Cuando se lleva a cabo una impresión el cabezal de la impresora 3D deposita las capas de plástico fundido haciendo que las piezas en movimiento hacen vibrar la máquina. Esto puede desencadenar errores al crear al objeto. Cuanto más rápido se mueve el cabezal más vibra la máquina, lo que aumenta el riesgo de error en la impresión.

El programa desarrollado está dotado de conocimientos sobre el comportamiento dinámico de la impresora, de forma que se anticipa a la vibración en exceso de la impresora y ajusta sus movimientos en consecuencia.

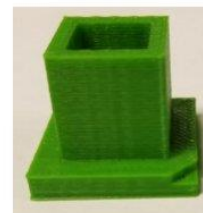
#### **Square Block (Printed on Lulzbot Taz 6)**



No vibration compensation  
low speed, high accuracy



No vibration compensation  
high speed, low accuracy



With vibration compensation  
high speed, high accuracy

Como se puede observar en la imagen superior, los modelos de la izquierda y del centro se han realizado sin la técnica FBS de compensación por vibración a diferencia del modelo izquierdo que si se ha realizado mediante este modo de impresión 3D. El bloque de la izquierda fue realizado en 54.4 minutos a una velocidad de 50 mm/s y 1 g de aceleración. Los modelos del centro y de la derecha han sido impresos a la velocidad de 10 mm/s y 1 g de aceleración, y se completaron en 32.3 minutos. El bloque de la derecha (aunque se imprime mucho más rápido) tiene superficies más lisas que la de la izquierda.

El tiempo estipulado de 32.3 minutos se aplica en el caso de una unidad. Sin embargo, con el diseño de la plantilla el tiempo puede variar ya que la fabricación depende exclusivamente de las necesidades que requiera el paciente. No es el mismo caso corregir hiperpronación en ambos pies que supinación en uno y pronación en otro. Entonces a la hora de llevar a cabo la fabricación no se tiene un tiempo fijo para fabricar una plantilla. En conclusión, la fabricación de las plantillas no son un producto que se realice de forma masiva, sino que es totalmente personalizable a las necesidades de los usuarios.

## **8.1 DISEÑO DEFINITIVO**

En el siguiente punto se analizarán todos los aspectos que englobarán al diseño final.

### **8.1.1 FORMA**

La geometría del pie es el factor más importante para la creación del dispositivo. El proceso llevado a cabo para la obtención de los componentes que influyen en la forma final es el siguiente:

Estudio de la pisada.

Se realizan pruebas para conocer la distribución de presiones en diferentes zonas de la planta del pie y evaluar las influencias directas de las fuerzas aplicadas tanto en estática como en dinámica mediante una plataforma de registro electrónico. Esta aplicación nos permite conocer un mapa de presiones plantares, centro de masas, centro de presiones o estabilometría, la evaluación del CoP (Centro de orientación de presiones) y presiones máximas.

Escaneado de la huella plantar para ver la superficie donde se producen la mayor zona de presión al caminar.

Utilización de software en 3D para lograr la configuración de la base de la plantilla, ya que este es el único componente que se fabricará mediante la tecnología en 3D.

- Exportación del archivo en formato 3D a formato. STL
- Creación del prototipo mediante el software de impresión

### **8.1.2 BASES DE LA PLANTILLA**

Para esta parte del diseño es necesario contar con una estimación del peso del usuario para adaptar la amortiguación del componente utilizado en la fabricación.

En el caso del dispositivo se utilizará un valor, que oscile con el relleno de la base, comprendido entre un 20 y un 35 %. Por otra parte, en la zona de la cabeza de los metatarsianos esta la zona de menor densidad por tanto hay que ver cómo influye el peso del paciente. Estos factores dependerán de la actividad que realice el usuario y de la frecuencia con la que la haga.

### 8.1.3 GROSOR DE LA ENTRESUELA

En este caso, el grosor determina la experiencia activa del paciente, debido a que la ligereza y robustez son claves a la hora de amortiguar los esfuerzos a los que están sometidas las articulaciones del paciente.

Tal y como se ha dicho anteriormente este apartado dependerá de la intensidad, frecuencia y el tipo de actividad que realice el paciente.

Grosor de la entresuela	Medida
Bajo	1,4 mm
Medio	1,8 mm
Alto	2,0 mm

Tabla 21. Grosor entresuela

### 8.1.4 ESTÉTICA DEL DISPOSITIVO

En esta sección se verán varios aspectos del producto que pueden personalizarse.

#### Doble adaptación.

Por motivos obvios, la geometría del dispositivo no se puede adaptar a todos los usuarios, ya que la medida del pie cambia de una persona a otra. Por ello se ha pensado en la posibilidad de realizar diferentes tallas para abarcar un mayor número de pacientes, de esta forma, el diseño es más inclusivo.

#### Suela.

El dibujo de la suela es bastante importante, ya que permite adaptar al usuario al tipo de asfalto en el que este caminando. Por esta razón, se ha decidido utilizar aquel que se usa en asfalto y superficies llanas.

#### Estética.

En este caso la estética no tiene un papel tan importante como en otros proyectos, ya que el papel principal del producto es la funcionalidad y la mejora de la postura del pie al caminar. Es por ello que se utilizarán colores sencillos y básicos.



## 8.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN

Para la construcción del dispositivo, se realizarán varios procesos de fabricación. Se enumeran en este orden:

- **Impresión en 3D.** Fabricación de la estructura de la plantilla.
- **Cortado.** Se realiza para la obtención de los patrones de tela necesarios para construir la base de la plantilla.
- **Pegado.** Necesario para la unión de las diferentes partes del dispositivo.

En las siguientes tablas se verá la fabricación de cada pieza junto con el proceso de fabricación acorde.





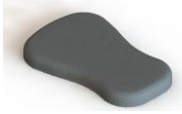

Componente	Proceso	Imagen
Estructura de la plantilla	<b>Impresión 3D</b>	 <p><i>Figura 51. Estructura plantilla</i></p>
Bases de la plantilla	<b>Impresión 3D Pegado</b>	 <p><i>Figura 52. Bases de la plantilla</i></p>
Suela	<b>Impresión 3D Pegado</b>	 <p><i>Figura 53. Suela</i></p>
Mecanismo unión	<b>Impresión 3D</b>	 <p><i>Figura 54. Mecanismo Unión</i></p>
Esponja	<b>Cortado Lijado de bordes</b>	 <p><i>Figura 55. Esponja</i></p>
Elevaciones laterales correctoras	<b>Cortado Lijado</b>	 <p><i>Figura 56. Elevaciones laterales correctoras</i></p>

Tabla 22. Procesos de fabricación

Es importante comentar que la base de la plantilla que está en contacto con la planta del pie estará fabricada de espuma viscoelástica. Por tanto, el proceso de selección es bastante sencillo, solo es cortado y pegado al dispositivo.

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente en la suela se contará con dos hendiduras que harán que el dispositivo y el pie estén sujetos cuando el paciente camine descalzo. En el apartado de promoción del producto se mostrará todo esto.

### **8.3 DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE**

El montaje será el siguiente:

1. Impresión de todas las piezas que se han mencionado para fabricarlas mediante este proceso.
2. Marcado, corte, y lijado de bordes de las piezas con forma ergonómica.
3. Limpieza de todas las piezas para aplicar pegamento con ayuda de un cepillo.
4. Pegado de las bases de la plantilla mediante un pegamento especial.
5. Unión de la suela a la estructura del dispositivo.

La distribución del montaje se explica a continuación:

En primer lugar, se pondrán los componentes necesarios para el almacenamiento y transmisión de los datos para posteriormente enviarlos al ordenador donde serán interpretados por el podólogo.

Seguidamente se aísla esa parte colocándole encima un patrón con la forma de la plantilla. De esta forma, se evita que los componentes electrónicos puedan sufrir cualquier deterioro, ya sea por infiltración del sudor o por el impacto de la pisada. En la siguiente lámina se colocan los sensores de presión.

Por último, se muestra **el sistema y funcionamiento de la plantilla.**

#### **8.3.1 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

Para realizar la solución mostrada previamente, es necesario conocer las características del sistema electrónico.

El dispositivo consta de una plantilla de detección portátil que captura continuamente el movimiento. Es decir, los datos atemporales relacionados con la marcha y el equilibrio del pie: tiempo de zancada, el tiempo de soporte, tiempo de giro, cadencia, longitud de zancada, velocidad de marcha, y los valores máximos de presión en talón y puntera. (Ming, et. al., 2015).

Por otra parte, se cuenta con una gran base de datos que guardará el registro de los datos mencionados anteriormente, durante 24 horas. Es decir, cada día se elabora como una copia de seguridad que cada día se envía por bluetooth al ordenador.

### 8.3.1.1 Definición de los componentes y de las fases del proceso

Para que los sensores de presión registren datos y se almacenen en la base de datos se tiene un algoritmo de detección del peso del pie al caminar. Luego, desde el punto de vista de los componentes y la arquitectura relacionada, el sistema consta de:

- Un par de plantilla electrónicas aisladas eléctricamente, que se recargan mediante tecnología inalámbrica utilizando el estándar Qi y con tecnología Bluetooth de baja energía. (versión Bluetooth 4.0)
- Un smartphone que almacena datos de forma local y los envía al servidor principal para su gestión.
- Por último, se cuenta con un servidor que contiene la herramienta de análisis de la marcha y las correspondientes funciones administrativas.

Tal y como se ha dicho todos los componentes empleados en la parte electrónica son aquellos que permitirán medir los parámetros implicados en la pisada. Éstos son:

- Giroscopio y acelerómetro, que son sensores inerciales para la medición espacial y temporal.
- MCU controlar la gestión de datos.
- El sistema en chip que incluye el microprocesador y el bluetooth.
- Batería de iones de litio.
- Antena de cable de 30 mm bluetooth de 2.4 GHz para comunicación de corto alcance.
- Memoria para almacenamiento de datos local.

El patrón intermedio de la plantilla está compuesto por 16 sensores de presión que se encuentran integrados en un circuito impreso, interconectado a las capas de electrónica.

Los datos de los sensores de presión se envían de forma inalámbrica al teléfono mediante bluetooth en el que se almacenan durante 24 horas, antes de enviarlo a un servidor que los distribuye a las instancias de la herramienta de análisis de la marcha para el posterior análisis llevado a cabo por el especialista. Éste podrá analizar los datos de la herramienta de análisis de la marcha con la ayuda de algoritmos integrados. (Talavera et. al., 2015)

Por tanto, se ha propuesta la realización de un estudio, donde se analicen las características del paciente. De esta forma, se consigue determinar las frecuencias exactas que condicionan los sensores. Luego, se utilizará una ecuación que medirá el nivel de presión de un paciente.

#### Fase inicial.

En primer lugar, se determina el perfil del paciente, es decir el género y la edad, así como el tiempo desde que el paciente tiene una molestia al caminar, y el uso de órtesis. Se estudiará el tipo de molestia en los pies, el grado de severidad de pronación y supinación, mediante el análisis de la pisada.

### Fase intermedia.

Una vez que se tiene el perfil del paciente y la determinación de su estado, se procede al estudio biomecánico de la pisada, en el que estarán presentes el podólogo y el paciente. En esta etapa se explicará la manera de recopilar datos y la forma de clasificarlos para su posterior análisis. Posteriormente, se analizan los datos obtenidos mediante los siguientes pasos:

1. Análisis individual en tiempo real de la presión en las plantillas con el software Processing 2.0
2. Recopilación de la información y estudio de las graficas
3. Conversión de los datos a formato .txt.
4. Exportación de los datos.
5. Agrupación de los datos en un rango de bandas de frecuencia
6. Realización de un gráfico explicativo de las bandas
7. Recopilación de gráficos
8. Análisis de los gráficos
9. Obtención de los coeficientes
10. Comprobación de las constantes de la ecuación
11. Selección de las frecuencias que tienen mayor efecto en la pisada
12. Determinación de frecuencias para cada pie
13. Consecución de los coeficientes de cada frecuencia
14. Elaboración de tabla conjunta explicativa
15. Comprobación de la funcionalidad de los cambios
16. Prueba con el paciente

### Fase final.

Finalizado el proceso de análisis de datos, se consigue una serie de respuestas respecto al estudio realizado. Luego, estas respuestas serán las que determinarán la fase final del proceso.

#### *8.3.1.2 Análisis y resolución*

Fase 1: Análisis del paciente.

Es necesario para el desarrollo del proyecto. Tal y como se ha explicado previamente se ha tomado como referencia a la autora del proyecto.

Perfil usuario	
<b>Edad</b>	23 años
<b>Sexo</b>	Mujer
<b>Tipo de problema</b>	Sobrepronación lateral derecho y supinación en el lateral izquierdo
<b>Tiempo de uso de dispositivos plantares</b>	Hace 7 años
<b>Aparición del problema</b>	Hace 11 años
<b>Tipo de órtesis empleadas</b>	Plantillas personalizadas

Tabla 23. Perfil usuario

El sistema electrónico está regido por las bases de datos que reflejan los diagramas durante la fase de estudio de biomecánica. En las siguientes imágenes se muestra los distintos factores que afectan a la biomecánica del pie de un paciente.

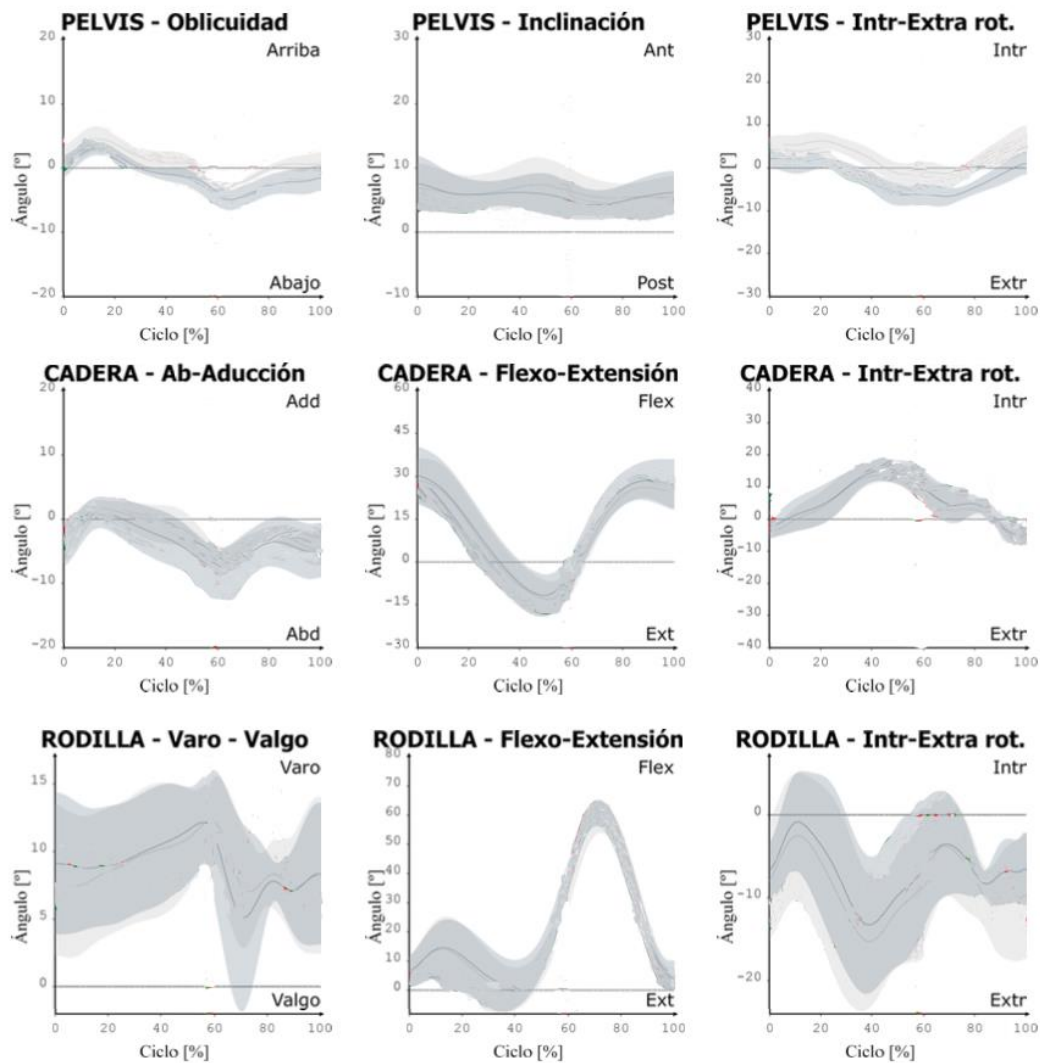


Figura 57. Gráfico de las posiciones angulares durante la marcha

En un análisis de marcha, se estudian las posiciones angulares de los segmentos en cada uno de los planos: sagital, frontal y horizontal. Para las articulaciones de rodilla y tobillo estos movimientos en cada plano se conocen como flexo/extensión, abducción/aducción y rotación interna/externa. En la pelvis se llaman inclinación, oblicuidad y rotación interna y externa. Para el tobillo, dorso/plantiflexión y progresión del pie. En la figura 8.3.1.2b se muestran los valores de referencia (franja gris) para el ciclo de marcha.

El muestreo de las señales analógicas se realizan a una frecuencia de 1,2 kHz. Sin embargo, el filtrado de paso y de muestreo desciende a un rango de 100 Hz. Por tanto, se realiza una conversión de voltaje de la señal de salida de cada sensor en función de la curva de caracterización.

Para el cálculo de las coordenadas se utilizó la siguiente ecuación en la que la tensión de salida se convirtió en una fuerza:

Tensión de salida	Ecuación
	$F_i = 0 \text{ N, if } v_i > -0.02 \text{ V}$

Tabla 24. Conversión de la tensión de salida en una fuerza

Coordenadas espaciales del sensor	Ecuaciones
Siendo x e y las coordenadas espaciales de cada sensor. El número 16 corresponde con la cantidad de sensores que se emplean en el diseño. Los ejes x e y identifican respectivamente las direcciones de la planta del pie medial-lateral y antero-posterior. La coordenada se extiende desde 0 mm, cuando está debajo del dedo del pie, hasta 250 mm, cuando está debajo del talón.	$\begin{cases} vGRF = \sum_{i=1}^{16} F_i \\ CoP_x = \sum_{i=1}^{16} F_i \cdot x_i / vGRF \\ CoP_y = \sum_{i=1}^{16} F_i \cdot y_i / vGRF \end{cases}$

Tabla 25. Coordenadas espaciales del sensor

Para identificar la curva de tensión de fuerza para cada sensor es necesario aplicar una deformación con un valor entre 0 a 1.5 mm con una velocidad de carga de 5 mm / min.

Una vez que se tienen los datos de cada sensor se ajustan mediante la suma de dos funciones exponenciales y se consigue el siguiente resultado. (Vitiello et. Al., 2014)

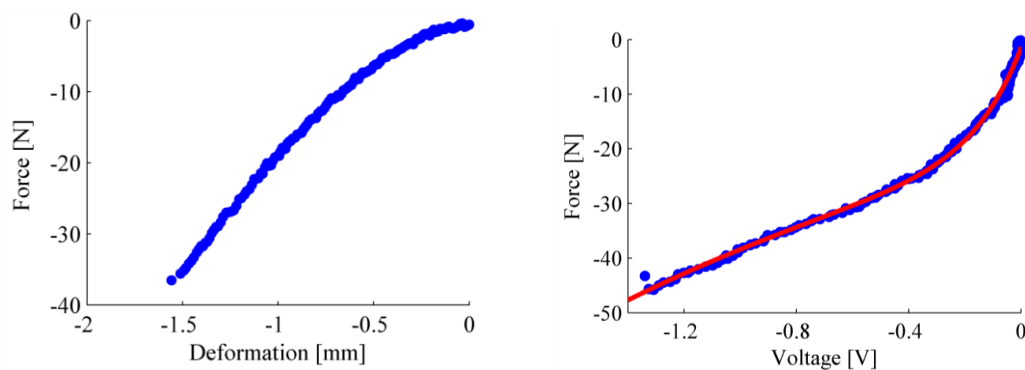


Figura 58. Fuerza a deformación y curva de tensión

#### Registro de datos.

A través de la interfaz gráfica de usuario desarrollada, el dispositivo tiene la capacidad de iniciar o detener la adquisición de datos para compensar voltajes. También permite ejecutar una segmentación de la marcha en tiempo real. Las variables biomecánicas recopiladas se usan para identificar las siguientes fases de la marcha según el “modelo de Perry y Davids”.

**Posición 1.** Empieza con el golpe de talón termina cuando el peso corporal se alinea con el antepié.

**Posición 2.** Período final de contacto con el pie durante la fase de postura de la marcha, precedido por la carga en el antepié y seguido por la fase de balanceo.

**Posición 3.** Se denomina Swing (SW). Comienza con la puntera y termina con el golpe de talón.

*Transmisión de datos.*

Se consigue mediante estas ecuaciones:

Algoritmo de segmentación	Ecuación
	$CoP_x = CoP_y = NaN \rightarrow \text{phase: SW}$ $vGRF \leq -20 \text{ N and } CoP_y > 125 \text{ mm} \rightarrow \text{phase: 1}$ $vGRF \leq -20 \text{ N and } CoP_y \leq 125 \text{ mm} \rightarrow \text{phase: 2}$

Tabla 26. Algoritmo de segmentación

*Análisis de datos.*

Para cada pie, la duración de la fase de la postura se calculó sumando la duración de las fases que se dan durante la posición 1 y 2.  $\Delta t_{LST}$  para el pie izquierdo y  $\Delta t_{RST}$  para el pie derecho. La duración de la fase Swing fue igual a la fase SW.

Tipo de cadencia	Ecuación
Cadencia derecha	$C_R = 1/(\Delta t_{ST}^R + \Delta t_{SW}^R)$
Cadencia izquierda	$C_L = 1/(\Delta t_{ST}^L + \Delta t_{SW}^L)$

Tabla 27. Ecuación para calcular la cadencia

A continuación, se muestran una serie de gráficos que muestran los parámetros que se dan durante la marcha. En este caso se trata de un sujeto caminando sobre una plataforma de presiones.

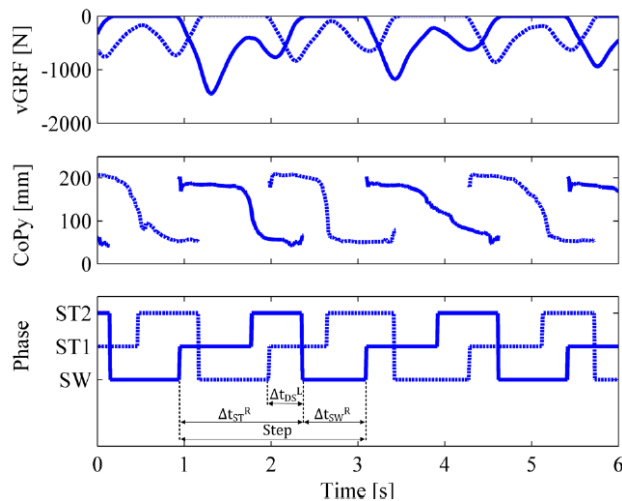


Figura 59. Extracción de los parámetros de la marcha

Se puede ver en los gráficos inferiores los resultados de las distintas fases de la marcha con los pies izquierdo y derecho.

*Procesamiento de datos.*

Una vez que se tienen los datos se realiza una comparación con los datos registrados por la plataforma de presiones y con los datos medidos con la plantilla. De esta forma se calcula

el promedio de las velocidades lentas y normales. Esta comparación se llevó a cabo mediante el error cuadrático medio normalizado y el coeficiente de correlación de Pearson.

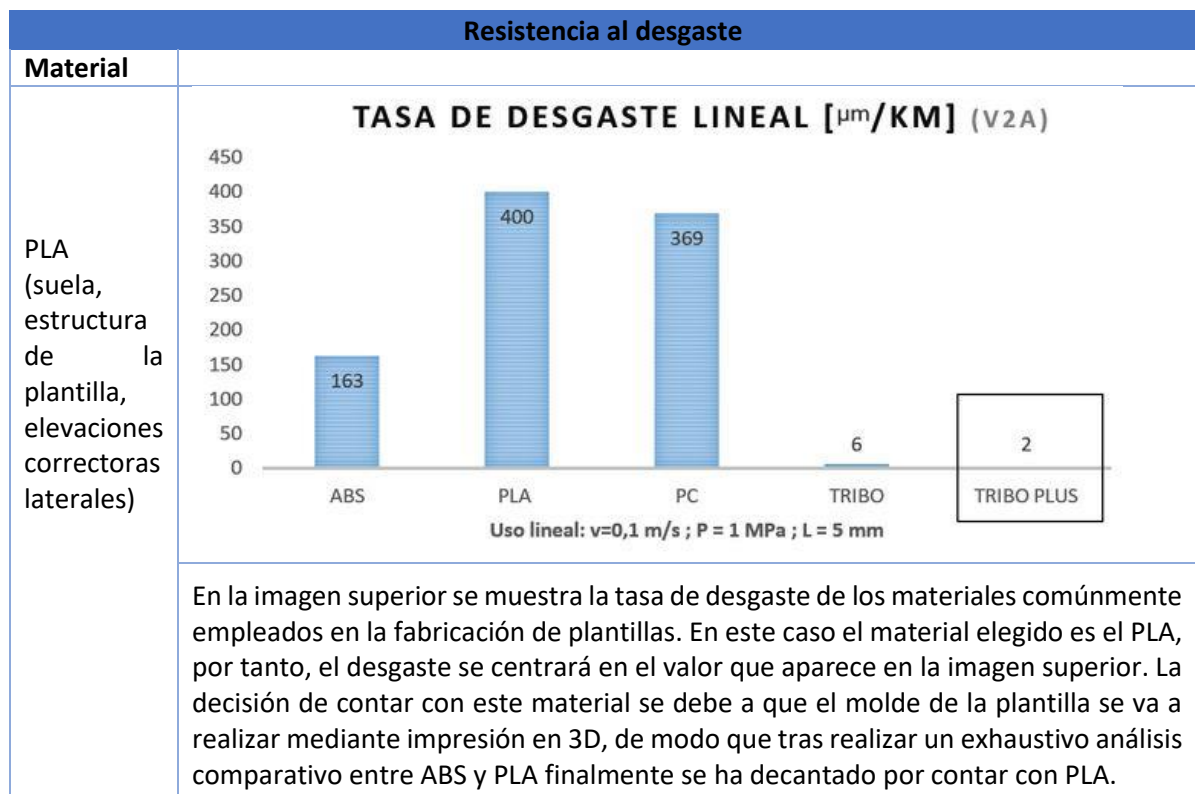
Posteriormente se calcula el error medio absoluto entre la fase de postura (plataforma de presiones y plantilla) y el parámetro de marcha temporal.

La tecnología de detección no necesita amplificadores, por lo que los componentes electrónicos de acondicionamiento no son pesados y pueden ubicarse en el zapato, y el sujeto no tiene necesidad de usar ningún cinturón instrumentado.

En segundo lugar, el sistema no necesita calibraciones repetidas durante adquisiciones de larga duración, ya que ésta se realiza solo una vez en la vida útil de la plantilla sensible a la presión y, como consecuencia, el sistema es fácil de usar. (Donati et. al., 2013)

### 8.3.1.3 Materiales y análisis

En este apartado se mostrarán una serie de tablas en las que se puede ver la resistencia al desgaste por uso de los materiales incluidos en la fabricación de la plantilla. Principalmente se realizará el análisis sobre dos materiales, ya que la estructura de la plantilla junto con las elevaciones correctoras están fabricadas con PLA y el otro material a tener en cuenta es el de la esponja para el tratamiento de la fascitis plantar.





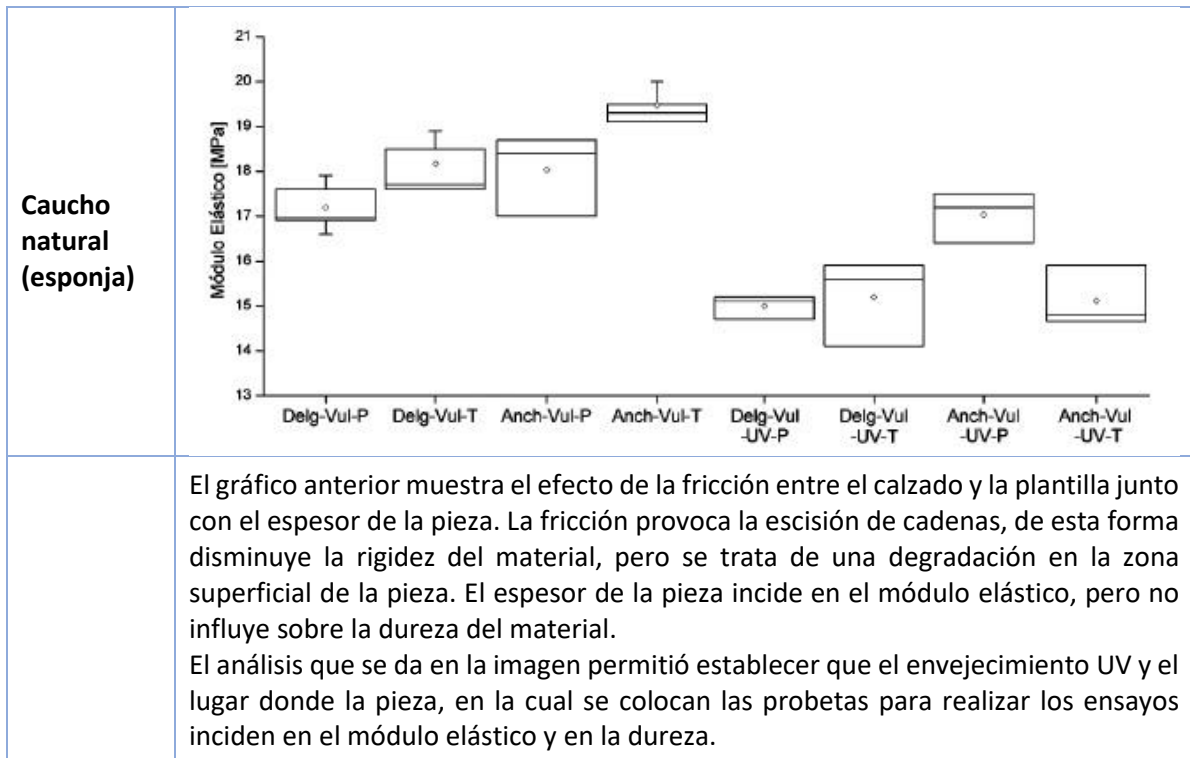


Tabla 28. Resistencia al desgaste

## 8.4 PLAN DE PROMOCIÓN Y LANZAMIENTO

Es importante que, llegado el momento de lanzar el producto al mercado, éste tenga una marca propia que lo identifique. De esta manera, se conseguirá posicionarlo dentro del mercado.

En el siguiente apartado, se creará una identidad visual corporativa, constituida por un naming que comunique los valores del producto y un logotipo.

### 8.4.1 PÚBLICO OBJETIVO DEL PRODUCTO

El público al que se dirige el proyecto son profesionales de la sanidad, tales como podólogos y expertos en la fisiología del pie. Como el campo al que se enfoca el producto es el de personas cualificadas en el entorno de la salud, hay que hacer que el diseño cumpla con los requisitos, sin valorar tanto la estética final que tenga el producto.

### 8.4.2 NAMING DEL PRODUCTO

Para comenzar en este apartado se ha realizado un proceso de brainstorming (Anexo Plan de promoción y lanzamiento), en el que se colocan ideas relacionadas al producto, hasta llegar a un punto de inflexión. A partir de aquí, se elegirá un nombre que sea adecuado y refleje la esencia y el carácter del diseño.

e-wellness

### 8.4.3 LOGOTIPO

Para el logotipo, se ha utilizado una tipografía San Serif, debido a la sencillez, claridad y elegancia que proporciona.



Figura 60. Logotipo final

### 8.4.4 COLOR



**C:** 56%    **R:** 60  
**M:** 0%    **G:** 227  
**Y:** 71%    **B:** 106  
**K:** 0%



**C:** 50%    **R:** 96  
**M:** 59%    **G:** 72  
**Y:** 35%    **B:** 85  
**K:** 42%



**C:** 63%    **R:** 80  
**M:** 50%    **G:** 81  
**Y:** 29%    **B:** 99  
**K:** 39%

### 8.4.5 VERSIÓN EN POSITIVO Y NEGATIVO

Versión en positivo



Figura 61. Logotipo

Versión en negativo



Figura 62. Logotipo versión negativo

#### 8.4.6 TIPOGRAFÍA

##### **Expansiva**

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ

Abcdefghijklmnñopqrstuvwxyz

#### 8.4.7 FORMATOS DE REPRODUCCIÓN

Para una correcta visualización y legibilidad del logotipo se desaconseja su reproducción a un tamaño mínimo de 10x20 mm.



#### 8.5 PROMOCIÓN DEL PRODUCTO

De acuerdo con la marca diseñada se realiza un plan de promoción del producto. Tras realizar una búsqueda de empresas que ofrecen productos relacionados, se han sacado las siguientes conclusiones:

- I. Creación de páginas web.
- II. Catálogos.
- III. Anuncios televisivos.

Para lanzar el producto al mayor número posible de personas se repartirán una serie de catálogos específicos con los productos de la empresa.

##### ***Página web.***

Se tiene acceso a toda la información relacionada con la empresa y sus productos. La información se encuentra detallada y ordenada para ofrecer una visión atractiva y útil para el cliente.

Los servicios que puede consultar el cliente pueden ser:

- Visualización de los productos y sus características.
- Descarga de catálogos y tarjetas.
- Acceso al blog, donde se pueden consultar novedades, productos...



Figura 63. Ejemplo página web

## 8.6 VIABILIDAD DEL PRODUCTO

Por otra parte, también se estudiará la viabilidad del producto. Es decir, se verá la parte técnica, económica y legal para que el proyecto sea factible.

### 8.6.1 VIABILIDAD TÉCNICA

Se tendrá en cuenta que todos los componentes que formen el producto final sean fáciles de fabricar, y no necesiten demasiados procesos de montaje. Por otra parte, se utilizarán piezas estandarizadas que no requieran de procesos de fabricación especiales para su obtención.

Por último, se debe conseguir el producto sin que lo constituyan demasiadas piezas.

### 8.6.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

Se conseguirá que el proyecto sea admisible analizando todos los elementos que conforman el diseño. De esta forma, se podrá cuantificar cada elemento, buscando la manera de reducir costes. El claro ejemplo de esto sería añadiendo piezas estándar siempre que sea posible.

Como se ha dicho anteriormente, el rango de precios de los productos examinados depende de la función y los componentes que lo conforman. Aunque se intentará que el precio final de nuestro producto sea aproximadamente el que se encuentra en el rango de precios estipulado.

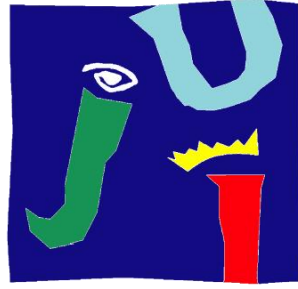
### **8.6.3 VIABILIDAD LEGAL Y LABORAL**

Se elaborará un producto que sea viable, de forma legal. Es decir, que debe cumplir la normativa específica vigente. Para ello se seguirán ciertas pautas, marcadas para desarrollar un producto correcto, en calidades, medidas, resistencia, higiene, etc.

Aunque también se debe atender a la normativa específica del producto, pero también de los materiales o elementos que lo componen. Finalmente se presenta el tiempo de recuperación de la inversión económica.

El producto empezará a producir beneficios a los años por lo que una vez que ha pasado este tiempo la inversión realizada estará cubierta y se pueden destinar los beneficios para mejoras.





**UNIVERSITAT  
JAUME I**

Escola Superior de Tecnologia I Ciències Experimentals  
Universitat Jaume I

# **ANEXOS**

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y  
desarrollo de productos





# ÍNDICE

<b>1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>97</b>
1.1 DEFINICIÓN DE ÓRTESIS .....	97
1.2 MÉTODOS CUANTITATIVOS .....	97
1.2.1 Huella plantar .....	97
1.3 BIOMECÁNICA DEL PIE .....	98
1.3.1 Estudio de la pisada .....	100
1.3.2 Estudio realizado para pisada pronadora .....	101
<b>2. ENTREVISTA.....</b>	<b>109</b>
2.1 DATOS DE LAS ENTREVISTAS.....	109
<b>3. DISEÑO DE DETALLE.....</b>	<b>120</b>
3.1 PARÁMETROS DIMENSIONALES DEL PIE .....	120
3.1.1 MEDIDAS LONGITUDINALES DEL PIE EN CARGA.....	121
3.1.2 MEDIDAS LONGITUDINALES CON EL PIE EN DESCARGA .....	122
3.1.3 MEDIDAS DE CONTORNOS SOBRE EL PIE.....	122
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA BIOMECÁNICA DEL PIE.....	123
3.3 MEDIDAS DE LAS SUPERFICIES DE LA PLANTILLA .....	125
3.4 PERÍMETRO ALREDEDOR DE LAS ARTICULACIONES .....	126
3.5 Fuerzas de impacto en la pisada .....	127
3.6 Material de la suela .....	131
3.7 Geometría de la suela.....	131
3.8 Grosor de la suela .....	134
<b>4. MATERIALES Y COMPONENTES EMPLEADOS .....</b>	<b>134</b>
4.1 Sensores de medición.....	134
4.2 Receptores de la información .....	137
4.3 Transmisión y envío de datos.....	137
4.4 MICROCONTROLADORES .....	139
4.5 Materiales para la fabricación .....	145
4.6 Modos de impresión 3D .....	150
4.6.1 Tecnologías de impresión.....	151
<b>5. TECNOLOGÍA EN ANÁLISIS DE PARÁMETROS.....</b>	<b>152</b>
5.1 Análisis de movimiento basado en tecnología inercial.....	152
5.2 Análisis basado en tecnología óptica .....	153
5.3 Sistemas EMG inalámbricos o cableados.....	153

5.4 Biofeedback .....	153
5.4.1 Tipos de Biofeedback.....	153
5.5 Software de análisis y tratamiento de datos biomecánicos .....	154
<b>6. PLAN DE PROMOCIÓN Y LANZAMIENTO.....</b>	<b>154</b>
6.1 SLOGAN.....	155
6.1.2 Tipografías .....	155
6.2 LOGOTIPO .....	155
6.2.1 Ideas previas .....	156
6.2.2 Selección del logotipo.....	156
6.2.3 Icono .....	157



## Índice de figuras

Imagen 1. Biomecánica del pie .....	98
Imagen 2. Línea de Helbing .....	99
Imagen 3. Altura dorso del pie .....	99
Imagen 4. Ángulo del arco y zonas del pie .....	99
Imagen 5. Estudio biomecánico pie izquierdo .....	101
Imagen 6. Estudio biomecánico pie derecho .....	102
Imagen 7. Gráfico fases de la marcha .....	105
Imagen 8. Gráfico fuerzas que se dan durante la marcha .....	106
Imagen 9. Reconocimiento y exploración física .....	113
Imagen 10. Podotec .....	113
Imagen 11. Funciones de Podotec .....	113
Imagen 12. Posiciones de los puntos referenciados del pie. ....	120
Imagen 13. Posición del pie al caminar .....	121
Imagen 14. Longitud y anchura del pie .....	122
Imagen 15. Contornos maléolos .....	122
Imagen 16. Movimientos del escafoides.....	123
Imagen 17. Ángulo del retropié .....	125
Imagen 18. Zonas del pie .....	125
Imagen 19. Contornos del pie .....	126
Imagen 20. Área del cuboide .....	127
Imagen 21. Índice de ataque del pie .....	128
Imagen 22. Ángulo articular en el impacto transitorio .....	128
Imagen 23. Índice medio de carga .....	129
Imagen 24. Suela indus .....	132
Imagen 25. Suela Balder y Dual.....	132
Imagen 26. Suela Ironman .....	132
Imagen 27. Suela Belice.....	132
Imagen 28. Suela Pemex .....	133
Imagen 29. Suela Duty, Alpino .....	133
Imagen 30. Suela Estrella Fórmula 14 .....	133
Imagen 31. Suela estrella inyectada.....	133
Imagen 32. Sensor de presión.....	135
Imagen 33. Sensor de rotación .....	135
Imagen 34. Sensor de aceleración .....	135
Imagen 35. Sensor de aceleración PE .....	135
Imagen 36. Sensor capacitivo.....	135
Imagen 37. Sensor OEM .....	135
Imagen 38. Sensor inductivo .....	135
Imagen 39. Sensor magnetostrictivo .....	135
Imagen 40. Extensómetro .....	135
Imagen 41. Sensor integrado .....	135
Imagen 42. Plantilla IEEs .....	136
Imagen 43. iShoe .....	136
Imagen 44. Motion Science.....	136
Imagen 45. Plantilla Moticon .....	136
Imagen 46. Funcionamiento Datalogger.....	137
Imagen 47. Microcontrolador A0F .....	139
Imagen 48. Microcontrolador A0.....	140
Imagen 49. Microcontrolador A1 .....	140
Imagen 50. Microcontrolador B1 .....	141

Imagen 51. Microcontrolador B1 Wan.....	141
Imagen 52. Microcontrolador C1 .....	142
Imagen 53. Microcontrolador C1 Mux.....	142
Imagen 54. Gateway BLE- GPRS.....	143
Imagen 55. Gateway BLE-WIFI .....	143
Imagen 56. Plantillas de EVA.....	145
Imagen 57. Esponja caucho.....	145
Imagen 58. Espuma Látex .....	146
Imagen 59. Poliuretano.....	146
Imagen 60. Fibra de carbono .....	147
Imagen 61. PLA.....	148
Imagen 62. ABS .....	148
Imagen 63. Nylon .....	148
Imagen 64. PA .....	148
Imagen 65. PC.....	148
Imagen 66. EVA .....	149
Imagen 67. PP.....	149
Imagen 68. Material Jetting .....	151
Imagen 69. Estereolitografía .....	151
Imagen 70. FDM .....	151
Imagen 71. Binder Jetting .....	151
Imagen 72. Impresión DLP .....	151
Imagen 73. Impresión SLS .....	152
Imagen 74. Logotipo final.....	157



# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## 1.1 DEFINICIÓN DE ÓRTESIS

Órtesis. Son dispositivos ortopédicos que se aplican para la corrección, descarga, alineación y de rotación de las extremidades inferiores. Pueden estar formados por aluminio, acero, termoplásticos y se fijan a la extremidad a través de hebillas y velcros.

### Clasificación:

Se clasifican teniendo en cuenta:

1.- El número de articulaciones que involucran.

- Cortas: Una articulación Ej. Corrector Equino
- Largas: Dos o más articulaciones Ej. Aparato Largo

2.- Si incluye una o ambas extremidades.

- Simple: Una extremidad Ej. Mono tutor Varo
- Dobles: Las dos extremidades Ej. Desrotador Tibial

3.- En dependencia de su acción.

- Pasivas: Controlan o tutorean de forma pasiva una corrección lograda. Ej. Tutor Valgo
- Activas: Corrigen la deformidad a través del movimiento. Ej. Corrector Varo
- De descarga: Inmovilizan y descargan una articulación afecta. Ej. Férula de Thomas.

## 1.2 MÉTODOS CUANTITATIVOS

Los métodos cuantitativos de evaluación de la biomecánica del pie, la huella plantar, suponen una ayuda en la identificación de las características morfológicas del pie. Por ello se abordan los aspectos anatómicos más relevantes de dicha estructura.

### 1.2.1 HUELLA PLANTAR

Este tipo de prueba permite analizar la estructura del pie, siendo el reflejo del estado de las estructuras anatómicas. Según la actividad física que se esté realizando, la huella puede variar tanto en su longitud como en su ensanchamiento tras la finalización del ejercicio. De esta manera, se produce lo siguiente:

- El incremento en la longitud de la huella plantar puede entenderse como el hundimiento del arco plantar.
- El peso del individuo influirá en la huella plantar.
- Personas que realizan actividades físicas mantienen un arco plantar más elevado frente a las personas sedentarias.

Existen distintos métodos de análisis de la huella plantar, tales como los que se presentan a continuación:

- I. Fotopodograma. Permite obtener registros válidos, duraderos y de alta calidad. El proceso para seguir es el siguiente. Se dibuja el contorno de la porción del pie que se apoya, aportando una buena impresión de la huella plantar. (Elvira y García 2008)
- II. Pedígrafo. Consiste en pisar sobre un dispositivo de goma, impregnado en tinta, bajo el cual hay un papel, que señala la huella plantar.
- III. Protocolo de Hernández Corvo. Permite tipificar el pie según las medidas obtenidas con la imagen de la huella plantar, dando como resultado seis posibilidades que abarcan desde el pie plano hasta el pie cavo extremo.

### 1.3 BIOMECÁNICA DEL PIE

Las investigaciones indican que los sujetos que presentan los pies más planos tienen una mayor tendencia a producir ángulos de pronación mayores, siendo éste un factor de riesgo, debido a que puede conllevar lesiones en el tren inferior.

Por otra parte, las personas con pies cavos tienen la propensión a padecer síndrome femoropatelar. (Martínez et. al., 2010)

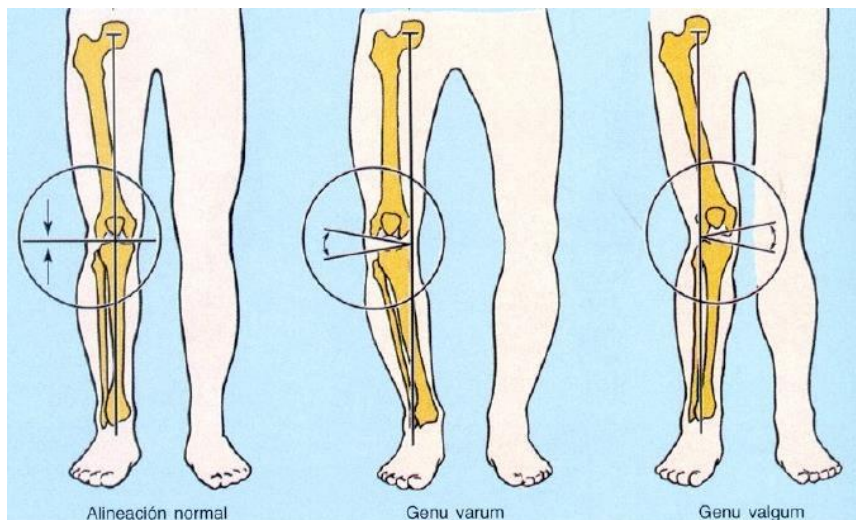


Imagen 1. Biomecánica del pie

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las patologías asociadas a la tipología de los pies están fundamentadas por el índice de masa corporal, el sexo y los patrones mecánicos alterados. Otro hecho a tener en cuenta son las presiones plantares. Dependiendo del tipo de pie que tengan los pacientes se repartirán de una forma u otra.

En los pies cavos se produce una mayor presión en la parte externa del retropié. Sin embargo, en los pies planos la zona de mayor presión es aquella situada en la parte interna del mediopié. Estos valores irán variando según los patrones normales de la carrera.



A continuación, se plantea una serie de ángulos que son necesarios para el análisis biomecánico del pie.

Ángulo tibio calcáneo.

Ángulo que forma el talón con el resto de la pierna. En este ángulo encontramos la “Línea de Helbing”, es una medición que mide el ángulo que forma el eje medio del gemelo y el eje medio del calcáneo.

En el caso de un adulto, la línea debería de formar un ángulo de 180º con una variación de 6º hacia dentro. Este fenómeno se denomina valgo fisiológico. Es decir, el talón se encuentra en estática influenciado por el peso corporal y la gravedad y se vuelca de forma fisiológica (de 0 a 6 grados). (Kirby, 2017)

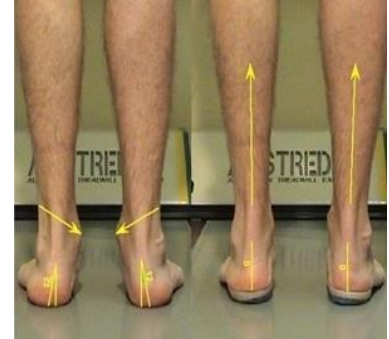


Imagen 2. Línea de Helbing

Altura del dorso del pie.

Es la longitud más alta del dorso del pie tomada al 50% de la longitud real del pie.

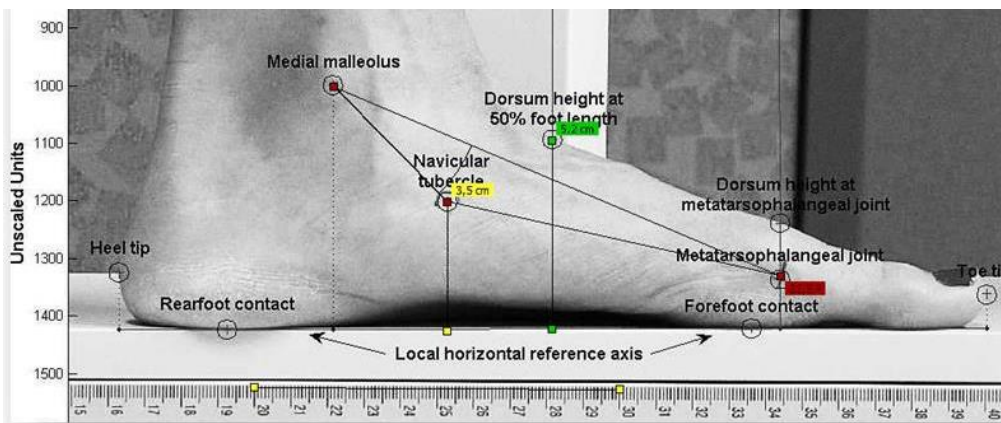


Imagen 3. Altura dorso del pie

Ángulo del arco longitudinal. Ángulo formado entre el maléolo tibial, la cabeza del primer metatarsiano y el navicular (arquetipo medial del pie). (Clarke 1933)

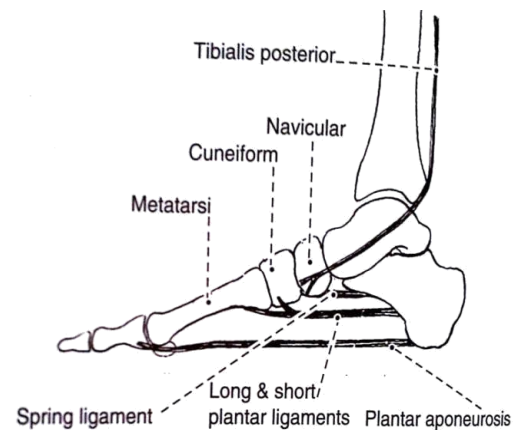


Imagen 4. Ángulo del arco y zonas del pie

### 1.3.1 ESTUDIO DE LA PISADA

Los profesionales encargados de realizar este tipo de pruebas son los podólogos. Los problemas derivados de una mala postura al andar provocan dolores de espaldas, cadera y un desgaste pronunciado en ciertas zonas del calzado, etc.

Con el producto presentado en este proyecto se pretende conseguir corregir la postura de la pisada al caminar, y prevenir el riesgo de lesiones que se producen al apoyar mal el pie. Como innovación las plantillas también incorporan una esponja situada en la fascia plantar para facilitar el amortiguamiento del pie y prevenir la aparición de la fascitis plantar. El estudio de la pisada se puede afrontar desde dos puntos de vista.

- Por un lado, de forma estática, que nos aporta información sobre los mecanismos de mantenimiento del equilibrio y la biomecánica del miembro inferior durante la marcha.
- Por otro lado, el estudio de la pisada de forma dinámica (andando o en carrera), que es muy importante desde el punto de vista de la prevención de lesiones y de la mejora de rendimiento.

La pisada se compone de una serie de fases que serán necesarias para conocer el análisis satisfactorio de la misma. (Martínez et. al., 2006)

Estos procedimientos son:

En primer lugar, se realiza una evaluación del paciente, en el que se procederá a una anamnesis para recopilar la información relevante, y conocer el inicio y la evaluación del problema. Posteriormente, se hace una exploración de los rangos de movilidad articular de caderas, rodillas, tobillos y pie. En tercer lugar, se realiza una valoración muscular por grupos en muslo, piernas y pies, evaluando el estado y potencia de los mismos.

El siguiente paso consiste en la evaluación estática, es decir, se miden los niveles de cintura escapular y pélvica, rangos de movilidad de caderas, rodillas, ovillos y demás problemas del pie, observando las posibles alteraciones que sufre el paciente. Además, se realiza el análisis dinámico de la marcha. Para esto utilizamos una serie de herramientas diagnósticas, necesarias para analizar el movimiento. Éstas son:

- I. Plataformas de presiones sincronizadas con cámaras
- II. Plantillas instrumentadas con sensores inerciales
- III. Electromiografía de superficie para conocer la actividad muscular
- IV. Fotogrametría tridimensional con cámaras VICON (se usan en análisis cinemático en estudios científicos)

Por último, una vez conocido el diagnóstico del paciente, se realiza un molde del pie, si es necesario, mediante un escáner tridimensional con diversas técnicas y en función de la patología a tratar, para diseñar y confeccionar las plantillas. (Lee & Wang, 2014).

### 1.3.2 ESTUDIO REALIZADO PARA PISADA PRONADORA

#### Exploración.

Pie cuadrado con ligera limitación de TPA<sup>1(7)</sup>.

Acortamiento del psoas ilíaco junto con dolor en la palpación. En camilla aparentemente la cadera izquierda es más baja y tiene una mayor limitación cuando se gira hacia fuera (rotación externa)

#### Test de cadera en bipedestación.

Hay movimiento de cadera izquierda, lo que nos indica un bloqueo en la misma.

Desviación de la espalda hacia la izquierda con hipomovilidad lumbar e hiperlordosis. Hay rotación externa de la cadera derecha y aparentemente la pierna izquierda más larga.

#### Biomecánica de la marcha.

Ángulo de Fick abiertopié ligeramente aplanado en carga, con más valgo del pie izquierdo, poca flexión de TPA y sobrecarga en radios centrales con 1º radio insuficiente. Ligero flexu y valgo de rodillas (+ izquierdo) hombro izquierdo más bajo.

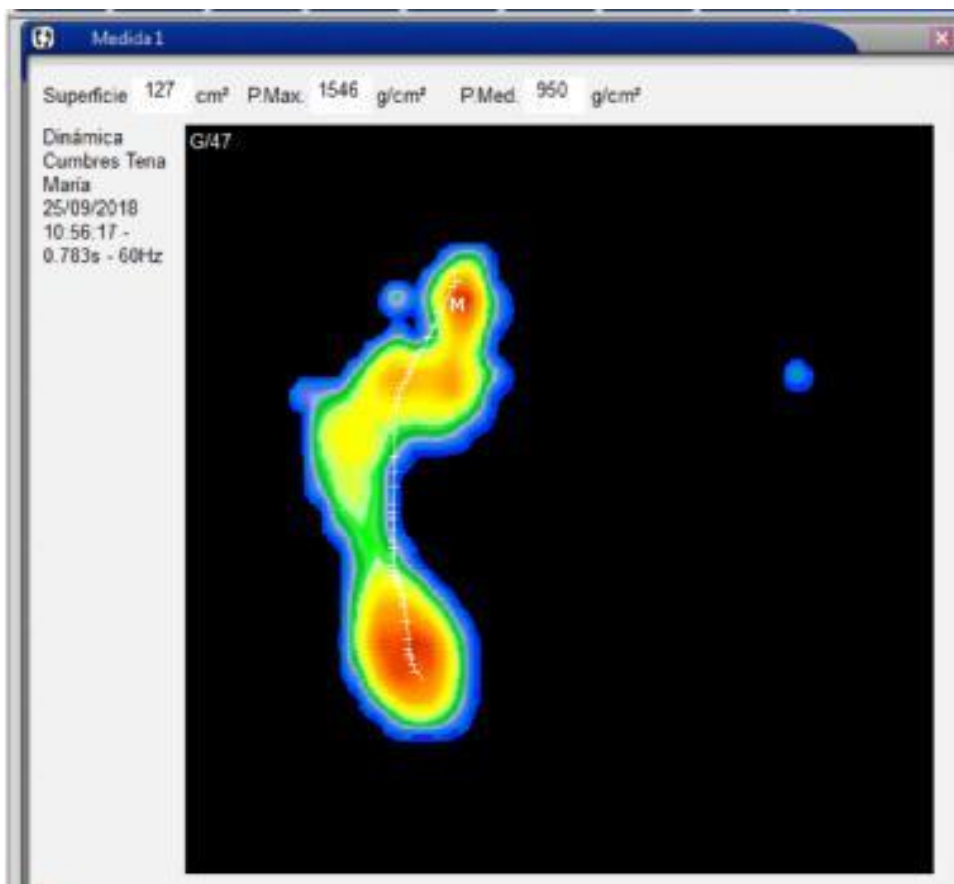


Imagen 5. Estudio biomecánico pie izquierdo

Huella pie izquierdo. Se aprecia la huella excavada con aumento de presión en la zona del talón y pulpejo del primer dedo (punto de máxima presión). La línea de la marcha hacia medial indica una pronación excesiva del pie.

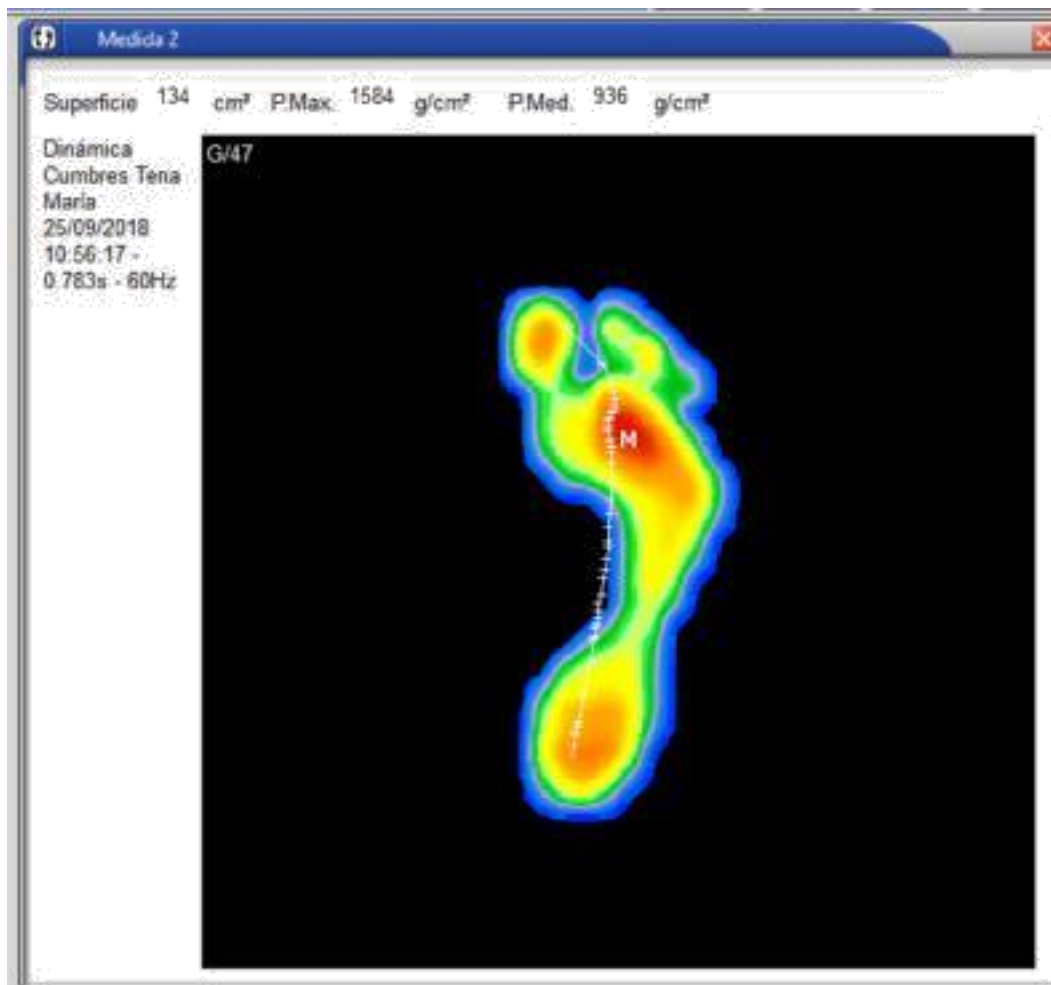


Imagen 6. Estudio biomecánico pie derecho

Huella pie derecho:

Huella excavada con aumento de presión en la zona metatarsal central, segunda o tercera cabeza (punto de máxima presión). Al igual que con el pie izquierdo se observa una pronación excesiva del pie. Una vez que se han realizado la exploración física y el estudio de la pisada se procede a la valoración y el método a seguir.

Diagnóstico.

Marcha en abducción y valgo primario.

Tratamiento.

Órtesis plantares.

Visita al fisioterapeuta-osteópata para la valoración de la cadera.

<sup>1(7)</sup> TPA: articulación tibio peronea

### **1.3 ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS SISTEMAS DE SENSORES PARA LA MONITORIZACIÓN DEL MOVIMIENTO AL ANDAR**

Los sensores adaptados, para analizar el movimiento al andar, ha incrementado su popularidad en las últimas dos décadas mediante la monitorización del movimiento. Desde el punto de vista biomecánico, hay dos razones principales para incorporar sensores en el calzado:

- La orientación y trayectoria puede ser obtenida utilizando sensores inerciales (Inertial Measurement Unit, IMU) que pueden ser utilizados en el análisis del andar y el reconocimiento de los modos de locomoción.
- La interfaz situada a nivel del pie/zapato y el suelo es la mejor localización para medir la distribución de la fuerza plantar y el centro o estimación de presión (Center of Pressure, CoP) que puede ser utilizado para el seguimiento de enfermedades, rehabilitación o clasificación de actividad.

Los sensores de resistencia de fuerza (Force Sensor Resistance, FSR) han sido desarrollados en aras de medir la fuerza plantar. Además, pueden ser integradas en el calzado mediante sensores extremadamente delgados (inferior a 0,5 mm). Esto ha permitido a los investigadores construir y validar prototipos para medir la actividad, postura y fuerza plantar para su uso en sistemas de seguimiento clínico y rehabilitación.

#### **Calzado y monitorización de la actividad física.**

El análisis de la clasificación y monitorización de la actividad está centrado en reconocer diferentes tipos de locomoción. El estudio de la presión plantar en la locomoción ha sido caracterizado en diferentes trabajos [Wervey et. Al 1997] [Zhang et. Al. 2005].

Además, técnicas de aprendizaje automático han sido empleados para el diseño de plantillas que miden la presión o combinado con otros sensores como 6D IMU.

También están los sistemas micro electromecánicos que han llevado a la miniaturización de sensores. Existen otros sensores que incluyen magnetómetros que permiten colocarse directamente en el cuerpo, recopilar datos de forma autónoma y transmitir la información en tiempo real [Pantelopoulos et. Al. 2010][Mukhopadhyay, 2015].

La detección de caídas utilizando sensores han sido investigados por [Tao et. Al., 2011], donde las señales a partir de 8 FSR bajo los pies, han sido usados para clasificar las caídas utilizando redes neuronales. Los umbrales de aceleración en los pies han sido utilizados para identificar caídas comparadas con la actividad de la vida diaria de tres sujetos llevando acelerómetros en el calzado, donde se evalúan las caídas (de forma simulada) con una sensibilidad del 81.5% [Sim et. Al. 2011].

También se pueden incorporar plantillas con sensores de presión para evaluar caídas mediante arboles de decisión alcanzando un 87% de sensibilidad y un 88% de precisión [Light et. Al., 2015].

En resumen, se puede decir que la clasificación de la actividad física mediante calzado instrumental permite la detección con una alta precisión de la actividad básica en la vida diaria, así como, de los tipos de locomoción (en plano, escaleras, rampas, etc.).

El manejo de técnicas de aprendizaje automático permite realizar estudios que monitoricen los hábitos en la población.

### **Calzado y análisis de la marcha.**

El análisis de la marcha permite incorporar parámetros espacio-temporales, características cinemáticas y cinéticas, así como, de la actividad muscular durante la locomoción.

Los parámetros temporales caracterizan diferentes fases del ciclo de la marcha incluyendo el tiempo de ciclo de la marcha (Gait Cycle Time, GCT) (empuje, giro, apoyo del pie, balanceo...). Las duraciones de cada fase son calculadas identificando eventos específicos durante la marcha:

- Contacto inicial (Initial Contact, IC)
- Apoyo del pie (Toe Off, TO)
- Contacto terminal (Terminal Contact, TC)
- Impacto del pie (Foot Strike, FS).

La información espacial y cinemática representa parámetros como la longitud de la zanjada y velocidad, espacio entre pies al andar, el ángulo de giro y el ángulo del pie en las fases del ciclo de la marcha. [Mariani et. Al., 2013]

Los autores utilizan medidas de aceleración y velocidad angular para evaluar las diferentes fases de la marcha comparando pacientes sanos con pacientes con artrosis de tobillo para detectar la enfermedad.

[Pappas et. Al., 2001] utiliza una combinación de FSR y medidas a través de un giroscopio para identificar los cuatro principales eventos de la marcha.

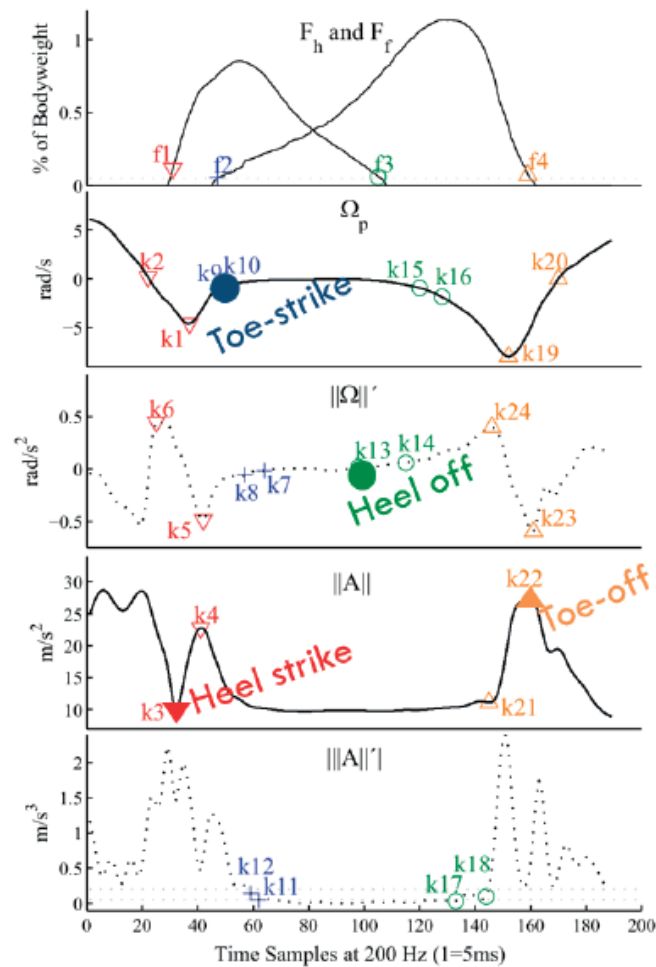


Imagen 7. Gráfico fases de la marcha

En definitiva, el calzado instrumentalizado ha sido utilizado para el análisis espacio-temporal de la marcha mediante la medición precisa de parámetros asociados a la marcha. En este caso, se aprovecha la información para medir el proceso de rehabilitación.

### Calzado y almacenamiento/medida de los centros de presión.

La presión plantar o sensores de fuerza están localizados dentro del calzado con el fin de realizar una estimación y reconstrucción del CoP durante diferentes actividades. La medición directa de la fuerza de reacción 3D del suelo (Ground Reaction Force, GRF) en el calzado ha sido estudiado utilizando un sensor triaxial piezoeléctrico para la medida relacionada con los esfuerzos durante el contacto pie-suelo en el ciclo de la marcha humana [Liedtke et. Al., 2007].

[Tao et. Al., 2016] obtiene errores similares al incorporar dos sensores piezoeléctricos colocados en la plantilla dentro del calzado. Un sistema con 5 sensores triaxiales piezoeléctricos localizados bajo el talón, arco lateral y puntera fueron validados para una medición 3D GRF con error cuadrático medio inferior al 10% y un CoP con  $1.4 \pm 0.2\%$  de error cuadrático medio [Liu, et. Al., 2010].

[Forner Cordero et. Al., 2004] emplearon el CoP y la medición de fuerza con Pedar Insoles para estimar la fuerza de reacción 3D del suelo (3D GRF) obteniendo un error en la medición relativamente bajo. En el siguiente caso, se ha utilizado una plantilla de presión junto con la IMU para medir las fuerzas GRF y tobillo. Como se puede apreciar en rojo se muestra los sensores en movimiento, en negro con el sistema en estacionario y en la franja de color rojo se presenta los valores para los pacientes sin ningún tipo de patología.

La actividad electrónica se corresponde con la progresiva supinación del pie durante la marcha, donde existe una relación anatómica funcional entre la musculatura intrínseca, la articulación subastragalina y la mediotarsiana durante la fase de apoyo, y la propulsión en la marcha.

El patrón cinemático de los segmentos está en función del morfotipo del individuo, de su nivel técnico y de la especialidad deportiva. De forma general, la gráfica muestra una flexión progresiva y tiene una relación directa con la duración de esta fase, de manera que un menor movimiento articular disminuye la duración del apoyo y el impacto contra el suelo se repartirá sobre un menor periodo de tiempo.

Existen una gran variedad de sistemas de medición de presiones. Sin embargo, en este caso se estudiarán los sistemas de plataforma y los sistemas en el zapato.

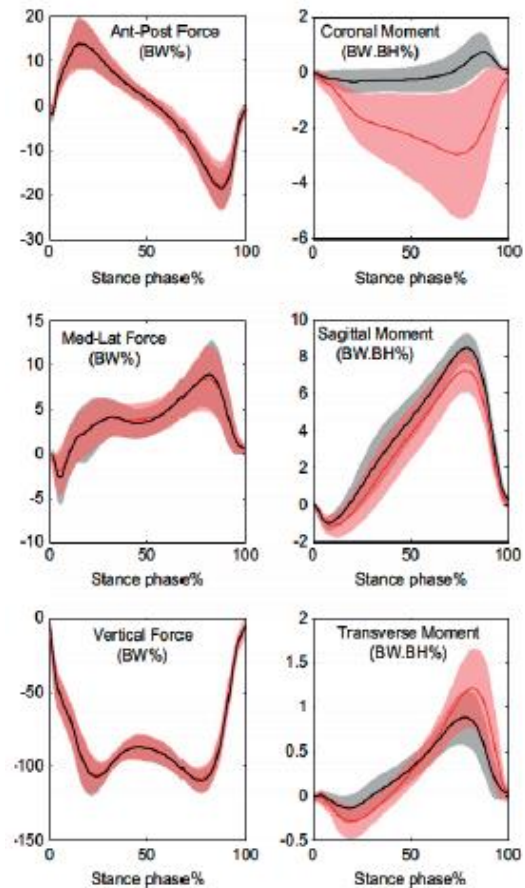


Imagen 8. Gráfico fuerzas que se dan durante la marcha

- Plataformas de presiones.

Los sensores de presión se encuentran dispuestos en forma de matriz. Se utilizan tanto para estudios estáticos como dinámicos. Presenta una serie de inconvenientes que se muestran a continuación:

- El paciente necesita familiarizarse para garantizar una marcha natural.
  - El espacio es limitado, y solo puede ser utilizado en ambientes interiores.
  - Capacidad del paciente para hacer contacto con la plataforma.
- Sensores para calzado

Se encuentran integrados en el zapato, de modo que las medidas reflejan la interfaz entre el pie y el zapato. El sistema es flexible, por tanto, es portátil. De esta forma se consigue una mayor variedad de estudios con diferentes tareas de marcha. Una limitación es que la resolución espacial de los datos es menor en comparación con los sistemas empleados en las plataformas de presiones, debido al menor número de sensores.



Seguidamente en el apartado *Materiales y componentes* empleados se mostrarán en forma de tabla los distintos sensores que se emplean para medir las aplicaciones descritas anteriormente. En resumen, la medición de la presión bajo el pie permite la monitorización respecto a la medición de la fuerza sobre un plato estacionario (plataforma utilizada por el podólogo). Sistemas con una malla densa de sensores introduce restricciones que no permiten su uso en la vida diaria. Por otro lado, un bajo número de sensores colocados en lugares específicos permite una mejor elección a nivel de aplicación.

El objetivo del proyecto se ha centrado en una patología concreta, en este caso, la fascitis plantar. Para ello es necesario conocer el problema en profundidad. En primer lugar, se mostrarán las causas que desencadena esta patología.

Causas	Factores
<b>Idiopática</b>	La causa no se conoce, es posible que sea multifactorial.
<b>Mecánica</b>	Se debe a: Permanecer largos periodos de tiempo en bipedestación. Soportar grandes cargas de peso. Micro traumas de repetición debidos a una gran intensidad.
<b>Anatómica</b>	Se dan principalmente dos factores: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los diversos tipos de pie. Pie varo, equino, plano y cavo.</li> <li>• Obesidad.</li> </ul>
<b>Biomecánica</b>	Producidas por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trastornos biomecánicos del pie.</li> <li>• Disminución de la dorsiflexión del tobillo.</li> <li>• Exceso de pronación mantenida en el pie.</li> </ul>
<b>Tisular</b>	Cambios degenerativos del tejido adiposo en el talón. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución progresiva de colágeno, agua y elasticidad de la AP.</li> <li>• Disminución de la fuerza de los músculos intrínsecos.</li> <li>• Disminución de la regeneración tisular</li> </ul>
<b>Extrínseca</b>	Superficies duras Calzado inadecuado

Causas de la fascitis plantar

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, los sensores que caracterizan de forma más adecuada la patología de la fascitis plantar son los de presión. Esto es debido a que durante las fases de la pisada hay ciertas zonas donde se producen valores cercanos a la presión máxima, que estresan al pie.

También se tendrá en cuenta la longitud del ligamento de Spring (ligamento calcáneo-astrágalo-escafoideo), ya que representa una de las estructuras más importantes a la hora de mantener la integridad del ALI (arco longitudinal interno) del pie.

Durante un estudio llevado a cabo con pacientes sin ninguna patología y otros con fascitis plantar, se demostró que la longitud de la línea de archa y la línea de apoyo única disminuyeron.

Los pacientes con fascitis plantar bilateral muestran una presión máxima ligeramente superior sobre el talón y el antepié durante la fase de la marcha del arco. Por tanto, la diferencia entre paciente sano y sujeto con fascitis plantar es observar los puntos de presión máxima previamente descritos. (Yoo, 2017)

Por otra parte, las presiones de contacto y los patrones de distribución de presión en ambos pies para cada sujeto se midieron mientras estaban de pie. Se realizan varias mediciones con ortesis personalizadas.

El lado asintomático se utiliza como control. Posteriormente se comparan las mediciones de presión de los pies sintomáticos y asintomáticos y la relación de potencia del patrón de distribución de presión. Los resultados mostraron que en el lado asintomático la presión de contacto fue mayor debido a la desigual distribución del peso.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que el empleo de ortesis personalizadas y prefabricadas redujeron las fuerzas máximas de la parte posterior del pie en ambos lados. Ambos tratamientos son útiles para distribuir la presión de forma uniforme sobre la zona del retropié. (Chia,2009)

## **2. ENTREVISTA**

En este apartado se verán una serie de cuestiones que se realizaron a los profesionales durante las entrevistas.

- 1. ¿Cada cuánto es necesario visitar a un profesional médico que se encargue del estado de nuestros pies?**
- 2. ¿Cuál es el método que sigue para analizar las patologías que presentan los pacientes en los pies?**
- 3. ¿Tienen una difícil recuperación las lesiones del pie?**
- 4. ¿Influyen los diferentes tipos de calzado empleados en las distintas actividades que realizamos cada día en la pisada?**
- 5. ¿Cuáles son las consecuencias de caminar con la pisada pronadora? ¿Y supinadora?**
- 6. ¿Qué efecto produce caminar con sobrecargas en el pie?**
- 7. ¿Qué herramientas recomienda para corregir las posturas de los pies al andar?**
- 8. ¿Qué tipo de pruebas realiza para analizar los parámetros que influyen en la pisada?**
- 9. ¿Qué ha aportado y puede aportar la tecnología y la biotecnología a la salud de los pies?**
- 10. ¿Es adecuado y factible el uso de sensores en las plantillas?**
- 11. ¿Qué tipo de sensores son útiles para el análisis de la pisada?**
- 12. Una vez que se conocen los sensores que tienen las plantillas instrumentadas. ¿Cuál cree que es el mejor método para la adquisición y envío de datos?**
- 13. ¿Cómo deberían incorporarse los sensores a la plantilla?**
- 14. ¿Cuáles deberían ser los protocolos de actuación del paciente para que los datos resulten útiles?**

### **2.1 DATOS DE LAS ENTREVISTAS**

En el siguiente apartado se mostrarán de forma completa las entrevistas que se llevaron a cabo.

**1. ¿Cada cuánto es necesario visitar a un profesional médico que se encargue del estado de nuestros pies?**

Al menos una vez en la vida, se debería de ir a una clínica podológica suficientemente dotada para hacernos un estudio mecánico y ver cómo pisamos.

**2. ¿Cuál es el método que sigue para analizar las patologías que presentan los pacientes en los pies?**

En primer lugar, se realiza una exploración física del pie, comprobando las distintas zonas de dolor que experimenta el paciente. Posteriormente se observa las distancias de la cadera izquierda y derecha para ver el efecto que tiene el tipo de la pisada que tenemos.

**3. ¿Tienen una difícil recuperación las lesiones del pie?**

Las lesiones el pie se complican porque en cuanto caminas normal ya estás cargando sobre ellos dos veces tu peso, no son lo mismo que las lesiones en otras partes del cuerpo.

**4. ¿Influyen los diferentes tipos de calzado empleados en las distintas actividades que realizamos cada día en la pisada?**

Claro que influye.

Aconsejaría vigilar el calzado deportivo y el de calle. Siempre digo que es mejor tener un par de zapatos buenos que varios malos. El zapato es estratégico para el pie y a la vez el elemento más hostil. En el caso de las mujeres la estética prima por encima de la salud en los pies.

**5. ¿Cuáles son las consecuencias de caminar con la pisada pronadora? ¿Y supinadora?**

Caminar con la pisada pronadora hace que el pie se meta hacia dentro, lo que produce que la cadera izquierda se desvíe hacia dentro, provocando lo que se viene denominando cierre de caderas, y la derecha soporte mayor peso y tensión que la pierna izquierda. En algunos casos el problema de las caderas puede derivar en escoliosis.

Sin embargo, el supinador inclina el tobillo hacia el exterior del pie. suelen ser personas con un arco plantar muy pronunciado y poco flexible. Los corredores que supinan en exceso también tienen mayor predisposición a sufrir esguinces.

**6. ¿Qué efecto produce caminar con sobrecargas en el pie?**

Si sobrecargas una zona del pie éste va sumando capas de piel dura y muerta, que cuando se acumula mucho, molesta. La callosidad no sale por casualidad, sino que es un indicador de presión. Al final si son en zonas normales, como la zona metatarsiana, lo que te están indicando es que en el punto en el que te han salido estás aguantando más carga de la que deberías.

## **7. ¿Qué herramientas recomienda para corregir las posturas de los pies al andar?**

Tal y como he comentado antes, la pisada es necesaria corregirla, y para ello lo mejor que se puede hacer es utilizar unas plantillas. En nuestra clínica las realizamos de forma personalizada y con distintos materiales, según la forma del pie y las necesidades del paciente.

## **8. ¿Qué tipo de pruebas realiza para analizar los parámetros que influyen en la pisada?**

En primer lugar, y después de haber realizado la exploración física, se pide al paciente que camine sobre una plataforma de presión y se le graba mientras va andando. De esta forma, la plataforma de presión nos proporciona una información acerca de las zonas más cargadas durante la pisada.

Por otra parte, se realiza una prueba para comprobar la huella plantar para posteriormente utilizar el escáner 3D, y ver de una forma más clara el pie. Por último, se realiza un test al paciente preguntándole sobre las zonas que más le duelen al caminar. Así conseguimos determinar de una forma más precisa el tipo de pisada para asegurarnos a la hora de realizar la plantilla.

## **9. ¿Qué ha aportado y puede aportar la tecnología y la biotecnología a la salud de los pies?**

Ha aportado objetividad, el hecho de poder medir las cosas y cuantificarlas. Y también precisión en los tratamientos. También la apuesta por la tecnología y por avances como el big data y el machine learning, que son aspectos importantísimos de nuestro trabajo, ya que nos permiten obtener una mayor información de los pies para crear las plantillas con muchísima precisión.

## **10. ¿Es adecuado y factible el uso de sensores en las plantillas?**

En primer, este tipo de sensores se utilizan en las plantillas instrumentadas que se usan para comprobar la cantidad de carga que soportan los pies en cada zona. Se utilizan dentro del calzado. Este tipo de plantillas, junto con toda la exploración realizada anteriormente permite obtener un estudio preciso de cómo afectan las plantillas a la biomecánica de la pisada.

La principal ventaja que tiene es que funcionan a tiempo real y sin necesidad de cables. Sin embargo, la mayor desventaja es que si se sale del radio de la clínica las plantillas dejan de funcionar.

## **11. ¿Qué tipo de sensores son útiles para el análisis de la pisada?**

Hablando del tema de las plantillas instrumentadas, se ve que el tipo de sensores más útil y común en el análisis son los sensores de presión. Si te fijas en el ámbito deportivo existen muchas innovaciones respecto a sensores utilizados, ya que son necesarios para medir la longitud de calzada, la velocidad, colocación del pie, etc.

Dicho esto, pienso que aparte de los sensores de presión también se podrían incluir los sensores encargados de medir velocidad, y rotación del pie para tener un análisis más completo de la pisada.

**12. Una vez que se conocen los sensores que tienen las plantillas instrumentadas. ¿Cuál cree que es el mejor método para la adquisición y envío de datos?**

Pues si antes mencionaba que los sensores se encontraban conectados mediante cables al receptor de la información y posteriormente se recogían los datos en el ordenador, con los avances que se producen cada día el envío de los datos pueden enviarse mediante Bluetooth o por conexión inalámbrica.

Sin embargo, en el tema de la adquisición de datos el asunto se complica un poco debido a que se necesitaría un microcontrolador que aporte las funciones anteriormente mencionadas.

**13. ¿Cómo deberían incorporarse los sensores a la plantilla?**

En mi opinión, la colocación de los sensores depende de la finalidad que se pretende conseguir con las plantillas, ya que no es lo mismo monitorizar la pisada, que utilizar esos valores para luego a ayudar a elaborar un diagnóstico de la patología del paciente, tal y como puede ser en el caso de la sesamoiditis o metatarsalgia.

La mayor parte del peso del cuerpo está soportado por 15 áreas principalmente distribuidas entre el talón, el mediopié, metatarso y los dedos de los pies. Dicho esto, los sensores los colocaría en esta zona.

**14. ¿Cuáles deberían ser los protocolos de actuación del paciente para que los datos resulten útiles?**

Antes de todo, es necesario configurar la plantilla para que las mediciones sean adecuadas. Es decir, se le pide al paciente que camine sobre un pasillo donde se le tomarán los datos relacionados con los primeros pasos para calibrar los sensores de presión.

Una vez que la plantilla ha sido configurada, se informa al paciente sobre una serie de pautas de utilización cuando use la plantilla fuera de la clínica, como, por ejemplo:

- No manipular la plantilla ni utilizar abrasivos ya que puede modificar su estructura y alterar sus funciones.
- Llevarla periódicamente para que el especialista pueda comprobar el estado de la plantilla, así como analizar los datos obtenidos por los sensores.
- Se debe utilizar siempre con un calzado cerrado, o en su defecto con calzado abierto, pero siempre con algún tipo de calcetín o media como medio de contención.
- Utilizar la plantilla específicamente en la zona del pie para la que ha sido diseñada.

Por otra parte, es necesario que al menos dos veces a la semana el paciente acuda a la clínica para proporcionarle todos los datos medidos y almacenados al especialista para llevar una evaluación y seguimiento del paciente con el tratamiento que previamente le recomendó el podólogo. En este caso, el tratamiento es el uso de ortesis plantares, concretamente plantillas.

Finalmente, se mostrarán la forma de trabajar y los equipos que utiliza esta clínica para la construcción de las plantillas personalizadas.

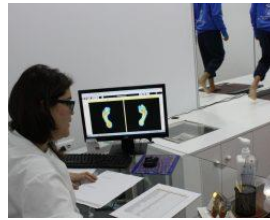


Imagen 9. Reconocimiento y exploración física

Construcción de las plantillas.

Durante esta fase se mostrarán los equipamientos necesarios para hacer la plantilla una vez obtenidos todos los parámetros que influyen en la pisada del paciente.



Imagen 10. Podotec

La imagen superior muestra una pletina de prensado de gran formato, una placa de calor, un panel de control digital con pantalla LCD y dos salidas exteriores de vacío.

**Aplicaciones y Funcionamiento de Podotec.**



TERMOFUSIONADO



MOLDEADO SOBRE POSITIVO



ADAPTACIÓN DIRECTA EN POSICIÓN CORREGIDA



ADAPTACIÓN DIRECTA EN POSICIÓN NEUTRA



ADAPTACIÓN DIRECTA EN DINÁMICA

Imagen 11. Funciones de Podotec

**1. ¿Cada cuánto es necesario visitar a un profesional médico que se encargue del estado de nuestros pies?**

Depende de la persona. Hay gente que lo necesita antes y otras después. Yo personalmente recomiendo mínimo una revisión anual si no existe patología y si existe depende de la patología.

**2. ¿Cuál es el método que sigue para analizar las patologías que presentan los pacientes en los pies?**

Lo primero que hacemos es una historia clínica en la que el paciente nos cuenta el motivo de su consulta. Y dependiendo del motivo se hará una cosa u otra.

Por ejemplo, una quiropedia es lo que hacemos en consulta habitualmente posterior a la historia del paciente se realiza una inspección general del pie y se le resuelve el problema ese mismo día. Si viene con algún dolor específico o derivado de algún profesional se suele recomendar un estudio del pie para detectar la posible patología.

También mandamos radiografías, ecografías si así lo requiere. Todo depende de la sintomatología del paciente.

**3. ¿Tienen una difícil recuperación las lesiones del pie?**

Depende de muchos factores, de la edad del paciente, del peso, del tipo de lesión y de la gravedad de esta. No es lo mismo la recuperación de una fascitis leve que si es crónica, por ejemplo.

**4. ¿Influyen los diferentes tipos de calzado empleados en las distintas actividades que realizamos cada día en la pisada?**

Por supuesto que influyen. Es muy importante saber elegir el calzado que mejor se adapte a nuestras necesidades. Y es importante elegir un calzado para cada tipo de actividad, ya sea andar, correr, o cualquier tipo de deporte que hagamos requerirá de un calzado diferente.

**5. ¿Cuáles son las consecuencias de caminar con la pisada pronadora? ¿Y supinadora?**

Este tema es muy amplio y difícil de abordar, pues no solo influye el tipo de pisada y todos pronamos y supinamos en la marcha. El problema se da cuando existe un exceso de pronación o supinación.

Normalmente y a groso modo (porque ya digo de antemano que es complicado contestar a eso) los pacientes que tienden a tener problemas de pronación suelen tener asociados tendinitis del tibial posterior, y los que caminan con un exceso de supinación en algunas fases de la marcha suelen dar problemas a nivel de rodilla como el síndrome de la cintilla iliotibial, por ejemplo.



**6. ¿Qué efecto produce caminar con sobrecargas en el pie?**

Puede producir durezas, hiperqueratosis (callos), helomas, tendinitis, ...

**7. ¿Qué herramientas recomienda para corregir las posturas de los pies al andar?**

Lo primero que se debería de hacer es un estudio de la pisada para valorar la posición del pie y en base a eso se establecerían las recomendaciones.

**8. ¿Qué tipo de pruebas realiza para analizar los parámetros que influyen en la pisada?**

Se realizan pruebas en sedestación, estática y dinámica con plataforma de presiones, cinta de correr, etc...

**9. ¿Qué ha aportado y puede aportar la tecnología y la biotecnología a la salud de los pies?**

La tecnología nos da facilidades en el diagnóstico y es una buena herramienta para nosotros.

**10. ¿Es adecuado y factible el uso de sensores en las plantillas?**

Este tema está muy poco explorado, ya que los primeros modelos que existieron fueron ideados para el deporte de alto rendimiento. Tiene una serie de inconvenientes debido a que su utilización se encuentra limitada a la realización de estudios en un lugar específico, sin analizar la marcha constante del paciente.

**11. ¿Qué tipo de sensores son útiles para el análisis de la pisada?**

Como he dicho en la pregunta anterior, el tema de los sensores que primeramente se utilizaban en aplicaciones deportivas para mejorar rendimiento son los acelerómetros, y sensores de presión. Creo que para el análisis de la pisada los sensores más adecuados son los que ya he mencionado, aunque también podrían usarse un giroscopio para tener el control del equilibrio del pie en el momento de caminar.

**12. Una vez que se conocen los sensores que tienen las plantillas instrumentadas. ¿Cuál cree que es el mejor método para la adquisición y envío de datos?**

Teniendo en cuenta el proceso de recogida de datos y de envío que se dan en los dispositivos para mejorar la técnica de carrera, creo que el mejor método para el procesamiento de datos es mediante conexión inalámbrica, de esta forma no son necesarios cables, ni ningún elemento que imposibilite la movilidad total del paciente durante el análisis de la pisada.

**13. ¿Cómo deberían incorporarse los sensores a la plantilla?**

Si se va a realizar la medición de las presiones presentes en el pie, es importante colocarlos en los puntos más afectados durante la pisada. Generalmente, las partes más afectadas durante la pisada son:

- I. La zona de los metatarsos.
- II. El retropié que es la zona que abarca el talón.
- III. Mediopié. Zona del pie que contiene el ligamento de la fascia plantar

Por tanto, yo recomiendo que sea en estas zonas donde se incorporen los sensores a la plantilla.

**14. ¿Cuáles deberían ser los protocolos de actuación del paciente para que los datos resulten útiles?**

En primer lugar, se le informa de una serie de indicaciones que debe de tener en cuenta para asegurar la correcta utilización del producto.

La ortesis está diseñada para una determinada zona del pie y no se debe de utilizar en otra parte porque puede producir heridas por mala adaptación. Así mismo, está pensada como producto único, por tanto, no puede ser intercambiada con otras personas. Siempre se debe utilizar con zapato cerrado, y se debe de retirar cuando el paciente se disponga a dormir.

Es muy importante informar al paciente de que la plantilla tiene una duración limitada y que al estar sometida a roces que pueden alterar su consistencia y funcionalidad, se debe acudir periódicamente para comprobar su estado junto con el grado de corrección de la deformidad.

**1. ¿Cada cuánto es necesario visitar a un profesional médico que se encargue del estado de nuestros pies?**

A pesar de que los problemas y las molestias en el pie son muy comunes, muchas personas tardan en tomar la decisión de visitar al podólogo para una revisión completa. No hay edad para hacerse una revisión, de hecho "cada etapa de la vida tiene sus propios problemas".

De ahí la recomendación de que un podólogo vigile el crecimiento de las uñas en los bebés. Años más tarde, deberemos estar pendiente de la posible aparición de pies planos o cavos en niños.

**2. ¿Cuál es el método que sigue para analizar las patologías que presentan los pacientes en los pies?**

En primer lugar, realizo una exploración física de los pies en la que se comprueba los movimientos de flexión y abducción para así ver en un primer momento si se realiza un estudio de la pisada o no.

**3. ¿Tienen una difícil recuperación las lesiones del pie?**

Depende del tipo de lesión, ya que no es lo mismo tratar un fibroma situado entre el 4º y el 5º metatarsiano que la fascitis plantar.

**4. ¿Influyen los diferentes tipos de calzado empleados en las distintas actividades que realizamos cada día en la pisada?**

La mayoría de deformidades y patologías en los pies aparecen por culpa del calzado. Por ejemplo, los zapatos de tacón no solo pueden provocar patologías como metatarsalgia, neuroma de Morton o Hallux Valgus (juanetes) sino que también afectan a las rodillas, la cadera y la espalda, debido a que alteran la postura.

Asimismo, un zapato muy plano, puede provocar fascitis plantar, dolor en la zona lumbar o tendinitis en tendón de aquiles, entre otros.

Problemas muy frecuentes que quizá pasan desapercibidos y nos están perjudicando en otras zonas como espalda, cadera, rodillas, etc.

**5. ¿Cuáles son las consecuencias de caminar con la pisada pronadora? ¿Y supinadora?**

Caminar con ambos tipos de pisada influye de forma negativa en nuestro día a día. Más aun cuando este tipo de problemas no se solventan.

**6. ¿Qué efecto produce caminar con sobrecargas en el pie?**

Pueden producirse callosidades, e incluso deformaciones en el hueso que forma parte de la quinta cabeza del metatarsiano, produciendo un fibroma plantar.

## **7. ¿Qué herramientas recomienda para corregir las posturas de los pies al andar?**

Pues una vez que se ha realizado el estudio de la pisada, el procedimiento estándar para tratar las patologías es la elaboración de unas plantillas personalizadas. Si nuestra pisada no es adecuada no solo repercute a nuestros pies, sino en todo nuestro cuerpo. Al igual que no existen dos pies iguales, tampoco puede haber dos plantillas iguales.

Por eso, es fundamental utilizar plantillas totalmente personalizadas que se adaptan 100% al pie y a las necesidades específicas de cada paciente.

## **8. ¿Qué tipo de pruebas realiza para analizar los parámetros que influyen en la pisada?**

Tal y como he comentado antes el método más útil para hallar el problema de la pisada es el estudio biomecánico de la pisada. Éste consiste en un conjunto de pruebas diagnósticas que permiten conocer la forma de pisar de la persona, pudiendo prevenir así posibles lesiones en la vida diaria.

Para ello se llevan a cabo varias pruebas: exploración en camilla, test biomecánicos en bipedestación (de pie), estudio de la huella plantar en estática y dinámica mediante el uso de plataformas de presiones, filmación en vídeo de alta velocidad y estudio cinemático de la marcha. Todo ello nos permite hacer un diagnóstico.

## **9. ¿Qué ha aportado y puede aportar la tecnología y la biotecnología a la salud de los pies?**

El uso de estas nuevas tecnologías ha ayudado a mejorar e incrementar la efectividad de los cuidados y tratamientos requeridos para cada paciente en particular.

## **10. ¿Es adecuado y factible el uso de sensores en las plantillas?**

El uso de este tipo de tecnología presenta tanto ventajas como desventajas. Las mejores características que tienen es que en su utilización en plantillas instrumentadas disponen de información sobre la distribución de presiones plantares, también aportan información útil en el control evolutivo tras la elaboración de unas plantillas o de otro tratamiento.

Por otra parte, también está la ventaja de no contar con aparatos cableados para obtener la información de la pisada. El tratarse de un sistema portátil y no necesitar una instalación permanente en la clínica son aspectos importantes.

Sin embargo, en mi opinión tiene un gran defecto y es la variabilidad en las características técnicas y en los resultados de los parámetros medidos.

## **11. ¿Qué tipo de sensores son útiles para el análisis de la pisada?**

Dentro de todos los tipos de sensores que existen actualmente, creo que los principales que debe tener una plantilla instrumentada, deben ser los sensores de presión, debido a que a partir del mapa de presiones luego tomo la decisión de elaborar la órtesis necesaria para el paciente. También existe la posibilidad de incluir los sensores de aceleración, así me permite saber la rapidez de la zona en la que se ejerce presión en el momento de ataque del pie.

**12. Una vez que se conocen los sensores que tienen las plantillas instrumentadas. ¿Cuál cree que es el mejor método para la adquisición y envío de datos?**

Vistos los últimos avances la tecnología inalámbrica es la más adecuada ya que es la que permite trabajar con datos de mayor peso que la tecnología bluetooth. El proceso se realizaría de la siguiente forma.

Los receptores colocados en un microcontrolador transmiten los datos de forma inalámbrica mediante comunicación inalámbrica a un ordenador donde un software específico lo analizara en tiempo real. Así, el especialista puede tener acceso a la consulta de datos de forma inmediata.

**13. ¿Cómo deberían incorporarse los sensores a la plantilla?**

Una vez analizadas las partes que más se sobrecargan durante la pisada, tras una primera exploración física, es recomendable cubrir las tres zonas más importantes de la anatomía plantar.

El pie se divide en varias partes, principalmente en:

- I. Antepié, que contempla los dedos de los pies y las cabezas de los metatarsianos.
- II. Mediopié. Zona media del pie donde se sitúa la fascia plantar.
- III. Y por último el retropié.

**14. ¿Cuáles deberían ser los protocolos de actuación del paciente para que los datos resulten útiles?**

En primer lugar, se le proporcionan las plantillas al paciente. En caso de que el usuario tuviera ortesis como ayuda para la marcha habitual se le pide que las abandone para que sea factible el registro de presiones.

Por otra parte, es necesario efectuar un número mínimo de mediciones, normalmente con dos suele bastar, para asegurar la correcta adquisición de los datos. Este proceso se hace debido a que la cadencia habitual de la marcha es lenta. Se realiza un promedio de 5 a 7 pasos de cada paciente para establecer un paso representativo, para posteriormente exportarlo a la base de datos.

De esta forma se consigue la suficiente información para analizar las variables biomecánicas. Cadencia de marcha, tiempo de apoyo para cada pie como variable espacio temporal. En variables cinéticas se tienen la presión máxima en antepié, mediopié y retropié para cada pie, junto con la media presión máxima medida en las mismas zonas nombradas anteriormente.

El control para el análisis y transmisión de datos se hará según la capacidad de almacenamiento que tenga la plantilla. Aunque recomiendo que sea como mínimo una vez a la semana.

### 3. DISEÑO DE DETALLE

A la hora de realizar estudios de dimensiones de los pies es necesario que todas las medidas necesarias se realicen bajo un criterio general, tanto para las condiciones que se toman como referencia como para aquellas que indican el proceso a seguir.

#### 3.1 PARÁMETROS DIMENSIONALES DEL PIE

La propuesta del proyecto, al tratarse de un dispositivo para el análisis de la pisada, se basará en la normativa y recomendaciones basadas en el diseño del calzado.

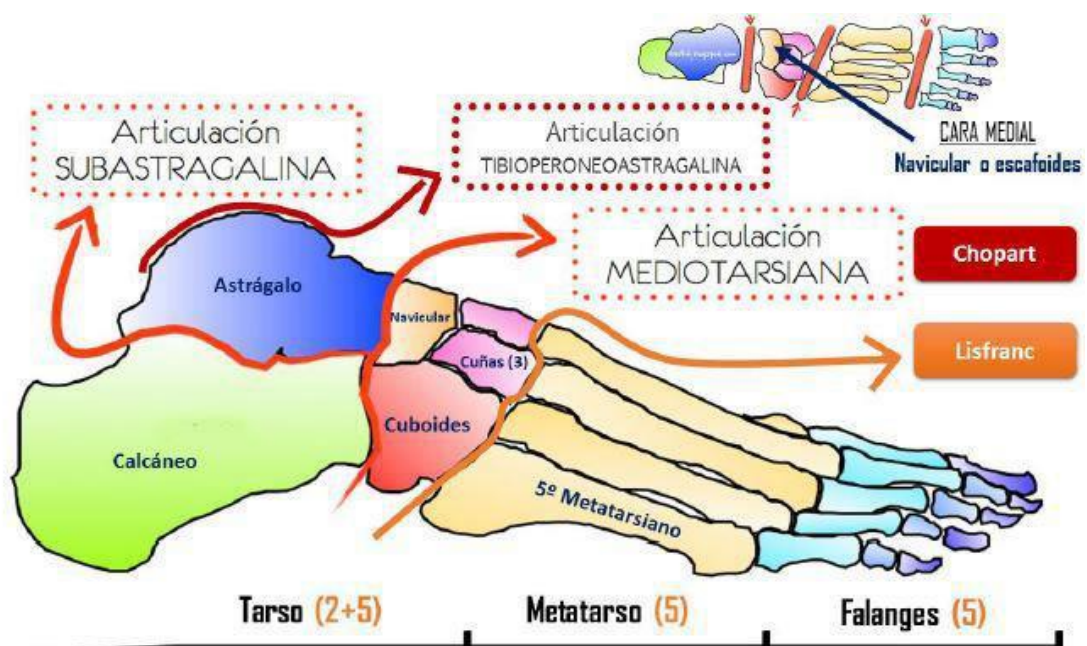


Imagen 12. Posiciones de los puntos referenciados del pie.

Se tendrán las siguientes medidas para el diseño del dispositivo.

- Cabeza del 1<sup>er</sup> metatarsiano
- Cabeza del 5º metatarsiano
- Apófisis estiloides del 5º metatarsiano

A continuación, se muestran una serie de longitudes que se clasificarán en los siguientes puntos:

### 3.1.1 MEDIDAS LONGITUDINALES DEL PIE EN CARGA

#### Longitud total del pie.

Es la medida desde la parte trasera del talón hasta la falange más larga.

#### Longitud cabeza del 1<sup>er</sup> metatarsiano.

Medida desde el punto más atrasado del talón hasta la cabeza del primer metatarsiano. La función de esta medida define la fase de propulsión durante la marcha o carrera. También es la zona donde se produce el movimiento de flexo – extensión del primer dedo.

#### Comienzo apoyo medio

#### Mitad apoyo medio

#### Final apoyo medio

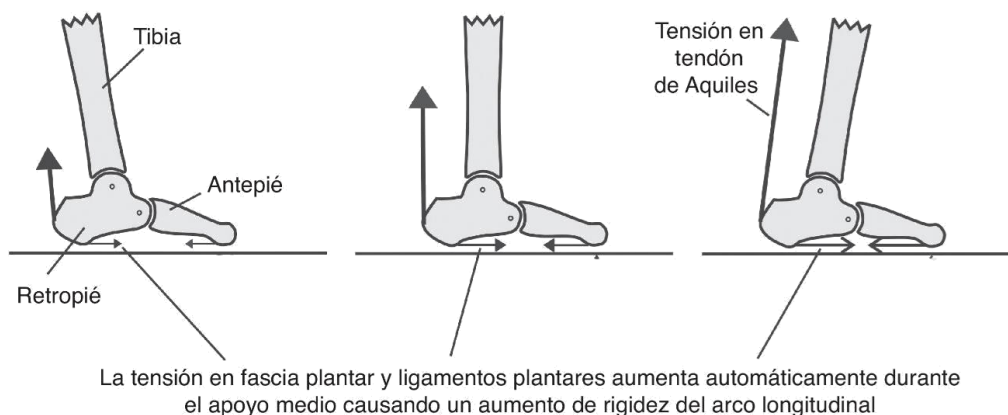


Imagen 13. Posición del pie al caminar

#### I. Anchura del talón.

Puntos localizados en la zona media del talón. Compone los dos puntos más prominentes de la zona media del talón y en contacto con el suelo.

#### II. Longitud entre el talón y la apófisis estiloides del 5<sup>o</sup> metatarsiano.

Distancia que va desde la parte posterior del talón hasta el 5<sup>o</sup> metatarsiano.

#### III. Longitud calzable.

Esta dimensión es la longitud del pie. Expresa la talla del calzado en el punto francés. La longitud calzable se obtiene a partir de la imagen obtenida del escáner en 3D del pie junto con los valores de corrección que permiten la elongación del pie durante la marcha y la colocación del pie de la mejor forma posible al tipo de puntera que tenga el zapato.

#### IV. Longitud del antepié.

Distancia entre el dedo más largo y el punto de encuentro entre la pierna y el pie. Esta medida determina la longitud máxima de la pala del calzado.

#### V. Longitud del 5º metatarsiano.

Determinada entre la parte posterior del talón hasta la cabeza del 5º metatarsiano al nivel de la articulación metatarsofalángica. Con esta medida se obtiene la longitud del arco externo del pie y junto con el 5º metatarsiano y el 1º se conoce la posición del arco anterior.

#### VI. Longitud apófisis estiloides.

Va desde el punto posterior del talón hasta la apófisis estiloides del 5º metatarsiano. Esta zona es especialmente sensible en el pie, por lo tanto, se requiere de una zona acomodada en el calzado.

### 3.1.2 MEDIDAS LONGITUDINALES CON EL PIE EN DESCARGA

**Longitud del pie.** Medida que va desde la parte trasera del talón hasta el dedo más largo.

**Anchura del pie.** Longitud desde el lateral derecho al izquierdo.

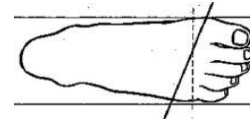


Imagen 14. Longitud y anchura del pie

### 3.1.3 MEDIDAS DE CONTORNOS SOBRE EL PIE

#### Articulaciones.

Perímetro alrededor de las articulaciones metatarso-falángicas.

#### Mediopié.

Parte media del pie, formada por el escafoides, el cuboides y las tres cuñas.

#### Contorno talón cuñas.

Medida que pasa por el borde del talón y por el punto más alto del contorno del mediopié.

#### Contorno de los maléolos.



Imagen 15. Contornos maléolos



### 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA BIOMECÁNICA DEL PIE

#### Índice del arco.

Es la proporción entre las áreas de contacto, es decir, el antepié, mediopié y retropié sin tener en cuenta los dedos. Para ello habrá que tomar el eje axial del pie que es la línea que va desde el centro del talón hasta la altura del segundo dedo.

Un dato a tener en cuenta es obtener la huella plantar del paciente en apoyo bipodal. Posteriormente se aplica una ecuación para determinar la longitud del arco.

- IA= Índice del arco
- MP= Mediopié
- AP= Antepié
- RP= Retropié

El índice del arco determina el tipo de pie de cada persona dependiendo del área.

- Cavo. El área es menor de 0'21 cm<sup>2</sup>.
- Normal. Área comprendida entre 0'21 y 0'26 cm<sup>2</sup>.
- Plano. Área mayor de 0'26 cm<sup>2</sup>.

#### Caída del escafoides.

Se utiliza para valorar el grado de pronación del pie, a través de la medición del descenso del escafoides. Esta medida se toma con el paciente en las siguientes posiciones:

- *Escafoides en descarga.* El paciente se encuentra sentado con las rodillas flexionadas a 90 ° y ambos pies están completamente apoyados y centrados.
- *Escafoides en bipedestación.* Cada pie soporta el 50% del peso corporal.

Posteriormente en ambas posiciones se mide la tuberosidad más prominente, y la diferencia de ambas es la que marcará el resultado.

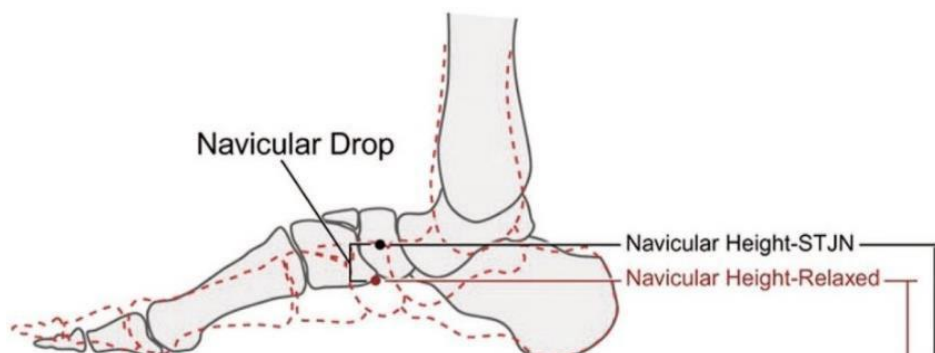


Imagen 16. Movimientos del escafoides

Los valores inferiores a 10 – 15 milímetros reflejan la normalidad y valores superiores a 15 milímetros presentan anormalidad.

### Índice de la postura del pie.

Con esta técnica se obtienen valores del pie desde distintos ángulos, planos y segmentos, dando como resultado la clasificación del pie, como supinador, pronador y neutro.

Los datos que se consiguen se registran en la siguiente tabla:

Factor	Plano	Puntuación 1		Puntuación 2		Puntuación 3	
		Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.
		(-2, 2)	(-2, 2)	(-2, 2)	(-2, 2)	(-2, 2)	(-2, 2)
Palpación de la cabeza del talar (pie trasero)	Transversal						
Curvas por encima y por debajo del lateral malleoli (pie trasero)	Frontal						
Inversión o eversión del calcáneo (pie trasero)	Frontal						
Bulge en la región de TNJ (antepié)	Transversal						
Congruencia del arco medial longitudinal (antepié)	Sagital						
Abducción/ aducción del antepié en pie trasero (antepié)	Transversal						
<b>Total</b>							

Tabla 2. Índice de la postura del pie

Una vez completado la tabla se procede a obtener las puntuaciones.

- Neutro. El número es igual a 0.
- Supinador. Oscila entre (-1 y -2).
- Pronador. Números positivos (+1, +2).

La biomecánica del pie y la huella plantar tienen especial importancia a la hora de describir de forma exacta la tipología de los pies para predecir las lesiones músculo – esqueléticas.

## Valoración de la prono-supinación del tobillo.

Las personas con pies planos incrementan las oscilaciones del miembro inferior durante la marcha en el plano frontal del retropié. Con la valoración de la biomecánica del tobillo se pueden encontrar limitaciones tanto en la flexo-extensión como en la prono-supinación.

Para determinar la valoración de la prono-supinación se lleva a cabo el análisis de la medición del ángulo posterior del retropié, el estudio fotogramétrico en 2D del modelo mecánico de la extremidad inferior.

### Medición del ángulo posterior del retropié y modelo mecánico de la extremidad inferior.

Se utiliza la prueba ATC (ángulo tibio calcáneo) para analizar el ángulo de la articulación subastragalina en movimiento. Dicho esto, el ángulo que se utiliza como referencia para la supinación y pronación es aquel que se forma entre la línea del tendón de Aquiles y la línea vertical del calcáneo.

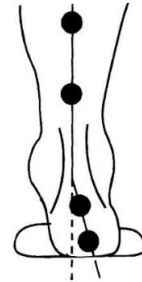


Imagen 17. Ángulo del retropié

## 3.3 MEDIDAS DE LAS SUPERFICIES DE LA PLANTILLA

La superficie plantar se repartirá en tres sitios. Antepié (Falanges), mediopié (metatarsianos), y retropié (tarsianos).

Antepié (AP) → se refiere a la zona que incluye los cinco dedos del pie. Es aquella que se compone de las falanges y de los cinco huesos largos que forman el metatarso.

Mediopié (MP) → formada por cinco huesos irregulares: cuboides, navicular y los tres huesos cuneiformes que forman el arco plantar. Esta zona se encuentra conectada con la zona del retropié y el antepié por los músculos y la fascia plantar.

Retropié (RP) → parte posterior de la planta del pie compuesto por el talón y tobillo.

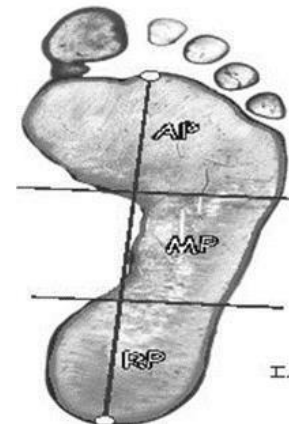


Imagen 18. Zonas del pie

### I. Anchura del antepié.

Es aquella que tienen las articulaciones metatarsofalángicas. Se trata de una zona crítica en el momento de propulsión del antepié ya que la carga temporal se apoya en esta zona en el último instante de la marcha.

### II. Anchura de flancos sobre la superficie plantar.

Es la medida de la anchura a nivel de las articulaciones metatarsofalángicas.

### III. Anchura del talón sobre la superficie plantar.

Dimensión tomada en la superficie en contacto con la base de la horma. Por lo tanto, esta medida será igual o más pequeña que la anchura del talón del pie en contacto con el suelo.

Por otra parte, se incluirá un apartado con medidas ergonómicas de los contornos que forman las articulaciones del pie necesarios para la correa con la que se sujeta el dispositivo si el paciente lo utiliza mientras esté descalzo.

## 3.4 PERÍMETRO ALREDEDOR DE LAS ARTICULACIONES

### Largo.

Distancia entre el extremo del talón y la zona interior de la horma que tiene la articulación del primer dedo.

### Contorno a nivel de la articulación.

Es el perímetro que rodea la zona del antepié en su parte más ancha. Proporciona el volumen del calzado en esa zona. El perímetro tiene que ser inversamente proporcional a la altura del tacón y a la elasticidad del material.

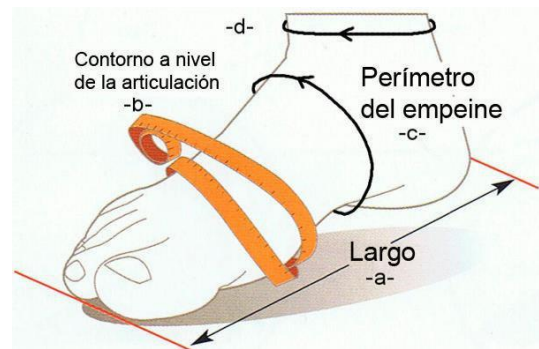


Imagen 19. Contornos del pie

### Perímetro del empeine.

Esta medida pasa por la línea de partición superior y la parte más estrecha de la horma. Una consideración a tener en cuenta es que esta zona no debe ser comprimida, por lo que este perímetro deberá ser igual o mayor que el del pie.

### Altura del empeine.

Es la distancia entre el empeine y el punto asociado a la posición de la clave del arco situado en la parte más estrecha de la horma.

### Perímetro de retención.

Comprende las articulaciones de los dedos y el empeine. Esta parte debe quedar ajustada al pie para evitar que la correa no se deslice. El perímetro tiene que ser inferior al del pie. Por último, se utilizará para el diseño del dispositivo la dimensión del área del cuboide.

### Área del cuboide.

Espacio disponible en el borde lateral exterior, desde el talón hasta el principio del flanco exterior. También sirve para acomodar la base del 5º metatarsiano y el tejido que lo rodea.

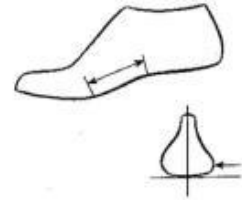


Imagen 20. Área del cuboide

El requisito de una suela es conseguir una alta fricción con la superficie en la que se va a utilizar la plantilla, y una menor fricción rotacional para evitar posibles lesiones en las rodillas.

Con el diseño se debe conseguir una fricción longitudinal suficiente para que no afecte al rendimiento de los movimientos.

Como las plantillas están pensadas para trabajar tanto dentro del calzado como fuera es necesario que la plantilla tenga una serie de estrías en la superficie para adherirse mejor al lugar en el que se esté utilizando.

### 3.5 FUERZAS DE IMPACTO EN LA PISADA

Al caminar o realizar una actividad física se producen una serie de impactos en el pie. Éstos son los impactos transitorios que son fuerzas repentinas con altas tasas y magnitudes de carga, que viajan rápidamente a lo largo del cuerpo y que producen una serie de lesiones, como fracturas por estrés de la tibia, fascitis plantar y otras muchas de tipo muscular y articular.

Por esta razón, el cuerpo debe hacer frente al impacto transitorio de la fuerza de reacción vertical del suelo.

En superficies duras, los corredores descalzos que aterrizan con la parte delantera del pie generan fuerzas de impacto menos que las que aterrizan con la parte trasera del pie.

#### Factores biomecánicos en el impacto.

Estos factores se dividen en 3.

- El punto inicial del contacto.
- Cumplimiento del tobillo.
- Cumplimiento de la pierna.

La fuerza de reacción del suelo en este tipo de impacto hace rotar el pie alrededor del tobillo, lo que reduce la masa efectiva mediante la energía cinética de traslación de la extremidad inferior en energía cinética de rotación. El impacto con la parte media del pie dependerá del centro de presión en el impacto y de la rigidez del tobillo.

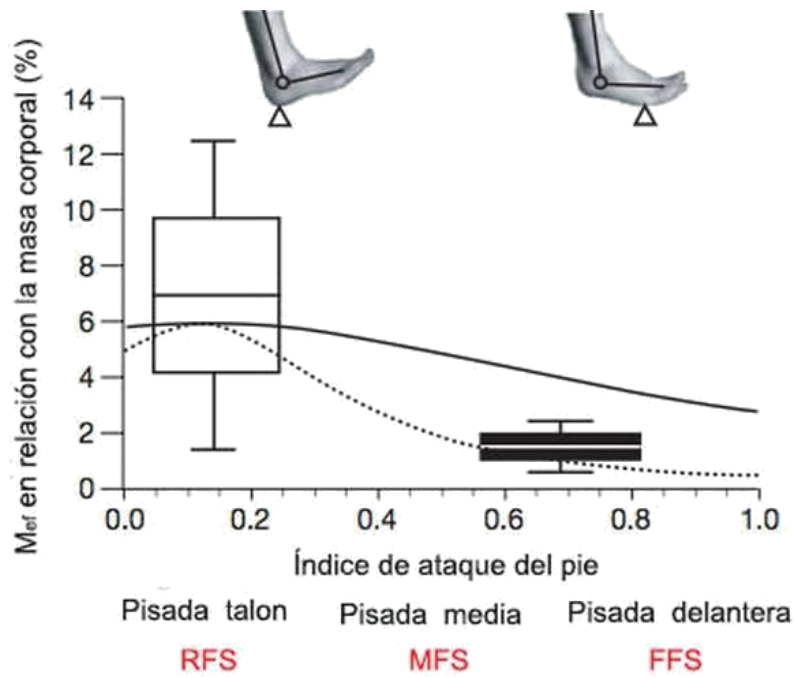


Imagen 21. Índice de ataque del pie

### Cumplimiento del tobillo

Los corredores que aterrizan con la parte delantera lo hacen con dorsiflexión del tobillo en lugar de plantar flexión. Se produce mayor flexión en el tobillo y en la rodilla.

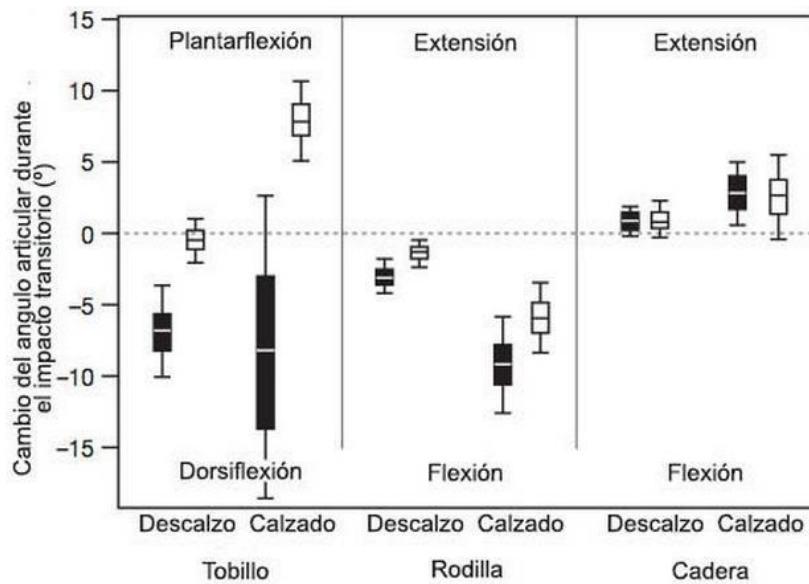


Imagen 22. Ángulo articular en el impacto transitorio

### Cumplimiento de la pierna.

Se presentará un gráfico que relacionen los impactos en el que el talón hace contacto primero con el suelo y los impactos del antepié en que se aterriza con la parte delantera del pie antes de que el talón descienda.

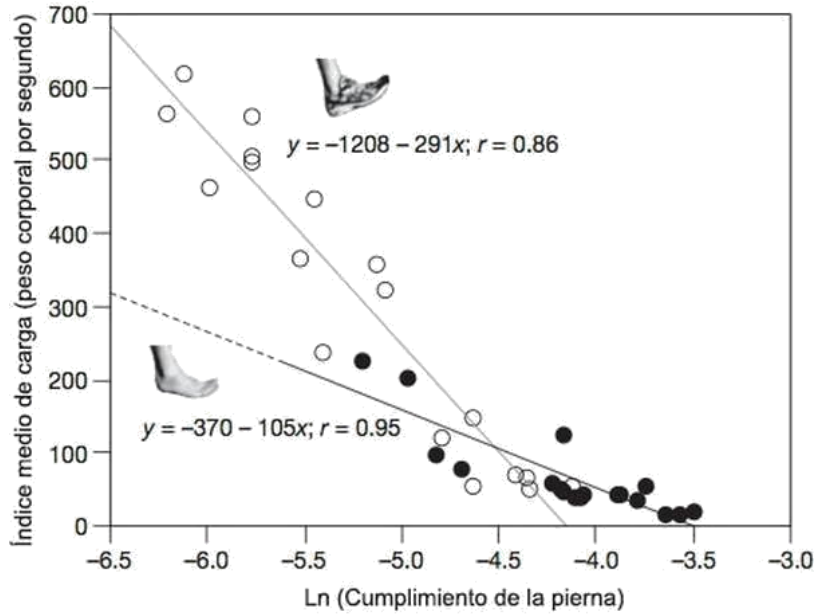
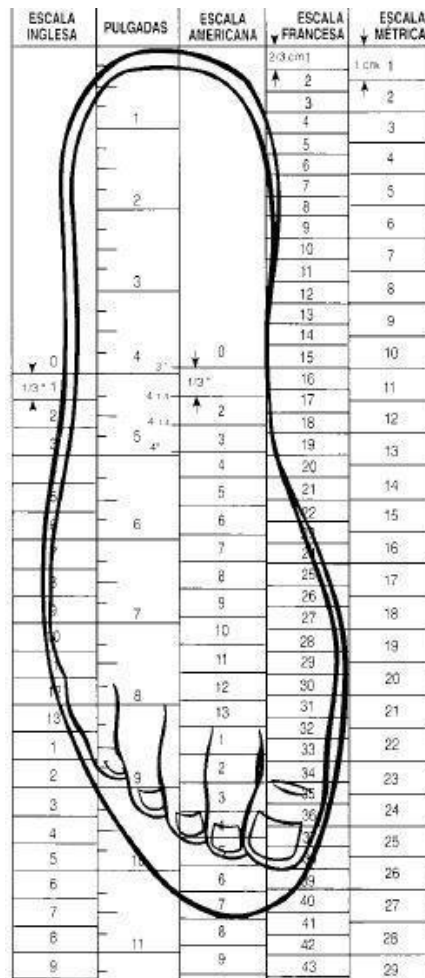


Imagen 23. Índice medio de carga

La forma en la que los corredores golpean el suelo afecta al cumplimiento vertical de la pierna. Éste es mayor corriendo con la parte delante que atacando con el talón, por lo tanto, se consigue una menor tasa de carga. Por último, se muestra una imagen con todas las medidas del pie.



Para lograr una mejor adaptación a los pies de los pacientes, se ha elaborado una lista con las medidas correspondientes a hombres y mujeres. Si las mediciones se corresponden con el número 39, hay que añadirle un poco más en la medida ya que al caminar el pie se extiende casi 1,5 cm.

Sexo	Número	Medida	
		Largo	ancho
Mujer	39	17.5 cm	9.5 cm
Mujer	38.5	17 cm	9 cm
Mujer	38	18 cm	9.5 cm
Mujer	37.5	17 cm	9 cm
Mujer	36	15.5 cm	8 cm
Hombre	38.5	20.7 cm	9.5 cm
Hombre	39	21.5 cm	10 cm
Hombre	40	22.5 cm	11 cm
Hombre	41	23.5 cm	12 cm

Tabla 3. Medidas estandarizadas del pie de mujeres y hombres

Las medidas del largo están indicadas desde el talón hasta la cabeza de los metatarsianos, y el ancho es la medida desde el extremo izquierdo del antepié al extremo derecho.



### **3.6 MATERIAL DE LA SUELA**

En este apartado se entra a valorar el tipo de dureza presente en las suelas de los calzados ya que, como se ha explicado anteriormente, las plantillas están diseñadas para utilizarse dentro del calzado y para que el paciente las use descalzo.

Por tanto, cuanto más blando es el material de la suela, mayor es la adaptación a cualquier falla del terreno. De esta forma aumenta la superficie de contacto entre la suela y la superficie, incrementándose las fuerzas de fricción.

Por otra parte, los inconvenientes de este tipo de dureza de la suela hacen que tengan problemas de abrasión, así, que hay que buscar un material que dentro de su nivel de dureza también sea resistente a la abrasión.

### **3.7 GEOMETRÍA DE LA SUELA**

Para asegurar la correcta utilización de las plantillas es importante que proporcione un buen agarre dentro y fuera del calzado. Es decir, que el paciente pueda usarlo en cualquier superficie sin peligrar su integridad física debido a resbalones.

A continuación, se verán las geometrías más usadas en los calzados, junto con algunos de los materiales más utilizados en su fabricación. Posteriormente, se realizará un análisis de cada geometría destacando las características más llamativas.

Tipo de suelas	Imagen
<p><b>Hércules, indus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistentes a aceites y solventes</li> <li>• Propensa a sufrir hidrólisis en condiciones extremas de humedad</li> <li>• Buena resistencia a la abrasión</li> <li>• Anti derrape</li> <li>• Gran absorción del impacto del paso</li> <li>• Ligera y comfortable</li> <li>• Flexible</li> </ul> <p>Material: <b>doble densidad de poliuretano</b></p>	 <p><i>Imagen 24. Suela indus</i></p>
<p><b>Balder, Dual</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia a aceites y solventes e hidrocarburos</li> <li>• Buenas características anti derrape</li> <li>• Absorbe muy bien los impactos</li> <li>• Muy resistente a la abrasión y al desgarre</li> </ul> <p>Material: <b>doble densidad de poliuretano / hule</b></p>	 <p><i>Imagen 25. Suela Balder y Dual</i></p>
<p><b>Ironman</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconfortante al paso</li> <li>• Absorción de impactos</li> <li>• Alta resistencia a la abrasión</li> <li>• Muy resistente a hidrocarburos, aceites y solventes</li> <li>• Buenas características de anti derrape en condiciones regulares de humedad</li> </ul> <p>Material: <b>doble densidad de poliuretano / elastómero termoplástico</b></p>	 <p><i>Imagen 26. Suela Ironman</i></p>
<p><b>Belice, Mountain</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia al derrape</li> <li>• Ligera</li> <li>• Características básicas para calzado eventual</li> </ul> <p>Material: <b>Hule SBR</b></p>	 <p><i>Imagen 27. Suela Belice</i></p>

<p>Suela Pemex, Suela Luger</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia ante aceites, hidrocarburos y gasolina</li> <li>• Anti derrape en condiciones de humedad alta</li> </ul> <p>Material: <b>Compuestos de PVC y hule termoplástico</b></p>	 <p>Imagen 28. Suela Pemex</p>
<p>Duty, Fórmula 3, Alpino</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia a la absorción de agua</li> <li>• Estable a temperaturas menores de -20 °C a 100 °C</li> <li>• Buena resistencia a la abrasión, aceites y solventes</li> <li>• Ideal para pisos asfaltados, pavimentados, montaña y tráfico</li> </ul> <p>Material: <b>Hule SBR vulcanizado</b></p>	 <p>Imagen 29. Suela Duty, Alpino</p>
<p><b>Estrella Fórmula 14</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia a aceites, solventes y gasolina</li> <li>• Alta resistencia a temperaturas altas, absorción de agua, abrasión y desgarre</li> </ul> <p>Material: <b>Hule acrílico-nitrilo vulcanizado</b></p>	 <p>Imagen 30. Suela Estrella Fórmula 14</p>
<p><b>Estrella inyectada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una suela inyectada al corte fabricado en termoplástico expansor.</li> <li>• Es muy ligera</li> <li>• Excelentes características anti derrape</li> <li>• Ideal para pisos laminados semi pulidos</li> </ul> <p>Material: <b>Elastómero termoplástico / caucho</b></p>	 <p>Imagen 31. Suela estrella inyectada</p>

Tabla 4. Material de suelas

Como se ha visto en las imágenes superiores, la mayoría de los dibujos presentes en las suelas corresponden a estrías que se emplean para calzado de montaña y senderismo. Por una parte, se tienen una serie de dibujos con forma de listados que producen el deslizamiento en la dirección de éste.

De esta manera, con este tipo de geometría se consigue disminuir la fricción en la dirección del listado. Por ello cada suela que se ha visto en las tablas tiene diferentes listados, con formas discontinuas o con forma estrellada.

Un hecho a tener en cuenta es que el dibujo de la suela asegure la fricción y para ello será necesario que los dibujos sean lo más cuadrados posible. En cambio, los salientes de la suela tienen que dejar las aristas colocadas en varias direcciones para aumentar la fricción a la superficie.

Así mismo, si se quiere conseguir que se apoye la máxima superficie plantar se recomienda que la suela sea lisa. También están los dibujos situados en el eje de flexión de la suela con la que se aumenta la flexibilidad de la suela. Es por ello, que en esta parte la geometría de la plantilla debe de acompañar al diseño y asegurar la flexibilidad durante el uso que haga el paciente.

Por otra parte, están los dibujos multiformes que se sitúan sobre la zona del primer metatarsiano para favorecer el movimiento de giro. Estas formas disminuyen la fricción al giro y aumentan la fricción longitudinal.

### **3.8 GROSOR DE LA SUELA**

Debido a que la información correspondiente a las plantillas no es adecuada en este apartado, se tendrá como indicación el grosor que se utiliza en el calzado según la “guía de recomendaciones para el diseño de calzado del Instituto de Biomecánica de Valencia”.

La recomendación de diseño de la entresuela de calzado está situada entre 15 y 25 milímetros, ya que aumentar la capacidad de amortiguación, reduciendo aproximadamente un 10% de la masa del usuario en cada impacto.

Una entresuela con mayor grosor produce un mayor movimiento de pronación e impide cierta movilidad al realizar cambios bruscos.

## **4. MATERIALES Y COMPONENTES EMPLEADOS**

### **4.1 SENSORES DE MEDICIÓN**

A continuación, se muestra una tabla con todos los sensores de medición que existen en el mercado, junto con los últimos avances de estos sensores en las plantillas.

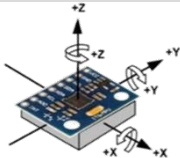





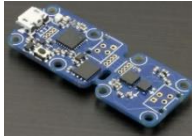
Componente	Descripción	Imagen
<b>Sensor de presión</b>	Cambios en la resistividad de semiconductores cuando se encuentran sometidos a una tensión mecánica. Estos materiales sufren cambios en sus resistencias cuando se flexionan por la exposición a la presión. Esto provoca un cambio en la corriente eléctrica que pasa a través del dispositivo, que se traduce en una medición. (Martínez et. Al., 2005)	 <p data-bbox="1161 432 1457 461"><i>Imagen 32. Sensor de presión</i></p>
<b>Sensor de rotación</b>	Al estar vibrando los brazos, la velocidad angular que recibe el giroscopio incide sobre los brazos alterando el sentido de la vibración. Estos cambios traducen a impulsos eléctricos la rotación en el espacio.	 <p data-bbox="1153 663 1453 692"><i>Imagen 33. Sensor de rotación</i></p>
<b>Sensor de aceleración (piezorresistivo)</b>	Permiten medir el rango de frecuencia que va desde 0 Hz hasta varios cientos de Hz, con rangos que parten de los 2g y pueden llegar a los 6000 g.	 <p data-bbox="1158 815 1490 844"><i>Imagen 34. Sensor de aceleración</i></p>
<b>Sensor de aceleración (piezoeléctrico)</b>	Tienen un material piezoeléctrico que al ser manipulado mecánicamente proporciona una tensión muy pequeña.	 <p data-bbox="1142 1014 1501 1043"><i>Imagen 35. Sensor de aceleración PE</i></p>
<b>Sensor capacitivo</b>	Cuando se encuentran en un circuito electrónico permiten obtener alta sensibilidad, con una baja deriva térmica y gran linealidad.	 <p data-bbox="1174 1144 1461 1173"><i>Imagen 36. Sensor capacitivo</i></p>
<b>Sensor de aceleración OEM</b>	Dispone de acelerómetros MEMS con gran ancho de banda y rangos de temperaturas.	 <p data-bbox="1177 1301 1414 1330"><i>Imagen 37. Sensor OEM</i></p>
<b>Sensor de distancia (inductivo)</b>	Sensores sin contacto ni rozamiento, por tanto, no conlleva mantenimiento.	 <p data-bbox="1166 1424 1445 1453"><i>Imagen 38. Sensor inductivo</i></p>
<b>Sensor de distancia (magnetostrictivos)</b>	Está dividido en dos dominios, que están polarizados de distinta forma. Cuando se aplica un campo magnético, las fronteras cambian y los dominios se rotan. Se produce el cambio dimensional del material.	 <p data-bbox="1145 1597 1501 1626"><i>Imagen 39. Sensor magnetostrictivo</i></p>
<b>Extensómetro lineal</b>	Elemento extensómetro que mide la deformación de las bandas extensométricas internas.	 <p data-bbox="1169 1771 1422 1800"><i>Imagen 40. Extensómetro</i></p>
<b>Sensor integrado</b>	Cuenta con acelerómetro, giroscopio y magnetómetro 3D	 <p data-bbox="1142 1942 1430 1971"><i>Imagen 41. Sensor integrado</i></p>

Tabla 5. Sensores de medición




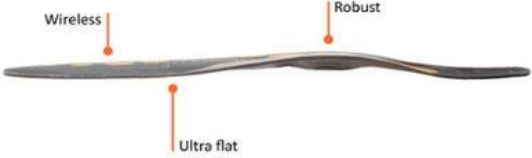
Imagen	Descripción
 <p data-bbox="432 448 676 474">Imagen 42. Plantilla IEEs</p>	<p data-bbox="868 271 1434 409">Serie de sensores colocados de tal forma que abarcan la totalidad de la huella plantar. Éstos se conectan a un módulo electrónico portátil para proporcionar los datos de presión.</p>
 <p data-bbox="408 678 579 705">Imagen 43. iShoe</p>	<p data-bbox="868 499 1434 707">Plantillas con los sensores de presión ya incluidos, como es el caso de iShoe. Este tipo de plantillas contienen sensores de fuerza para medir y analizar la distribución de fuerza en el pie de un paciente. Los datos pueden ser reportados a su médico.</p>
 <p data-bbox="408 954 676 981">Imagen 44. Motion Science</p>	<p data-bbox="868 779 1434 954">Se presenta otro tipo de plantilla que gracias a los sensores que lleva incluidos, permite controlar el equilibrio del pie, las presiones, y la fuerza de impacto, y por último el movimiento.</p>
 <p data-bbox="400 1285 684 1312">Imagen 45. Plantilla Moticon</p>	<p data-bbox="868 1043 1434 1285">Por último, se muestra otro tipo de plantilla mucho más fina y dinámica que el resto de las vistas hasta ahora. Cuenta con un módulo wifi que permite la conexión inalámbrica de los datos recogidos por los sensores para enviarlos posteriormente al receptor. (Donati et. al., 2013)</p>

Tabla 6. Sensores de presión

### Selección de sensores empleados.

Realizado el análisis de los sensores que existen actualmente para la monitorización de la pisada y el movimiento, se ha llegado a la siguiente conclusión:

Una vez vistas tanto los sensores de presión por separado, como las plantillas, se ha decidido emplear los sensores en forma de malla vistos en la figura 44 ya que permitirá que el dispositivo no sea tan caro, y de una única manera abarque la superficie plantar que interesa.

Se emplearán sensores de tipo resistencia de detección de fuerza (FSR) contenidos en un fluido y luego se incrustarán en una plantilla flexible. Las fuerzas de compresión y de corte se suman para producir la salida de medición de presión. El tiempo de transición rápida permite al sensor una alta frecuencia de muestreo. (Benocci et. al., 2009)

El mapeo de la presión del pie se sincroniza con la captura de movimiento 3D para revelar la distribución de la presión del pie y el centro de Presión (CoP) en tiempo real. (Nagano, 2018)

## 4.2 RECEPTORES DE LA INFORMACIÓN

En primer lugar, se comentará el uso de módulos industriales para la adquisición de datos, control y la monitorización de procesos.

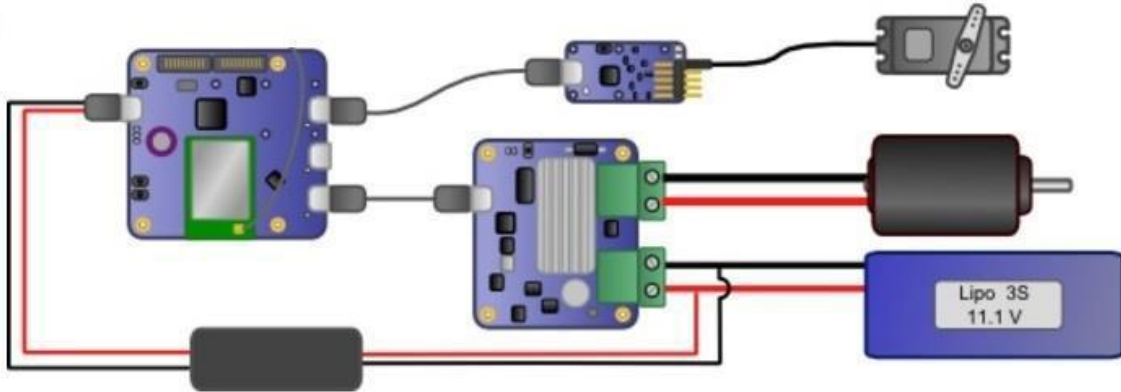


Imagen 46. Funcionamiento Datalogger

Se conecta un concentrador con uno o varios sensores. Estos sensores recogen los datos y los HUB realizan la transmisión de los datos a un servidor. Este envío de datos se puede realizar vía HTTP POST/GET. Debido a que es modular se convierte en un sistema flexible. El tipo de sensores que se pueden utilizar son:

- Variables eléctricas y medioambientales. Voltios, amperios, vatios, temperatura, humedad, presión, luminosidad...
- Posición: GPS, aceleración y altitud.
- Visualización: display.
- Interfaces de red: 3G/2G, WiFi, RS485, RS232...

## 4.3 TRANSMISIÓN Y ENVÍO DE DATOS

Una vez que se ha realizado la medición de los datos con los sensores, y posteriormente con un transductor, el envío de información se realiza mediante comunicación inalámbrica.

Para ello se presenta una serie de alternativas. La primera es Zigbee.

### Zigbee.

Conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación. Se utiliza para la radio fusión digital de datos buscando ahorrar lo máximo posible en energía. Está basado en la tecnología estándar IEEE 802.15.4. Este tipo de tecnología utiliza la banda ISM y adopta la banda 2.4 GHz para comunicarse con el resto de dispositivos. Una de las mayores ventajas de esta tecnología es la sencillez y el bajo coste que supone para la empresa producir dispositivos.

En cuanto al software, se necesita un código más amplio ya que necesita un 50% del utilizado para tecnología bluetooth. Dicho de otra forma, se requieren de 128 kB de almacenamiento para almacenar el código fuente. Los protocolos que se usan para la comunicación entre balizas o nodos hacen que se puedan entender cada miembro de la red. Su funcionamiento es a través de 16 canales situados en el rango de frecuencias de 2.4 GHz y con

un ancho de banda para cada uno de 5 MHz. El protocolo CSMA/CA se utiliza para evitar colisiones durante la transmisión.

Se encuentran tres categorías de nodos. El coordinador Zigbee que es el nodo más completo y cuya función es controlar toda la red y los caminos para su comunicación.

- Router Zigbee. Interconecta los nodos para poder ejecutar el código del usuario.
- Dispositivo final Zigbee. Recibe información y se comunica únicamente con el nodo principal.

#### *Plataforma E-Health Arduino.*

Se trata de una plataforma compatible con Rasperry Pi, Arduino, Duemilanove y Mega.

Está formada por:

- Sensores médicos invasivos y no invasivos.
- Almacenamiento y uso de mediciones de glucosa.
- Monitorización de la señal ECG.
- Supervisión de señales EMG.
- Control de flujo de aire del paciente.
- Datos de temperatura corporal.
- Medidas galvánicas de respuesta cutánea.
- Detección de la posición del cuerpo.
- Funciones de pulso.
- Múltiples sistemas de visualización de datos.

Es compatible con todos los dispositivos UART. La plataforma puede ser alimentada por un PC o una fuente de alimentación externa. Como algunos de los puertos USB de los equipos no son capaces de proporcionar toda la corriente que el módulo requiere para funcionar se puede tener una fuente de alimentación externa (12 V – 2A) con el microcontrolador elegido.

#### Visualización y el trazado de datos en tiempo real

Se utiliza KST, una herramienta de visualización y trazado de datos de gran tamaño en tiempo real que tiene la función de análisis de datos incorporada. KST está bajo la licencia de GPL. Además, a partir de 2.0.x está disponible en Microsoft Windows, Linux, Mac OSX y E-Health Arduino.

#### Aplicación Smartphone

El módulo wifi puede comunicarse con los dispositivos Android y Apple sin necesidad de un enrutador intermedio mediante la creación de una red Adhoc entre ellos.

#### Envío de los datos a la nube

El término de telemedicina es el uso de las telecomunicaciones y la tecnología con el fin de proporcionar atención medica clínica a distancia. Estas tecnologías permiten la comunicación entre el paciente y el personal médico. Así como la transmisión de datos médicos de un sitio a otro. Por tanto, la plataforma e-Health permite compartir datos médicos con la nube y realizar diagnósticos en tiempo real, debido a módulos de comunicaciones a través de varios protocolos de transmisión. Para la transmisión por wifi se utiliza el módulo Roving RN-171. Este aparato se



ajusta en el zócalo XBee escudo de comunicación y permite conectar el escudo Arduino a una red wifi.

#### Conexión GPRS

El módulo GPRS Quadband para Arduino / Rasperry Pi (SIM900) ofrece conexión GPRS a la tarjeta Arduino. Se pueden enviar los datos por SMS.


#### Conexión 3G

Permite la conectividad a redes celulares WCDMA y HSPA de alta velocidad.

### 4.4 MICROCONTROLADORES


#### A0F. Sensorización y beacons sin baterías

Se utiliza para dispositivos fijos ya que es una variante de A0M para alimentación permanente mediante micro USB o voltajes entre 5- 12 V.

<p><b>Imagen</b></p>	 <p><i>Imagen 47. Microcontrolador A0F</i></p>
<p><b>Microcontrolador</b></p>	<p>CC2541 Simple Link Bluetooth low energy. Proprietary Wireless MCU</p>
<p><b>Alimentación</b></p>	<p>5 voltios mediante conector micro USB 5- 12 Voltios mediante pines</p>
<p><b>Entradas/ Salidas</b></p>	<p>2 digitales / analógicas conectorizadas</p>
<p><b>Dimensiones</b></p>	<p>26 x 15 mm</p>
<p><b>Firmware</b></p>	<p>Personalizable a aplicación específica</p>
<p><b>Aplicaciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hogar inteligente (control de parámetros)</li> <li>• Sistemas de localización mediante eBeacons</li> <li>• Smart city (información proporcionada por la administración pública)</li> </ul>


### A0 Sport. Control preciso del movimiento.

Sistema optimizado para aplicaciones que permiten la recogida de datos de aceleración, velocidad angular y magnetometría para aplicaciones deportivas.

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 48. Microcontrolador A0</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2541 SimpleLink Bluetooth low energy. Proprietary Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Batería LiPo de 3,7 Vcc
<b>Recarga</b>	Micro USB 5V
<b>Sensores internos</b>	Acelerómetro de 3 ejes de $\pm 16$ g Giroscopio de 3 ejes de $2000^\circ / s$ Magnetómetro de 3 ejes
<b>Entradas / salidas</b>	3 digitales + 2 analógicas (Bus I2C)
<b>Dimensiones</b>	11 x 43 mm
<b>Aplicaciones</b>	Control del movimiento y de los gestos Control del esfuerzo en distintas actividades deportivas


### A1 / B1. Versatilidad.

Funcionalidad múltiple: beacons, control sensores, almacenamiento, movimiento, bajo consumo, conexión USB.

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 49. Microcontrolador A1</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2540 SimpleLink Bluetooth low energy. Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Pila botón de 3Vcc Placa solar Batería Lipo de 3.7 V
<b>Sensores internos</b>	Acelerómetro de tres ejes de $\pm 2g$ y temperatura
<b>Entradas / Salidas</b>	1 digital y 4 digitales / analógicas 3 digitales + 2 digitales / analógicas
<b>Dimensiones</b>	35 x 45 / 35 x 60 mm
<b>Aplicaciones</b>	Control de funciones y monitorización a través de smartphones


### B1 Health. Monitorización de señales biomédicas.

Sistema optimizado para aplicaciones que requieren lectura de señales biomédicas de muy bajo nivel de voltaje ( $\mu\text{V}$ )

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 50. Microcontrolador B1</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2541 SimpleLink Bluetooth low energy. Proprietary Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Batería Lipo 3.7 V Alimentación interna analógica y digital por separado
<b>Recarga</b>	Mini USB
<b>Memoria</b>	Si, 32 MB
<b>Sensores internos</b>	Acelerómetro de tres ejes de $\pm 2g$ ECG Ritmo respiratorio
<b>Entradas / Salidas</b>	2 digitales / analógicas Salidas hacia electrodos
<b>Dimensiones</b>	43 x 34 mm
<b>Aplicaciones</b>	Lector de una derivación de electrocardiograma Lector de ritmo respiratorio Control de movimiento mediante acelerómetros Control de temperatura


### B1 Wan. Recarga inalámbrica Qi.

Diseño orientado a las comunicaciones de larga distancia mediante GPRS. Localización GPS integrada y sensores avanzados como ECG y sensor de movimiento e 9 ejes.

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 51. Microcontrolador B1 Wan</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2541 SimpleLink Bluetooth low energy. Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Batería LiPo 3.7 V
<b>Recarga</b>	Si, inalámbrica estándar Qi
<b>Memoria</b>	Si, 32 MB
<b>Sensores internos</b>	GPS Acelerometría, giroscopio, magnetómetro de 3 ejes y amplificador de señales de $\mu\text{V}$ (sensor ECG)
<b>Entradas / Salidas</b>	Electrodos de captación de señales biomédicas
<b>Dimensiones</b>	50 x 37 mm
<b>Aplicaciones</b>	Envío de datos online mediante GPRS, control del movimiento, control de la ubicación mediante sistemas GNSS: GPS Y Glonass


### C1. Monitorización múltiple e inteligente.

Plataforma de alto rendimiento orientada a la captura de datos de varios sensores.

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 52. Microcontrolador C1</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2540 SimpleLink Bluetooth low energy. Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Pila botón de 3Vcc Placa solar o fuente de corriente continua de 3-6 Vcc
<b>Recarga</b>	Mini USB
<b>Memoria</b>	4 o 32 MB
<b>Sensores internos</b>	Acelerómetro de tres ejes de $\pm 2g$ Temperatura
<b>Entradas / Salidas</b>	3 digitales + 7 digitales / analógicas (bus SPI)
<b>Dimensiones</b>	55 x 77 mm
<b>Aplicaciones</b>	Monitorización de parámetros (velocidad, movimiento, etc.), plataforma base de AcelSystem


### C1 Mux.

Monitorización simultanea de datos de hasta 40 sensores. Transmisión de datos inalámbrica o almacenamiento interno.

<b>Imagen</b>	 <i>Imagen 53. Microcontrolador C1 Mux</i>
<b>Microcontrolador</b>	CC2541 SimpleLink Bluetooth low energy. Wireless MCU
<b>Alimentación</b>	Pila litio 3.7 V
<b>Recarga</b>	Mediante micro USB
<b>Memoria</b>	4 o 34 MB
<b>Sensores internos</b>	Acelerómetro de tres ejes de $\pm 2g$
<b>Entradas / Salidas</b>	40 analógicos / digitales
<b>Dimensiones</b>	50 x 77 mm
<b>Aplicaciones</b>	Sistemas con necesidad de conexión de sensores resistivos o capacitivos

Gateway BLE-GPRS.

Se utiliza en productos con necesidad de bajo consumo, movilidad total de los equipos y versatilidad en la conexión de sensores de bajo voltaje.

<p><b>Imagen</b></p>	 <p><i>Imagen 54. Gateway BLE- GPRS</i></p>
<p><b>Comunicaciones</b></p>	<p>5Bluetooth Smart, GPRS</p>
<p><b>Alimentación</b></p>	<p>Batería Lipo 3.7 V</p>
<p><b>Recargable</b></p>	<p>Si, inalámbrico estándar Qi</p>
<p><b>Memoria</b></p>	<p>4 o 32 MB</p>
<p><b>Sensores internos</b></p>	<p>GNSS: GPS / Glonass  Acelerometría ±16G, Giroscopio, Magnetómetro (todos de 3 ejes)  Amplificador de señales de <math>\mu</math>V (señales ECG)</p>
<p><b>Entradas / Salidas</b></p>	<p>Electrodos de captación de señales biomédicas</p>
<p><b>Dimensiones</b></p>	<p>50 x 37 mm</p>
<p><b>Firmware</b></p>	<p>Android V4.3 o superior</p>

Gateway BLE-WIFI.

Sistema optimizado para aplicaciones que requieran de lectura de señales biomédicas de muy bajo nivel de voltaje ( $\mu$ V)


<p><b>Imagen</b></p>	 <p><i>Imagen 55. Gateway BLE-WIFI</i></p>
<p><b>Microprocesador</b></p>	<p>Intel EDISON</p>
<p><b>Alimentación</b></p>	<p>5Vcc mediante micro USB</p>
<p><b>Memoria</b></p>	<p>1 GB LPDDR3 POP</p>
<p><b>Entradas/ Salidas</b></p>	<p>40 GPIOs</p>
<p><b>Dimensiones</b></p>	<p>35 x 25 X 3,9 mm</p>
<p><b>Bluetooth</b></p>	<p>4.0</p>
<p><b>WiFi</b></p>	<p>Doble banda (2.4 y 5 GHz)  Antena integrada</p>

Tabla 7. Microcontroladores

Una vez vistos los diferentes microcontroladores, para el objetivo de este proyecto se utilizará el microcontrolador C1 Mux, ya que cuenta con acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, sensores para la medición y control del movimiento.

Los datos que recogen estos sensores se procesan en el microsistema incorporado. A partir de estos datos, se calculan una variedad de parámetros esenciales en la marcha y el movimiento del paciente. Se requiere una conexión de 921.6 Kb/s para mantener una velocidad de comunicación de 100 Hz. (Donati, et. al., 2013)

La medición de la presión del pie no solo se puede utilizar para desarrollar nuevas plantillas, sino que también tiene el potencial de adquirir y almacenar datos para registrar patrones de marcha, que posteriormente servirán para corregir la pisada del paciente.

La IMU (Unidad de Medición Inercial) integrada en el sistema electrónico es capaz de adquirir y registrar datos a lo largo de las tres direcciones (x,y,z) tanto para el acelerómetro como para el giroscopio.

Para analizar la cinemática de la marcha, el ancho de banda típica esta entre 4 y 6 Hz, en un rango de diferentes velocidades. Se tiene que para el análisis de los marcadores del talón se emplean 6 Hz. Estos valores son el resultado respecto al análisis de potencia espectral al caminar descalzo. Por ejemplo, al caminar sobre una plataforma de presiones la potencia está por debajo de 10 Hz y un poco más del 90% se encuentra por debajo de 5 Hz. Sin embargo, los valores de filtrado para los acelerómetros oscilan de los 20 a los 5 Hz. (Benocci, et. al., 2009)

Para trabajos relacionados con el objetivo del proyecto se utiliza una tasa de muestreo de 40 Sps. Esta tasa es a la que trabaja el convertidor de señales analógicas a digitales. ADS1231 es un convertidor con un modulador de precisión de tercer orden de 24 bits y un interruptor de alimentación de puente.

Por último, es importante comentar la duración del dispositivo. En este caso, como los componentes son distintos a los empleados en "Sistema inalámbrico para el análisis de la marcha y la postura basado en plantillas de presión y unidades de medición inercial". Por ello, se evalúa el tiempo de vida útil a partir del diseño de este artículo.

En este caso, la frecuencia de muestreo está fijada a 80 Hz. La absorción máxima de corriente es de 275 mA y la vida útil del sistema es de 5 horas de funcionamiento continuo con 3.7 V, a 1200 mA con una batería de ion litio.

Respecto a la duración de los componentes internos, se tendrá como referencia la duración especificada en el microcontrolador elegido, al igual que el sistema de alimentación.

Como los sensores están incluidos en el circuito electrónico la vida útil de los mismos depende de las características de la vida útil del microcontrolador. Por tanto, es muy difícil hacer un cálculo aproximado de la duración de los sensores.

## 4.5 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN

En el siguiente apartado se mostrarán los materiales más comunes utilizados en la fabricación de plantillas ortopédicas. También se elaborará un listado con los materiales empleados en la impresión 3D, ya que se ha pensado en la posibilidad de hacer la estructura de la plantilla mediante esta técnica.

En este caso las plantillas que se muestran a continuación están hechas de EVA (Etileno Vinilo Acetato). Se trata de un polímero termoplástico con las siguientes características más significativas.

- Fácil de plegar, cortar y pintar.
- Baja absorción de agua.
- Lavable.
- No toxico.
- Muy liviano.
- Fácil de moldear al calor.

Es un material indicado tanto para plantillas correctoras como funcionales. Existen distintas durezas de EVA, a mayor dureza mayor es el efecto corrector. Si es de menor dureza proporciona menos corrección, pero consigue un mayor confort. El tipo de dureza se elegirá en función de la patología y de la actividad que vaya a realizar el paciente.



Imagen 56. Plantillas de EVA

Otra cuestión a tener en cuenta sobre este material es su posibilidad de reciclarse. Al igual que ocurre con otros termoplásticos, tales como el polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC o poliuretano termoplástico.

### Esponja de caucho natural.

La esponja de caucho se utiliza normalmente en la fabricación de plantillas de corrección y contención, mientras que el caucho-serrín se utiliza para la fabricación de plantillas de corrección por el alto nivel de rigidez que presenta. Las características de este material son:

- **Perfil esponjoso:** dureza entre 10-15 shore.
  - **Perfil esponjoso semiduro:** dureza entre 15-30 shore (se podría llegar a 45 shore).
  - **Perfil esponjoso baja densidad:** dureza 4-6 shore.



Imagen 57. Esponja caucho

Normalmente estos perfiles se hacen en color gris, pero también se pueden presentar en color rojo, negro, azul, amarillo, verde, beige y blanco. Los modelos se pueden presentar con o sin los cantos matados.

### Espuma de látex.

Está compuesta por millones de células abiertas que permiten la circulación del aire y no retiene la humedad. Esto hace que sea un material transpirable. Tiene una alta capacidad de amortiguamiento y memoria de forma ante la presión.



Imagen 58. Espuma Látex

Como características especiales se tienen:

- Antihongos, antibacterias y antiestáticos.
- Conductores.
- Hidrófugos.
- Ignífugos.
- Foamizados a otros materiales.
- Gofrados, multicapas y combinaciones.

### Poliuretano.

Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, y según el comportamiento que tengan frente a la temperatura. De esta manera pueden ser de dos tipos: Poliuretanos termoestables o termoplásticos. Los termoestables más habituales son espumas y los termoplásticos que más destacan son elastómeros, suelas de calzado y fibras textiles.



Imagen 59. Poliuretano

TPU (poliuretano termoplástico) se caracteriza por su elasticidad, alta resistencia a la abrasión, desgaste, desgarre y a la conservación de propiedades mecánicas a temperaturas muy bajas. Por otra parte, también se tienen las plantillas termoconformadas, los cuales se realizan en materiales desde flexibles a muy rígidos, para conseguir la comodidad y la corrección necesarias.

### Polipropileno.

Es un polímero termoplástico. Sus propiedades más destacadas son:

- Es un material con poca densidad.
- La temperatura de reblandecimiento es más alta.
- Tiene gran resistencia al resquebrajamiento por tensión.
- Mayor tendencia a ser oxidado.

Este material puede ser sometido a muchos procesos, tales como moldeo por inyección, moldeo por soplado, termoformado, producción de fibras, extrusión de perfiles y laminas, impresión 3D.



### Fibra de carbono.

Mantiene la forma de la plantilla. Como características a destacar del material se tiene una elevada resistencia y su grosor es mínimo. Gran capacidad de aislamiento térmico. Presenta resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma. También es un material muy ligero. Ocupa poco espacio.



*Imagen 60. Fibra de carbono*

Los materiales descritos anteriormente son los más comunes en la fabricación de plantillas ortopédicas comunes. Como se ha visto, la mayoría de ellos son polímeros de densidad media a alta. Sin embargo, y de acuerdo al apartado de “Selección de alternativas”, se ha decidido que el material empleado tanto para la suela, las elevaciones correctoras y la estructura de la plantilla sea fabricado en PLA.

### Durabilidad de materiales

Una de las mayores ventajas de la goma EVA sobre la goma EPE es su durabilidad. Los valores promedios de densidad y resistencia al desgarro de la goma EVA superan en cinco veces los de la goma EPE común. Debido a su estructura celular cerrada, ambas tienen excelentes capacidades para acolchonar y amortiguar golpes, pero la goma EVA dura mucho más tiempo.

Respecto a los materiales empleados en los patrones que recubren los ajustes por presión se ha decidido que sea la goma EVA. Por otra parte, en la elección del material de la esponja se ha decidido que sea de caucho EVA, aunque sea menos duradero que la goma EVA.

Pero la mayor ventaja que tiene sobre este material es la gran capacidad de amortiguamiento. Un hecho importante es que no se puede estimar la duración de este tipo de materiales debido a que la actividad física y el peso del usuario influyen en este hecho. Una hipótesis de la duración de un paciente con masa corporal comprendida entre 60 y 65 kilos y que realice actividad física dos veces por semana.

En este caso la duración del caucho EVA (esponja fascitis plantar) y la del patrón superior de la plantilla (espuma viscoelástica) sería aproximadamente de un año, según datos obtenidos con el programa CES Edupack.

La espuma podría mostrar signos de desgaste, sin embargo, las mediciones reales de los sensores de plantilla no se ven afectadas. Las plantillas están en garantía por 1.000 km o 1 año.

### Materiales empleados en Impresión 3D

En el campo de la podología se aplica de la siguiente forma. El modelo de CAD3D es enviado a una Impresora 3D que, de forma automática, es capaz de procesar la información geométrica y convertirla en información técnica necesaria para que el equipo de impresión la vaya construyendo y depositando las capas una a una.

Dicho esto, los materiales utilizados en esta industria son polímeros del tipo ABS, PLA, Nylon, PA o PC, mientras que los materiales que se emplean en la fabricación de plantillas son la goma EVA y el PP, junto con las resinas de bajo punto de fusión.

Material	Características	Imagen
<b>PLA</b> <b>(ácido poli-láctico)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Polímero permanente e inodoro. Resistente a la humedad y la grasa.</li> <li>- Densidad baja.</li> <li>- Inflamabilidad es demasiado baja.</li> <li>- Puede ser rígido o flexible, y puede ser copolimerizado con otros materiales.</li> <li>- Fuerza extensible y módulo de elasticidad parecido al polietileno</li> </ul>	 <p><i>Imagen 61. PLA</i></p>
<b>ABS</b> <b>(Acronitrilo butadieno estireno)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy resistente al impacto</li> <li>- Termoplástico amorfo. A altas temperaturas se deforma, pero a bajas temperaturas endurece.</li> <li>- Puede ser moldeado mediante inyección, solapado y prensado.</li> <li>- No es muy inflamable, aunque mantiene la combustión.</li> <li>- Puede utilizarse en aleaciones con otros plásticos.</li> </ul>	 <p><i>Imagen 62. ABS</i></p>
<b>Nylon</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran calidad de acabado</li> <li>- Alta capacidad para soportar impactos significativos.</li> <li>- Coeficiente de fricción muy bajo.</li> <li>- Alta resistencia a la tracción</li> <li>- baja resistencia a la hidrólisis.</li> </ul>	 <p><i>Imagen 63. Nylon</i></p>
<b>PA (Poliamida)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta resistencia tanto mecánica como térmica</li> <li>- Excelentes propiedades mecánicas</li> <li>- Piezas resistentes a altas temperaturas y al contacto con productos químicos</li> <li>- Elevada tenacidad</li> <li>- Baja fricción</li> <li>- Resistencia al desgaste</li> <li>- Alto poder amortiguador</li> </ul>	 <p><i>Imagen 64. PA</i></p>
<b>PC</b> <b>(Policarbonato)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada resistencia mecánica</li> <li>- Excelente resistencia a impactos</li> <li>- Buena estabilidad dimensional</li> <li>- Buena resistencia a la fluencia</li> </ul>	 <p><i>Imagen 65. PC</i></p>

Tabla 8. Materiales para impresión en 3D

Seguidamente se muestra una tabla con los materiales empleados en la fabricación de plantillas.



Material	Características	Imagen
<b>EVA (etilvinilacetato)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia a fisuras por tensión.</li> <li>- Propiedades impermeables.</li> <li>- Resistencia a la radiación ultravioleta.</li> <li>- Gran resistencia al desgaste.</li> <li>- Mayor flexibilidad que el polietileno de baja densidad (LDPE)</li> </ul>	 <p>Imagen 66. EVA</p>
<b>PP (Polipropileno)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidad</li> <li>- Excelente resistencia mecánica y química.</li> <li>- Alta resistencia a la flexión</li> <li>- Resistencia a la abrasión.</li> <li>- Resistencia a la fatiga.</li> <li>- Alta sensibilidad ante los rayos ultravioleta.</li> <li>- Relativa rigidez.</li> </ul>	 <p>Imagen 67. PP</p>

Tabla 9. Materiales de plantilla

Vistos todos los materiales, se ha decidido establecer un método de evaluación entre el PLA y el ABS para la base de la plantilla, ya que es la que estará en contacto con el suelo cuando el paciente lo utilice descalzo. Para ello, se va a comprobar las propiedades y el estudio de los materiales con el programa CES Edupack.

ABS	
<b>Propiedades generales</b>	Densidad 1,01 e3 – 1,21 e3 kg/m <sup>3</sup> Precio 2,03 – 2,4 Eur/Kg
<b>Propiedades mecánicas</b>	Módulo de Young 1,1 – 2,9 GPa Módulo a cortante 0,319 – 1,03 GPa Módulo en volumen 3,8 – 4 GPa Límite elástico 18,5 – 51 MPa Resistencia a tracción 27,6 – 55,2 MPa Resistencia a compresión 31 – 86,2 Mpa Elongación 1,5 – 100 % strain Dureza 5,6 – 15,3 HV
<b>Propiedades térmicas</b>	Conductor térmico o aislante → Buen aislante Conductividad térmica 0,188 – 0,335 W/m. °C Coeficiente de expansión térmica 84,6 – 234 μstrain / °C
<b>Procesabilidad</b>	Colabilidad 1 – 2 Moldeabilidad 4 -5 Mecanizabilidad 3 -4 Soldabilidad 5
<b>Durabilidad</b>	Suelos ácidos (turba) → Excelente Suelos alcalinos (arcilla) → Excelente Atmosfera rural → Excelente Radiación UV (luz solar) → Mala

Tabla 10. Material ABS

PLA	
<b>Propiedades generales</b>	Densidad 1,24e3 kg/m <sup>3</sup> Precio 2,21 – 3,02 Eur/Kg
<b>Propiedades mecánicas</b>	Módulo de Young 3,3 – 3,6 GPa Módulo a cortante 1,2 – 1,29 GPa Módulo en volumen 5,7 – 6,3 GPa Límite elástico 55 – 72 MPa Resistencia a tracción 47 – 72 MPa Resistencia a compresión 66 – 86 Mpa Elongación 3 – 6 % strain Dureza 17 – 22 HV
<b>Propiedades térmicas</b>	Conductor térmico o aislante → Buen aislante Conductividad térmica 0,13 – 0,16 W/m. °C Coeficiente de expansión térmica 126 – 145 μstrain / °C
<b>Procesabilidad</b>	Colabilidad 4 – 5 Moldeabilidad 4 -5 Mecanizabilidad 4 – 5 Soldabilidad 3 – 4
<b>Durabilidad</b>	Suelos ácidos (turba) → Inaceptable Suelos alcalinos (arcilla) → Inaceptable Atmosfera rural → Aceptable Radiación UV (luz solar) → Buena

Tabla 11. Material PLA

Una vez vistas las propiedades de cada material se ha decidido utilizar el PLA para la fabricación de la estructura de la plantilla, junto con los patrones intermedios.

#### 4.6 MODOS DE IMPRESIÓN 3D

Tal y como se ha decidido, se utilizará la impresión en 3D para la construcción de la base de la plantilla. Dicho esto, se analizan las tecnologías de impresión existentes para decidir cuál es la más adecuada para el diseño.

##### *Definición.*

Producir piezas basadas en la fabricación aditiva, aprovechando el 100 % del material con el que se trabaja. Una de las ventajas es que no necesitan elementos auxiliares como utillajes o moldes para conseguir el producto final. Por otro lado, permite obtener piezas de cualquier geometría, sin aumentar el coste del proceso de fabricación. A diferencia del mecanizado convencional no genera apenas residuos ni desperdicio de material, por tanto, se utiliza menos energía y se reducen las emisiones. También permite fabricar más de una pieza a la vez e incluso ensamblajes.

##### *Equipamiento.*

Es necesario contar con un modelo 3D y un software especial que convierta esa pieza en un tipo de archivo que informe a la impresora de los pasos a seguir para la fabricación. Luego, se contará con un modelo 3D realizado en CAD para escanearlo en 3D y realizar la descarga, para finalmente tener el prototipo.

#### 4.6.1 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN

Nombre	Descripción	Imagen
<b>Material Jetting</b>	Se basa en la deposición selectiva de una mezcla de material fotopolímero, en forma de gotas, que se deposita sobre una plataforma. Esto permite crear capas de una sola pasada para su curado y solidificación mediante una luz UV.	 <p data-bbox="1082 510 1342 539"><i>Imagen 68. Material Jetting</i></p>
<b>Estereolitografía</b>	Utiliza como material de impresión una resina líquida solidificada bajo el efecto de la luz UV. Esto se solidifica mediante el paso de un láser capa por capa. Una vez que la primera capa de material solidificado, la plataforma desciende un nivel y una nueva sección se solidifica.	 <p data-bbox="1042 786 1398 815"><i>Imagen 69. Estereolitografía</i></p>
<b>FDM (modelado por deposición fundida)</b>	Basada en 3 elementos principales. Una placa de impresión en la que se imprime la pieza, una bobina de filamento que sirve como material de impresión y una cabeza de extrusión. El filamento es fundido por el extrusor de la impresora 3D, que deposita el material de forma precisa capa por capa sobre la capa de impresión.	 <p data-bbox="1070 1133 1385 1162"><i>Imagen 70. FDM</i></p>
<b>Binder Jetting (inyección con aglutinante)</b>	Consiste en la pulverización de un aglutinante líquido sobre un lecho de polvo que luego se solidifica en la sección transversal. Permite imprimir en muchos colores gracias a la utilización de un aglutinante coloreado.	 <p data-bbox="1038 1442 1406 1471"><i>Imagen 71. Binder Jetting</i></p>
<b>DLP (Light Processing Direct)</b>	Técnica de impresión que solidifica resina fotosensible mediante una fuente de luz. Al igual que en otros procesos, la construcción del prototipo se lleva a cabo a partir de un modelo en CAD.	 <p data-bbox="1094 1715 1302 1744"><i>Imagen 72. Impresión DLP</i></p>

Tabla 12. Modos de impresión

Por último, se muestra el proceso de impresión en 3D de Sinterizado selectivo por láser.

Permite imprimir objetos funcionales sin recurrir a un aglutinante o una etapa de ensamble. La formación del objeto pasa por ser elaborado en primer lugar por un software de CAD para posteriormente enviarlo a una impresora en formato numérico. La impresión se realiza capa por capa, a partir de polvos fusionados, gracias a la temperatura generada por un láser CO<sub>2</sub>.

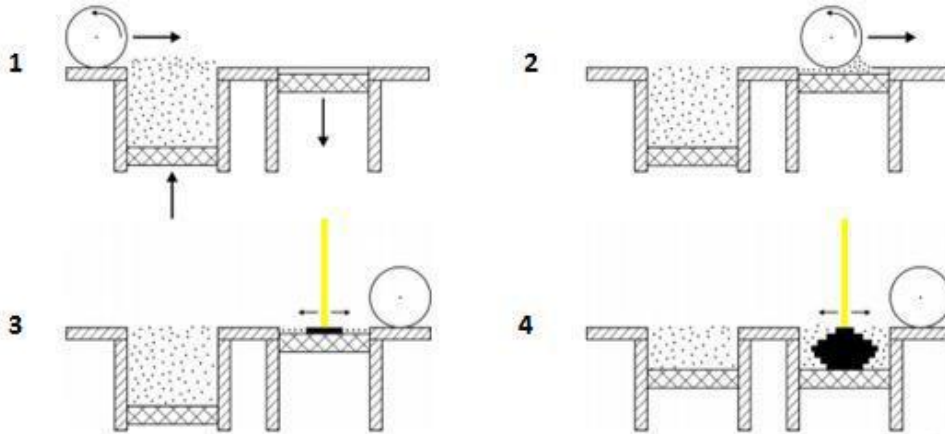


Imagen 73. Impresión SLS

Respecto al volumen máximo de fabricación, las impresoras 3D generalmente permiten alcanzar un volumen de entre 12x12x12 cm y 30x30x30 cm para las más voluminosas. Las impresoras 3D FDM XXL son las que superan el metro cúbico. Dicho esto, el método de impresión que se utiliza para construir el prototipo es Modelado por deposición fundida (FDM), ya que permite imprimir con el material elegido y produce un gran acabado superficial.

## 5. TECNOLOGÍA EN ANÁLISIS DE PARÁMETROS

### 5.1 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO BASADO EN TECNOLOGÍA INERCIAL

Los sistemas de captura y análisis de movimiento basados en tecnología inercial permiten obtener los parámetros cinemáticos 3D en cualquier entorno. Los sensores inerciales son capaces de capturar desde los movimientos más insignificantes a aquellos de alta velocidad producidos en el cuerpo humano. Protocolos de transmisión de señal dedicados aseguran un envío de datos en tiempo real fiable y robusto.

El modelo biomecánico del sistema MVN BIOMECH y los algoritmos de fusión del sensor aseguran contar con un análisis de movimiento de alta calidad y precisión, incluso en los entornos más desafiantes.

## 5.2 ANÁLISIS BASADO EN TECNOLOGÍA ÓPTICA

Se lleva a cabo mediante sistemas de captura y análisis de movimiento, que se basan en imagen real de alta velocidad y resolución junto con algoritmos de análisis de imagen. Las grabaciones de video de alta calidad son capturadas a través de múltiples cámaras de alta velocidad sincronizadas entre ellas.

Gracias a los algoritmos más avanzados en procesamiento de imágenes, podemos capturar el movimiento humano con una altísima precisión y obtener datos cinemáticos 2D /3D.

SIMI Motion lleva a cabo un seguimiento automático de marcadores pasivos colocados sobre un sujeto para el cálculo cinemático.

## 5.3 SISTEMAS EMG INALÁMBRICOS O CABLEADOS

Los sistemas de electromiografía superficial permiten determinar los patrones reales de activación muscular mediante la medida de la señal eléctrica generada por los grupos musculares ante el proceso de activación. De esta manera, se pueden establecer planes de tratamiento y monitorizar el progreso de éste.

La compañía Noraxon usa la tecnología más avanzada para la transmisión en tiempo real de los datos.

## 5.4 BIOFEEDBACK

Es una técnica basada en un sistema de sensores que se emplean para controlar las funciones fisiológicas del paciente mediante un sistema de retroalimentación que informa al usuario del estado de la función corporal en tiempo real.

### 5.4.1 TIPOS DE BIOFEEDBACK

Dependiendo del sistema fisiológico sobre el que se informa al sujeto, el biofeedback se clasifica en:

#### 1. Neurofeedback

Analiza la activación del cerebro en ciertas situaciones. Se lleva a cabo mediante un electroencefalograma en el que se detectan los ritmos cerebrales.

#### 2. Registro del sistema nervioso somático

Los sensores recogen información sobre el sistema nervioso somático, es el que transmite órdenes voluntarias desde el cerebro hacia los músculos. Esta técnica nos permite registrar información relativa al tono muscular a través de un método llamado electromiograma.

### 3. Registro del sistema nervioso autónomo

El sistema nervioso autónomo controla una gran cantidad de funciones todas ellas de índole vital, tales como la frecuencia cardíaca, la circulación sanguínea, el sueño y las reacciones viscerales de defensa ante diferentes amenazas y diferentes procesos adaptativos de índole vital.

## **5.5 SOFTWARE DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS BIOMECÁNICOS**

Visual3D.

Herramienta de análisis 3D que permite el modelado, análisis y generación de informes en el ámbito biomecánico. Es decir, mide y cuantifica cualquier movimiento capturado mediante otros sistemas, suprimiendo así las limitaciones de otros marcadores con ajustes predefinidos.

Tal y como se ha comentado antes, las aplicaciones de esta herramienta son múltiples, destacando las siguientes:

- Cálculos biomecánicos cinéticos y cinemáticos
- Soporte en plataformas de fuerza y EMG
- Análisis y generación de informes
- Biofeedback

Otros sistemas son SIMI, XSENS, NORAXON...

### Resistencia y durabilidad del producto.

El material que está en mayor contacto con el pie es la espuma viscoelástica (patrón superior), por tanto, los valores que se tienen para las características mencionadas anteriormente son los siguientes:

- Resistencia a la penetración 25%(N) 50-65. 40%(N) 70-100. 65%(N) 110-150
- Dureza de la compresión  $2 \pm 7$  Kpa

La duración de la estructura de la plantilla se estima con los datos mostrados en el apartado número 4 de este documento, que son los que tiene el PLA.

En el que se ve que la dureza oscila entre los 17 y 22 Vickers, lo que se corresponde con un valor bastante alto respecto a los materiales de impresión.

## **6. PLAN DE PROMOCIÓN Y LANZAMIENTO**

En este apartado se distinguirán el proceso de desarrollo del logotipo y de sus posibles usos gráficos.



Inicialmente para la fase de slogan, se pensará en una serie de propuestas que mejor describa la función del dispositivo. También se utilizarán distintas tipografías que acompañen de forma estética al logotipo del producto.

## 6.1 SLOGAN

- I. Helping to get the new step on your life
- II. Improving your footprint
- III. Your next step
- IV. Enhance each step

### 6.1.2 TIPOGRAFÍAS

#### Castorgate

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ

Abcdefghijklmnñopqrstuvwxyz

#### Expansiva

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

#### Simple print

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

yz

#### Nórdica

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ

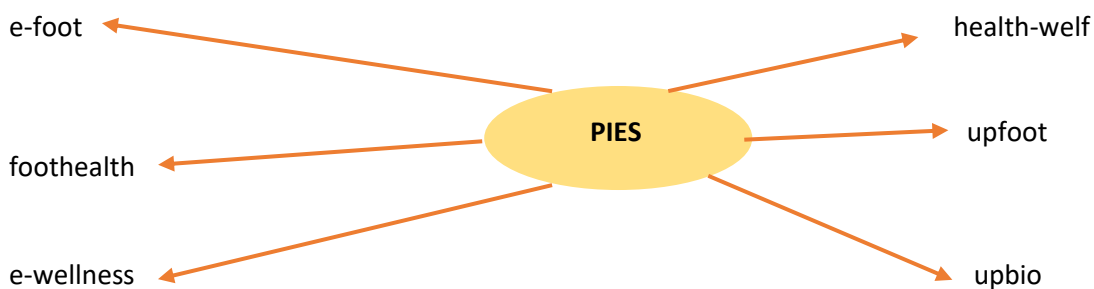
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

## 6.2 LOGOTIPO

En este punto se verán todas las fases involucradas en la creación de la imagen gráfica del dispositivo.

### 6.2.1 IDEAS PREVIAS

Pie → foot  
 Salud → health  
 Bienestar → wellness  
 Biomédico → biomedical → Bio



### 6.2.2 SELECCIÓN DEL LOGOTIPO

Un logotipo debe ser fácil de reconocer y recordar, y sobre todo sencillo. Por esta razón, se descartarán los nombres más largos expuestos anteriormente. Durante esta fase se continuará el proceso de selección con las siguientes propuestas:

- e-foot
- upbio
- e-wellness

A continuación, se mostrarán estas opciones con los diferentes tipos de tipografía elegida.

Tipografía	Opción logotipo 1	Opción logotipo 2	Opción logotipo 3
<i>Castorgate</i>	e-foot	Upbio	e-wellness
<i>Expansiva</i>	e-foot	Upbio	e-wellness
<i>Simple print</i>	e-foot	Upbio	e-wellness

Tabla 13. Logotipos y tipografías.

Una vez evaluado las distintas alternativas, se desarrollará la opción número 3, con la tipografía “Expansiva”.

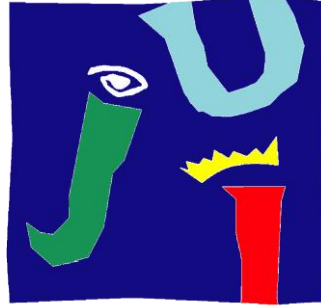
e-wellness

### 6.2.3 ICONO



*Imagen 74. Logotipo final*





**UNIVERSITAT  
JAUME I**

Escola Superior de Tecnologia I Ciències Experimentals  
Universitat Jaume I

# **PLANOS**

Trabajo Fin de Grado

# Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo de productos

# ÍNDICE

1. PIEZAS DEL MODELADO .....	158
1.1. PLANO GENERAL	
1.2. PLANO SUBCONJUNTOS	
1.3. PLANO SUBCONJUNTO 1	
1.4. PLANO ESTRUCTURA INTERNA	
1.5. PLANO MOLDE SUBCONJUNTO 1	
1.6. PLANO SUBCONJUNTO 2	
1.6.1 Plano patrón intermedio	
1.6.2 Plano ajuste por presión	
1.6.3 Plano esponja	

<sup>1</sup> Se tendrá un punto principal en este apartado en el que cada plano es la subsección del índice de PLANOS

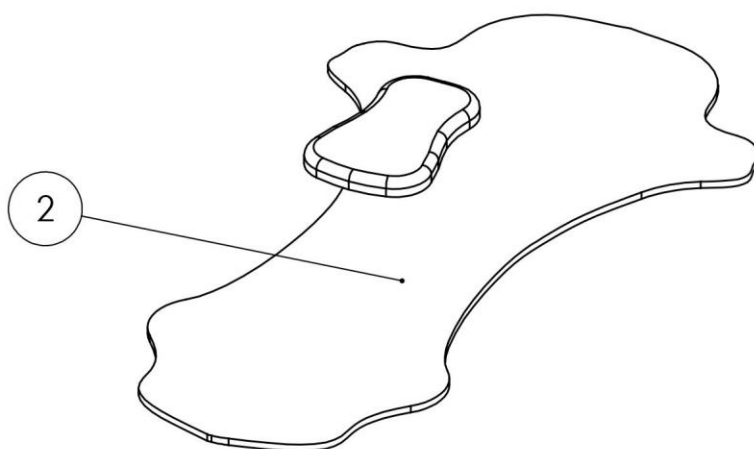
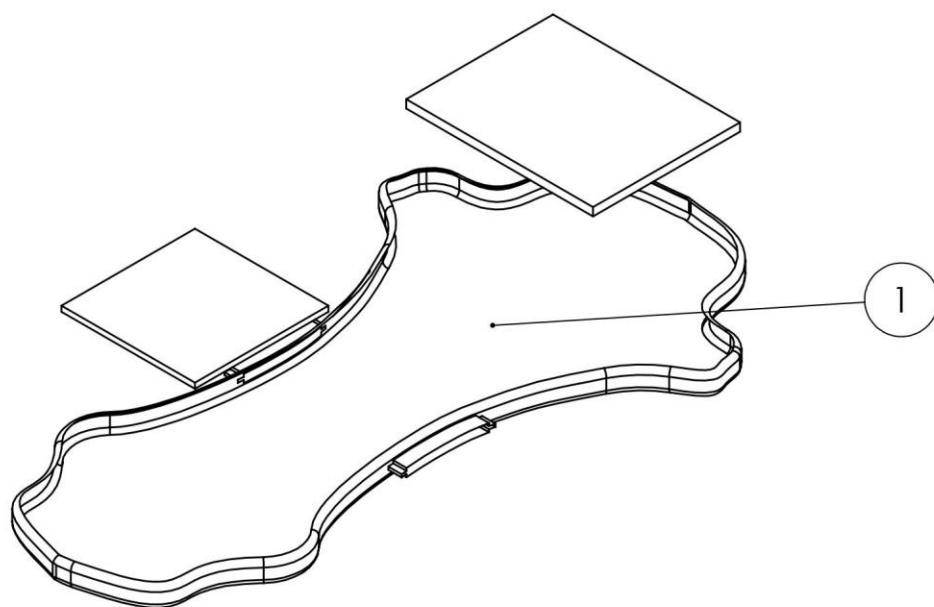
## 1. Piezas del modelado

Código	Designación	Código	Designación
<b>Subconjunto 1</b>	Estructura de la plantilla	<b>1.2.4</b>	Parte interna plantilla
<b>1.1</b>	Suela	<b>1.2.4.1</b>	Ajuste por presión
<b>1.2</b>	Estructura interna	<b>1.3</b>	Estructura externa
<b>1.2.1</b>	Circuito electrónico	<b>Subconjunto 2</b>	Molde plantilla
<b>1.2.1.1</b>	Microprocesador	<b>2.1</b>	Almohadilla intermedia
<b>1.2.2</b>	Módulo wifi		
<b>1.2.3</b>	Sensor de presión		

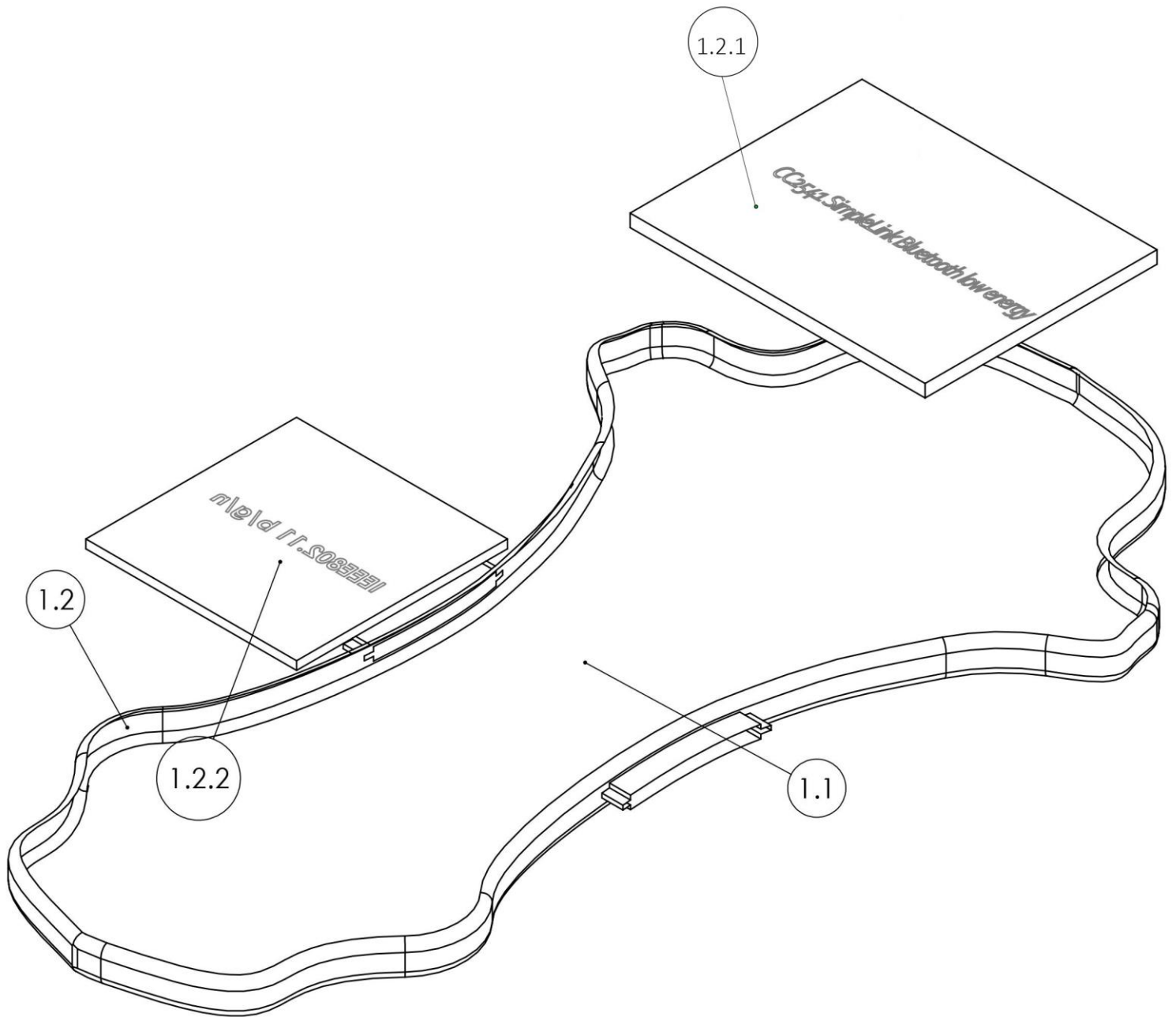
*Los componentes del producto que son comprados no se realizarán mediante planos, ya que no han sido diseñados ni fabricados mediante las técnicas descritas en el proyecto. Sin embargo, se presentarán una serie de Renders mostrando el aspecto real que tendría la plantilla.*



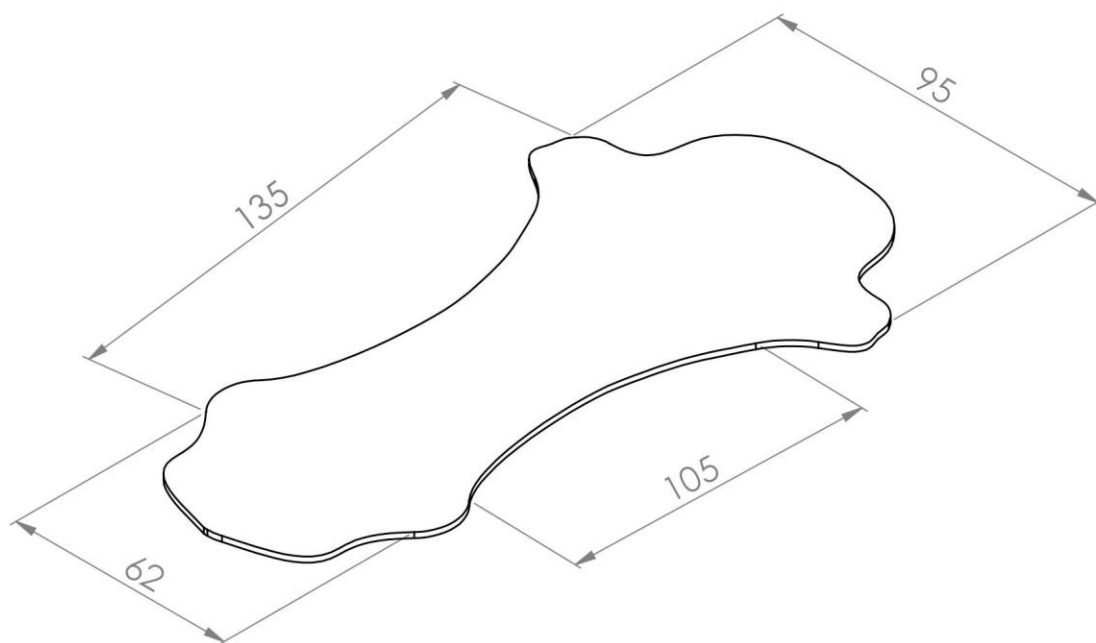
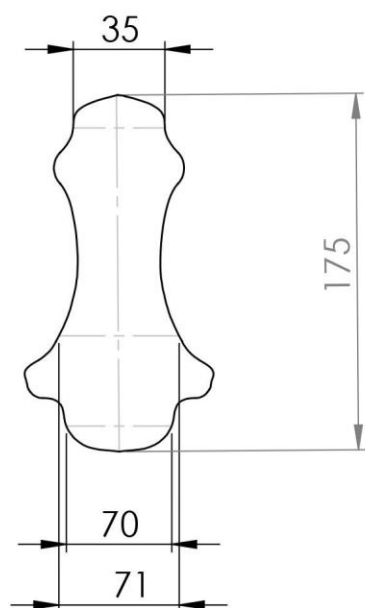
<sup>2</sup> Los siguientes planos están realizados en formato A4. Las cotas están expresadas en milímetros.



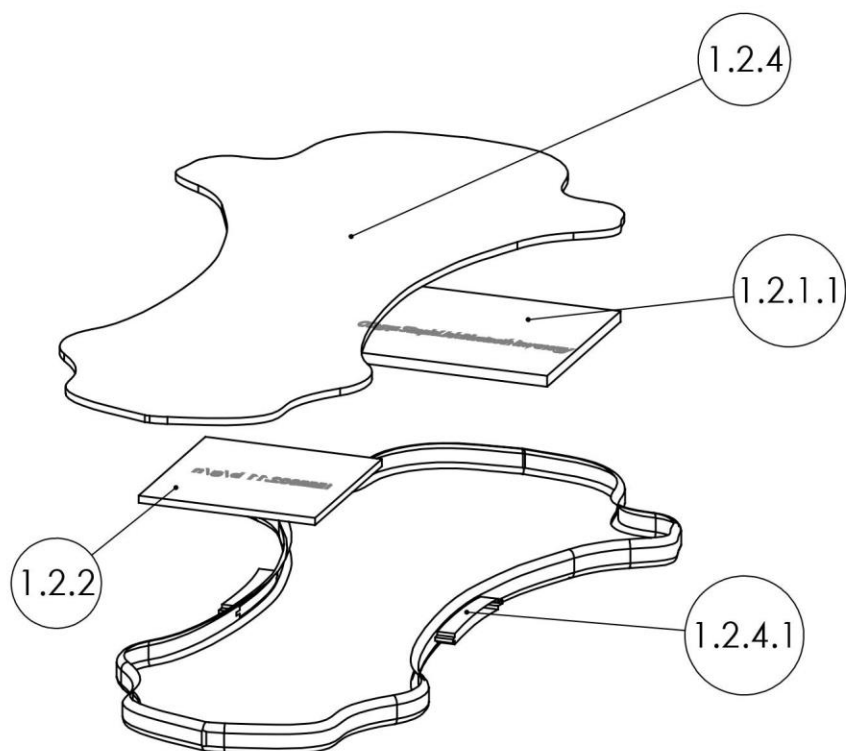
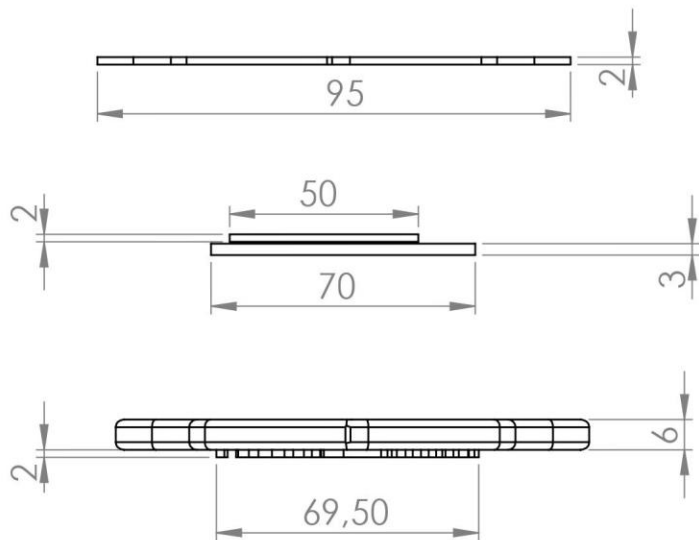
	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:2	Nombre Pieza:plano general		Código pieza    Dispositivo Plantilla
	Nº de plano: 1		Cantidad 1
	Unidades 1		Realizado por María Cumbres



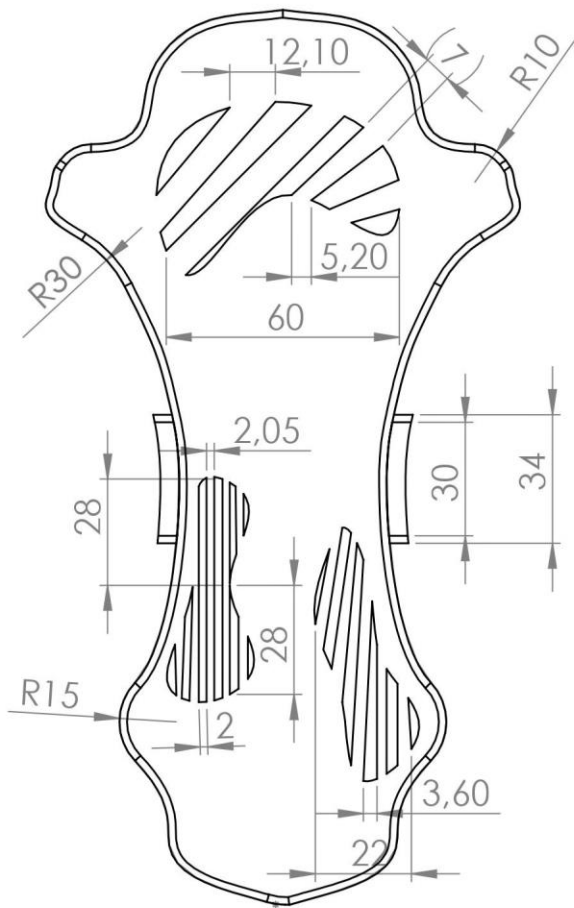
	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:1	Nombre Pieza: Estr. interna		Código pieza    Dispositivo Plantilla
	Nº de plano: 2		Cantidad 1
	Unidades 1		Realizado por María Cumbres



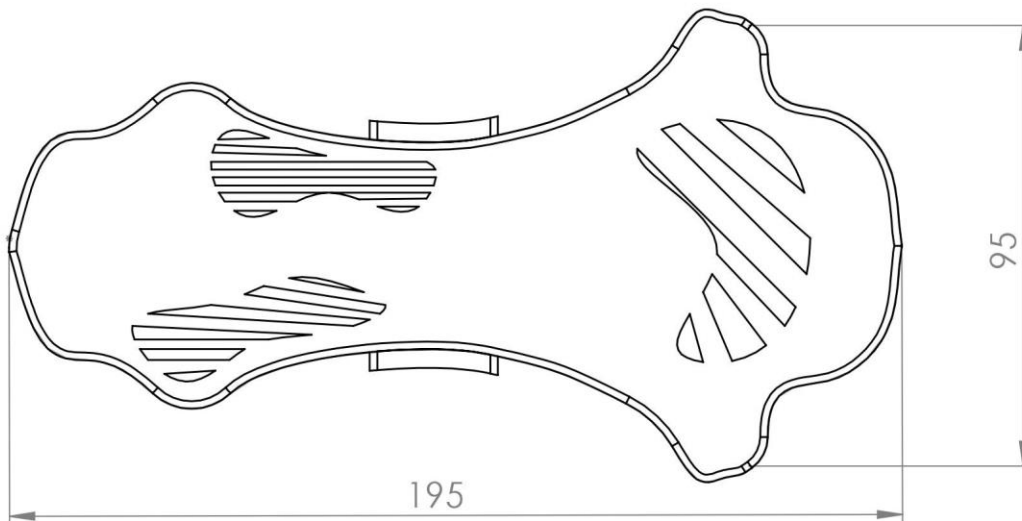
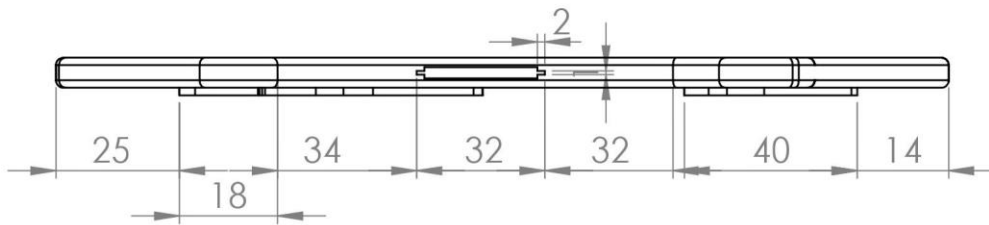
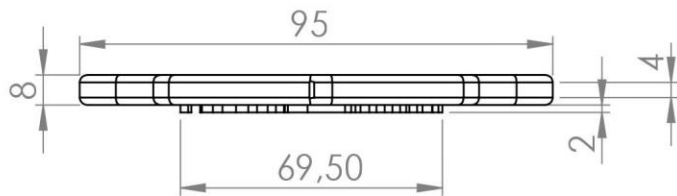
	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:2	Nombre Pieza: patron sup.		Código pieza    Dispositivo Plantilla
	Nº de plano: 3		Cantidad 1
	Unidades 1		Realizado por María Cumbres



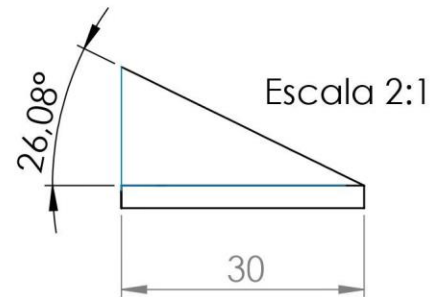
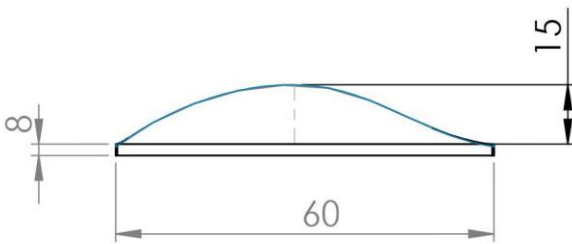
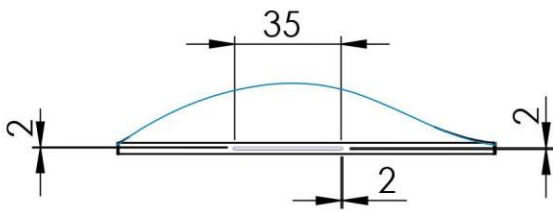
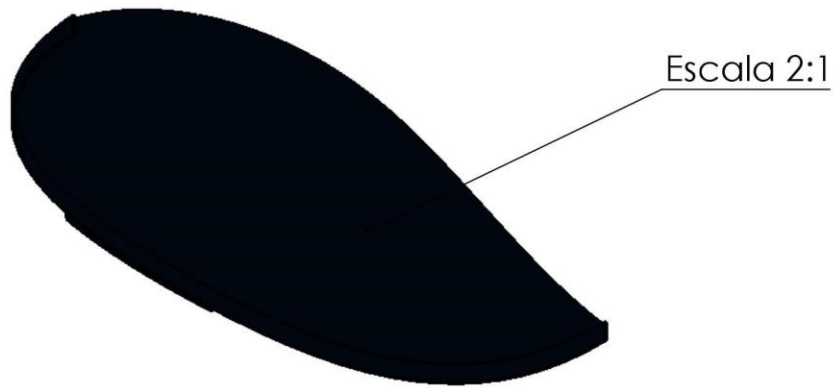
	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:2	Nombre Pieza: P. INTERNA PLANT.		Código pieza Parte interna Plantilla
	Nº de plano: 4		Cantidad 1
	Unidades 1		Realizado por María Cumbres



	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:1	Nombre Pieza: <b>SUELA</b>		Código pieza    Dispositivo plantilla
	Nº de plano:    5		Cantidad    1
	Unidades    1		Realizado por María Cumbres



	Fechas	Nombre	Proyecto: Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Dibujado	29/05/2019	María C.	
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala: 1:2	Nombre Pieza: Suela Plantilla		Código pieza sensor de Presión
	Nº de plano: 6		Cantidad 1
	Unidades 1		Realizado por María Cumbres



	FECHAS	NOMBRE	Proyecto:
Dibujado	29/05/2019	María C.	Dispositivo para analizar los parámetros que influyen en la pisada para corregir la supinación o pronación de un paciente
Comprobado	31/05/2019	María C.	
Escala 1:1	Nombre pieza: Elevación		Código pieza: Dispositivo Plantilla
	Nº Plano: 7		Cantidad: 1
	Unidades: 1		Realizado por: María Cumbres Tena



## 2. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto ha sido diseñar una mejora en el funcionamiento y corrección de las ortesis plantares que existen actualmente en el mercado.

El desarrollo de un sistema de características personalizadas en una plantilla requiere de un estudio profundo y un desarrollo de fases con un número de individuos reales, ya que permiten obtener datos claros de respuesta y establecer los objetivos logrados y fallidos de una manera certera. Es por esto, que el proyecto se ha realizado sobre la situación concreta de la autora de este trabajo, la cual presenta pisada con sobrepronación y con supinación en el antepié izquierdo.

Se ha fijado como objetivo principal la obtención de información para saber si una persona supina o prona. Para lograr esto, es necesario realizar una serie de pruebas fisonómicas del pie y posteriormente una serie de pruebas biomecánicas. Una vez que el especialista indica al paciente su condición de pronador o supinador, recomienda una serie de plantillas con mayor o menor grado de elevación en los extremos del mediopié según las necesidades del paciente.

A partir de aquí, se piensa una forma que anatómicamente cubra la mayoría del pie para posteriormente conseguir que mientras se camina se vaya analizando el mapa de presiones del paciente, posteriormente almacenando en un dispositivo para finalmente enviarlos mediante conexión inalámbrica. También se han desarrollado una serie de partes elevadoras, que son aquellas que ayudan a la corrección de la supinación o pronación del pie.

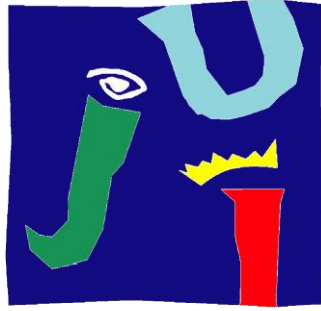
El diseño está desarrollado totalmente con tecnología de impresión en 3D y cuenta con 16 sensores ubicados estratégicamente, que ejecutan un control dinámico de la pisada durante 24 horas.

El proceso de almacenamiento se lleva a cabo en un espacio digital como la “nube”, y de envío se transmiten mediante Bluetooth para que posteriormente el especialista valore los resultados. Mediante los datos evaluados, el dispositivo proporciona información sobre la velocidad del paciente y la colocación del pie.

Una gran diferencia de las plantillas existentes en el mercado y el modelo “e-wellness” es que la mayoría están ideadas para deportistas de alto rendimiento. Éstas sirven para la realización de estudios en un lugar específico sin analizar la marcha constante del paciente. Sin embargo, hay plantillas instrumentadas que sólo indican el mapa de presiones, no proporcionan más datos sobre los factores que influyen en la pisada.

Finalmente se lograron establecer las características técnicas del producto adaptándose a un presupuesto válido para el mercado actual. Es importante saber que para conseguir una mejor viabilidad del producto tiene que realizarse un estudio de mayor profundidad, debido a que se han de conocer las mejoras a añadir al diseño mediante la prueba con usuarios. Es por ello que se ha pensado en la posibilidad de establecer unos modelos según el tallaje plantar de los pacientes, para ello viene bien el estudio de la huella plantar mediante el escáner 3D.





**UNIVERSITAT  
JAUME I**

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals  
Universitat Jaume I

# **Pliego de condiciones**

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo  
de productos



# ÍNDICE

1. ALCANCE.....	179
2. OBJETO .....	179
3. ÁMBITO DE USO .....	179
4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES.....	179
4.1 Listado de materiales .....	179
5. Pruebas y ensayos .....	183
6. Normativa del producto.....	187
7. Mantenimiento del producto.....	188

## ÍNDICE

1. ALCANCE .....	179
2. OBJETO.....	179
3. ÁMBITO DE USO .....	179
4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES .....	179
4.1 Listado de materiales .....	179
4.2 Indicaciones fabricante .....	181
5. Pruebas y ensayos .....	183
6. Normativa del producto.....	187
7. Mantenimiento del producto.....	188



## Índice de figuras

Ilustración 1 Estructura de la plantilla .....	180
Ilustración 2 Suela .....	180
Ilustración 3 Bases intermediarias .....	180
Ilustración 4 Patrón superior de la plantilla .....	180
Ilustración 5 Ajuste por presión .....	180
Ilustración 6 Parte superior del ajuste .....	180
Ilustración 7 Esponja .....	180
Ilustración 8 Microcontrolador CC2541 .....	180
Ilustración 9 Plantilla sensores de presión .....	180
Ilustración 10 Cloruro de metileno.....	181
Ilustración 11 Resina artística.....	181
Ilustración 12 Masilla para plásticos .....	181
Ilustración 13 Adhesivo DIMAFIX .....	181
Ilustración 14. Resistencia a tracción de materiales elásticos.....	183
Ilustración 15. Variación del esfuerzo .....	184
Ilustración 16. Curva de fluencia en función del tiempo.....	184
Ilustración 17. Fuerza de impacto al caminar descalzo .....	185
Ilustración 18. Ratio de carga .....	185
Ilustración 19. Fuerza de impacto .....	185



## 1. ALCANCE

Este documento contiene la especificación de las condiciones técnicas de materiales, producción, montaje y uso del producto.

## 2. OBJETO

Para que la etapa de producción sea lo más eficiente posible se ha optado por el mínimo uso de materiales y procesos de fabricación.

Por tanto, el producto hace un uso predominante del PLA para la base de todos los módulos que forman el conjunto final del producto, y de la espuma viscoelástica para la base que unirá la parte de los sensores con la de la esponja para tratar la fascitis plantar. Dicho esto, el material que forma la esponja será diferente a los empleados en las distintas partes que formen el producto.

Con el mínimo uso de materiales se consigue facilitar la etapa de reciclaje del producto, separando cada componente con solo desmontar el producto.

Posteriormente, se exponen las características que deben de cumplir los materiales utilizado en la fabricación del producto.

## 3. ÁMBITO DE USO






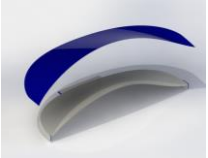



E-wellness ha sido diseñado para los profesionales de la salud, concretamente los podólogos y expertos en biomecánica. De esta forma se consigue acercar las innovaciones en tecnología y los conocimientos de la salud junto a la rama de ingeniería para elaborar un producto que ayude a mejorar los problemas presentes en la pisada de las personas.

## 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES





En este apartado se muestra un listado con los materiales y componentes empleados para la fabricación y producción de las plantillas. También se comprobarán la resistencia al desgaste y corrosión mediante el programa de evaluación de materiales CES Edupack.

### 4.1 Listado de materiales

En el siguiente apartado se mostrarán todos los materiales empleados en la fabricación del dispositivo, así como la cantidad de unidades que se requieren.

Componente	Material	Unidades	Imagen
Estructura de la plantilla	PLA	2	 Ilustración 1
Suela	PLA	2	 Ilustración 2
Bases intermedias	PLA	2	 Ilustración 3
Patrón superior de la plantilla	Goma EVA	2	 Ilustración 4
Ajuste por presión	PLA	4	 Ilustración 5
Parte superior del ajuste	Goma EVA	4	 Ilustración 6
Espónja fascitis plantar	Caucho	2	 Ilustración 7
Microcontrolador CC2541 SimpleLink Bluetooth low energy. Wireless MCU (C1 Mux)		2	 Ilustración 8
Plantilla sensores de presión		2	 Ilustración 9

Por otro lado, también se muestran los materiales implicados en los tratamientos post-impresión 3D.

Tratamiento	Material	Imagen
<b>Post- impresión</b>	Cloruro de metileno. Útil para que no se vean las líneas de expresión.	 <p><i>Ilustración 10</i></p>
<b>Resistencia a la pieza</b>	Resina artística. Se utiliza para darle resistencia a la pieza, o proporcionarle brillo.	 <p><i>Ilustración 11</i></p>
<b>Alisado de surcos</b>	Masilla para plásticos. Reparación de orificios y roturas. Reconponer los contornos y perfiles.	 <p><i>Ilustración 12</i></p>
<b>Pegado</b>	Adhesivo DIMAFIX. Fuerte adhesión, sin warping.	 <p><i>Ilustración 13</i></p>

#### 4.2 Indicaciones fabricante

Una vez que se han visto todos los materiales y componentes empleados en la fabricación del producto se procede a explicar el montaje del producto paso a paso.

En primer lugar, se procede a imprimir todos los componentes fabricados con PLA. Posteriormente se realiza el corte y el lijado de las siguientes piezas:

- Esponja fascitis plantar.
- Parte superior del ajuste.

En ambos casos se liján los cantos.

Una vez que se tienen listas todas las piezas se lleva a cabo el proceso de unión y montaje.

1. Lo primero que se hace tras la impresión de todas las piezas es aplicar el tratamiento post- impresión, en este caso, el cloruro de metileno. De esta forma se preparan todos los componentes, eliminando las líneas de expresión y se consigue un acabado liso.
2. Se coloca la suela y se adhiere a la base de la plantilla con el adhesivo DIMAFIX

3. Posteriormente a cada pieza se le da una capa de resina. Así se consigue una mayor resistencia y, por tanto, una mayor durabilidad del producto.
4. Una vez que se tiene la estructura interna de la plantilla, se procede a la colocación del microcontrolador y módulo bluetooth. Cada componente está recubierto por una carcasa. El primer componente en la parte superior y el segundo en la inferior.
5. A continuación, se coloca el patrón intermedio (base de PLA para separar componentes) sobre la carcasa donde van contenidos el microcontrolador y el módulo Bluetooth para posteriormente continuar con la siguiente capa.
6. El siguiente paso es colocar la plantilla que contiene los sensores de presión. Posteriormente se adhiere otro patrón con la forma de la plantilla.
7. Finalmente, se coloca una capa de goma EVA para que sea más confortable durante el uso para el paciente. Este patrón es el que se encuentra en contacto con el pie.
8. Ahora se realiza el tratamiento de las uniones a presión y los ajustes a presión. El último tratamiento que hace falta para que las piezas queden perfectas para la entrega del podólogo al paciente, es el alisado de los surcos que han podido quedar tras la impresión de los bordes de la plantilla.
9. Tras el paso anterior, solo falta pegar la forma del ajuste por presión al componente impreso.
10. Por último, la unión entre elevación y plantilla se realiza presionando las ranuras de ambos componentes. De esta forma queda totalmente fija.



## 5. Pruebas y ensayos

Los siguientes ensayos son aplicables al dispositivo que se ha diseñado.

### Ensayos para uniones.

- Resistencia al calor de las uniones.
- Envejecimiento de las uniones en condiciones detalladas.

### Ensayos para suelas.

- Resistencia a flexión.
- Resistencia al desgarro.
- Resistencia a tracción y alargamiento.
- Resistencia a la abrasión.
- Estabilidad dimensional.
- Energía de compresión.
- Densidad global.

### Ensayos para materiales elásticos

- I. Resistencia a la tracción y al alargamiento.
- II. Resistencia a la fatiga.

### Ensayos para cortes

- I. Resistencia al agua.
- II. Resistencia a tracción y al alargamiento.
- III. Resistencia a la rotura en el montaje.
- IV. Deformabilidad.
- V. Resistencia a altas temperaturas.

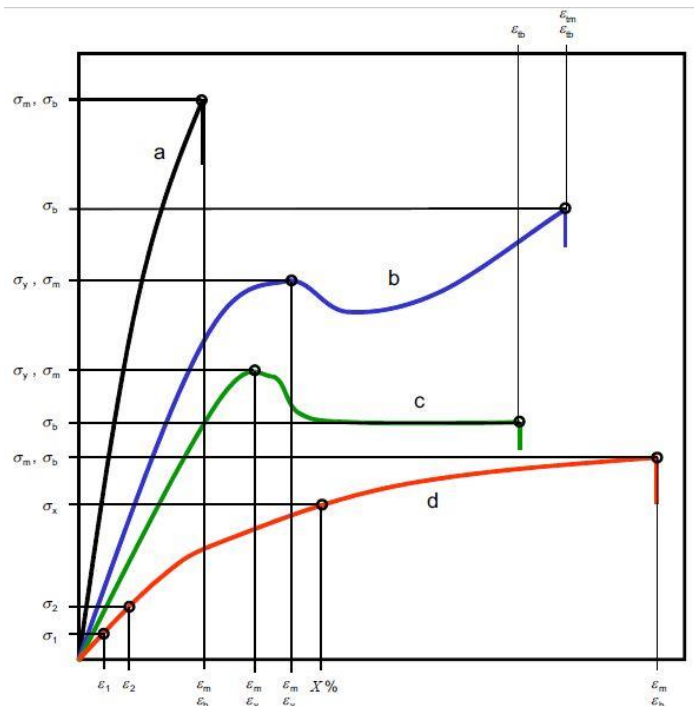


Ilustración 14. Resistencia a tracción de materiales elásticos

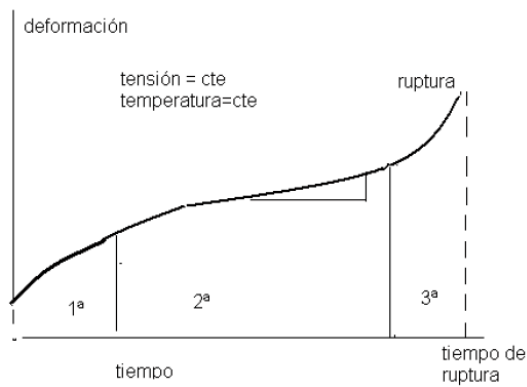


Ilustración 16. Curva de fluencia en función del tiempo

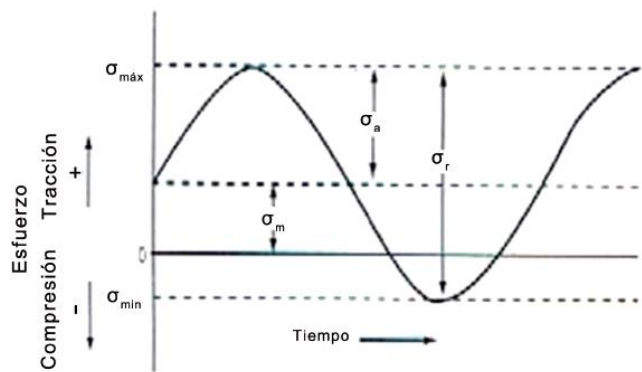


Ilustración 15. Variación del esfuerzo

Como se indica más adelante, los ensayos que se mencionan en esta parte están desarrollados a partir de la normativa referente a las pruebas y los ensayos. Sin embargo, y debido a que esas normativas no tienen licencia libre para mostrarlos en este punto, se ha decidido explicar el procedimiento que se lleva a cabo en los ensayos nombrados anteriormente.

Como de todos los ensayos no se ha conseguido la información necesaria, se exponen los ensayos de las tres principales características que deben tener los materiales del producto.

#### Ensayo densidad.

Se realizan las medidas iniciales de las planchas de los materiales que se han utilizado en este proyecto. Para medir la densidad se utilizó una balanza para densimetría, en el que se deposita agua destilada para calcular el volumen de la probeta en función del volumen de agua desplazado.

#### Ensayo dureza.

Cuanto mayor sea el grado de penetración del indentador, menos dureza tendrá el material, ya que este valor depende del módulo de elasticidad y de las propiedades viscoelásticas del material. Para medir esta propiedad se utiliza un durómetro.

#### Ensayos compresión.

Realizado con un Compresor Set B. se colocan las probetas de cada material entre las placas del compresor y se aprietan las tuercas para comprobar el grado de compresión. Por otra parte, es importante comentar cómo influye la fuerza de impacto sobre los pies para posteriormente tener en cuenta estos datos a la hora de elegir el material que esté en contacto con la planta del pie.



Ilustración 17. Fuerza de impacto al caminar descalzo

Como se puede ver en las gráficas anteriores, la principal diferencia es que al caminar y aterrizar con el talón se forman dos picos de impacto. En las primeras gráficas se muestra el momento en el que el talón toma contacto con el suelo.

Posteriormente se ve la acción de cuando el pie se encuentra en la superficie soportando todo el peso del cuerpo, es por ello que se produce un pico que tiene una carga mayor.

Otra diferencia es aquella en la que se aterriza con el antepié, ya que la curva se suaviza, produciendo que el impacto sea más progresivo y no tan brusco que cuando se aterriza con el talón. En las siguientes gráficas se muestra la fuerza recibida en el momento del impacto.

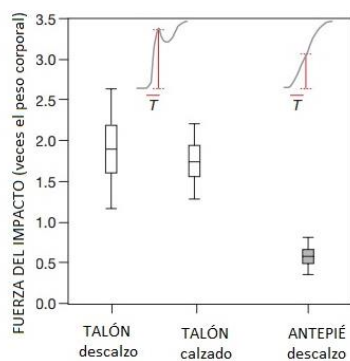


Ilustración 19. Fuerza de impacto

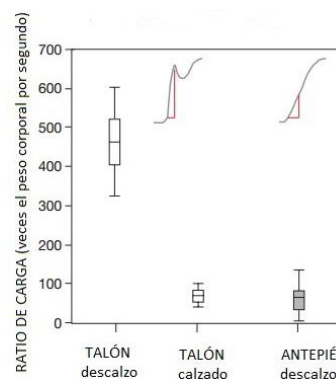


Ilustración 18. Ratio de carga

Al aterrizar de talón se genera casi el triple de fuerza en el momento del impacto que al correr descalzos de antepié.

Por otra parte, se encuentra la velocidad con la que se recibe la carga, es la rapidez con la que se recibe la carga del cuerpo del paciente.

A mayor verticalidad, más rápido se recibe el impacto.

Al aterrizar descalzo de talón se produce una carga 7 veces mayor. Al correr el cuerpo tiene la tendencia a adelantar el aterrizaje, es decir, hacerlo de mediopié.

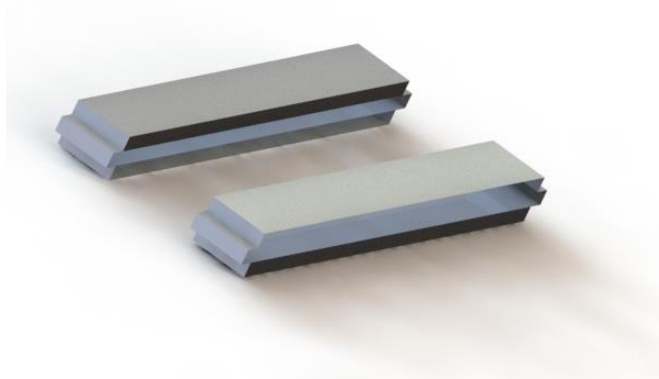
### Resistencia de la unión entre ajuste y plantilla.

Si la unión une dos varillas en las que el esfuerzo principal que se ha de soportar es de tracción, la fuerza máxima  $F$  que se podrá aplicar sin que se produzca el deslizamiento entre las piezas se podrá calcular de la siguiente forma:

$$F_{\text{Max}} = F_N \cdot \mu = p \cdot A \cdot \mu = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu \cdot l$$

$l \rightarrow$  longitud ajuste entre la pieza y el ajuste

$p \rightarrow$  Presión del ajuste



módulo elástico PLA  $\rightarrow$  3,3 GPa

interferencia mínima  $\delta_{\text{min}} \rightarrow 1.75 \mu\text{m}$

Con el fin de poder dimensionar el ajuste entre las piezas, se estudia la relación que existe entre la interferencia de los elementos que intervienen en el ajuste y la presión de contacto que se genera.

$a = 0 \text{ mm}$

$a =$  radio interno

$b = 1 \text{ mm}$

$b =$  radio medio

$c = 2 \text{ mm}$

$c =$  radio externo

$$\delta_{\text{min}} = \frac{P_{\text{min}} \cdot b}{E} \cdot \left( \frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} \right)$$

Conocida la interferencia se despeja el valor de la presión mínima y se procede al cálculo.

$$P_{\text{min}} = \frac{\delta_{\text{min}} \cdot E}{\left( \frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} \right)}$$

El resultado queda de la siguiente forma:

$$P_{\text{min}} = 9,625 \text{ MPa}$$



## 6. Normativa del producto

Normas referentes a las pruebas y ensayos para el dispositivo.

- ISO 2589:2002 IULTCS/IUP4:2002 Pruebas físicas y mecánicas. Determinación del espesor.
- NMX-S-051-1989 Inciso 6.3 NMX-A-227-1982 Calzado de protección. Pruebas de absorción de agua.
- NMX-051-1989 Inciso 6.3 Método de prueba Zapatos de seguridad- Resistencia a la flexión de corte: en seco y húmedo.
- NMX-S-051-1989 Inciso 6.7 Método de prueba 7.7 de la norma Resistencia al despegado.
- NMX-S-051-1989 Inciso 6.5 Método de prueba 7.7 de la norma Resistencia a la compresión.
- ISO 5402:2002 IULTCS/IUP 20:2002 Determinación de la resistencia a la flexión por el método del flexómetro. Resistencia en seco y húmedo.
- NRF -034-CFE-2007 Método de prueba 7.4.4. DIN 4843 Parte II 1975 Método de prueba. Resistencia al desprendimiento de la unión de la suela (corte o entre capas adyacentes). Resistencia al despegado.
- NMX-S-051-1989 Inciso 6.4 Método de prueba 7.2.1 de la norma NMX-T-083-1994 DIN 3516:1987. ISO 4649:2002. NRF-034-CFE-2007 Método de prueba 7.4.6 NRF-056-PEMEX-2006 Método de prueba 8.4.1.1. Resistencia a la abrasión de la suela.
- NRF-034-CFE-2007 Método de prueba 7.4.14. ISO 11640:1993 IULTCS/IUF 450. Resistencia a la fricción de materiales para calzado.
- ASTM D-412-06ª NMX-T157-1994-SCFI NMX-T-023-SCFI-2003 NMX-T-003-1972. Determinación de propiedades de tensión y elongación a hules vulcanizados y elastómeros termoplásticos.
- NRF-056-PEMEX-2006 Método de prueba 8.4.1.20 ISO 20344:2004. Resistencia al desgarre en suela.
- ISO 20344:2004 Resistencia a la abrasión de forro y plantilla.
- UNE 53526:2001 Determinación de la densidad del caucho vulcanizado.

## 7. Mantenimiento del producto

El cuidado de las ortesis plantares es fundamental para su conservación en las mejores condiciones posibles y para garantizar la higiene del usuario. Es considerable seguir los siguientes consejos para evitar un deterioro prematuro del producto.

- I. Durante el uso y debido al parcial contacto de la superficie de la plantilla con el pie, la ortesis debe limpiarse frecuentemente con un paño húmedo para evitar que partículas de sudor o de polvo se infiltren en la plantilla.
- II. Mantener alejado dentro de lo posible el calzado de zonas donde llueva en exceso.
- III. No utilizar el producto cuando se realicen deportes acuáticos.
- IV. Mientras no se utilice el producto, este debe permanecer en su caja, manteniéndolo fuera del alcance de los niños.
- V. Evitar el uso de desodorantes para pies o productos equivalentes cuando se utilicen las plantillas.
- VI. Recargar la batería del dispositivo cuando se esté agotando.
- VII. Es importante no utilizar el producto en superficies para las que no ha sido diseñado.
- VIII. Tratar el desgaste del dispositivo con los materiales específicos para su tratamiento.

### **Adaptación.**

Una vez que se le han proporcionado las plantillas al paciente es necesario realizar una valoración durante la fase de adaptación. Se estudiarán los siguientes enfoques:

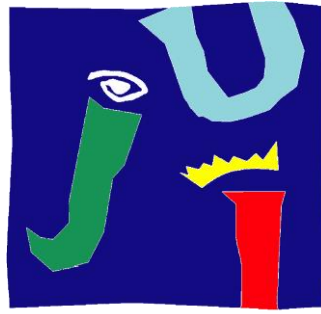
1. La mejora de la postura con la utilización de las ortesis.
2. La comodidad del paciente al caminar y realizar ejercicio físico.
3. La corrección de la pronación o supinación del paciente.
4. La disminución del dolor localizado en la fascia plantar.

El podólogo tendrá la capacidad de modificar la configuración de la plantilla, como en el caso de las elevaciones laterales para la corrección de la sobrepronación o supinación.

### **Reparación.**

Si se dan problemas en el funcionamiento de la plantilla, el usuario debe acudir a la clínica podológica para la posterior revisión de las ortesis. Tras el reconocimiento, aquellos componentes de las ortesis que presenten problemas de funcionalidad deberán ser enviados a la fábrica, para ver si se pueden reponer las piezas o se debe de tramitar un envío con nuevas ortesis.





**UNIVERSITAT  
JAUME I**

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals  
Universitat Jaume I

# **ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTOS**

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y desarrollo  
de productos



## Índice

<b>1. ESTADO DE MEDICIONES .....</b>	<b>195</b>
1.1 Listado de componentes .....	195
1.2 Características de los componentes.....	196
<b>2. PRESUPUESTOS .....</b>	<b>197</b>
2.1 Coste de los componentes .....	197
2.1.1 Elementos fabricados .....	197
2.1.2 Elementos comerciales .....	197
2.1.3 Elementos auxiliares .....	198
2.1.4 Mano de obra .....	198
2.1.5 Coste Unitario del producto .....	199
2.1.6 Inversión .....	199
2.1.7 Precio de venta.....	200
2.2 Análisis del precio de venta.....	201

## Índice de figuras












Imagen 1. Base de la plantilla.....	195
Imagen 2. Bordes plantilla.....	195
Imagen 3. Patrón intermedio .....	195
Imagen 4. Patrón superior.....	195
Imagen 5. Suela .....	195
Imagen 6. Ajuste por presión .....	195
Imagen 7. Parte superior ajuste presión .....	195
Imagen 8. Esponja fascitis plantar.....	195
Imagen 9. Sensor presión.....	195
Imagen 10. Microcontrolador .....	195
Imagen 11. Módulo Wifi.....	195
Imagen 12. PLA.....	196
Imagen 13. Caucho EVA .....	196
Imagen 14. EVA .....	196
Imagen 15. Cloruro de metileno .....	196
Imagen 16. Dimafix.....	196
Imagen 17. Resina epoxi.....	196











# 1. ESTADO DE MEDICIONES

## 1.1 LISTADO DE COMPONENTES

Componente	Dimensiones	Unidades	Procesos	Material	Imagen
<b>Base de la plantilla</b>	19 x 9.5 x 0.2 cm	2	Impresión 3D	PLA	 <i>Imagen 1. Base de la plantilla</i>
<b>Bordes de la plantilla</b>	19 x 9.5 x 0.6 cm	2	Impresión 3D	PLA	 <i>Imagen 2. Bordes plantilla</i>
<b>Patrón intermedio</b>	19 x 9.5 x 0.2 cm	4	Impresión 3D	PLA	 <i>Imagen 3. Patrón intermedio</i>
<b>Patrón superior</b>	19 x 9.5 x 0.2 cm	2	Marcado y cortado	EVA	 <i>Imagen 4. Patrón superior</i>
<b>Suela</b>	19 x 9.5 x 0.2 cm	2	Impresión 3D	PLA	 <i>Imagen 5. Suela</i>
<b>Ajuste por presión</b>	6 x 3 x 0.8 cm	4	Impresión 3D	PLA	 <i>Imagen 6. Ajuste por presión</i>
<b>Parte superior ajuste por presión</b>	6 x 3 x 0.8 cm	4	Marcado, cortado	EVA	 <i>Imagen 7. Parte superior ajuste presión</i>
<b>Esponja fascitis plantar</b>	5 x 4 x 0.7 cm	2	Marcado, cortado	Caucho EVA	 <i>Imagen 8. Esponja fascitis plantar</i>
<b>Sensor de presión</b>	19 x 9.5 cm	2	-	-	 <i>Imagen 9. Sensor presión</i>
<b>Microcontrolador CC2541. Wireless MCU (C1 Mux)</b>	5 x 7.7 cm	2	-	-	 <i>Imagen 10. Microcontrolador</i>
<b>Módulo Wi-Fi IEEE802.11 b/g/n de bajo consumo</b>	5 x 5 cm	2	-	-	 <i>Imagen 11. Módulo Wifi</i>

Componente	Dimensiones	Unidades	Procesos	Material	Imagen
<b>Bobina de PLA</b>	175 x 77 mm	1	-	PLA	 <i>Imagen 12. PLA</i>
<b>Lámina de caucho EVA</b>	100 x 100 cm	1	-	Caucho EVA	 <i>Imagen 13. Caucho EVA</i>
<b>Lámina goma EVA</b>	200 x 100 cm	1	-	EVA	 <i>Imagen 14. EVA</i>
<b>Cloruro de metileno</b>	1 litro	1	-	-	 <i>Imagen 15. Cloruro de metileno</i>
<b>Adhesivo impresión 3D</b>	400 mL	1	-	-	 <i>Imagen 16. DIMAFIX</i>
<b>Resina epoxi</b>	181 gr	1	-	-	 <i>Imagen 17. Resina epoxi</i>

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES

Componente	Cantidad	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>Base de la plantilla</b>	1	3.61 10 <sup>-5</sup>	0.045	1240
<b>Bordes de la plantilla</b>	1	0.0001083	0.134	1240
<b>Suela</b>	1	3.61 10 <sup>-5</sup>	0.045	1240
<b>Patrón intermedio</b>	2	3.61 10 <sup>-5</sup>	0.045	1240
<b>Patrón superior</b>	1	3.61 10 <sup>-5</sup>	0.00163	45
<b>Ajuste por presión</b>	2	1,44 10 <sup>-5</sup>	0.018	1240
<b>Patrón superior ajuste por presión</b>	2	1,44 10 <sup>-5</sup>	0.000648	45
<b>Esponja fascitis</b>	1	1.4 10 <sup>-5</sup> 0.000014	0.0014	100

## 2. PRESUPUESTOS

### 2.1 COSTE DE LOS COMPONENTES

En el siguiente apartado se procede a desarrollar el cálculo del coste de todos aquellos componentes que han formado parte en la realización del producto final, con la finalidad de establecer el precio de venta de dicho producto, así como su viabilidad económica dentro del mercado actual.

Para ello, es necesario calcular el coste de los elementos fabricados, elementos comerciales y auxiliares, así como la maquinaria utilizada, el coste unitario del producto, mano de obra y el precio de venta.

#### 2.1.1 Elementos fabricados

Se lleva a cabo el cálculo del coste de todos los materiales utilizados para fabricar las distintas partes del dispositivo.

Material	Pieza	Precio unitario	Cantidad (Kg)	N.º de piezas	Precio final (€)
PLA	Base de la plantilla	21.99€/Kg	0.045	2	1.98
PLA	Bordes de la plantilla	21.99€/Kg	0.134	2	5.89
PLA	Suela	21.99€/Kg	0.045	2	1.98
PLA	Patrón intermedio	21.99€/Kg	0.045	4	3.96
EVA	Patrón superior	9€/Kg	0.00163	2	0.03
PLA	Ajuste por presión	21.99€/Kg	0.018	4	1.58
EVA	Patrón superior ajuste por presión	9€/Kg	0.000648	4	0.02
Caucho EVA	Esponja	2.46 €/Kg	0.0014	2	0.01
<b>TOTAL</b>					<b>15.45</b>

#### 2.1.2 Elementos comerciales

En la siguiente tabla se muestran los costes de los componentes utilizados en la fabricación del producto.

Elemento	Precio unitario	Cantidad	N.º de piezas	Precio final (€)
Plantilla con sensores IEEs: Smart foot	185 €	2	1	370
Microcontrolador CC2541. Wireless MCU (C1 Mux)	5.86 €	2	1	11.72
Módulo Wi-Fi IEEE802.11 b/g/n de bajo consumo	16.35 €	2	1	32.7
Lámina Caucho EVA	26.4 €/m <sup>2</sup>	0.002 m <sup>2</sup>	2	0.11
Lámina EVA	9€/m <sup>2</sup>	0.1985 m <sup>2</sup>	4	7.15
<b>TOTAL</b>				<b>421.68</b>

### Costes por Gastos de material

Elemento	Material	Área		N.º de piezas
Patrón ajuste por presión	Goma EVA	Pieza	Lámina EVA	20.000 cm <sup>2</sup> / 18 cm <sup>2</sup> = 1111 piezas
		6 x 3 cm= 18 cm <sup>2</sup>	200 x 100 cm= 20.000 cm <sup>2</sup>	
Esponja	Caucho EVA	Pieza	Lámina caucho EVA	10.000 cm <sup>2</sup> / 20 cm <sup>2</sup> = 500 piezas
		5 x 4 cm= 20 cm <sup>2</sup>	100 x 100 cm = 10.000 cm <sup>2</sup>	
Patrón superior	Goma EVA	Pieza	Lámina EVA	20.000 cm <sup>2</sup> / 180.5 cm <sup>2</sup> = 110 piezas
		19 x 9.5 cm= 180.5 cm <sup>2</sup>	200 x 100 cm= 20.000 cm <sup>2</sup>	

#### 2.1.3 Elementos auxiliares

A continuación, se presenta el coste producido por los componentes auxiliares empleados en la elaboración del producto final.

Componente	Precio unitario	Cantidad	Precio final (€)
Cloruro de metileno	8.7 10 <sup>-3</sup> €/ml	100 mL	0.87
Adhesivo impresión 3D	0.03145 €/ml	50 mL	1.57
Resina epoxi	0.061 €/ gr	30 gr	1.83
<b>TOTAL</b>			<b>4.27</b>

Tabla. Elementos auxiliares

#### 2.1.4 Mano de obra

Aquí se verá reflejado el coste de manipulación de una persona para fabricar el producto. Este coste se calcula multiplicando las horas de dedicación por un precio establecido que varía según el grado de complejidad en la fabricación del producto.

Por consiguiente, en la tabla se muestra la duración de los diferentes procesos de fabricación al igual que el coste final de la suma de todos los procesos realizados.

Proceso	Duración (h)	Precio unitario (€)	Precio final (€)
Asistencia impresión 3D	0.35	20	7
Cortado	0.3	25	7.5
Pegado	0.46	25	11.5
<b>TOTAL</b>			<b>26</b>

### 2.1.5 Coste Unitario del producto

Es la suma del coste de los diferentes componentes que forman parte del proceso de fabricación a fin de conseguir el gasto total que se produce con la elaboración del producto en cuestión.

Componentes	Precio final (€)
Componentes fabricados	14.64
Elementos comerciales	421.68
Componentes auxiliares	4.27
Mano de obra	26
<b>TOTAL</b>	<b>467.4</b>

### 2.1.6 Inversión

Se muestra el coste invertido en maquinaria para el desarrollo del dispositivo.

Componente	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio final (€)
Impresora 3D Creality CR-10-MINI	16.980,00	1	16.980,00
Otros	-	-	83.020,00
<b>Total</b>			<b>100.000,00</b>

Dentro de los gastos anteriormente descritos entran los siguientes:

Línea de envasado.

- Características del proceso de envasado.
- Sistema de envasado manual, semiautomático o totalmente automatizado.

Medio ambiente.

- Utilización de materiales de envase con posibilidades de reciclado.
- Uso de envases / embalajes constituidos por uno o dos materiales fácilmente reciclables.
- Reducir la cantidad de material de envase por producto.

Logística y transporte.

- Tipo de manipulación
- Tipo de almacenaje.
- Tiempo de almacenaje.
- Altura apilamiento.
- Circuito logístico: nº cargas / descargas
- Tipo de paletización.

Producto.

- Características físicas del producto a embalar y de qué manera se presenta.
- Estado del producto.
- Peso / volumen.
- Forma y dimensiones.

En el embalaje del producto se tendrá en cuenta los siguientes productos:

- **Partículas de embalaje y papel seda.** Se utilizan para rellenar los huecos en el interior de las cajas protegiendo eficazmente sus productos. Precio 18,95 € 480 hojas papel seda.
- **Papel Kraft natural.** Su uso es para rellenar los huecos en el envase del producto. Precio 34,35 € un rollo de papel.
- **Cintas adhesivas.** Empleadas para el cierre de pequeñas cajas y bolsas, envíos semipesados y pesados, así como para los envíos destinados a la exportación. Precio 1,28 € un rollo de cinta.
- **Cajas de carton.** Utilizadas para el almacén, transporte y e-commerce del producto. Precio 0,52 € una caja.<sup>1</sup>
- **Film estirable.** Se utiliza para mantener la mercancía, a la vez que la protege de la suciedad y la humedad. Precio 8,71 € cada rollo.
- **Fleje textil.** Se utiliza para cargas heterogéneas, frágiles y/o pesadas. Resistencia media hasta 950 kg. Precio 111,50 € el rollo.

En logística se encuentran los siguientes productos necesarios para la posterior fase de transporte:

- **Impresora térmica.** Se utiliza para el etiquetado de productos, procesos y envíos. Permite realizar hasta 1000 impresiones de etiquetas cada día con excelente resolución 203 dpi. Precio 410 €.
- **Transpaleta.** Se utiliza para llevar a cabo el proceso de paletización. Precio 756,25 €
- **Coste de operarios.** Precio horario 45 €.

Gastos de promoción:

- **Alquiler anual valla publicitaria en Madrid.**<sup>2</sup> Precio 5400 €
- **Impresión cartelería valla.** Precio 196 €

#### 2.1.7 Precio de venta

El cálculo del precio de venta requiere del porcentaje de beneficio que se consigue con la venta del producto, así como el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) preestablecido.

El precio de venta final será el sumatorio del coste unitario más el beneficio obtenido más el IVA preestablecido.

Factores	Precio final
Coste unitario del producto	467.4
Beneficio (30%)	140.22
IVA (21%)	98.15
PVP	<b>705.77</b>

<sup>1</sup> Proveedor Rajapack. <https://www.rajapack.es/>

<sup>2</sup> Alquiler vallas publicitarias. <http://www.oblicua.es/publicidad-externo/vallas-publicitarias.htm>

## 2.2 ANÁLISIS DEL PRECIO DE VENTA

Una vez que se ha establecido el precio de venta, se decide a analizar la rentabilidad del proyecto y comprobar la viabilidad del producto desde el punto de vista económico. Para ello, se realiza el cálculo del valor actual neto (VAN) y el método TIR (Tasa Interna de Retorno).

*Previsión de ventas.*

La estimación de ventas durante los primeros años será de 800 unidades, distribuidas en 150 durante el primer año, 250 unidades el segundo año y 400 durante el tercer año. Como el número de unidades de fabricación es relativamente pequeño en comparación con otros productos se justifica el uso del método de impresión en 3D.

Es importante destacar que este tipo de ortesis no se lanza masivamente, sino que cada pieza es única ya que se adapta a las necesidades de los pacientes. Es por ello que se utiliza tanto el escáner 3D para obtener la imagen del pie como la impresión 3D para posteriormente desarrollar la ortesis.

	Año de lanzamiento	Primer año	Segundo año	Tercer año
Inversiones	100.000 €	0	-	-
Venta estimada	-	150 u	250 u	400 u
Gastos	-	70.110	116.850	186.960
Ingresos	-	105.865,5	176.442,5	282.308
Beneficio	-	35.755,5	59.592,5	95.348
Flujo de caja	-100.000€	35.755,5	59.592,5	95.348

El flujo de caja será igual que el beneficio ya que no hay inversión en los tres primeros años. Si la hubiera habría que restarla a los beneficios anuales. En este caso, sólo se tiene una inversión inicial de 100.000€.

VAN (3 años) = 78.142,65 €

$$VAN = -A + \frac{Q1}{(1+k)^1} + \frac{Q2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Qn}{(1+k)^n}$$

Siendo los valores:

A → inversión inicial

Q → Flujo de caja = Ingresos – Gastos

k → tasa de descuento

n → años

Teniendo en cuenta los ingresos y gastos obtenidos en los tres primeros años tras el lanzamiento del producto, y estableciendo una tasa de descuento del 3%, se obtiene el resultado de 78.142,65 €.

### 2.2.2 Viabilidad económica

La Tasa Interna de Retorno es un indicador de rentabilidad de un proyecto que informa del momento a partir del cual el proyecto comienza a producir ingresos netos. Se trata de un valor proporcional a la rentabilidad del proyecto.

El TIR es la tasa de actualización que hace cero el VAN, por lo que se puede calcular con la fórmula anterior, pero despejando la "k".

En este caso el valor del TIR es del 33.68 %.

Por otra parte, el período de recuperación de la inversión "Payback" indica el plazo en el cual se recupera la inversión inicial.

$$\text{Payback} = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

a es el número del período inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso inicial.

$I_0$  es la inversión inicial del proyecto

b es la suma de los flujos de caja hasta el final del periodo "a"

$F_t$  es el valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión

Si se realiza el cálculo, el resultado da 2,7 años. El producto empezará a producir beneficios a los 2,7 años por lo que una vez que ha pasado este tiempo. La inversión realizada estará cubierta y se pueden destinar los beneficios para mejoras.





## 9. REFERENCIAS

### 9.1 INFORMACIÓN PREVIA.

- (Dispositivos inalámbricos): Última consulta realizada 28 de noviembre de 2018.  
URL:<https://www.ingenieriabiomedica.org/single-post/2015/01/19/Dispositivos-verables-para-corregir-la-postura>
- (Sensores de movimiento inalámbrico): Última consulta realizada el 15 de octubre de 2018.  
URL:[https://www.valedotherapy.com/de\\_en/](https://www.valedotherapy.com/de_en/)
- (Bases anatómicas del pie): Última consulta realizada el 8 de septiembre de 2018.  
URL:<https://www.quiropracticaagote.com/2016/05/dolor-por-pies-debiles/>
- (Pie supinador): Última consulta realizada el 3 de noviembre de 2018.  
URL:<https://canales.okdiario.com/vida-sana/2017/10/16/pie-supinador-73621>
- (Fascitis plantar): Última consulta realizada el 3 de noviembre de 2018.  
URL:<http://www.podoactiva.com/es/blog/patologias-y-tratamientos/conoce-como-prevenir-y-tratar-la-fascitis-plantar>
- (Tipos de pisada): Última consulta realizada el 3 de noviembre de 2018.  
URL:<http://www.zapatillas-running.com/tipos-pisada/>
- (Estudio biomecánico): Última consulta realizada el 3 de noviembre de 2018.  
URL:<http://estudiobiomecanico.es/tendinitis-del-tibial-posterior/>
- (Articulaciones miembro inferior): Última consulta realizada el 5 de septiembre de 2018.  
URL:<https://www.slideshare.net/PaKoAltr/miembro-inferior-huesos-y-articulaciones/5>
- (Prevención de problemas en la marcha): Última consulta realizada el 10 de octubre de 2018.  
URL:<http://www.radiosanfrancisco.com.ar/noticias/articulo/por-que-se-debe-controlar-el-crecimiento-de-las--piernas-en-los-chicos-35020>
- (Pronación, lesiones y tratamiento): Última consulta realizada 17 de diciembre de 2018.  
URL:<https://www.foroatletismo.com/lesiones/la-pronacion-en-el-deporte-lesiones-potenciales-tratamiento-y-calzado/>
- (Ligamento de Spring): Última consulta realizada 20 de diciembre de 2018.  
URL:<https://www.podoactiva.com/es/blog/patologias-y-tratamientos/el-ligamento-de-spring>
- (Fascitis plantar, definición): Última consulta realizada el 20 de octubre de 2018.  
URL: <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2004/05/20/deporte/1085072379.html>
- (Fibroma plantar): Última consulta realizada el 13 de octubre de 2018.  
URL:<http://www.aofas.org/footcaremd/espanol/Pages/Fibroma-Plantar-y-Fibromatosis-Plantar.aspx>

- (Síndrome de túnel tarsal): Última consulta realizada el 13 de octubre de 2018.  
URL: <http://espanol.arthritis.org/espanol/disease-center/fascitis-plantar/>
- (Lesiones del pie): Última consulta realizada el 15 de septiembre de 2018.  
URL: <https://medlineplus.gov/spanish/footinjuriesanddisorders.html>
- (Corrección del pie supinador): Última consulta realizada 28 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.alviflex.es/como-corregir-el-pie-supinador/>
- (Plantillas ortopédicas): Última consulta realizada el 23 de noviembre de 2018.  
URL: <https://www.biontechworld.com/blog/plantillas-ortopedicas/>
- (Biomecánica): Última consulta realizada el 19 de enero de 2019  
URL: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=164205>
- (Plantillas rígidas): Última consulta realizada el 20 de septiembre de 2018.  
URL: <http://costacomunicaciones.es/la-rambla-de-mutxamel/plantillas-rigiditas-o-blandas/>
- (Plantillas a medida): Última consulta realizada el 21 de septiembre de 2018.  
URL: <http://institutovalencianodelpie.es/biomecanica/plantillas-a-medida/>
- (Diferencias entre plantillas): Última consulta realizada el 30 de noviembre de 2018.  
URL: <https://www.podoactiva.com/es/blog/patologias-y-tratamientos/plantillas-personalizadas-diferencias-entre-unas-y-otras>
- (Entresuela): Última consulta realizada el 4 de enero de 2019  
URL: <https://www.zapatillasminimalistas.net/opinion/pies-gato-comodos/>
- (Sensores para correr): Última consulta realizada el 30 de noviembre de 2018.  
URL: <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/sensores-para-mejorar-la-tecnica-de-carrera/>

## 9.2 MALFORMACIONES DEL PIE

- (Malformaciones congénitas del pie): Última consulta realizada el 2 de septiembre de 2018.  
URL: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062000000300011](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062000000300011)
- (Pie valgo): Última consulta realizada el 5 de noviembre de 2018.  
URL: <https://www.plantillasparacorrer.es/pie-valgo/>
- (Tipo de pie y lesiones): Última consulta realizada el 13 de noviembre de 2018.  
URL: <https://cronosfit.com/dime-que-pie-tenes-y-te-dire-donde-te-lesionaras-al-correr/>
- (Pies planos): Última consulta realizada el 14 de noviembre de 2018.  
URL: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/enfermedades-del-pie/piesplanos.html>

### 9.3 ESTUDIO DE PRODUCTOS SIMILARES EN EL MERCADO

- (Aplicaciones biomédicas): Última consulta realizada el 14 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.ibv.org/productos-y-servicios/productos/aplicaciones-biomecanicas>
- (Plantillas con sensores): Última consulta realizada el 3 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.europapress.es/andalucia/noticia-disenan-plantillas-sensores-analizan-movimiento-pie-prevenir-lesiones-20150108104448.html>
- (Ortesis plantares): Última consulta realizada el 2 de septiembre de 2018.  
URL: <http://happystep.ca/Product.htm>
- (Corrector de postura): Última consulta realizada el 7 de septiembre de 2018.  
URL: <https://tiendas.mediamarkt.es/p/corrector-de-postura-lumo-lift-vibracion-1371226>
- (Dispositivo portátil corrector): Última consulta realizada el 2 de septiembre de 2018.  
URL: <http://www.teinspira.com/dispositivo-portatil-que-ayuda-a-mejorar-la-postura-de-espalda/#>
- (Dispositivo corrector de espalda): Última consulta realizada el 9 de septiembre de 2018.  
URL: <https://www.lumobodytech.com/lumo-lift/>
- (Corrector problemas de espalda): Última consulta realizada 10 de septiembre de 2018.  
URL: <http://www.iposture.com/>
- (Corrector de espalda): Última consulta realizada el 15 de septiembre de 2018.  
URL: <https://correctordeespalda.net/voelux-corrector-espalda/>

### 9.4 SENSORES Y PLANTILLAS INSTRUMENTADAS

- (Sensores para la carrera): Última consulta realizada el 20 de septiembre de 2018.  
URL: <https://www.getdatgadget.com/lumo-run-virtual-running-form-coach/>
- (Sensores de instrumentación): Última consulta realizada el 24 de septiembre de 2018.  
URL: <https://es.omega.com/section/instrumentacion-presion-tension.html>
- (Plantillas instrumentadas): Última consulta realizada el 24 de septiembre de 2018.  
URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1358475>
- (Sistemas de medición de presiones): Última consulta realizada el 24 de septiembre de 2018.  
URL: <https://www.ibv.org/productos-y-servicios/productos/aplicaciones-biomecanicas/biofootibv-sistema-de-plantillas-instrumentadas-para-el-analisis-de-las-presiones-plantares>
- (Plantillas con sensores): Última consulta realizada el 11 de abril de 2019.  
URL: <https://www.medicapteurs.com/produits/winshoe-easy-2/>

- (Aplicaciones sensores presión): Última consulta realizada el 4 de marzo de 2019.  
URL: <https://www.flintec.com/es/aplicaciones/medicina>
- (Sensores de presión para plantillas): Última consulta realizada el 8 de abril de 2019  
URL: <http://metron-ms.com/productos/baropodometria/winshoe/>
- (Sensores biomecánicos): Última consulta realizada el 23 de abril de 2019  
URL: <http://www.sens2b-sensores.com/directorio/medicale-cuerpo-humano/biomecanica>

## 9.5 TIPOS DE SENSORES

- (Sensor de presión): Última consulta realizada el 25 de noviembre de 2018.  
URL: <https://www.robot-italy.com/it/force-sensing-resistor-0-6-diameter-circle-short-tail.html>
- (Sensor de presión para Arduino): Última consulta realizada el 27 de noviembre de 2018.  
URL: <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-608873301-sensor-de-presion-motorola-mpx201a-0-a-29-psi-ideal-arduino- JM>
- (Giroscopio): Última consulta realizada el 1 de diciembre de 2018.  
URL: <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/giroscopio/>
- (Sensores y transductores): Última consulta realizada el 30 de noviembre de 2018.  
URL: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/>
- (Sensores de distancia): Última consulta realizada el 30 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.mesurex.com/sensores-distancia-posicion-deplazamiento-inductivos-lvdt>
- (Sensores piezorresistivos): Última consulta realizada el 2 de enero de 2019.  
URL: [http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion\\_industrial12.php](http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial12.php)
- (Acelerómetro y giroscopio): Última consulta realizada el 1 de enero de 2019.  
URL: <http://www.yoctopuce.com/EN/products/usb-position-sensors/yocto-3d>

## 9.6 NORMATIVA

- (Web de normativa): Última consulta realizada el 3 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.aenor.com/>
- (Oficina europea de patentes): Última consulta realizada el 5 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.epo.org/index.html>

## 9.7 ESTUDIOS BIOMECÁNICOS DE LA PISADA

- [1] **Elvira\_J.L.L., Vera\_F.J., Meana\_M., García\_J.A. (2008).** *Análisis biomecánico del apoyo plantar en la marcha atlética. Relación entre la huella plantar, ángulos de la articulación subastragalina y presiones plantares. Motricidad. European Journal of Human Movement, 2008: 20, 37-55*
- [2] **González García, J.C (2003).** *El diseño orientado al usuario como vía para la innovación en el sector del calzado. Revista de biomecánica, nº 39, págs. 15-18*
- [3] **Martínez\_A., Pradas\_J., Sánchez\_M.D., Peydro\_M.F (2005).** *Plantillas instrumentadas. Utilidad clínica. Vol. 39. Núm. 6. Págs 253-373 (Noviembre)*
- [4] **Martínez\_A., Sánchez\_R., Pérez\_P., Llana\_S., Leal\_A., Pedrera\_J.D. (2010)** *Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus.*
- [5] **Martínez\_A., Sánchez\_R., Cuevas\_J.C. (2006)** *Patrón de presiones plantares en el pie normal: Análisis mediante sistema Biofoot de plantillas instrumentadas. Instituto de Biomecánica de Valencia págs. 27-30.*
- [6] **Clarke (1933).** *An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. Págs 99-107.*
- [7] **Yu-Chi Lee & Mao-Jiun Wang (2014).** *Taiwanese adult foot shape classification using 3D scanning data. Págs 513-523.*
- [8] **Barish\_Bettina, Schmeltzpfenning\_Timo, Plank\_Clemens, Grau\_Stefan. (2014)** *Foot deformation during walking: differences between static and Dynamic 3D foot morphology in developing feet. Págs 921-933*
- [9] **Kirby\_Kevin (2017).** *Longitudinal arch load-sharing system of the foot. Nº 55. Págs 75-80*
- [10] **Aguado\_X., Izquierdo\_M., González\_J.L. (1998).** *Biomecánica dentro y fuera del laboratorio. Vol II Nº 2 Págs 26-41*
- [11] **SD\_Yoo, HS\_Kim, S.\_Han. (2017).** *Biomechanical parameters in plantar fasciitis measured by Gait análisis system with pressure sensor. Págs 979-989*
- [12] **Chia\_KK., Suresh\_S., Kuah\_A., Ong\_JL., Phua\_JM., Seah\_AL. (2009).** *Comparative trial of the foot pressure patterns between corrective orthotics, formthotics, bone spurs pads and flat insoles in patients with chronic plantar fasciitis. Vol. 3 Nº 38 Págs. 86-75.*
- [13] **Moufawad\_C. (2016)** *Instrumented shoes for daily activity monitoring in healthy and at risk populations. Vol. 4. Págs 251-255*
- [14] **Martínez\_F. (2016).** *Desarrollo de plantillas instrumentadas para la monitorización de parámetros biométricos.*
- [15] **Marco Colás\_S. (1993).** *Optimización de sensores de presión piezorresistivos de silicio para instrumentación biomédica y aplicaciones a alta temperatura. ISBN TFG 9788469273715*

[16] **Martínez\_R., Romero\_M. (2016).** *Uso de sensores inerciales en la medición y evaluación de movimiento humano para aplicaciones en la salud. Vol. N° 37.*

[17] **Universidad de Michigan (2018):** *A limited-preview filtered B-spline approach to tracking control-With application to vibration-induced error compensation of a 3D printer.” Vol. N° 56 Págs. 287-296*

## 9.8 TECNOLOGÍAS E INNOVACIONES

- (Definición de conceptos médicos): Última consulta realizada el 17 de diciembre de 2018.  
URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Biofeedback>
- (Máquina de prensado para plantillas): Última consulta realizada el 23 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.namrol.com/productos/vacuums/podotec/>
- (Impresión 3D plantillas): Última consulta realizada el 16 de enero de 2019  
URL: <http://www.gainpe.com/2015/10/impresora-3d-para-fabricacion-de-plantillas-realidad-o-ficcion/>
- (Impresión en 3D de calzado): Última consulta realizada el 18 de enero de 2019  
URL: <http://imprimalia3d.com/tags/calzado>
- (Concepto de magnetostricción): Última consulta realizada el 28 de diciembre de 2018.  
URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetostricci%C3%B3n>
- (Carga inalámbrica): Última consulta realizada el 18 de abril de 2019  
URL: <https://www.xatakamovil.com/desarrollo/que-es-y-como-funciona-la-carga-inalambrica-en-los-telefonos-moviles>
- (Batería recargable removible): Última consulta realizada el 16 de abril de 2019  
URL: <https://www.gizlogic.com/uvolt-watch-el-powerbank-wearable-que-no-es-un-smartwatch/>

## 9.9 MATERIALES

- (Esponja de caucho natural): Última consulta realizada el 28 de diciembre de 2018  
URL: <https://www.cauchosbiza.com/perfiles-esponjosos>
- (Caucho para plantillas): Última consulta realizada el 26 de diciembre de 2018.  
URL: [https://www.logarsalud.com/podologia/plantillas-y-accesorios/cunas/cuna-externa-antepie-esponja-de-caucho-9077s.html?product\\_rewrite=cuna-externa-antepie-esponja-de-caucho-9077s](https://www.logarsalud.com/podologia/plantillas-y-accesorios/cunas/cuna-externa-antepie-esponja-de-caucho-9077s.html?product_rewrite=cuna-externa-antepie-esponja-de-caucho-9077s)
- (Espuma de látex): Última consulta realizada el 17 de diciembre de 2018.  
URL: <http://www.latexldm.com/es/espuma-de-l%C3%A1tex>

- (Espuma poliuretano): Última consulta realizada el 30 de diciembre de 2018.  
URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>
- (Información sobre materiales): Última consulta realizada el 13 de diciembre de 2018.  
URL: <https://www.flexor.es/materiales-para-plantillas-ortopedicas-medida/>
- (Polipropileno): Última consulta realizada el 18 de diciembre de 2018.  
URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno#Propiedades>
- (Fibra de carbono): Última consulta realizada el 26 de diciembre de 2018.  
URL: [https://www.google.es/search?q=fibra+de+carbono&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFkby089neAhVPFMAKHRRrIBUgQ\\_AUIDigB&biw=681&bih=625#imgrc=mRJwZ3oBCFSaIM](https://www.google.es/search?q=fibra+de+carbono&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFkby089neAhVPFMAKHRRrIBUgQ_AUIDigB&biw=681&bih=625#imgrc=mRJwZ3oBCFSaIM)
- (Cloruro de metileno): Última consulta realizada el 28 de enero de 2019  
URL: <https://drogueriaelbarco.com/Cloruro-de-metileno>
- (Caucho EVA): Última consulta realizada el 3 de enero de 2019  
URL: <https://www.mwmaterialsworld.com/es/materiales/cauchos-gomas-eva-y-similares/goma-eva-foamy/lamina-goma-eva-foamy-colores-100kg-m3.html>
- (Adhesivo impresora 3D): Última consulta realizada el 28 de enero de 2019  
URL: <https://www.impresoras3d.com/producto/dimafix-adhesivo-para-impresoras-3d/>
- (Resina Epoxi): Última consulta realizada el 25 de enero de 2019  
URL: <https://www.feroca.com/es/epoxi-smooth-on/238-xtc-3d-recubrimiento-epoxi-para-impresiones-3d.html>
- (Clasificación adhesivos): Última consulta realizada el 27 de marzo de 2019  
URL: [https://es.wikiversity.org/wiki/Pol%C3%ADmeros\\_de\\_Uni%C3%B3n:Adhesivos](https://es.wikiversity.org/wiki/Pol%C3%ADmeros_de_Uni%C3%B3n:Adhesivos)
- (Impresión en 3D): Última consulta realizada el 13 de enero de 2019  
URL: <https://www.3dnatives.com/es/>
- (Módulos electrónicos): Última consulta realizada el 17 de enero de 2019  
URL: <https://www.electronicaembajadores.com/es/Subfamilias/Index/LC/modulos-electronicos>
- (Tecnología FDM): Última consulta realizada el 22 de enero de 2019  
URL: <https://www.pixelsistemas.com/fabricacion-aditiva-impresion-3d/tecnologia-fdm>
- (Impresión Material Jetting): Última consulta realizada el 18 de enero de 2019  
URL: <http://mizaradditive.com/fabricacion/fabricacion-aditiva-material-jetting/>