

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ  
FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



## IMPRESIÓN 3D EN ORTOPODOLOGÍA

Barceló Aragonés, Rosa.

Nº Expediente 525

TUTOR D. Salvador P. Sánchez

Departamento de Psicología de la Salud. Enfermería

Curso académico 2016-2017

Convocatoria de Junio

A la atención de la Vicedecana de Grado

## **Contenido**

RESUMEN y palabras clave .....	3
ABSTRACT and keywords: .....	4
INTRODUCCIÓN. ....	5
JUSTIFICACIÓN: .....	8
OBJETIVO DEL TRABAJO .....	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
RESULTADOS.....	11
Escaneado en 3D o CAD y/o Modelo del concepto .....	12
Ajuste del modelo inicial .....	14
Producción a baja escala.....	14
Test funcionales .....	15
Herramientas para crecer en producción y/o Producción a mayor escala.....	15
DISCUSIÓN: .....	16
Escaneado en 3D o CAD.....	16
Modelo del concepto. ....	17
Producción a baja escala.....	18
Test funcionales. ....	20
Herramientas para crecer en producción y/o Producción a mayor escala.....	21
CONCLUSIONES. ....	21
LIMITACIONES DEL ESTUDIO. ....	22
BIBLIOGRAFÍA: .....	22

## **RESUMEN:**

**Objetivos:** Poner en relevancia el estado actual de la técnica de fabricación Additive Manufacturing en el ámbito de la Ortopodología.

**Material y métodos:** Se utilizan dos fuentes de información. En primer lugar se realiza una búsqueda en la base de datos PubMed, centrada en tres subbúsquedas con las palabras clave [Manufacture], [Foot Orthoses], [Additive Manufacturing], [Insoles], [3d]. En segundo lugar se nos suministró información por parte del Instituto Tecnológico del Jugete que colabora con la empresa INESCOP.

**Resultados:** Presentamos y definimos el algoritmo del proceso de diseño y producción a seguir para la obtención de una ortesis impresa en tres dimensiones, constando de: escaneado en tres dimensiones o CAD, modelo del concepto, Ajuste del modelo inicial, producción a baja escala, test funcionales, herramientas para crecer en producción y producción a mayor escala.

**Discusión:** Se muestran dentro del algoritmo terapéutico descrito las técnicas utilizadas por los autores que fabrican los dispositivos ortésicos con estos métodos, mostrando las características significativas encontradas en cada uno de los artículos.

**Conclusiones.** Se trata de una técnica en desarrollo que nos ofrece posibilidades como la toma de molde en dinámica, la libertad geométrica en el diseño, más control y ajuste en las ortesis plantares, la necesidad de un software ligado a la impresora que se utilice, la importancia de seleccionar un buen tipo de impresora como las SLS, o el requisito de realizar un acabado en el taller del elemento final.

**Palabras clave:** ortesis plantares, additive manufacturing, 3d

## **ABSTRACT:**

Objectives: To bring into relevance the current state of the manufacturing technique Additive Manufacturing in the field of Ortopodology.

Material and methods: Two sources of information are used. First, a search is performed in the PubMed database, centered on three sub-searches

With the keywords [Manufacturing], [Foot Orthotics], [Admixture Manufacturing], [Templates], [3d]. In the second place they are supplied by the Technological Institute of Toy that collaborates with the company INESCOP.

Results: We present and define the algorithm of the design and production process to obtain a printed orthoses in three dimensions, consisting of: three-dimensional scanning or CAD, concept model, initial model adjustment, Functional tests, tools to grow in Production and production.

Discussion: It is addressed within the therapeutic algorithm described the techniques used by the authors who manufacture orthotic devices with these methods, showing the significant characteristics found in each of the articles.

Conclusions. It is a technique in development that does not offer possibilities such as mold making in dynamics, geometric freedom in design, more control and adjustment in the plant orthoses, need for a software connected to the printer to be used, importance From selecting a good type of printer like SLS, or the requirement to make a finish on the highest of the final item.

**Keywords: foot insoles, additive manufacturing, 3d**

## **INTRODUCCIÓN.**

La tecnología *additive manufacturing* es un método de fabricación emergente de estructuras sólidas en 3D. Recientemente se ha empezado a utilizar para la fabricación de productos sanitarios de todo tipo. Desde auriculares a medida para los oídos, o guías de perforación para cirugía dental. El impacto y la facilidad por la que parece que se pueden crear estos andamios en tres dimensiones nos plantea la pregunta de si pudiera ser un método útil para la fabricación de ortesis.

Las ortesis están incluidas en el campo de conocimiento denominado Ortopodología.

Podemos definir "Ortopodología" como *La rama de la Ciencias de las Salud que se dedica sin límite de edad a la investigación, prevención y tratamiento de las enfermedades y lesiones de los órganos locomotores.* <sup>(16)</sup>

Tradicionalmente se divide la ortopedia en dos campos de aplicación:

Protesiología que consiste en aplicar elementos que suplan una parte del cuerpo.

Ortopodología Se trata de colocar dispositivos que corrijan protejan o complementen una parte del cuerpo humano mejorando sus funciones (Rodriguez, 1989).<sup>(17)</sup>

En Podología, el elemento fundamental de la ortopodología es la ortesis plantar, que se trata de un dispositivo o aparato ortopédico externo que se emplea para sostener, alinear, prevenir o corregir las deformidades o para mejorar las partes móviles del cuerpo. <sup>(3)</sup>

Las ortesis plantares las podemos dividir en varios tipos con diversas funciones

según su método de fabricación y funcionalidad.

En primer lugar tenemos las ortesis plantares por elementos. Que tienen como funciones:

- Corregir o detener las deformidades de los pies.
- Mantener los pies en posición funcional.
- Redistribuir las presiones plantares.
- Amortiguar el impacto de la marcha y aliviar el dolor.
- Conseguir una marcha funcional.

En segundo lugar tenemos las ortesis plantares rígidas. Que tienen como funciones:

- Corregir o detener las deformidades de los pies.
- Disminuir el dolor al controlar el apoyo y el movimiento de los pies.
- Mantener los pies en posición funcional.
- Proporcionar estabilidad.
- Reducir los mecanismos de compensación corporales.
- Conseguir una marcha más fisiológica y funcional.
- Control de los movimientos indeseados de lateralidad.
- Aumento de la superficie de apoyo plantar.
- Redistribuir presiones.
- Mantener la congruencia articular tanto intrínseca como extrínsecamente.

En tercer lugar tenemos los soportes plantares semirrígidos o flexibles. Que tienen como funciones:

- Corregir o detener las deformaciones del pie.
- Mantener el pie en una posición funcional.
- Redistribuir las presiones plantares.
- Aumentar la superficie de apoyo.
- Amortiguar las fuerzas de impacto.
- Conseguir una marcha funcional.
- Aliviar el dolor.

En cuarto y último lugar tenemos los soportes plantares blandos o de almohadillado.

Que tienen como funciones

- Disminuir fuerzas reactivas del impacto del pie contra el suelo.
- Evitar las
- fuerzas de cizallamiento en las plantas de los pies.
- Prevenir las zonas de hiperpresión.
- Aumentar la estabilidad.
- Favorecer la deambulaci3n.
- Aliviar el dolor.

Tradicionalmente las ortesis <sup>(15)</sup> se han realizado mediante t3cnicas manuales y artesanales que se basan en la toma de molde con escayola o espuma fen3lica, usando este negativo para crear un positivo relleno de materiales como escayola o alginato, rectificar en el taller mediante pulidos o a3adidos de dichos materiales, y fundir o moldear un material para crear la plantilla, realizando un acabado en dicho taller <sup>(14)</sup>.

El estado actual de la t3cnica est3 evolucionado a un sistema computerizado donde

a través del ordenador se consigue la rectificación del positivo o el diseño de la plantilla a fabricar mediante una solución CAD-CAM con sistemas variados para completar soluciones para el trabajo de fabricación. Dicho sistema consiste en un tallado computerizado desde una pieza de material inicial. En cuanto a la toma de moldes se puede escanear directamente desde el pie tanto en estática como en dinámica, o escanear el molde negativo tomado con las técnicas tradicionales<sup>(17)</sup>.

El propósito de esta revisión es exponer las técnicas de fabricación que existen en la actualidad como el *Additive manufacturing* o impresión en tres dimensiones y definir el proceso de fabricación del dispositivo ortésico mediante la misma.

Es necesario mencionar que se pueden combinar elementos característicos de cada manera de fabricación en función de los criterios del podólogo.

El podólogo, según su criterio, realiza las diferentes modificaciones para cada patología, ejerciendo así una buena praxis profesional.

También es necesario apuntar, que cada técnica tiene una serie de limitaciones y ventajas. Por tanto no existe el modelo de fabricación "ideal" para la creación de dichas ortesis, por tanto dependiendo de nuestros objetivos de tratamiento utilizaremos unos métodos u otros.

### **JUSTIFICACIÓN:**

La ortopodología es un elemento terapéutico fundamental en la práctica podológica, ya sea como tratamiento único o coadyuvante a otros tratamientos.

Tradicionalmente los podólogos realizamos las ortesis plantares de manera manual



y artesanal, sin embargo en la actualidad, tanto en nuestro ámbito como en otros campos sanitarios se ha empezado a trabajar con elementos fabricados mediante mecanismos computerizados tanto para la toma de molde como el diseño de la pieza. En este trabajo ponemos en relevancia el estado actual de mecanismos de producción de ortesis plantares, añadiendo tecnología emergente como es la impresión en tres dimensiones o *additive manufacturing*.

### **OBJETIVO DEL TRABAJO**

Describir la tecnología *additive manufacturing* para la toma de molde, diseño, manipulado y construcción de las ortesis plantares.

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

Consideramos necesario mencionar que se trata de un tema novedoso del que existe escasa bibliografía científica del tema. Por tanto se han realizado distintas búsquedas en las diferentes bases de datos y fuentes diversas.

En primer lugar se hizo una búsqueda general sobre fabricación de ortesis en la base de datos PubMed (Tabla 1). Las palabras clave que se añadieron a la misma fueron los descriptores [Manufacture] AND [foot orthoses]. De la búsqueda anterior obtuvimos 50 resultados, a los que se le añadió el filtro texto completo libre; al aplicar el filtro anterior obtuvimos 40 artículos.

Los criterios de inclusión que se utilizaron fueron:

1. texto completo con libre acceso al mismo, y que a través de la lectura del título y el resumen, evidenciaran alguna relación con los métodos existentes de fabricación de ortesis plantares.

2. Idioma español, inglés, francés.
3. Sin rango de fechas.

Los criterios de exclusión que se utilizaron fueron:

1. Que tratara de férulas KAFO.
2. Que utilizara métodos tradicionales o mecanizados por CAD-CAM.

Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión obtuvimos 6 referencias bibliográficas útiles.

Para el apartado de impresión en tres dimensiones para la fabricación de ortesis utilizamos los descriptores [Additive manufacturing] AND [Insoles]. De esta búsqueda extrajimos 2 resultados con los mismos criterios y exclusión y obtuvimos 2 resultados. Uno de ellos repetido.

Con los descriptores [3d] AND [Foot orthoses] obtuvimos 36 artículos que aplicando los criterios de inclusión y exclusión obtuvimos 5 artículos, 4 de ellos repetidos. Finalmente obtuvimos 1 artículo.

Para entender ampliamente el proceso, se contactó con el Instituto del Juguete de IBI (AIJU), que colabora con proyectos relacionados con la impresión en tres dimensiones en colaboración con la empresa INESCOP y que nos suministraron variada información de la que seleccionamos 3 artículos relevantes para el escaneo del pie y para la posterior realización de ortesis, un libro y un proyecto europeo

presentado y aceptado por parte de la empresa en relación a la fabricación de ortesis mediante impresión en tres dimensiones. (Tabla 2).

Término de búsqueda PubMed	Resultados	Relevantes	Número de referencia.
Manufacture, Foot orthoses.	50	6	[1,18,10,2,14,13]
Additive manufacturing, insoles.	2	1	[8]
3D, Foot orthoses, Manufacture.	36	1	[1]

Tabla 1: Referencias bibliográficas

Información proporcionada por AIJU e INESCOP	Resultados	Artículos	Número de referencia
Variada documentación de scaneo	12	3 Escaneo del pie	[11, 7, 9]
Impresión de ortesis en tres dimensiones.	4	1 Proyecto europeo. 1 Libro.	[4,6]

Tabla 2: Información proporcionada por AIJU e INESCOP

## **RESULTADOS.**

La impresión en tres dimensiones o *additive manufacturing* es el proceso de unión de materiales para hacer objetos a partir de un modelo digital, normalmente poniendo una capa encima de otra en contraposición a las metodologías de fabricación sustractivas tales como el mecanizado tradicional. <sup>(14)</sup>

Como cualquier método de fabricación se debe seguir unos pasos para la obtención del objeto deseado, en este caso la ortesis plantar. (Gráfico 1) <sup>(14)</sup>.

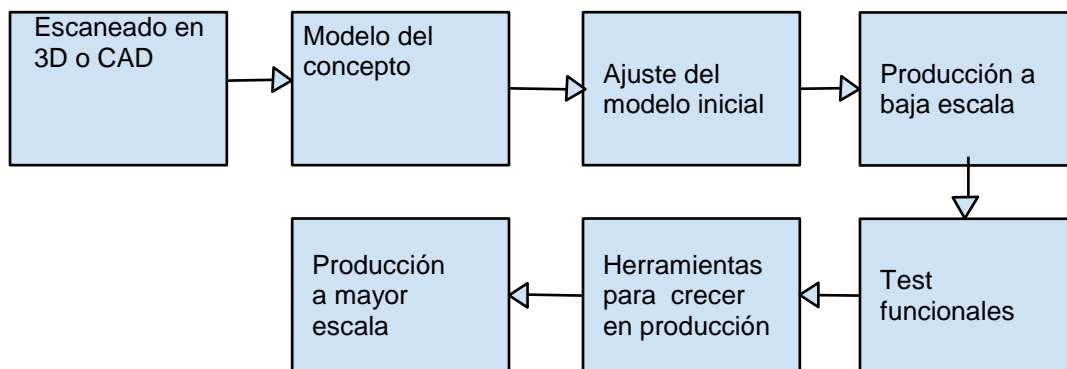


Gráfico 1: Pasos computerizados para obtener una ortesis plantar

### Escaneado en 3D o CAD y/o Modelo del concepto

Siguiendo el modelo presentado anteriormente definimos el primer y el segundo paso para la producción de una ortesis plantar mediante *additive manufacturing* que correspondía al escaneado y obtención del modelo del concepto.

En el proceso de digitalización integral de la construcción de una ortesis plantar, podemos comenzar con la toma de molde. Este molde puede ser digitalizado. Según la bibliografía consultada para realizar un modelo de ortesis en tres dimensiones se precisa de un escáner que nos dé un modelo digitalizado de la superficie del pie en tres dimensiones. Existen varios tipos de escáneres que se pueden utilizar en relación a esta técnica, pero se pueden dividir en dos grupos principales escáneres o digitalizadores <sup>(9)</sup>

En primer lugar definimos que el proceso de escaneado genera las imágenes en tres dimensiones y se convierten en una forma digital usando un equipo óptico o un sistema de composición de vídeo <sup>(9)</sup>. Dentro de este subgrupo podemos escanear el

pie de distintas formas:

1. Sistema estático: Directamente con el paciente situado en una camilla mediante una pieza de mano que recogerá toda la geometría básica del pie en condiciones estáticas <sup>(14)</sup>.
2. Sistema dinámico: Sistemas dinámicos de escaneado en cuatro dimensiones que recogen la forma del pie durante la marcha. Consiste en cámaras que son capaces de capturar, reconstruir y medir la geometría del pie en tres dimensiones durante las diferentes fases de la marcha, detectar las modificaciones anatómicas y el comportamiento real del pie en este proceso, obteniendo un documento en movimiento que se puede capturar en cualquier momento para adquirir la forma virtual del pie en cualquier *rocker* durante la dinámica. <sup>(4)(7)</sup>.

En segundo lugar definiremos el término digitalizador. El digitalizador es un proceso en el que mediante un láser convierte la forma que se apoya sobre una superficie, traduciéndose en códigos digitales que convierte la forma en tres dimensiones para el ordenador. <sup>(9)</sup> De esta manera se puede escanear el pie mediante un sistema que consta de un cristal en el cual se apoya el pie tanto en carga como en descarga y mediante un láser obtiene una forma básica de la geometría del pie <sup>(8)(5)(1)(10)</sup>. Además del cristal, existen sistemas de membrana que nos dan una geometría más exacta del pie en estática como por ejemplo el sistema Orthomodel <sup>(2)</sup>

Y por último se puede tomar el molde de la manera tradicional con espuma fenólica o escayola y escanear dicho negativo para transformarlo en un positivo virtual <sup>(13)</sup>

## Ajuste del modelo inicial

Una vez escaneado por cualquiera de estos sistemas, obtenemos un archivo que podemos modificar mediante software diseñados por las diferentes casas comerciales tales como 3D Digital corp <sup>(8)</sup>, MeshLab<sup>(1)</sup> o Materialise NV <sup>(2)</sup>.

## Producción a baja escala

Según los estudios clínicos consultados, los tres tipos de impresoras que se han utilizado para realizar plantillas mediante el *additive manufacturing* son sistemas aditivos. El método aditivo construye los objetos añadiendo capas finas individuales de material. A medida que se añaden capas, sirven como base para las capas adicionales <sup>(6)</sup>. Dentro de este método se han utilizado el sistema SLA, SLS, y FDM.

(2)(1)(14)(8)(10)

- o El sistema SLA o Estereolitografía es un método que utiliza un ordenador controlado con rayos ultravioletas para curar las partes diseñadas en una piscina de resina fotopolimerizable. A medida que va curando cada parte baja al fondo de la piscina permitiendo que la siguiente capa solidifique y se adhiera al material.
- o El sistema SLS o *Selective laser sintering*. Emplea un láser de CO<sub>2</sub> controlado por computadora para fundir en placas de material plástico como el nylon y otros, desde profundo a superficie. El mismo polvo de la cubeta sustenta la pieza por lo que no necesita soportes. El láser solidifica las partículas de polvo.
- o El sistema FDM es un sistema de modelado y deposición que funde y vuelve a solidificar la resina termoplástica en capas para formar un prototipo acabado.

## **Test funcionales**

El siguiente punto del algoritmo de creación de ortesis por impresión en tres dimensiones son los test funcionales que, dependiendo del tipo de sistema utilizado para imprimir, se puede seleccionar el tipo de material. Existen diversos materiales que se pueden utilizar. Dividimos los materiales según sus propiedades:

1. Termoplásticos: Son unos tipos de plástico que se vuelven moldeables con el incremento de diferentes temperaturas y que solidifica cuando se enfría. Dentro de este grupo podemos utilizar los siguientes materiales: Acetal, Acrylic, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Nylon, Policarbonato, Polietileno, Ácido poliláctico, Polipropileno, Poliestileno, Teflón o PVC.
2. Termoendurecidos: Se trata de un material que adopta su forma sin poder ser reversiblemente moldeado. Se puede adoptar la forma mediante reacción química o radiación. Suelen ser materiales más rígidos que los termoplásticos: Bakelite, Epoxi, Melamine, Poliuretanos, RTV o Silicona de Goma.
3. Fotopolímeros: Son plásticos que cambian su propiedad cuando entran en contacto con la luz. Suelen ser más frágiles que los termoplásticos. Como las Resinas fotopolimerizables<sup>(6)</sup>

## **Herramientas para crecer en producción y/o Producción a mayor escala.**

Aunque las plantillas son individualizadas y se diseñan y confeccionan una a una, nada impide que los dispositivos puedan realizar simultáneamente las de ambos pies, varios o múltiples pacientes. En realidad la producción depende del tamaño de

la máquina. Esta producción industrial a mayor escala se solicita desde el ámbito del podólogo y su petición se agrupa con el resto de peticiones que manufactura el fabricante. Este procedimiento es habitual realizarlo mediante metodologías de fabricación sustractivas tales como el mecanizado tradicional.<sup>14</sup>

### **DISCUSIÓN:**

El elemento fundamental de la ortopodología es la ortesis plantar, que se trata de un dispositivo o aparato ortopédico externo que se emplea para sostener, alinear, prevenir o corregir las deformidades o para mejorar las partes móviles del cuerpo. Según la bibliografía consultada que fabrica ortesis plantares con este tipo de tecnología, definimos los métodos utilizados en cada apartado del proceso, comentándolos individualmente.

#### **Escaneado en 3D o CAD.**

En el primer punto del proceso existe controversia en cuanto a la mejor manera de tomar el molde para la realización de una ortesis.

La diferencia en la toma de moldes de manera tradicional respecto a los procesos de digitalización o escáner podemos identificarlos con:

- El aplastamiento de partes blandas producido por el cristal nos puede falsear la forma real del pie <sup>(9)</sup>.
- No se tiene una imagen real del pie durante la dinámica si realizamos un molde en estática. Esta afirmación está avalada por el proyecto europeo SMARTIF <sup>(4)</sup> y Scott Telfer et al <sup>(7)</sup> en el que encuentran que hay una diferencia de forma de hasta 1 cm respecto a la altura del arco durante la



dinámica y concluyen que se falsea la forma real de la superficie del pie usando métodos tradicionales.

- Si realizamos una toma de molde por métodos tradicionales nos ocupa espacio físico.
- Utilizamos más tiempo realizando un molde de escayola<sup>1</sup>.
- Gastamos más dinero a largo plazo según Craig Payne et al<sup>11</sup>.
- La curva de aprendizaje para la toma de molde tradicional es mayor a corto plazo <sup>11</sup>.

Respecto a las ventajas que este presenta son las siguientes:

- Podemos realizar modificaciones mientras se escanea el pie <sup>(2)(1)</sup>
- Hay una mayor exactitud y repetibilidad de la toma de molde <sup>7</sup>.
- Hay menor error en la toma de molde por parte del escáner que del clínico <sup>7</sup>.
- Podemos obtener un escáner del pie en condiciones dinámicas <sup>4</sup>.
- A largo plazo ahorramos dinero, tiempo y espacio <sup>11</sup>.

### **Modelo del concepto.**

Existen pocos comentarios sobre esta fase, debido a que cambia mucho la manera de modificar el modelo del concepto dependiendo del software utilizado. En el mercado existe software libres o de pago, y entre ellos cambian totalmente sus características.

A grandes rasgos la documentación consultada realiza las siguientes críticas:

- Al obtener una geometría tan detallada del pié percibe hasta los pliegues cutáneos del mismo, por lo tanto mediante el programa de CAD se debe eliminar el “ruido” para que la superficie sea lisa y se pueda fabricar la

plantilla sobre ella <sup>14</sup>.

- El formato del archivo debe estar unido al software que se va a trabajar a continuación para su impresión debido a que el formato debe ser compatible. El formato de la mayoría de las impresoras es STL. <sup>(2)</sup>.

En contraposición,

- obtenemos ortesis que se adaptan y ajustan mejor al pie teniendo un mejor control biomecánico <sup>10</sup>.
- En ocasiones no existen software asociado a la impresión directa de las plantillas <sup>9</sup>.

### **Producción a baja escala**

Se fabrica construyendo capas muy finas de material. Hay varios métodos para unir las capas de material en objetos sólidos como la extrusión el chorro o el curado. Pero todos los procesos tienen la misma base, se van depositando las capas inferiores de las que forman parte. En algunas ocasiones, debido a la geometría del elemento a imprimir se debe diseñar e imprimir con anterioridad un elemento a modo de andamio sobre el cual se va a construir posteriormente la plantilla <sup>5,14</sup>.

Formar un objeto con cientos de capas nos permite crear geometrías que son imposibles con el tallado normal, este hecho hace muy atractivo el *additive manufacturing* para la fabricación de ortesis ya que la anatomía del pie es muy compleja y debe ser ajustada milimétricamente. Además pueden crear geometrías adaptables al entorno clínico; sirva como ejemplo el trabajo de Scott Telfer et al <sup>5</sup>, que realizaron un diseño de “tornillos retrocapitales” para descargar una a una las cabezas metatarsales y ajustando su altura al entorno clínico con el objetivo de

proporcionar al clínico la capacidad de probar rápida y fácilmente el ajuste en el que se alivie su sobrecarga. El proyecto de Rogers et al.<sup>14</sup> muestra prótesis que juegan con las densidades de los materiales mediante reticulado, función que se puede extrapolar a las ortesis plantares.

Uno de los puntos económicos a favor de dicha tecnología es que la pieza no aumenta el coste según su complejidad, sino que lo hace en función de su volumen, por tanto esta característica nos proporciona una capacidad de diseño libre.<sup>2, 14</sup>

En cuanto a la capacidad de producción, se pueden fabricar diversos dispositivos por cada carrera de máquina, haciendo que se puedan aumentar el nº de plantillas por fabricación.

Según Scott Tefler La producción de las plantillas en una impresora SLS duró 5h y 33 minutos; según el Instituto del Juguete realizan mediante la tecnología SLS 20 mm por hora en el eje: según Andre S Salles se tardó 28 horas para seis pares de plantillas y doce horas para que bajara la temperatura de la máquina y finalmente Jari H, tardó 24h.<sup>2,8, 6,14</sup>

Como desventaja debemos comentar que la plantilla una vez fabricada precisa ser acabada de forma manual, ya sea por pulido de impurezas restantes de la fabricación, por quitar el soporte por el que se fabrica o por añadir un forro que disminuya el discomfort<sup>10</sup>.

Dependiendo de nuestro objetivo de producción, pudiera existir un alto coste de inversión inicial. Dependiendo del tipo de impresora que utilicemos los precios oscilan entre 2000 euros (FDM) adecuadas para la fabricación a bajos volúmenes, a 50000 euros (SLS)

### **Test funcionales.**

Scott Telfer et al<sup>2</sup>, André S. Salles et al<sup>(8)(10)</sup>, Jari H. et al utilizaron Nylon 12, con la marca comercial DuraForm ® con una máquina SLS EOSINT P 700 ®. Colin E Dombroski et al<sup>(1)</sup> utilizaron ABS Acylonitrile Butadiene Styrene de dos micrones, con una impresora de escritorio Makerbot ® FDM.

En cuanto a las propiedades de los materiales son materiales rígidos altamente capacitados para la carga, y por tanto para la realización de ortesis funcionales, quedando demostrado que realizan un buen control biomecánico.<sup>10, 2.</sup>

En cuanto a términos de confort, todos los estudios mencionan que existe una mejor sensación de ajuste y estabilización, sin embargo las plantillas realizadas mediante impresión en tres dimensiones son más rígidas que las convencionales por lo que le quita confort bajo el ALI.<sup>14, 10, 8.</sup>

No existen evidencias significativas entre la durabilidad de materiales utilizados para realizar ortesis con métodos tradicionales y los utilizados mediante SLS para el *additive manufacturing*<sup>2</sup>. Hay que decir que los materiales SLS son significativamente más caros que los de FDM y a su vez de los convencionales<sup>2</sup>

En cualquier caso, es necesario realizar pruebas físicas del material para seleccionar el adecuado en la fabricación de plantillas. El material que supere los test físicos debe luego ser sometido a test funcionales en pacientes.<sup>18</sup>

## **Herramientas para crecer en producción y/o Producción a mayor escala**

Todos los estudios indican que se necesita una alta inversión inicial para la producción industrial. En realidad la producción depende del tamaño de la máquina. Esta producción industrial a mayor escala se solicita desde el ámbito del podólogo y su petición se agrupa con el resto de peticiones que manufactura el fabricante. Los estudios consultados indican que es una tecnología en un estadio muy inicial y que sólo se expandirá si se proporciona un buen servicio con costes asumibles. <sup>2, 14</sup>

### **CONCLUSIONES.**

La tecnología *additive manufacturing* es un método de fabricación emergente de estructuras sólidas en 3D.

1. La tecnología *additive manufacturing* es un método de fabricación con un gran abanico de posibilidades a la hora de elaborar una ortesis y que nos permite ventajas de tipo funcional en cuanto a control y una libertad absoluta en el diseño geométrico de los elementos.
2. La tecnología actual nos permite métodos de obtención del positivo en dinámica, respecto a los métodos tradicionales de toma de molde, y observando cómo cambia la forma del pie en dicho proceso.
3. En la actualidad el software del modelo de concepto está ligado a la impresora para tener una compatibilidad con el archivo final.
4. La mejor opción para la producción de plantillas son las impresoras SLS.
5. Es necesario realizar un acabado en el taller al igual que en cualquiera de los métodos existentes ya que la plantilla no está finalizada en su totalidad cuando es impresa.

### **LIMITACIONES DEL ESTUDIO.**

Las limitaciones principales que hemos encontrado en el estudio, han sido la carencia de bibliografía, la disparidad de resultados entre los tipos de impresoras, y la necesidad de más estudios que nos permitan desarrollar dicha tecnología que contiene un gran potencial aplicable en nuestro campo de trabajo.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

1. Dombroski C, Balsdon M y Froats A. The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study. BMC Research Notes 2014, 7:443.
2. Telfer S, Pallari J, Munguia J, Dalgarno K, McGeough M, Woodburn J. Embracing additive manufacture: Implications for foot and ankle orthosis design. BMC Musculoskeletal Disorders 2012, 13:84.
3. Cohi O, Salinas F. Ortesis plantares. Revista Española de Reumatología 2003; 30(9)508-13.
4. Montiel E. European Commission: CORDIS : Projects & Results Service : Final Report Summary - SMARTPIF (Smart tools for the Prescription of orthopaedic Insoles and Footwear). [online] Disponible en [http://cordis.europa.eu/result/rcn/181853\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/181853_en.html) [último acceso 18 abril 2017]
5. Huertas Talón JL, Gilarte Gómez, AB. Fabricación aditiva, aplicación a ortesis de la extremidad inferior. Proyecto. Proyecto fin de carrera TAZ-PFC-2013-665. Universidad de Zaragoza. 2013. Escuela de Ingeniería y arquitectura.

6. Underdahl B. Digital Manufacturing for Dummies. USA: Proto Labs; 2015.
7. Thabet A, Trucco E, Salvi J, Wang W, Rami J. A Dynamic 3d Foot Reconstruction System. 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS Boston, Massachusetts USA, August 30. 2011.
8. Salles A, Gyi D. The specification of personalised insoles using additive manufacturing. Loughborough Design School, Loughborough University United Kingdom. 1771-1774; 2012.
9. Telfer S, Woodburn J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. Journal of Foot and Ankle Research. 3:19; 2010.
10. Salles A, Gyi. An evaluation of personalised insoles developed using additive manufacturing. Journal of Sport Sciences. Vol 31, No 4, 442-450; 2012
11. Payne C, Pod D. Cost benefit comparison of plaster casts and optical scans of the foot for the manufacture of foot orthoses. Australian Journal of Podiatric Medicine 2007; Vol 41, No.2:29-31.
12. Menz H. Foot orthoses: how much customisation is necessary?. Journal of Foot and Ankle Research, 2:23; 2009.
13. Ki S, Leung A, Li A. Comparison of plantar pressure distribution patterns between foot orthoses provided by the CAD-CAM and foam impression methods. September 2008;32(3): 356-362.
14. Pallari J, Dalgarno K, Woodburn J. Mass Customization of Foot Orthoses for Rheumatoid Arthritis Using Selective Laser Sintering. IEE transactions on

biomedical engineering.Vol. 57, No 7, 2010

15. Sanpablo Núñez E, Camp Faulí A, Fornés Oliver S, Gimeno Hernández L, Alonso Montero C, García Bono J, et al. Manual de fabricación a medida de productos sanitarios ortopodológicos en la comunidad valenciana requisitos, instrucciones y procedimientos normalizados de trabajo. Comunidad Valenciana: Generalitat Valenciana. Consellería de Sanidad; 2006.
16. Martínez Murcia J. Estudio de un nuevo material para el desarrollo de ortesis plantares. Trabajo Fin de Grado en Podología. UMH. 2016.

