



Fabricación avanzada de productos manufactureros
tradicionales mediante tecnologías de Additive
Manufacturing

**E3.3. Herramienta para convertir una
polisuperficie compleja en una superficie
única apta para su desarrollo en plano.**

Fecha entregable: 31/Octubre/2016



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

TABLA DE CONTENIDOS

1. Información del proyecto	3
2. Detalles del entregable	4
3. Herramientas de aplanado para polisuperficies	5
4. Traslación paramétrica	9
5. Herramienta CAD para la creación de texturas orgánicas multifuncionales	10
6. Adecuación para impresión 3D	16

1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO.

Título del proyecto: Fabricación avanzada de productos manufactureros tradicionales mediante tecnologías de additive manufacturing

Acrónimo: AMFAB-II

Programa de trabajo: IVACE. Ayudas dirigidas a centros tecnológicos de la Comunidad Valenciana para 2016 (IMDECA2016/3).


Fecha de comienzo: 1 de Enero de 2016

Duración: 12 meses

Lista de participantes:

Participante No.	Nombre organización participante.	Nombre abreviado	Lugar
1 (Coord.)	Asociación de Investigación de la Industria del Juguete, Conexas y Afines	AIJU	Ibi
2	Instituto Español del Calzado y Conexas	INESCOP	Elda
3	Instituto Tecnológico textil	AITEX	Alcoy

2. DETALLES DEL ENTREGABLE.

Entregable número:	E3.3
Título del entregable:	Herramienta para convertir una polisuperficie compleja en una superficie única apta para su desarrollo en plano
Periodo:	04/2015 – 10/2016
Paquete trabajo:	PT3. Desarrollo de módulos/plugins para mejora del diseño para AM en base a los requerimientos
Tarea:	Tarea 3.3. Herramienta aplanado 3D a 2D
Autor:	<p>Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas</p>  <p>INESCOP INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL CALZADO Y CONEXAS</p>
Resumen:	Herramienta para convertir una polisuperficie compleja en una superficie única apta para su desarrollo en plano. Incorpora también la herramienta de texturizado.

3. HERRAMIENTAS DE APLANADO PARA POLISUPERFICIES

Durante esta segunda anualidad hemos mejorado considerablemente la calidad del aplanado de polisuperficies que obteníamos anteriormente. Para poder aplanar polisuperficies en la primera anualidad, generábamos mediante ingeniería inversa una superficie y aplanábamos esta. Ahora hemos desarrollado nuevos algoritmos para poder aplanar directamente la polisuperficie, con lo que obtenemos una mejor calidad en el aplanado, con mucho menos margen de error.

Un aplanado correcto es importante ya que cuanto menos error tengamos entre la figura 3D y el aplanado 2D menor será la distorsión que sufra la traslación paramétrica que hagamos entre una y otra.

ALGORITMOS DE APLANADO

Además, hemos desarrollado otro algoritmo de aplanado que soluciona problemas de distorsión que teníamos con el anterior y que suele dar resultados mejores y más precisos. Así pues, ahora tenemos dos algoritmos de aplanado, pudiendo elegir en todo momento entre ambos, y que en conjunto resuelven de forma eficaz todas las polisuperficies que hemos tratado. Estos algoritmos son:

- **Rápido:** Es más rápido, pero a cambio distorsiona ligeramente el tamaño de algunas zonas de la polisuperficie.
- **Preciso:** Más lento, pero minimiza la distorsión de la figura. A veces pueden solapar en el aplanado partes disjuntas de la figura 3D, en cuyo caso tendremos que usar el aplanado Rápido.

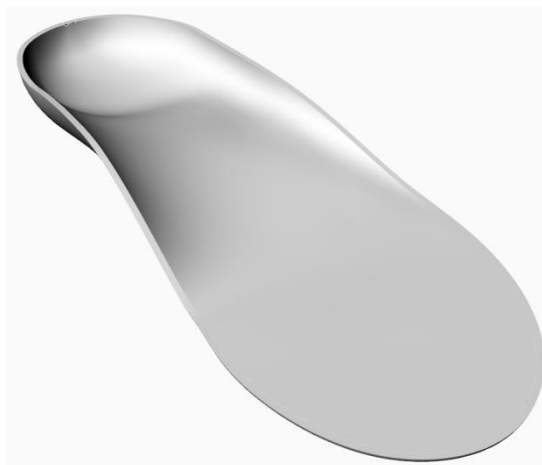


Figura 1 – Plantilla (Superficie original)

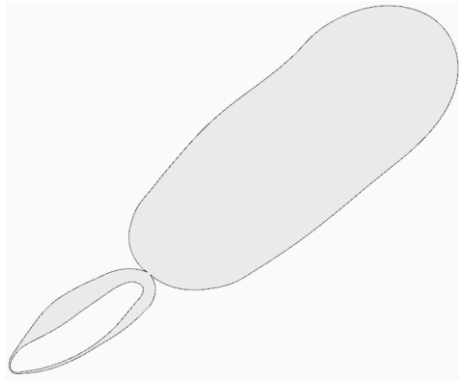


Figura 2 – Aplanado Rápido

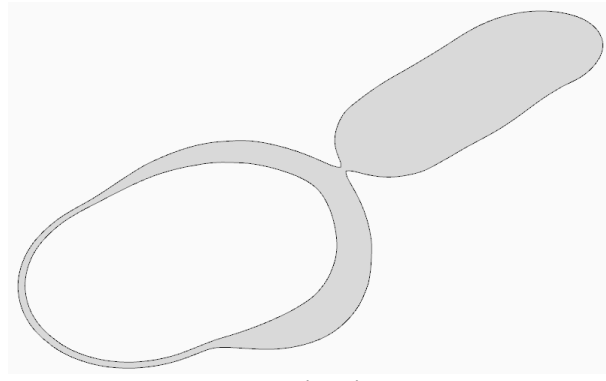


Figura 3 – Aplanado Preciso

Para las pruebas seleccionamos en cada caso el aplanado que genera menos distorsión sin que se solape ninguna parte de la polisuperficie.



Figura 4 – Juguete (Superficie original)

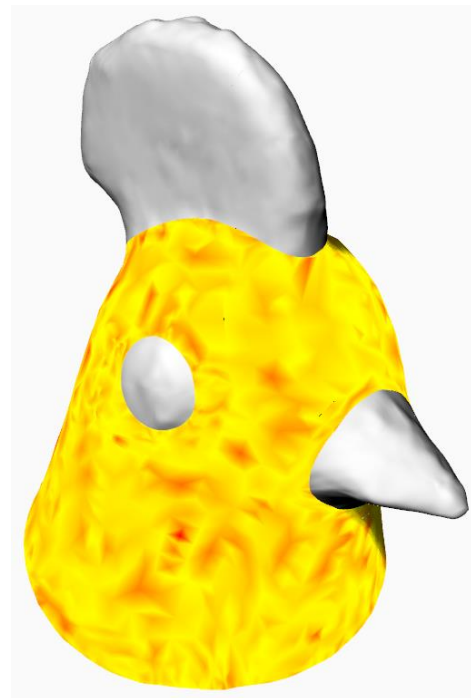


Figura 5 – Juguete (Error calculado)

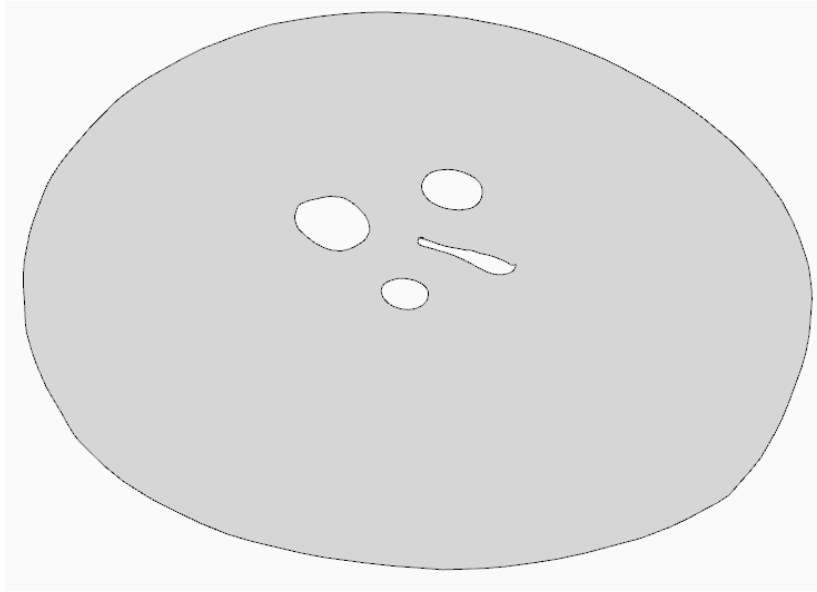


Figura 6 – Juguete (Mejor aplanado)



Figura 7 – Codera (Superficie original)

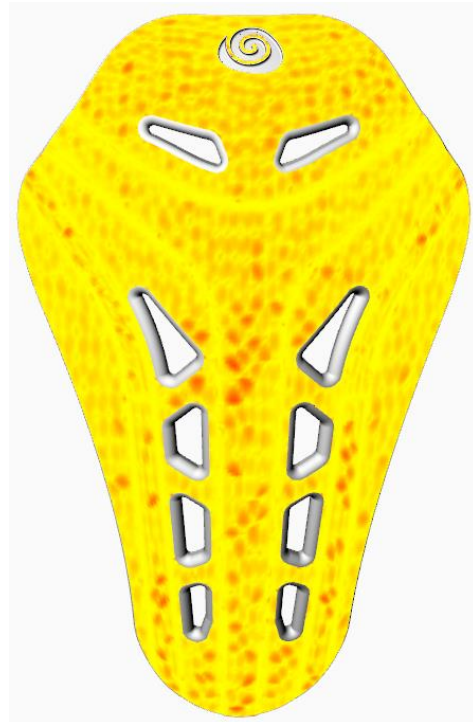


Figura 8 – Codera (Error calculado)

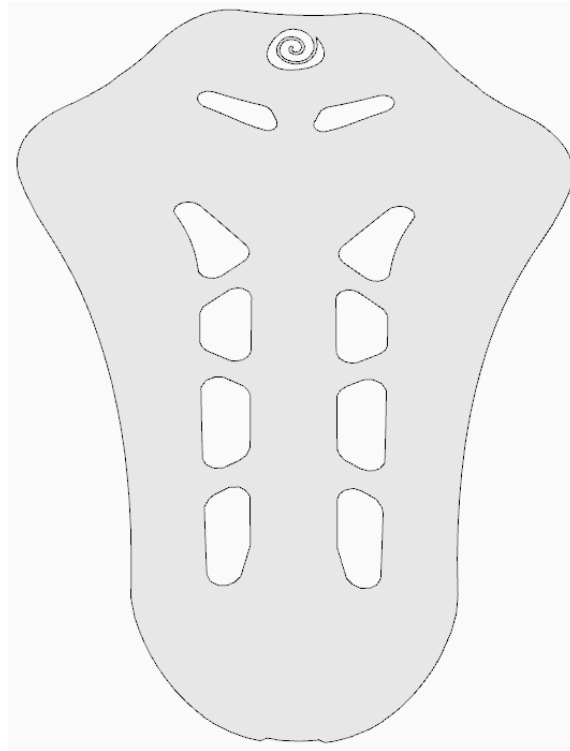


Figura 9 – Codera (Mejor aplanado)

Podemos ver en todos estos casos como estamos aplanando polisuperficies complejas, que son el resultado de la unión de múltiples parches pequeños. La polisuperficies se teselan de forma conjunta y se aplanan directamente. En las imágenes de error calculado podemos observar como aquellas zonas más planas de la polisuperficie original serán las que menor distorsión registren en el aplanado, mientras que las zonas con mayor curvatura son las que más sufren. En cualquier caso, es un resultado muy bueno, como se puede ver observar en los diferentes resultados del proyecto.

4. TRASLACIÓN PARAMÉTRICA

La traslación paramétrica es un cálculo que permite obtener una equivalencia entre un punto del objeto 3D y su aplanado 2D y viceversa. Esto nos permite hacer modificaciones en el aplanado 2D y poder llevar estas modificaciones de vuelta al 3D.

En esta segunda anualidad hemos añadido la posibilidad de incluir curvas y objetos de referencia en este proceso de traslación paramétrica, de forma que podamos usar curvas y objetos diseñados en 3D como referencia en el 2D y viceversa.

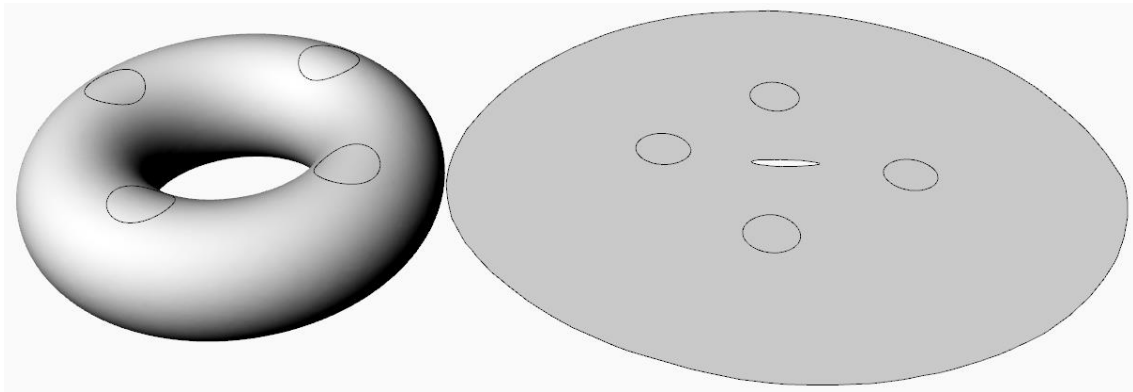


Figura 10 – Aro aplanado con curvas de referencia

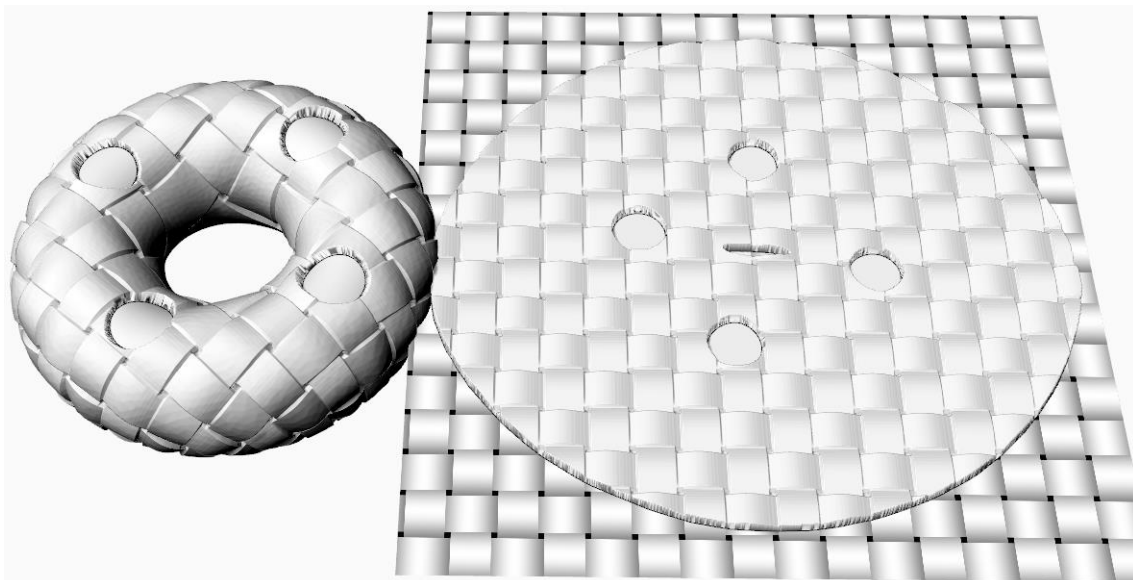


Figura 11 – Texturizado usando curvas de referencia

En este ejemplo usamos las curvas de referencia creadas en 3D para dejar zonas sin texturizar en el 2D.

5. HERRAMIENTA CAD PARA LA CREACIÓN DE TEXTURAS ORGÁNICAS MULTIFUNCIONALES

Hemos desarrollado una herramienta CAD centrada en la creación de texturas 3D a partir de texturas 2D. Gracias a los avances en aplanado de polisuperficies y traslación paramétrica comentados en los puntos 3 y 4, podemos convertir elementos diseñados sobre el objeto aplanado en 2D, a su espacio 3D. Esto nos permitirá que si somos capaces de crear una textura 3D sobre el objeto aplanado, trasladarla sobre el objeto 3D, tal y como se puede ver en la *figura 11*.

Así pues, la herramienta diseñada se encarga de crear texturas 3D sobre los objetos aplanados. El primer paso, es elegir la textura a usar.



Figura 12 –Ejemplos de texturas

EDITOR DE IMÁGENES

La elección de la textura adecuada debe tener en cuenta tanto parámetros estéticos como funcionales. El software incorpora un editor de imágenes que ayuda a la adecuación de estas para su uso, ofreciendo distintas ediciones como mosaicos, control de brillos y contrastes, distintos modos de conversión a grises, etc...

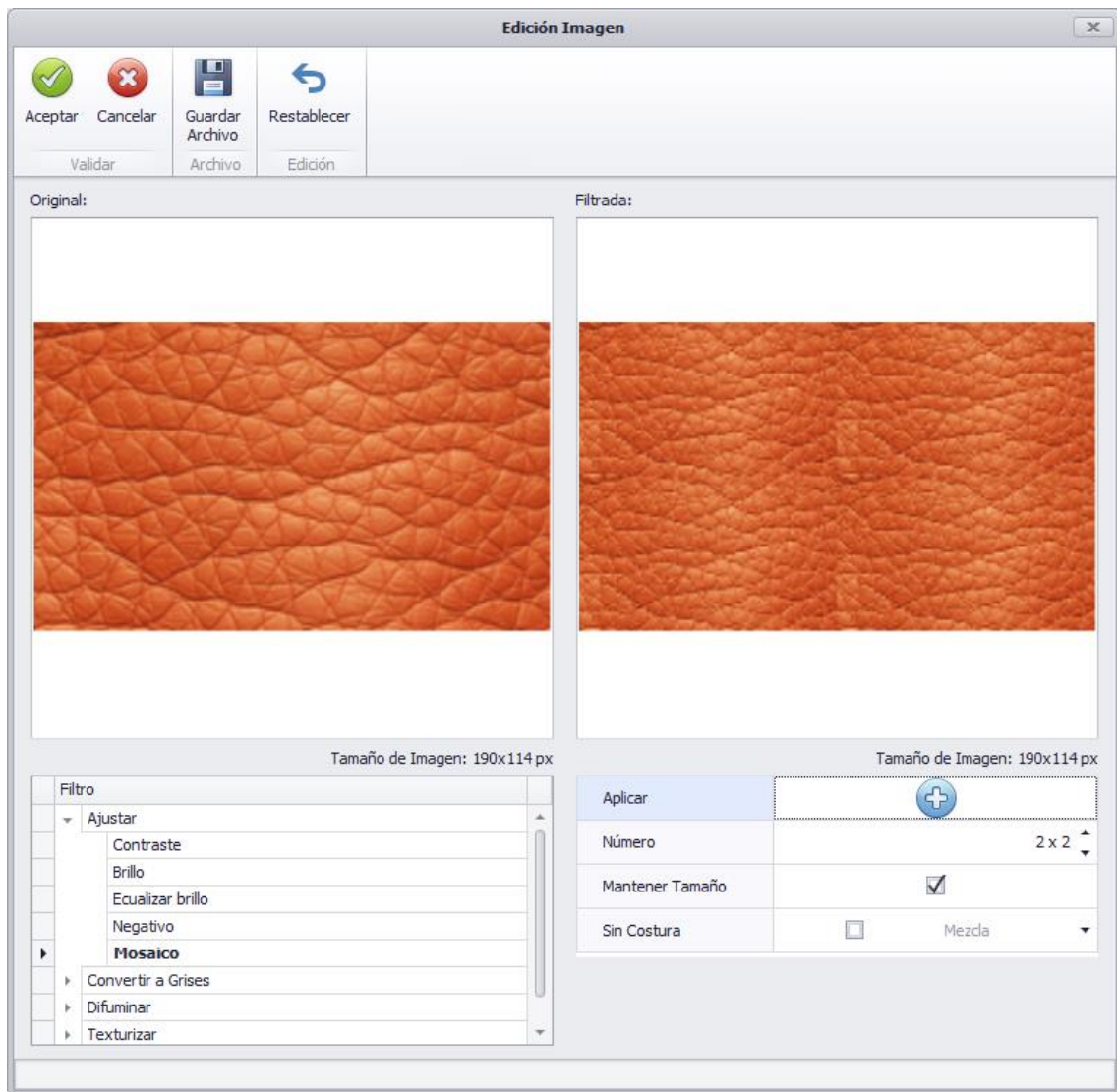


Figura 13 –Interfaz de edición de imágenes



Gris



Gris Fotocopia



Negativo



Mosaico



Mosaico Mezcla



Mosaico Simetría



Figura 14 –Ejemplos de filtros de edición de texturas

Entre los filtros desarrollados los más importantes son:

- **Convertir a grises:** La creación de la textura 3D se hará en función de la intensidad del color en cada pixel. Esto significa que podemos crear una textura 3D con una imagen a color, pero en ese caso software hará una conversión de color a gris invisible para el usuario.
Los filtros de convertir a grises permiten al usuario visualizar y controlar directamente la intensidad de cada pixel. Disponemos de varios filtros como, *Escala de grises*, *Binarizar*, *Fotocopia*,...
- **Mosaico:** Permiten al usuario aumentar el tamaño de la imagen copiándola una serie de veces determinada. Así pues, un mosaico 2x2 consistirá en crear una imagen con 4 copias, 2 en anchura y 2 en altura de la imagen original.
Este filtro conlleva problema en la unión de unas copias con otras (costuras), ya que no son imágenes continuas en los bordes. Para solucionar esto, hemos desarrollado dos algoritmos:
 - *Mosaico Mezcla:* Mezcla las zonas cercanas a las costuras en cada una de las copias.
 - *Mosaico Simetría:* Invierte las imágenes según su posición en la matriz, para asegurar que las costuras coinciden.
- **Brillo y Contraste:** Disponemos de ajustes de contraste, brillo y brillo dirigido, así como una función de ecualizar brillo automática. Esto nos permite hacer un ajuste más fino sobre las imágenes.
- **Negativo:** Importante para las texturas 3D, porque si invertimos la imagen invertimos la textura. Esto es, las zonas elevadas de las texturas 3D serán las bajas y viceversa.

CREACIÓN DE TEXTURA 3D

Una vez tenemos la textura 2D que queremos usar lista, debemos seleccionar las curvas del aplanado 2D, para delimitar la textura.

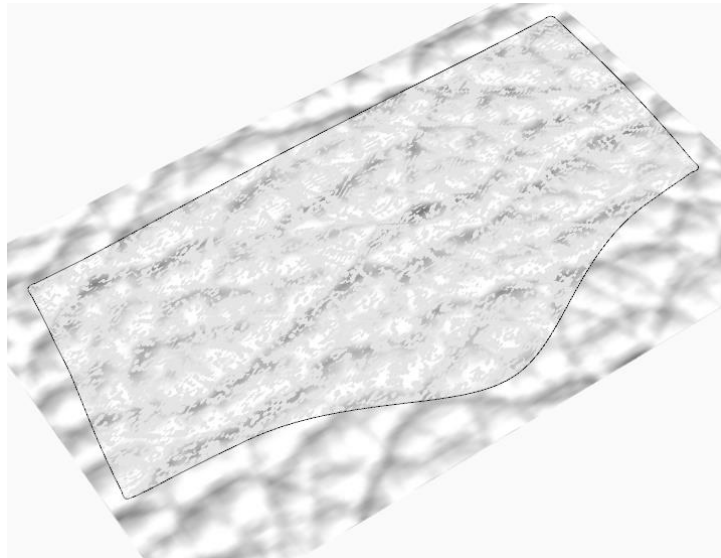


Figura 15 – Curva de contorno 2D

La malla (textura 3D) que se crea, se recorta sobre esta curva de contorno 2D, permitiendo delimitar la textura 3D al objeto aplanado.

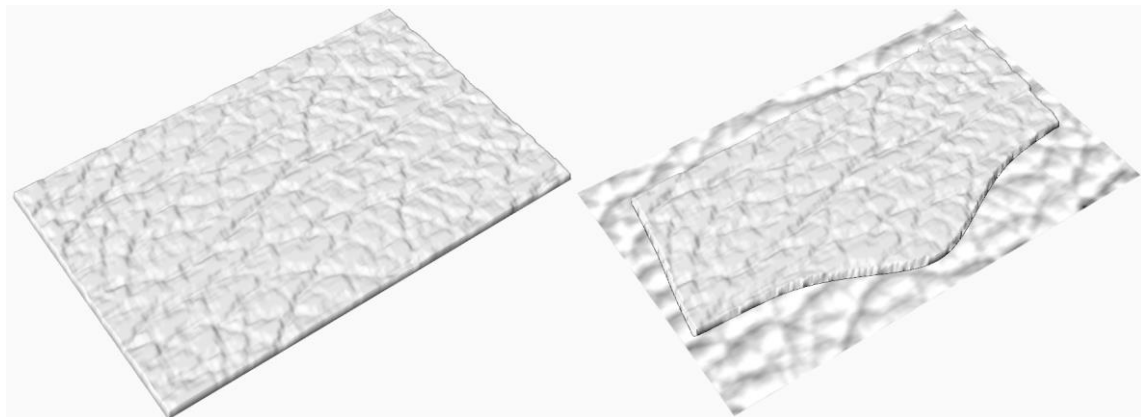


Figura 16 – Textura 3D completa

Figura 17 – Textura 3D delimitada

Además, disponemos de una serie de opciones para diseñar esta textura 3D:

- **Altura Máxima:** Indica la altura en milímetros que tendrá la malla en aquellos puntos que coincidan con un color blanco puro.
- **Posición, Ángulo y Tamaño:** Parámetros de transformación básicos para mover, rotar o escalar la textura con respecto al objeto aplanado.
- **Resolución de Rejilla:** Longitud de los lados de los triángulos que componen la textura 3D.
- **Suavizado de Borde:** Tamaño del suavizado en los bordes de la textura y tipo, tal y como se ve en las figuras 18, 19 y 20.

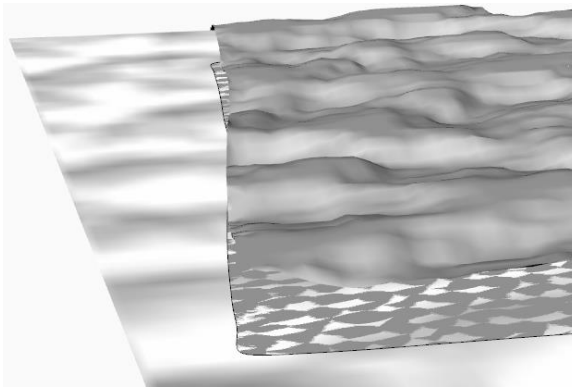


Figura 18 – Textura sin suavizado

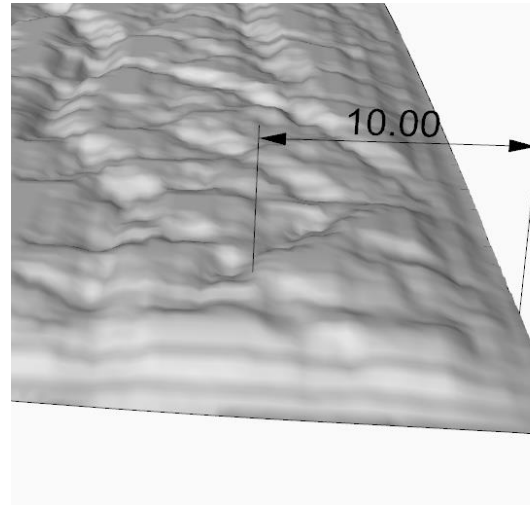
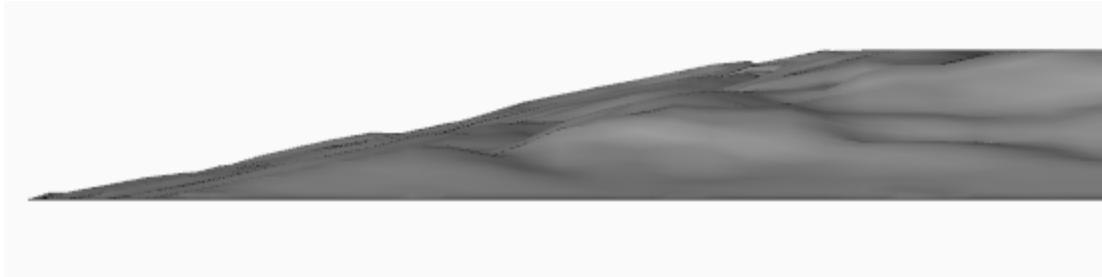
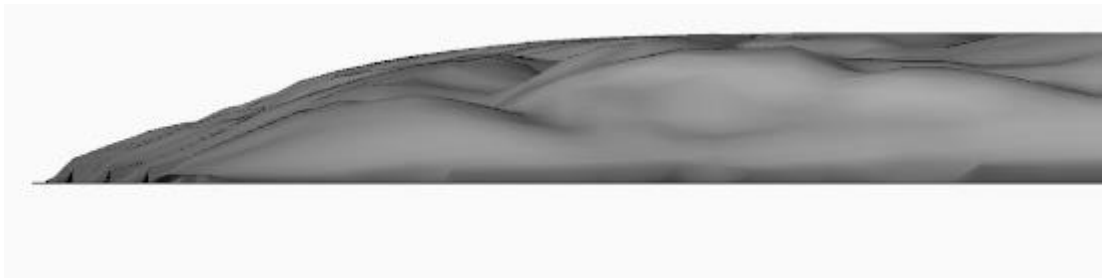


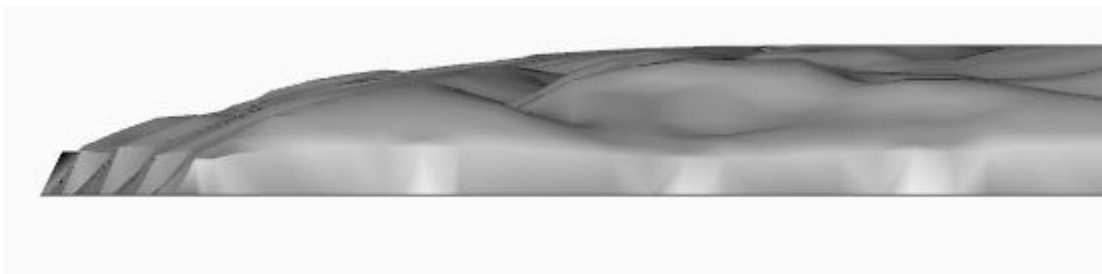
Figura 19 – Textura con suavizado 10 mm



Suavizado Recto



Suavizado Suave



Suavizado Redondeado

Figura 20 – Tipos de Suavizado

Una vez tenemos definidos estos parámetros, podemos crear la textura 3D. Como podemos ver en la figura 21, crearemos una malla cuadrada con las dimensiones de la imagen y con la resolución especificada en los parámetros.

Posteriormente, daremos relieve a esta malla, vértice a vértice según el color de la textura 2D subyacente. Recortamos la malla con el contorno 2D, y para evitar que los bordes de la nueva malla queden en el aire, aplicaremos un suavizado según los parámetros del diseño.

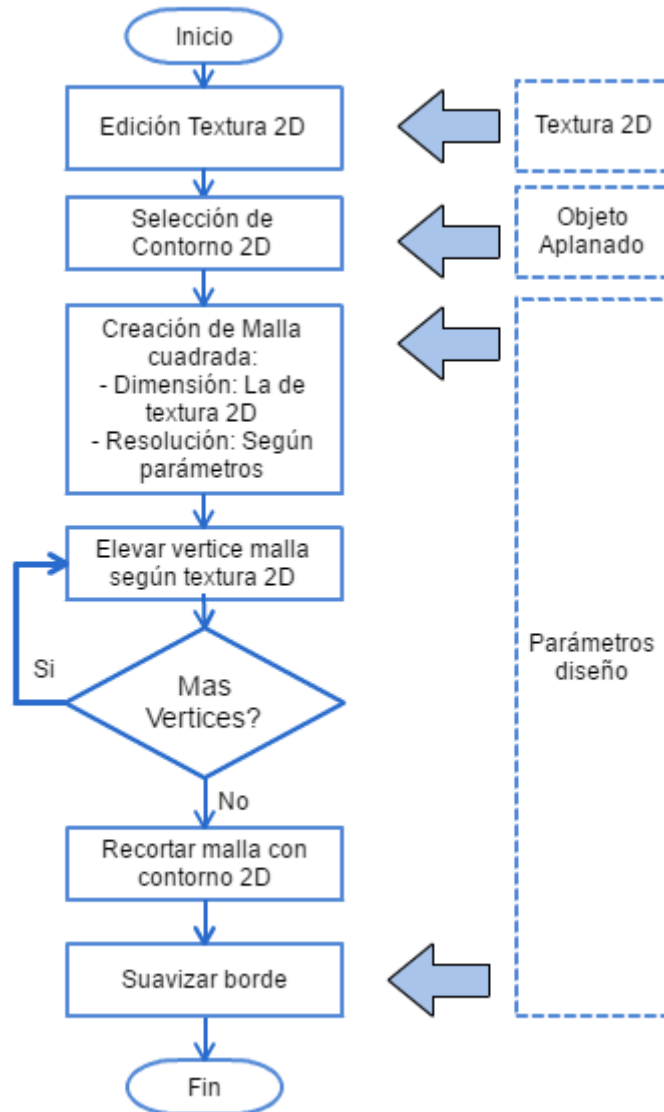


Figura 21 – Algoritmo para la creación de texturas 3D

6. ADECUACIÓN PARA IMPRESIÓN 3D

Una de las principales limitaciones de las impresoras basadas en el Fusion Deposition Modelling (FDM) de bajo coste es que el software de impresión procesa la geometría a fabricar como un objeto totalmente sólido, sin ningún tipo de oquedad interior, aunque el objeto modelado en el fichero CAD sí que la contenga. Este problema está directamente relacionado con la adición de estructuras internas en plantillas que se plantea en la tarea 3.2 de este proyecto, ya que el software de impresión por FDM obviaría las estructuras contenidas en su interior que se han añadido. Por esta razón, se plantea una herramienta técnica con la cual, mediante un procesado previo de la geometría, se hace posible la impresión de un objeto de estas características.

Así pues, las mallas que obtenemos para impresión 3D tienen que tener una serie de características para poder imprimirse sin problemas:

- Mallas cerradas
- Normales coherentes
- No pueden haber espacios cerrados dentro (Estructuras internas)

Las dos primeras características no son un problema en nuestras mallas. Para solucionar el tercero, hemos desarrollado el plug-in para Rhino "Línea Partición Molde".

LÍNEA PARTICIÓN-MOLDE

Para que el software de impresión 3D pueda interpretar las estructuras interiores sería necesario que no estuvieran contenidas en el interior, si no que formaran parte de la superficie exterior del objeto. Esto se logra dividiendo la plantilla/postizo en dos mitades cortándola con un plano orientado en el eje Z, de forma que quede una superficie inferior y superior. La superficie inferior es la que está en contacto con el suelo, contiene la mitad inferior de las estructuras interiores y se envía en primera instancia a fabricar. La superficie superior es la que contiene la superficie de planta y la mitad superior de las estructuras interiores. Para su fabricación, se comienza a extrudir material sobre la mitad inferior, de forma que ambas superficies quedan unidas como un único objeto, sin apreciarse línea de corte.

La herramienta que hemos diseñado automatiza este proceso, de forma que en 3 clicks tenemos la división del objeto hecha y preparado para imprimir.



Figura 22 –Plantilla con estructuras internas

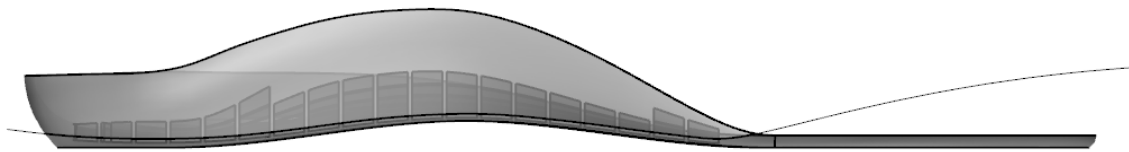


Figura 23 –Línea de partición

Es tarea del usuario dibujar la línea de partición como se ve en la figura 23. Esta línea debe partir todas las estructuras de la plantilla.

La herramienta toma como elementos de entrada:

- Toda la geometría a dividir.
- Línea de partición.

Y sigue los siguientes pasos:

1. Extruímos la línea de partición en el plano XY.
2. Partimos cada elemento de la geometría con la superficie extruida.
3. Para cada fragmento de cada elemento de la geometría, comprobamos si está por encima o por debajo de la línea de partición.

Llegados a este punto, si no hiciéramos nada más tendríamos dos conjuntos de geometría divididos en inferiores y superiores, pero no sería una malla cerrada, como se puede ver en la figura 24.

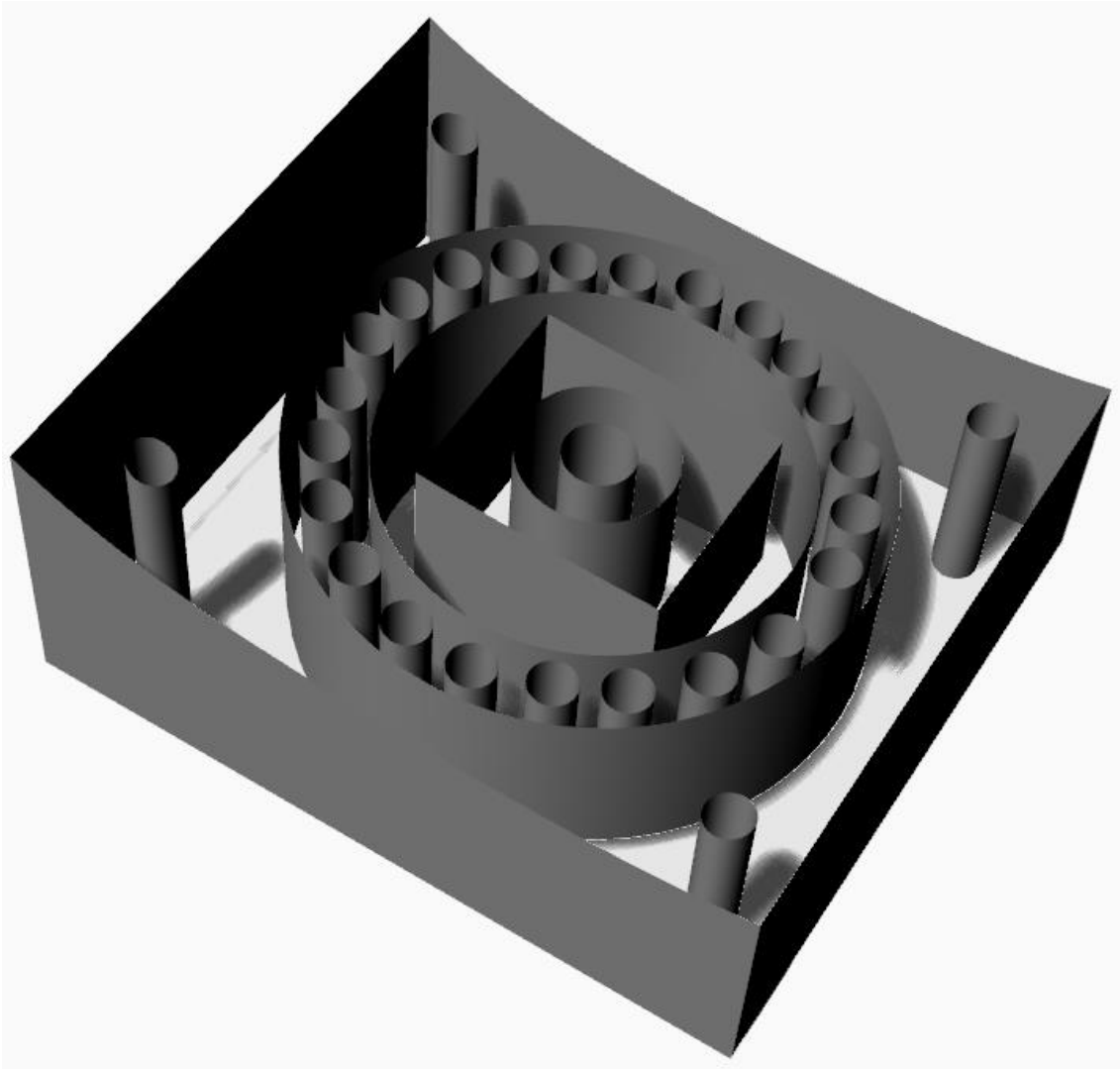


Figura 24 –Geometría dividida pero sin cerrar

Para cerrar las mallas, seguimos con el algoritmo

4. Partimos la superficie extruida con todos los elementos originales de la geometría.
5. Para cada fragmento de la partición de esta superficie extruida, tenemos que comprobar si es un elemento válido para cerrar la malla o no. Esto lo haremos con un test de colisiones desde el contorno de cada fragmento con el contorno del resto de fragmentos. Aquellos contornos que tengan un número de colisiones impar, serán fragmentos válidos, y los añadimos a la lista de fragmentos inferiores y a la lista de fragmentos superiores.
6. Creamos una polisuperficie con los fragmentos superiores y otra con los fragmentos inferiores.

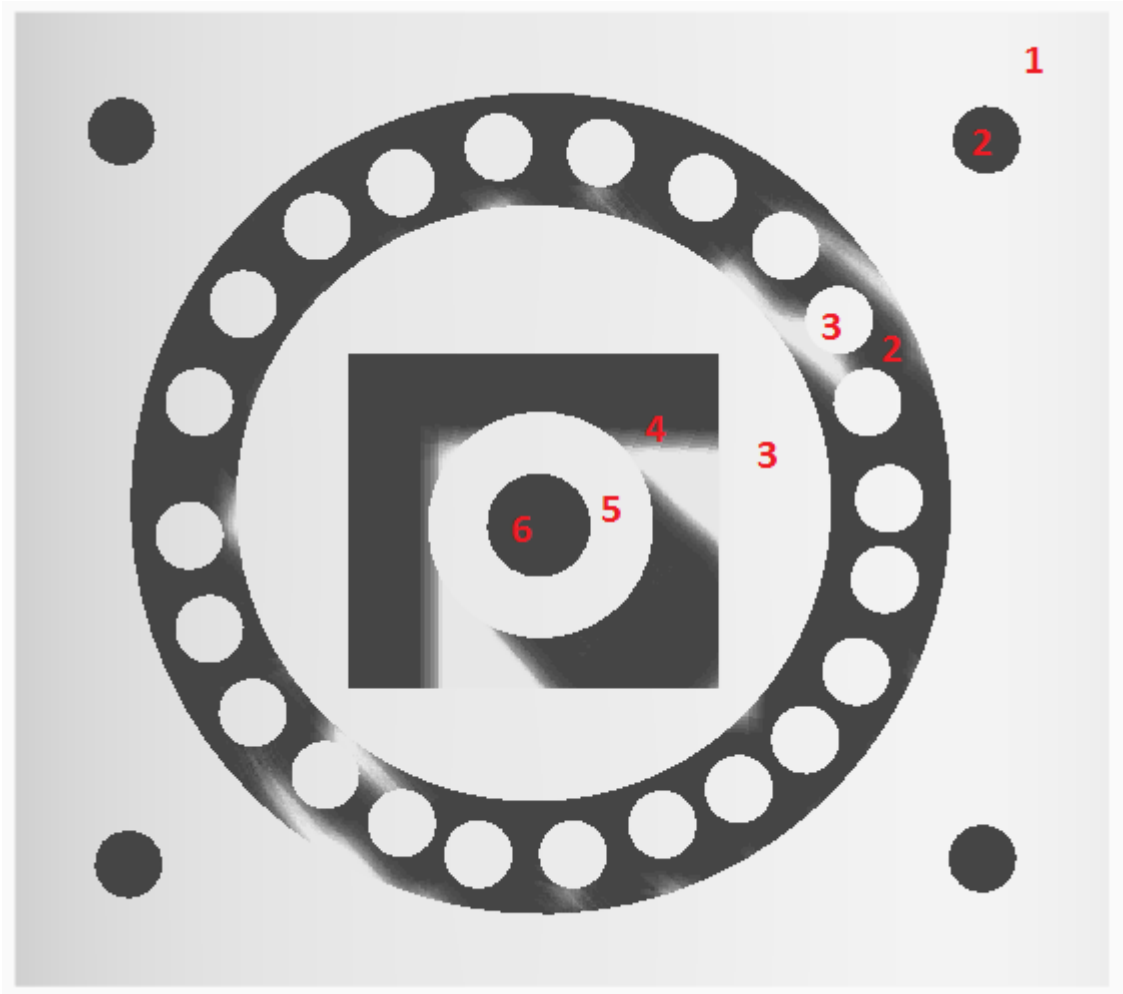


Figura 25 –Ejemplo de test de colisiones

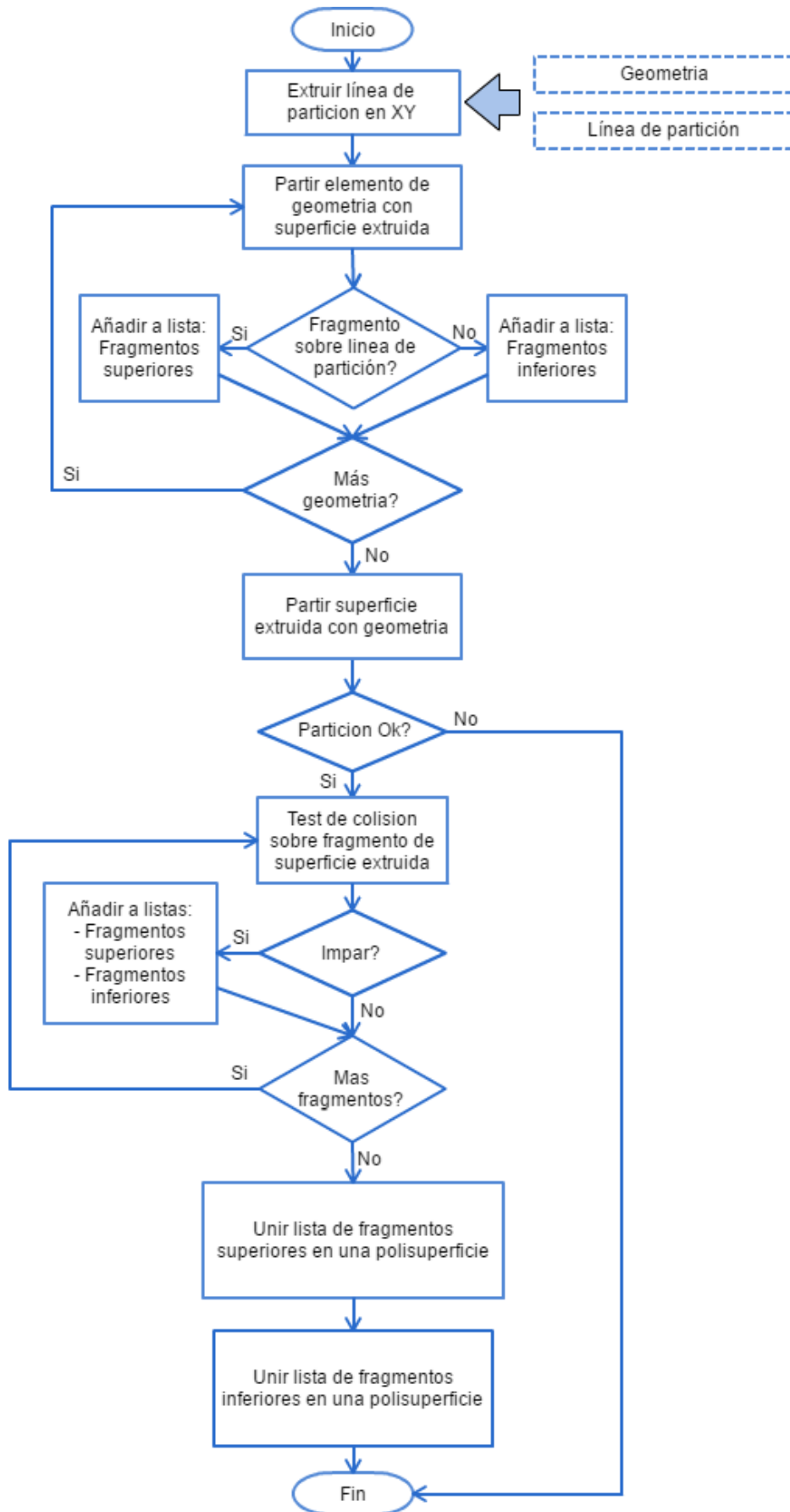


Figura 26 –Algoritmo de línea Partición-Molde



Figura 27 –Partición superior



Figura 28 –Partición inferior

El objeto se divide en dos mitades, que mandaremos por separado a la impresora, pero que se imprimirán juntas.

GENERACIÓN DE SOPORTE

En muchos de los casos la superficie inferior de la plantilla diseñada será completamente plana y por tanto estará en total contacto con el suelo. Sin embargo, existen ocasiones en las que la parte inferior está dotada de cierto relieve y por tanto, la plantilla no descansa totalmente contra el plano $Z=0$ (ver *figura 29*). Esto puede ocurrir o bien porque ésta deba responder a determinados requisitos funcionales, o bien porque deba estar adaptada a la geometría de algún piso de calzado en particular.



Figura 29 – Plantilla cuya base tiene relieve y no está en total contacto con el suelo.

Procedimiento Calcular Soporte

Entrada: Superficie plantilla

Salida: Superficie plantilla

CurvaPlantilla :=ConseguirCurvaInferior (Superficie plantilla);

CurvaProyectada = ProyectarZ0(CurvaPlantilla);

ListaSegmentos= Union(CurvaPlantilla, CurvaProyectada) -

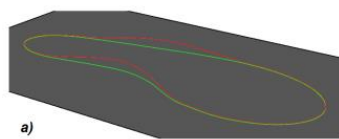
Interseccion(CurvaPlantilla, CurvaProyectada);

Figura 30 - Algorithm for generating the printing support.

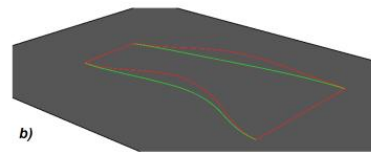
Debido a las restricciones inherentes a las impresoras 3D mediante FDM, el intento de fabricar directamente plantillas de estas características podría resultar incorrecto, ya que en las zonas que no están apoyadas contra el suelo no existe base sobre la cual comenzar a depositar material. Esta situación se puede solventar mediante el uso de impresoras de doble cabezal, con las cuales es posible fabricar un soporte que sirva de andamiaje al objeto. Sin embargo, a efectos prácticos el soporte de impresión constituye un objeto 3D más en cuyo modelado debe invertir tiempo el diseñador. En esta sección presentamos un procedimiento desarrollado específicamente por el cual generar de forma automática el soporte de impresión para una plantilla anatómica 3D en caso de que la geometría de su superficie inferior no esté en pleno contacto con el suelo.

Figura 31 - Creación automática de soporte.

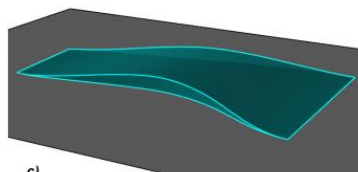
a) Curva inferior original y proyectada contra el suelo.



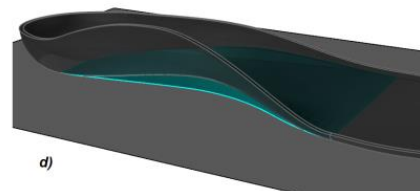
b) Obtención de parte no común entre las curvas.



c) Creación de superficies del soporte.



d) Vista semitransparente del soporte junto a la plantilla.



El proceso de creación automática del soporte de impresión comienza con la obtención de la curva de contorno de la superficie inferior. A continuación, se crea un plano orientado en el eje Z del sistema de coordenadas a la altura de 0 mm. Seguidamente, se proyecta la curva de contorno inferior sobre este plano, y se interseca una curva contra otra. Teniendo en cuenta

que parte del contorno inferior sí que se encuentra apoyado contra el suelo, se obtienen a partir de las intersecciones los segmentos no comunes tanto de la curva proyectada como de la curva inferior de la plantilla. Estos cuatro segmentos obtenidos se unen dos a dos y se calcula una superficie a partir de cada pareja, de forma que se obtienen cada una de las superficies inferior, superior y laterales del soporte. El algoritmo descrito queda especificado en la *figura 30*, mientras que las diferentes fases de este proceso se observan en la *figura 31*. Este soporte creado constituye un objeto cerrado y cuya base está en total contacto con el suelo, y por tanto, es adecuado para impresión mediante FDM.