



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UTILLAJE PARA LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA DE CONFORMADO INCREMENTAL MONOPUNTO PARA LÁMINAS DE ALUMINIO

Alumno: Cristian Laios Pérez López

Tutor: Prof. D. Gustavo Medina Sánchez
Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2021



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don GUSTAVO MEDINA SÁNCHEZ, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UTILLAJE PARA LA EJECUCIÓN DE UN
SISTEMA DE CONFORMADO INCREMENTAL MONOPUNTO PARA
LÁMINAS DE ALUMINIO, que presenta CRISTIAN LAIOS PÉREZ LÓPEZ,
autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica
Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2021

El alumno:

CRISTIAN LAIOS PÉREZ LÓPEZ

El tutor:

GUSTAVO MEDINA SÁNCHEZ

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Antecedentes	6
1.2	Objetivos	6
1.3	Metodo S.P.I.F	7
1.4	Impresión 3D mediante tecnología FDM.	8
2.	Definición del problema	11
2.1	Diseño de nuevo sistema de sujeción	11
2.2	Diseño de soportes y utillaje mediante impresión 3D	13
3.	Maquinaria y materiales necesarios	14
3.1	Maquinaria	14
3.1.1	Maquinaria de corta de agua	15
3.1.2	Maquinaria de impresión 3D	15
3.1.3	Maquinaria CNC.....	18
3.1.4	Puzón	19
3.1.5	Calibre.....	20
3.2	Material	20
3.2.1	PLA	20
3.2.2	Aluminio.....	21
3.3	Software empleado.....	22
3.3.1	Catia	22
3.3.2	Cura.....	22
3.3.3	Winunisoft	23
3.3.4	Excel.....	23
4.	Fabricación y parámetros del utillaje	23
4.1	Parámetros de impresión 3D	23
5.	Desarrollo experimental.....	27
5.1	Generación de Código y trayectorias	27
5.1.1	Generación de trayectorias	27
5.1.2	Generación de código ISO	28
5.2	Preparación maquina CNC	29
5.3	Preparación de chapas	30
5.4	Toma de datos.....	32
5.5	Fase experimental	33

5.5.1	Circulo	33
5.5.2	Geometría de arcos	34
5.5.3	Prisma	36
6.	Resultados experimentales	38
6.1	Geometrías obtenidas.....	38
6.1.1	Geometrías obtenidas en def. internas.....	38
6.1.2	Geometría en def. externas.....	40
6.2	Toma de datos post-ensayo	42
6.3	Utillaje después del ensayo.....	43
7.	Conclusiones.....	46
7.1	Conclusiones.....	46
7.2	Trabajo Futuro.....	46
8.	Bibliografía	47

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Algunas aplicaciones	7
Ilustración 2 Esquema de conformado incremental monopunto.....	8
Ilustración 3 BQ Witbox	9
Ilustración 4 Imagen software Cura	10
Ilustración 5 Imagen PLA.....	10
Ilustración 6 Base sistema sujeción.....	11
Ilustración 7 Base de chapa.....	12
Ilustración 8 Fijador superior chapa.....	12
Ilustración 9 Circulo 3D	13
Ilustración 10 Prisma 3D	14
Ilustración 11 Geometría de arcos 3D.....	14
Ilustración 12 Máquina corte de agua	15
Ilustración 13 Extrusor	16
Ilustración 14 Máquina BQ Witbox	16
Ilustración 15 ultimaker S5.....	17
Ilustración 16 Maquinaria CNC	19
Ilustración 17 Punzón.....	19
Ilustración 18 Calibre digital.....	20
Ilustración 19 Bobina PLA.....	21
Ilustración 20 chapa de aluminio	22
Ilustración 21 Captura parámetros Cura.....	24
Ilustración 22 captura parámetros ultimaker S5	25
Ilustración 23 Imagen durante impresión.....	26
Ilustración 24 Circulo impreso	26
Ilustración 25 Geometría de arcos impresa	26
Ilustración 26 Prisma impreso.....	26
Ilustración 27 Captura trayectorias excel.....	28
Ilustración 28 Código ISO	28
Ilustración 29 Simulación Código	28
Ilustración 30 Montaje máquina	29
Ilustración 31 Toma de origen de coordenadas.....	30
Ilustración 32 Sierra de cortar.....	31
Ilustración 33 Taladro de banco.....	32

Ilustración 34 Proceso de deformación	33
Ilustración 35 4º ensayo de deformación	34
Ilustración 36 Chapa inicial previa al doblado.....	35
Ilustración 37 Imagen de pruebas de doblado.....	35
Ilustración 38 Imagen de pruebas de doblado 2.....	36
Ilustración 39 Fase experimental prisma 1ª.....	37
Ilustración 40 Fase experimental 2ª prueba	37
Ilustración 41 Geometría obtenida circulo	39
Ilustración 42 Geometría obtenida 4ª prueba	39
Ilustración 43 Geometría obtenida en Geometría de arcos	40
Ilustración 44 Lámina deformada ensayo lateral.....	41
Ilustración 45 Lámina después 2º ensayo	42
Ilustración 46 Utillaje después de ensayo.....	43
Ilustración 47 Imagen después de ensayo	44
Ilustración 48 Imagen después de ensayo 2	44
Ilustración 49 Utillaje post ensayo prisma	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espesores iniciales	32
Tabla 2. Espesores finales.....	42

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los procesos de conformado de chapa mediante deformación plásticas convencionales, como embutición, laminado y estampado, existen unas generalidades como son su alta inversión tecnológica y su baja flexibilidad para producciones en serie.

En la búsqueda de solucionar estos problemas aparecen las tecnologías de conformado por deformación incremental ISF (Incremental Sheet Forming) que, aunque también pueden conllevar la utilización de matrices, estas son más simples y con una sola matriz se pueden conseguir diseños diferentes, lo que reduce la inversión inicial y aumenta la flexibilidad.

Todas estas tecnologías ISF constan de al menos una herramienta, un punzón, que provoca la deformación de la chapa. Esta deformación está regida por la trayectoria que se le indique a la máquina mediante un código de control numérico.

La utilización de un código de control CNC (Control Numérico por Computadora) nos da la posibilidad de cambiar el proceso para describir trayectorias diferentes, y con ello obtener formas diferentes, y la utilización de una herramienta específica muy simple, un punzón normalmente de punta esférica que nos aporta aún más flexibilidad y la rebaja en la inversión inicial que buscábamos. Esta tecnología permite la fabricación de series pequeñas de formas muy específicas muy utilizadas, por ejemplo, para aplicaciones de prototipado rápido, una técnica muy demandada por el mercado en la actualidad.

1.1 Antecedentes

Tal y como sabemos los estudios de conformado de chapa incremental realizados en la Universidad de Jaén son numerosos y se valen principalmente de una máquina CNC convencional adaptada para usarla como SPIF (Single Point Incremental Forming), uno de los tipos de conformados por deformación incremental.

Esta adaptación, ya realizada para llevar a cabo estos estudios anteriores, consta del diseño y fabricación de utillaje y herramientas específicas como son el sistema de sujeción y la introducción de la impresión 3D dentro de este modelo de fabricación para la generación de utillaje de manera mucho más rápida, menos costosa, sencilla y flexible, puesto que se adapta a todo tipo de geometrías.

1.2 Objetivos

En el presente trabajo se pretende realizar el diseño de un nuevo sistema de sujeción para la máquina CNC que sea mucho más eficiente y más sencillo su manejo, y el diseño

y estudio del comportamiento de utillaje realizado en plástico a partir de la impresión 3D.

- Diseño de sistema de sujeción para maquina CNC.
- Diseño de diferentes Geometrías para la impresión 3D
- Realizar experimentos con dichas geometrías para comprobar su comportamiento y viabilidad.
- Observación del aspecto visual de utillaje y toma de medidas para su comprobación.
- Análisis de los resultados obtenidos y sacar conclusiones de dichos resultados.

1.3 Metodo S.P.I.F

El método S.P.I.F (*Single-Point incremental Forming*), este tipo de método entra dentro de los procesos de conformado como embutición, pero en este caso es un método de carácter incremental, donde un punzón deforma una lámina de manera incremental consiguiendo la forma deseada.

El conformado incremental de láminas es un proceso derivado de las tecnologías existentes en el área de fabricación rápida, se requiere de una matriz que sirva de base de la lámina y un pisador para la sujeción de dicha lámina, todo ello será controlado por nuestra máquina de control numérico. Dicha máquina tendrá preestablecido una serie de trayectorias en este caso planas para que nuestro punzón deforme la lámina siguiendo los parámetros de dichas trayectorias.

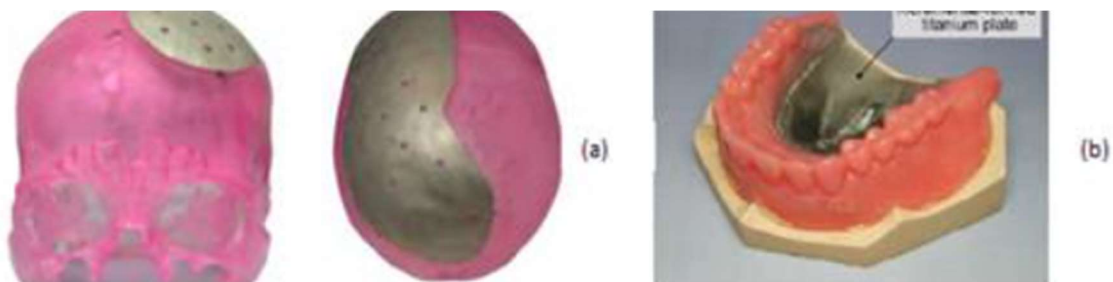


Ilustración 1 Algunas aplicaciones

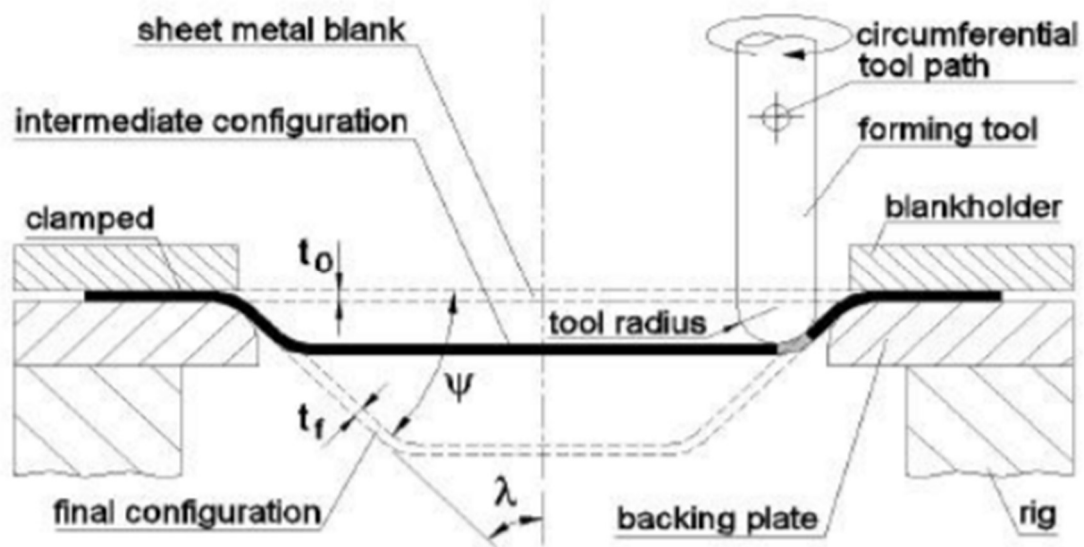


Ilustración 2 Esquema de conformado incremental monopunto

El punzón como se ha dicho anteriormente seguirá una serie de trayectorias las cuales se moverán en X,Y, estas coordenadas variarán en función de una serie de parámetros, dichos parámetros se denominan **parámetros del proceso**. En nuestro caso dichos parámetros serán:

- Δz (Altura que se desplaza el punzón en cada vuelta completa)
- α (Ángulo de pared)
- Diámetro del punzón (constante 10mm)
- Material y espesor de chapa (constante ALUMINIO,1mm)

1.4 Impresión 3D mediante tecnología FDM.

Como hemos comentado en anteriores puntos la impresión 3D es una de las herramientas más utilizadas en el panorama actual de fabricación y diseño de elementos. En nuestro caso utilizaremos este tipo de proceso para realizar las diferentes geometrías a estudiar.

Este tipo de geometrías sustituirán a nuestras matrices soporte, haciendo un proceso mucho más rápido de diseño y fabricación, además de adaptarse a todo tipo de geometrías.

Hablando un poco de la impresión 3D, consiste en la reproducción de objetos con volumen a partir de un prototipo diseñado por ordenador.

Este tipo de objeto son diseñados mediante programas como Catia u otro tipo de programas de CAD.

La impresión 3D es una técnica que empezó a utilizarse hace más de diez años y en su futuro se especula con su utilización para la creación de puentes y edificios. A día de hoy se ha alcanzado el momento en que estas impresoras se han vuelto muy asequibles económicamente por su bajo coste de producción y materiales de inferior calidad. También son fáciles de manejar para la mayoría de personas que posean unos conocimientos técnicos básicos, cabe mencionar que estas impresoras tan asequibles son para una visión de prototipo, más que para una versión final de un producto. [2]

En nuestro caso utilizaremos 2 tipos de impresoras para realizar las diferentes geometrías como son BQ Witbox y Ultimaker S5.

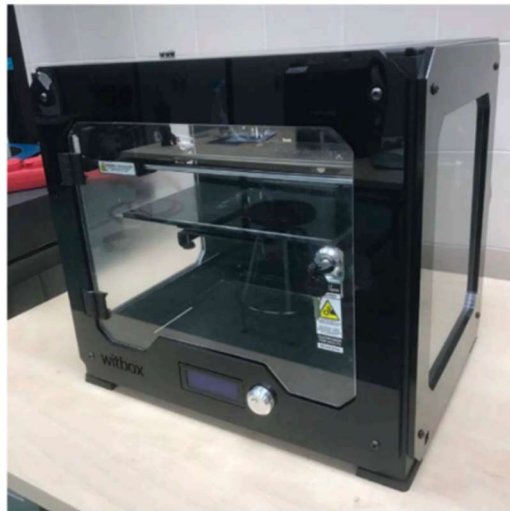
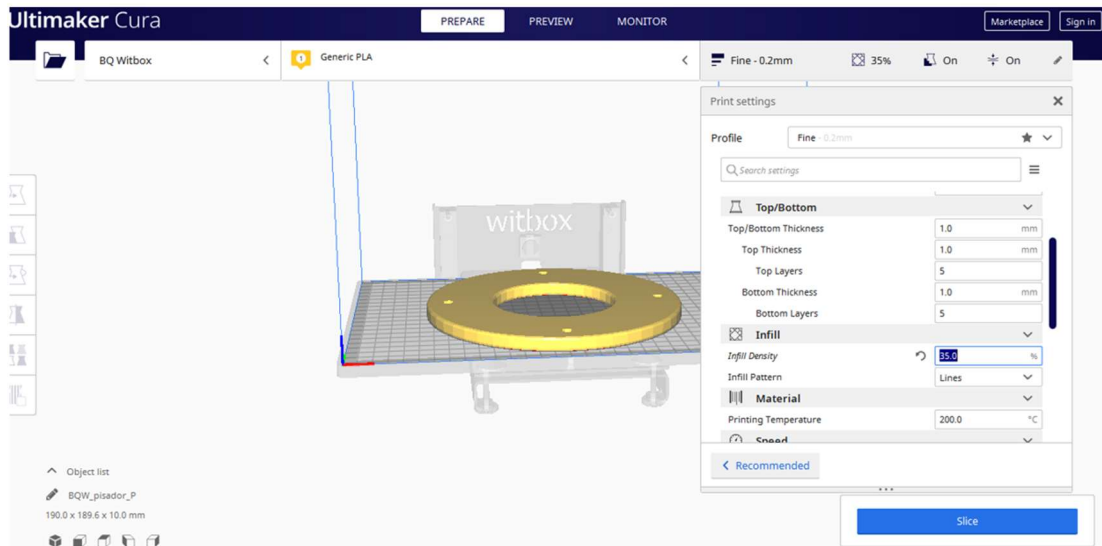


Ilustración 3 BQ Witbox

Existen varios tipos de software que pueden dirigir estas impresoras en nuestro caso utilizaremos el software Cura, el enlace de unión entra nuestro programa de CAD y el software es la extensión STL.

*Ilustración 4 Imagen software Cura*

El material el cual vamos a utilizar es PLA se trata (ácido poliláctico), polímero termoplástico que a diferencia de otros materiales es fabricado a base de recursos renovables, como almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar.

*Ilustración 5 Imagen PLA*

2. Definición del problema

En el siguiente apartado nos centraremos en todos los aspectos correspondientes a la definición de nuestro problema, así como las soluciones adoptadas nuestro nuevo sistema de sujeción y nuestras formas geométricas de utillaje de impresión 3D.

2.1 Diseño de nuevo sistema de sujeción

Una de nuestros primeros diseños era la realización de un sistema de sujeción para la maquina CNC que mejorase a la anterior y fuese mucho más eficiente y de un montaje más fácil y menos tedioso.

Dicho soporte se adaptará a la mesa de cualquier fresadora, este soporte tendrá un montaje mucho más fácil, por otro lado, teníamos el objetivo de que pesase menos entonces decidimos de realizarlo en un material como el aluminio lo cual lo haría menos pesado. Por otra parte, lo dotamos de un sistema de regulación de altura lo cual lo hace mucho más practico debido a esa regulación de altura.

Para ello nuestra elección fue bien fácil una base que estuviese anclada mediante tornillos sobre la base la cual en sus cuatro esquinas tendría unas varillas roscadas con sus respectivas tuercas las cuales nos daría una facilidad para regular la altura de la lámina a deforma.

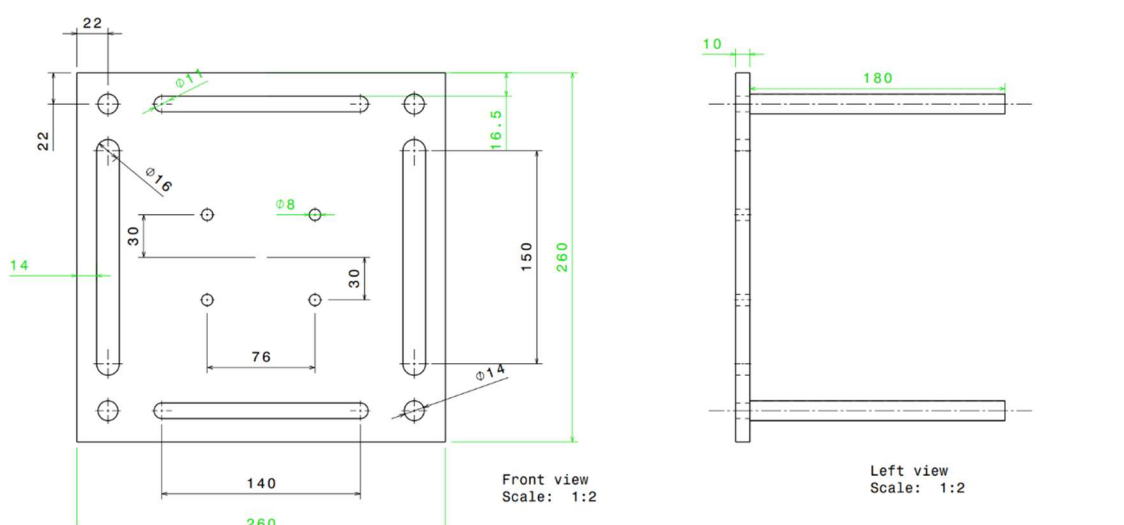


Ilustración 6 Base sistema sujeción

Una vez creado esta base debíamos continuar con la parte superior donde apoyaría nuestra lamina la cual la diseñamos con unos orificios del mismo diámetro que las varillas roscadas para que entrasen y pudiésemos regular su altura en el centro consta de un cuadrado hueco para conseguir la deformación de la chapa de manera interna y sobre esta pieza apoyaría la chapa a deformar.

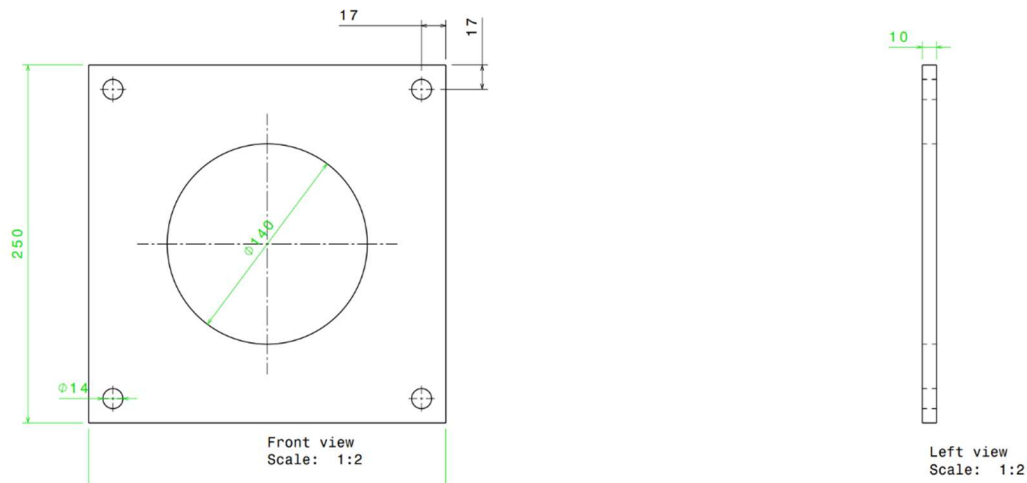


Ilustración 7 Base de chapa

Seguidamente necesitábamos de unas piezas capaces de conseguir la sujeción de la chapa y del conjunto en general, para ello creamos una pieza la cual le hicimos 4 orificios en las esquinas de mismo diámetro de las varillas para conseguir la sujeción del conjunto aprovechando las varillas, en su parte superior llevaría unas tuercas que conseguirán la sujeción de todo el conjunto.

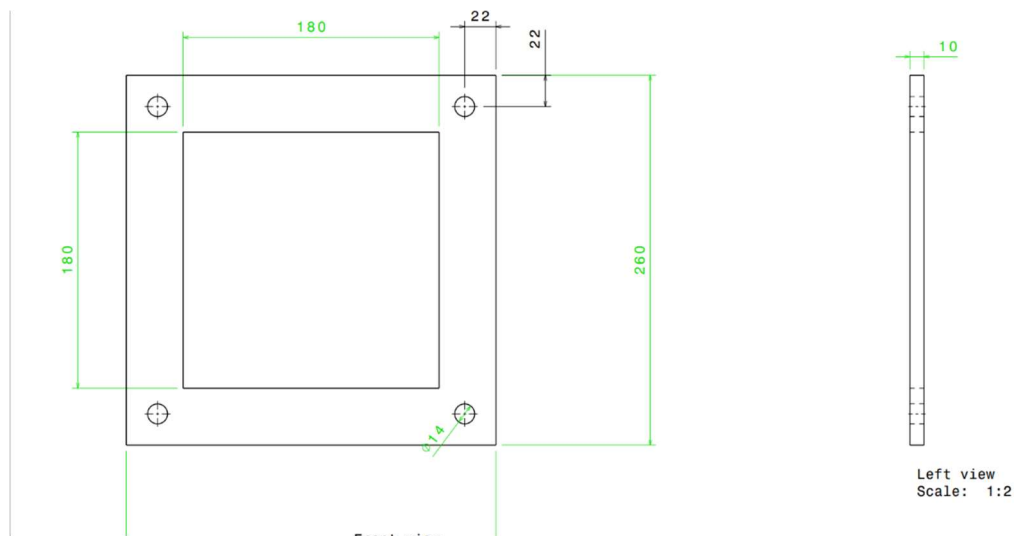


Ilustración 8 Fijador superior chapa

Todo este diseño para sistema de sujeción se completa con un formato DXL y con el corte de las piezas mediante una máquina de corte de agua que posee la escuela.

2.2 Diseño de soportes y utillaje mediante impresión 3D

En el siguiente apartado nos centraremos en la obtención del utillaje mediante la impresión 3D.

En primer lugar, nuestra primera figura geométrica será un **círculo** pensamos en ella porque al ser algo muy experimental la introducción de la impresión 3D queríamos un utillaje con una geometría bastante conocida por ello decidimos optar por esta figura geométrica. Las medidas de dicho círculo serían las siguientes consta de 4 orificios de diámetro 8mm para fijarlo a la maquina CNC, un círculo hueco de 120mm y el círculo grande de 200mm, además consta con un espesor de 20mm. Por otra parte tiene un pisador de diámetro exterior 190mm y diámetro interno de 130mm con un espesor de 5mm.

Por otra parte, como en todas las piezas la distancia de los orificios al extremo es de 1,1 el espesor de la pieza para la seguridad.

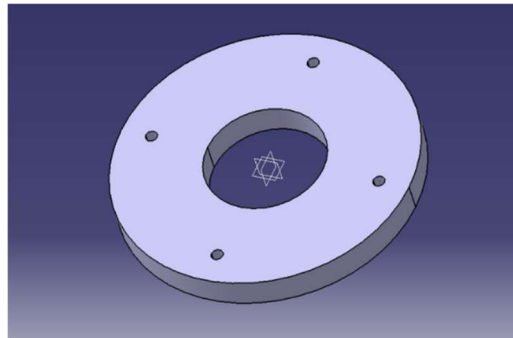


Ilustración 9 Círculo 3D

Seguidamente seguíamos experimentando y para ello elegimos una geometría un poco de diferente se trataba de un **prisma de base cuadrada**, pero se iba estrechando según avanzaba en altura, con la idea de conseguir una especie de plegado con la chapa en las diferentes caras del prisma y también el comportamiento de deformaciones externas.

Las medidas de dicho prisma serían la base tendría un lado de 120mm mientras que escuadrado superior tendría un lado de 100mm, un espesor de 30mm y un pisador de 90mm de lado con sus respectivos orificios de diámetro 8mm.

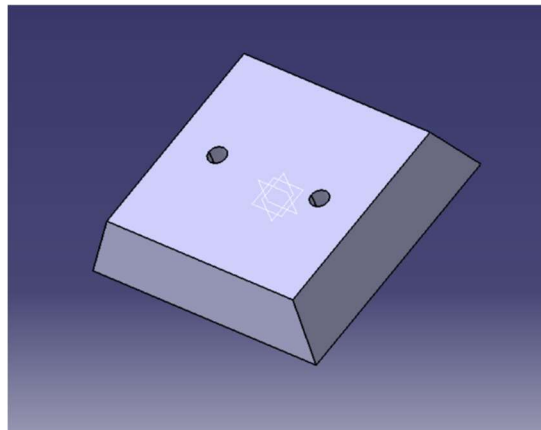


Ilustración 10 Prisma 3D

Una vez realizados estas dos piezas pasamos a crear una forma geométrica un tanto diferente de manera que intentásemos experimental con la deformación exterior y ver el comportamiento cuando existen piezas con una serie de curvas diferente.

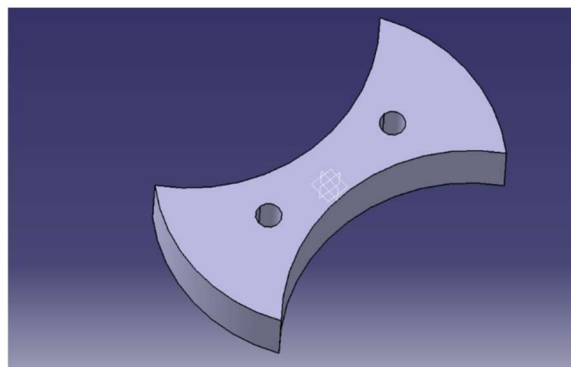


Ilustración 11 Geometría de arcos 3D

3. Maquinaria y materiales necesarios

En el siguiente apartado vamos a plantear las herramientas y materiales a tener en cuenta para la resolución del problema.

3.1 Maquinaria

La maquinaria necesaria para la resolución de nuestro problema la dividiremos en los siguientes apartados.

3.1.1 Maquinaria de corte de agua

El dispositivo consiste en un chorro de agua a presión, cuyo diámetro de la boquilla oscila entre 0,1 mm a 0,4 mm de diámetro, por el cual sale una mezcla de agua y abrasivo lanzado a una presión muy elevada, capaz de cortar cualquier tipo de material.

La presión del chorro de agua es otra de las características más importantes del proceso. La aporta un sistema consistente en una bomba dotada con un intensificador de ultrapresión que hace que pueda llegar hasta 4000 bares de presión.

La velocidad de corte suele situarse en 100m/s. [3]

La máquina está dotada de una balsa, sobre la que se proyecta el chorro de agua, y la cual sujeta las piezas mediante una reja que mantiene el material en la superficie de trabajo, pero que permite que la mezcla de agua y el material eliminado se deposite dentro de la misma, evitando así que el líquido proyectado caiga fuera de la zona de corte, e incluso que salpique, pudiéndose reciclar el abrasivo para ser reutilizado de nuevo.



Ilustración 12 Máquina corte de agua

3.1.2 Maquinaria de impresión 3D

En este apartado hablaremos sobre las diferentes máquinas empleadas en el proceso del utillaje en impresión 3D y de las características de dichas máquinas.

-BQ Witbox

Esta máquina optimiza su funcionalidad de modo que se pueden imprimir varias figuras de una sola vez. Su área de impresión se encuentra totalmente recubierta por una estructura de plástico y unas ventanas de metacrilato para que se pueda apreciar el interior. Esta armazón es muy útil para mantener el calor, y crear una atmósfera de impresión más adecuada, a la

vez que evita que se introduzcan factores externos. También se agradece este tipo de recubrimientos aislantes por los gases que los plásticos emanan al fundirse y la mayoría son perjudiciales para la salud.

Los contras que he podido observar en esta máquina es que no dispone de cama caliente, un dispositivo que, conectado a la fuente de alimentación de la impresora, logra que el cambio de temperatura que sufre el plástico fundido al tocar el cristal templado no sea tan brusco, evitando problemas de warping. Además, disminuiría las posibilidades de que la pieza acabe desprendiéndose por las fuerzas de deformación que el proceso de impresión por capa genera, proporcionando una buena adhesión al cristal. Para solucionar dicho problema de adhesión utilizamos laca, sobre la base de la maquina rociamos un poco de laca mejorando la adhesión. El formato utilizado para esta máquina se trata de G-Code.

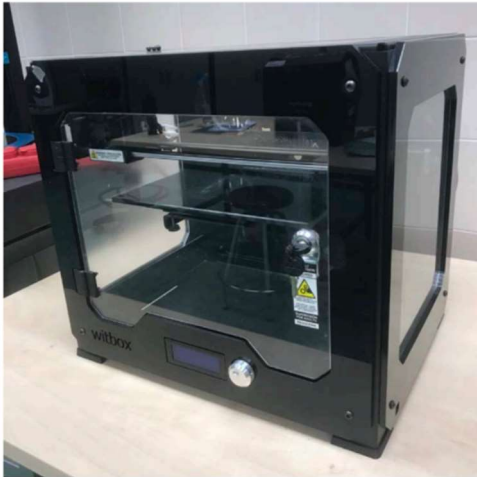


Ilustración 14 Máquina BQ Witbox



Ilustración 13 Extrusor

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Dimensiones impresora: (x)505 x (y)388 x (z)450 mm
- Dim. área de impresión: (x)297 x (y)210 x (z)200 mm
- Dim. caja: (x)643 x (y)547 x (z)647 mm
- Peso: 28 kg
- Materiales Resolución de capas
- Alta 50 micras
- Media 200 micras
- Baja 300 micras

- Fuente de alimentación de 348 W Termistores 100k en extrusor Cartucho calefactor 40 W 12 V.

Extrusor único Extrusor de diseño propio Boquillas de 0.4 mm Toberas de refrigeración de pieza.

Comunicaciones Lector de tarjetas SD y tarjeta de 4 GB incluida Puerto USB Seguridad.

- Velocidad recomendada: 60 mm/s. [4]

-Ultimaker S5

A diferencia de la anterior este tipo de impresora es mucho más optima, más rápida que la anterior. Cuenta con cama caliente evitando el problema anteriormente comentado, además también cuenta con dos extrusoras, también cuenta con sistema de ajuste del plástico automático, así como una nivelación de la cama de manera automática a diferencia de la anterior que debes realizarlo de manera manual.

Como inconveniente es bastante más tedioso a la hora de su puesta en marcha con respecto a la anterior. Este tipo de máquina la utilizábamos para la creación de piezas más grandes. El formato utilizado para esta máquina se trata de UFP desde el software Cura.

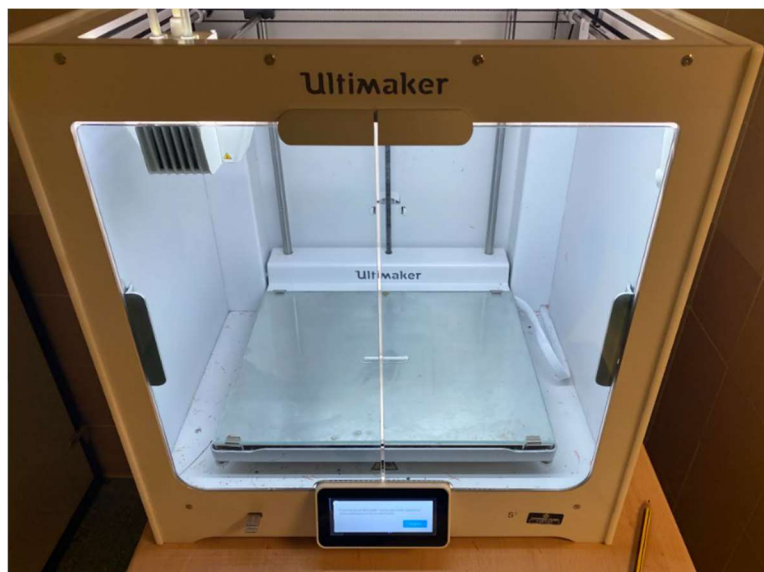


Ilustración 15 ultimaker S5

Características Técnicas:

- Tecnología de impresión 3D: FDM
- Cabezal de impresión: Doble extrusión con sistema de elevación de boquilla automática y núcleos de impresión intercambiables
- Diámetro de la boquilla: 0.25mm, 0.4mm, 0.8mm
- Volumen de construcción: (330x240x300) mm
- Diámetro del filamento: 2.85mm
- Resolución de la capa: Boquilla de 0,25 mm 60-150 micrones, boquilla de 0,4 mm 20-200 micrones, boquilla de 0,8 mm 20-600 micrones
- Velocidad de construcción: hasta 24 mm al cubo por segundo
- Temperatura de la placa de construcción: 20-140°C [5]

Materiales de impresión 3d: PLA, PLA resistente, Nylon, ABS, CPE, CPE+, PC, TPU 95A, PP, PVA, Breakaway y materiales de terceros.

3.1.3 Maquinaria CNC

Utilizaremos una máquina de centro de mecanizado didáctico para conseguir la deformación de las diferentes laminas. Nuestra maquina sigue una serie de trayectorias que previamente se han realizado en el software winunisoft. Una vez creadas estas trayectorias se envía a la maquina donde ella las reproduce sobre la fresa y crear el contorno deseado.

Tiene un movimiento de los tres ejes de (200mm,200mm,200mm) y consta de un Este consta de un brazo robótico, un torno de control numérico ECLIPSE de ALECOP y una máquina fresadora de control numérico ODISEA de ALECOP. También consta de diferentes cabezales los cuales la maquina automáticamente los selecciona según la pieza a realizar, en nuestro caso solo utilizaremos un punzón para lograr la deformación.



Ilustración 16 Maquinaria CNC

3.1.4 Puzón

Como hemos hablado anteriormente nuestra fresadora de control numérico solo utilizaremos un único útil el punzón.

Nuestro punzón a utilizar tiene un diámetro de unos 10mm y el material del que está hecho es de acero, además este punzón en su punta tiene una forma geométrica de semiesfera y es de gran dureza.



Ilustración 17 Punzón

3.1.5 Calibre

Esta herramienta es de bien conocida por todos en nuestro caso es un calibre digital y lo hemos utilizado para la comprobar si existe algún tipo de deformación en el utillaje de plástico.



Ilustración 18 Calibre digital

3.2 Material

En el siguiente apartado hablaremos sobre los materiales utilizados en nuestro proyecto, diferenciando en dos partes por un lado tendremos el plástico PLA y por otro el aluminio a deformar.

3.2.1 PLA

Como material para la impresión 3D utilizaremos un tipo de plástico denominado PLA (ácido poliláctico), polímero termoplástico que a diferencia de otros materiales es fabricado a base de recursos renovables, como almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar.

El PLA es considerado un pseudo plástico no newtoniano, presenta resistencia al flujo, lo que significa que su viscosidad disminuye en relación a la tensión aplicada, esto puede producir atascamientos en el extrusor en un momento oportuno.[6]



Ilustración 19 Bobina PLA

Características del PLA:

- Diámetro filamento: 1,75 mm
- Densidad: 1,24 g/cm³ (ASTM D792)
- Módulo elástico en flexión: 3600 MPa (ISO 178)
- Resistencia a la flexión: 108 MPa (ISO 178)
- Dureza: 85 Sh D (ASTM D2240)
- Temperatura recomendada de impresión: 200/220 °C
- Temperatura de flexión bajo carga: 56 °C (ISO 75/2B)
- Temperatura de transición vítrea: 56/64 °C (ASTM D34 18) [7]

3.2.2 Aluminio

Por otro lado, tenemos el material a deformar es bien conocido se trata del aluminio. Se trata de un material no ferromagnético, tiene un buen comportamiento frente a la corrosión, es buen conductor de la electricidad y el calor. También se ha utilizado este tipo de material por el coste y porque es un material bastante blando para una perfecta deformación. [8]



Ilustración 20 chapa de aluminio

Características Técnicas:

- Densidad: 2698,4 kg/m³
- Punto de fusión: 933,47 K (660 °C)
- Punto de ebullición: 2792 K (2519 °C)
- Entalpía de vaporización: 293,4 kJ/mol
- Entalpía de fusión: 10,79 kJ/mol
- Presión de vapor: $2,42 \times 10^{-6}$ Pa a 577 K
- Volumen molar: $10,00 \times 10^{-6}$ m³/mol
- Módulo elástico: 70 GPa [9]

3.3 Software empleado

En este apartado hablaremos sobre los programas empleados para la realización del diseño del utillaje y la realización de las diferentes trayectorias para la máquina CNC.

3.3.1 Catia

Este tipo de software nos ha servido para la realización del modelado de los diferentes elementos de utillaje y además ha servido para el modelado de nuestro elemento de sujeción. Este tipo de programa es un programa de modelado y diseño de piezas en 3D, es un programa bastante usado hoy en día en Ingeniería de fabricación, actualmente grandes marcas de vehículos lo utilizan en su diseño de diferentes componentes debido a su versatilidad.

3.3.2 Cura

Este tipo de software nos ha servido para conseguir pasar de formato STL de catia a los diferentes archivos para nuestras impresoras 3D, tanto BQ Witbox como ultimakerS5 en

G-Code y UFP respectivamente. En resumen, podemos modificar los parámetros de impresión y pasarlos a los diferentes códigos nombrados anteriormente.

Es uno del software más fiable para los diferentes códigos de las diferentes impresoras 3D y además es uno de los más utilizados.

3.3.3 Winunisoft

Es uno de los softwares más utilizados para controlar un centro de mecanizado con control numérico, como fresadoras y tornos CNC principalmente.

Utilizaremos este software principalmente para realizar simulaciones de la trayectoria programada con un código ISO y transmitir los códigos del PC al centro de mecanizado. Una vez estando allí es el momento en el que se pueden ejecutar los ensayos.

3.3.4 Excel

Este software lo hemos utilizado para generar las trayectorias correspondientes a las diferentes piezas y después pasarlo a winunisoft, estas trayectorias han sido generadas de manera automática cambiando su valor según la altura en Z y los diferentes ángulos.

4. Fabricación y parámetros del utillaje

En este apartado nos centraremos en la explicación de los parámetros que hemos tenido en cuenta a la hora de realizar las piezas en las diferentes impresoras.

4.1 Parámetros de impresión 3D

En este apartado hablaremos sobre algunos parámetros que tuvimos en cuenta a la hora de realizar los diferentes diseños de geometrías en nuestras impresoras 3D.

Por un lado, debido al tiempo de impresión elegimos la opción de imprimir las piezas más grandes en nuestra impresora ultimaker S5 debido a su velocidad de impresión, y los pisadores en nuestra impresora BQ witbox, además en ambas impresoras utilizaremos PLA.

Para la realización de nuestros pisadores utilizamos los siguientes parámetros, una *densidad de plástico* de un 35%, una *parte interna* con forma triangular y una *velocidad* de impresión de 40mm/s.

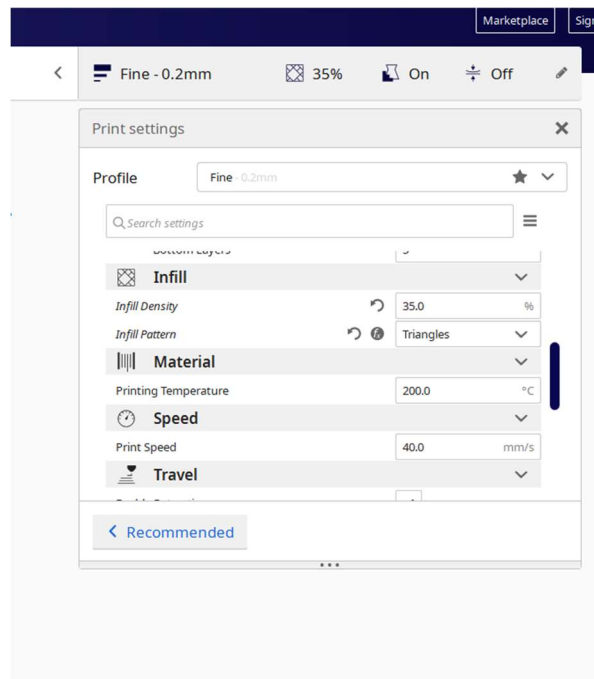


Ilustración 21 Captura parámetros Cura

Una vez realizados los pisadores para las piezas utilizamos nuestra impresora ultimaker S5 con unos parámetros de una *densidad de plástico* de un 25%, una *forma interna* triangular y una *velocidad* 70mm/s.

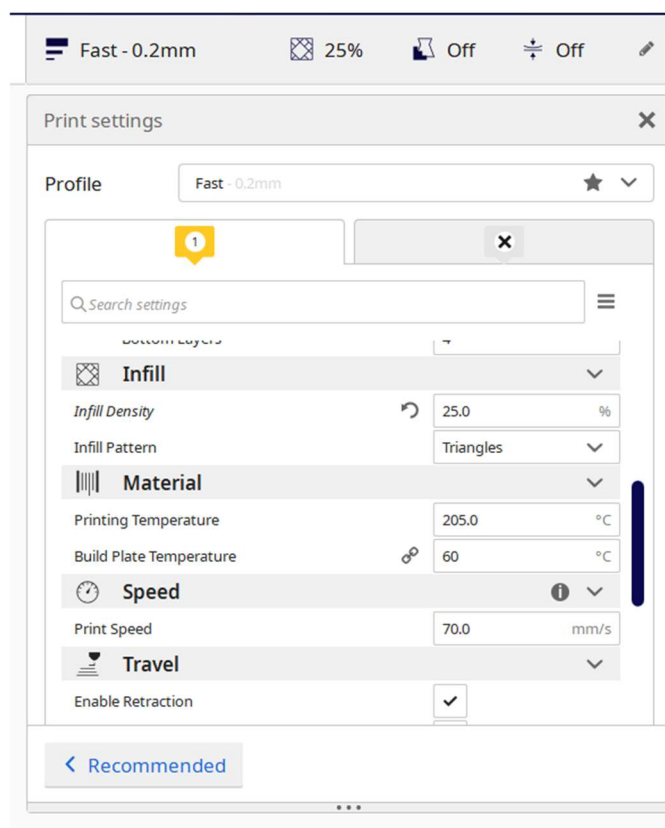


Ilustración 22 captura parámetros ultimaker S5

Una vez definidos todos los parámetros y como hemos comentado anteriormente dependiendo de si es un pisador o una pieza utilizaríamos diferentes impresores, seguidamente cada impresora consta de un dispositivo de memoria ya sea pen drive como tarjeta, se insertaba en nuestro pc cuyo código había sido generado por nuestro software. Para nuestra impresora BQ-Witbox sería en archivo G-code y en caso de ultimaker S5 sería UFP, tras ello se introduciría el dispositivo de memoria en nuestras impresoras y pasábamos a la fase previa a la impresión, en la cual haríamos una inspección de nuestro material (PLA) asegurando de que existía suficiente y una fase de búsqueda por parte de la impresora del origen de coordenadas y reconocimiento de diferentes puntos por parte de nuestra impresora ultimaker S5 así como un calentamiento de la cama, una vez realizado este check in inicial pasábamos a elegir nuestro archivo e imprimir.

Seguidamente se muestran las figuras impresas y fases de la impresión.

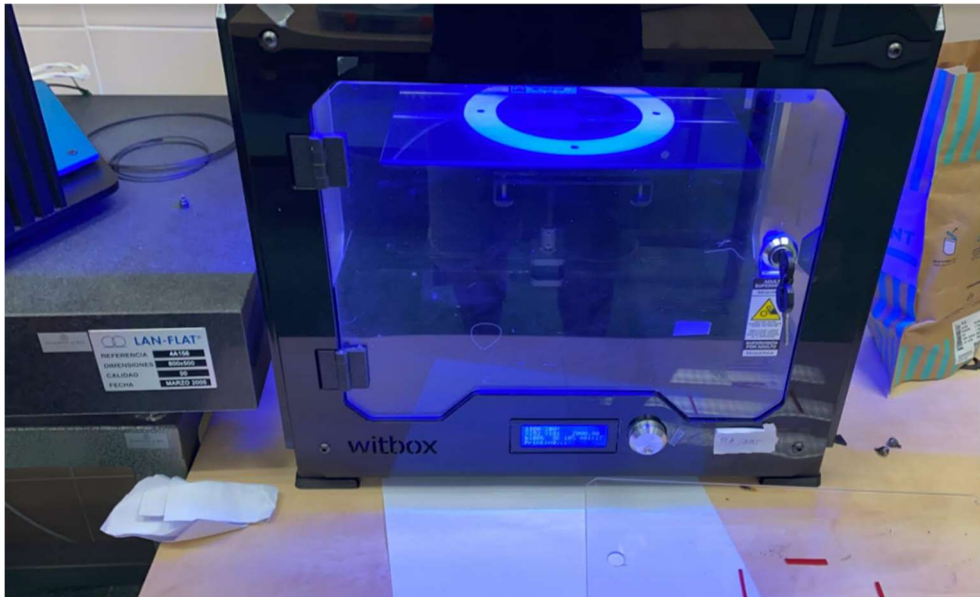


Ilustración 23 Imagen durante impresión



Ilustración 24 Circulo impreso



Ilustración 25 Geometría de arcos

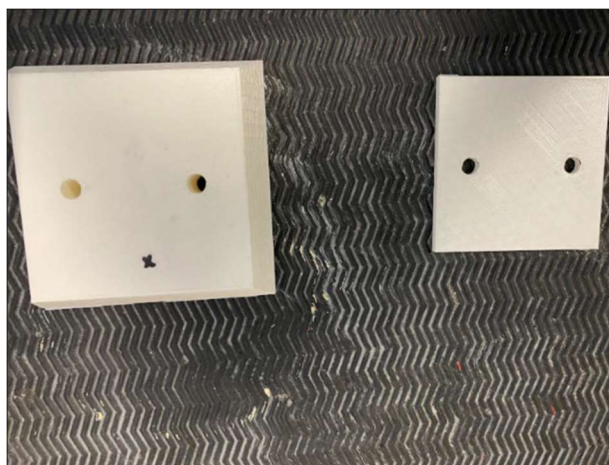


Ilustración 26 Prisma impreso

5. Desarrollo experimental

En el siguiente apartado hablaremos del proceso el cual hemos seguido para las diferentes pruebas realizadas y el tipo de ensayos realizados.

5.1 Generación de Código y trayectorias

En este apartado trataremos la generación de las trayectorias en Excel según las diferentes geometrías y sus aspectos más importantes, así como la generación del código en el software winunisoft.

5.1.1 Generación de trayectorias

En este apartado vamos a hablar sobre los aspectos a la hora de realizar las trayectorias.

Teniendo en cuenta diferentes parámetros para la realización de nuestra trayectoria como son Δz y los diferentes ángulos de pared de la maquina sobre la chapa definimos nuestro código, otro parámetro a tener en cuenta sería el punzón, pero en nuestro caso es constante.

Siguiendo estos parámetros con Δz y los diferentes ángulos con una relación geométrica simple podíamos sacar cuando era el Δx en el siguiente paso.

$$\tan = \frac{\sin}{\cos}$$

Con esta relación geométrica fuimos dejando según lo que descienda la máquina en Z sabíamos el punto siguiente en X y así hasta la altura que deseamos de deformación.

Por ello la elección de Excel para dejar todo en función de Δz y α .

Con todo ello los transcribimos a código ISO para nuestra CNC previamente utilizando winunisoft aunque sabiendo que los parámetros más utilizados serían los movimientos G01 y G02. En el siguiente apartado los especificaremos mejor.

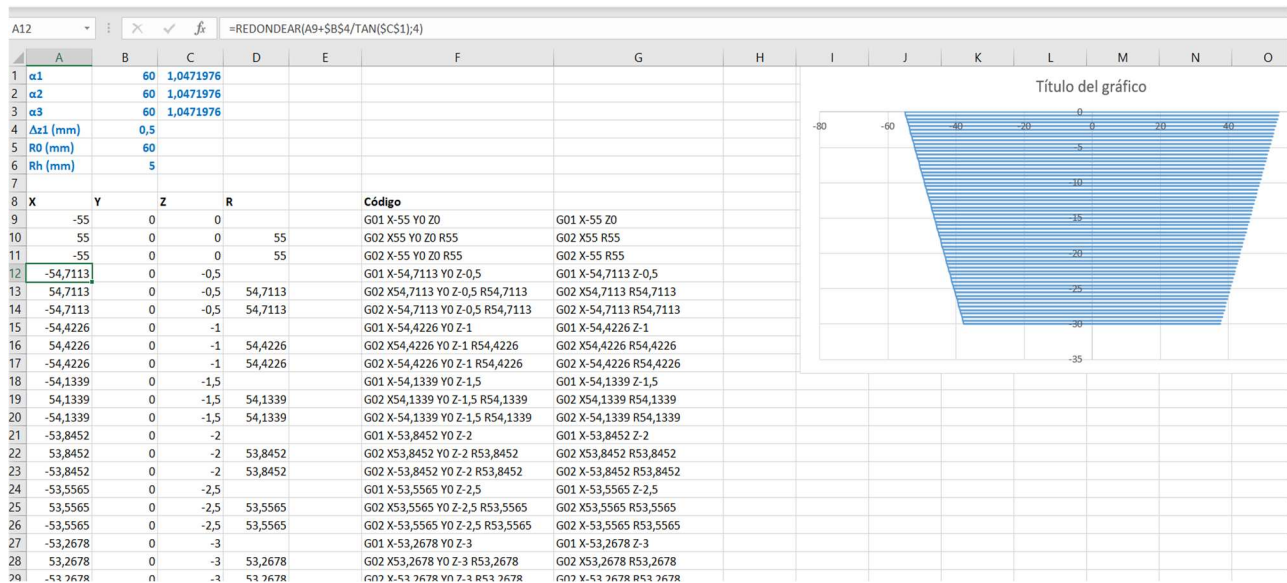


Ilustración 27 Captura trayectorias excel

5.1.2 Generación de código ISO

En este apartado pasaremos a hablar de nuestra generación de código ISO el cual lo hemos creado en Excel, pero para el lenguaje de la máquina CNC necesitamos el software winunisoft el cual nos produce un código que nuestra máquina es capaz de leer además de generar una simulación del fresado que realizará o en este caso de la deformación que hará.

Hablando en ámbito de código nuestro código tiene dos parámetros principales G01 que se trata de un movimiento lineal y G02 que se trata de un movimiento circular en sentido horario.

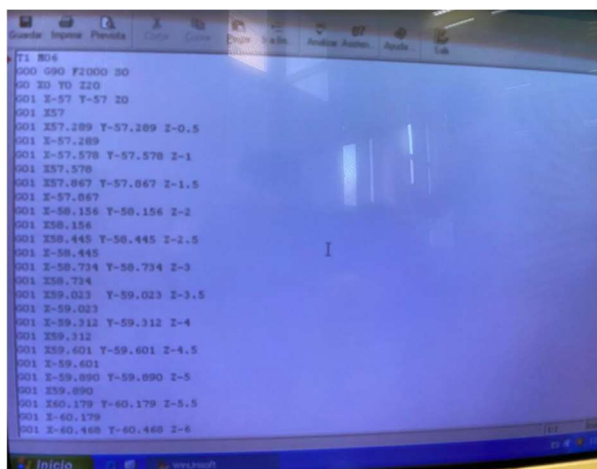


Ilustración 28 Código ISO

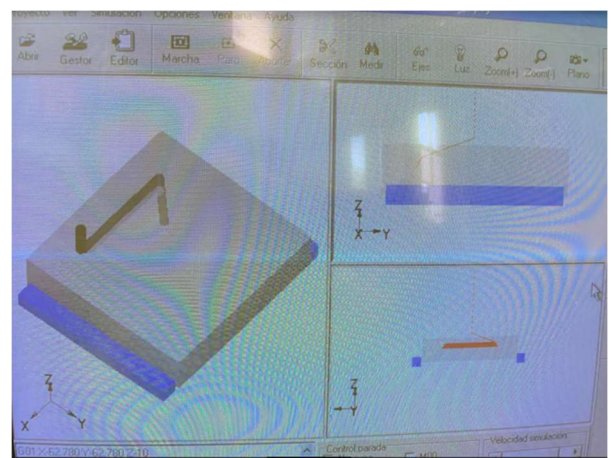


Ilustración 29 Simulación Código

5.2 Preparación maquina CNC

En este apartado hablaremos sobre la preparación de nuestra máquina para realizar todos los ensayos.

Una vez realizado el código en nuestro software pasamos toda la información a nuestra maquina donde montamos sobre ella nuestra pieza a realizar la prueba con su respectivo código.

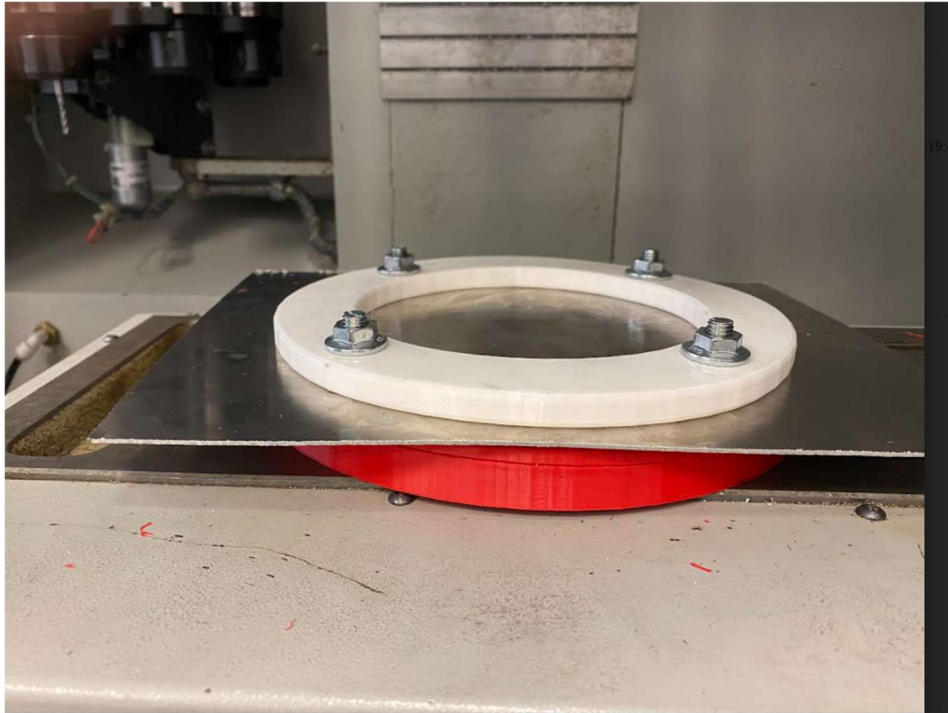


Ilustración 30 Montaje máquina

Realizado el montaje de dicha pieza y con su código en la maquina pasaremos a realizar un ajuste de ciertos parámetros para que evitar que el punzón rote sobre si misma, definimos velocidad de avance.

F 2000 (Velocidad de avance del punzón 2000 mm/min)

S0 (Velocidad de giro del punzón es de 0, para evitar su giro)

M30 (Fin del programa)

Estos serían los parámetros iniciales que debemos de introducir en nuestra fresadora.

Seguidamente y por ultimo tomaremos el origen de coordenadas de manera manual en X,Y,Z.

Una vez tomada la posición 0,0,0, pasamos a realizar un simulacro previo en nuestra máquina para comprobar que todo está bien.

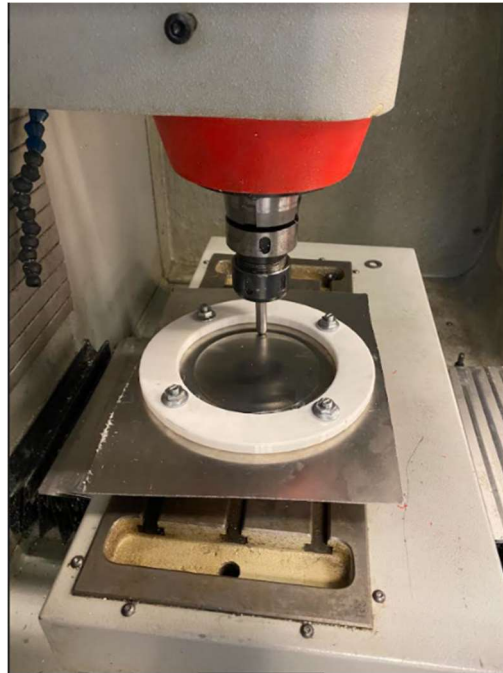


Ilustración 31 Toma de origen de coordenadas

5.3 Preparación de chapas

En el siguiente apartado hablaremos sobre nuestras condiciones a la hora de realizar la preparación de las chapas.

En primer lugar, nos encontramos con unas láminas de chapa de aluminio de, una vez sabido el número de pruebas y las medidas de las chapas decidimos cortarlas con nuestra sierra mecánica del laboratorio.



Ilustración 32 Sierra de cortar

Inicialmente para las chapas destinadas a los círculos no realizamos ningún corte extra puesto que era una deformación interna, pero en caso de las deformaciones externas si se precisaba cortes extras con la idea de ayudar a un mejor doblado y deformación. Estos cortes fueron realizados con nuestras tijeras.

Una vez realizados dichos cortes pasamos al marcado de nuestros orificios en las y su posterior taladrado con nuestro taladro de banco del laboratorio.

*Ilustración 33 Taladro de banco*

5.4 Toma de datos

En el siguiente apartado hablaremos sobre nuestra toma de datos, dichos datos los tomamos con la idea de saber si nuestro utillaje sufría algún tipo de deformación durante las diferentes pruebas en lo que respecta a su espesor y así poder sacar conclusiones sobre su fiabilidad.

Estos datos fuimos tomándolos en diferentes puntos alrededor de todas las piezas, para sacar una media de espesor inicial, después de realizar las pruebas volveríamos a medirlo y podríamos saber si habría alguna anomalía. Estos fueron tomados con nuestro calibre digital en varias repeticiones para asegurar mayor fiabilidad de medida.

	Espesor Inicial				Media
Circulo	20,86	20,89	20,6	20,3	20,66
Geometría de arcos	25,26	25,34	25,26		25,29
Prisma	30,12	30,07	30,01	30,37	30,14

Tabla 1. Espesores iniciales

Una vez tomadas nuestras medidas sabiendo cada espesor inicial de cada pieza pasamos a realizar las pruebas, por supuesto además de tomar nuestras medidas haríamos una inspección visual después de cada prueba comprobando que no existiera ningún desperfecto.

5.5 Fase experimental

En este apartado hablaremos sobre todos nuestros ensayos realizados a los distintos utillajes, así como sus parámetros de funcionamiento y trayectorias de cada ensayo. Comentado en cada uno la idea y por qué se elegía dicho parámetro para cada prueba, en el próximo apartado hablaremos más profundamente de los resultados obtenidos de cada prueba.

5.5.1 Circulo

Inicialmente comenzamos las pruebas con la forma geométrica más conocida que era el círculo.

1º En un primer ensayo nuestro parámetros que decidimos utilizar sabiendo como se comentó en el apartado 4.1.1 que todas las trayectorias van en función del Δz y α (ángulo de pared). Decidimos modificar con:

Δz : 0,5mm

α : 60,05º

Z_{final} : 20mm

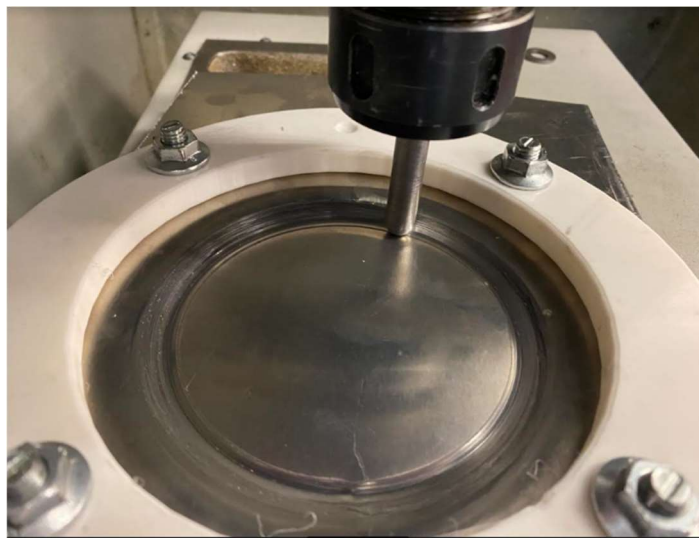


Ilustración 34 Proceso de deformación

2º En un segundo ensayo decidimos cambiamos nuestro ángulo de pared y mantuvimos nuestro Δz para así suavizar el proceso de deformación.

Nuestros parámetros fueron los siguientes.

Δz : 0,5mm

α : 45,05º

Z_{final} : 20mm

3º En nuestro tercer ensayo volvimos a cambiar dichos parámetros esta vez decidimos volver a modificar nuestro ángulo para hacerlo menos agresivo y además modificamos nuestro Δz para suavizarlo aún más.

Δz : 0,3mm

α : 60,05º

Z_{final} : 20mm

4º En nuestro cuarto ensayo volvimos a modificar todos los parámetros reduciendo aún más Δz para conseguir un nuevo progreso de deformación más suave.

Δz : 0,2mm

α : 45,05º

Z_{final} : 20mm



Ilustración 35 4º ensayo de deformación

5.5.2 Geometría de arcos

En este ensayo pasamos a una forma geométrica más compleja para realizar un “plegado de chapa”, para ello realizaríamos una deformación externa, teniendo en cuenta en esta ocasión que el único parámetro a cambiar sería Δz puesto que nuestro α en este caso no tiene importancia porque queremos un doblado de la chapa con nuestra forma geométrica.

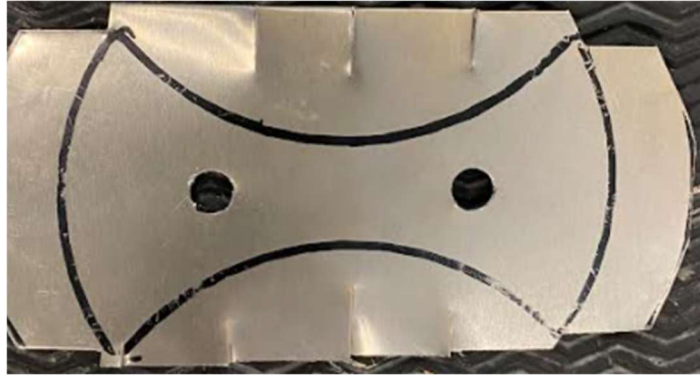


Ilustración 36 Chapa inicial previa al doblado

1º En un primer ensayo tomamos un como referencia;

Δz : 0,5mm

Z_{final} :18mm



Ilustración 37 Imagen de pruebas de doblado



Ilustración 38 Imagen de pruebas de doblado 2

2º En un segundo ensayo decidimos modificar nuestro parámetro disminuyéndolo para conseguir que nuestra deformación fuese más suave y así evitar daños al hacerlo de manera más brusca.

Δz : 0,2mm

Z_{final} : 18mm

5.5.3 Prisma

Por último, nuestra última prueba de utillaje la haríamos a nuestro prisma consiguiendo una deformación externa al igual que en la anterior deformación.

En esta geometría optamos por realizar dos pruebas, en la primera realizaríamos una deformación en un solo lateral y en una segunda prueba realizaríamos en todo el contorno.

1ª En esta primera prueba decidimos realizar una serie de cortes a la chapa en sus 4 esquinas a 45º para facilitar el doblado lateral.

Δz : 0,5mm

Z_{final} : 10mm



Ilustración 39 Fase experimental prisma 1ª

2ª En una segunda prueba decidimos realizar una doblado a lo largo de todo el contorno sin corte en ninguna de sus esquinas.

Δz : 0,5mm

Z_{final} : 10mm



Ilustración 40 Fase experimental 2ª prueba

6. Resultados experimentales

En este punto pasaremos a hablar sobre nuestros resultados después de dichas pruebas realizadas a los diferentes utillajes, comentado los resultados de espesores, así como su aspecto visual después de cada prueba y comentaremos el porqué de los cambios realizados entre prueba y prueba después de ver cada uno de los resultados.

6.1 Geometrías obtenidas

En este apartado comenzaremos hablando sobre las deformaciones obtenidas diferenciando entre 2 tipos de manera interna y de manera externa. Hablaremos sobre las posibles causas de dichas deformaciones y algunos cambios que se fueron produciendo.

6.1.1 Geometrías obtenidas en def. internas

Como comentamos en anteriores puntos realizamos 2 tipos de deformaciones de manera interna y de manera externa, en este punto nos centraremos en las internas y los resultados obtenidos.

Nuestra geometría elegida para este apartado fue el círculo donde realizamos 4 ensayos con diferentes Δz y α .

1º En este primer ensayo como comentamos en el apartado 4.5 realizamos el ensayo con un Δz de 0,5 y un α de 60,05º.

Los resultados obtenidos no fueron positivos puesto que con una deformación inicial de 20mm nuestra rotura se produjo en 7mm. Antes esto decidimos para la siguiente prueba cambiar α y así conseguir suavizar el ángulo de pared.

2º En el siguiente ensayo como hemos comentado cambiamos el ángulo de pared reduciéndolo a 45,05º con ello conseguimos unos mejores resultados hasta una deformación de 11,5 mm pero como no es el resultado esperado volvimos a cambiar parámetros.



Ilustración 41 Geometría obtenida circulo

3º En este ensayo cambiamos Δz pasando a ser de 0,3mm con ello se quería conseguir una deformación mucho más progresiva y un α de 60,05º y nuestra rotura se produjo en 6mm.

4º Debido a que no se obtuvieron los resultados esperamos en este último ensayo cambiamos parámetros con Δz de 0,2mm y un α de 45º mejorando la situación bastante debido a que nuestra deformación era mucho más progresiva, produciéndose la rotura en 14mm.



Ilustración 42 Geometría obtenida 4ª prueba

6.1.2 Geometría en def. externas

En este apartado existen 2 Geometrías distintas a las cuales queríamos realizarle una deformación de manera externa y con ello ver la viabilidad de nuestro utillaje además de conseguir otro tipo de sistema de fabricación.

La primera geometría elegida fue nuestra **Geometría de arcos** los cuales queríamos deformar, pero los resultados no fueron muy contundentes debido a que el material tiene bastante recuperación elástica lo que complica bastante nuestra deformación, produciéndose movimientos de la pieza en la fijación, con lo cual el punzón tiene una cota inferior a la de la pieza a deformar y se produce choque.

En un primer ensayo lo realizamos con una serie de cortes como ayuda al doblado, pero no se pudo conseguir debido a ese movimiento además de la comentada recuperación del material a la deformación.



Ilustración 43 Geometría obtenida en Geometría de arcos

Una vez realizada las pruebas de la anterior geometría pasamos a realizar otra prueba esta vez tendría que ser a nuestra última figura geométrica el **prisma**.

Una vez realizados los dos ensayos en nuestro prisma observamos que nuestros resultados fueron satisfactorios, en nuestro primer ensayo se produjo la deformación esperada. En nuestro segundo ensayo también se produjo lo esperado, pero hay que tener en cuenta siempre que el material tiene una gran recuperación elástica.

Observación: Como dato curioso de nuestro ensayo observamos que la recuperación elástica del material en la deformación de un solo lado rondaba el 30%, y que la recuperación elástica de nuestro segundo ensayo alrededor de todo el contorno era del

50% dando razón los números a nuestra teoría de la gran recuperación elástica del material.



Ilustración 44 Lámina deformada ensayo lateral



Ilustración 45 Lámina después 2º ensayo

Observamos que para deformaciones de pequeños espesores no sería necesario realizar cortes, pero a deformaciones de espesores mayores sí.

6.2 Toma de datos post-ensayo

En este apartado pasaremos a medir las posibles modificaciones en las piezas impresas en 3D después del ensayo, dichas mediciones las tomaremos con el calibre en diferentes puntos del utillaje y sabremos los espesores después de los ensayos realizados y así poder sacar conclusiones sobre la viabilidad de nuestro utillaje en impresión 3D.

	Espesor Final				Media
Circulo	20,28	20,45	20,86	20,39	20,50
Geometría de arcos	25,5	25,3	25,25		25,35
Prisma	30,1	30,2	30,01	30,5	30,20

Tabla 2. Espesores finales

Como podemos observar en las diferentes tablas tanto en la tabla 1 como en la tabla 2 la variación entre espesores es prácticamente poca con lo cual nos da una idea de que la deformación del utillaje ha sido prácticamente nula.

6.3 Utillaje después del ensayo

En este apartado hablaremos sobre las posibles causas y daños que ha sufrido nuestro utillaje visualmente después de los ensayos realizados en las diferentes piezas.



Ilustración 46 Utillaje después de ensayo

Como observamos en la imagen el utillaje no se ha resultado muy perjudicado después de las pruebas realizadas, pero si podemos observamos ciertos desperfectos en los bordes internos. Esto puede ser consecuencia del roce del punzón con nuestro utillaje.



Ilustración 47 Imagen después de ensayo



Ilustración 48 Imagen después de ensayo 2

Como podemos observar en la imagen el utillaje no ha sufrido grandes consecuencias durante las diferentes pruebas, pero hay que destacar de durante nuestras pruebas si tuvo consecuencias para la deformación de la chapa debido que este utillaje se desplazaba de su lugar y por tanto generaba el chonque entre la chapa y el punzón.

La consecuencia de este desplazamiento posiblemente fuese la recuperación elástica del material como comentamos en puntos anteriores, con la utilización de otro material con menos recuperación elástica seguramente se solucionaría el problema.

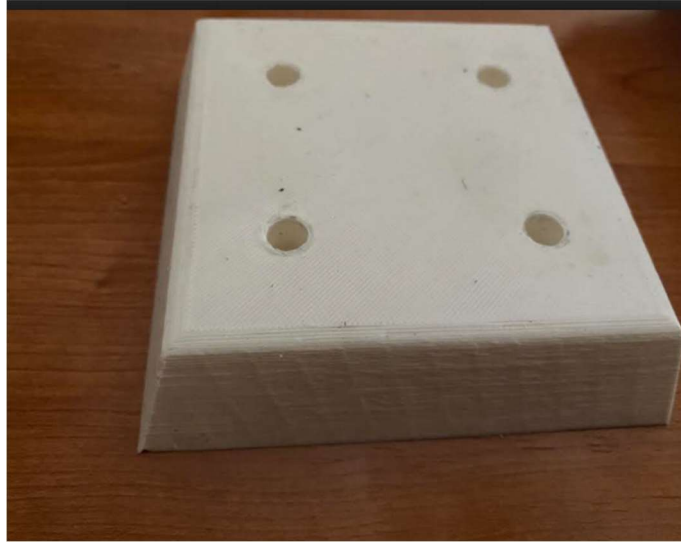


Ilustración 49 Utillaje post ensayo prisma

Como observamos nuestro utillaje no ha sufrido ningún tipo de anomalía, por tanto, es bastante satisfactorio el resultado obtenido. En general nuestro utillaje en un principio tiene bastante credibilidad.

7. Conclusiones

7.1 Conclusiones

- Los ensayos experimentales realizados muestran a priori la viabilidad de la impresión 3D para la fabricación de soportes para SPIF. Aunque este trabajo supone un aproximamiento inicial a esta idea y debería hacerse un estudio más profundo para comprobar su durabilidad y la precisión de las geometrías fabricadas.
- Como hemos podido comprobar este tipo de utillaje nos serviría para prototipos únicos donde la producción de piezas fuera poca en grandes cantidades se podría utilizar otro tipo de sistemas, pero en la fabricación de pequeños lotes y geometrías complejas es un sistema bastante eficiente con bajo coste y de gran rentabilidad económica. En definitiva, para producciones de geometrías complejas y lotes pequeños es un gran sistema debido a su simplicidad de diseño y rapidez.
- Desde el punto de vista más técnico este sistema presenta mejores resultados en deformaciones a pequeñas cotas, porque como hemos podido comprobar a grandes cotas pueden surgir problemas, pero el utillaje presenta gran resistencia durante la fase de deformación algo bastante positivo.
- La recuperación elástica del material a deformar influye en gran manera en la geometría resultante. Este hecho es más apreciable en las deformaciones exteriores, condicionando la estrategia de deformación.

7.2 Trabajo Futuro

- Utilizar otro tipo de materiales con diferente recuperación elástica y resistencia a la deformación plástica.
- Se puede introducir otro tipo de geometrías para un estudio de su comportamiento.
- Desarrollando otro tipo de trayectorias y deformaciones, haciendo un estudio de la trayectoria que sigue el punzón.

8. Bibliografía

- [1] Flores G. et al (2021) *Design for FDM of flexible tooling for manufacturing aeronautical components by incremental sheet forming*. MESIC 2021
- [2] Cabeza Águila, Ildefonso (2020) *Trabajo fin de grado Impresión 3D*. Escuela politécnica superior Jaén
- [3] www.perezcampes.com (Agosto 2021)
- [4] www.domoelectra.com (Agosto 2021)
- [5] www.ultimaker.com (Agosto 2021)
- [6] www.3dnatives.com (Agosto 2021)
- [7] www.mexpolimeros.com (Agosto 2021)
- [8] Juan salvador Bueno Rodríguez (2021) *Materiales metálicos no féreos*. Temario Tecnología de Materiales EPSJ (Universidad de Jaén)
- [9] www.perfilesdealuminio.net (Agosto 2021)