



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Industrial

## Metodología para el diseño y la simulación del mecanizado en 5 ejes de un engranaje espiro- cónico.

**TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN Ingeniería mecánica

**Autor:** Moussa Achour  
**Director:** Manuel Estrems Amestoy  
**Codirector:** Óscar de Francisco Ortiz

Cartagena, 7 de septiembre de 2022



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

## Resumen

Los engranajes espiro-cónicos tienen un amplio uso en diferentes sectores y destacan por la geometría espiral de los dientes. Para fabricar estos engranajes se suelen usar unas máquinas especializadas para mecanizar los huecos de los dientes, sin embargo, con el avance del CNC se puede utilizar una fresadora de 5 ejes como alternativa. En este estudio se va a simular sobre un engranaje fabricado por impresión 3D, las trayectorias para realizar las pasadas de acabado. La geometría del engranaje y las trayectorias de mecanizado se han obtenido analíticamente y el modelo 3d se ha obtenido modelándolo en SolidWorks a partir de los datos de la geometría.

## Abstract

Spiral Bevel gears have a wide use in different sectors, and they stand out because of the spirilloid geometry of the teethes. The manufacturing of those gears is usually done by using specialized machines to generate the teethes, although, with the advancement of the CNC a 5 axis lathe can be used as an alternative. In this study we're going to simulate on a 3D printed spiral bevel gear the trajectories of the finish machining. The geometry of the gear and trajectories of the machining are obtained analytically and the 3d model is obtained through modelling operations in SolidWorks using the data of the geometry.

# Índice

1.	Índice de figuras	4
2.	Índice de Acrónimos	6
3.	Introducción	7
3.1.	Justificación y objetivos del trabajo	7
3.2.	Marco teórico	7
3.2.1.	Los engranajes espiro-cónicos	7
3.2.2.	El mecanizado y el mecanizado en 5 ejes en el CNC.	9
3.2.3.	La fabricación aditiva	12
3.3.	Materiales usados	14
3.3.1.	Lagun L650	14
3.3.2.	Ender 5 pro	16
4.	La geometría del engranaje espiro-cónico	17
4.1.	Parámetros del engranaje	17
4.2.	Ecuaciones que describen el engranaje	19
4.2.1.	El perfil evolvente de los dientes	19
4.2.2.	La espiral del engranaje espiro-cónico	22
4.3.	Proceso de obtención de la geometría	23
5.	El modelado 3d del engranaje espiro-cónico	30
6.	Obtención de las trayectorias de mecanizado	37
6.1.	Parámetros del mecanizado	37
6.2.	Cálculo de las trayectorias	38
6.3.	El Código G.	44
7.	El modelo impreso en 3d	45
8.	Resultados	46
9.	Conclusiones	49
9.1.	Propuestas para continuar el estudio	49
10.	Fuentes	50
11.	Anexo	52
11.1.	Ajustes de impresión	52
11.2.	Medidas de la ranura del engranaje y el soporte de este	54
11.3.	Fotogramas de las trayectorias.	55
11.4.	El programa de Código G para realizar las trayectorias de acabado	64

## 1. Índice de figuras

Figura 1. Engranaje espiro-cónico Fuente: [4]	8
Figura 2. a) Engranaje espiro-cónico con espesor de dientes constante b) Engranaje espiro-cónico con espesor de dientes variable Fuente: [7]	8
Figura 3. Plato de mecanizado de engranajes espiro-cónicos Fuente: [8]	9
Figura 4. a) Mecanizado de solo un hueco b) a) Mecanizado de varios huecos al mismo tiempo Fuente: [7]	9
Figura 5. a) Fresadora de 3 ejes [12] b) Torno [13]	10
Figura 6. Los ejes en los que se puede realizar el mecanizado Fuente: [15]	11
Figura 7. Fresadora de 5 ejes con movimientos principales realizados por a) la mesa. Fuente: [18]b) la herramienta. Fuente: [19]	12
Figura 8. Esquema de una baquilla de una máquina de impresión 3d. Fuente: [21]	13
Figura 9. Impresora 3d por extrusión. Fuente: [22]	13
Figura 10. Lagun L650	14
Figura 11. Ejes de giro del mandril	14
Figura 12. a) Ordenador de la fresadora Lagun L650 b) Mando para el control de la fresadora Lagun L650	15
Figura 13. Impresora 3d Ender 5 pro	16
Figura 14. Parámetros de los dientes. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 15. Parámetros del cono. Fuente: Elaboración propia.	18
Figura 16. Cono base. Fuente: [6].	20
Figura 17. Despliegue de la superficie del cono base. Fuente: [6].	20
Figura 18. Altura de la evolvente. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 19. a) Los parámetros de la espiral [25] b) La espiral representada en el cono [26]	23
Figura 20. Disposición de los puntos de la evolvente en Excel	24
Figura 21. a) El giro que realiza la evolvente horaria b) Definición del ángulo $\zeta$ . Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 22. Definición del ángulo $\varepsilon$ . Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 23. Definición del ángulo $\theta$ . Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 24. Definición del ángulo $\vartheta$ . Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 25. Disposición de los puntos de los arcos	28
Figura 26. Comprobación de los cálculos en Excel	29
Figura 27. Complemento ScanTo3D	30
Figura 28. Tipo de archivo que hay que seleccionar	30
Figura 29. Nube de puntos y el origen de esos puntos	30
Figura 30. Perfiles que se han dibujado mediante la operación spline	31
Figura 31. La guía de la espiral	31
Figura 32. Selecciones de la operación recubrir superficie	32
Figura 33. Superficie generada	32
Figura 34. Arco dibujado para cerrar el perfil	33
Figura 35. Selecciones de la operación rellenar superficie	33
Figura 36. Resultados al cerrar los perfiles	34
Figura 37. Selecciones para cerrar los huecos circulares	34
Figura 38. Resultado al generar todas las superficies	35
Figura 39. Selecciones para la operación coser superficies	35
Figura 40. a) Selecciones para la operación dar espesor b) resultado	36
Figura 41. Trayectorias de las pasadas de la herramienta. Fuente: Elaboración propia.	37

Figura 42. a) Sistema de coordenadas original b) sistema de coordenadas girando los puntos. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 43. Hueco del engranaje. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 44. Puntos de la cara del diente. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 45. Todos los puntos necesarios para el cálculo. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 46. Triedro de Darboux. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 47. Triedro de Darboux con el vector del eje de la herramienta. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 48. Ángulo $\Psi$ en la base y la punta del diente. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 49. a) Ranura del engranaje b) Soporte	46
Figura 50. a) Engranaje espiro-cónico impreso en 3D b) Ranura del engranaje para el soporte	47
Figura 51. Acabado del diente en impresión en 3D	47
Figura 52. Defectos que han surgido en el modelo impreso	48
Figura 53. Soporte del engranaje	48
Figura 54. Ajustes del Cura Ultimaker para la impresión del engranaje	52
Figura 55. Ajustes del Cura Ultimaker para la impresión del soporte del engranaje	53
Figura 56. Medidas de la ranura del engranaje	54
Figura 57. Medidas del soporte del engranaje	54
Figura 58. Trayectoria 1	55
Figura 59. Trayectoria 2	55
Figura 60. Trayectoria 3	56
Figura 61. Trayectoria 4	56
Figura 62. Trayectoria 6	57
Figura 63. Trayectoria 7	57
Figura 64. Trayectoria 8	58
Figura 65. Trayectoria 9	58
Figura 66. Trayectoria 10	59
Figura 67. Trayectoria 11	59
Figura 68. Trayectoria 12	60
Figura 69. Trayectoria 13	60
Figura 70. Trayectoria 14	61
Figura 71. Trayectoria 15	61
Figura 72. Trayectoria 16	62
Figura 73. Trayectoria 17	62
Figura 74. Trayectoria 18	63

## 2. Índice de Acrónimos

- CNC: Computer Numerical Control; Control Numérico computarizado.
- CAD: Computer aided design; Diseño asistido en ordenador.
- CAPP: Computer aided process planning; Planificación de procesos asistida por ordenador.
- MIT: Massachusetts institute of technology.
- AGMA: American gear manufactures associations.
- CAM: Computer aided manufacturing; Fabricación asistida por ordenador.

## 3. Introducción

### 3.1. Justificación y objetivos del trabajo

La tecnología CNC ha supuesto un hito importante para la industria de manufacturación, permitiendo la simplificación y el aumento de la precisión de los procesos.

Con la aparición del CNC se han desarrollado softwares para facilitar las operaciones con el CNC, como el CAD o los programas de simulación del mecanizado [1]. Estos últimos son muy populares para comprobar que no haya choques y que se realiza el mecanizado deseado.

En este trabajo se propone una alternativa a los programas de simulación actuales, elaborando una metodología para simular el mecanizado de engranajes espiro-cónicos utilizando un modelo real.

Y se tienen siguientes objetivos:

- **Obtener la geometría de un engranaje espiro-cónico**

Obtener la geometría del engranaje consistiría en calcular los puntos de este a partir de unas ecuaciones y parámetros que describen los dientes de los engranajes.

- **Modelar el engranaje espiro-cónico en 3d**

Para ello se necesita modelar el engranaje en un software de CAD, a partir de los puntos calculados del engranaje.

- **Calcular las trayectorias de la operación**

El cálculo se realiza a partir de unas ecuaciones y parámetros por razón de los cuales se obtienen los puntos para el Código G.

- **Realizar la simulación de la operación**

En este punto se necesita el modelo impreso en 3d y probar el Código G obtenido.

### 3.2. Marco teórico

#### 3.2.1. Los engranajes espiro-cónicos

Un engranaje se puede definir como “Cuerpo dentado diseñado para transmitir o recibir movimiento a través de un contacto continuo de dientes” [2] Hay distintos tipos de engranajes con distintas formas y con capacidad para transmitir movimiento para diferentes direcciones y de la amplia variedad de engranajes que hay, en este trabajo se ha escogido para mecanizar el engranaje espiro-cónico. Los engranajes espiro-cónicos son un tipo de engranajes que forman parte del grupo de engranajes cónicos, el cual destaca porque se utiliza para transmitir movimiento entre ejes que forman un ángulo el cual suele ser de  $90^\circ$  [2][3].



Figura 1. Engranaje espiro-cónico Fuente: [4]

Los engranajes espiro-cónicos se caracterizan por tener un funcionamiento suave y silencioso, además de que pueden transmitir de forma uniforme altas cargas [5]. Por razón de lo anterior se puede encontrar engranajes espiro-cónicos en sectores como el de la aviación, el náutico y el industrial.

El diseño de los engranajes espiro-cónicos se pueden clasificar según:

- La espiral de los dientes [6]:
  - Espiral logarítmica
  - Espiral circular
  - Espiral Involuta
- El espesor de los dientes [7]:
  - Espesor variable
  - Espesor constante

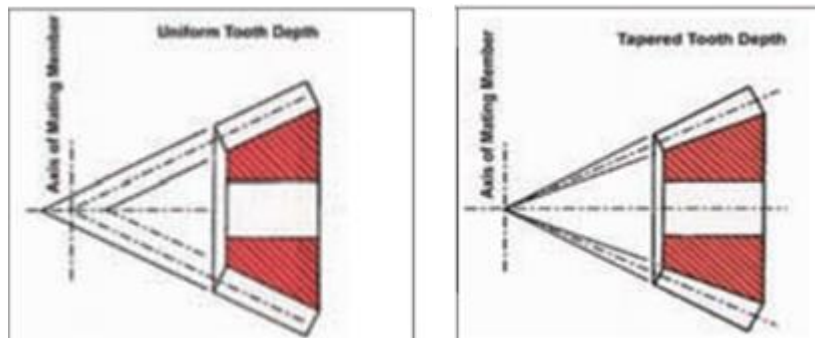


Figura 2. a) Engranaje espiro-cónico con espesor de dientes constante b) Engranaje espiro-cónico con espesor de dientes variable Fuente: [7]

La forma tradicional de mecanizar los engranajes espiro-cónicos ha sido mediante el uso de talladoras de engranajes espiro-cónicos. Estas máquinas se encargan de mecanizar los huecos donde engrana el engranaje conjugado y para ello se usa un plato, al cual se hace girar, con las herramientas dentadas para realizar el corte.





Figura 3. Plato de mecanizado de engranajes espiro-cónicos Fuente: [8]

Dentro de las talladoras de engranajes espiro-cónicos existen dos maneras para realizar el corte:

- corte de varios huecos simultáneamente
- realización de un corte por hueco.

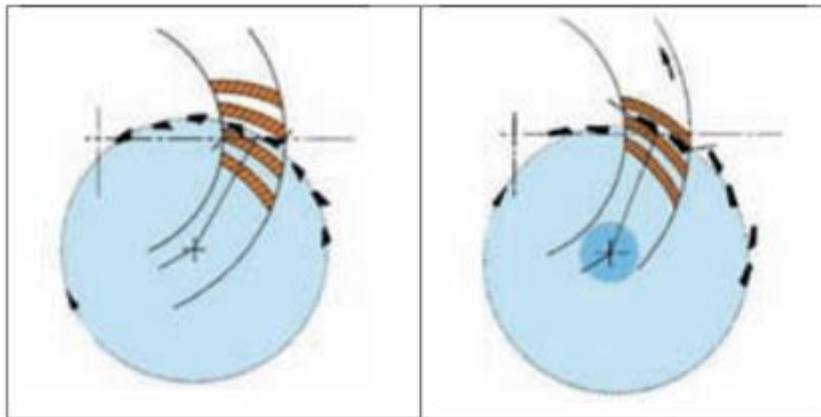


Figura 4. a) Mecanizado de solo un hueco b) a) Mecanizado de varios huecos al mismo tiempo Fuente: [7]

Otra forma de mecanizar este tipo engranajes es mediante una fresadora CNC de 5 o más ejes. El mecanizado con la fresadora se podría realizar con las herramientas comúnmente usadas [9] o usando herramientas especialmente diseñadas para el mecanizado del hueco de los engranajes [10].

### 3.2.2. El mecanizado y el mecanizado en 5 ejes en el CNC.

Se puede definir el mecanizado como “proceso para transformar cualquier pieza de trabajo, metal o no metal, en una pieza removiendo partes de ese material” o “proceso para la Mejora de la tolerancia o acabado superficial removiendo partes de la pieza de trabajo” [11].

El mecanizado puede realizarse de diferentes maneras:

- Mecánicamente: ej. Torneado, fresado.
- Eléctricamente: ej. mecanizado mediante descarga eléctrica.

- Químicamente: ej. mecanizado electroquímico.
- Térmicamente: ej. Mecanizado con láser.

De los anteriores el mecanizado mecánico del metal es de los más relevantes industrialmente. Este tipo de mecanizado consiste en producir cortes mediante una herramienta que está en movimiento relativo y en contacto con una pieza de trabajo.

En este proceso de mecanizado se pueden destacar dos etapas:

- El desbaste que es la primera etapa y consiste en eliminar la mayor cantidad de material de un tocho sin darle mucha importancia a la tolerancia y acabado superficial.
- Y el acabado que es la segunda etapa y consiste en eliminar el poco material que queda de la etapa de desbaste, pero dándole importancia al acabado superficial y las tolerancias.

Para mecanizar mecánicamente se suelen utilizar las máquinas herramientas, siendo las más comunes el torno y la fresadora.



Figura 5. a) Fresadora de 3 ejes [12] b) Torno [13]

Y este tipo de equipos destaca por lo siguiente:

- Producción de piezas muy precisas llegando a tolerancias de menos de 1 micrómetro [11].
- Son equipos flexibles, es decir, es posible elaborar piezas variadas sin tener que utilizar distintas máquinas y también se puede usar herramientas estándares sin necesidad de que sean especiales para un producto determinado [11].

Las máquinas herramientas aparecen a finales del siglo XVIII, durante la época en la que se empezó a desarrollar el motor de vapor. Desde esa época hasta el año 1952, cuando aparece el control numérico, no se conocía ningún método para controlar las máquinas herramientas excepto el de hacerlo manualmente. El control numérico aparece por la necesidad que había de fabricar piezas complejas para la industria de la aviación y fue desarrollado por le MIT.

Aunque la aparición del control numérico supone un avance importante,

esta tecnología durante sus inicios estaba poco desarrollada ya que las máquinas herramientas se controlaban con cables. Esto se soluciona en los años 60 añadiendo un “miniordenador”, lo que mejora bastante el manejo de la máquina herramienta y de estas mejoras se puede destacar lo siguiente:

- Aumento de la memoria de almacenaje de programas
- Fácil edición de programas
- Aumento de la memoria de proceso de programas

[1],[14].

Al añadir el “miniordenador” aparece lo que se denomina hoy el CNC que es la tecnología que sirve para controlar el movimiento, de forma precisa, de las máquinas de mecanizado actuales. El control de movimiento se realiza mandando información del ordenador de la máquina a los servomotores que son los que controlan el posicionamiento de las herramientas o las piezas de trabajo.

Para comunicarse con las máquinas se usa el Código G, el cual es un lenguaje de programación usado en las máquinas de CNC. El Código G se puede producir de distintas maneras:

- Manualmente: Generalmente para piezas de cierta complejidad obteniendo tanto los puntos como los parámetros de mecanizado mediante ecuaciones.
- Mediante programas CAD/CAPP/CAM: El programa de CAD es el que se utiliza para diseñar la pieza, el de CAPP es el que se utiliza para seleccionar las herramientas y el de CAM se utiliza para generar las trayectorias de mecanizado o el Código G [1].

Y para comprobar que el programa de Código G es correcto, se puede utilizar un programa que simula las trayectorias en un entorno virtual o directamente en la máquina de CNC. Realizar esta comprobación es importante sobre todo para evitar colisiones que podrían dejar obsoleta la máquina.

Las operaciones que las máquinas de CNC pueden realizar están restringidas por los ejes de movimiento de la máquina, siendo el número máximo de ejes en el que se pueda realizar movimientos 6:

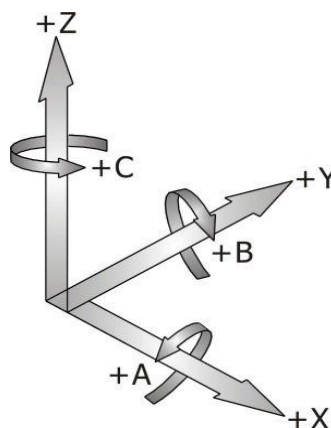


Figura 6. Los ejes en los que se puede realizar el mecanizado Fuente: [15]

De la amplia variedad de máquinas con CNC, para este trabajo se va a utilizar la fresadora de 5 ejes y en la cual se pueden destacar las siguientes características:

- Se pueden realizar movimientos en X, Y, Z y en dos ejes de giro, por ejemplo A y C [16].
- Se pueden realizar piezas complejas [16].
- Las operaciones son eficientes y precisas [16].
- Se puede reducir el tiempo de mecanizado [17].

Dentro de las fresadoras de 5 ejes existen distintas variedades y estos se diferencian en:

- El par de giros que la máquina es capaz de hacer, es decir si puede hacer giros en A y C solo, B y C o A y B.
- Los movimientos que la herramienta y la mesa o el mandril que sujeta la pieza pueden realizar.

Ejemplos de fresadoras de 5 ejes:



Figura 7. Fresadora de 5 ejes con movimientos principales realizados por a) la mesa. Fuente: [18] b) la herramienta. Fuente: [19]

### 3.2.3. La fabricación aditiva

La fabricación aditiva es una tecnología que se usa para la producción de los modelos 3d añadiendo capas de material, estas capas son producidas en un programa seccionando el modelo 3d. Los beneficios de esta tecnología es que se puede fabricar modelos 3d sin la utilización de numerosos y complejos procesos. Por razón de lo anterior, esta tecnología también es conocida como prototipado rápido [20]. Existen varios métodos para producir un modelo por fabricación aditiva y estos se diferencian en cómo se añaden las capas, como se unen estas y que materiales se usan.

Se pueden destacar los siguientes métodos de fabricación aditiva:

- Fotopolimerización
- PBF (Power Bed Fusión)
- Extrusión de material
- Inyección de material
- Inyección de aglutinante
- Laminación de laminas
- Deposición directa de energía

De las anteriores el método más popular es la fabricación aditiva por extrusión de material, siendo el grupo de materiales más usados para este método el grupo de los polímeros. Para fabricar los modelos se suministra el material en forma de hilo, este hilo se hace pasar por una boquilla que funde el material y que se encarga de depositar el material fundido para formar las capas.

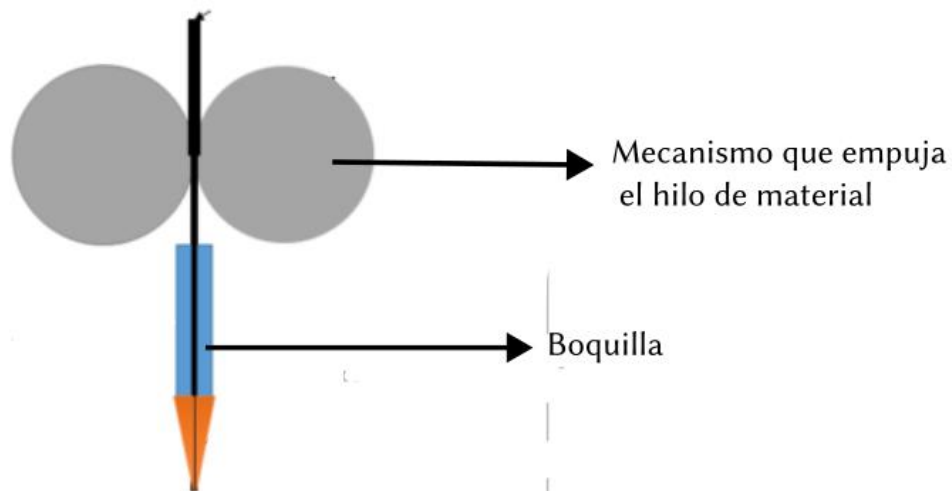


Figura 8. Esquema de una boquilla de una máquina de impresión 3d. Fuente: [21]

Para posicionar la boquilla que deposita las capas de material se usan unos servomotores y para suministrar material al equipo se tienen unas bobinas con el material con el que se quiere fabricar.



Figura 9. Impresora 3d por extrusión. Fuente: [22]

### 3.3. Materiales usados

#### 3.3.1. Lagun L650



Figura 10. Lagun L650

La Lagun L650 es una fresadora CNC de 5 ejes que destaca por el hecho de que los movimientos principales se realizan en la mesa. Esto es porque para realizar movimientos en el plano X-Y se debe mover la mesa y en cuanto los giros B y C estos se realizan por un mandril sujetado en la mesa. Este mandril realiza un giro en el eje de B con un rango de  $90^\circ$ , mientras en el eje de C se puede hacer un giro de  $360^\circ$ .

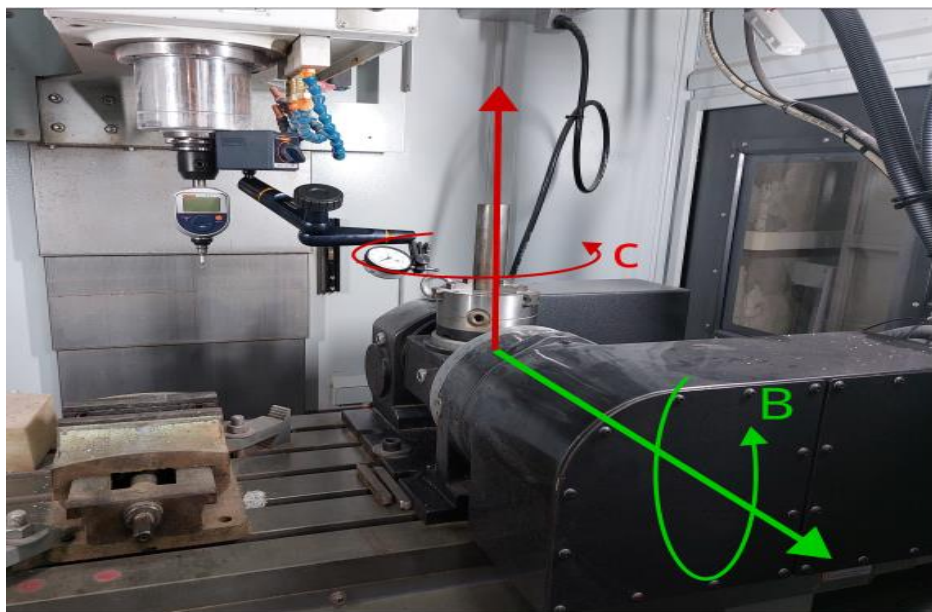


Figura 11. Ejes de giro del mandril

Esta fresadora se controla por un ordenador, el cual tiene instalado un programa de CNC de llamado Fagor 8065 M. En el programa se puede escribir y modificar programas de mecanizado, guardar información de las herramientas, calibrar la máquina, simular ciertos programas, etc. Además, como complemento, la fresadora tiene un mando con el que el operario pueda controlar la fresadora.



Figura 12. a) Ordenador de la fresadora Lagun L650 b) Mando para el control de la fresadora Lagun L650

### 3.3.2. Ender 5 pro



*Figura 13. Impresora 3d Ender 5 pro*

La Ender 5 pro es una máquina de impresión 3d por extrusión, la cual destaca por el hecho de que los movimientos del plano X-Y se controlan moviendo la boquilla y los movimientos del eje Z se controlan con los movimientos de la mesa. En el centro de control de esta máquina se puede seleccionar las piezas que se quieren imprimir y realizar algunos ajustes de la máquina.



## 4. La geometría del engranaje espiro-cónico

Lo que define la geometría del engranaje espiro-cónico es el conjunto de dientes y huecos que permiten el engrane del engranaje conjugado, teniendo en cuenta esto en los siguientes apartados se va a explicar cómo se obtienen éstos.

### 4.1. Parámetros del engranaje

En este estudio se va a obtener la geometría del engranaje espiro-cónico que actúa como piñón. Para obtener la geometría primero hay que establecer unas condiciones de diseño:

- Numero de dientes del piñón,  $N_p=15$
- Numero de dientes de la rueda,  $N_g=45$
- Paso diametral,  $P_d=3$
- Ángulo de giro de la espiral,  $\theta = 35^\circ$
- Ancho de cara,  $F=1$

A partir de las anteriores condiciones de diseño hay que obtener los parámetros que definen las dimensiones de los dientes del engranaje. Esos parámetros son:

- Diámetro de paso,  $d$
- Angulo de paso del cono,  $\gamma$
- Distancia exterior del cono,  $A_o$
- Distancia interior del cono,  $A_i$
- Modulo,  $m$
- Angulo de la altura del diente,  $\varepsilon$
- Angulo dedendum,  $\eta$
- dedendum,  $b$
- Angulo del cono base,  $\alpha$

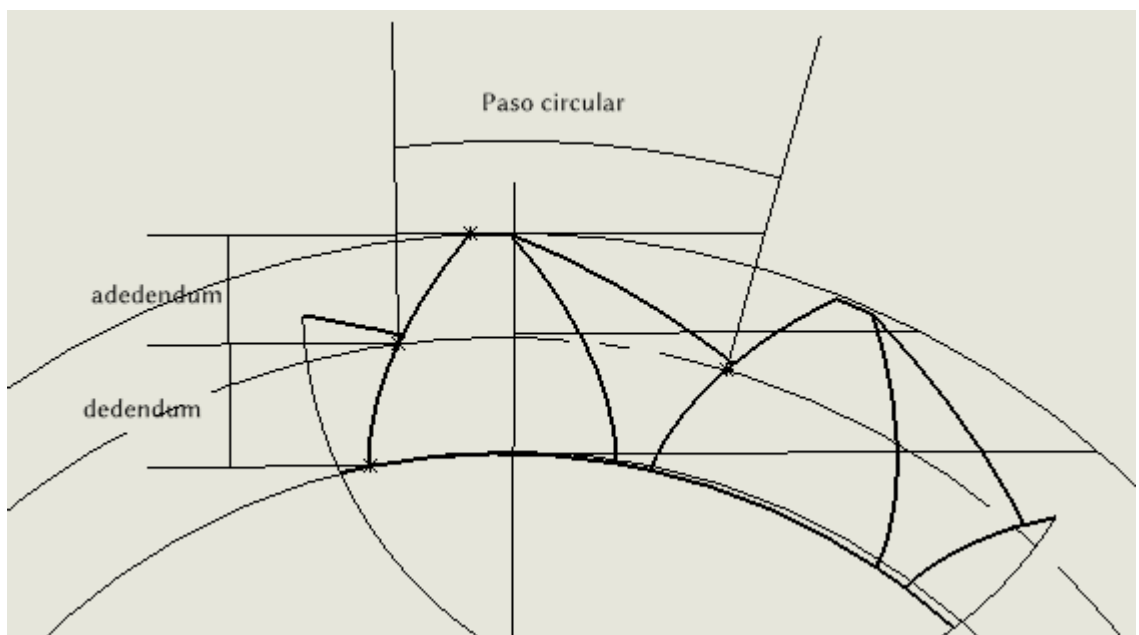


Figura 14. Parámetros de los dientes. Fuente: Elaboración propia.

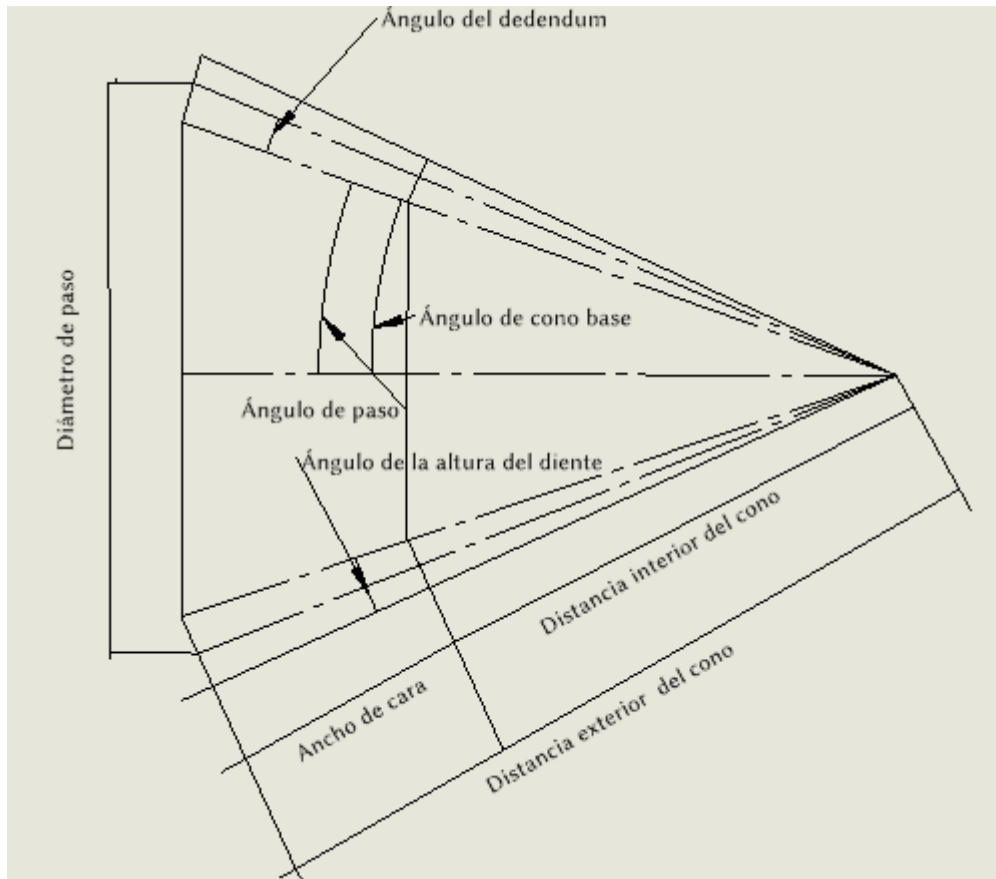


Figura 15. Parámetros del cono. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los parámetros anteriormente mencionados se han usado ecuaciones para engranajes cónicos rectos provenientes de la AGMA [23] y también ecuaciones “genéricas”:

1.  $d = N_p/P_d$  (ec.1)
2.  $\gamma = \tanh^{-1} N_p/N_G$  (ec.2)
3.  $A_o = \frac{D}{2 \cdot \sin \gamma}$  (ec.3)
4.  $A_i = A_o - F$  (ec.4)
5.  $m = \frac{1}{P_d} * 25.4$  (ec.5)
6.  $\varepsilon = \frac{2.25 * m}{25.4 * A_o}$  (ec.6)
7.  $b = \frac{m}{25.4}$  (ec.7)
8.  $\eta = \frac{b}{A_o}$  (ec.8)
9.  $\alpha = \gamma - \eta$  (ec.9)

Aunque las ecuaciones de la AGMA son para engranajes rectos estos también sirven para los engranajes espiro-cónicos porque la geometría de los perfiles de los dientes no es diferente ya que los dos usan un perfil envolvente. Y únicamente se diferencian en que el engranaje

cónico recto el diente es recto y el espiro-cónico el diente tiene forma de espiral.

Al aplicar las ecuaciones del AGMA se ha tenido que establecer que la altura del dedendum sea mayor que la del adendum y eso hay que mencionarlo porque normalmente los dientes de perfil envolvente el adendum es mayor que el dedendum.

Para las condiciones de diseño establecidas se han obtenido los siguientes valores para los parámetros anteriores:

1.  $d = 3$  pulgadas
2.  $\gamma = 0.3217$  radianes
3.  $A_o = 7.9056$  pulgadas
4.  $A_i = 6.9056$  pulgadas
5.  $m = 8.4666$
6.  $\varepsilon = 0.0948$  radianes
7.  $b = 0.9123$  pulgadas
8.  $\eta = 0.0421$  radianes
9.  $\alpha = 0.2795$  radianes

## 4.2. Ecuaciones que describen el engranaje

Para la obtención de los puntos del engranaje espiro-cónico se han utilizado varias ecuaciones:

- Ecuaciones que describen el perfil evolvente de los dientes.
- Ecuaciones que describen la espiral del engranaje.

### 4.2.1. El perfil evolvente de los dientes

Las ecuaciones utilizadas para obtener los puntos del perfil evolvente provienen del estudio realizado por Tsai y Chin [6].

Este estudio parte de un cono base con los siguientes puntos y parámetros:

- Punto Q: Punto cualquiera del cono base.
- Punto O: Punto de la punta del cono.
- Punto T: Punto tangente del cono base.
- Punto P: Punto cualquiera de la envolvente.
- Ángulo  $\alpha$ : Angulo de la base del cono.
- Distancia  $r$ : Distancia de la punta del cono a un punto de la superficie del cono base.
- Ángulo  $\beta$ : Angulo de generación de la envolvente, este es medido entre el punto T y el centro de la base del cono y el punto Q y el centro de la base del cono.

En la figura 16 se puede ver el sistema de coordenadas y el cono base:

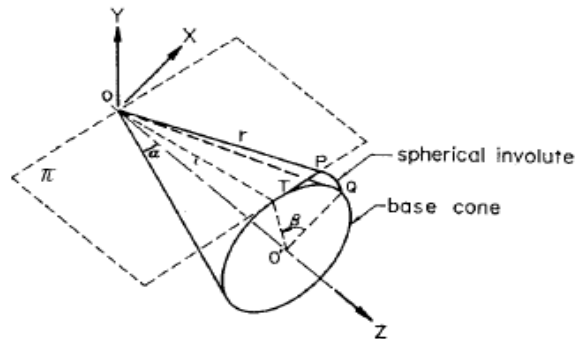


Figura 16. Cono base. Fuente: [6].

Este estudio establece que para generar el perfil evolvente en la superficie del cono hay que desplegar la superficie del cono base, de modo que la superficie desplegada permanezca tangente a la superficie del cono base. Entonces, a partir de la trayectoria del despliegue de la superficie se obtendría el perfil del diente a lo largo de la altura del cono.

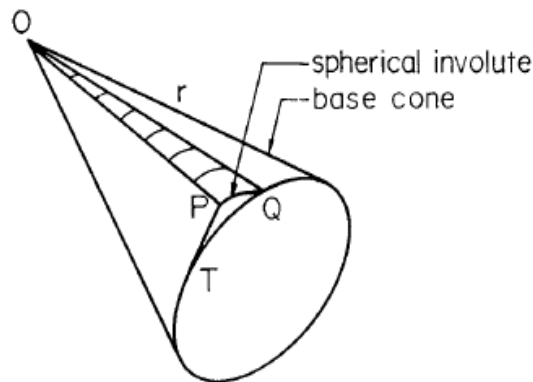


Figura 17. Despliegue de la superficie del cono base. Fuente: [6].

Para expresar lo anterior matemáticamente se debe considerar lo siguiente:

- Por razón de desplegar la superficie desde la generatriz OQ, se forman un conjunto de planos  $\pi$ , tangentes a la generatriz OT. El conjunto de planos se obtienen variando el ángulo  $\beta$  y se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\pi(X, Y, Z, \beta) = X \cos \alpha \cos \beta + Y \cos \alpha \sin \beta - Z \sin \alpha = 0. \quad (\text{ec.10})$$

Como el punto P forma parte del plano tangente, este se puede describir como:

$$X_p \cos \alpha \cos \beta + Y_p \cos \alpha \sin \beta - Z_p \sin \alpha = 0. \quad (\text{ec.11})$$

- Como se ve en las figuras 16 y 17, la distancia entre el punto O y Q es igual que la distancia entre el punto P y O y estos dos iguales a r. Teniendo en cuenta que la ecuación de la

superficie del cono base es:

$$X^2 + Y^2 = Z^2 * \tan \alpha \quad (\text{ec.12})$$

Se puede establecer que:

$$X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2 = r. \quad (\text{ec.13})$$

- Al desplegar la superficie del cono la distancia del arco entre T y Q debe ser igual que la de distancia de P a T, por razón de eso se puede establecer que

$$(X_p - r \sin \alpha \cos \beta)^2 + (Y_p - r \sin \alpha \sin \beta)^2 + (Z_p - r \cos \alpha)^2 = r^2 \beta^2 \sin^2 \alpha \quad (\text{ec.14}).$$

De las anteriores consideraciones se obtiene este conjunto de ecuaciones:

- $X_p \cos \alpha \cos \beta + Y_p \cos \alpha \sin \beta - Z_p \sin \alpha = 0. \quad (\text{ec.15})$
- $X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2 = r \quad (\text{ec.16})$
- $(X_p - r \sin \alpha \cos \beta)^2 + (Y_p - r \sin \alpha \sin \beta)^2 + (Z_p - r \cos \alpha)^2 = r^2 \beta^2 \sin^2 \alpha \quad (\text{ec.17})$

A partir de las ecuaciones anteriores se debe realizar un sistema de ecuaciones, del cual se obtienen las ecuaciones que describen el perfil evolvente, estas son:

- $X_p = r \sin \alpha \cos \beta (1 - \frac{\beta^2}{2} \sin^2 \alpha) + r \sin \alpha \sin \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{4} \sin^2 \alpha} \quad (\text{ec.18})$

- $Y_p = r \sin \alpha \sin \beta (1 - \frac{\beta^2}{2} \sin^2 \alpha) - r \sin \alpha \cos \beta \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{4} \sin^2 \alpha} \quad (\text{ec.19})$

- $Z_p = r \cos \alpha (1 - \frac{\beta^2}{2} \sin^2 \alpha) \quad (\text{ec.20})$

En estas ecuaciones se conocen todas las variables excepto el ángulo para generar la evolvente  $\beta$ . Para la obtención de este ángulo se debe tener en cuenta que:

- La evolvente del cono se genera en una esfera, cuya ecuación es:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \quad (\text{ec.21})$$

Donde r es la distancia r del cono donde se genera la evolvente.

- El perfil generado debe tener una altura de 2.25\*modulo y suponiendo que la altura del perfil es igual a la longitud del arco de la evolvente en la esfera, es decir que:

$$2.25m = r * \delta \quad (\text{ec.22})$$

Con la anterior igualdad se puede establecer que:

$$\delta = \frac{2.25m}{r}. \quad (\text{ec.23})$$

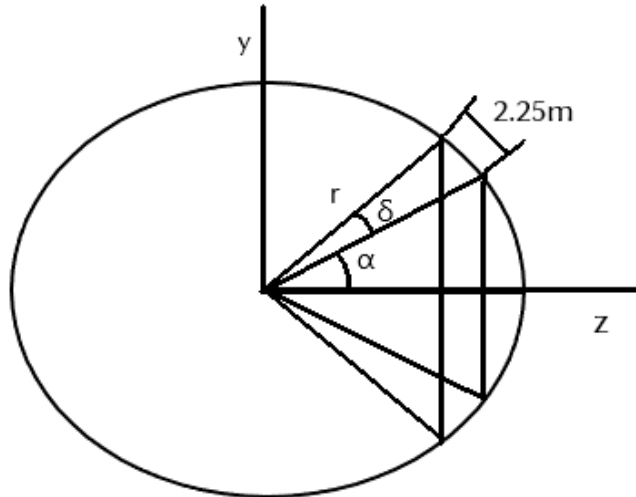


Figura 18. Altura de la evolvente. Fuente: Elaboración propia.

Por razón de lo anterior se puede establecer que Z para la evolvente con una altura de 2.25m en la esfera es:

$$z = r \cos(\alpha + \delta) = r \cos\left(\alpha + \frac{2.25m}{r}\right). \quad (\text{ec.24})$$

Entonces al igualar Z y Z<sub>p</sub> se puede obtener la ecuación que define β y es

$$\beta = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{2\left(1 - \frac{\cos\left(\alpha + \frac{2.25m}{r}\right)}{\cos \alpha}\right)}. \quad (\text{ec.25})$$

#### 4.2.2. La espiral del engranaje espiro-cónico

Los dientes del engranaje espiro-cónico que se va a mecanizar tiene la traza de una espiral logarítmica. Para calcular la espiral logarítmica de los dientes se va a utilizar la ecuación del estudio de Alves y coautores [24]. Esta ecuación es:

$$\theta_{spiral} = \frac{\tan \lambda}{\sin \gamma} \log\left(\frac{r \sin \gamma}{a}\right). \quad (\text{ec.26})$$

Y sus parámetros son los siguientes.

- Ángulo λ: Este ángulo es la constante de giro de la espiral y mediante la variación de este ángulo la espiral puede dar menos o más vueltas al cono.

- Ángulo  $\theta_{spiral}$ : Con este ángulo se indica la posición angular en la espiral.
- Ángulo  $\gamma$ : Es el ángulo de paso del cono.
- Distancia  $r$ : Es una distancia cualquiera entre la punta y la base del cono.
- $a$ : Es una constante que cuyo valor es  $r_0 * \sin \gamma$ , donde  $r_0$  es la distancia exterior  $A_0$ .

En la anterior ecuación se puede desarrollar la constante  $a$ , quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$\theta_{spiral} = \frac{\tan \lambda}{\sin \gamma} \log\left(\frac{r \sin \gamma}{a}\right) = \frac{\tan \lambda}{\sin \gamma} \log\left(\frac{r \sin \gamma}{r_0 * \sin \gamma}\right) = \frac{\tan \lambda}{\sin \gamma} \log\left(\frac{r}{r_0}\right). \quad (ec.27)$$

Los Anteriores parámetros se pueden representar de la siguiente manera:

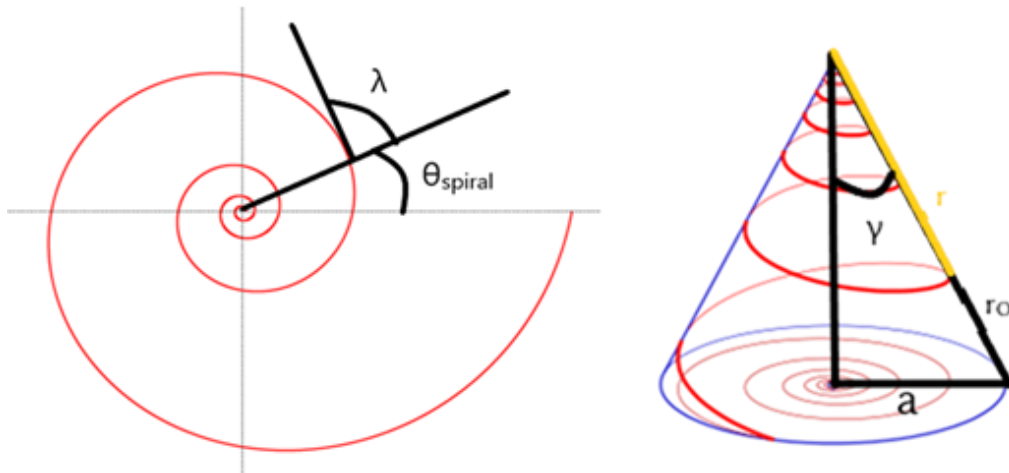


Figura 19. a) Los parámetros de la espiral [25] b) La espiral representada en el cono [26]

### 4.3. Proceso de obtención de la geometría

La obtención de los puntos del engranaje se divide en dos partes, calcular los puntos de las evolventes de los dientes y calcular los puntos de la punta de los dientes y la base de los huecos.

Para calcular los puntos de las evolventes se van a usar las ecuaciones del capítulo 2.1. A estas ecuaciones se les va a aplicar una matriz de rotación para que los dientes tengan una traza espiralce y para posicionar los perfiles alrededor del cono.

Para obtener el mayor número de puntos se van a variar los valores de  $r$  y  $\beta$ . Donde los valores de  $r$  están entre  $A_1$  y  $A_0$ , y los valores de  $\beta$  varían entre 0 y el valor obtenido de la ecuación de  $\beta$ .

En el cálculo las evolventes de los perfiles de los dientes, primero se van a calcular las evolventes que giran en sentido antihorario y luego se van a calcular las del sentido horario.

La matriz para las evolventes en sentido antihorario es la siguiente:

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \begin{bmatrix} \cos(i + \theta_{spiral}) & -\sin(i + \theta_{spiral}) & 0 \\ \sin(i + \theta_{spiral}) & \cos(i + \theta_{spiral}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{matrix} \quad (\text{ec.28})$$

En esta matriz  $i$  es la posición angular del diente y se puede calcular de la siguiente manera:

$$i = \frac{n^{\circ} \text{ diente} * 2\pi}{n^{\circ} \text{ total de dientes}} \quad (\text{ec.29})$$

Y  $\theta_{spiral}$  es el ángulo que sirve para posicionar los perfiles de los dientes para que estos tengan una traza espiral. El ángulo  $\theta_{spiral}$  depende de la distancia  $r$  como se indica en la fórmula del capítulo 2.2 y esto significa que los perfiles con una misma distancia  $r$  tendrán el mismo ángulo  $\theta_{spiral}$ .

Para obtener los puntos se han desarrollado las fórmulas en una hoja de cálculo de Excel y para organizar todo esto en la hoja de cálculo se ha hecho lo siguiente:

- Se han calculado los valores de  $\alpha$ ,  $A_0$  y el valor de  $\beta$ .
- Se han calculado los valores de  $\theta_{spiral}$  para que los perfiles tengan una traza espiral.
- Para calcular los puntos se han puesto las ecuaciones del apartado 2.1 con la matriz de rotación resuelta.
- Para organizar los datos de los puntos se ha propuesto realizarlo de la siguiente tabla:

	i		
	0		
2.95284708	x	y	z
0	0.60171601	-0.54949093	2.83818664
0.05	0.60230998	-0.55000142	2.83796176
0.10	0.60415176	-0.55146009	2.83728713
0.15	0.60732542	-0.55375318	2.83616274
0.20	0.61190702	-0.55676129	2.83458860
0.25	0.61796429	-0.56035989	2.83256470
0.30	0.62555636	-0.56441987	2.83009104
0.35	0.63473338	-0.56880802	2.82716763
0.40	0.64553641	-0.57338766	2.82379447
0.45	0.65799707	-0.57801919	2.81997154
0.50	0.67213748	-0.58256067	2.81569887
0.55	0.68797004	-0.58686843	2.81097644
0.60	0.70549734	-0.59079766	2.80580425
0.65	0.72471213	-0.59420302	2.80018230
0.70	0.74559723	-0.59693931	2.79411061
0.75	0.76812557	-0.59886199	2.78758915
0.80	0.79226019	-0.59982789	2.78061794
0.85	0.81795438	-0.59969576	2.77319698
0.90	0.84515173	-0.59832692	2.76532626
0.95	0.87378630	-0.59558583	2.75700578
1.00	0.90378282	-0.59134071	2.74823555

Figura 20. Disposición de los puntos de la evolvente en Excel

- En la anterior tabla en la primera columna el primer valor corresponde al valor de la distancia  $r$  en la que está el perfil. En esa misma columna, las siguientes filas corresponden a las fracciones por los que se multiplica el valor total de  $\beta$  para obtener los distintos puntos de la evolvente.

Teniendo en cuenta lo anterior las ecuaciones para los puntos adaptadas para el Excel serían:



- $$X = \left( r \sin \alpha \cos(f * \beta) \left( 1 - \frac{(f*\beta)^2}{2} \sin^2 \alpha \right) + r \sin \alpha \sin(f * \beta) \sqrt{1 - \frac{(f*\beta)^2}{4} \sin^2 \alpha} \right) (\cos(i_n + \theta_{spiral,r})) - \left( \left( r \sin \alpha \sin(f * \beta) \left( 1 - \frac{(f*\beta)^2}{2} \sin^2 \alpha \right) - r \sin \alpha \cos(f * \beta) \sqrt{1 - \frac{(f*\beta)^2}{4} \sin^2 \alpha} \right) (\sin(i_n + \theta_{spiral,r})) \right) \quad (\text{ec.30})$$
- $$Y = \left( r \sin \alpha \cos(f * \beta) \left( 1 - \frac{(f*\beta)^2}{2} \sin^2 \alpha \right) + r \sin \alpha \sin(f * \beta) \sqrt{1 - \frac{(f*\beta)^2}{4} \sin^2 \alpha} \right) (\sin(i_n + \theta_{spiral,r})) + \left( \left( r \sin \alpha \sin(f * \beta) \left( 1 - \frac{(f*\beta)^2}{2} \sin^2 \alpha \right) - r \sin \alpha \cos(f * \beta) \sqrt{1 - \frac{(f*\beta)^2}{4} \sin^2 \alpha} \right) (\cos(i_n + \theta_{spiral,r})) \right) \quad (\text{ec.31})$$
- $$Z = r \cos \alpha \left( 1 - \frac{(f*\beta)^2}{2} \sin^2 \alpha \right) \quad (\text{ec.32})$$

En cuanto al cálculo de las evolventes en sentido horario, se realiza lo mismo, pero se debe utilizar una  $\beta$  con el signo contrario y en la matriz de rotación se debe añadir el ángulo  $\zeta$ . El ángulo  $\zeta$  es la rotación que hay que rotar la evolvente horaria para que esta quede emparejada con la evolvente de sentido antihorario.

El ángulo  $\zeta$  es igual a  $\frac{i}{2} + 2\varepsilon$  donde  $\varepsilon$  es el ángulo entre el punto de la base de la evolvente y el punto de intersección entre el círculo de paso y la evolvente, e  $i$  es la posición angular del diente. El ángulo  $\zeta$  se obtiene suponiendo que:

- La distancia angular de los puntos de intersección de la evolvente horaria y antihoraria con el círculo de paso es  $2\varepsilon$ .
- El espesor de diente es la mitad que el paso circular, por lo que el espesor del diente en el círculo de paso es  $\frac{i}{2}$ .

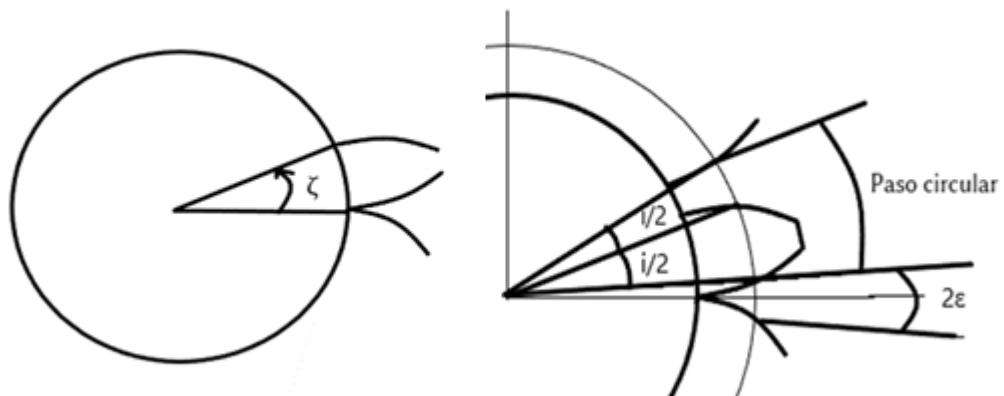


Figura 21. a) El giro que realiza la evolvente horaria b) Definición del ángulo  $\zeta$ . Fuente: Elaboración propia.

Para obtener  $\varepsilon$  se tiene que calcular los puntos X e Y del punto de intersección de la evolvente con el círculo de paso o un punto muy cercano, pero con las ecuaciones del apartado 2.1 sin aplicar la matriz de rotación. Al obtener estos puntos se calcula el arco tangente de estos puntos:

$$\varepsilon = \tan^{-1} \frac{Y}{X}. \text{ (ec.33)}$$

Para saber si el punto está cerca del punto deseado se calcula la diferencia de los módulos de los puntos del cono base y del punto obtenido. Si el resultado de lo anterior da cerca del valor de la altura del dedendum entonces el punto seleccionado es el correcto.

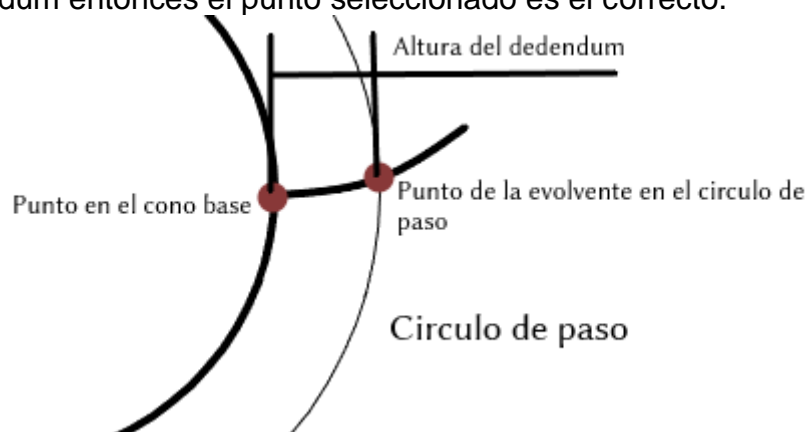


Figura 22. Definición del ángulo  $\varepsilon$ . Fuente: Elaboración propia.

Realizado el cálculo de las evolventes, ahora hay que obtener los puntos de la parte superior del perfil de los dientes y los puntos de la base de los huecos y para ello se van a utilizar los puntos obtenidos de las evolventes.

Para obtener los puntos de la parte superior del perfil de los dientes se va a suponer que esta es un arco de radio R con el mismo centro que el círculo de paso. Y como se ha mencionado anteriormente, se van a utilizar los puntos calculados de las evolventes, en este caso se van a utilizar los puntos superiores de la pareja de evolventes que forman el perfil del diente. Con estos puntos se puede calcular el radio del arco, el cual se puede obtener con el módulo de uno de los puntos anteriores. En cuanto a los puntos del arco se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$X = R * \cos \vartheta \text{ (ec.34)} \quad Y = R * \sin \vartheta. \text{ (ec.35)}$$

La coordenada Z de los dos puntos escogidos es la misma, entonces se puede suponer que los puntos del arco tendrán la misma coordenada Z que los puntos escogidos.

Los valores de  $\vartheta$  se calculan obteniendo la diferencia de la posición angular de los dos puntos escogidos y la posición angular del punto de la evolvente de sentido horario. Obteniendo lo anterior, el ángulo  $\vartheta$  se puede calcular de la siguiente manera  $\vartheta = \vartheta_2 + (\vartheta_{1-2} * f)$ , siendo f los valores entre 1 y 0 con los que se puede obtener distintos valores de  $\vartheta$ .

Teniendo en cuenta lo anterior, las ecuaciones para obtener los puntos X e Y de los arcos son:

$$X_r = R * \cos(\vartheta_2 + (\vartheta_{1-2} * f)) \text{ (ec.36)}; Y_r = R * \sin(\vartheta_2 + (\vartheta_{1-2} * f)) \text{ (ec.37)}$$

A las anteriores ecuaciones se les va a aplicar una matriz de rotación para obtener la parte superior de los dientes para todos los dientes. La matriz en cuestión es:

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \begin{bmatrix} \cos i & -\sin i & 0 \\ \sin i & \cos i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{matrix} X_r \\ Y_r \\ Z \end{matrix} \text{ (ec.38)}$$

En esta matriz  $i$  es la posición angular del diente y que se puede calcular de la siguiente manera:

$$i = \frac{n^\circ \text{ diente} * 2\pi}{n^\circ \text{ total de dientes}} \text{ (ec.39)}$$

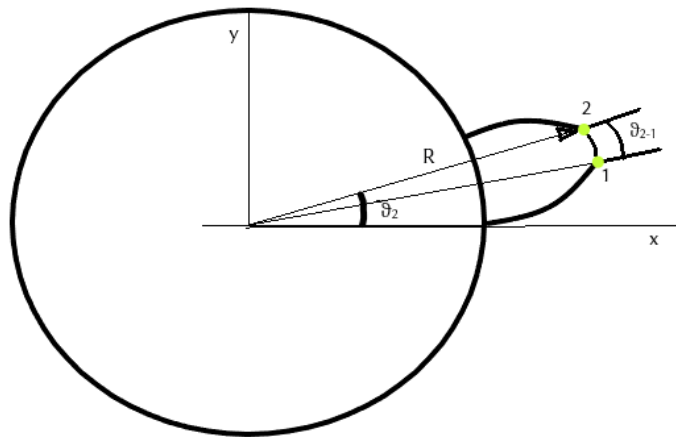


Figura 23. Definición del ángulo  $\theta$ . Fuente: Elaboración propia.

Ahora para calcular la base de los huecos de los dientes, se va a realizar lo mismo que al calcular la parte superior de los perfiles, sin embargo, los puntos que se van a escoger son los de la base de la evolvente antihoraria y la evolvente horaria del diente anterior.

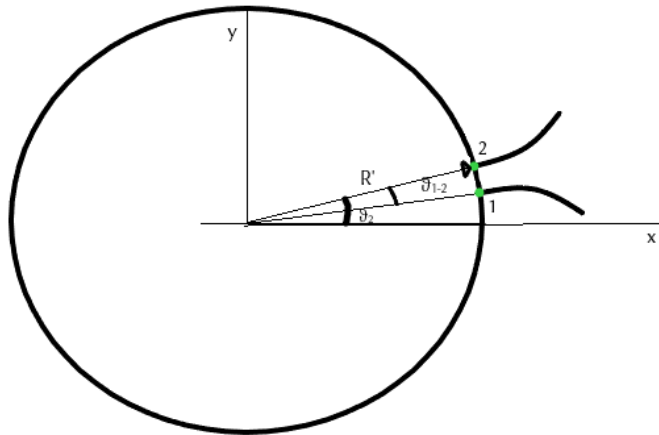


Figura 24. Definición del ángulo  $\vartheta$ . Fuente: Elaboración propia.

Para organizar los cálculos de los arcos calculados en la hoja de cálculo se propone la siguiente tabla:

										i			
x2	y2	z2	x1	y1	z1				R'		x	y	z
0.773193	-0.257245	2.8381866	0.7582594	-0.2984042	2.8381866	$\vartheta_{1-2}$	0.053739	f	0.8148634				
						$\vartheta_1$	-0.3749237		1		0.773193	-0.257245	2.8381866
									0.20		0.7614228	-0.2902375	2.8381866
									0.40		0.7644981	-0.2820373	2.8381866
									0.60		0.7674852	-0.2738045	2.8381866
									0.80		0.7703836	-0.2655401	2.8381866

Figura 25. Disposición de los puntos de los arcos

Y para comprobar los cálculos, se han representado los puntos calculados con una misma distancia r en un plano X-Y:

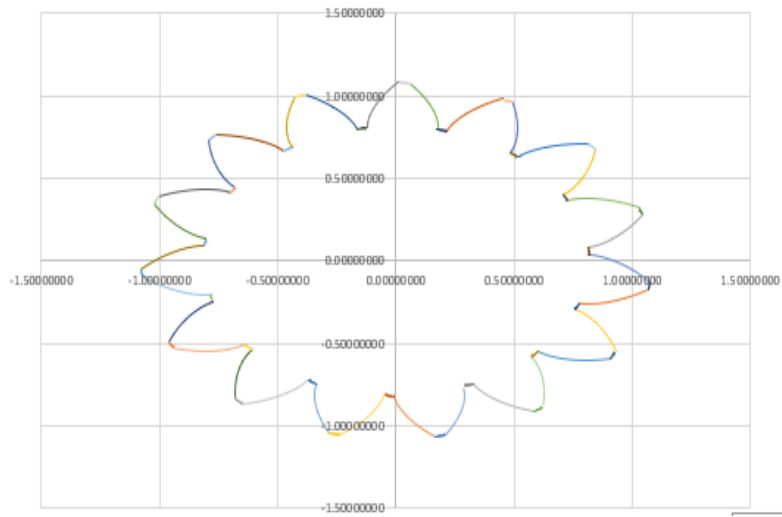


Figura 26. Comprobación de los cálculos en Excel

## 5. El modelado 3d del engranaje espiro-cónico

Para obtener el modelo 3d del engranaje espiro cónico se va a utilizar un programa de CAD muy popular llamado SolidWorks.

Para comenzar con proceso de obtención del modelo hay que pasar todos los puntos a un archivo con formato .txt. En el archivo las coordenadas X de los puntos deben estar en una misma columna, lo mismo para las coordenadas Z e Y.

Una vez copiados todos los datos hay que activar un complemento de SolidWorks llamado Scanto3D. Al activar este complemento, se habilita la posibilidad de trabajar con nubes de puntos y archivos de escaneo.

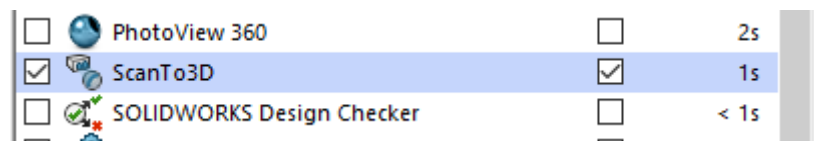


Figura 27. Complemento ScanTo3D

Una vez activado el complemento, hay que abrir el archivo desde el menú del programa y para facilitar la búsqueda escogemos que solo se muestren este tipo de archivos:

Archivos de malla ScanTo3D (\*.3ds;\*.obj;\*.stl;\*.wrl;\*.ply;\*.ply2)  
Archivos ScanTo3D PointCloud (\*.xyz;\*.txt;\*.asc;\*.vda;\*.igs;\*.ibl)

Figura 28. Tipo de archivo que hay que seleccionar

Una vez abierto el archivo aparecerán los puntos calculados como una nube de puntos con el mismo sistema de coordenadas utilizado para realizar los cálculos.

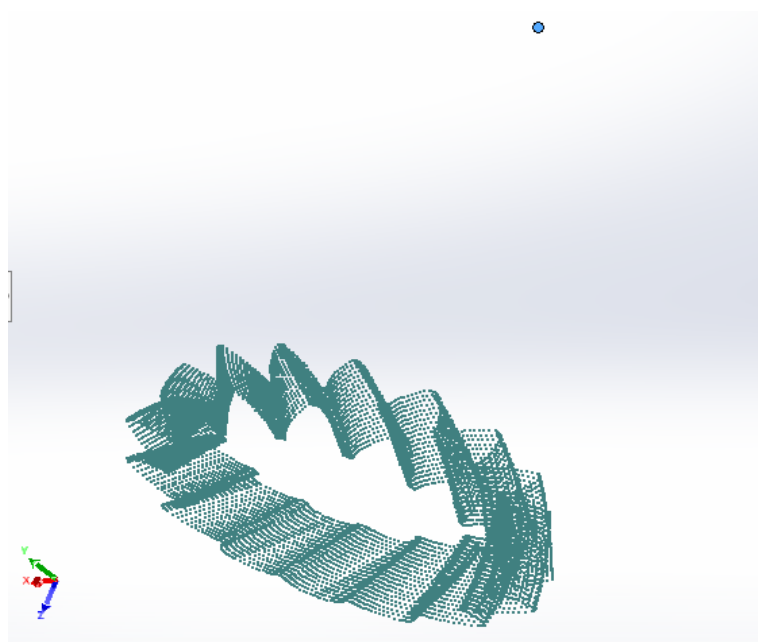


Figura 29. Nube de puntos y el origen de eso puntos

Una vez obtenidos los puntos, estos se van a utilizar para hacer unos croquisados. Para realizar el croquizado se va a seleccionar la opción de croquis 3d, la cual permite realizar croquis en tres dimensiones. Esto es muy útil ya que los puntos de las evolventes varían en las tres dimensiones y permitirá trazar líneas a lo largo de estos puntos.

El primer croquis que se va a realizar consiste en unir las evolventes y los arcos con una misma distancia  $r$  y esto se tiene que realizar para la parte superior, inferior e intermedia del engranaje.

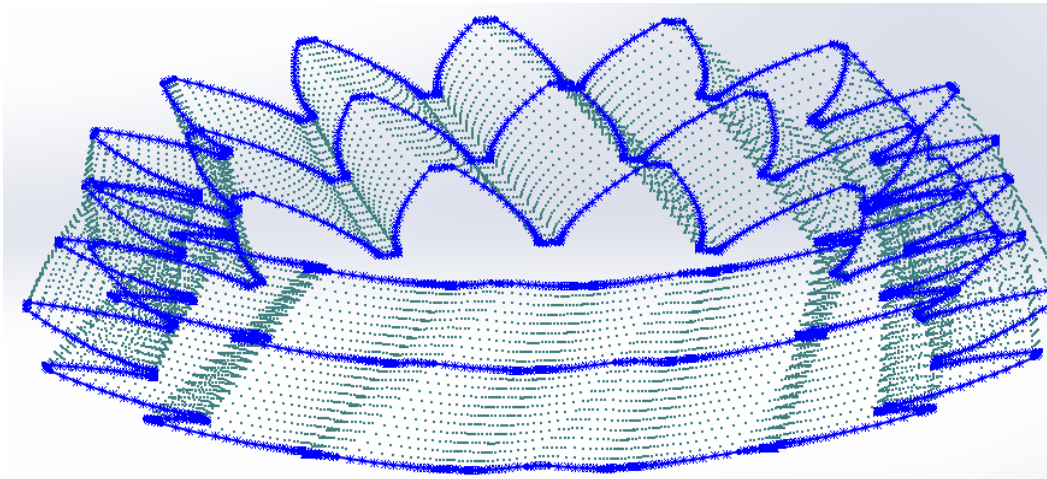


Figura 30. Perfiles que se han dibujado mediante la operación spline

Para unir los puntos se va a usar el comando spline, que permite trazar líneas curvas y para trazar las líneas simplemente hay que clicar sobre los puntos deseados. Al realizar el croquis no se debe trazar las líneas de forma continua y eso es porque al pasar de evolvente al arco o viceversa el comando spline va a formar un redondeo que va a modificar la geometría del engranaje. Para evitar lo anterior, lo que se debería realizar es desactivar la operación spline al llegar al punto final superior o inferior de la evolvente o el punto final del arco y una vez desactivado utilizar de nuevo el comando spline en ese mismo punto. Una vez realizado el primer croquis, se va a realizar un segundo croquis y lo que se quiere conseguir con este croquis es representar la espiral del engranaje espiral-cónico. Para ello se va a unir los puntos superiores de una evolvente mediante la opción spline.

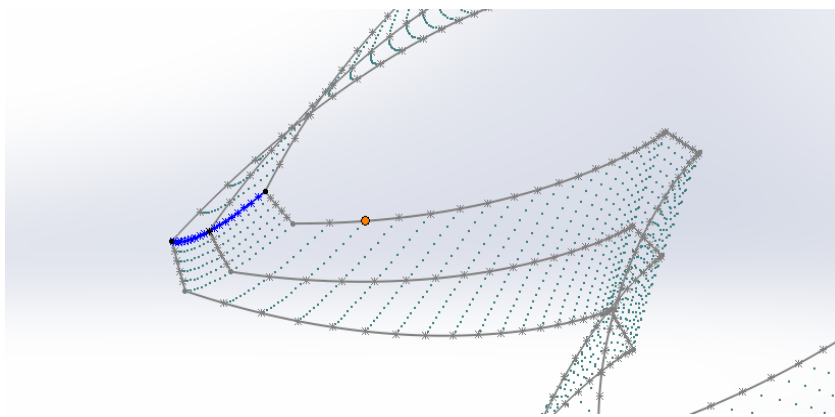


Figura 31. La guía de la espiral

Una vez obtenidos los croquis, estos se van a utilizar para elaborar una superficie que tenga la forma de los dientes y los huecos donde engrana el engranaje conjugado. Esta superficie se va a elaborar con la operación de recubrir superficies. Para utilizar esta operación hay que seleccionar como perfil los tres perfiles croquizados en el primer croquis y seleccionar la curva de la espiral como la trayectoria. Al seleccionar la trayectoria hay que seleccionar que esta tenga influencia hasta la siguiente guía.

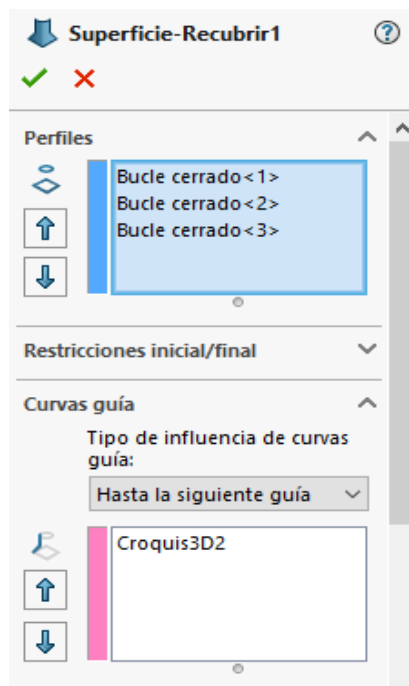


Figura 32. Selecciones de la operación recubrir superficie

Una vez aceptada la selección se obtiene como resultado lo siguiente:

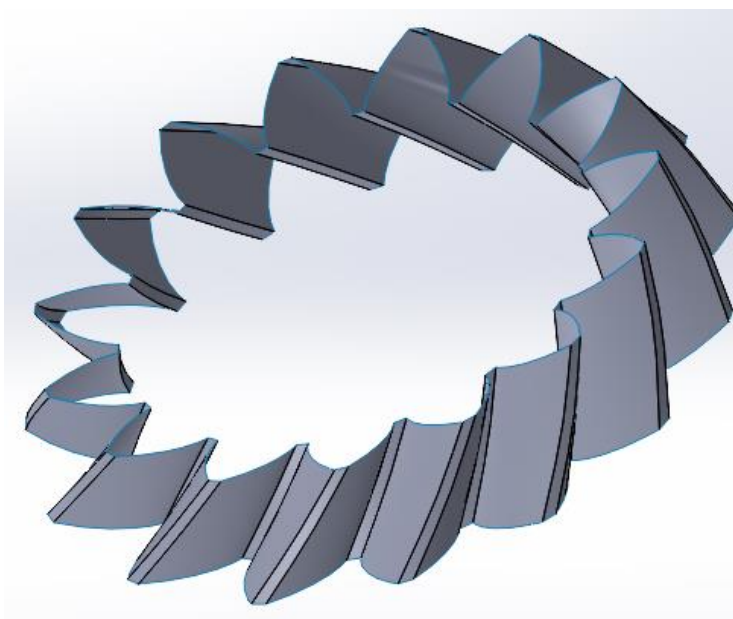


Figura 33. Superficie generada



Ahora lo que se ha obtenido es la superficie, pero esto no es un modelo sólido que es lo que se debería tener y para obtener el modelo sólido primero hay que cerrar los huecos. El cierre de los huecos se va a realizar en partes y utilizando la operación de rellenar superficie. Para empezar, se va a cerrar individualmente cada perfil de diente, sin embargo, para utilizar esta operación en estos perfiles hay que tener aristas cerradas. Esto se soluciona croquizando para cada perfil de diente un arco que lo cierre.

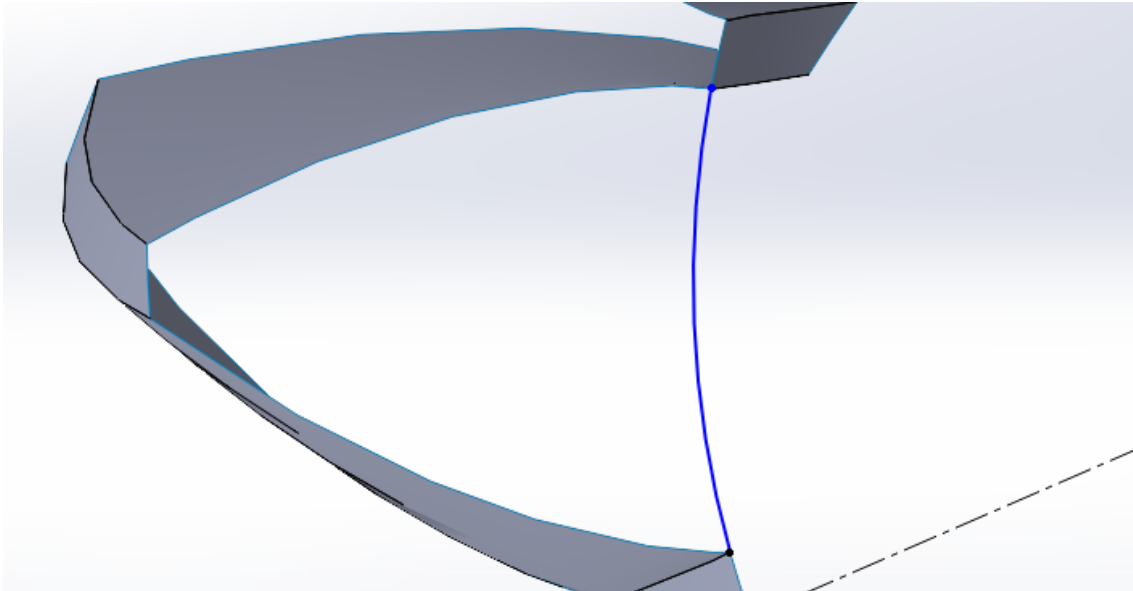


Figura 34. Arco dibujado para cerrar el perfil

Cerrados los perfiles de los dientes, se realiza la operación de rellenar superficies individualmente para cada perfil croquizado. Para realizar el relleno hay que seleccionar las aristas del perfil cerrado.

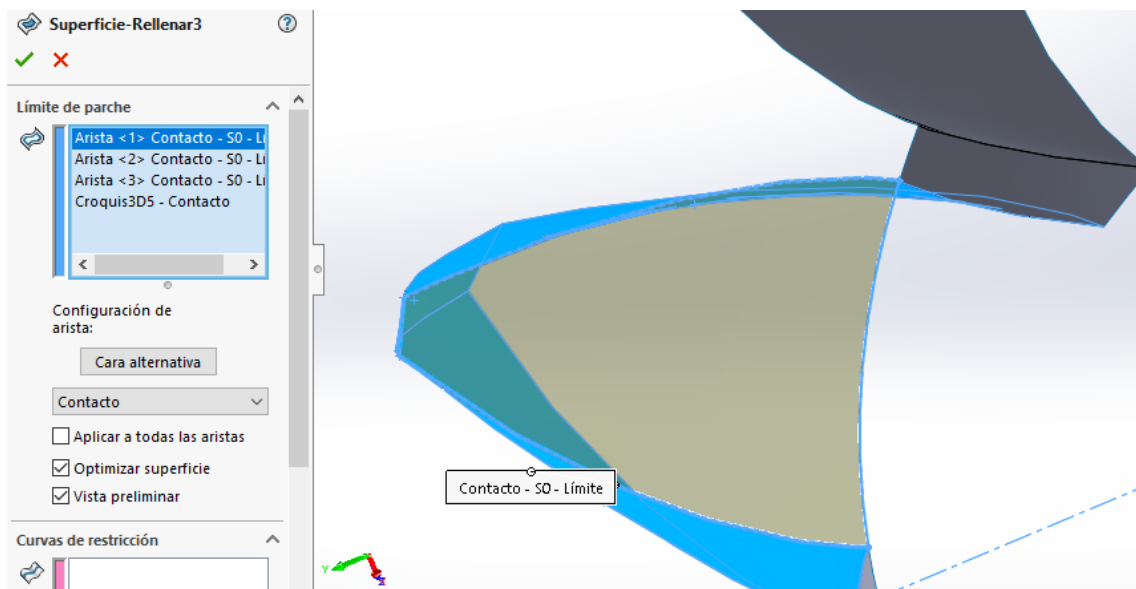


Figura 35. Selecciones de la operación rellenar superficie

Una vez realizada la operación de rellenar superficies para cada perfil se obtiene lo siguiente:

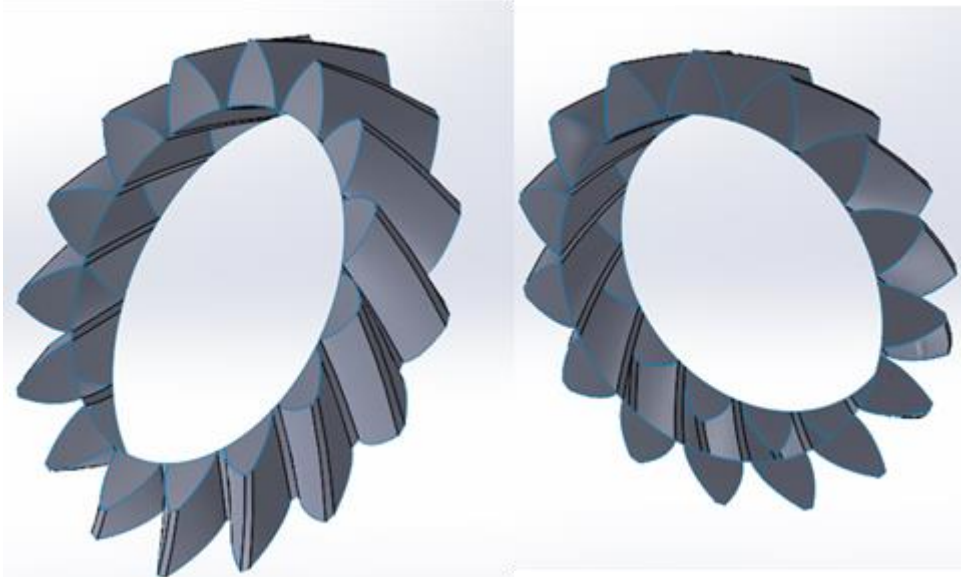


Figura 36. Resultados al cerrar los perfiles

Ahora hay que cerrar los huecos circulares, para ello se va a usar la misma operación que para los perfiles de los dientes. Aquí las superficies generadas es deseable que sean completamente planas y en teoría para eso no haría falta hacer ningún croquis, pero se podría croquizar unas curvas guía mediante las cuales se consigue que las superficies se han planas. En cuanto al proceso de relleno de la superficie, este es similar al del perfil del diente, se seleccionan las aristas del contorno cerrado y si hicieran falta las guías.

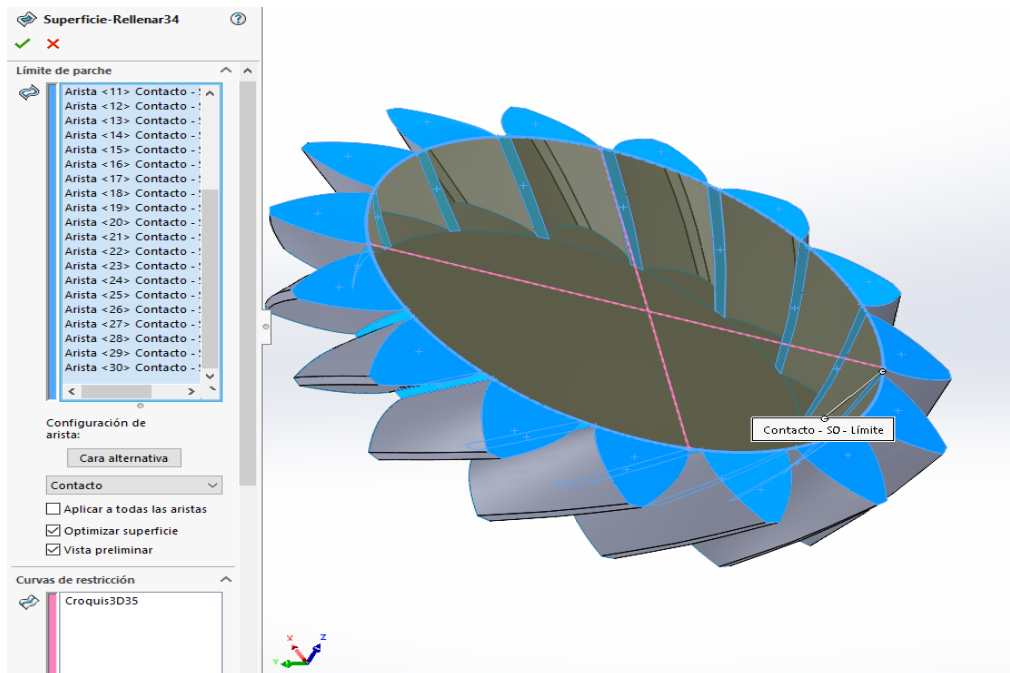


Figura 37. Selecciones para cerrar los huecos circulares

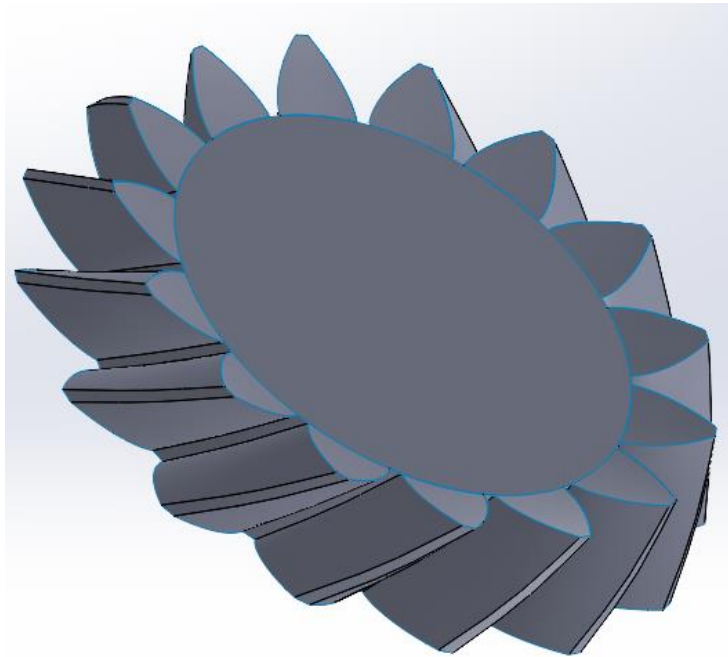


Figura 38. Resultado al generar todas las superficies

Obtenidas todas las superficies, ahora hay que unir todas las superficies para así formar una superficie única. Esto último se realiza con la operación de coser superficies seleccionando todas las superficies que se van a unir.

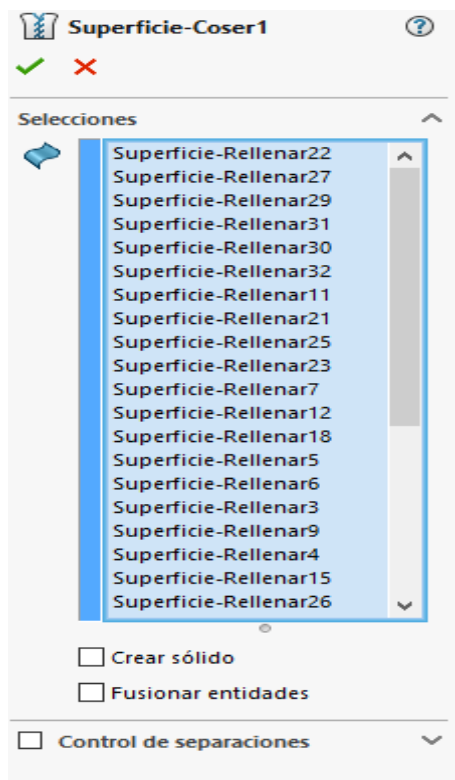


Figura 39. Selecciones para la operación coser superficies

Una vez obtenida la superficie esta se le tiene que dar un volumen ya que lo que se ha obtenido es una carcasa vacía. Para dar volumen a la superficie se va a seleccionar la operación de dar espesor, se va a seleccionar la superficie cosida y se va a seleccionar la opción de generar un sólido a partir de un volumen cerrado.

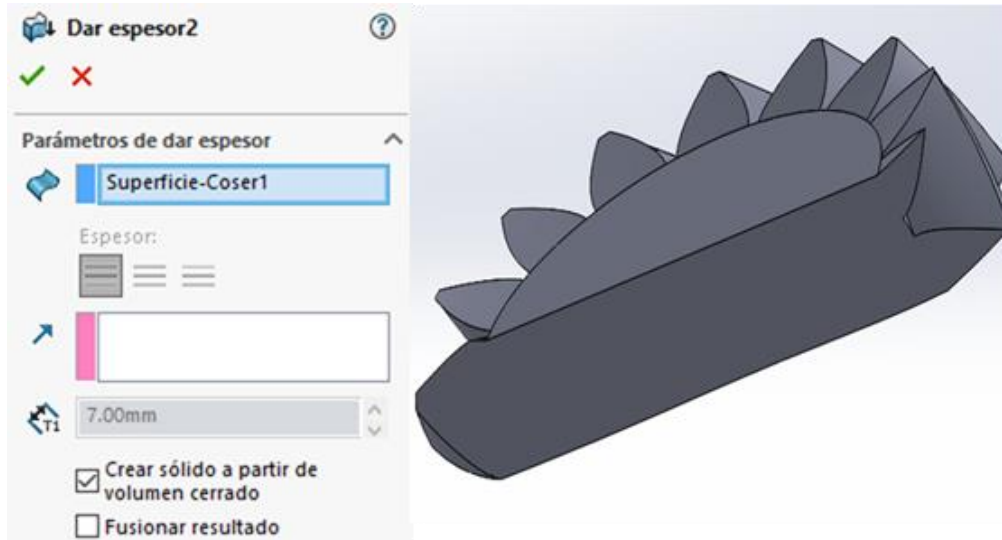


Figura 40. a) Selecciones para la operación dar espesor b) resultado

## 6. Obtención de las trayectorias de mecanizado

En este trabajo se ha decidido realizar la operación de acabado para darle la forma final al engranaje. Para realizar esta operación hay que obtener las trayectorias de mecanizado, que son los puntos por los que tiene que pasar la herramienta de corte.

### 6.1. Parámetros del mecanizado

Para obtener las trayectorias primero hay que definir unas condiciones para el mecanizado.

- La herramienta utilizada es una fresa esférica de 2 mm ya que permite realizar mecanizados en huecos estrechos.
- La herramienta debe realizar pasadas longitudinales para mecanizar una cara del diente.

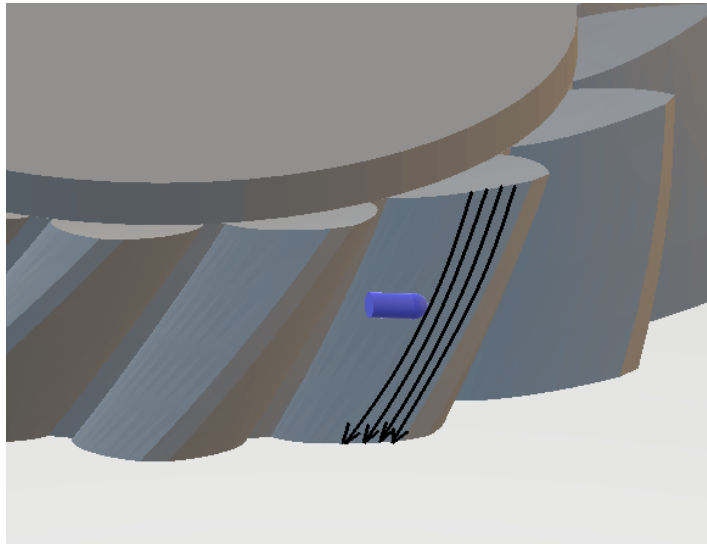


Figura 41. Trayectorias de las pasadas de la herramienta. Fuente: Elaboración propia.

- Al calcular las trayectorias hay que tener en cuenta que debe haber puntos de entrada y salida. Estos puntos están fuera del engranaje y se ponen para facilitar la maniobrabilidad de la herramienta.
- Hay que cambiar el origen del engranaje calculado anteriormente, de modo que sea el mismo que el de la fresadora de 5 ejes.

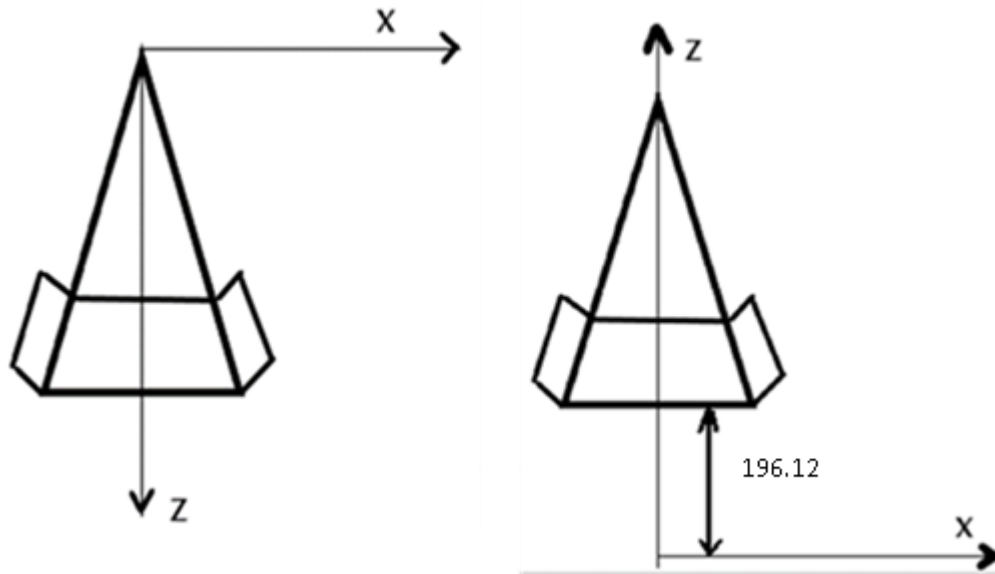


Figura 42. a) Sistema de coordenadas original b) sistema de coordenadas girando los puntos. Fuente: Elaboración propia.

- La fresadora de 5 ejes permite el giro de B entre 0 y 90°, por lo que el giro en las trayectorias no debe superar ese intervalo.

## 6.2. Cálculo de las trayectorias

Las trayectorias que se van a calcular son para el mecanizado de un hueco. A partir de esas trayectorias y utilizando comandos del Código G se puede repetir las trayectorias obtenidas en el resto de los huecos.

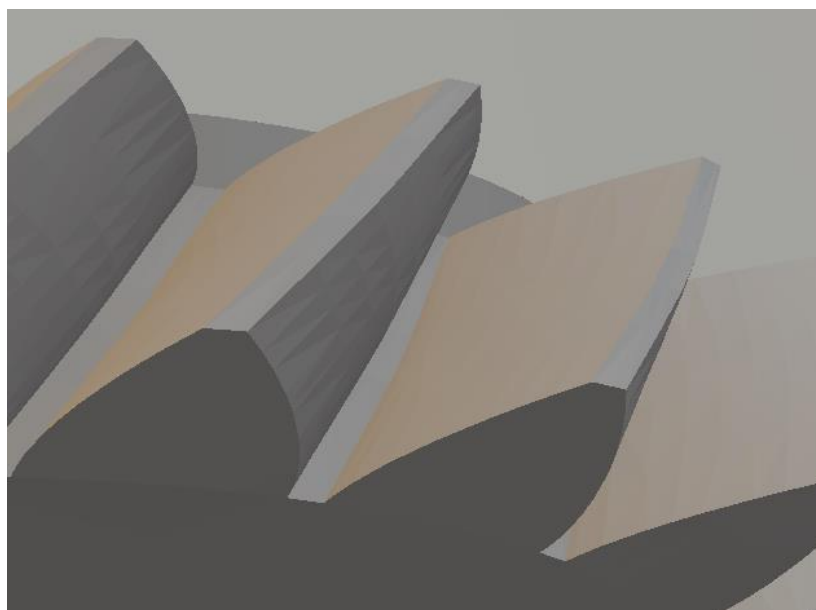


Figura 43. Hueco del engranaje. Fuente: Elaboración propia.

En el cálculo las trayectorias se van a utilizar los puntos que definen las caras de los dientes, sin embargo, como los puntos obtenidos están en pulgadas hay que pasarlos a milímetros y además estos deben tener el nuevo sistema de coordenadas.

Para pasar los de los puntos al nuevo sistema de coordenadas hay que rotar, respecto el eje X, los puntos del hueco 180°. Además, la coordenada Z de los nuevos puntos tiene que ser restada por la coordenada Z del punto más bajo, es decir el punto que está en la base, para situar la base del engranaje en el origen. Y finalmente hay que sumarle 1196.12mm a la coordenada Z de todos los puntos restados ya que es la distancia que hay desde el origen de la fresadora a la base del engranaje. Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

- $$\begin{bmatrix} X_{180} \\ Y_{180} \\ Z_{180} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 180 & -\sin 180 \\ 0 & \sin 180 & \cos 180 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (\text{ec.40})$$

- $$X' = X_{180}, \quad Y' = Y_{180}, \quad Z' = (Z_{180} - (Z_{180,\text{punto de la base}})) + 196.12 \quad (\text{ec.41})$$

Los puntos calculados se pueden organizar en una matriz de la siguiente manera:

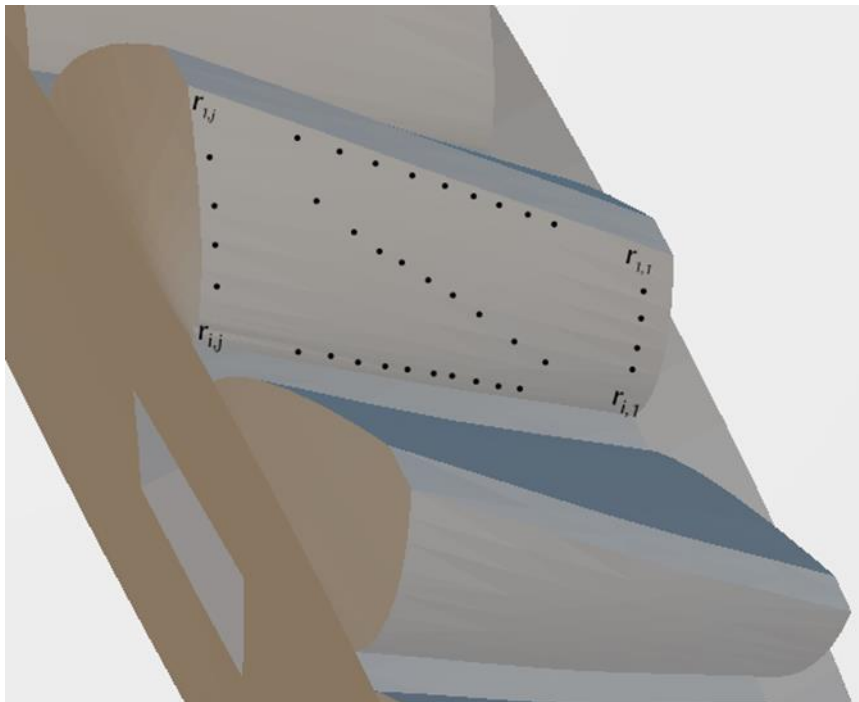


Figura 44. Puntos de la cara del diente. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los puntos anteriores se van a calcular los puntos de entrada y salida y los puntos auxiliares necesarios para el cálculo de las trayectorias.

Los puntos de entrada de cada pasada deberían permitir meter a la herramienta de forma tangente a la superficie de diente. Para conseguir esto se va a multiplicar la distancia a la que convendría tener este punto

por el primer vector tangente. Obtenido lo anterior, se va a restar al primer punto de la pasada para posicionar el punto de entrada. Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_{ent,X} = r_{X_{i,1}} - (m * t_{X_{i,1}}) \text{ (ec.42)}$$

$$r_{ent,Y} = r_{Y_{i,1}} - (m * t_{Y_{i,1}}) \text{ (ec.43)}$$

$$r_{ent,Z} = r_{Z_{i,1}} - (m * t_{Z_{i,1}}) \text{ (ec.44)}$$

En cuanto a los puntos de salida, estos deben permitir a la herramienta sacar la herramienta de manera que esta sea tangente a la superficie del diente. Para ello se va a multiplicar el último vector la tangente con la distancia a la que convendría tener este punto y obtenido esto se suma con el último punto de la pasada. Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_{sal,X} = r_{X_{i,n}} + (m * t_{X_{i,n}}) \text{ (ec.45)}$$

$$r_{sal,Y} = r_{Y_{i,n}} + (m * t_{Y_{i,n}}) \text{ (ec.46)}$$

$$r_{sal,Z} = r_{Z_{i,n}} + (m * t_{Z_{i,n}}) \text{ (ec.47)}$$

Los puntos auxiliares se utilizan para calcular los vectores normales de la primera y última pasada, incluyendo aquí los puntos de entrada y salida.

- Los puntos auxiliares de la primera pasada se obtienen sumando a los puntos de la primera pasada la diferencia entre los puntos de la primera y segunda pasada. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_{au1,X} = r_{X_{1,j}} + (r_{X_{1,j}} - r_{X_{2,j}}) \text{ (ec.48)}$$

$$r_{au1,Y} = r_{Y_{1,j}} + (r_{Y_{1,j}} - r_{Y_{2,j}}) \text{ (ec.49)}$$

$$r_{au1,Z} = r_{Z_{1,j}} + (r_{Z_{1,j}} - r_{Z_{2,j}}) \text{ (ec.50)}$$

- Los puntos auxiliares de la última pasada se obtienen sumando a los puntos de la primera pasada la diferencia entre los puntos de la última y penúltima pasada. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_{au2,X} = r_{X_{n,j}} + (r_{X_{n,j}} - r_{X_{n-1,j}}) \text{ (ec.51)}$$

$$r_{au2,Y} = r_{Y_{n,j}} + (r_{Y_{n,j}} - r_{Y_{n-1,j}}) \text{ (ec.52)}$$

$$r_{au2,Z} = r_{Z_{n,j}} + (r_{Z_{n,j}} - r_{Z_{n-1,j}}) \text{ (ec.53)}$$

Con estos nuevos puntos se obtiene todos los puntos para las trayectorias:



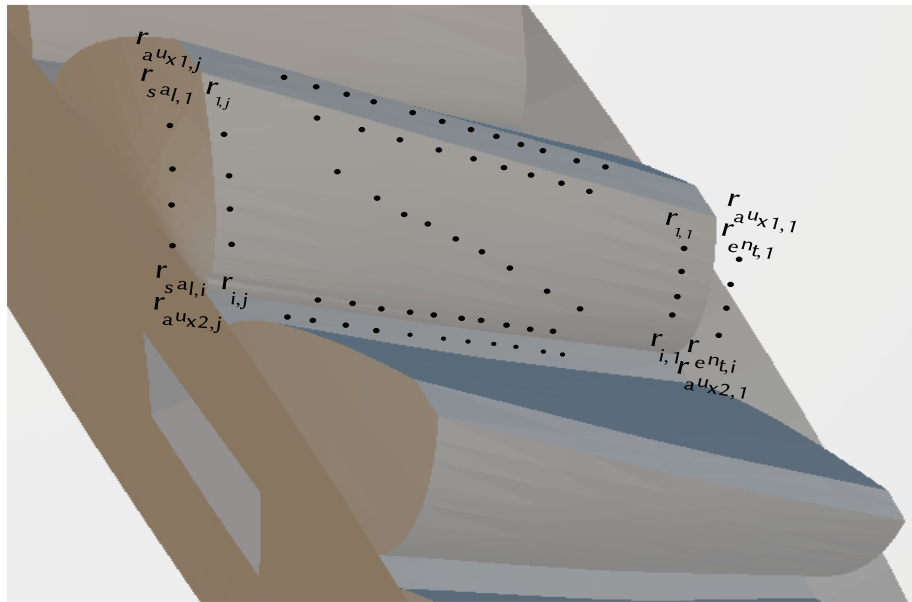


Figura 45. Todos los puntos necesarios para el cálculo. Fuente: Elaboración propia.

Para condicionar la orientación y la posición de la herramienta se va a usar el triedro de Darboux, el cual es un conjunto de vectores ortonormales de un punto P que pertenece a un arco C trazado sobre una superficie S [27].

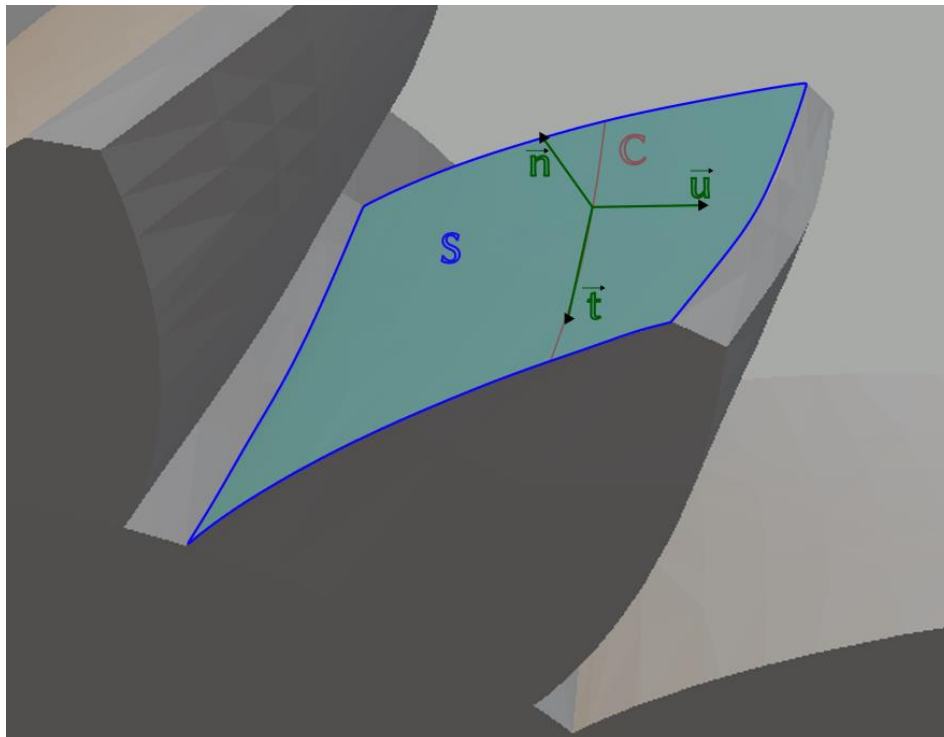


Figura 46. Triedro de Darboux. Fuente: Elaboración propia.

Los vectores que forman parte del triedro de Darboux son el vector normal  $\vec{n}$ , el cual es perpendicular a la superficie del diente, el vector tangente  $\vec{t}$ , el cual es tangente a la trayectoria de la pasada de

mecanizado y el vector perpendicular a los dos vectores anteriores  $\vec{u}$ .  
 estos tres vectores deben tener de módulo 1.

Y para calcular estos vectores se usan las siguientes ecuaciones:

- $\vec{t} = \frac{r_{i+1,j} - r_{i,j}}{|r_{i+1,j} - r_{i,j}|}$  (ec.54)

- $\vec{n} = \frac{\Delta(r_{i,j+1}; r_{i,j-1}) \wedge (r_{i+1,j} - r_{i,j})}{|\Delta(r_{i,j+1}; r_{i,j-1}) \wedge (r_{i+1,j} - r_{i,j})|}$  (ec.55)

- $\vec{u} = \vec{n} \wedge \vec{t}$  (ec.56)

Como se ve en las fórmulas, para calcular los vectores se van a usar los puntos de la cara del diente en vez de las ecuaciones que describen la superficie de esta. Esto permite simplificar el proceso de cálculo, pero se obtendrían resultados aproximados.

Al calcular estos vectores se debe asegurar que los valores de  $\vec{t}$  deben ir decreciendo si se quiere que la pasada se realice de la parte superior a la parte inferior del engranaje y los valores de  $\vec{n}$  deben ser tal que el vector sea perpendicular a la superficie de la cara del diente. Para que los valores de  $\vec{n}$  sean perpendiculares a la superficie se tendrá que usar para  $\Delta(r_{i,j+1}; r_{i,j-1})$   $r_{i,j+1} - r_{i,j-1}$  o  $r_{i,j-1} - r_{i,j+1}$ .

Para posicionar y orientar la herramienta de punta esférica, el cuerpo esférico de esta debe estar en contacto con el punto P y el centro del cuerpo esférico debe coincidir con el vector normal  $\vec{n}$ . Por razón de lo anterior el vector del eje de la herramienta formará un ángulo  $\psi$  respecto del vector normal  $\vec{n}$ .

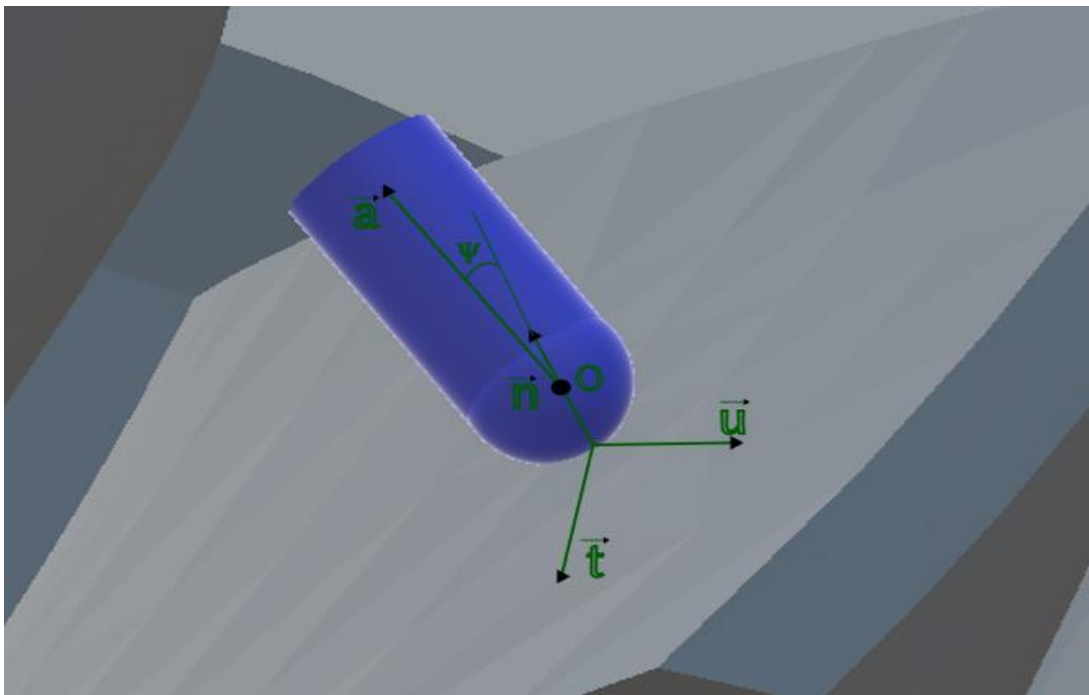


Figura 47. Triedro de Darboux con el vector del eje de la herramienta. Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo las posiciones del centro del cuerpo esférico se puede obtener los puntos de la trayectoria de la herramienta y obteniendo el ángulo  $\Psi$  se puede variar la orientación de la herramienta.

Las posiciones de la herramienta se obtienen con la siguiente formula:

$$\vec{r}_{O_i, j} = \vec{r}_{i, j} + R * \vec{n} \quad (\text{ec.57})$$

Siendo  $r_{i,j}$  un punto de puntos obtenidos anteriormente,  $\vec{n}$  el vector normal del punto  $r_{i,j}$  y  $R$  el radio de la herramienta.

El valor del ángulo  $\Psi$  se obtiene suponiendo que este varía linealmente entre cada pasada y estableciendo que el ángulo para la primera pasada es  $20^\circ$  y el de la última pasada  $N$   $80^\circ$ . Por lo anterior, el valor del ángulo para cada pasada se obtendría con la siguiente ecuación:

$$\Psi_i = \left( \frac{20-80}{N-1} (i - 1) \right) + 80 \quad (\text{ec.58})$$

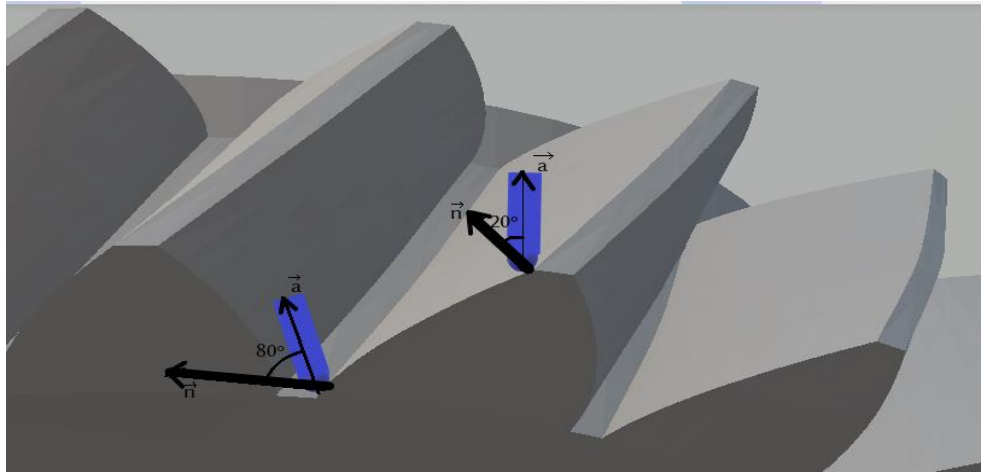


Figura 48. Ángulo  $\Psi$  en la base y la punta del diente. Fuente: Elaboración propia.

Con el ángulo  $\Psi$  y los vectores  $\vec{n}$  y  $\vec{u}$ , se puede obtener el valor del vector del eje de la herramienta  $\vec{a}$ . Esto se ha realizado usando dos ecuaciones y dependiendo de los valores obtenidos una u otra, ya que hay que asegurarse que las trayectorias se realicen dentro del rango de movimiento de la fresadora y de estos hay que darle importancia a que el valor de giro de  $B$  sea entre  $0$  y  $90^\circ$ . Las dos ecuaciones mencionadas son:

- $\vec{a} = \vec{n} * \cos \Psi + \vec{u} * \sin \Psi$  (ec.59)
- $\vec{a} = \vec{n} * \sin \Psi + \vec{u} * \cos \Psi$  (ec.60)

En la fresadora que se va a usar la herramienta solo se mueve en el eje  $Z$ , sin embargo, el vector  $\vec{a}$  calculado tiene componentes en los tres ejes. Para adaptar estas trayectorias a la fresadora se va a realizar la cinemática inversa para que el mandril que sujeta la pieza haga giros en  $B$  y  $C$  y de este modo permitir a la herramienta realizar el mecanizado. Para realizar la cinemática inversa, primero hay que rotar el vector  $\vec{a}$  respecto del eje  $Z$  hasta que el nuevo vector solo tenga componentes

en el plano X-Z. Luego el nuevo vector hay que rotarlo respecto del eje y para que el vector resultante solo tenga la componente del eje Z con los siguientes valores:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

El ángulo de rotación y la matriz de rotación para la primera rotación es:

$$C = \tan^{-1} \frac{a_y}{a_x}; \begin{bmatrix} a'_x \\ 0 \\ a'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos C & -\sin C & 0 \\ \sin C & \cos C & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \text{ (ec.61)}$$

Y el ángulo de rotación y la matriz de rotación para la segunda rotación es:

$$B = \tan^{-1} \frac{a'_x}{a'_z}; \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos B & 0 & -\sin B \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin B & 0 & \cos B \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a'_x \\ 0 \\ a'_z \end{bmatrix} \text{ (ec.62)}$$

Los puntos de las trayectorias también hay que rotarlos, ya que estos se han calculado con el vector de la herramienta con tres componentes. Para rotarlos se van a usar las dos matrices de rotación usadas anteriormente.

$$\begin{bmatrix} r'_{ox} \\ r'_{oy} \\ r'_{oz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos C & -\sin C & 0 \\ \sin C & \cos C & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos B & 0 & -\sin B \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin B & 0 & \cos B \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_{ox} \\ r_y \\ r_{oz} \end{bmatrix} \text{ (ec.63)}$$

## 6.3. El Código G.

El Código G como se ha mencionado anteriormente es un lenguaje que se usa para controlar las máquinas de CNC.

En las primeras líneas de un programa de Código G hay que indicar las condiciones de mecanizado, también hay que dar las ordenes de selección de herramienta e inicio de la operación de mecanizado. En el caso del mecanizado del engranaje se ha puesto lo siguiente:

- G90 Programación en cotas absolutas.
- G94 Velocidad de avance en milímetros/minuto.
- G97 Velocidad de giro constante.
- G71 Programación en milímetros.
- M11 Desactivación de anclaje de seguridad en giro en B.
- M13 Desactivación de anclaje de seguridad en giro en C.
- F Velocidad de avance en mm/min.
- S Velocidad de giro en revoluciones.
- T11 D1 Herramienta nº 11 con corrector nº 1.
- M6 Realizar cambio de herramienta.
- M3 Iniciar giro a derechas.

Para calcular las F se van a usar las siguientes ecuaciones[28]:

$$D_{cap} = \sqrt{D_3^2 - (D_3 - (2 * a_p))^2} \text{ (ec.64)}$$

$$f_z = \frac{D_3 * h_{ex}}{D_{cap}} \text{ (ec.65)}$$

$$F = f_z * S * n^{\circ} \text{ dientes (ec.66)}$$

En estas ecuaciones:

- $D_{cap}$  es el diámetro de corte a la profundidad  $a_p$ , la cual es la profundidad de corte axial y tiene un valor de 0.5 mm.
- $D_3$  es el diámetro de la herramienta.
- $f_z$  es el avance por diente.
- $h_{ex}$  es el grosor máximo de viruta y tiene valor de 0.0216 mm.
- En cuanto a S se ha establecido un valor de 1000 rpm.

En cuanto a la programación de las trayectorias de mecanizado, se van a usar los puntos rotados de la herramienta y los giros calculados a partir de la cinemática inversa. Cada punto se programa de la siguiente manera:

Nxxxx( $n^{\circ}$  de línea) X  $r'_{ox}$  Y  $r'_{oy}$  Z  $r'_{oz}$  B b C c

Como el mecanizado se realiza en pasadas longitudinales, hay que alejar la herramienta de la pieza al terminar cada pasada para que no haya choques entre pasadas. El alejamiento de la herramienta se realiza subiéndola 50 mm en el eje Z. Y para reposicionar la herramienta para la pasada, primero se realizan los giros B C del punto de la entrada de la pasada y luego se posiciona la pieza en el plano X-Y de ese mismo punto.

Para repetir las trayectorias, que se han programado, en todos los huecos, se va a programar que al finalizar el mecanizado del hueco el mandril gire a B 0 C 0. Después se va a realizar un cambio de coordenadas con G92 para que B 0 C 0 pase a ser B 0 C-24, para que los puntos de las trayectorias pasen a ser referidos al siguiente hueco. Y finalmente para repetir el mecanizado en el siguiente hueco se va a utilizar el comando de repetición #RPT.

Al acabar todas las pasadas se debe alejar la herramienta subiéndola 50 mm y después se programa lo siguiente:

- M5 fin del programa
- M30 Parar la máquina.
- M10 Activar anclaje de seguridad en giro en B
- M12 Activar anclaje de seguridad en giro en C

[29],[30].

## 7. El modelo impreso en 3d

Como se ha indicado en la introducción, se va a simular las trayectorias de mecanizado en una fresadora de 5 ejes usando un modelo real del engranaje. Este modelo ya se ha obtenido, pero hay que adaptarlo para que poder fijarlo en el mandril de la fresadora.

La adaptación que ha sufrido el modelo consiste en generar una ranura que sirve para fijar el soporte que es sujetado por el mandril.

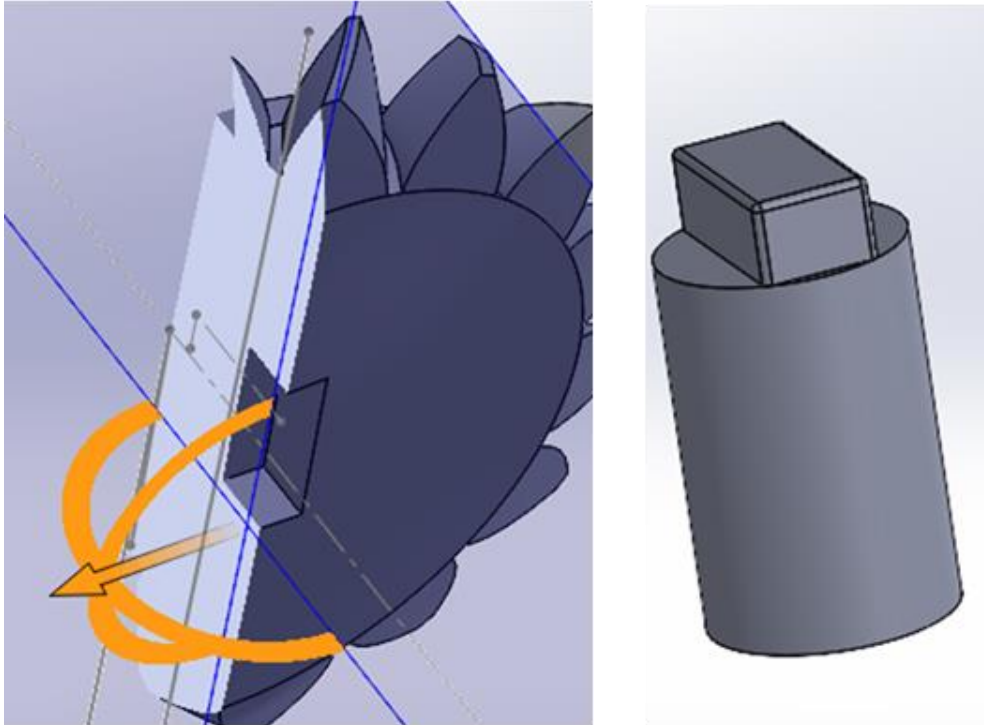


Figura 49. a) Ranura del engranaje b) Soporte

Para generar el programa para imprimir el modelo y el soporte, se va a usar un programa popular en el mundo de la impresión en 3d y es el Ultimaker cura. Este programa genera las trayectorias X-Y-Z que la impresora 3d debe realizar para imprimir el modelo 3d y una vez generadas las trayectorias estas son almacenadas en una memoria extraíble para poder usarse en la máquina de impresión 3d. Las trayectorias generadas dependen de los parámetros que se han seleccionado en el programa como la densidad, la forma de la estructura interior del modelo, etc. En el anexo se puede ver una sugerión de parámetros para imprimir el engranaje.

## 8. Resultados

Al imprimir el engranaje modelado se obtiene un resultado muy parecido al del modelo 3D.



Figura 50. a) Engranaje espiro-cónico impreso en 3D b) Ranura del engranaje para el soporte

Y, en general, con un acabado en las superficies de los dientes muy bueno, aunque, hay zonas con algunos desperfectos.

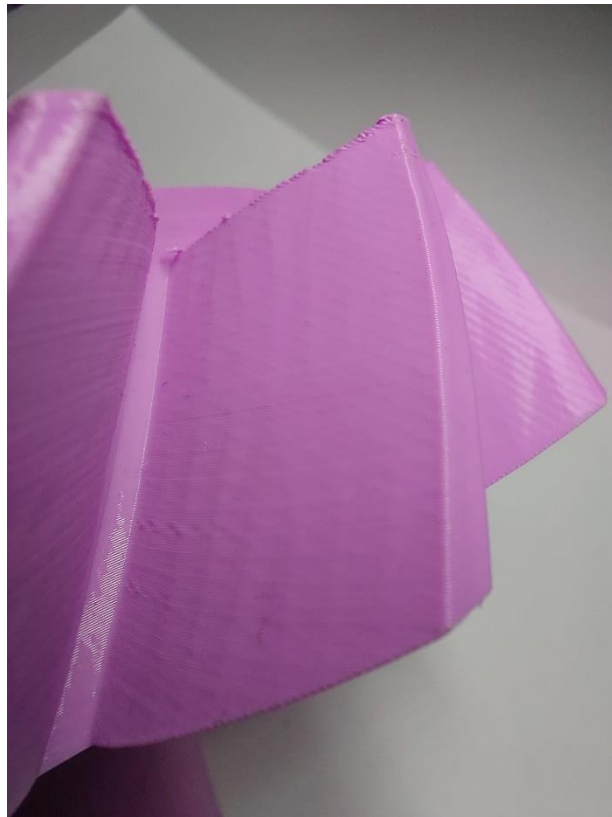
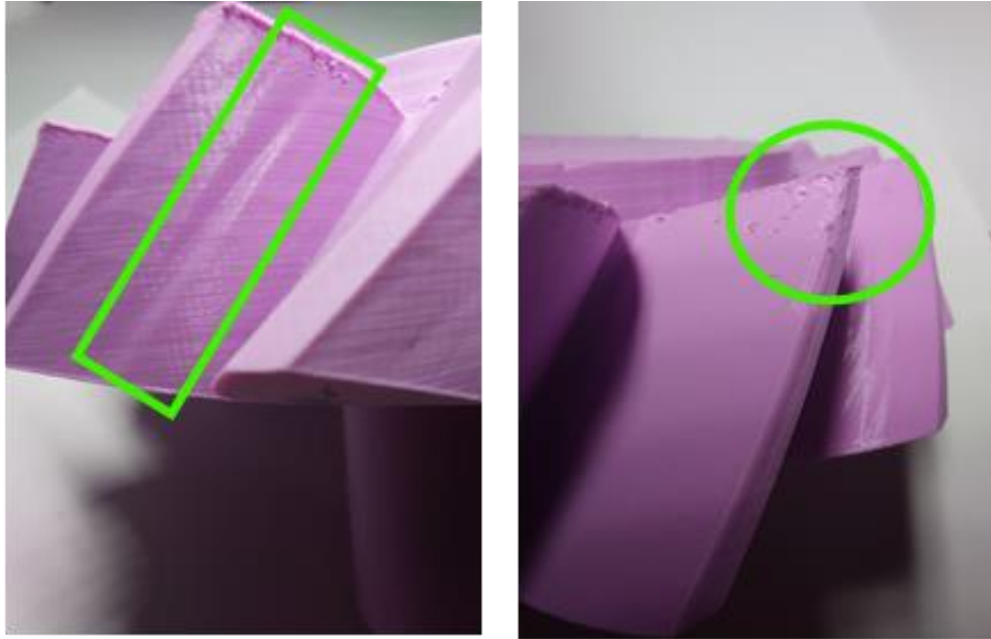
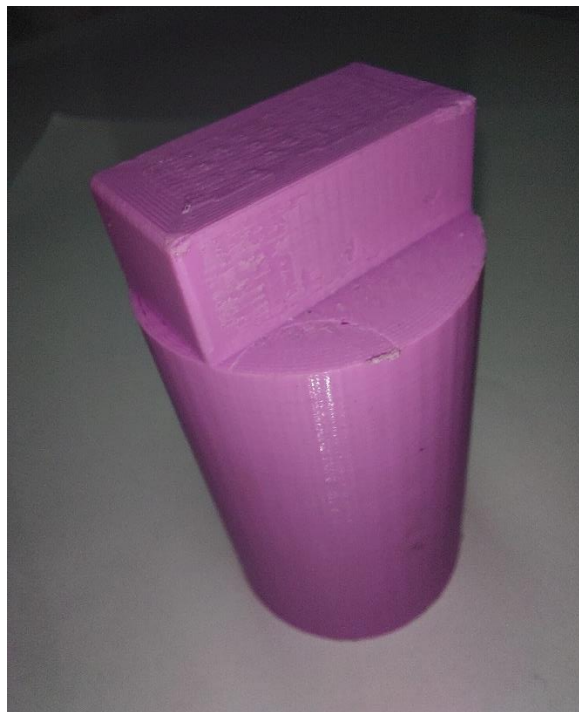


Figura 51. Acabado del diente en impresión en 3D



*Figura 52. Defectos que han surgido en el modelo impreso*

En cuanto al soporte que se ha modelado para el engranaje, no se ha imprimido bien ya que el macho que encaja en la ranura no encajaba y por razón de eso se tuvo que quitar algo de material del macho para poder encajar este en la ranura.



*Figura 53. Soporte del engranaje*

El programa de Código G de las trayectorias de mecanizado tiene 1059 líneas y este programa se puede ver en el anexo. De este programa se ha intentado realizar algunas pasadas para comprobar que se realizan las



trayectorias requeridas. De esta prueba se ha obtenido que en una de las caras del hueco se realizan los movimientos que necesitamos. Para la otra cara se ha intentado realizar primero las trayectorias en vacío y se ha comprobado que se producen choques, aunque se realizan los movimientos requeridos sobre el diente.

Y para tener una prueba de que se ha obtenido un resultado se ha hecho varios videos de distintos ángulos y en el anexo se pueden ver algunos fotogramas de las trayectorias.

## 9. Conclusiones

Este estudio se ha propuesto como alternativa a los programas de simulación de mecanizado y para ello se han tenido que cumplir unos objetivos:

- Obtener la geometría del engranaje.
- Obtener un modelo 3d del engranaje.
- Obtener las trayectorias de mecanizado.
- La simulación de las trayectorias de mecanizado

La metodología desarrollada en este estudio comparada con los programas de simulación tiene algunos inconvenientes y se pueden destacar:

- Hay que tener cierta visión espacial a la hora de organizar los puntos del engranaje y a la hora de calcular los vectores de las trayectorias de mecanizado.
- Hay que asegurarse que el modelo imprimido cumpla con las dimensiones requeridas, ya que si no cumple la simulación no será muy exacta, aunque si la diferencia no es muy grande se podría seguir con la simulación.
- No se puede tener en cuenta objetos vecinos para evitar choques.
- Si no se realiza la calibración bien no se podría obtener el resultado requerido en el modelo.

En cuanto a los puntos positivos de esta metodología, se puede destacar:

- La simulación directamente en la fresadora permite tener en cuenta ciertos problemas que sería difícil detectarlos en los programas de simulación.
- Simular en la fresadora permite obtener la calibración correcta para realizar una operación real de mecanizado.

### 9.1. Propuestas para continuar el estudio

Para continuar este estudio se propone lo siguiente:

- Obtener las trayectorias del desbaste
- Realizar un programa en Visual Basic para automatizar los cálculos
- Probar diferentes técnicas de impresión 3d y comprobar mediante un estudio metrológico cual sería más cercano al engranaje calculado.
- Realizar la simulación de desbaste y acabado.

## 10. Fuentes

- [1] S.-H. Suh, S. K. Kang, D.-H. Chung, y I. Stroud, «Theory and Design of CNC Systems», 2008, doi: 10.1007/978-1-84800-336-1.
- [2] D. T. Jelaska, *Gears and Gear Drives*. New York, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. [En línea]. Available: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/univupct-ebooks/detail.action?docID=1014786>
- [3] J. Klingenberg, «Bevel gear: Fundamentals and applications», *Bevel Gear: Fundamentals and Applications*, pp. 1-328, ene. 2016, doi: 10.1007/978-3-662-43893-0/COVER.
- [4] «Metal Big Spiral Bevel Gear Customized Drawings Forging Factory - Buy Metal Big Spiral Bevel Gear Customized Drawings Forging Factory, Differential Spiral Bevel Gear, Metal Big Spiral Bevel Gear Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/metal-big-spiral-bevel-gear-customized-62193069724.html> (accedido sep. 08, 2022).
- [5] R. K. Mobley, «Gears and Gear Drives», *Plant Engineer's Handbook*, pp. 1029-1042, ene. 2001, doi: 10.1016/B978-075067328-0/50059-8.
- [6] Tsai Y. C., Chin P. C (1987). Surface Geometry of Straight and Spiral Bevel Gears. *Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design*.
- [7] «Spiral Bevel and Hypoid Gear Cutting Technology Update | Gear Technology Magazine». <https://www.geartechnology.com/articles/20031-spiral-bevel-and-hypoid-gear-cutting-technology-update> (accedido sep. 08, 2022).
- [8] «6-18 Inches, Gleason Spiral Bevel Gear Cutter, Tri-plex Roughing - Buy Milling Cutter, Gear Cutter, Spiral Bevel Gear Cutter Product on Alibaba.com». [https://hrbtool.en.alibaba.com/product/1354242775-210005052/6\\_18\\_inches\\_gleason\\_spiral\\_bevel\\_gear\\_cutter\\_tri\\_plex\\_roughing.html](https://hrbtool.en.alibaba.com/product/1354242775-210005052/6_18_inches_gleason_spiral_bevel_gear_cutter_tri_plex_roughing.html) (accedido sep. 08, 2022).
- [9] A. Álvarez, L. N. L. de Lacalle, A. Olaiz, y A. Rivero, «Large Spiral Bevel Gears on Universal 5-axis Milling Machines: A Complete Process», *Procedia Eng*, vol. 132, pp. 397-404, ene. 2015, doi: 10.1016/J.PROENG.2015.12.511.
- [10] K. Rajain, O. Sliusarenko, M. Bizzarri, y M. Bartoñ, «Curve-guided 5-axis CNC flank milling of free-form surfaces using custom-shaped tools», *Comput Aided Geom Des*, vol. 94, p. 102082, mar. 2022, doi: 10.1016/J.CAGD.2022.102082.
- [11] S. Y. Liang y A. J. Shih, «Analysis of machining and machine tools», *Analysis of Machining and Machine Tools*, pp. 1-230, ene. 2015, doi: 10.1007/978-1-4899-7645-1/COVER.
- [12] «Taladro Y Molino De Columna Redonda Accionado Por Oreja, 7032g - Buy Drilling And Milling Machine, Round Column Drill And Mill Machine, Gear-driven Drill And Mill Machine Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Gear-driven-round-column-drill-and-60509673858.html> (accedido sep. 08, 2022).
- [13] «Torno Machine Cz1440a Tornos Paralelos - Buy Torno Mecanico Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Lathe-machine-CZ1440A-lathe-s-parallel-300018301903.html> (accedido sep. 08, 2022).

- [14] W. Grzesik, *Advanced Machining Processes of Metallic Materials : Theory, Modelling and Applications*. Oxford, NETHERLANDS, THE: Elsevier Science & Technology, 2008. [En línea]. Available: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/univupct-ebooks/detail.action?docID=330234>
- [15] «How does a 4-axis CNC lathe work? - Quora». <https://www.quora.com/How-does-a-4-axis-CNC-lathe-work> (accedido sep. 08, 2022).
- [16] «The Advantages Of 5-Axis CNC Machining - SANS». <https://www.sansmachining.com/the-advantages-of-5-axis-CNC-machining/> (accedido sep. 08, 2022).
- [17] S. P. S. S. Sivam, K. Saravanan, N. Pradeep, S. RajendraKumar, y S. Karuppiah, «Comparison of manufacturing data analysis for 5 & 3-Axis Vertical Machining Center for the time and tool benefits of industries», *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, n.º 4, pp. 196-201, 2018, doi: 10.14419/IJET.V7I4.5.20044.
- [18] «Fresadora Mini 6040 De 5 Ejes,Máquina De Tallado De 2,2 Kccc C Con 2,2 W 3d Cnc,Enrutador De Tallado De Madera - Buy Cnc Milling Machine,Cnc Carving Machine,Cnc Wood Carving Router Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5-axis-6040-mini-CNC-milling-62267762893.html> (accedido sep. 08, 2022).
- [19] «Enrutador Cnc De 5 Ejes,Fresadora Cnc Grande,Máquina De Espuma De 5 Ejes - Buy 5axis Cnc Router,Large Cnc Milling Machine,5 Axis Foam Cnc Machine Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5-axis-cnc-router-large-cnc-62524754812.html> (accedido sep. 08, 2022).
- [20] I. Gibson, D. Rosen, y B. Stucker, «Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition», *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Second Edition*, pp. 1-498, ene. 2015, doi: 10.1007/978-1-4939-2113-3/COVER.
- [21] «Archivo:3D Printer Extruder.png - Wikipedia, la enciclopedia libre». [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:3D\\_Printer\\_Extruder.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:3D_Printer_Extruder.png) (accedido sep. 08, 2022).
- [22] «Rtillery-controlador De Velocidad De 300x300x400mm,Dispositivo De Recepción De 300x300x400mm,Nivel Irect - Buy Artillery X2,Impresoras 3d,3d Printer Product on Alibaba.com». <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Artillery-3D-Printer-Sidewinder-X2-300-60739259691.html> (accedido sep. 08, 2022).
- [23] Robert L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Fourth. Pearson Prentice Hall, 2005.
- [24] J. Teixeira Alves, M. Guingand, y J. P. de Vaujany, «Designing and manufacturing spiral bevel gears using 5-axis computer numerical control (CNC) milling machines», *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, vol. 135, n.º 2, 2013, doi: 10.1115/1.4023153.
- [25] «File:Logarithmic spiral.png - Wikimedia Commons». [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Logarithmic\\_spiral.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Logarithmic_spiral.png) (accedido sep. 08, 2022).
- [26] «File:Spiral-cone-log.svg - Wikimedia Commons». <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spiral-cone-log.svg> (accedido sep. 08, 2022).
- [27] Delepine D. (2005). Geometría diferencial I. Instituto de Física de la universidad de Guanajuato
- [28] «Fresado». <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx> (accedido sep. 08, 2022).
- [29] «8065. Manual de programación.»
- [30] Ó. De y F. Ortiz, «Fabricación Asistida por Ordenador Programación Avanzada de CNC 1. Introducción a la programación avanzada CNC-2D».

# 11. Anexo

## 11.1. Ajustes de impresión

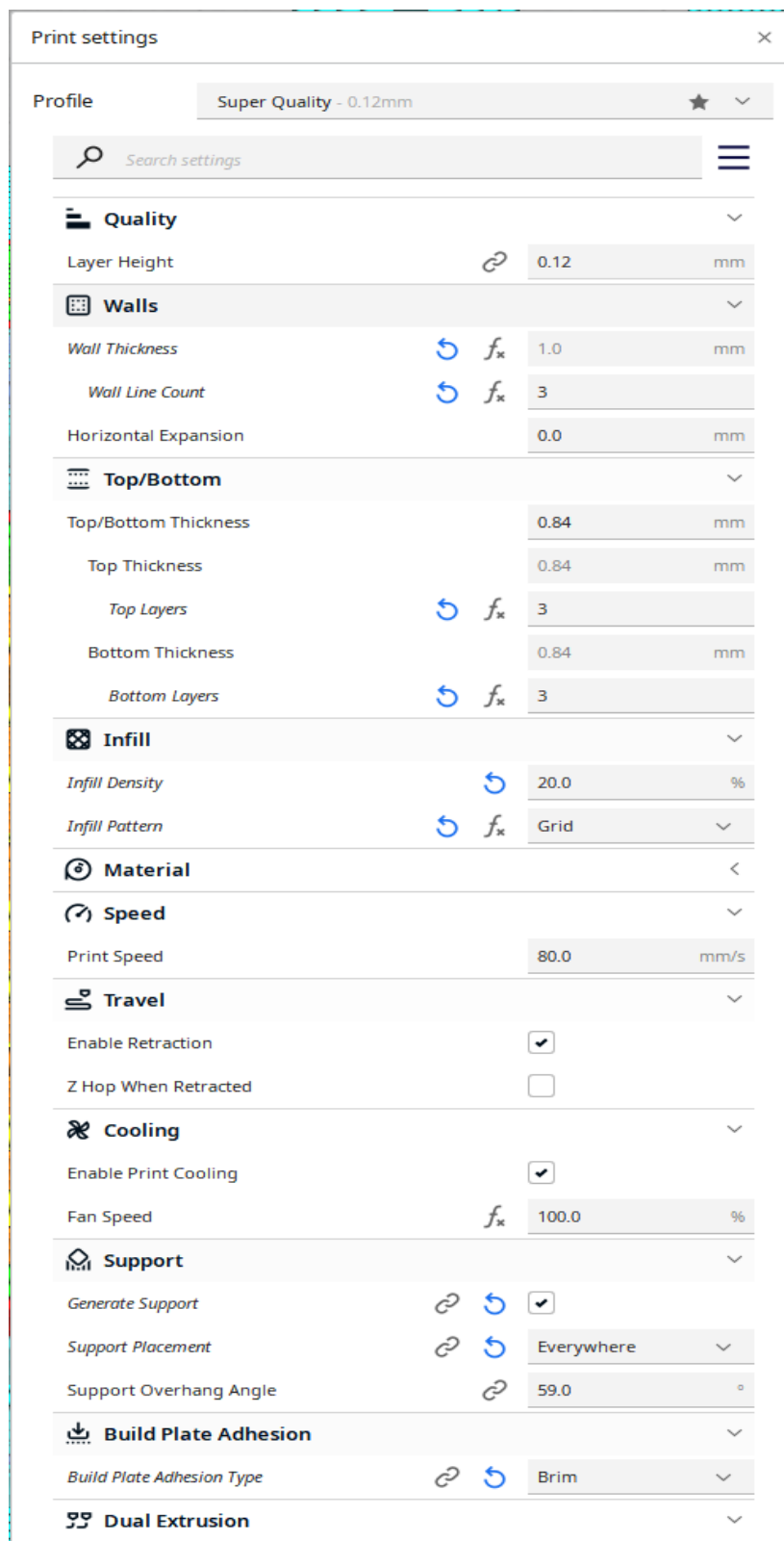


Figura 54. Ajustes del Cura Ultimaker para la impresión del engranaje

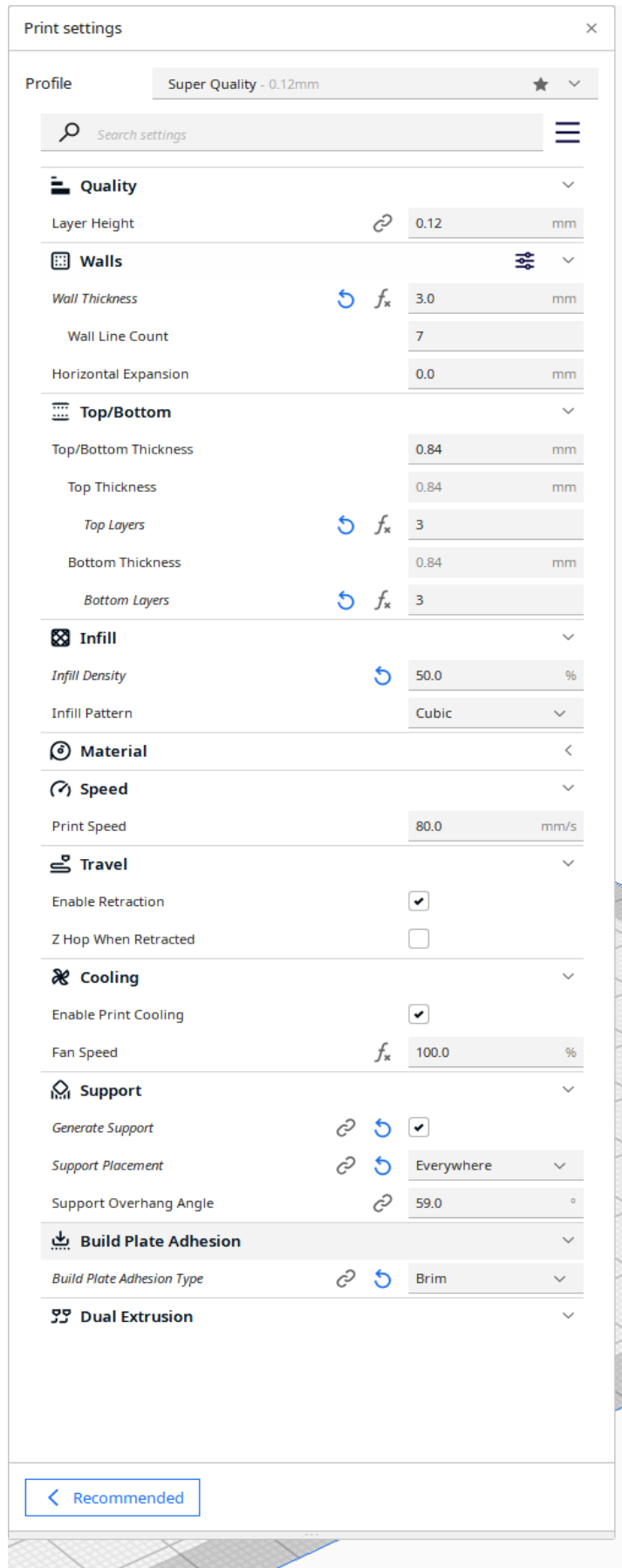


Figura 55. Ajustes del Cura Ultimaker para la impresión del soporte del engranaje

## 11.2. Medidas de la ranura del engranaje y el soporte de este

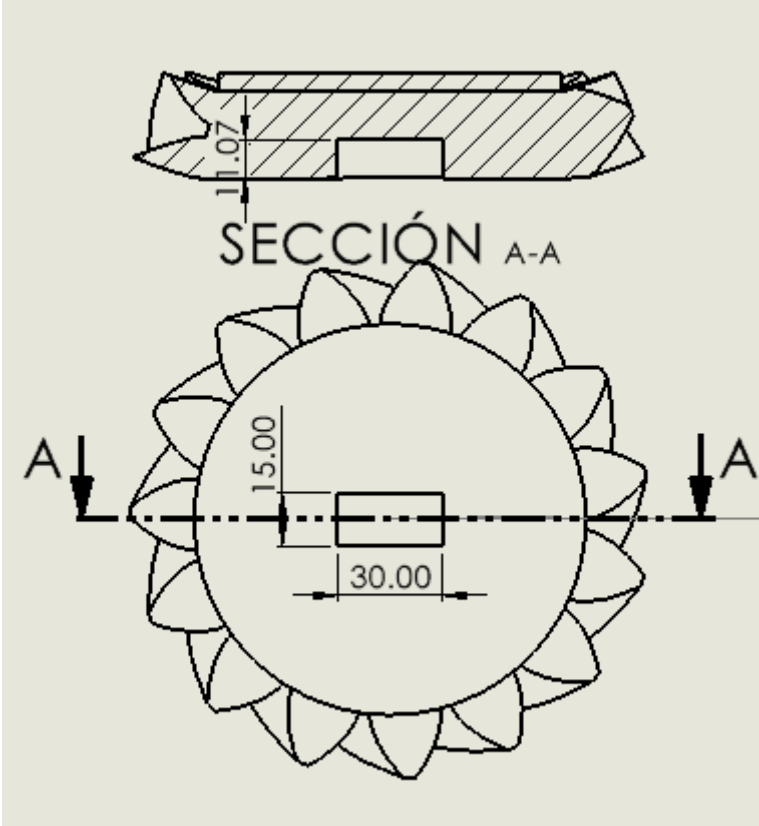


Figura 56. Medidas de la ranura del engranaje

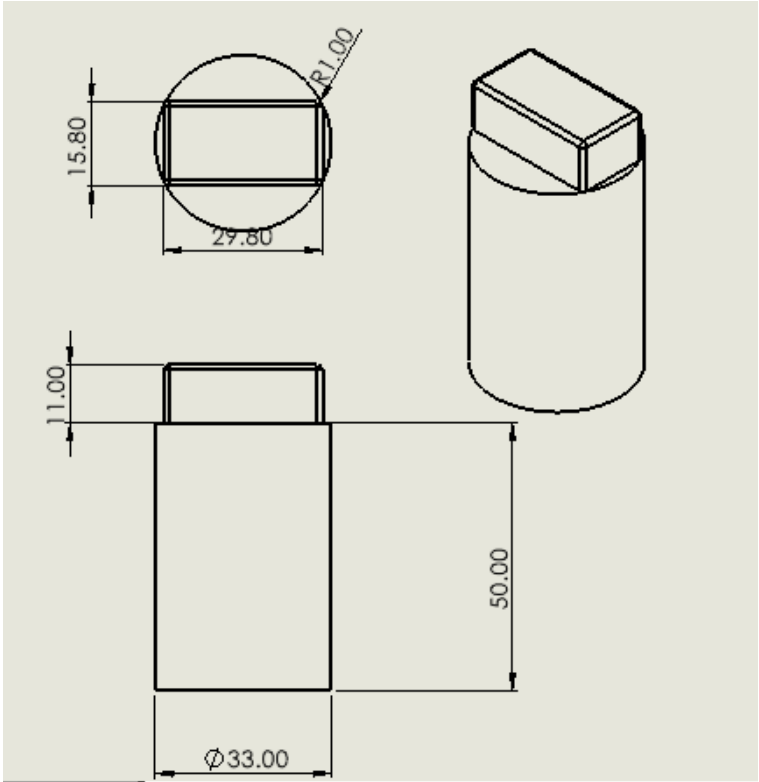
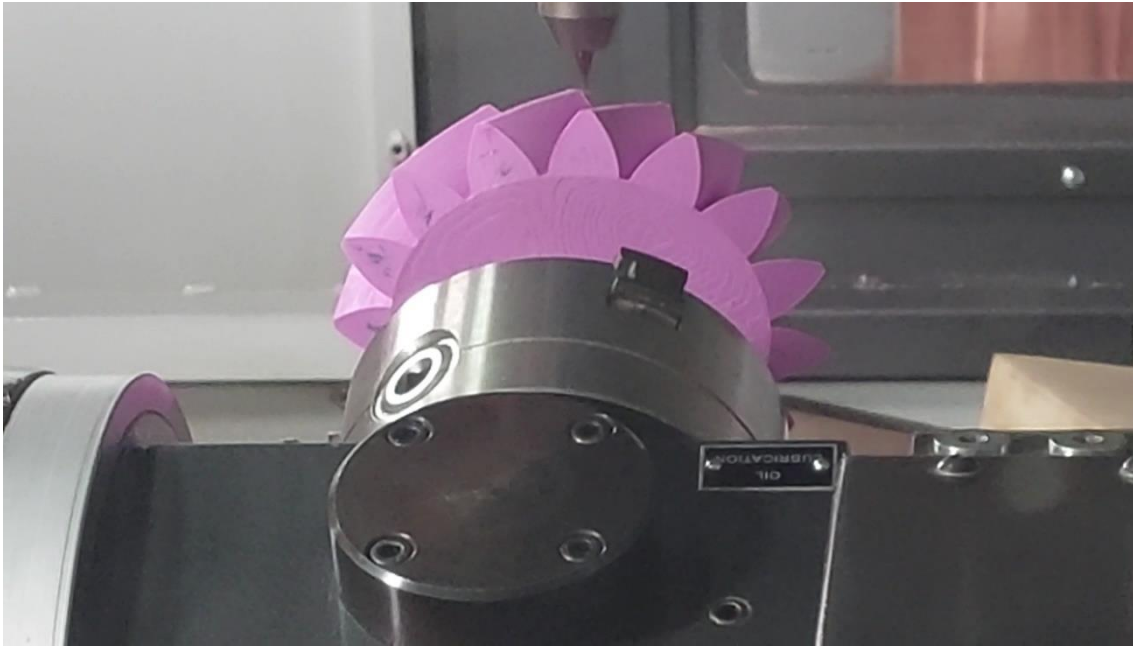


Figura 57. Medidas del soporte del engranaje

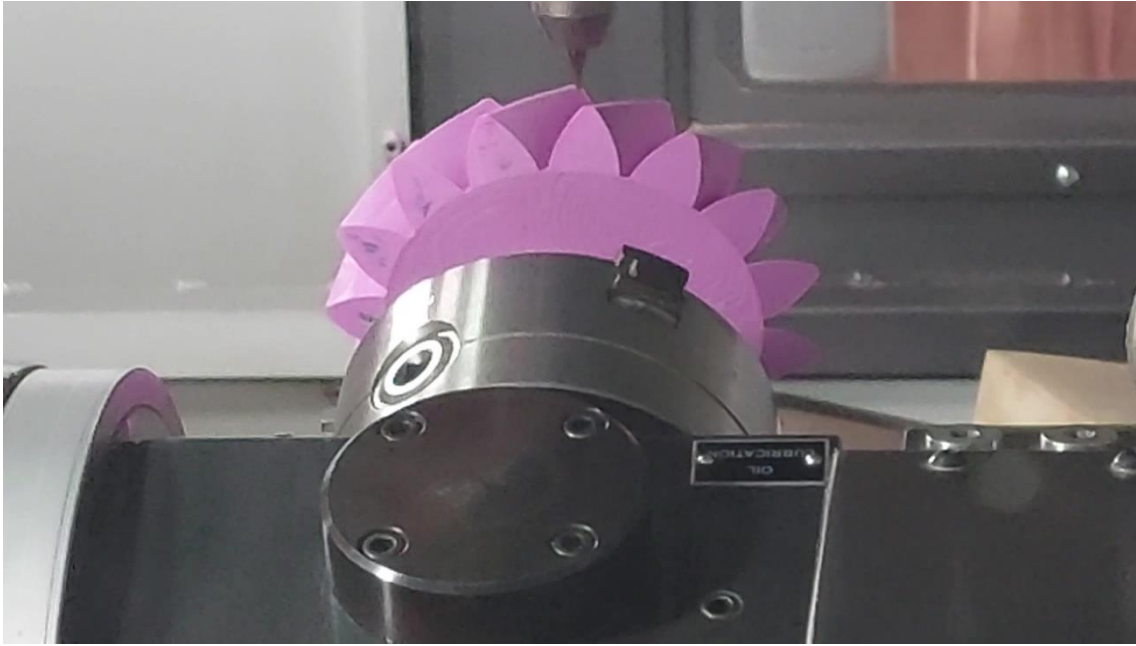
### 11.3. Fotogramas de las trayectorias.



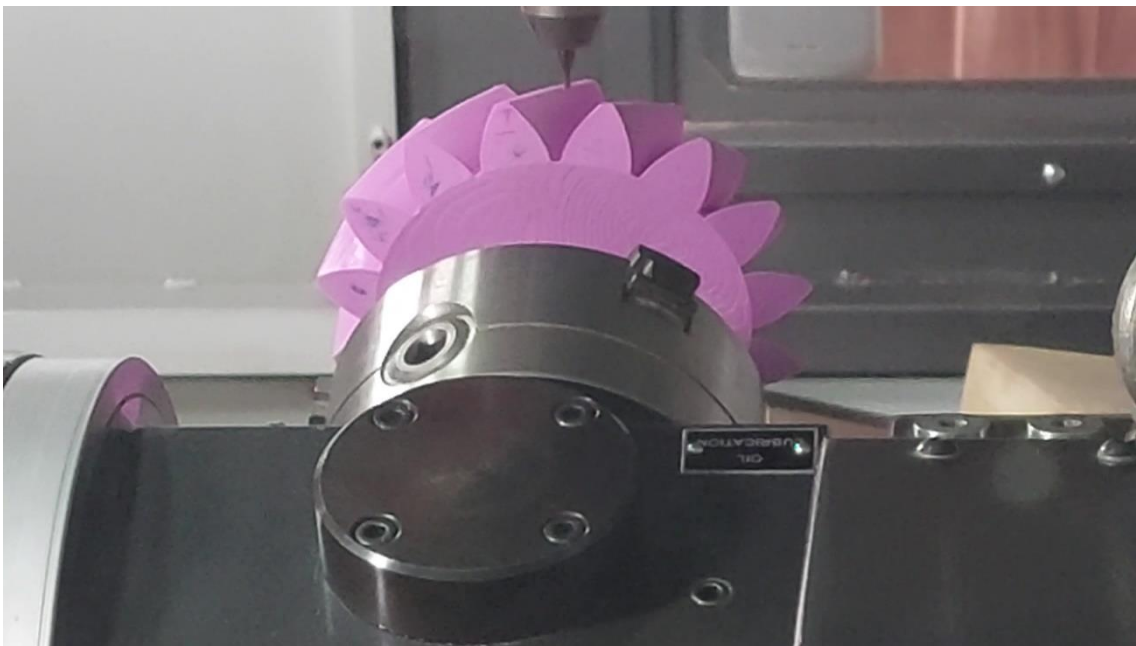
*Figura 58. Trayectoria 1*



*Figura 59. Trayectoria 2*

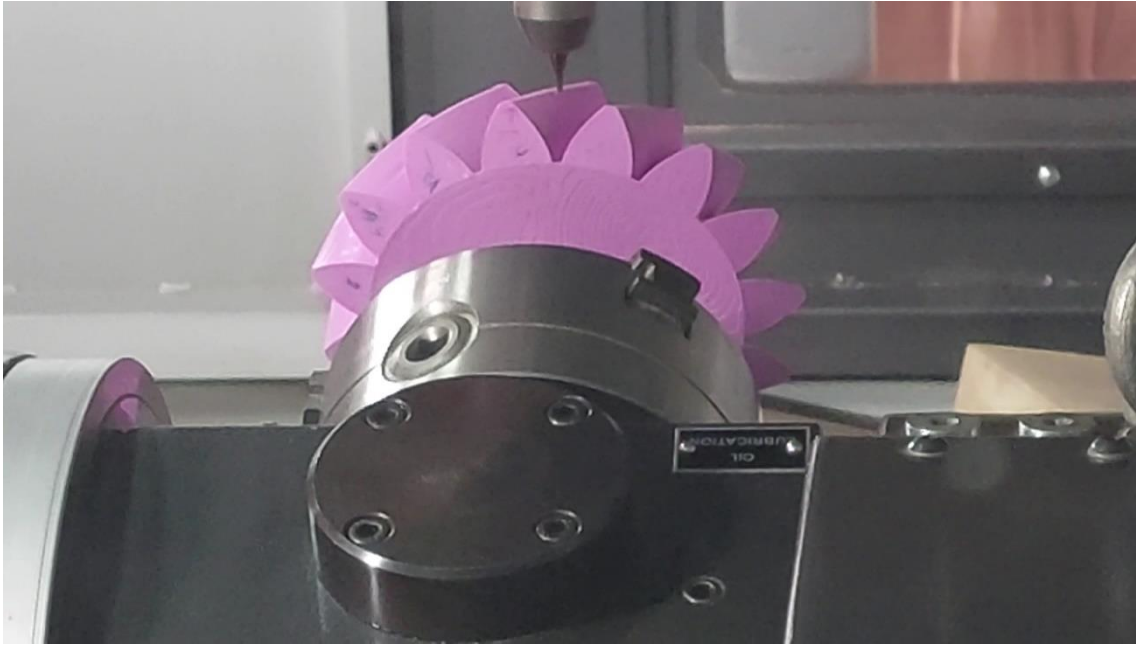


*Figura 60. Trayectoria 3*



*Figura 61. Trayectoria 4*

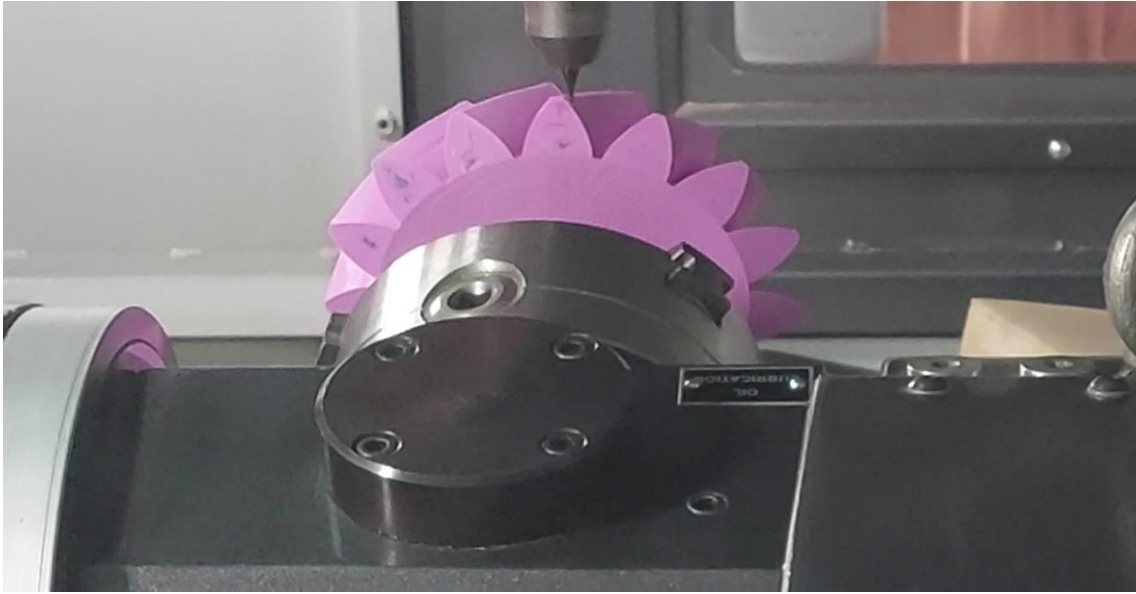




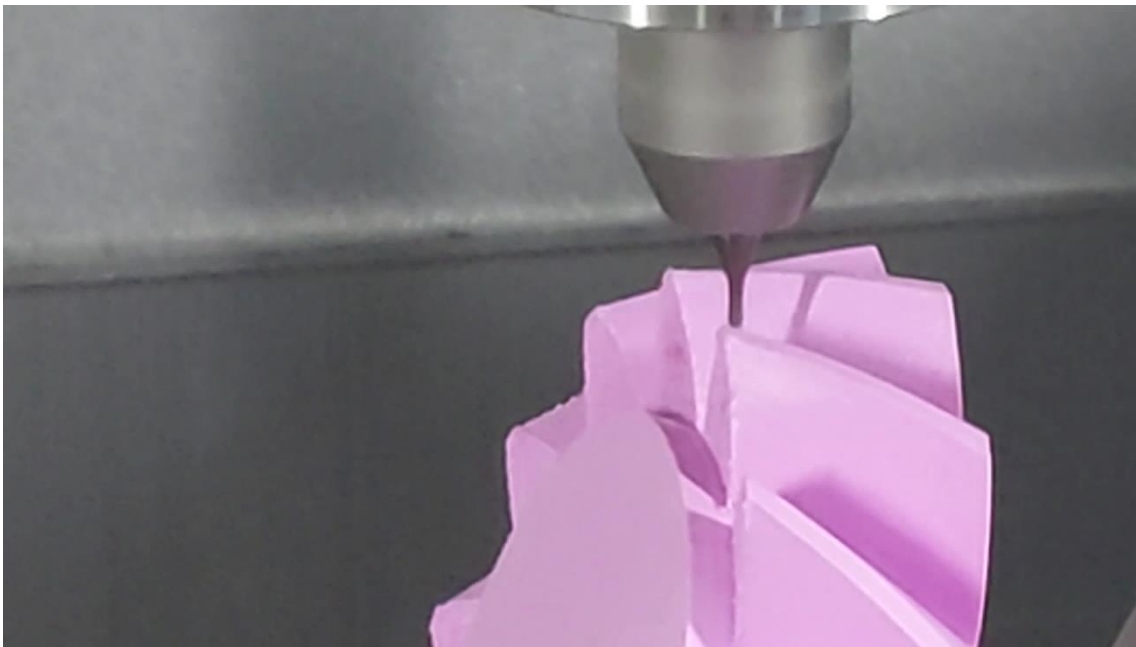
*Figura 62. Trayectoria 6*



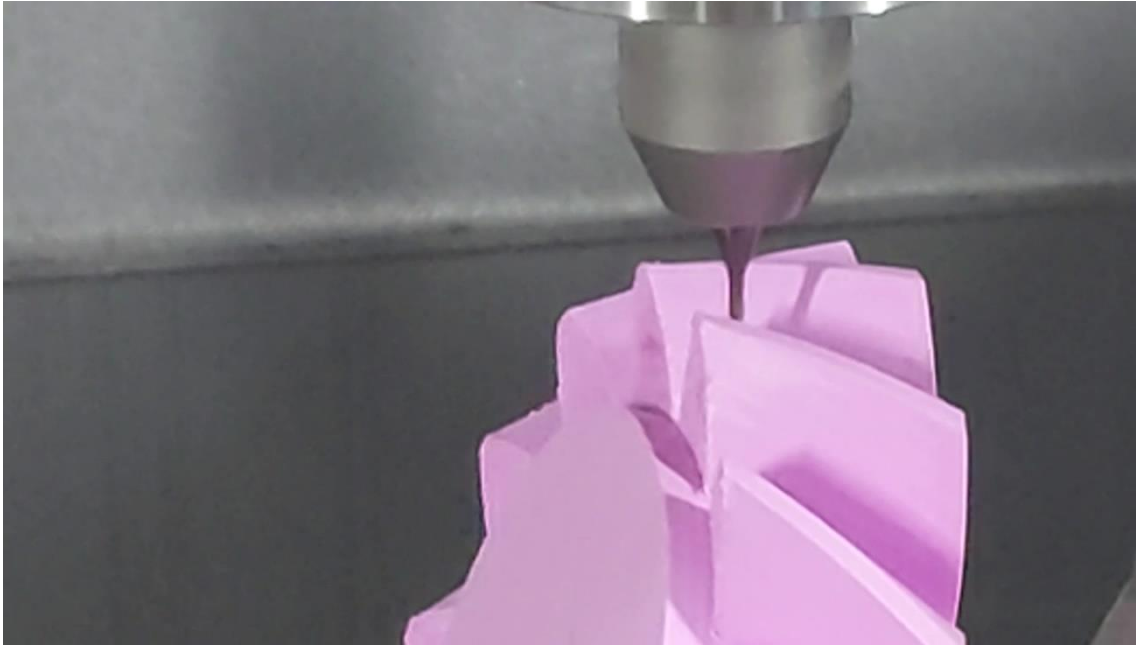
*Figura 63. Trayectoria 7*



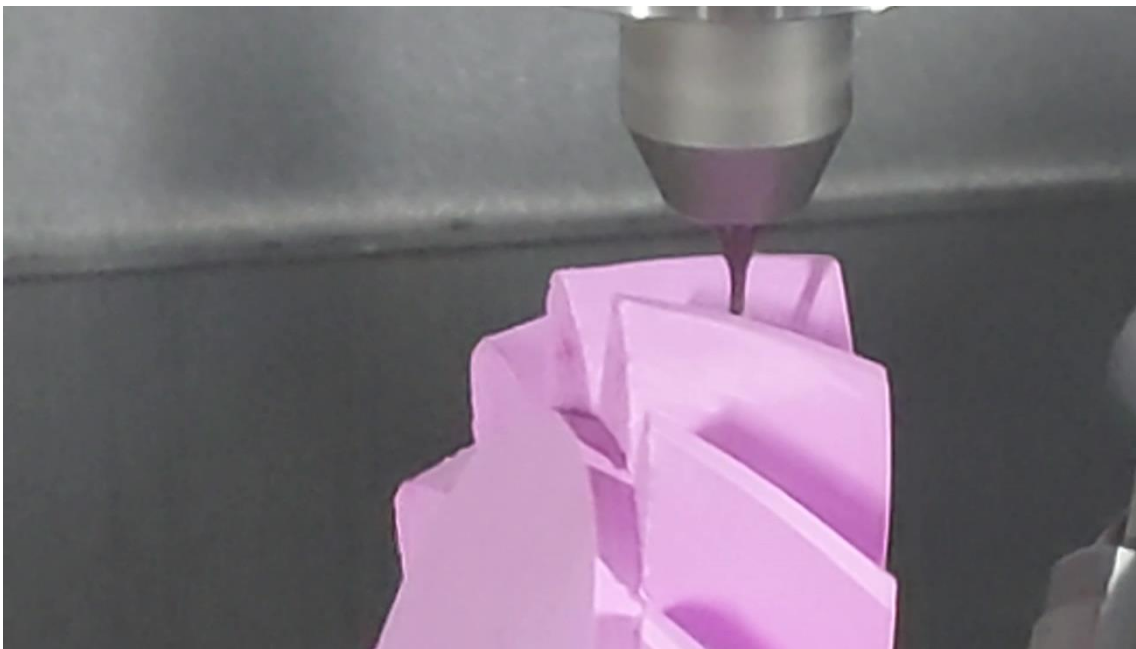
*Figura 64. Trayectoria 8*



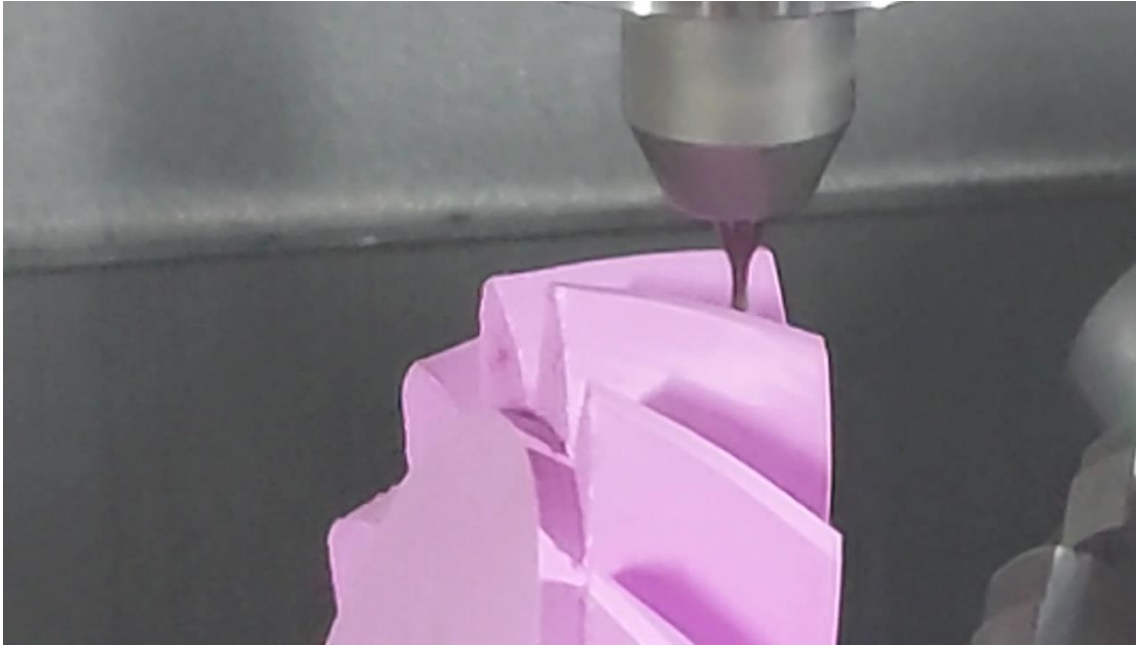
*Figura 65. Trayectoria 9*



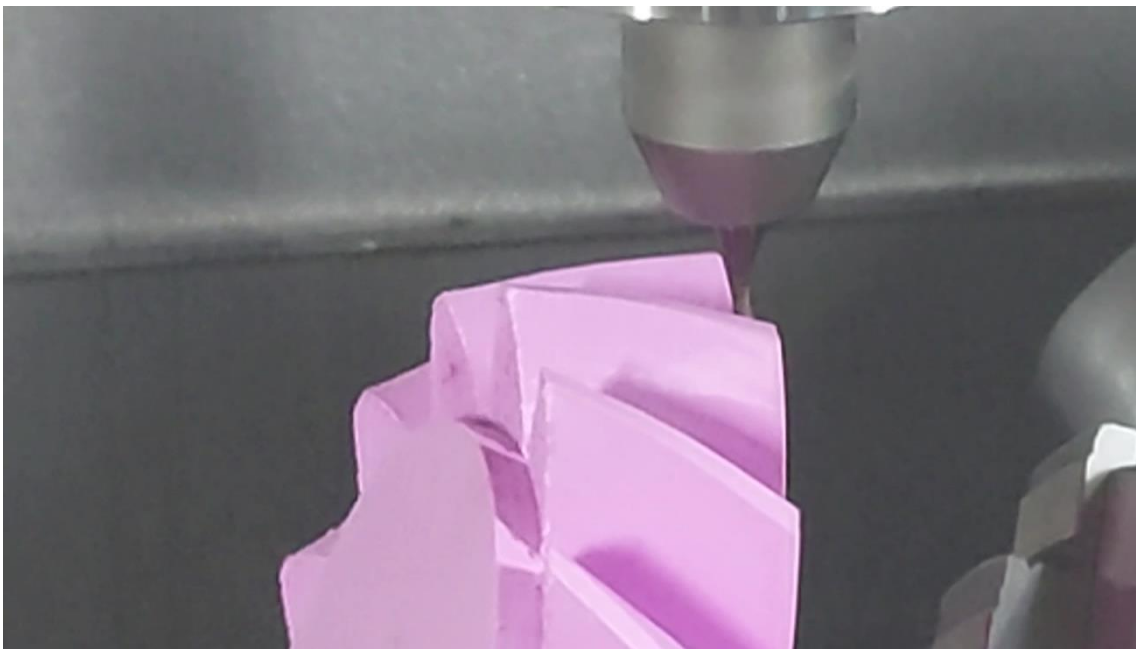
*Figura 66. Trayectoria 10*



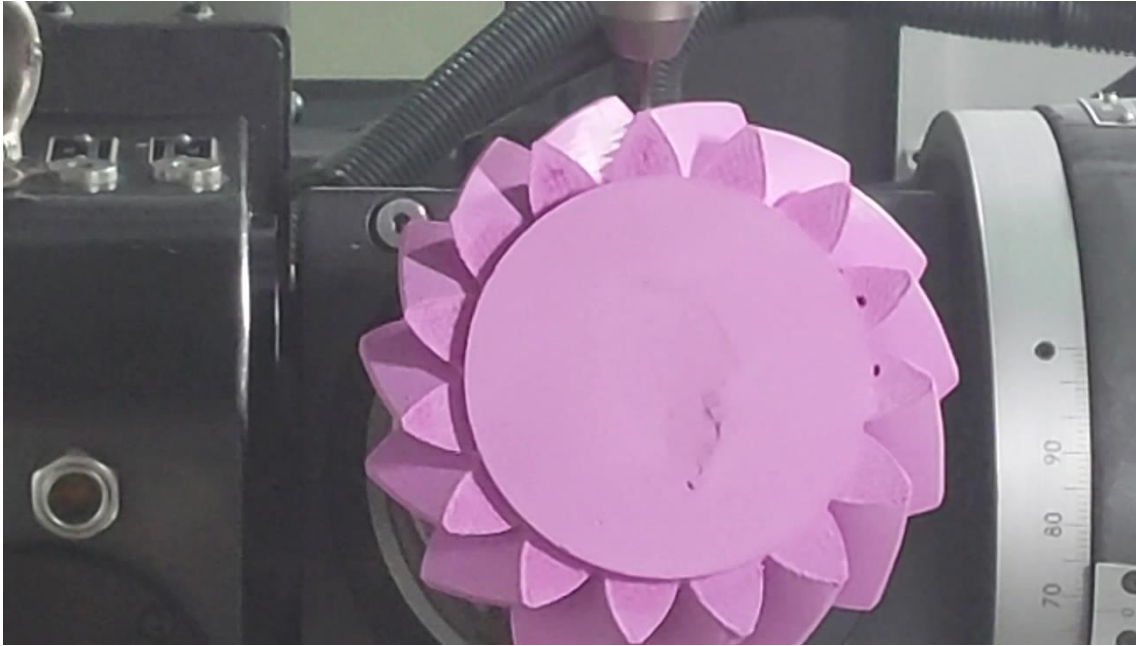
*Figura 67. Trayectoria 11*



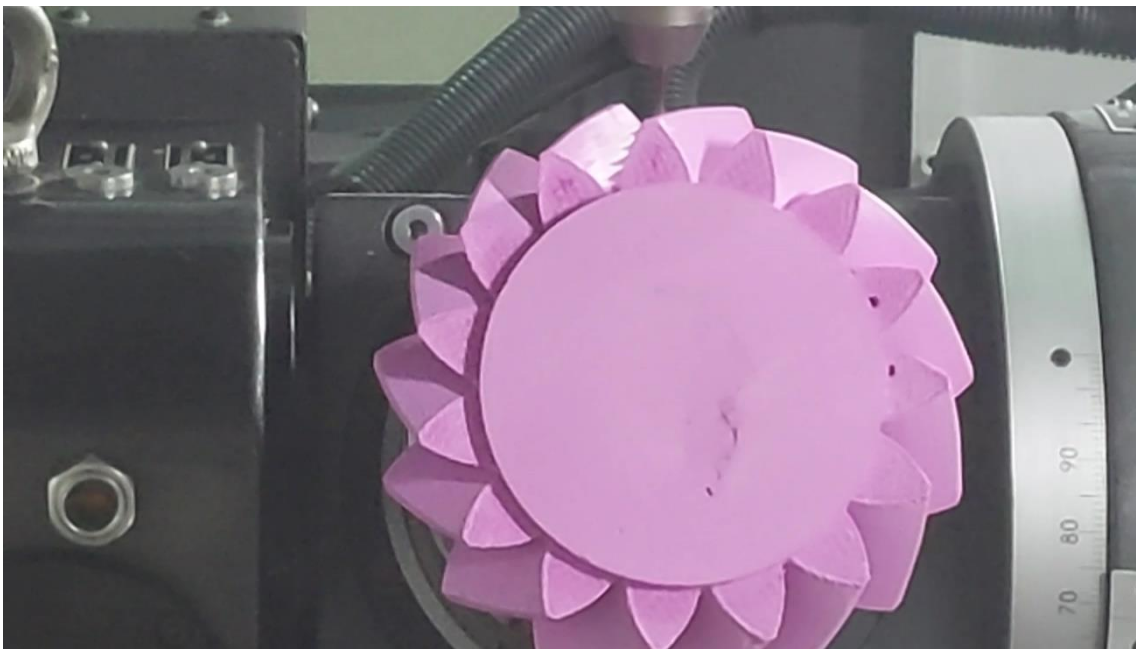
*Figura 68. Trayectoria 12*



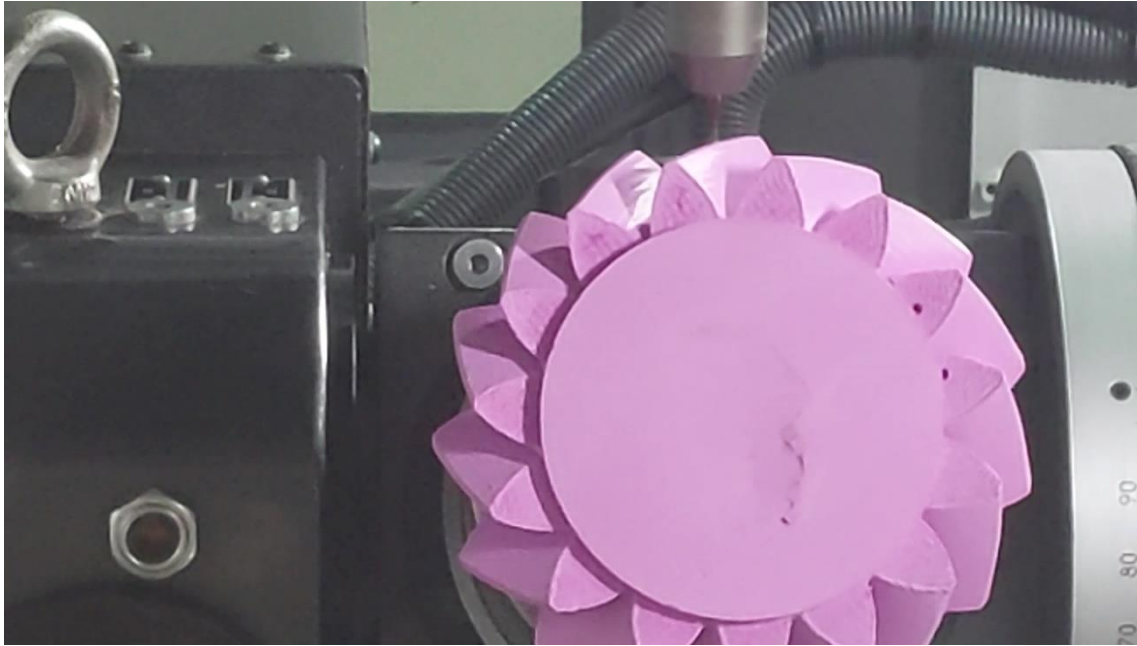
*Figura 69. Trayectoria 13*



*Figura 70. Trayectoria 14*



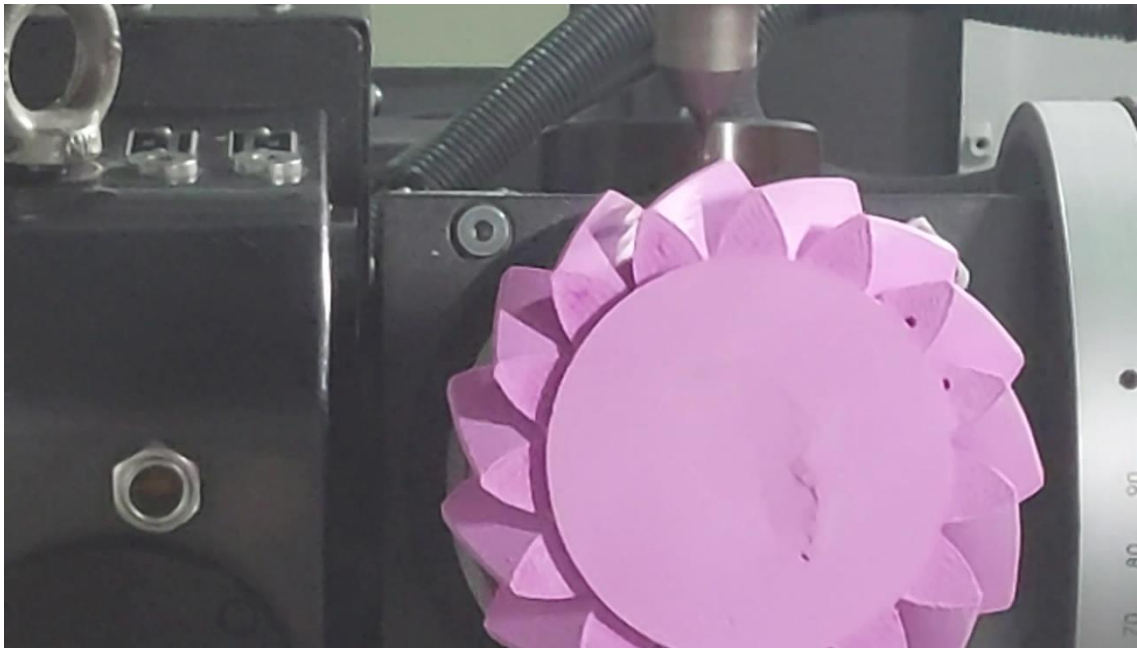
*Figura 71. Trayectoria 15*



*Figura 72. Trayectoria 16*



*Figura 73. Trayectoria 17*



*Figura 74. Trayectoria 18*

## 11.4. El programa de Código G para realizar las trayectorias de acabado

N 10 G00 G90 G94 G97 G71 M11 M13  
N 20 T11 D1 M6  
N 30 F 200 S 4000 M3  
N 40 G0 X -166.773 Y 20.728 Z 190  
N 50 G0 B 61.364 C -3.495  
N 60 G0 X -175.241 Y 20.728 Z 162.246 B 61.364 C -3.495  
N 70 G1 X -166.773 Y 10.797 Z 161.97 B 61.822 C 1.432  
N 80 G1 X -165.508 Y 10.869 Z 161.823 B 61.822 C 0.401  
N 90 G1 X -164.243 Y 10.942 Z 161.675 B 61.822 C -0.688  
N 100 G1 X -162.978 Y 11.014 Z 161.528 B 61.822 C -1.719  
N 110 G1 X -161.713 Y 11.086 Z 161.38 B 61.765 C -2.75  
N 120 G1 X -160.448 Y 11.159 Z 161.232 B 61.765 C -3.724  
N 130 G1 X -159.184 Y 11.231 Z 161.083 B 61.765 C -4.756  
N 140 G1 X -157.919 Y 11.304 Z 160.935 B 61.765 C -5.787  
N 150 G1 X -156.655 Y 11.376 Z 160.786 B 61.765 C -6.761  
N 160 G1 X -155.39 Y 11.448 Z 160.638 B 61.765 C -7.735  
N 170 G1 X -154.126 Y 11.521 Z 160.489 B 61.765 C -8.709  
N 180 G1 X -152.862 Y 11.593 Z 160.339 B 61.765 C -9.683  
N 190 G1 X -151.598 Y 11.665 Z 160.19 B 61.765 C -10.657  
N 200 G1 X -150.334 Y 11.738 Z 160.041 B 61.765 C -11.631  
N 210 G1 X -149.07 Y 11.81 Z 159.891 B 61.765 C -12.605  
N 220 G1 X -147.806 Y 11.882 Z 159.741 B 61.765 C -13.579  
N 230 G1 X -146.542 Y 11.955 Z 159.592 B 61.765 C -14.496  
N 240 G1 X -145.278 Y 12.027 Z 159.441 B 61.765 C -15.47  
N 250 G1 X -144.015 Y 12.1 Z 159.291 B 61.765 C -16.387  
N 260 G1 X -142.751 Y 12.172 Z 159.141 B 61.765 C -17.303  
N 270 G1 X -139.97 Y 18.668 Z 159.923 B 60.905 C -23.262  
N 280 G0 X -139.97 Y 18.668 Z 209.923  
N 290 G0 B 63.255 C 0.688  
N 300 G0 X -179.431 Y 17.322  
N 310 G0 X -179.431 Y 17.322 Z 157.318 B 63.255 C 0.688  
N 320 G1 X -172.763 Y 8.036 Z 155.057 B 64.229 C 4.698  
N 330 G1 X -171.546 Y 8.127 Z 154.893 B 64.229 C 3.667  
N 340 G1 X -170.33 Y 8.217 Z 154.729 B 64.286 C 2.636  
N 350 G1 X -169.114 Y 8.307 Z 154.565 B 64.286 C 1.547  
N 360 G1 X -167.898 Y 8.396 Z 154.4 B 64.286 C 0.516  
N 370 G1 X -166.683 Y 8.484 Z 154.236 B 64.286 C -0.458  
N 380 G1 X -165.467 Y 8.572 Z 154.071 B 64.343 C -1.49  
N 390 G1 X -164.252 Y 8.658 Z 153.907 B 64.343 C -2.521  
N 400 G1 X -163.036 Y 8.744 Z 153.743 B 64.343 C -3.495  
N 410 G1 X -161.82 Y 8.829 Z 153.58 B 64.4 C -4.526



N 420 G1 X -160.604 Y 8.913 Z 153.417 B 64.4 C -5.5  
N 430 G1 X -159.388 Y 8.995 Z 153.254 B 64.4 C -6.474  
N 440 G1 X -158.171 Y 9.077 Z 153.092 B 64.4 C -7.448  
N 450 G1 X -156.954 Y 9.158 Z 152.931 B 64.458 C -8.422  
N 460 G1 X -155.736 Y 9.238 Z 152.77 B 64.458 C -9.397  
N 470 G1 X -154.518 Y 9.317 Z 152.61 B 64.458 C -10.371  
N 480 G1 X -153.3 Y 9.394 Z 152.451 B 64.458 C -11.287  
N 490 G1 X -152.08 Y 9.47 Z 152.292 B 64.515 C -12.261  
N 500 G1 X -150.861 Y 9.546 Z 152.134 B 64.515 C -13.178  
N 510 G1 X -149.64 Y 9.62 Z 151.978 B 64.515 C -14.095  
N 520 G1 X -144.368 Y 14.709 Z 155.493 B 62.853 C -18.908  
N 530 G0 X -144.368 Y 14.709 Z 205.493  
N 540 G0 B 65.833 C 5.901  
N 550 G0 X-185.887 Y 12.815  
N 560 G0 X -185.887 Y 12.815 Z 148.75 B 65.833 C 5.901  
N 570 G1 X -180.753 Y 4.099 Z 144.448 B 67.323 C 9.167  
N 580 G1 X -179.524 Y 4.162 Z 144.349 B 67.323 C 8.079  
N 590 G1 X -178.296 Y 4.225 Z 144.25 B 67.323 C 7.047  
N 600 G1 X -177.068 Y 4.288 Z 144.15 B 67.323 C 6.016  
N 610 G1 X -175.841 Y 4.35 Z 144.049 B 67.38 C 4.985  
N 620 G1 X -174.613 Y 4.411 Z 143.949 B 67.38 C 3.953  
N 630 G1 X -173.387 Y 4.472 Z 143.848 B 67.38 C 2.922  
N 640 G1 X -172.16 Y 4.533 Z 143.747 B 67.437 C 1.891  
N 650 G1 X -170.933 Y 4.593 Z 143.647 B 67.437 C 0.917  
N 660 G1 X -169.707 Y 4.652 Z 143.546 B 67.437 C -0.115  
N 670 G1 X -168.48 Y 4.71 Z 143.445 B 67.437 C -1.089  
N 680 G1 X -167.253 Y 4.768 Z 143.345 B 67.494 C -2.063  
N 690 G1 X -166.027 Y 4.825 Z 143.245 B 67.494 C -3.037  
N 700 G1 X -164.8 Y 4.881 Z 143.146 B 67.494 C -4.011  
N 710 G1 X -163.572 Y 4.936 Z 143.046 B 67.494 C -4.985  
N 720 G1 X -162.345 Y 4.99 Z 142.948 B 67.552 C -5.959  
N 730 G1 X -161.117 Y 5.043 Z 142.85 B 67.552 C -6.875  
N 740 G1 X -159.889 Y 5.096 Z 142.752 B 67.552 C -7.85  
N 750 G1 X -158.661 Y 5.147 Z 142.655 B 67.552 C -8.766  
N 760 G1 X -157.432 Y 5.198 Z 142.559 B 67.609 C -9.683  
N 770 G1 X -151.118 Y 8.875 Z 147.867 B 65.489 C -13.465  
N 780 G0 X -151.118 Y 8.875 Z 197.867  
N 790 G0 B 68.526 C 10.829  
N 800 G0 X-192.348 Y 8.664  
N 810 G0 X -192.348 Y 8.664 Z 139.244 B 68.526 C 10.829  
N 820 G1 X -188.282 Y 0.362 Z 133.128 B 70.417 C 13.465  
N 830 G1 X -187.045 Y 0.398 Z 133.095 B 70.417 C 12.433  
N 840 G1 X -185.808 Y 0.434 Z 133.061 B 70.417 C 11.345  
N 850 G1 X -184.572 Y 0.469 Z 133.026 B 70.474 C 10.313  
N 860 G1 X -183.336 Y 0.505 Z 132.991 B 70.474 C 9.282  
N 870 G1 X -182.101 Y 0.54 Z 132.955 B 70.474 C 8.251

N 880 G1 X -180.866 Y 0.575 Z 132.919 B 70.531 C 7.219  
N 890 G1 X -179.631 Y 0.609 Z 132.883 B 70.531 C 6.245  
N 900 G1 X -178.397 Y 0.644 Z 132.846 B 70.531 C 5.214  
N 910 G1 X -177.163 Y 0.677 Z 132.809 B 70.531 C 4.24  
N 920 G1 X -175.929 Y 0.71 Z 132.772 B 70.588 C 3.209  
N 930 G1 X -174.695 Y 0.743 Z 132.735 B 70.588 C 2.235  
N 940 G1 X -173.462 Y 0.775 Z 132.698 B 70.588 C 1.261  
N 950 G1 X -172.228 Y 0.806 Z 132.662 B 70.588 C 0.286  
N 960 G1 X -170.994 Y 0.837 Z 132.625 B 70.646 C -0.688  
N 970 G1 X -169.76 Y 0.867 Z 132.589 B 70.646 C -1.604  
N 980 G1 X -168.526 Y 0.896 Z 132.553 B 70.646 C -2.578  
N 990 G1 X -167.292 Y 0.925 Z 132.517 B 70.646 C -3.552  
N 1000 G1 X -166.058 Y 0.953 Z 132.482 B 70.703 C -4.469  
N 1010 G1 X -164.823 Y 0.98 Z 132.447 B 70.703 C -5.386  
N 1020 G1 X -158.08 Y 3.433 Z 139.087 B 68.297 C -8.251  
N 1030 G0 X -158.08 Y 3.433 Z 189.087  
N 1040 G0 B 71.276 C 15.47  
N 1050 G0 X-198.64 Y 4.859  
N 1060 G0 X -198.64 Y 4.859 Z 128.897 B 71.276 C 15.47  
N 1070 G1 X -195.25 Y -3.196 Z 121.164 B 73.568 C 17.704  
N 1080 G1 X -194.007 Y -3.186 Z 121.197 B 73.568 C 16.616  
N 1090 G1 X -192.766 Y -3.177 Z 121.229 B 73.568 C 15.584  
N 1100 G1 X -191.525 Y -3.168 Z 121.26 B 73.568 C 14.553  
N 1110 G1 X -190.285 Y -3.159 Z 121.291 B 73.625 C 13.522  
N 1120 G1 X -189.045 Y -3.15 Z 121.32 B 73.625 C 12.49  
N 1130 G1 X -187.806 Y -3.141 Z 121.349 B 73.625 C 11.459  
N 1140 G1 X -186.567 Y -3.132 Z 121.377 B 73.625 C 10.428  
N 1150 G1 X -185.329 Y -3.123 Z 121.405 B 73.682 C 9.454  
N 1160 G1 X -184.09 Y -3.115 Z 121.432 B 73.682 C 8.422  
N 1170 G1 X -182.853 Y -3.107 Z 121.46 B 73.682 C 7.448  
N 1180 G1 X -181.615 Y -3.099 Z 121.486 B 73.682 C 6.474  
N 1190 G1 X -180.378 Y -3.092 Z 121.513 B 73.74 C 5.5  
N 1200 G1 X -179.14 Y -3.085 Z 121.54 B 73.74 C 4.526  
N 1210 G1 X -177.903 Y -3.079 Z 121.566 B 73.74 C 3.552  
N 1220 G1 X -176.666 Y -3.073 Z 121.593 B 73.74 C 2.578  
N 1230 G1 X -175.429 Y -3.067 Z 121.62 B 73.797 C 1.662  
N 1240 G1 X -174.192 Y -3.063 Z 121.646 B 73.797 C 0.688  
N 1250 G1 X -172.955 Y -3.058 Z 121.674 B 73.797 C -0.229  
N 1260 G1 X -171.718 Y -3.055 Z 121.701 B 73.797 C -1.203  
N 1270 G1 X -165.048 Y -1.622 Z 129.194 B 71.276 C -3.266  
N 1280 G0 X -165.048 Y -1.622 Z 179.194  
N 1290 G0 B 74.141 C 19.824  
N 1300 G0 X-204.612 Y 1.389  
N 1310 G0 X -204.612 Y 1.389 Z 117.813 B 74.141 C 19.824  
N 1320 G1 X -201.569 Y -6.591 Z 108.629 B 76.719 C 21.83  
N 1330 G1 X -200.326 Y -6.609 Z 108.728 B 76.719 C 20.798

N 1340 G1 X -199.084 Y -6.626 Z 108.826 B 76.719 C 19.767  
N 1350 G1 X -197.842 Y -6.643 Z 108.922 B 76.776 C 18.678  
N 1360 G1 X -196.601 Y -6.66 Z 109.018 B 76.776 C 17.647  
N 1370 G1 X -195.361 Y -6.677 Z 109.112 B 76.776 C 16.616  
N 1380 G1 X -194.121 Y -6.693 Z 109.206 B 76.776 C 15.642  
N 1390 G1 X -192.881 Y -6.71 Z 109.299 B 76.776 C 14.61  
N 1400 G1 X -191.642 Y -6.727 Z 109.391 B 76.834 C 13.579  
N 1410 G1 X -190.404 Y -6.744 Z 109.483 B 76.834 C 12.605  
N 1420 G1 X -189.165 Y -6.76 Z 109.574 B 76.834 C 11.631  
N 1430 G1 X -187.928 Y -6.778 Z 109.665 B 76.834 C 10.6  
N 1440 G1 X -186.69 Y -6.795 Z 109.755 B 76.891 C 9.626  
N 1450 G1 X -185.452 Y -6.812 Z 109.845 B 76.891 C 8.652  
N 1460 G1 X -184.215 Y -6.83 Z 109.935 B 76.891 C 7.735  
N 1470 G1 X -182.978 Y -6.848 Z 110.025 B 76.891 C 6.761  
N 1480 G1 X -181.741 Y -6.867 Z 110.114 B 76.891 C 5.787  
N 1490 G1 X -180.504 Y -6.886 Z 110.204 B 76.948 C 4.87  
N 1500 G1 X -179.267 Y -6.905 Z 110.293 B 76.948 C 3.896  
N 1510 G1 X -178.031 Y -6.925 Z 110.383 B 76.948 C 2.979  
N 1520 G1 X -171.83 Y -6.303 Z 118.239 B 74.427 C 1.547  
N 1530 G0 X -171.83 Y -6.303 Z 168.239  
N 1540 G0 B 77.063 C 23.95  
N 1550 G0 X -210.137 Y -1.762  
N 1560 G0 X -210.137 Y -1.762 Z 106.1 B 77.063 C 23.95  
N 1570 G1 X -207.169 Y -9.843 Z 95.599 B 79.87 C 25.955  
N 1580 G1 X -205.929 Y -9.887 Z 95.763 B 79.87 C 24.924  
N 1590 G1 X -204.69 Y -9.93 Z 95.925 B 79.928 C 23.835  
N 1600 G1 X -203.451 Y -9.973 Z 96.087 B 79.928 C 22.804  
N 1610 G1 X -202.213 Y -10.016 Z 96.247 B 79.928 C 21.772  
N 1620 G1 X -200.976 Y -10.058 Z 96.406 B 79.928 C 20.741  
N 1630 G1 X -199.739 Y -10.1 Z 96.564 B 79.928 C 19.71  
N 1640 G1 X -198.502 Y -10.142 Z 96.721 B 79.985 C 18.736  
N 1650 G1 X -197.266 Y -10.184 Z 96.877 B 79.985 C 17.704  
N 1660 G1 X -196.031 Y -10.225 Z 97.032 B 79.985 C 16.73  
N 1670 G1 X -194.796 Y -10.267 Z 97.187 B 79.985 C 15.699  
N 1680 G1 X -193.561 Y -10.309 Z 97.341 B 79.985 C 14.725  
N 1690 G1 X -192.326 Y -10.35 Z 97.495 B 80.042 C 13.751  
N 1700 G1 X -191.092 Y -10.392 Z 97.648 B 80.042 C 12.777  
N 1710 G1 X -189.858 Y -10.434 Z 97.8 B 80.042 C 11.803  
N 1720 G1 X -188.624 Y -10.476 Z 97.953 B 80.042 C 10.886  
N 1730 G1 X -187.391 Y -10.519 Z 98.105 B 80.042 C 9.912  
N 1740 G1 X -186.158 Y -10.561 Z 98.256 B 80.099 C 8.938  
N 1750 G1 X -184.924 Y -10.604 Z 98.408 B 80.099 C 8.021  
N 1760 G1 X -183.691 Y -10.647 Z 98.559 B 80.099 C 7.105  
N 1770 G1 X -178.244 Y -10.626 Z 106.281 B 77.693 C 6.131  
N 1780 G0 X -178.244 Y -10.626 Z 156.281  
N 1790 G0 B 79.985 C 27.846

N 1800 G0 X -215.108 Y -4.609  
N 1810 G0 X -215.108 Y -4.609 Z 93.882 B 79.985 C 27.846  
N 1820 G1 X -211.988 Y -12.967 Z 82.154 B 83.079 C 30.023  
N 1830 G1 X -210.755 Y -13.036 Z 82.381 B 83.079 C 28.992  
N 1840 G1 X -209.523 Y -13.105 Z 82.607 B 83.079 C 27.903  
N 1850 G1 X -208.291 Y -13.173 Z 82.832 B 83.079 C 26.872  
N 1860 G1 X -207.06 Y -13.241 Z 83.056 B 83.079 C 25.84  
N 1870 G1 X -205.829 Y -13.308 Z 83.278 B 83.079 C 24.809  
N 1880 G1 X -204.599 Y -13.376 Z 83.499 B 83.079 C 23.835  
N 1890 G1 X -203.369 Y -13.442 Z 83.719 B 83.136 C 22.804  
N 1900 G1 X -202.14 Y -13.509 Z 83.938 B 83.136 C 21.772  
N 1910 G1 X -200.911 Y -13.575 Z 84.156 B 83.136 C 20.798  
N 1920 G1 X -199.683 Y -13.642 Z 84.373 B 83.136 C 19.824  
N 1930 G1 X -198.454 Y -13.708 Z 84.589 B 83.136 C 18.793  
N 1940 G1 X -197.227 Y -13.774 Z 84.805 B 83.193 C 17.819  
N 1950 G1 X -195.999 Y -13.84 Z 85.02 B 83.193 C 16.845  
N 1960 G1 X -194.772 Y -13.906 Z 85.235 B 83.193 C 15.928  
N 1970 G1 X -193.545 Y -13.972 Z 85.449 B 83.193 C 14.954  
N 1980 G1 X -192.318 Y -14.038 Z 85.662 B 83.193 C 13.98  
N 1990 G1 X -191.091 Y -14.104 Z 85.875 B 83.193 C 13.063  
N 2000 G1 X -189.865 Y -14.17 Z 86.088 B 83.251 C 12.089  
N 2010 G1 X -188.639 Y -14.236 Z 86.301 B 83.251 C 11.173  
N 2020 G1 X -184.122 Y -14.615 Z 93.39 B 81.131 C 10.542  
N 2030 G0 X -184.122 Y -14.615 Z 143.39  
N 2040 G0 B 82.964 C 31.455  
N 2050 G0 X -219.437 Y -7.166  
N 2060 G0 X -219.437 Y -7.166 Z 81.299 B 82.964 C 31.455  
N 2070 G1 X -215.982 Y -15.976 Z 68.377 B 86.23 C 34.091  
N 2080 G1 X -214.759 Y -16.07 Z 68.667 B 86.23 C 33.06  
N 2090 G1 X -213.537 Y -16.164 Z 68.954 B 86.23 C 31.971  
N 2100 G1 X -212.316 Y -16.257 Z 69.241 B 86.23 C 30.94  
N 2110 G1 X -211.095 Y -16.349 Z 69.526 B 86.23 C 29.908  
N 2120 G1 X -209.875 Y -16.442 Z 69.809 B 86.23 C 28.877  
N 2130 G1 X -208.655 Y -16.534 Z 70.092 B 86.23 C 27.846  
N 2140 G1 X -207.435 Y -16.625 Z 70.373 B 86.287 C 26.872  
N 2150 G1 X -206.216 Y -16.716 Z 70.653 B 86.287 C 25.84  
N 2160 G1 X -204.997 Y -16.807 Z 70.932 B 86.287 C 24.866  
N 2170 G1 X -203.778 Y -16.897 Z 71.21 B 86.287 C 23.892  
N 2180 G1 X -202.56 Y -16.988 Z 71.487 B 86.287 C 22.861  
N 2190 G1 X -201.342 Y -17.078 Z 71.764 B 86.287 C 21.887  
N 2200 G1 X -200.125 Y -17.168 Z 72.039 B 86.345 C 20.913  
N 2210 G1 X -198.907 Y -17.257 Z 72.314 B 86.345 C 19.996  
N 2220 G1 X -197.69 Y -17.347 Z 72.588 B 86.345 C 19.022  
N 2230 G1 X -196.473 Y -17.437 Z 72.862 B 86.345 C 18.048  
N 2240 G1 X -195.257 Y -17.526 Z 73.135 B 86.345 C 17.131  
N 2250 G1 X -194.04 Y -17.616 Z 73.408 B 86.345 C 16.157

N 2260 G1 X -192.824 Y -17.705 Z 73.68 B 86.402 C 15.241  
N 2270 G1 X -189.305 Y -18.293 Z 79.654 B 84.626 C 14.782  
N 2280 G0 X -189.305 Y -18.293 Z 129.654  
N 2290 G0 B 83.308 C 31.742  
N 2300 G0 X -219.71 Y -6.618  
N 2310 G0 X -219.71 Y -6.618 Z 78.891 B 83.308 C 31.742  
N 2320 G1 X -216.326 Y -16.131 Z 65.306 B 86.746 C 35.122  
N 2330 G1 X -215.103 Y -16.23 Z 65.602 B 86.746 C 34.091  
N 2340 G1 X -213.88 Y -16.328 Z 65.898 B 86.746 C 33.06  
N 2350 G1 X -212.658 Y -16.425 Z 66.191 B 86.746 C 32.028  
N 2360 G1 X -211.436 Y -16.522 Z 66.484 B 86.746 C 30.997  
N 2370 G1 X -210.215 Y -16.618 Z 66.775 B 86.746 C 29.966  
N 2380 G1 X -208.994 Y -16.714 Z 67.065 B 86.746 C 28.934  
N 2390 G1 X -207.774 Y -16.809 Z 67.354 B 86.746 C 27.903  
N 2400 G1 X -206.553 Y -16.904 Z 67.642 B 86.746 C 26.929  
N 2410 G1 X -205.334 Y -16.999 Z 67.928 B 86.803 C 25.898  
N 2420 G1 X -204.114 Y -17.093 Z 68.214 B 86.803 C 24.924  
N 2430 G1 X -202.895 Y -17.187 Z 68.499 B 86.803 C 23.95  
N 2440 G1 X -201.676 Y -17.281 Z 68.783 B 86.803 C 22.976  
N 2450 G1 X -200.457 Y -17.375 Z 69.066 B 86.803 C 22.002  
N 2460 G1 X -199.239 Y -17.468 Z 69.348 B 86.803 C 21.028  
N 2470 G1 X -198.021 Y -17.561 Z 69.63 B 86.803 C 20.054  
N 2480 G1 X -196.803 Y -17.654 Z 69.911 B 86.86 C 19.137  
N 2490 G1 X -195.585 Y -17.748 Z 70.192 B 86.86 C 18.163  
N 2500 G1 X -194.368 Y -17.84 Z 70.472 B 86.86 C 17.246  
N 2510 G1 X -193.15 Y -17.933 Z 70.752 B 86.86 C 16.272  
N 2520 G1 X -196.338 Y -15.061 Z 58.508 B 90.814 C 12.548  
N 2530 G0 X -196.338 Y -15.061 Z 108.508  
N 2540 G0 B 82.334 C 30.309  
N 2550 G0 X -218.022 Y -4.573  
N 2560 G0 X -218.022 Y -4.573 Z 82.048 B 82.334 C 30.309  
N 2570 G1 X -215.183 Y -14.948 Z 67.517 B 85.944 C 34.664  
N 2580 G1 X -213.954 Y -15.041 Z 67.796 B 85.944 C 33.575  
N 2590 G1 X -212.724 Y -15.132 Z 68.073 B 85.944 C 32.544  
N 2600 G1 X -211.495 Y -15.224 Z 68.349 B 85.944 C 31.513  
N 2610 G1 X -210.267 Y -15.315 Z 68.623 B 85.944 C 30.481  
N 2620 G1 X -209.039 Y -15.405 Z 68.897 B 85.944 C 29.45  
N 2630 G1 X -207.811 Y -15.495 Z 69.169 B 86.001 C 28.419  
N 2640 G1 X -206.584 Y -15.584 Z 69.44 B 86.001 C 27.445  
N 2650 G1 X -205.357 Y -15.674 Z 69.71 B 86.001 C 26.413  
N 2660 G1 X -204.13 Y -15.762 Z 69.979 B 86.001 C 25.439  
N 2670 G1 X -202.904 Y -15.851 Z 70.247 B 86.001 C 24.408  
N 2680 G1 X -201.678 Y -15.939 Z 70.514 B 86.001 C 23.434  
N 2690 G1 X -200.452 Y -16.027 Z 70.781 B 86.001 C 22.46  
N 2700 G1 X -199.226 Y -16.115 Z 71.047 B 86.001 C 21.486  
N 2710 G1 X -198.001 Y -16.202 Z 71.312 B 86.058 C 20.569

N 2720 G1 X -196.776 Y -16.29 Z 71.576 B 86.058 C 19.595  
N 2730 G1 X -195.551 Y -16.377 Z 71.84 B 86.058 C 18.621  
N 2740 G1 X -194.327 Y -16.464 Z 72.103 B 86.058 C 17.704  
N 2750 G1 X -193.102 Y -16.551 Z 72.365 B 86.058 C 16.73  
N 2760 G1 X -191.878 Y -16.638 Z 72.628 B 86.058 C 15.814  
N 2770 G1 X -189.842 Y -17.12 Z 74.91 B 85.428 C 15.298  
N 2780 G0 X -189.842 Y -17.12 Z 124.91  
N 2790 G0 B 81.131 C 28.648  
N 2800 G0 X -216.063 Y -2.445  
N 2810 G0 X -216.063 Y -2.445 Z 85.81 B 81.131 C 28.648  
N 2820 G1 X -214.104 Y -13.826 Z 69.563 B 85.199 C 34.091  
N 2830 G1 X -212.868 Y -13.913 Z 69.825 B 85.199 C 33.06  
N 2840 G1 X -211.633 Y -13.999 Z 70.085 B 85.256 C 32.028  
N 2850 G1 X -210.398 Y -14.085 Z 70.343 B 85.256 C 30.94  
N 2860 G1 X -209.164 Y -14.17 Z 70.601 B 85.256 C 29.908  
N 2870 G1 X -207.929 Y -14.255 Z 70.857 B 85.256 C 28.934  
N 2880 G1 X -206.696 Y -14.34 Z 71.112 B 85.256 C 27.903  
N 2890 G1 X -205.462 Y -14.424 Z 71.367 B 85.256 C 26.872  
N 2900 G1 X -204.229 Y -14.508 Z 71.62 B 85.256 C 25.898  
N 2910 G1 X -202.996 Y -14.591 Z 71.872 B 85.256 C 24.866  
N 2920 G1 X -201.764 Y -14.674 Z 72.124 B 85.256 C 23.892  
N 2930 G1 X -200.532 Y -14.757 Z 72.374 B 85.256 C 22.918  
N 2940 G1 X -199.3 Y -14.84 Z 72.624 B 85.256 C 21.944  
N 2950 G1 X -198.068 Y -14.922 Z 72.873 B 85.313 C 20.97  
N 2960 G1 X -196.837 Y -15.004 Z 73.122 B 85.313 C 19.996  
N 2970 G1 X -195.606 Y -15.086 Z 73.37 B 85.313 C 19.022  
N 2980 G1 X -194.375 Y -15.168 Z 73.617 B 85.313 C 18.105  
N 2990 G1 X -193.144 Y -15.249 Z 73.864 B 85.313 C 17.131  
N 3000 G1 X -191.914 Y -15.331 Z 74.11 B 85.313 C 16.215  
N 3010 G1 X -190.683 Y -15.412 Z 74.355 B 85.313 C 15.298  
N 3020 G1 X -189.278 Y -15.807 Z 74.955 B 85.199 C 14.668  
N 3030 G0 X -189.278 Y -15.807 Z 124.955  
N 3040 G0 B 81.704 C 28.992  
N 3050 G0 X -216.693 Y -2.209  
N 3060 G0 X -216.693 Y -2.209 Z 82.94 B 81.704 C 28.992  
N 3070 G1 X -215.39 Y -14.809 Z 63.752 B 86.459 C 35.81  
N 3080 G1 X -214.158 Y -14.905 Z 64.036 B 86.459 C 34.779  
N 3090 G1 X -212.926 Y -15.002 Z 64.318 B 86.459 C 33.747  
N 3100 G1 X -211.695 Y -15.098 Z 64.599 B 86.459 C 32.716  
N 3110 G1 X -210.464 Y -15.193 Z 64.878 B 86.459 C 31.685  
N 3120 G1 X -209.233 Y -15.288 Z 65.157 B 86.459 C 30.653  
N 3130 G1 X -208.002 Y -15.382 Z 65.435 B 86.459 C 29.622  
N 3140 G1 X -206.772 Y -15.477 Z 65.712 B 86.459 C 28.648  
N 3150 G1 X -205.542 Y -15.57 Z 65.987 B 86.459 C 27.617  
N 3160 G1 X -204.313 Y -15.664 Z 66.262 B 86.517 C 26.643  
N 3170 G1 X -203.083 Y -15.757 Z 66.536 B 86.517 C 25.611

N 3180 G1 X -201.854 Y -15.85 Z 66.809 B 86.517 C 24.637  
N 3190 G1 X -200.625 Y -15.942 Z 67.082 B 86.517 C 23.663  
N 3200 G1 X -199.397 Y -16.034 Z 67.353 B 86.517 C 22.689  
N 3210 G1 X -198.168 Y -16.126 Z 67.624 B 86.517 C 21.772  
N 3220 G1 X -196.94 Y -16.218 Z 67.895 B 86.517 C 20.798  
N 3230 G1 X -195.712 Y -16.31 Z 68.164 B 86.517 C 19.824  
N 3240 G1 X -194.484 Y -16.401 Z 68.434 B 86.517 C 18.908  
N 3250 G1 X -193.257 Y -16.492 Z 68.702 B 86.517 C 17.934  
N 3260 G1 X -192.029 Y -16.583 Z 68.971 B 86.517 C 17.017  
N 3270 G1 X -191.267 Y -16.817 Z 67.833 B 86.975 C 16.215  
N 3280 G0 X -191.267 Y -16.817 Z 117.833  
N 3290 G0 B 77.98 C 24.351  
N 3300 G0 X -210.744 Y 2.329  
N 3310 G0 X -210.744 Y 2.329 Z 96.076 B 77.98 C 24.351  
N 3320 G1 X -212.121 Y -11.756 Z 73.278 B 83.881 C 32.888  
N 3330 G1 X -210.876 Y -11.833 Z 73.507 B 83.881 C 31.856  
N 3340 G1 X -209.631 Y -11.91 Z 73.735 B 83.881 C 30.768  
N 3350 G1 X -208.386 Y -11.986 Z 73.962 B 83.881 C 29.737  
N 3360 G1 X -207.141 Y -12.061 Z 74.187 B 83.938 C 28.705  
N 3370 G1 X -205.897 Y -12.136 Z 74.412 B 83.938 C 27.674  
N 3380 G1 X -204.653 Y -12.211 Z 74.636 B 83.938 C 26.7  
N 3390 G1 X -203.41 Y -12.286 Z 74.859 B 83.938 C 25.669  
N 3400 G1 X -202.167 Y -12.36 Z 75.081 B 83.938 C 24.694  
N 3410 G1 X -200.924 Y -12.434 Z 75.303 B 83.938 C 23.663  
N 3420 G1 X -199.681 Y -12.507 Z 75.523 B 83.938 C 22.689  
N 3430 G1 X -198.439 Y -12.58 Z 75.743 B 83.938 C 21.715  
N 3440 G1 X -197.196 Y -12.653 Z 75.963 B 83.938 C 20.741  
N 3450 G1 X -195.954 Y -12.726 Z 76.181 B 83.938 C 19.767  
N 3460 G1 X -194.713 Y -12.799 Z 76.399 B 83.938 C 18.793  
N 3470 G1 X -193.471 Y -12.871 Z 76.617 B 83.938 C 17.876  
N 3480 G1 X -192.23 Y -12.943 Z 76.834 B 83.938 C 16.902  
N 3490 G1 X -190.989 Y -13.015 Z 77.05 B 83.938 C 15.928  
N 3500 G1 X -189.748 Y -13.087 Z 77.266 B 83.938 C 15.011  
N 3510 G1 X -188.507 Y -13.159 Z 77.482 B 83.996 C 14.095  
N 3520 G1 X -188.211 Y -13.326 Z 75.254 B 84.74 C 13.235  
N 3530 G0 X -188.211 Y -13.326 Z 125.254  
N 3540 G0 B 75.745 C 21.371  
N 3550 G0 X -206.802 Y 5.232  
N 3560 G0 X -206.802 Y 5.232 Z 103.378 B 75.745 C 21.371  
N 3570 G1 X -211.206 Y -10.802 Z 75.011 B 83.308 C 32.2  
N 3580 G1 X -209.956 Y -10.874 Z 75.225 B 83.308 C 31.169  
N 3590 G1 X -208.707 Y -10.946 Z 75.438 B 83.308 C 30.138  
N 3600 G1 X -207.458 Y -11.017 Z 75.65 B 83.308 C 29.106  
N 3610 G1 X -206.21 Y -11.089 Z 75.861 B 83.308 C 28.075  
N 3620 G1 X -204.961 Y -11.159 Z 76.071 B 83.308 C 27.044  
N 3630 G1 X -203.713 Y -11.23 Z 76.28 B 83.308 C 26.012

N 3640 G1 X -202.466 Y -11.3 Z 76.489 B 83.308 C 25.038  
N 3650 G1 X -201.218 Y -11.37 Z 76.696 B 83.308 C 24.007  
N 3660 G1 X -199.971 Y -11.44 Z 76.904 B 83.308 C 23.033  
N 3670 G1 X -198.724 Y -11.509 Z 77.11 B 83.308 C 22.002  
N 3680 G1 X -197.477 Y -11.578 Z 77.316 B 83.308 C 21.028  
N 3690 G1 X -196.231 Y -11.647 Z 77.521 B 83.308 C 20.054  
N 3700 G1 X -194.984 Y -11.715 Z 77.725 B 83.308 C 19.079  
N 3710 G1 X -193.738 Y -11.784 Z 77.93 B 83.308 C 18.163  
N 3720 G1 X -192.492 Y -11.852 Z 78.133 B 83.308 C 17.189  
N 3730 G1 X -191.246 Y -11.92 Z 78.336 B 83.308 C 16.215  
N 3740 G1 X -190.001 Y -11.988 Z 78.539 B 83.365 C 15.298  
N 3750 G1 X -188.755 Y -12.056 Z 78.741 B 83.365 C 14.381  
N 3760 G1 X -187.51 Y -12.123 Z 78.943 B 83.365 C 13.407  
N 3770 G1 X -187.692 Y -12.13 Z 75.563 B 84.454 C 12.376  
N 3780 G0 X -187.692 Y -12.13 Z 125.563  
N 3790 G0 B 72.766 C 17.418  
N 3800 G0 X -201.179 Y 8.831  
N 3810 G0 X -201.179 Y 8.831 Z 113.089 B 72.766 C 17.418  
N 3820 G1 X -210.328 Y -9.893 Z 76.709 B 82.735 C 31.513  
N 3830 G1 X -209.075 Y -9.961 Z 76.908 B 82.735 C 30.424  
N 3840 G1 X -207.822 Y -10.029 Z 77.107 B 82.735 C 29.393  
N 3850 G1 X -206.57 Y -10.096 Z 77.305 B 82.735 C 28.361  
N 3860 G1 X -205.318 Y -10.163 Z 77.502 B 82.735 C 27.33  
N 3870 G1 X -204.066 Y -10.23 Z 77.698 B 82.735 C 26.299  
N 3880 G1 X -202.814 Y -10.296 Z 77.893 B 82.735 C 25.325  
N 3890 G1 X -201.563 Y -10.363 Z 78.088 B 82.735 C 24.293  
N 3900 G1 X -200.311 Y -10.428 Z 78.282 B 82.735 C 23.319  
N 3910 G1 X -199.06 Y -10.494 Z 78.476 B 82.735 C 22.288  
N 3920 G1 X -197.809 Y -10.559 Z 78.668 B 82.735 C 21.314  
N 3930 G1 X -196.559 Y -10.624 Z 78.861 B 82.735 C 20.34  
N 3940 G1 X -195.308 Y -10.689 Z 79.053 B 82.735 C 19.366  
N 3950 G1 X -194.058 Y -10.754 Z 79.244 B 82.735 C 18.392  
N 3960 G1 X -192.808 Y -10.819 Z 79.435 B 82.735 C 17.418  
N 3970 G1 X -191.558 Y -10.883 Z 79.625 B 82.735 C 16.501  
N 3980 G1 X -190.309 Y -10.947 Z 79.815 B 82.735 C 15.527  
N 3990 G1 X -189.059 Y -11.011 Z 80.004 B 82.735 C 14.61  
N 4000 G1 X -187.81 Y -11.075 Z 80.193 B 82.735 C 13.636  
N 4010 G1 X -186.561 Y -11.139 Z 80.382 B 82.735 C 12.72  
N 4020 G1 X -187.167 Y -10.944 Z 76.017 B 84.168 C 11.459  
N 4030 G0 X -187.167 Y -10.944 Z 126.017  
N 4040 G0 B 68.411 C 11.688  
N 4050 G0 X -192.436 Y 13.751  
N 4060 G0 X -192.436 Y 13.751 Z 126.529 B 68.411 C 11.688  
N 4070 G1 X -209.474 Y -9.022 Z 78.416 B 82.162 C 30.768  
N 4080 G1 X -208.218 Y -9.086 Z 78.602 B 82.162 C 29.679  
N 4090 G1 X -206.962 Y -9.15 Z 78.786 B 82.162 C 28.648



N 4100 G1 X -205.707 Y -9.213 Z 78.97 B 82.162 C 27.617  
N 4110 G1 X -204.451 Y -9.276 Z 79.154 B 82.162 C 26.585  
N 4120 G1 X -203.196 Y -9.339 Z 79.336 B 82.162 C 25.554  
N 4130 G1 X -201.941 Y -9.402 Z 79.518 B 82.162 C 24.58  
N 4140 G1 X -200.686 Y -9.464 Z 79.7 B 82.162 C 23.549  
N 4150 G1 X -199.432 Y -9.526 Z 79.881 B 82.162 C 22.575  
N 4160 G1 X -198.177 Y -9.588 Z 80.061 B 82.162 C 21.543  
N 4170 G1 X -196.923 Y -9.65 Z 80.241 B 82.162 C 20.569  
N 4180 G1 X -195.669 Y -9.711 Z 80.42 B 82.162 C 19.595  
N 4190 G1 X -194.415 Y -9.772 Z 80.599 B 82.162 C 18.621  
N 4200 G1 X -193.161 Y -9.833 Z 80.778 B 82.162 C 17.647  
N 4210 G1 X -191.908 Y -9.894 Z 80.956 B 82.162 C 16.673  
N 4220 G1 X -190.655 Y -9.955 Z 81.133 B 82.162 C 15.756  
N 4230 G1 X -189.401 Y -10.016 Z 81.311 B 82.162 C 14.782  
N 4240 G1 X -188.148 Y -10.076 Z 81.487 B 82.162 C 13.866  
N 4250 G1 X -186.895 Y -10.137 Z 81.664 B 82.162 C 12.949  
N 4260 G1 X -185.642 Y -10.197 Z 81.84 B 82.162 C 11.975  
N 4270 G1 X -186.624 Y -9.752 Z 76.65 B 83.824 C 10.485  
N 4280 G0 X -186.624 Y -9.752 Z 126.65  
N 4290 G0 B 61.65 C 2.063  
N 4300 G0 X -177.617 Y 21.459  
N 4310 G0 X -177.617 Y 21.459 Z 145.453 B 61.65 C 2.063  
N 4320 G1 X -208.623 Y -8.176 Z 80.191 B 81.589 C 29.966  
N 4330 G1 X -207.364 Y -8.236 Z 80.362 B 81.589 C 28.934  
N 4340 G1 X -206.105 Y -8.296 Z 80.534 B 81.589 C 27.846  
N 4350 G1 X -204.847 Y -8.355 Z 80.704 B 81.589 C 26.814  
N 4360 G1 X -203.589 Y -8.414 Z 80.874 B 81.589 C 25.783  
N 4370 G1 X -202.331 Y -8.473 Z 81.044 B 81.589 C 24.809  
N 4380 G1 X -201.073 Y -8.532 Z 81.213 B 81.589 C 23.778  
N 4390 G1 X -199.815 Y -8.59 Z 81.381 B 81.589 C 22.746  
N 4400 G1 X -198.557 Y -8.649 Z 81.549 B 81.589 C 21.772  
N 4410 G1 X -197.3 Y -8.707 Z 81.717 B 81.589 C 20.798  
N 4420 G1 X -196.043 Y -8.765 Z 81.884 B 81.589 C 19.767  
N 4430 G1 X -194.785 Y -8.823 Z 82.051 B 81.589 C 18.793  
N 4440 G1 X -193.528 Y -8.881 Z 82.217 B 81.589 C 17.819  
N 4450 G1 X -192.272 Y -8.938 Z 82.383 B 81.589 C 16.902  
N 4460 G1 X -191.015 Y -8.996 Z 82.549 B 81.589 C 15.928  
N 4470 G1 X -189.758 Y -9.053 Z 82.714 B 81.589 C 14.954  
N 4480 G1 X -188.502 Y -9.11 Z 82.879 B 81.589 C 14.037  
N 4490 G1 X -187.245 Y -9.167 Z 83.043 B 81.589 C 13.063  
N 4500 G1 X -185.989 Y -9.224 Z 83.208 B 81.589 C 12.147  
N 4510 G1 X -184.733 Y -9.281 Z 83.371 B 81.589 C 11.23  
N 4520 G1 X -186.043 Y -8.534 Z 77.507 B 83.48 C 9.397  
N 4530 G0 X -186.043 Y -8.534 Z 127.507  
N 4540 G0 B 51.051 C -18.392  
N 4550 G0 X -154.342 Y 35.283

N 4560 G0 X -154.342 Y 35.283 Z 167.655 B 51.051 C -18.392  
N 4570 G1 X -207.731 Y -7.324 Z 82.142 B 80.959 C 29.106  
N 4580 G1 X -206.47 Y -7.38 Z 82.3 B 80.959 C 28.075  
N 4590 G1 X -205.208 Y -7.435 Z 82.458 B 80.959 C 26.986  
N 4600 G1 X -203.947 Y -7.491 Z 82.615 B 80.959 C 25.955  
N 4610 G1 X -202.686 Y -7.546 Z 82.771 B 80.959 C 24.924  
N 4620 G1 X -201.426 Y -7.601 Z 82.927 B 80.959 C 23.95  
N 4630 G1 X -200.165 Y -7.656 Z 83.083 B 80.959 C 22.918  
N 4640 G1 X -198.905 Y -7.71 Z 83.238 B 80.959 C 21.887  
N 4650 G1 X -197.644 Y -7.765 Z 83.393 B 80.959 C 20.913  
N 4660 G1 X -196.384 Y -7.819 Z 83.548 B 80.959 C 19.939  
N 4670 G1 X -195.124 Y -7.874 Z 83.702 B 80.959 C 18.965  
N 4680 G1 X -193.864 Y -7.928 Z 83.856 B 80.959 C 17.934  
N 4690 G1 X -192.604 Y -7.982 Z 84.009 B 80.959 C 16.96  
N 4700 G1 X -191.344 Y -8.036 Z 84.162 B 80.959 C 16.043  
N 4710 G1 X -190.084 Y -8.089 Z 84.315 B 80.959 C 15.069  
N 4720 G1 X -188.825 Y -8.143 Z 84.468 B 80.959 C 14.095  
N 4730 G1 X -187.565 Y -8.197 Z 84.62 B 80.959 C 13.178  
N 4740 G1 X -186.306 Y -8.25 Z 84.772 B 80.959 C 12.204  
N 4750 G1 X -185.046 Y -8.304 Z 84.924 B 80.959 C 11.287  
N 4760 G1 X -183.787 Y -8.357 Z 85.075 B 80.959 C 10.371  
N 4770 G1 X -185.384 Y -7.254 Z 78.676 B 83.079 C 8.136  
N 4780 G0 X -185.384 Y -7.254 Z 128.676  
N 4790 G0 B 43.659 C -55.119  
N 4800 G0 X -151.618 Y 48.107  
N 4810 G0 X -151.618 Y 48.107 Z 167.168 B 43.659 C -55.119  
N 4820 G1 X -206.629 Y -6.344 Z 84.685 B 80.214 C 28.018  
N 4830 G1 X -205.365 Y -6.394 Z 84.827 B 80.214 C 26.986  
N 4840 G1 X -204.101 Y -6.444 Z 84.968 B 80.214 C 25.955  
N 4850 G1 X -202.837 Y -6.495 Z 85.108 B 80.214 C 24.924  
N 4860 G1 X -201.574 Y -6.545 Z 85.249 B 80.214 C 23.892  
N 4870 G1 X -200.31 Y -6.595 Z 85.389 B 80.214 C 22.861  
N 4880 G1 X -199.047 Y -6.644 Z 85.529 B 80.214 C 21.83  
N 4890 G1 X -197.784 Y -6.694 Z 85.668 B 80.214 C 20.856  
N 4900 G1 X -196.52 Y -6.744 Z 85.808 B 80.214 C 19.882  
N 4910 G1 X -195.257 Y -6.793 Z 85.947 B 80.214 C 18.85  
N 4920 G1 X -193.994 Y -6.843 Z 86.085 B 80.214 C 17.876  
N 4930 G1 X -192.731 Y -6.892 Z 86.224 B 80.214 C 16.902  
N 4940 G1 X -191.468 Y -6.942 Z 86.362 B 80.214 C 15.928  
N 4950 G1 X -190.205 Y -6.991 Z 86.5 B 80.214 C 14.954  
N 4960 G1 X -188.942 Y -7.04 Z 86.638 B 80.214 C 13.98  
N 4970 G1 X -187.68 Y -7.089 Z 86.775 B 80.214 C 13.063  
N 4980 G1 X -186.417 Y -7.138 Z 86.912 B 80.214 C 12.089  
N 4990 G1 X -185.155 Y -7.187 Z 87.049 B 80.214 C 11.173  
N 5000 G1 X -183.892 Y -7.236 Z 87.186 B 80.214 C 10.256  
N 5010 G1 X -182.63 Y -7.285 Z 87.323 B 80.214 C 9.282

N 5020 G1 X -184.486 Y -5.802 Z 80.522 B 82.449 C 6.704  
N 5030 G0 X -184.486 Y -5.802 Z 130.522  
N 5040 G0 B 44.29 C -75.802  
N 5050 G0 X-165.883 Y 46.978  
N 5060 G0 X -165.883 Y 46.978 Z 153.388 B 44.29 C -75.802  
N 5070 G1 X -205.185 Y -5.15 Z 88.069 B 79.297 C 26.7  
N 5080 G1 X -203.919 Y -5.193 Z 88.19 B 79.297 C 25.611  
N 5090 G1 X -202.652 Y -5.237 Z 88.31 B 79.297 C 24.58  
N 5100 G1 X -201.386 Y -5.28 Z 88.431 B 79.297 C 23.549  
N 5110 G1 X -200.119 Y -5.323 Z 88.551 B 79.297 C 22.517  
N 5120 G1 X -198.853 Y -5.366 Z 88.672 B 79.297 C 21.543  
N 5130 G1 X -197.586 Y -5.41 Z 88.792 B 79.297 C 20.512  
N 5140 G1 X -196.32 Y -5.453 Z 88.911 B 79.24 C 19.481  
N 5150 G1 X -195.054 Y -5.496 Z 89.031 B 79.24 C 18.507  
N 5160 G1 X -193.788 Y -5.539 Z 89.15 B 79.24 C 17.533  
N 5170 G1 X -192.521 Y -5.582 Z 89.27 B 79.24 C 16.558  
N 5180 G1 X -191.255 Y -5.625 Z 89.389 B 79.24 C 15.527  
N 5190 G1 X -189.989 Y -5.668 Z 89.507 B 79.24 C 14.61  
N 5200 G1 X -188.723 Y -5.711 Z 89.626 B 79.24 C 13.636  
N 5210 G1 X -187.457 Y -5.754 Z 89.745 B 79.24 C 12.662  
N 5220 G1 X -186.191 Y -5.797 Z 89.863 B 79.24 C 11.688  
N 5230 G1 X -184.925 Y -5.84 Z 89.981 B 79.24 C 10.772  
N 5240 G1 X -183.66 Y -5.883 Z 90.099 B 79.24 C 9.798  
N 5250 G1 X -182.394 Y -5.926 Z 90.217 B 79.24 C 8.881  
N 5260 G1 X -181.128 Y -5.969 Z 90.335 B 79.24 C 7.964  
N 5270 G1 X -183.215 Y -4.123 Z 83.278 B 81.589 C 4.985  
N 5280 G0 X -183.215 Y -4.123 Z 133.278  
N 5290 G0 B 52.254 C -54.717  
N 5300 G0 X-184.717 Y 63.483  
N 5310 G0 X -184.717 Y 63.483 Z 140.957 B 52.254 C -54.717  
N 5320 G1 X -165.406 Y 64.223 Z 152.04 B 46.123 C -63.197  
N 5330 G1 X -164.585 Y 64.686 Z 151.188 B 46.123 C -64.229  
N 5340 G1 X -163.764 Y 65.149 Z 150.336 B 46.123 C -65.26  
N 5350 G1 X -162.943 Y 65.611 Z 149.485 B 46.123 C -66.291  
N 5360 G1 X -162.122 Y 66.074 Z 148.633 B 46.123 C -67.323  
N 5370 G1 X -161.301 Y 66.537 Z 147.782 B 46.123 C -68.354  
N 5380 G1 X -160.48 Y 66.999 Z 146.93 B 46.123 C -69.385  
N 5390 G1 X -159.658 Y 67.462 Z 146.079 B 46.123 C -70.359  
N 5400 G1 X -158.837 Y 67.925 Z 145.228 B 46.123 C -71.391  
N 5410 G1 X -158.016 Y 68.387 Z 144.376 B 46.123 C -72.365  
N 5420 G1 X -157.194 Y 68.85 Z 143.525 B 46.123 C -73.339  
N 5430 G1 X -156.373 Y 69.313 Z 142.674 B 46.123 C -74.313  
N 5440 G1 X -155.552 Y 69.775 Z 141.823 B 46.123 C -75.287  
N 5450 G1 X -154.73 Y 70.238 Z 140.972 B 46.123 C -76.261  
N 5460 G1 X -153.909 Y 70.701 Z 140.121 B 46.123 C -77.235  
N 5470 G1 X -153.087 Y 71.163 Z 139.27 B 46.123 C -78.151

N 5480 G1 X -152.265 Y 71.626 Z 138.419 B 46.123 C -79.125  
N 5490 G1 X -151.444 Y 72.089 Z 137.568 B 46.123 C -80.042  
N 5500 G1 X -150.622 Y 72.552 Z 136.717 B 46.123 C -81.016  
N 5510 G1 X -149.8 Y 73.014 Z 135.866 B 46.123 C -81.933  
N 5520 G1 X -155.784 Y 73.655 Z 126.861 B 52.311 C -74.255  
N 5530 G0 X -155.784 Y 73.655 Z 176.861  
N 5540 G0 B 52.712 C -60.103  
N 5550 G0 X-188.338 Y 61.716  
N 5560 G0 X -188.338 Y 61.716 Z 135.331 B 52.712 C -60.103  
N 5570 G1 X -171.435 Y 62.502 Z 144.553 B 47.67 C -67.552  
N 5580 G1 X -170.605 Y 62.952 Z 143.703 B 47.67 C -68.64  
N 5590 G1 X -169.775 Y 63.402 Z 142.853 B 47.67 C -69.672  
N 5600 G1 X -168.946 Y 63.852 Z 142.002 B 47.67 C -70.703  
N 5610 G1 X -168.116 Y 64.302 Z 141.152 B 47.67 C -71.734  
N 5620 G1 X -167.286 Y 64.752 Z 140.302 B 47.67 C -72.708  
N 5630 G1 X -166.457 Y 65.202 Z 139.452 B 47.67 C -73.74  
N 5640 G1 X -165.627 Y 65.652 Z 138.602 B 47.67 C -74.771  
N 5650 G1 X -164.797 Y 66.102 Z 137.752 B 47.67 C -75.745  
N 5660 G1 X -163.967 Y 66.552 Z 136.902 B 47.67 C -76.719  
N 5670 G1 X -163.137 Y 67.002 Z 136.052 B 47.67 C -77.75  
N 5680 G1 X -162.307 Y 67.452 Z 135.203 B 47.67 C -78.724  
N 5690 G1 X -161.476 Y 67.902 Z 134.353 B 47.67 C -79.698  
N 5700 G1 X -160.646 Y 68.352 Z 133.503 B 47.67 C -80.615  
N 5710 G1 X -159.816 Y 68.802 Z 132.654 B 47.67 C -81.589  
N 5720 G1 X -158.986 Y 69.251 Z 131.804 B 47.67 C -82.563  
N 5730 G1 X -158.155 Y 69.701 Z 130.955 B 47.67 C -83.48  
N 5740 G1 X -157.325 Y 70.151 Z 130.105 B 47.67 C -84.454  
N 5750 G1 X -156.495 Y 70.601 Z 129.256 B 47.67 C -85.371  
N 5760 G1 X -155.664 Y 71.051 Z 128.406 B 47.67 C -86.287  
N 5770 G1 X -159.535 Y 72.293 Z 121.023 B 52.827 C -79.412  
N 5780 G0 X -159.535 Y 72.293 Z 171.023  
N 5790 G0 B 53.686 C -67.093  
N 5800 G0 X-193.81 Y 59.296  
N 5810 G0 X -193.81 Y 59.296 Z 126.922 B 53.686 C -67.093  
N 5820 G1 X -178.854 Y 60.393 Z 134.786 B 49.675 C -72.938  
N 5830 G1 X -178.013 Y 60.827 Z 133.938 B 49.675 C -73.969  
N 5840 G1 X -177.172 Y 61.261 Z 133.091 B 49.675 C -75  
N 5850 G1 X -176.331 Y 61.696 Z 132.243 B 49.675 C -76.031  
N 5860 G1 X -175.49 Y 62.13 Z 131.396 B 49.675 C -77.063  
N 5870 G1 X -174.649 Y 62.565 Z 130.548 B 49.675 C -78.094  
N 5880 G1 X -173.808 Y 62.999 Z 129.701 B 49.675 C -79.125  
N 5890 G1 X -172.967 Y 63.434 Z 128.854 B 49.675 C -80.099  
N 5900 G1 X -172.125 Y 63.868 Z 128.007 B 49.675 C -81.131  
N 5910 G1 X -171.284 Y 64.303 Z 127.16 B 49.675 C -82.105  
N 5920 G1 X -170.443 Y 64.737 Z 126.313 B 49.675 C -83.079  
N 5930 G1 X -169.601 Y 65.172 Z 125.466 B 49.675 C -84.053

N 5940 G1 X -168.76 Y 65.606 Z 124.619 B 49.675 C -85.027  
N 5950 G1 X -167.918 Y 66.041 Z 123.772 B 49.675 C -86.001  
N 5960 G1 X -167.077 Y 66.475 Z 122.925 B 49.675 C -86.975  
N 5970 G1 X -166.235 Y 66.91 Z 122.078 B 49.675 C -87.892  
N 5980 G1 X -165.393 Y 67.344 Z 121.232 B 49.675 C -88.866  
N 5990 G1 X -164.552 Y 67.779 Z 120.385 B 49.675 C -89.782  
N 6000 G1 X -163.71 Y 68.213 Z 119.539 B 49.675 C -90.699  
N 6010 G1 X -162.868 Y 68.648 Z 118.692 B 49.675 C -91.673  
N 6020 G1 X -164.903 Y 70.459 Z 112.81 B 53.686 C -85.829  
N 6030 G0 X -164.903 Y 70.459 Z 162.81  
N 6040 G0 B 55.004 C -73.854  
N 6050 G0 X -199.5 Y 56.357  
N 6060 G0 X -199.5 Y 56.357 Z 117.572 B 55.004 C -73.854  
N 6070 G1 X -185.88 Y 58.063 Z 124.548 B 51.795 C -78.094  
N 6080 G1 X -185.023 Y 58.481 Z 123.707 B 51.795 C -79.125  
N 6090 G1 X -184.166 Y 58.898 Z 122.867 B 51.795 C -80.157  
N 6100 G1 X -183.309 Y 59.315 Z 122.026 B 51.795 C -81.188  
N 6110 G1 X -182.452 Y 59.733 Z 121.186 B 51.795 C -82.219  
N 6120 G1 X -181.595 Y 60.15 Z 120.346 B 51.795 C -83.251  
N 6130 G1 X -180.738 Y 60.568 Z 119.506 B 51.795 C -84.225  
N 6140 G1 X -179.881 Y 60.985 Z 118.666 B 51.795 C -85.256  
N 6150 G1 X -179.024 Y 61.403 Z 117.826 B 51.795 C -86.23  
N 6160 G1 X -178.167 Y 61.82 Z 116.986 B 51.795 C -87.261  
N 6170 G1 X -177.309 Y 62.238 Z 116.146 B 51.853 C -88.236  
N 6180 G1 X -176.452 Y 62.655 Z 115.306 B 51.853 C -89.21  
N 6190 G1 X -175.595 Y 63.072 Z 114.466 B 51.853 C -90.184  
N 6200 G1 X -174.737 Y 63.49 Z 113.627 B 51.853 C -91.158  
N 6210 G1 X -173.88 Y 63.907 Z 112.787 B 51.853 C -92.074  
N 6220 G1 X -173.022 Y 64.325 Z 111.948 B 51.853 C -93.048  
N 6230 G1 X -172.164 Y 64.742 Z 111.108 B 51.853 C -94.022  
N 6240 G1 X -171.307 Y 65.16 Z 110.269 B 51.853 C -94.939  
N 6250 G1 X -170.449 Y 65.577 Z 109.429 B 51.853 C -95.856  
N 6260 G1 X -169.591 Y 65.995 Z 108.59 B 51.853 C -96.773  
N 6270 G1 X -170.333 Y 68.097 Z 103.999 B 54.889 C -92.074  
N 6280 G0 X -170.333 Y 68.097 Z 153.999  
N 6290 G0 B 56.666 C -80.386  
N 6300 G0 X -205.193 Y 53.005  
N 6310 G0 X -205.193 Y 53.005 Z 107.315 B 56.666 C -80.386  
N 6320 G1 X -192.444 Y 55.565 Z 113.864 B 54.087 C -83.022  
N 6330 G1 X -191.567 Y 55.964 Z 113.035 B 54.087 C -84.053  
N 6340 G1 X -190.69 Y 56.363 Z 112.206 B 54.087 C -85.084  
N 6350 G1 X -189.814 Y 56.762 Z 111.377 B 54.087 C -86.116  
N 6360 G1 X -188.937 Y 57.161 Z 110.548 B 54.087 C -87.147  
N 6370 G1 X -188.06 Y 57.561 Z 109.719 B 54.087 C -88.178  
N 6380 G1 X -187.183 Y 57.96 Z 108.891 B 54.087 C -89.21  
N 6390 G1 X -186.306 Y 58.359 Z 108.062 B 54.087 C -90.184

N 6400 G1 X -185.428 Y 58.758 Z 107.234 B 54.087 C -91.215  
N 6410 G1 X -184.551 Y 59.158 Z 106.405 B 54.087 C -92.189  
N 6420 G1 X -183.674 Y 59.557 Z 105.577 B 54.087 C -93.163  
N 6430 G1 X -182.797 Y 59.956 Z 104.749 B 54.087 C -94.137  
N 6440 G1 X -181.919 Y 60.355 Z 103.92 B 54.087 C -95.111  
N 6450 G1 X -181.042 Y 60.754 Z 103.092 B 54.087 C -96.085  
N 6460 G1 X -180.164 Y 61.154 Z 102.264 B 54.087 C -97.059  
N 6470 G1 X -179.287 Y 61.553 Z 101.436 B 54.087 C -97.976  
N 6480 G1 X -178.409 Y 61.952 Z 100.608 B 54.087 C -98.95  
N 6490 G1 X -177.531 Y 62.351 Z 99.78 B 54.087 C -99.867  
N 6500 G1 X -176.654 Y 62.751 Z 98.953 B 54.087 C -100.841  
N 6510 G1 X -175.776 Y 63.15 Z 98.125 B 54.087 C -101.757  
N 6520 G1 X -175.659 Y 65.302 Z 94.616 B 56.379 C -98.09  
N 6530 G0 X -175.659 Y 65.302 Z 144.616  
N 6540 G0 B 58.614 C -86.689  
N 6550 G0 X -210.693 Y 49.358  
N 6560 G0 X -210.693 Y 49.358 Z 96.187 B 58.614 C -86.689  
N 6570 G1 X -198.488 Y 52.938 Z 102.763 B 56.494 C -87.777  
N 6580 G1 X -197.588 Y 53.318 Z 101.949 B 56.494 C -88.866  
N 6590 G1 X -196.688 Y 53.698 Z 101.136 B 56.494 C -89.897  
N 6600 G1 X -195.788 Y 54.078 Z 100.323 B 56.494 C -90.928  
N 6610 G1 X -194.888 Y 54.459 Z 99.51 B 56.494 C -91.96  
N 6620 G1 X -193.987 Y 54.839 Z 98.697 B 56.494 C -92.934  
N 6630 G1 X -193.087 Y 55.219 Z 97.884 B 56.494 C -93.965  
N 6640 G1 X -192.187 Y 55.599 Z 97.071 B 56.494 C -94.996  
N 6650 G1 X -191.286 Y 55.979 Z 96.258 B 56.494 C -95.97  
N 6660 G1 X -190.386 Y 56.359 Z 95.446 B 56.494 C -96.944  
N 6670 G1 X -189.485 Y 56.739 Z 94.633 B 56.494 C -97.918  
N 6680 G1 X -188.584 Y 57.119 Z 93.821 B 56.494 C -98.893  
N 6690 G1 X -187.684 Y 57.499 Z 93.008 B 56.494 C -99.867  
N 6700 G1 X -186.783 Y 57.879 Z 92.196 B 56.494 C -100.841  
N 6710 G1 X -185.882 Y 58.259 Z 91.384 B 56.494 C -101.815  
N 6720 G1 X -184.981 Y 58.64 Z 90.572 B 56.494 C -102.789  
N 6730 G1 X -184.08 Y 59.02 Z 89.76 B 56.494 C -103.705  
N 6740 G1 X -183.179 Y 59.4 Z 88.948 B 56.494 C -104.622  
N 6750 G1 X -182.278 Y 59.78 Z 88.136 B 56.494 C -105.596  
N 6760 G1 X -181.377 Y 60.16 Z 87.324 B 56.494 C -106.513  
N 6770 G1 X -180.476 Y 60.54 Z 86.512 B 56.494 C -107.435  
N 6780 G0 X -180.736 Y 62.172 Z 134.687  
N 6790 G0 B 60.905 C -92.647  
N 6800 G0 X -215.823 Y 45.528  
N 6810 G0 X -215.823 Y 45.528 Z 84.236 B 60.905 C -92.647  
N 6820 G1 X -203.963 Y 50.216 Z 91.274 B 58.957 C -92.418  
N 6830 G1 X -203.037 Y 50.577 Z 90.481 B 58.957 C -93.449  
N 6840 G1 X -202.111 Y 50.937 Z 89.687 B 59.015 C -94.481  
N 6850 G1 X -201.185 Y 51.297 Z 88.894 B 59.015 C -95.512

N 6860 G1 X -200.259 Y 51.658 Z 88.101 B 59.015 C -96.543  
N 6870 G1 X -199.332 Y 52.018 Z 87.309 B 59.015 C -97.575  
N 6880 G1 X -198.406 Y 52.378 Z 86.516 B 59.015 C -98.549  
N 6890 G1 X -197.48 Y 52.739 Z 85.723 B 59.015 C -99.58  
N 6900 G1 X -196.553 Y 53.099 Z 84.931 B 59.015 C -100.554  
N 6910 G1 X -195.627 Y 53.459 Z 84.138 B 59.015 C -101.585  
N 6920 G1 X -194.7 Y 53.819 Z 83.346 B 59.015 C -102.559  
N 6930 G1 X -193.773 Y 54.18 Z 82.554 B 59.015 C -103.533  
N 6940 G1 X -192.847 Y 54.54 Z 81.761 B 59.015 C -104.508  
N 6950 G1 X -191.92 Y 54.9 Z 80.969 B 59.015 C -105.482  
N 6960 G1 X -190.993 Y 55.261 Z 80.177 B 59.015 C -106.398  
N 6970 G1 X -190.066 Y 55.621 Z 79.386 B 59.015 C -107.372  
N 6980 G1 X -189.139 Y 55.981 Z 78.594 B 59.015 C -108.289  
N 6990 G1 X -188.212 Y 56.341 Z 77.802 B 59.015 C -109.263  
N 7000 G1 X -187.285 Y 56.702 Z 77.01 B 59.015 C -110.18  
N 7010 G1 X -186.358 Y 57.062 Z 76.219 B 59.015 C -111.097  
N 7020 G1 X -185.44 Y 58.803 Z 74.233 B 60.046 C -109.435  
N 7030 G0 X -185.44 Y 58.803 Z 124.233  
N 7040 G0 B 63.426 C -98.32  
N 7050 G0 X -220.429 Y 41.616  
N 7060 G0 X -220.429 Y 41.616 Z 71.511 B 63.426 C -98.32  
N 7070 G1 X -208.828 Y 47.424 Z 79.434 B 61.593 C -96.83  
N 7080 G1 X -207.874 Y 47.764 Z 78.665 B 61.593 C -97.918  
N 7090 G1 X -206.919 Y 48.104 Z 77.896 B 61.593 C -98.95  
N 7100 G1 X -205.965 Y 48.444 Z 77.127 B 61.593 C -99.981  
N 7110 G1 X -205.011 Y 48.784 Z 76.358 B 61.593 C -101.012  
N 7120 G1 X -204.057 Y 49.124 Z 75.59 B 61.593 C -102.044  
N 7130 G1 X -203.102 Y 49.464 Z 74.822 B 61.593 C -103.018  
N 7140 G1 X -202.148 Y 49.804 Z 74.053 B 61.593 C -104.049  
N 7150 G1 X -201.193 Y 50.144 Z 73.285 B 61.593 C -105.023  
N 7160 G1 X -200.238 Y 50.484 Z 72.517 B 61.593 C -105.997  
N 7170 G1 X -199.284 Y 50.824 Z 71.749 B 61.593 C -107.029  
N 7180 G1 X -198.329 Y 51.164 Z 70.981 B 61.593 C -108.003  
N 7190 G1 X -197.374 Y 51.504 Z 70.214 B 61.593 C -108.977  
N 7200 G1 X -196.419 Y 51.844 Z 69.446 B 61.593 C -109.893  
N 7210 G1 X -195.465 Y 52.184 Z 68.678 B 61.593 C -110.867  
N 7220 G1 X -194.51 Y 52.524 Z 67.911 B 61.593 C -111.841  
N 7230 G1 X -193.555 Y 52.864 Z 67.144 B 61.593 C -112.758  
N 7240 G1 X -192.6 Y 53.204 Z 66.376 B 61.593 C -113.732  
N 7250 G1 X -191.645 Y 53.544 Z 65.609 B 61.593 C -114.649  
N 7260 G1 X -190.689 Y 53.884 Z 64.842 B 61.593 C -115.566  
N 7270 G1 X -189.666 Y 55.287 Z 63.277 B 62.281 C -114.706  
N 7280 G0 X -189.666 Y 55.287 Z 113.277  
N 7290 G0 B 66.234 C -103.648  
N 7300 G0 X -224.378 Y 37.707  
N 7310 G0 X -224.378 Y 37.707 Z 58.074 B 66.234 C -103.648

N 7320 G1 X -213.046 Y 44.58 Z 67.28 B 64.229 C -101.184  
N 7330 G1 X -212.062 Y 44.899 Z 66.54 B 64.229 C -102.216  
N 7340 G1 X -211.079 Y 45.218 Z 65.799 B 64.229 C -103.247  
N 7350 G1 X -210.095 Y 45.538 Z 65.059 B 64.229 C -104.336  
N 7360 G1 X -209.111 Y 45.857 Z 64.319 B 64.286 C -105.31  
N 7370 G1 X -208.127 Y 46.176 Z 63.579 B 64.286 C -106.341  
N 7380 G1 X -207.143 Y 46.496 Z 62.839 B 64.286 C -107.372  
N 7390 G1 X -206.159 Y 46.815 Z 62.099 B 64.286 C -108.346  
N 7400 G1 X -205.175 Y 47.134 Z 61.36 B 64.286 C -109.378  
N 7410 G1 X -204.191 Y 47.454 Z 60.62 B 64.286 C -110.352  
N 7420 G1 X -203.207 Y 47.773 Z 59.881 B 64.286 C -111.326  
N 7430 G1 X -202.223 Y 48.092 Z 59.142 B 64.286 C -112.3  
N 7440 G1 X -201.239 Y 48.412 Z 58.402 B 64.286 C -113.274  
N 7450 G1 X -200.254 Y 48.731 Z 57.663 B 64.286 C -114.248  
N 7460 G1 X -199.27 Y 49.05 Z 56.924 B 64.286 C -115.222  
N 7470 G1 X -198.286 Y 49.369 Z 56.186 B 64.286 C -116.139  
N 7480 G1 X -197.301 Y 49.689 Z 55.447 B 64.286 C -117.113  
N 7490 G1 X -196.317 Y 50.008 Z 54.708 B 64.286 C -118.029  
N 7500 G1 X -195.332 Y 50.327 Z 53.97 B 64.286 C -119.003  
N 7510 G1 X -194.348 Y 50.647 Z 53.231 B 64.286 C -119.92  
N 7520 G1 X -193.323 Y 51.701 Z 51.845 B 64.744 C -119.691  
N 7530 G0 X -193.323 Y 51.701 Z 101.845  
N 7540 G0 B 69.328 C -108.69  
N 7550 G0 X -227.555 Y 33.868  
N 7560 G0 X -227.555 Y 33.868 Z 43.994 B 69.328 C -108.69  
N 7570 G1 X -216.588 Y 41.696 Z 54.856 B 66.979 C -105.424  
N 7580 G1 X -215.574 Y 41.994 Z 54.148 B 66.979 C -106.456  
N 7590 G1 X -214.56 Y 42.292 Z 53.44 B 66.979 C -107.487  
N 7600 G1 X -213.546 Y 42.591 Z 52.732 B 66.979 C -108.518  
N 7610 G1 X -212.532 Y 42.889 Z 52.025 B 67.036 C -109.55  
N 7620 G1 X -211.517 Y 43.187 Z 51.318 B 67.036 C -110.581  
N 7630 G1 X -210.503 Y 43.486 Z 50.61 B 67.036 C -111.555  
N 7640 G1 X -209.489 Y 43.784 Z 49.903 B 67.036 C -112.586  
N 7650 G1 X -208.475 Y 44.083 Z 49.196 B 67.036 C -113.56  
N 7660 G1 X -207.46 Y 44.381 Z 48.489 B 67.036 C -114.592  
N 7670 G1 X -206.446 Y 44.679 Z 47.782 B 67.036 C -115.566  
N 7680 G1 X -205.431 Y 44.978 Z 47.076 B 67.036 C -116.54  
N 7690 G1 X -204.417 Y 45.276 Z 46.369 B 67.036 C -117.514  
N 7700 G1 X -203.402 Y 45.574 Z 45.663 B 67.036 C -118.488  
N 7710 G1 X -202.388 Y 45.873 Z 44.956 B 67.036 C -119.404  
N 7720 G1 X -201.373 Y 46.171 Z 44.25 B 67.036 C -120.378  
N 7730 G1 X -200.358 Y 46.469 Z 43.544 B 67.036 C -121.295  
N 7740 G1 X -199.343 Y 46.768 Z 42.838 B 67.036 C -122.269  
N 7750 G1 X -198.329 Y 47.066 Z 42.132 B 67.036 C -123.186  
N 7760 G1 X -197.314 Y 47.365 Z 41.426 B 67.036 C -124.103  
N 7770 G1 X -196.335 Y 48.111 Z 39.964 B 67.38 C -124.389



N 7780 G0 X -196.335 Y 48.111 Z 89.964  
N 7790 G0 B 72.536 C -113.388  
N 7800 G0 X-229.861 Y 30.148  
N 7810 G0 X -229.861 Y 30.148 Z 29.345 B 72.536 C -113.388  
N 7820 G1 X -219.428 Y 38.78 Z 42.207 B 69.844 C -109.55  
N 7830 G1 X -218.383 Y 39.057 Z 41.536 B 69.844 C -110.581  
N 7840 G1 X -217.339 Y 39.335 Z 40.865 B 69.844 C -111.612  
N 7850 G1 X -216.294 Y 39.612 Z 40.193 B 69.844 C -112.644  
N 7860 G1 X -215.249 Y 39.889 Z 39.522 B 69.844 C -113.675  
N 7870 G1 X -214.205 Y 40.166 Z 38.851 B 69.844 C -114.706  
N 7880 G1 X -213.16 Y 40.443 Z 38.181 B 69.844 C -115.68  
N 7890 G1 X -212.115 Y 40.721 Z 37.51 B 69.844 C -116.712  
N 7900 G1 X -211.07 Y 40.998 Z 36.839 B 69.844 C -117.686  
N 7910 G1 X -210.025 Y 41.275 Z 36.169 B 69.844 C -118.717  
N 7920 G1 X -208.98 Y 41.552 Z 35.499 B 69.844 C -119.691  
N 7930 G1 X -207.935 Y 41.829 Z 34.829 B 69.844 C -120.665  
N 7940 G1 X -206.89 Y 42.107 Z 34.159 B 69.844 C -121.639  
N 7950 G1 X -205.845 Y 42.384 Z 33.489 B 69.844 C -122.613  
N 7960 G1 X -204.8 Y 42.661 Z 32.819 B 69.844 C -123.53  
N 7970 G1 X -203.755 Y 42.938 Z 32.149 B 69.844 C -124.504  
N 7980 G1 X -202.71 Y 43.215 Z 31.48 B 69.844 C -125.42  
N 7990 G1 X -201.664 Y 43.493 Z 30.81 B 69.844 C -126.394  
N 8000 G1 X -200.619 Y 43.77 Z 30.141 B 69.844 C -127.311  
N 8010 G1 X -199.574 Y 44.047 Z 29.471 B 69.844 C -128.228  
N 8020 G1 X -198.634 Y 44.571 Z 27.667 B 70.245 C -128.801  
N 8030 G0 X -198.634 Y 44.571 Z 77.667  
N 8040 G0 B 75.974 C -117.8  
N 8050 G0 X-231.211 Y 26.576  
N 8060 G0 X -231.211 Y 26.576 Z 14.213 B 75.974 C -117.8  
N 8070 G1 X -221.546 Y 35.838 Z 29.385 B 72.708 C -113.56  
N 8080 G1 X -220.471 Y 36.094 Z 28.754 B 72.708 C -114.649  
N 8090 G1 X -219.396 Y 36.35 Z 28.123 B 72.708 C -115.68  
N 8100 G1 X -218.321 Y 36.606 Z 27.492 B 72.708 C -116.712  
N 8110 G1 X -217.247 Y 36.862 Z 26.861 B 72.708 C -117.743  
N 8120 G1 X -216.172 Y 37.118 Z 26.23 B 72.708 C -118.717  
N 8130 G1 X -215.097 Y 37.373 Z 25.599 B 72.708 C -119.748  
N 8140 G1 X -214.021 Y 37.629 Z 24.969 B 72.708 C -120.78  
N 8150 G1 X -212.946 Y 37.885 Z 24.339 B 72.708 C -121.754  
N 8160 G1 X -211.871 Y 38.141 Z 23.709 B 72.708 C -122.728  
N 8170 G1 X -210.796 Y 38.397 Z 23.079 B 72.708 C -123.702  
N 8180 G1 X -209.721 Y 38.653 Z 22.449 B 72.708 C -124.676  
N 8190 G1 X -208.646 Y 38.908 Z 21.819 B 72.708 C -125.65  
N 8200 G1 X -207.57 Y 39.164 Z 21.189 B 72.708 C -126.624  
N 8210 G1 X -206.495 Y 39.42 Z 20.56 B 72.708 C -127.598  
N 8220 G1 X -205.42 Y 39.676 Z 19.93 B 72.708 C -128.572  
N 8230 G1 X -204.344 Y 39.932 Z 19.301 B 72.708 C -129.488

N 8240 G1 X -203.269 Y 40.188 Z 18.672 B 72.708 C -130.405  
N 8250 G1 X -202.193 Y 40.443 Z 18.043 B 72.708 C -131.379  
N 8260 G1 X -201.118 Y 40.699 Z 17.414 B 72.708 C -132.296  
N 8270 G1 X -200.159 Y 41.118 Z 14.99 B 73.281 C -132.984  
N 8280 G0 X -200.159 Y 41.118 Z 64.99  
N 8290 G0 B 65.89 C -103.82  
N 8300 G0 X-221.476 Y 35.448  
N 8310 G0 X -221.476 Y 35.448 Z 61.949 B 65.89 C -103.82  
N 8320 G1 X -208.179 Y 44.144 Z 75.897 B 63.14 C -98.09  
N 8330 G1 X -207.185 Y 44.461 Z 75.17 B 63.14 C -99.179  
N 8340 G1 X -206.191 Y 44.778 Z 74.444 B 63.14 C -100.21  
N 8350 G1 X -205.197 Y 45.094 Z 73.717 B 63.14 C -101.242  
N 8360 G1 X -204.202 Y 45.411 Z 72.991 B 63.14 C -102.273  
N 8370 G1 X -203.208 Y 45.728 Z 72.265 B 63.14 C -103.304  
N 8380 G1 X -202.214 Y 46.044 Z 71.539 B 63.14 C -104.278  
N 8390 G1 X -201.219 Y 46.361 Z 70.813 B 63.14 C -105.31  
N 8400 G1 X -200.225 Y 46.677 Z 70.087 B 63.14 C -106.284  
N 8410 G1 X -199.23 Y 46.994 Z 69.361 B 63.14 C -107.258  
N 8420 G1 X -198.235 Y 47.311 Z 68.635 B 63.14 C -108.289  
N 8430 G1 X -197.241 Y 47.627 Z 67.91 B 63.14 C -109.263  
N 8440 G1 X -196.246 Y 47.944 Z 67.184 B 63.197 C -110.237  
N 8450 G1 X -195.251 Y 48.261 Z 66.459 B 63.197 C -111.154  
N 8460 G1 X -194.256 Y 48.577 Z 65.734 B 63.197 C -112.128  
N 8470 G1 X -193.261 Y 48.894 Z 65.008 B 63.197 C -113.102  
N 8480 G1 X -192.267 Y 49.211 Z 64.283 B 63.197 C -114.019  
N 8490 G1 X -191.272 Y 49.527 Z 63.558 B 63.197 C -114.993  
N 8500 G1 X -190.277 Y 49.844 Z 62.833 B 63.197 C -115.909  
N 8510 G1 X -189.281 Y 50.161 Z 62.108 B 63.197 C -116.826  
N 8520 G1 X -188.486 Y 50.265 Z 60.995 B 63.197 C -118.144  
N 8530 G0 X -188.486 Y 50.265 Z 110.995  
N 8540 G0 B 65.489 C -103.304  
N 8550 G0 X-220.39 Y 35.24  
N 8560 G0 X -220.39 Y 35.24 Z 64.266 B 65.489 C -103.304  
N 8570 G1 X -206.728 Y 44.217 Z 78.701 B 62.739 C -96.887  
N 8580 G1 X -205.733 Y 44.535 Z 77.976 B 62.739 C -97.918  
N 8590 G1 X -204.739 Y 44.852 Z 77.251 B 62.739 C -99.007  
N 8600 G1 X -203.744 Y 45.169 Z 76.526 B 62.739 C -100.038  
N 8610 G1 X -202.749 Y 45.487 Z 75.801 B 62.739 C -101.012  
N 8620 G1 X -201.754 Y 45.804 Z 75.076 B 62.739 C -102.044  
N 8630 G1 X -200.759 Y 46.122 Z 74.351 B 62.739 C -103.075  
N 8640 G1 X -199.764 Y 46.439 Z 73.626 B 62.739 C -104.049  
N 8650 G1 X -198.769 Y 46.756 Z 72.902 B 62.739 C -105.08  
N 8660 G1 X -197.773 Y 47.074 Z 72.177 B 62.739 C -106.054  
N 8670 G1 X -196.778 Y 47.391 Z 71.453 B 62.739 C -107.029  
N 8680 G1 X -195.783 Y 47.708 Z 70.729 B 62.739 C -108.003  
N 8690 G1 X -194.787 Y 48.026 Z 70.005 B 62.739 C -108.977

N 8700 G1 X -193.792 Y 48.343 Z 69.28 B 62.739 C -109.951  
N 8710 G1 X -192.796 Y 48.66 Z 68.556 B 62.739 C -110.925  
N 8720 G1 X -191.801 Y 48.978 Z 67.833 B 62.739 C -111.841  
N 8730 G1 X -190.805 Y 49.295 Z 67.109 B 62.739 C -112.815  
N 8740 G1 X -189.81 Y 49.612 Z 66.385 B 62.739 C -113.732  
N 8750 G1 X -188.814 Y 49.93 Z 65.662 B 62.739 C -114.706  
N 8760 G1 X -187.819 Y 50.247 Z 64.938 B 62.739 C -115.623  
N 8770 G1 X -186.858 Y 50.224 Z 64.454 B 62.51 C -117.17  
N 8780 G0 X -186.858 Y 50.224 Z 114.454  
N 8790 G0 B 65.088 C -102.674  
N 8800 G0 X -219.31 Y 35.074  
N 8810 G0 X -219.31 Y 35.074 Z 66.578 B 65.088 C -102.674  
N 8820 G1 X -205.363 Y 44.284 Z 81.296 B 62.338 C -95.684  
N 8830 G1 X -204.368 Y 44.602 Z 80.572 B 62.338 C -96.715  
N 8840 G1 X -203.372 Y 44.92 Z 79.848 B 62.338 C -97.747  
N 8850 G1 X -202.377 Y 45.238 Z 79.125 B 62.338 C -98.778  
N 8860 G1 X -201.381 Y 45.556 Z 78.401 B 62.338 C -99.809  
N 8870 G1 X -200.386 Y 45.874 Z 77.677 B 62.338 C -100.841  
N 8880 G1 X -199.39 Y 46.192 Z 76.954 B 62.338 C -101.872  
N 8890 G1 X -198.394 Y 46.51 Z 76.23 B 62.338 C -102.846  
N 8900 G1 X -197.399 Y 46.828 Z 75.507 B 62.338 C -103.877  
N 8910 G1 X -196.403 Y 47.146 Z 74.784 B 62.338 C -104.851  
N 8920 G1 X -195.407 Y 47.464 Z 74.061 B 62.338 C -105.825  
N 8930 G1 X -194.411 Y 47.782 Z 73.338 B 62.338 C -106.799  
N 8940 G1 X -193.415 Y 48.1 Z 72.615 B 62.338 C -107.773  
N 8950 G1 X -192.419 Y 48.418 Z 71.892 B 62.338 C -108.747  
N 8960 G1 X -191.423 Y 48.736 Z 71.169 B 62.338 C -109.721  
N 8970 G1 X -190.427 Y 49.054 Z 70.446 B 62.338 C -110.638  
N 8980 G1 X -189.431 Y 49.372 Z 69.724 B 62.338 C -111.612  
N 8990 G1 X -188.435 Y 49.691 Z 69.001 B 62.338 C -112.529  
N 9000 G1 X -187.439 Y 50.009 Z 68.279 B 62.338 C -113.503  
N 9010 G1 X -186.443 Y 50.327 Z 67.557 B 62.338 C -114.42  
N 9020 G1 X -185.224 Y 50.216 Z 67.861 B 61.822 C -116.139  
N 9030 G0 X -185.224 Y 50.216 Z 117.861  
N 9040 G0 B 64.687 C -102.044  
N 9050 G0 X -218.236 Y 34.958  
N 9060 G0 X -218.236 Y 34.958 Z 68.882 B 64.687 C -102.044  
N 9070 G1 X -204.072 Y 44.356 Z 83.728 B 61.937 C -94.481  
N 9080 G1 X -203.076 Y 44.675 Z 83.005 B 61.937 C -95.512  
N 9090 G1 X -202.08 Y 44.993 Z 82.282 B 61.937 C -96.601  
N 9100 G1 X -201.085 Y 45.312 Z 81.559 B 61.937 C -97.632  
N 9110 G1 X -200.089 Y 45.631 Z 80.837 B 61.937 C -98.606  
N 9120 G1 X -199.093 Y 45.95 Z 80.114 B 61.937 C -99.637  
N 9130 G1 X -198.097 Y 46.269 Z 79.392 B 61.937 C -100.669  
N 9140 G1 X -197.101 Y 46.588 Z 78.669 B 61.937 C -101.643  
N 9150 G1 X -196.105 Y 46.906 Z 77.947 B 61.937 C -102.674

N 9160 G1 X -195.108 Y 47.225 Z 77.225 B 61.937 C -103.648  
N 9170 G1 X -194.112 Y 47.544 Z 76.503 B 61.937 C -104.622  
N 9180 G1 X -193.116 Y 47.863 Z 75.781 B 61.937 C -105.596  
N 9190 G1 X -192.12 Y 48.182 Z 75.059 B 61.937 C -106.57  
N 9200 G1 X -191.123 Y 48.5 Z 74.337 B 61.937 C -107.544  
N 9210 G1 X -190.127 Y 48.819 Z 73.615 B 61.937 C -108.518  
N 9220 G1 X -189.131 Y 49.138 Z 72.893 B 61.937 C -109.492  
N 9230 G1 X -188.134 Y 49.457 Z 72.172 B 61.937 C -110.409  
N 9240 G1 X -187.138 Y 49.776 Z 71.45 B 61.937 C -111.326  
N 9250 G1 X -186.141 Y 50.094 Z 70.729 B 61.937 C -112.3  
N 9260 G1 X -185.144 Y 50.413 Z 70.008 B 61.937 C -113.216  
N 9270 G1 X -183.585 Y 50.249 Z 71.214 B 61.135 C -115.107  
N 9280 G0 X -183.585 Y 50.249 Z 121.214  
N 9290 G0 B 64.229 C -101.299  
N 9300 G0 X -217.169 Y 34.9  
N 9310 G0 X -217.169 Y 34.9 Z 71.178 B 64.229 C -101.299  
N 9320 G1 X -202.838 Y 44.447 Z 86.048 B 61.536 C -93.278  
N 9330 G1 X -201.842 Y 44.767 Z 85.325 B 61.593 C -94.366  
N 9340 G1 X -200.846 Y 45.087 Z 84.603 B 61.593 C -95.397  
N 9350 G1 X -199.85 Y 45.406 Z 83.881 B 61.593 C -96.429  
N 9360 G1 X -198.854 Y 45.726 Z 83.159 B 61.593 C -97.46  
N 9370 G1 X -197.858 Y 46.046 Z 82.437 B 61.593 C -98.491  
N 9380 G1 X -196.862 Y 46.366 Z 81.715 B 61.593 C -99.465  
N 9390 G1 X -195.866 Y 46.685 Z 80.993 B 61.593 C -100.497  
N 9400 G1 X -194.87 Y 47.005 Z 80.271 B 61.593 C -101.471  
N 9410 G1 X -193.874 Y 47.325 Z 79.55 B 61.593 C -102.445  
N 9420 G1 X -192.878 Y 47.645 Z 78.828 B 61.593 C -103.476  
N 9430 G1 X -191.881 Y 47.964 Z 78.107 B 61.593 C -104.45  
N 9440 G1 X -190.885 Y 48.284 Z 77.386 B 61.593 C -105.424  
N 9450 G1 X -189.889 Y 48.604 Z 76.664 B 61.593 C -106.398  
N 9460 G1 X -188.892 Y 48.923 Z 75.943 B 61.593 C -107.315  
N 9470 G1 X -187.896 Y 49.243 Z 75.222 B 61.593 C -108.289  
N 9480 G1 X -186.899 Y 49.563 Z 74.501 B 61.593 C -109.206  
N 9490 G1 X -185.902 Y 49.883 Z 73.78 B 61.593 C -110.18  
N 9500 G1 X -184.906 Y 50.202 Z 73.059 B 61.593 C -111.097  
N 9510 G1 X -183.909 Y 50.522 Z 72.339 B 61.593 C -112.013  
N 9520 G1 X -181.941 Y 50.333 Z 74.514 B 60.39 C -114.019  
N 9530 G0 X -181.941 Y 50.333 Z 124.514  
N 9540 G0 B 63.77 C -100.554  
N 9550 G0 X -216.102 Y 34.91  
N 9560 G0 X -216.102 Y 34.91 Z 73.477 B 63.77 C -100.554  
N 9570 G1 X -201.635 Y 44.573 Z 88.319 B 61.192 C -92.132  
N 9580 G1 X -200.639 Y 44.894 Z 87.597 B 61.192 C -93.163  
N 9590 G1 X -199.644 Y 45.214 Z 86.874 B 61.192 C -94.194  
N 9600 G1 X -198.648 Y 45.535 Z 86.152 B 61.192 C -95.226  
N 9610 G1 X -197.653 Y 45.856 Z 85.43 B 61.192 C -96.257

N 9620 G1 X -196.657 Y 46.177 Z 84.709 B 61.192 C -97.288  
N 9630 G1 X -195.661 Y 46.498 Z 83.987 B 61.192 C -98.32  
N 9640 G1 X -194.666 Y 46.819 Z 83.265 B 61.192 C -99.294  
N 9650 G1 X -193.67 Y 47.14 Z 82.544 B 61.192 C -100.325  
N 9660 G1 X -192.674 Y 47.461 Z 81.822 B 61.192 C -101.299  
N 9670 G1 X -191.678 Y 47.782 Z 81.101 B 61.192 C -102.273  
N 9680 G1 X -190.682 Y 48.103 Z 80.379 B 61.192 C -103.247  
N 9690 G1 X -189.686 Y 48.423 Z 79.658 B 61.192 C -104.221  
N 9700 G1 X -188.69 Y 48.744 Z 78.937 B 61.192 C -105.195  
N 9710 G1 X -187.694 Y 49.065 Z 78.216 B 61.192 C -106.169  
N 9720 G1 X -186.698 Y 49.386 Z 77.495 B 61.192 C -107.086  
N 9730 G1 X -185.702 Y 49.707 Z 76.774 B 61.192 C -108.06  
N 9740 G1 X -184.706 Y 50.028 Z 76.053 B 61.192 C -108.977  
N 9750 G1 X -183.71 Y 50.349 Z 75.333 B 61.192 C -109.893  
N 9760 G1 X -182.713 Y 50.67 Z 74.612 B 61.192 C -110.867  
N 9770 G1 X -180.286 Y 50.48 Z 77.774 B 59.702 C -112.93  
N 9780 G0 X -180.286 Y 50.48 Z 127.774  
N 9790 G0 B 63.312 C -99.695  
N 9800 G0 X-215.017 Y 35.002  
N 9810 G0 X -215.017 Y 35.002 Z 75.824 B 63.312 C -99.695  
N 9820 G1 X -200.409 Y 44.753 Z 90.654 B 60.791 C -90.928  
N 9830 G1 X -199.415 Y 45.075 Z 89.931 B 60.791 C -91.96  
N 9840 G1 X -198.421 Y 45.398 Z 89.208 B 60.791 C -92.991  
N 9850 G1 X -197.426 Y 45.72 Z 88.485 B 60.791 C -94.022  
N 9860 G1 X -196.431 Y 46.043 Z 87.763 B 60.791 C -95.054  
N 9870 G1 X -195.437 Y 46.365 Z 87.041 B 60.791 C -96.085  
N 9880 G1 X -194.442 Y 46.688 Z 86.318 B 60.791 C -97.116  
N 9890 G1 X -193.447 Y 47.01 Z 85.596 B 60.791 C -98.09  
N 9900 G1 X -192.453 Y 47.333 Z 84.874 B 60.791 C -99.064  
N 9910 G1 X -191.458 Y 47.655 Z 84.152 B 60.791 C -100.096  
N 9920 G1 X -190.463 Y 47.978 Z 83.43 B 60.791 C -101.07  
N 9930 G1 X -189.468 Y 48.3 Z 82.708 B 60.791 C -102.044  
N 9940 G1 X -188.473 Y 48.623 Z 81.986 B 60.791 C -103.018  
N 9950 G1 X -187.478 Y 48.945 Z 81.264 B 60.791 C -103.992  
N 9960 G1 X -186.483 Y 49.268 Z 80.543 B 60.791 C -104.909  
N 9970 G1 X -185.488 Y 49.59 Z 79.821 B 60.791 C -105.883  
N 9980 G1 X -184.493 Y 49.913 Z 79.1 B 60.791 C -106.857  
N 9990 G1 X -183.497 Y 50.235 Z 78.378 B 60.791 C -107.773  
N 10000 G1 X -182.502 Y 50.558 Z 77.657 B 60.791 C -108.69  
N 10010 G1 X -181.507 Y 50.88 Z 76.936 B 60.791 C -109.664  
N 10020 G1 X -178.587 Y 50.707 Z 81.059 B 58.957 C -  
111.727  
N 10030 G0 X -178.587 Y 50.707 Z 131.059  
N 10040 G0 B 62.796 C -98.721  
N 10050 G0 X-213.86 Y 35.201  
N 10060 G0 X -213.86 Y 35.201 Z 78.353 B 62.796 C -98.721

N 10070 G1 X -198.959 Y 45.052 Z 93.453 B 60.275 C -89.496  
N 10080 G1 X -197.966 Y 45.377 Z 92.728 B 60.275 C -90.527  
N 10090 G1 X -196.974 Y 45.702 Z 92.004 B 60.275 C -91.559  
N 10100 G1 X -195.981 Y 46.027 Z 91.28 B 60.275 C -92.59  
N 10110 G1 X -194.989 Y 46.352 Z 90.555 B 60.275 C -93.621  
N 10120 G1 X -193.996 Y 46.677 Z 89.831 B 60.275 C -94.653  
N 10130 G1 X -193.004 Y 47.002 Z 89.107 B 60.275 C -95.684  
N 10140 G1 X -192.011 Y 47.327 Z 88.384 B 60.275 C -96.658  
N 10150 G1 X -191.018 Y 47.652 Z 87.66 B 60.275 C -97.689  
N 10160 G1 X -190.026 Y 47.977 Z 86.936 B 60.275 C -98.663  
N 10170 G1 X -189.033 Y 48.302 Z 86.213 B 60.275 C -99.637  
N 10180 G1 X -188.04 Y 48.626 Z 85.489 B 60.275 C -100.611  
N 10190 G1 X -187.047 Y 48.951 Z 84.766 B 60.275 C -  
101.585  
N 10200 G1 X -186.054 Y 49.276 Z 84.042 B 60.275 C -  
102.559  
N 10210 G1 X -185.061 Y 49.601 Z 83.319 B 60.275 C -  
103.533  
N 10220 G1 X -184.068 Y 49.926 Z 82.596 B 60.275 C -104.45  
N 10230 G1 X -183.075 Y 50.251 Z 81.873 B 60.275 C -  
105.424  
N 10240 G1 X -182.082 Y 50.576 Z 81.15 B 60.275 C -106.341  
N 10250 G1 X -181.089 Y 50.901 Z 80.427 B 60.275 C -  
107.315  
N 10260 G1 X -180.095 Y 51.226 Z 79.704 B 60.275 C -  
108.232  
N 10270 G1 X -176.641 Y 51.075 Z 84.755 B 58.098 C -  
110.352  
N 10280 G0 X -176.641 Y 51.075 Z 134.755  
N 10290 G0 B 61.765 C -97.002  
N 10300 G0 X -211.735 Y 35.838  
N 10310 G0 X -211.735 Y 35.838 Z 83.239 B 61.765 C -97.002  
N 10320 G1 X -197.123 Y 45.504 Z 96.975 B 59.588 C -87.72  
N 10330 G1 X -196.134 Y 45.832 Z 96.248 B 59.588 C -88.808  
N 10340 G1 X -195.145 Y 46.161 Z 95.521 B 59.588 C -89.84  
N 10350 G1 X -194.156 Y 46.489 Z 94.794 B 59.588 C -90.871  
N 10360 G1 X -193.167 Y 46.818 Z 94.067 B 59.588 C -91.902  
N 10370 G1 X -192.178 Y 47.146 Z 93.34 B 59.588 C -92.934  
N 10380 G1 X -191.188 Y 47.475 Z 92.613 B 59.588 C -93.908  
N 10390 G1 X -190.199 Y 47.803 Z 91.887 B 59.588 C -94.939  
N 10400 G1 X -189.21 Y 48.132 Z 91.16 B 59.588 C -95.913  
N 10410 G1 X -188.22 Y 48.46 Z 90.434 B 59.588 C -96.887  
N 10420 G1 X -187.231 Y 48.789 Z 89.707 B 59.588 C -97.918  
N 10430 G1 X -186.241 Y 49.117 Z 88.981 B 59.588 C -98.893  
N 10440 G1 X -185.251 Y 49.446 Z 88.255 B 59.588 C -99.867  
N 10450 G1 X -184.262 Y 49.774 Z 87.529 B 59.588 C -  
100.783  
N 10460 G1 X -183.272 Y 50.103 Z 86.803 B 59.588 C -

101.757  
N 10470 G1 X -182.282 Y 50.431 Z 86.077 B 59.588 C -  
102.731  
N 10480 G1 X -181.292 Y 50.76 Z 85.351 B 59.588 C -103.648  
N 10490 G1 X -180.303 Y 51.088 Z 84.625 B 59.588 C -  
104.622  
N 10500 G1 X -179.313 Y 51.417 Z 83.899 B 59.588 C -  
105.539  
N 10510 G1 X -178.323 Y 51.745 Z 83.174 B 59.645 C -  
106.456  
N 10520 G1 X -174.265 Y 51.616 Z 89.135 B 57.124 C -  
108.633  
N 10530 G0 X -174.265 Y 51.616 Z 139.135  
N 10540 G0 Z 229.135  
N 10550 G0 B 0 C 0  
N 10560 G92 B 0 C -24  
N 10570 #RPT[N40,N10570,14]  
N 10580 M10 M12  
N 10590 M5 M30