



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

# DISEÑO DE UN EXTRUSOR PARA IMPRIMIR CHOCOLATE



**Memoria i Annexos**

**Volumen I**

**Autor:** Wenyuan Ji Chen  
**Director:** Jordi Jorba Peiró  
**Departamento:** CMEM  
**Convocatoria:** octubre 2017



## Resum

El present treball tracta sobre el disseny d'un extrusor de impressora 3D amb la capacitat d'imprimir xocolata que inicialment es troba en estat sòlid.

S'ha realitzat un estat de l'art per estudiar aquest tip de producte en el mercat actual, conèixer les carències que tenen y saber que es possible millorar. També s'ha estudiat les propietats reològiques de la xocolata per conèixer com i què es necessari per tractar amb aquest material.

Conegut els requisits per fondre la xocolata, s'ha realitzat el disseny fent referencia a diverses normatives de construcció de màquines alimentàries, es a dir, s'ha realitzat un disseny higiènic i s'ha seleccionat els materials de cada component de l'extrusor perquè puguin estar en contacte amb material alimentari. També s'han restringit les dimensions de l'extrusor perquè fossi adaptable amb les impressores 3D actuals que hi ha el mercat.

I finalment, amb el disseny acabat es verifica la capacitat calefactora y la capacitat d'extrusió de l'extrusor amb els components seleccionats.

## Resumen

El presente trabajo trata sobre el diseño de un extrusor de impresora 3D capaz de imprimir chocolate que inicialmente se encuentra en estado sólido.

Se ha realizado un estado del arte para estudiar este tipo de producto en el mercado actual, conocer sus carencias y saber que es necesario mejorar. También se ha estudiado las propiedades reológicas del chocolate para conocer cómo y que es necesario para tratar con este material.

Conocido los requisitos para derretir chocolate, se ha realizado el diseño siguiendo diversas normativas de construcción de máquinas alimentarias, es decir, se ha realizado un diseño higiénico y se ha seleccionado los materiales de cada componente del extrusor para que pudieran entrar en contacto con material alimentario. También se han limitado las dimensiones para que fuera adaptable con las impresoras 3D actuales del mercado.

Finalmente con el diseño terminado, se verifica la capacidad calefactora y la capacidad de extrusión del extrusor con los componentes elegidos.

## **Abstract**

This project deals with the design of an 3D printer's extruder, capable to extrude chocolate which were originally in solid state.

A state of art has been done to study this kind of product in the current market, to know the lacks and to know what is necessary to improve. Moreover, it has been studied the rheological properties of chocolate to know how and what is necessary to treat with this material.

Once it has been known the requirements for melting chocolate, it begins to design the product, the design has been carried out following various food machinery construction regulations, therefore, it has been made a hygienic design and the materials of each component of the extruder have been selected to allow the food contact. In addition, the dimensions of the extruder have been limited to be adaptable with the current 3D printers on the market.

And finally, with the design done, the heating capacity and the extrusion capacity of the extruder has been verified to know if the selected components were the correct ones



## AGRADECIMIENTOS

En este apartado me gustaría agradecer todas las personas que han tenido algún que otro tipo de influencia en este proyecto.

Primero me gustaría agradecer a toda mi familia (Z.J., S.C, X.J y X.J.C) por el apoyo incondicional y por el gran esfuerzo que han hecho para permitirme llegar hasta donde estoy hoy.

Por otro lado, agradezco a todos mis amigos, compañeros de clase por los consejos que me han dado para poder salir adelante con problemas que me he ido encontrando.

Agradezco a mi tutor del TFG, el prof. Jordi Jorba, quien desde el inicio del proyecto me ha aconsejado y aportado diferentes puntos de vista para la mejora del proyecto en general.

Finalmente, agradecer a todos los profesores que me han impartido en algún momento de mi vida, especialmente a los de la escuela EEBE (Escola d'Enginyeria de Barcelona Est) por todos los conocimientos que me han aportado.





## Lista de ilustraciones

|  |   |    |
|--|---|----|
| Ilustración 1. Esquema máquina estereografía.  | Fuente: 3D Printing Industry.                       | 16 |
| Ilustración 2. Esquema sinterizado selectivo por láser (SLS).  | Fuente: 3D Printing Industry.                       | 17 |
| Ilustración 3. Esquema Modelado por Deposición fundida (FDM).  | Fuente: CustomPartNet.                              | 18 |
| Ilustración 4. Prótesis de costilla.   | Fuente: www.impresiontresde.com                     | 19 |
| Ilustración 5. Maneta de freno.  | Fuente: www.elmundo.es.                             | 19 |
| Ilustración 6. Esquema funcionamiento impresión 3D.  | Fuente: Elaboración propia.                         | 21 |
| Ilustración 7. Jeringa de extrusión.   | Fuente: futuro3d.                                   | 22 |
| Ilustración 8. Jeringa extrusor con calefactor.  | Fuente: open-electronics.                           | 23 |
| Ilustración 9 Makerbot Frostruder MK2.   | Fuente: Makerbot-blog-old.                          | 24 |
| Ilustración 10. Extrusor alimenticio de VormVrij.  | Fuente: 3digitalcooks.                              | 25 |
| Ilustración 11. Claystruder 2.   | Fuente: 3dprintineducation.                         | 26 |
| Ilustración 12. Wonkabot.  | Fuente: ECE Carnegie Mellon University.             | 27 |
| Ilustración 13. ChocoMaker.  | Fuente: UPC (Universidad Politécnica de Cartagena). | 28 |
| Ilustración 14. Representación esquemática de las partículas sólidas y grasas de un chocolate con leche. |   |    |
| Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition.  |   | 31 |
| Ilustración 15. Diagrama de partículas en suspensión, (a) en reposo, (b) en movimiento.                  |   |    |
| Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition.  |   | 32 |
| Ilustración 16. Clasificación de fluidos según el comportamiento reológico.                              |   | 33 |
| Ilustración 17. Gráfica de la ecuación de Casson.  |   |    |
| Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition   |   | 34 |
| Ilustración 18. gráfica de temperaturas de temperado del chocolate.                                      | Fuente: Carlomockli                                 | 34 |
| Ilustración 19. Partes de una extrusora de plástico.   | Fuente: EUSS ingenyeria                             | 37 |
| Ilustración 20. Dimensión del husillo.   | Fuente: EUSS ingenyeria.                            | 38 |
| Ilustración 21. Explosionado del extrusor.   | Fuente Elaboración propia.                          | 41 |
| Ilustración 22. Impresora 3D Prusa i2.   | Fuente: 3dprintingdatabase                          | 42 |
| Ilustración 23. Cilindro extrusor.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 43 |
| Ilustración 24. Boquilla.  | Fuente: Elaboración propia.                         | 44 |
| Ilustración 25. Tapa superior.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 45 |
| Ilustración 26. Husillo.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 46 |
| Ilustración 27. Vista explosionada del Sist. Calefactor.   | Fuente: Elaboración propia                          | 47 |
| Ilustración 28. Bloque calefactor.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 48 |
| Ilustración 29. Tapa calefactor.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 49 |
| Ilustración 30. Vista explosionada sist. alimentación.   | Fuente: Elaboración propia.                         | 50 |
| Ilustración 31. Adaptador extrusor-impresora 3D.   | Fuente: elaboración propia.                         | 52 |

---

|  |    |
|--|----|
| <i>Ilustración 32. Extrusor ensamblado en el adaptador. Fuente: elaboración propia.</i>  | 53 |
| <i>Ilustración 33. Impresora 3D con extrusor de chocolate. Fuente: Elaboración propia</i>  | 53 |
| <i>Ilustración 34. Croquis seccionado del extrusor. Fuente: elaboración propia.</i>  | 67 |
| <i>Ilustración 35. Esquema conducción térmica</i>  | 69 |
| <i>Ilustración 36. Sección de un cilindro con husillo de dos canales.</i>  | 70 |
| <i>Ilustración 37. holgura husillo. Fuente: elaboración propia.</i>  | 74 |
| <i>Ilustración 38. Calor específico del chocolate. Fuente: (Mohos, 2017).</i>  | 76 |
| <i>Ilustración 39. Calor específico del chocolate (aprox.). Fuente: (<a href="http://www.engineeringtoolbox.com">http://www.engineeringtoolbox.com</a>, 2017).</i> | 77 |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Diferentes métodos de impresión 3D. Fuente: Wikipedia | 15 |
| Tabla 2. Coste de ingeniería                                   | 57 |
| Tabla 3. Coste software  | 58 |
| Tabla 4. Coste adaptador Prusa i2.                             | 59 |
| Tabla 5. Coste tapa tolva.                                     | 59 |
| Tabla 6. Coste tolva.  | 59 |
| Tabla 7. Coste acople tolva.                                   | 60 |
| Tabla 8. Coste cinturón tolva.                                 | 60 |
| Tabla 9. Coste boquilla.                                       | 60 |
| Tabla 10. Coste cilindro extrusor.                             | 61 |
| Tabla 11. Coste husillo.                                       | 61 |
| Tabla 12. Coste tapa bloque calefactor.                        | 61 |
| Tabla 13. Coste bloque calefactor.                             | 61 |
| Tabla 14. Coste tapa superior.                                 | 62 |
| Tabla 15. Coste retenedor tolva.                               | 62 |
| Tabla 16. Coste componentes.                                   | 62 |
| Tabla 17. Coste total de fabricación.                          | 63 |
| Tabla 18. Presupuesto total                                    | 64 |



# ÍNDICE

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUM</b>   | <b>I</b>   |
| <b>RESUMEN</b>   | <b>II</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>III</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>   | <b>V</b>   |
| <b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b>  | <b>VII</b> |
| <b>LISTA DE TABLAS</b>   | <b>IX</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>   | <b>13</b>  |
| 1.1. Objetivos del trabajo.....  | 13         |
| 1.2. Alcance del trabajo .....   | 14         |
| <b>2. IMPRESIÓN 3D</b>   | <b>15</b>  |
| 2.1. Métodos de fabricación 3D.....  | 16         |
| - Estereolitografía (SLA).....   | 16         |
| - Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).....   | 17         |
| - Modelado por Deposición Fundida (FDM).....   | 18         |
| 2.2. Aplicaciones. ....  | 19         |
| 2.3. Funcionamiento de la impresión 3D. ....   | 20         |
| <b>3. ESTADO DEL ARTE</b>  | <b>22</b>  |
| 3.1. Extrusores con forma de jeringa.....  | 22         |
| - Syringe extruder. ....   | 22         |
| - 3Drag extruder. ....   | 23         |
| - Makerbot Frostruder MK2. ....  | 24         |
| 3.2. Extrusores que emplear el tornillo de Arquímedes o el sistema Progressing Cavity Pump. .... | 25         |
| - Food grade extruder.....   | 25         |
| - Claystruder.....   | 26         |
| - Wonkabot.....  | 27         |
| 3.3. Extrusores conectadas a máquinas de temperar.....   | 28         |
| - Chocomaker.....  | 28         |
| 3.4. Conclusiones parciales.....   | 29         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL CHOCOLATE</b> | <b>31</b> |
| 4.1. Temperado del chocolate.....              | 34        |
| 4.2. Conclusiones parciales.....               | 35        |
| <b>5. DISEÑO DEL EXTRUSOR</b>                  | <b>37</b> |
| 5.1. Normativas.....                           | 38        |
| 5.2. Materiales.....                           | 39        |
| 5.3. Extrusor.....                             | 41        |
| - Sistema extrusor. ....                       | 41        |
| - Sistema Calefactor. ....                     | 47        |
| - Sistema de alimentación.....                 | 50        |
| - Adaptador extrusor – impresora 3D.....       | 52        |
| <b>CONCLUSIONES</b>                            | <b>55</b> |
| <b>PRESUPUESTO</b>                             | <b>57</b> |
| - Coste de ingeniería. ....                    | 57        |
| - Coste de software.....                       | 58        |
| - Coste del prototipo.....                     | 59        |
| - Fabricación por impresión 3D.....            | 59        |
| - Fabricación por arranque de virutas.....     | 60        |
| - Coste componentes.....                       | 62        |
| - Coste total de fabricación.....              | 63        |
| - Coste total del proyecto .....               | 64        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                            | <b>65</b> |
| <b>ANEXO</b>                                   | <b>67</b> |
| A. Cálculos .....                              | 67        |
| 1. Potencia de calefactor .....                | 67        |
| 2. Dimensionado del husillo.....               | 70        |
| 3. Flujo volumétrico .....                     | 72        |
| 4. Verificación capacidad calefactora. ....    | 76        |
| B. Fichas técnicas .....                       | 80        |
| - Ficha técnica Aluminio 6082 .....            | 81        |
| - Ficha técnica AISI 316L.....                 | 83        |
| - Ficha técnica T-GLASE .....                  | 87        |
| - Ficha técnica Motor Nema 17.....             | 90        |

# 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, tras realizar un estado del arte sobre las impresoras capaces de imprimir chocolate, se ha definido unos objetivos para mejorar las ofertas del mercado actual y también se han definido el alcance del trabajo a realizar. Estas son:

## 1.1. Objetivos del trabajo

Tras realizar un estudio del mercado actual sobre impresiones 3D de chocolate, se ha detectado la carencia de una máquina capaz de imprimir chocolate independientemente sin la ayuda de otra máquina para temperar el chocolate y que nos permita repostar el material en la extrusora sin ser necesario desmontar todo el sistema de extrusión.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un sistema de extrusión alimentada, de la manera más autónoma posible, de chocolate en forma de pellet o en forma de polvo, pero debido a la escasa información sobre el tratamiento del chocolate ya que sus propiedades varían según su composición, vemos la necesidad de diseñar un prototipo que sea capaz de trabajar en diferentes condiciones para ver si es posible o no extruir chocolate evitando el temperado previo de dicho material.

Esta extrusora, que será variable en cuanto nos referimos al tamaño de la boquilla, nos permitirá realizar experimentos para caracterizar el comportamiento de diferentes tipos de chocolates a diferentes condiciones, y estudiar la viabilidad del diseño.

El sistema de extrusión se diseñará para ser adaptada en una impresora 3D que utiliza la tecnología *Fused Deposition Modelling* (FDM), concretamente la impresora RepRap Prusa Mendel.

Cabe tener en cuenta que para cumplir con el objetivo principal del proyecto es primordial tener unos objetivos más concretos sobre la realización de la máquina más detalladamente.

Los objetivos específicos son:

- Definir las dimensiones del conjunto de extrusión. El conjunto ha de tener unas dimensiones restringidas que permita ajustarse perfectamente a la estructura de la impresora 3D, sin necesidad de variar dicha estructura.
- Calcular las condiciones de impresión. Se calculará en que rango de condiciones debe trabajar la impresora.
- Definir el material que se utilizará para cada componente. El material ha de ser adecuado para cumplir con la finalidad el componente.
- Optimizar peso del conjunto. Debido a que el sistema de extrusión tendrá dos ejes de movimiento, se intentará realizar un diseño lo menos pesado posible.
- Realizar mantenimiento. El conjunto debe ser fácilmente desmontable para realizar su correspondiente limpieza después de cada uso.
- Evitar zonas cerradas donde el fluido pueda estancarse.
- Evitar que gotee cuando no se está imprimiendo.
- Cumplir de las normativas ligadas al diseño de máquinas en contacto con alimentos.
- Realizar un diseño atractivo. Este sistema destinado a realizar experimentos será muy similar al producto final, por tanto, ha de tener un diseño que sea capaz de atraer a clientes en caso de que sea comercializado.

## 1.2. Alcance del trabajo

En el presente proyecto se realizará las siguientes tareas:

- Realizar un estudio sobre la impresión 3D.
- Realizar el estado del arte de los extrusores existentes en el mercado actual que permitan la impresión de alimentos.
- Estudiar las normativas vigentes que debe cumplir el diseño de una máquina alimentaria.
- Diseñar un extrusor de chocolate capaz de derretir el chocolate inicialmente en estado sólido y que permita instalarse en diferentes tipos de impresoras RepRap.
- Definir cada uno de los materiales de las piezas que forma el conjunto de extrusión.
- Investigar cómo se comporta el chocolate.
- Determinar que parámetros se necesita para dimensionar el extrusor y el sistema calefactor.



## 2. IMPRESIÓN 3D

Las impresoras 3D son máquinas capaces de crear réplicas de diseños en 3D piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) o a partir de datos recogidos por un escáner 3D.

Las impresoras 3D, tienen un papel muy importante hoy en día para el prototipado rápido, pero el inicio de la impresión 3D se remonta a 1984, cuando Charles Hull, el cofundador de *3D Systems*, inventa la Estereolitografía para evitar el tedioso trabajo que conlleva realizar objetos de plástico, crear primero un molde para después inyectar el plástico.

Hoy en día existe un gran abanico de métodos de impresión 3D, y sus principales diferencias se encuentran en la forma que usan las diferentes capas que terminarán formando las piezas y el material a imprimir.

| Tipo         | Tecnologías                                   | Materiales  |
|--------------|---|---|
| Extrusión    | Modelado por deposición fundida (FDM)         | Termoplásticos (PLA, ABS), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles |
| Hilado       | Fabricación por haz de electrones (EBF)       | Casi cualquier tipo de aleación de metales                                  |
| Granulado    | Sinterizado de metal por Láser (DMLS)         | Casi cualquier tipo de aleación de metales                                  |
|              | Fusión por haz de electrones (EBM)            | Aleaciones de titanio   |
|              | Sinterizado selectivo por calor (SHS)         | Polvo termoplástico   |
|              | Sinterizado selectivo por láser (SLS)         | Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos                          |
|              | proyección aglutinante (DSPC)                 | Yeso  |
| Laminado     | Laminado de capas (LOM)                       | Papel, papel de aluminio, capa de plásticos                                 |
| Fotoquímicos | Estereolitografía (SLA)                       | fotopolímero  |
|              | Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC) | fotopolímero  |

Tabla 1. Diferentes métodos de impresión 3D. Fuente: Wikipedia

Todos estos métodos de impresión tienen sus ventajas y desventajas, pero a la hora de elegir, los principales factores a valorar son: la velocidad de impresión, el acabado de la pieza, coste de fabricación y el coste de la maquinaria.

## 2.1. Métodos de fabricación 3D.

En la actualidad, los métodos de fabricación 3D más comunes son:

### - Estereolitografía (SLA).

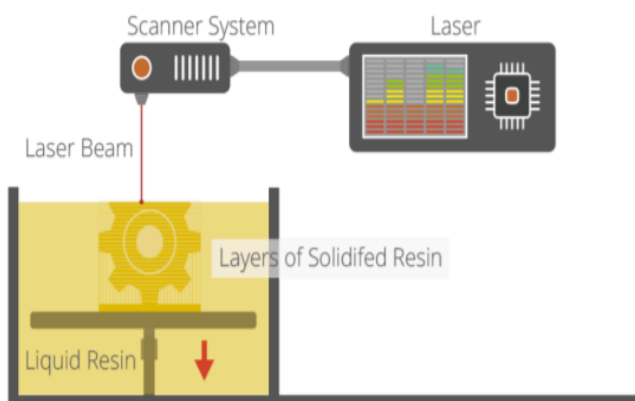


Ilustración 1. Esquema máquina estereografía.

Fuente: 3D Printing Industry.

Inventada el año 1984 por Charles Hull. Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida fotopolimérica (monómero fotosensible) que polimeriza o solidifica al recibir radiación luminosa. Es decir, el láser de luz ultravioleta va solidificando la resina capa por capa trazando cada sección del modelo CAD sobre la plataforma móvil en altura hasta conseguir la pieza deseada.

Las ventajas de esta técnica son:

- Rapidez de impresión
- Buen acabado superficial, normalmente mejor que el obtenido mediante SLS.
- Acabado suficientemente duro para ser mecanizado posteriormente.
- Piezas no porosas (impermeables)

Los inconvenientes son:

- Las resinas utilizadas pueden ser más frágiles y menos flexibles que en el sinterizado SLS.
- La dureza y la resistencia a rotura cambian a lo largo del tiempo volviéndose las piezas cada vez más frágiles debido al proceso continuo de curado gracias a la luz ultravioleta ambiental.
- Alto coste de los equipos y de la resina.

## - Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).

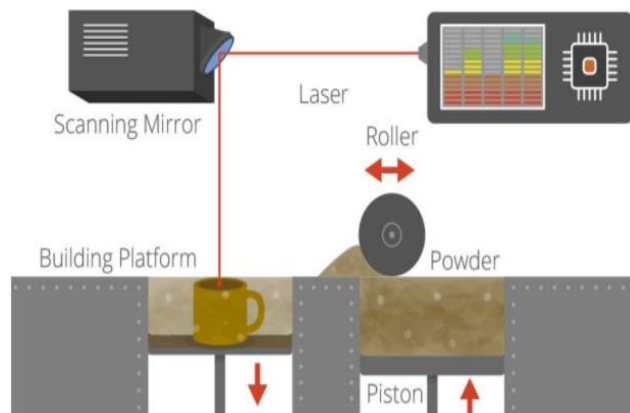


Ilustración 2. Esquema sinterizado selectivo por láser (SLS).  
Fuente: 3D Printing Industry.

Inventada por Carl Deckard el año 1987. Consiste en la colocación mediante un pistón de una fina capa de material en forma de polvo dentro de una cuba a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. Un láser sinteriza capa por capa las áreas seleccionadas provocando que las partículas se fusionen y solidifiquen.

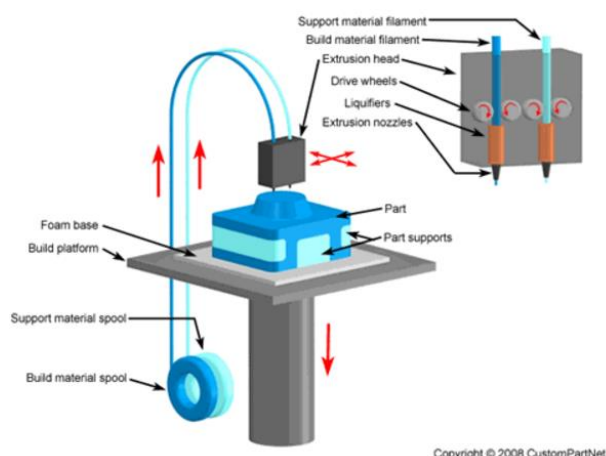
Las ventajas de esta técnica son:

- Permite la fabricación de piezas con buena precisión a partir de materiales muy distintos (Policarbonato, nylon, ABS, metales, cerámicos) y cualquier geometría.
- No precisa de materiales de soporte ni de un proceso de post-curado, es decir, de un tratamiento para mejorar sus características mecánicas.
- Las piezas realizadas soportan temperaturas más elevadas que en el caso de la estereolitografía.

Los inconvenientes:

- Es un proceso lento
- Emplea equipos complejos
- Desperdicio de material

## - Modelado por Deposición Fundida (FDM).



Il·lustració 3. Esquema Modelado por Deposición fundida (FDM).  
Fuente: CustomPartNet.

Inventada el año 1988 por Scott Crump. Este método consiste en depositar capa por capa material sobre una base móvil. El material inicialmente se encuentra en estado sólido en forma de filamento y es almacenado en rollos, este se introduce dentro de una boquilla, que se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material, se funde y es expulsado por la boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme se va depositando sobre la base móvil.

Las ventajas de este método son:

- Buena precisión.
- Bajo coste de mantenimiento
- Producto final funcionales.

Y las desventajas:

- Baja productividad.
- No es adecuado para crear piezas de grandes dimensiones
- Requieren estructuras de soporte para geometrías complejas, es decir, desperdicio de material.

## 2.2. Aplicaciones.

Actualmente, la impresión 3D se emplea en una gran diversidad de sectores, como por ejemplo en:

- La medicina donde crean prótesis, órganos, huesos, etc.

En la Ilustración 4. Prótesis de costilla. Fuente: [www.impresiontresde.com](http://www.impresiontresde.com) podemos observar la prótesis que se utilizó para realizar el primer implante de costillas impresas en 3D, basada en la fabricación por haz de electrones (EBM)



Ilustración 4. Prótesis de costilla. Fuente: [www.impresiontresde.com](http://www.impresiontresde.com)

- En automoción utilizan esta tecnología para diseño de prototipos ya que de esta manera pueden disponer de forma rápida y con un bajo coste componentes físicamente antes de la producción.

En la siguiente imagen podemos ver una maneta de freno fabricada por impresión 3D perfectamente funcional.



Ilustración 5. Maneta de freno. Fuente: [www.elmundo.es](http://www.elmundo.es)

- En el sector aeroespacial, estiman utilizar las impresoras para crear componentes y herramientas directamente en el espacio evitando así tener que cargar las naves con recambios, ahorrando de esta manera espacio al tener que llevar solamente material de impresión.
- En la industria, con el avance del tiempo se está desarrollando cada vez más esta tecnología contando que ahora tiene innumerables aplicaciones para crear piezas con diseños sofisticados, con diferentes compuestos y colores.
- En la alimentación, emplean la misma técnica de la manga pastelera para imprimir cualquier tipo de alimento que sea posible imprimir, pasando por la fabricación de pasteles de chocolate hasta la impresión de bases de pizzas.

### 2.3. Funcionamiento de la impresión 3D.

Imprimir una pieza en 3D es relativamente sencillo, solo hay que seguir simplemente los siguientes pasos:

- 1- Diseñar la pieza en 3D con un programa CAD, descargar el diseño CAD ya en formato de Estereolitografía (STL) por alguna página web o crear el archivo STL con un escáner 3D.
  - Software CAD más utilizados:
    - SolidWorks
    - AutoCAD
    - 3DS Max
    - Inventor
    - Fusion 360
    - Rhinoceros
    - Etc.
  - Páginas Webs más conocidas:
    - Thingiverse
    - Cults
    - YouMagine
    - GrabCad
    - Autodesk 123D

- 2- En el caso de ser una pieza diseñada por un programa CAD, convertir el modelo 3D a un modelo STL, la cual proporciona la información geométrica de la pieza con un conjunto de puntos, líneas y superficies. Esta conversión se puede hacer directamente con el software CAD.
- 3- Después de convertir el modelo 3D al formato STL, hay que rebanar el modelo, de esta manera la pieza se separa en capas según los parámetros de rebanado que indiquemos en el programa de Slicer (rebanado). Una vez rebanada la pieza el mismo programa nos proporciona los comandos que la impresora necesita para entender y ejecutar, generalmente llamados códigos g-code, la impresión.
  - Software Slicer:
    - Repetier
    - Cura
    - 123D Catch
    - Netfabb Basic
    - Slic3r
    - Y muchos más.
- 4- Y el último paso es pasar los códigos de ejecución, g-code, obtenidos anteriormente a la impresora, ya sea mediante conexión USB a un pc, por una memoria externa y que sea leído directamente por la propia impresora o por Wifi. Una vez que la impresora reciba los códigos podrá comenzar a imprimir la pieza.

Esquema:

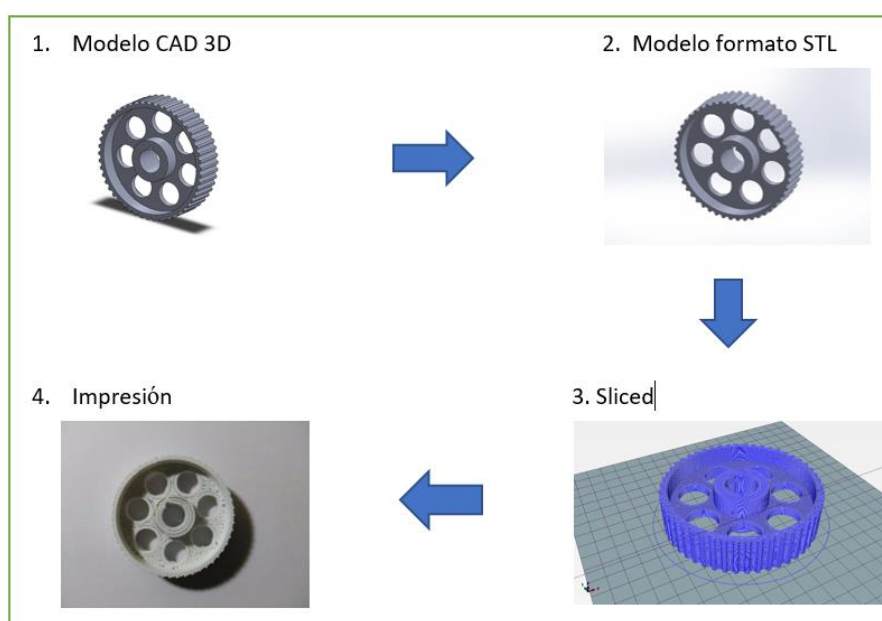


Ilustración 6. Esquema funcionamiento impresión 3D. Fuente: Elaboración propia.

### 3. ESTADO DEL ARTE

En el mercado actual, existe una gran variedad de tipos de extrusores dedicado a la impresión de alimentos, pero específicamente que impriman chocolate se puede clasificar en tres grupos.

#### 3.1. Extrusores con forma de jeringa.

Este sencillo y eficaz sistema hace uso de un extrusor a modo de manga pastelera/jeringuilla, situando el material en la posición adecuada.

Dentro de este grupo hay varios tipos de sistema de extrusión como son:

- **Syringe extruder.**



*Ilustración 7. Jeringa de extrusión. Fuente: futuro3d.*

Ventajas:

- Es un sistema económico y fácil de construir/comprar
- Es un sistema muy sencillo, por tanto, es fácil de desmontar para ser lavado.
- Se ha demostrado que es funcional y con buena precisión.
- Tiene gran versatilidad, es posible imprimir cualquier tipo de material viscoso.



## Desventajas:

- A pesar de tener buena capacidad de almacenaje, para volver a rellenar el depósito se ha de desmontar todo el sistema de extrusión.
  - No se puede mantener el material en el extrusor durante demasiado tiempo, ya que esta se enfría y solidifica.
  - No tiene un sistema de refrigeración, lo que se traduce a mayor tiempo de impresión.
  - Necesita el soporte de otra máquina para temperar el chocolate antes de introducirlo en el extrusor.
- **3Drag extruder.**

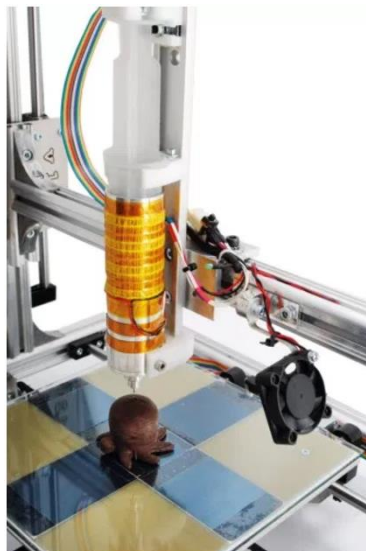


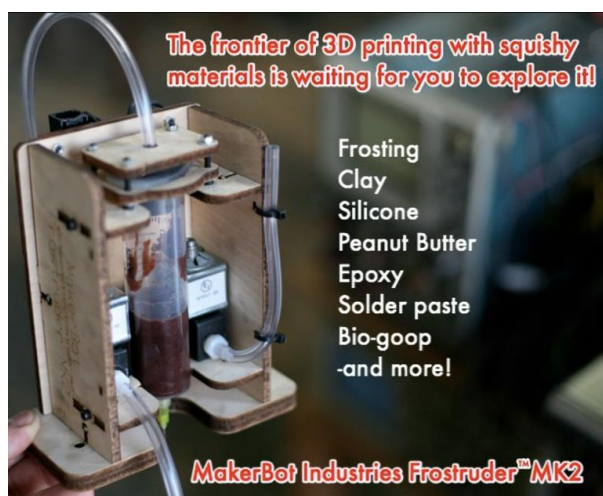
Ilustración 8. Jeringa extrusor con calefactor. Fuente: open-electronics.

Este sistema de extrusión es idéntico al anterior, pero con ciertas mejoras con el objetivo de solucionar algunas de las desventajas que habíamos descrito anteriormente.

El equipo de OpenElectronics han creado un calefactor para mantener a una temperatura óptima el chocolate utilizando una funda metálica envuelta por un calefactor flexible que cubre toda la jeringuilla.

Además, han instalado un sistema de refrigeración que utiliza un pequeño ventilador para disminuir el tiempo de solidificación de cada capa extruida.

- **Makerbot Frostruder MK2.**



Il·lustració 9 Makerbot Frostruder MK2. Fuente: Makerbot-blog-old.

La Frostruder MK2 es un sistema de extrusión que también utiliza una jeringuilla y es capaz de extruir cualquier tipo de pasta viscosa. Este, se diferencia de las anteriores por su método de ejercer presión sobre el material a extruir, controla la presión utilizando aire comprimido.

El sistema neumático de la Frostruder MK2 es sencillo. Funciona con un compresor neumático y dos válvulas solenoide, una de entrada y otra de salida, cuando se activa la válvula de entrada el aire comprimido entra al extrusor ejerciendo presión al material a extruir y cuando se activa la válvula de salida, el aire comprimido sale del circuito permitiendo descargar instantáneamente la presión que hay dentro de la jeringuilla.

**Ventajas.**

- Fácil de limpiar.
- No gotea cuando se para de imprimir.
- Posibilidad de variar la presión.
- Buen tiempo de reacción a la hora de arrancar y parar

**Desventajas.**

- Alto coste el sistema de aire comprimido.
- No tiene un control del nivel de material, en caso de que se terminase el material el extrusor soplaría aire y podría estropear la pieza que se está imprimiendo.
- Necesidad de otra máquina para temperar el chocolate.
- No mantiene el calor del chocolate, posibilitando su solidificación en caso de mantenerlo durante un largo tiempo en el depósito.

### 3.2. Extrusores que emplean el tornillo de Arquímedes o el sistema Progressing Cavity Pump.

- Food grade extruder.



©. Copyright VormVrij® | 3D

Ilustración 10. Extrusor alimenticio de VormVrij. Fuente: 3digitalcooks.

El extrusor alimentario diseñado por VormVrij es un sistema de extrusión que utiliza el tornillo de Arquímedes para hacer avanzar el material que entra al extrusor por una tolva, el mismo sistema que emplean las extrusoras de polímero.

Ventajas.

- Posibilidad de rellenar el depósito sin la obligación de desmontar el extrusor.
- Gran volumen de tolva.
- Boquilla intercambiable.

Desventajas.

- Coste elevado (solo el extrusor tiene un coste de 1.130€)
- Se necesita otra máquina para temperar el chocolate.
- No permite mantener la temperatura del chocolate.

## - Claystruder.



Il·lustració 11. Claystruder 2. Fuente: 3dprintineducation.

La Claystruder es una mezcla de la Frostruder y el extrusor alimentario de VormVrij. La jeringa a presión de la Frostruder se utiliza en este extrusor como si fuera la tolva de alimentación. El sistema de extrusión que emplea este extrusor es el de tornillo de Arquímedes, la cual controla la presión de salida de material en función de las Revoluciones del motor paso a paso que tiene acoplado con el tornillo.

### Ventajas.

- Permite tener un gran control del caudal de material a extruir.
- Evita el goteo de líquido en caso de no imprimir.
- Diseño sencillo.

### Desventajas.

- Dificultad para rellenar la tolva.
- Dificultad para su limpieza.
- No permite mantener la temperatura del chocolate, posibilitando la solidificación de esta.
- Necesidad de un compresor de aire.

- **Wonkobot.**

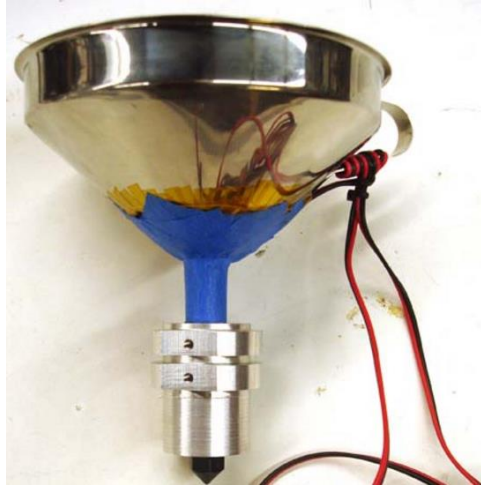


Ilustración 12. Wonkobot. Fuente: ECE Carnegie Mellon University.

El funcionamiento del Wonkobot es bastante sencillo, igual que los dos modelos anteriores, tiene una tolva que dispensa material al extrusor y utiliza un tornillo de Arquímedes para extruir el material. Este modelo a diferencia de los otros dos modelos tiene la tolva encima del extrusor, y a causa de esta arquitectura, el extrusor es mucho más alto que los demás modelos debido a que el motor se posicionará encima de la tolva.

Ventajas.

- Alta capacidad en la tolva.
- Posibilidad de imprimir piezas grandes.
- Capacidad de imprimir cualquier tipo de pasta viscoso.
- Mantiene la temperatura del chocolate temperado.

Desventajas.

- Gran tamaño, requiere una impresora 3D exclusiva para adaptarla.
- No tiene tapa en la tolva, esto puede causar posible contaminación del material a extruir.
- Necesita la ayuda de una máquina para temperar el chocolate.

### 3.3. Extrusores conectadas a máquinas de temperar.

Finalmente, las más prácticas son los extrusores recargables como la anterior pero que a la vez permiten fundir el chocolate, automatizando el paso de rellenar el depósito del extrusor. Este tipo de extrusor no es tan común como los otros extrusores descritos anteriormente ya que no se han encontrado muchas.

#### - Chocomaker.

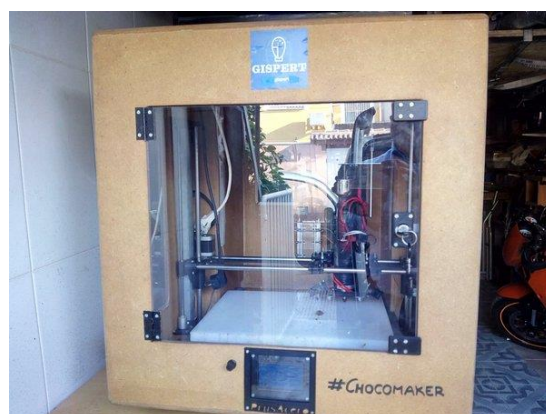


Ilustración 13. ChocoMaker. Fuente: UPC (Universidad Politécnica de Cartagena).

La ChocoMaker es una impresora que han diseñado, fabricado, programado, testado y puesto en marcha por la Asociación UPCTMakers de la ETSII de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Esta impresora se descompone en dos partes, por una parte, se encuentra la impresora 3D con el extrusor alimentario y, por otra parte, se encuentra la Conche de chocolate que remueve la masa de cacao para distribuir homogéneamente la manteca de cacao a lo largo del volumen del chocolate, esta bombea directamente el chocolate al extrusor.

Además de esto, esta impresora incluye un sistema de refrigeración con nitrógeno líquido permitiendo de esta manera poder imprimir piezas de grandes volúmenes.

#### Ventajas.

- Buena calidad del chocolate impreso.
- Gran autonomía.
- Alta velocidad de impresión.

#### Desventajas.

- Muy voluminoso, ocupa mucho lugar tener dos máquinas.
- Alto coste por la máquina mezcladora y el sistema de refrigeración.

### 3.4. Conclusiones parciales.

Tras el estudio del arte sobre diferentes sistemas de extrusión que permitan imprimir chocolate, se ha llegado a la conclusión que en todas las impresoras se ha de utilizar una máquina externa para temperar el chocolate, la mayoría de los extrusores carecen de un sistema calefactor para mantener la temperatura del chocolate fundido y las que sí lo tienen, tienen un elevado precio de venta que no cualquier aficionado, cocinero amateur se puede permitir. Además, los sistemas extrusores existentes son muy voluminosos y muchas de ellas necesitan una estructura de impresión 3D específico.

Por tanto, una vez conocemos las existencias y carencias del mercado, vamos a tratar de diseñar un extrusor que sea capaz de cumplir las mismas funciones que las existentes y además capaz de suplir las carencias y/o evitar las desventajas que nos hemos ido encontrando. Es decir, se diseñará un extrusor con las siguientes características:

- Dimensiones reducidas.
- Capacidad de fundir el chocolate.
- Económico.
- Adaptable en una impresora común RepRap.
- Material de uso alimentario.
- Diseño fácil de desmontar y limpiar (incluso en el lavavajillas).
- Aspecto exterior limpio y agradable, buen acabado.





## 4. PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL CHOCOLATE

(Beckett, Industrial chocolate manufacture and use, 2009 [1998])

Las propiedades del fluido del chocolate son importantes por dos razones.

Primero, si la viscosidad del chocolate no es la correcta esta se verá reflejada en la calidad final del producto, por tanto, a la hora de comercializarlo se deberá hacer a un menor precio debido a que se trataría como un producto mal formado, o también se podría retrabajar el material para poder comercializarlo como un producto de calidad. Por ejemplo, con la finalidad de recubrir algo con chocolate, si la viscosidad es muy baja, las capas del recubrimiento serán muy finas que incluso podría no apreciarse el recubrimiento. En cambio, si la viscosidad es muy alta, surgirá el problema de que todo el material bajará acumulándose en la base del producto a recubrir formando lo que se llama "Pie". Además, si la viscosidad es muy alta, la misma pasta puede dificultar el escape del aire que se suele acumular dentro del chocolate fundido.

La segunda razón no es tan obvia, el sabor del chocolate también es afectada por la viscosidad, es decir, unas propiedades incorrectas pueden ser detectadas por el consumidor. Esto es a causa del gran número de receptores de sabor que tenemos en nuestra boca conocidas como papilas gustativas, las cuales nos permiten detectar cada sabor en particular que entra en contacto con estos receptores.

EL chocolate es una suspensión de partículas sólidas dentro de un sistema grasas (Ilustración 14. Representación esquemática de las partículas sólidas y grasas de un chocolate con leche. Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition.). Sin la presencia de estas partículas, el líquido de manteca de cacao se comportaría como un fluido newtoniano, es decir, tendría un único valor de viscosidad a cualquier velocidad de deformación que sea medida.

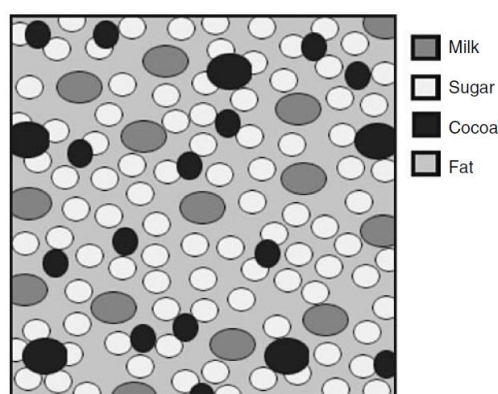


Ilustración 14. Representación esquemática de las partículas sólidas y grasas de un chocolate con leche. Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition.

Las propiedades del chocolate líquido son muy complejas, la viscosidad no es un simple valor, actúa como un fluido no Newtoniano, la viscosidad varía en función de la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) del flujo, en la Ilustración 15. Diagrama de partículas en suspensión, (a) en reposo, (b) en movimiento. Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition. podemos observar como varía la estructura del chocolate en dos velocidades de deformación distintas.

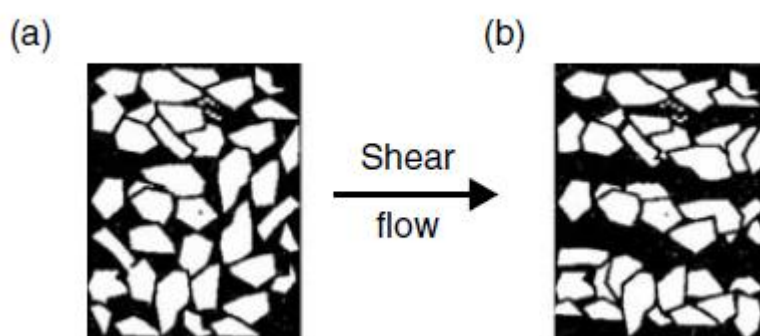


Ilustración 15. Diagrama de partículas en suspensión, (a) en reposo, (b) en movimiento.  
Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition.

Por tanto, a la hora de parametrizar un chocolate, es recomendable medir la viscosidad a varias velocidades distintas, como mínimo una a velocidad baja (aprox.  $5\text{s}^{-1}$ ) y otra a alta velocidad (entre  $10\text{s}^{-1}$  y  $20\text{s}^{-1}$ ), para tener una idea de cómo puede variar la viscosidad según la velocidad de deformación o de cizalla ( $\dot{\gamma}$ ).

Otro método alternativo de representar la viscosidad es adaptar una expresión matemática a la curva de flujo del chocolate. Hay cantidades de modelos reológicos que son adaptables a flujos no Newtonianos (Ilustración 16. Clasificación de fluidos según el comportamiento reológico.).

Entre todos los tipos de modelos matemáticos existentes, el modelo reológico que mejor se adapta al chocolate es el modelo de Casson.

Classification of fluids according to their rheological behaviour. (From B. Atkinson and F. Mavituna, 1991, *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*, 2nd edn, Macmillan, Basingstoke.)

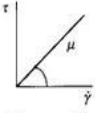
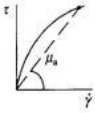
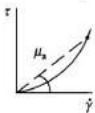
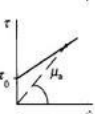
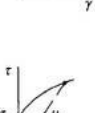
| Fluid                     | Flow curve  | Equation   | Apparent viscosity $\mu_a$  |
|---------------------------|---|--|---|
| Newtonian                 |  | $\tau = \mu \dot{\gamma}$                            | Constant.<br>$\mu_a = \mu$  |
| Pseudoplastic (power law) |  | $\tau = K \dot{\gamma}^n$<br>$n < 1$                 | Decreases with increasing shear rate.<br>$\mu_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$   |
| Dilatant (power law)      |  | $\tau = K \dot{\gamma}^n$<br>$n > 1$                 | Increases with increasing shear rate.<br>$\mu_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$   |
| Bingham plastic           |  | $\tau = \tau_0 + K_p \dot{\gamma}$                   | Decreases with increasing shear rate when yield stress $\tau_0$ is exceeded.<br>$\mu_a = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + K_p$                                       |
| Casson plastic            |  | $\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + K_c \dot{\gamma}^{1/2}$ | Decreases with increasing shear rate when yield stress $\tau_0$ is exceeded.<br>$\mu_a = \left[ \left( \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \right)^{1/2} + K_c \right]^2$ |

Ilustración 16. Clasificación de fluidos según el comportamiento reológico.

La ecuación de Casson es:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + K_1 \sqrt{\dot{\gamma}} \tag{3.4.1}$$

Donde  $K_1$  es una constante que representa la pendiente de la recta de la gráfica (Ilustración 17). Gráfica de la ecuación de Casson.

Fuente:

Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition), la cual, depende de la viscosidad ( $\eta$ ) del chocolate que se está tratando y se define como  $K_1 = \sqrt{\eta}$ , y  $\tau_0$  es conocido como el esfuerzo de Casson.

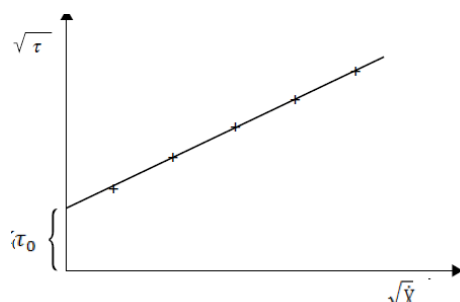


Ilustración 17. Gráfica de la ecuación de Casson.  
 Fuente: Industrial Chocolate Manufacture and Use 4th Edition

### 4.1. Temperado del chocolate.

A la hora de tratar con el chocolate térmicamente es muy importante conocer la técnica del temperado ya que si no tratamos adecuadamente el chocolate no se conseguirá un resultado de calidad. Dicho proceso, el temperado o templado, trata el chocolate térmicamente consiguiendo producir una masa homogénea, con gran estabilidad en forma y tamaño de los cristales de la manteca de cacao.

La manteca de cacao es un material polimórfico y tiene la capacidad de cristalizar en 6 formas polimórficas diferentes. En cada una de sus formas se consigue diferentes propiedades del chocolate.

En la industria del chocolate y la comunidad científica clasifican la 5ª forma polimórfica (Fase V) como la preferida por tener el mejor aspecto superficial, color, dureza, sabor y mayor vida útil.

Para conseguir que el chocolate este en la en fase V, este ha de pasar obligatoriamente por el proceso de temperado, que consiste en lo siguiente:

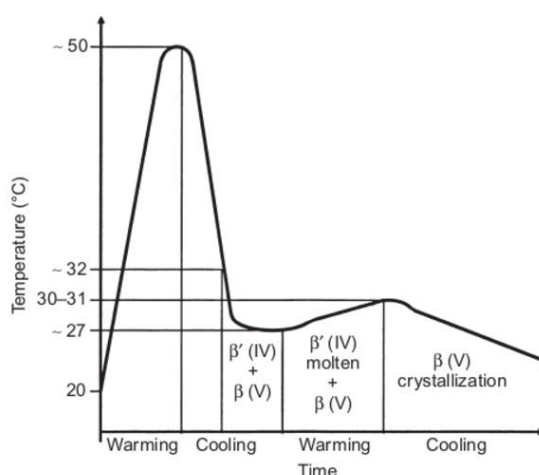


Ilustración 18. gráfica de temperaturas de temperado del chocolate. Fuente: Carlomockli

- 1- Incrementar la temperatura del chocolate hasta 50°C. Nunca se ha de sobrepasar esta temperatura ya que si esto ocurre el chocolate se degrada y se degenera sus propiedades organolépticas.
- 2- Dejar enfriar progresivamente hasta alcanzar los 27°C. En este punto comienzan a formarse cristales de la fase IV y de la fase V.
- 3- Volver a calentar el chocolate de manera gradual hasta aproximadamente 31°C y mantener en esta temperatura. Aquí se funden los cristales de la fase IV y se forman los de la fase V.
- 4- Dejar enfriar definitivamente el chocolate. En este último punto se forman solamente cristales de la fase V, ya que en el punto anterior los de la fase IV se han fundido por completo.

## 4.2. Conclusiones parciales.

Tras investigar cómo se comporta y cómo se ha de tratar el chocolate, llegamos a la conclusión de que es un material muy complejo y difícil de trabajar con él ya que no depende simplemente de la temperatura al que lo vayamos a exponer sino también depende de la velocidad de deformación de cizalla, que en nuestro caso sería la velocidad a la que vaya a girar el husillo.

Un punto a cuestionar: ¿qué ocurriría si nos saltásemos el proceso del temperado?

Quizás se produzca un chocolate en otra fase, de no tan buena calidad como el chocolate en fase V, pero creo merecería la pena probar y ver si realmente hay tanta diferencia.

Para resolver nuestras dudas, se diseñará el sistema de extrusión que sea capaz de fundir el chocolate a diferentes temperaturas y si fuera posible realizar ensayos hasta encontrar el punto óptimo de trabajo para producir un chocolate con la calidad óptima posible evitando el efecto FAT-BLOOM que es cuando la grasa del chocolate aparece en la superficie dejando un aspecto blanquecino.



## 5. DISEÑO DEL EXTRUSOR

Antes de empezar a diseñar se ha de mencionar que para realizar este proyecto se ha tomado la hipótesis de que el chocolate tendrá un comportamiento similar al del polímero.

Realmente lo que se hará, será diseñar una extrusora de polímero a pequeña escala para que se pueda adaptar en una impresora 3D, con la diferencia de que, en vez de trabajar horizontalmente, funcionará verticalmente.

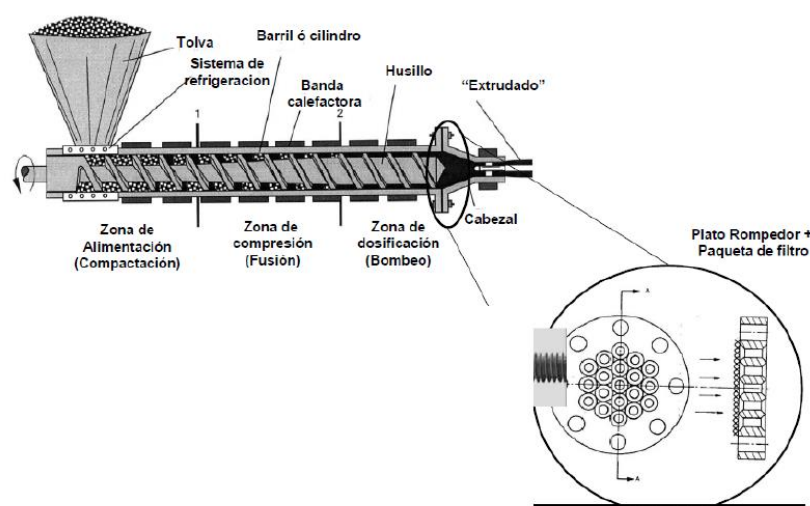


Ilustración 19. Partes de una extrusora de plástico. Fuente: EUSS ingeniería

A la hora de dimensionar nuestro extrusor se tomará como referencia algunas de las relaciones que se utilizan en el diseño de las extrusoras de plástico, como se muestra en la Ilustración 20. Dimensión del husillo. Fuente: EUSS ingeniería.

Muchas otras dimensiones se adoptará de la manera más razonable posible ya que es imposible seguir todas las relaciones que debe cumplir una extrusora de plástico porque está pensado para extrusoras de grandes dimensiones con cuerpos muy esbeltos, es decir, la relación L:D (longitud : Diámetro) debe ser aproximadamente igual a  $(20 \div 25):1$ , y en el caso del extrusor que se quiere diseñar, esto sería imposible debido a que si se cumpliera dicha relación, el conjunto final tendría una dimensión tan pequeña que dificultaría la entrada del chocolate en pellets o polvo.

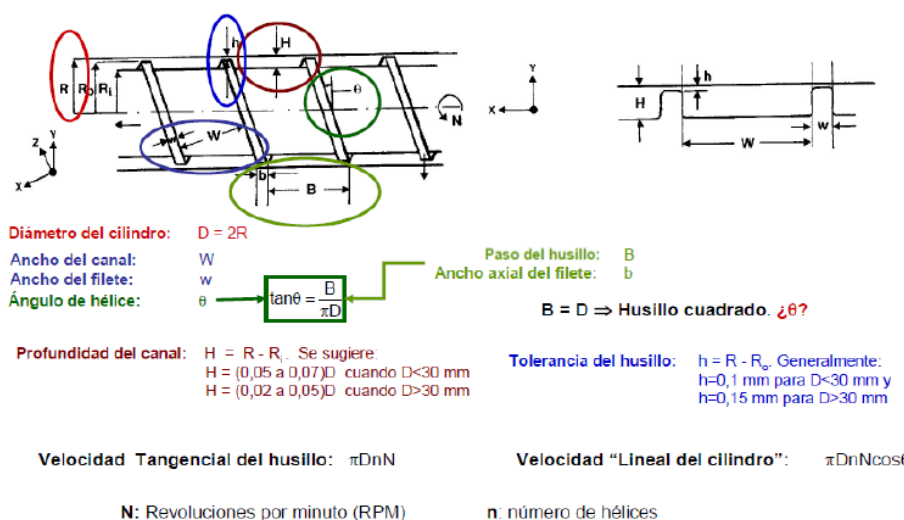


Ilustración 20. Dimensión del husillo. Fuente: EUSS ingenyeria.

## 5.1. Normativas.

El extrusor de chocolate, como bien dice el nombre, es una máquina alimentaria, por tanto, debe cumplir ciertas normativas como son:

- Reglamento (CE) Nº1935/2004 (27 de octubre de 2004). Sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- Directiva 2006/42/CE (17 de mayo de 2006). Relativa a las máquinas: Apartado 2.1. Máquinas destinadas a los productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos.
- Reglamento (CE) Nº852/2004 (29 de abril de 2004). Relativo a la higiene de los productos alimenticios.

Después de analizar dichas normativas, podemos resumir que a la hora de diseñar una máquina destinado a entrar en contacto con alimentos es muy importante satisfacer los siguientes requisitos:

- La máquina ha de estar siempre limpia, por consiguiente, ha de permitir realizar mantenimientos periódicos, posibilitando que se limpie perfectamente para reducir el riesgo de contaminación de los productos alimenticios.
- El diseño ha de permitir un fácil montaje y desmontaje del equipo, para así, facilitar la limpieza. Se empleará sistemas de uniones sencillos, fáciles de desarmar.



- La máquina se ha de diseñar con el fin de que todas las superficies que vayan a estar en contacto con alimentos se puedan limpiar antes de cada utilización.
- Todas las superficies en contacto con los productos alimenticios deben ser lisas, no tener rugosidades ni cavidades donde se puedan depositar materias orgánicas. La rugosidad de las superficies en contacto deber ser  $Ra \leq 0.8\mu m$ . Las rugosidades pueden ser mayores, aunque esto dificultaría su limpieza.
- Evitar lo máximo posible los salientes, los rebordes y los repliegues de los ensamblajes.
- Los líquidos de los productos alimenticios, y productos de limpieza habrán de poder evacuarse por completo de la máquina cuando esté en modo de limpieza.
- La máquina ha de evitar la acumulación de materias orgánicas, infiltración de sustancias o seres vivos, en particular, de insectos en las zonas difíciles de limpiar.
- Evitar el contacto del producto alimenticio con productos auxiliares de la máquina, las cuáles puedan resultar peligrosas para la salud humana.
- Todo el material de la máquina que esté destinado a entrar en contacto directa o indirectamente ha de ser lo suficientemente inerte para evitar la contaminación del alimento la cual supondría un peligro para la salud humana, la modificación de la composición o la alteración de las propiedades organolépticas del alimento.

## 5.2. Materiales.

A priori, los materiales más comunes destinados a estar en contacto con alimentos, que cumplan con el reglamento (CE) N.º 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, son los plásticos y los metales y aleaciones.

Pero como ya se ha dicho, el objetivo principal de este proyecto es que el extrusor sea calefactable, capaz de fundir chocolate dentro de sí mismo, por tanto, debemos descartar los plásticos como opción para el diseño ya que este material tiene una baja conductividad térmica. De esta manera solo nos queda los metales y aleaciones, dentro de este grupo tenemos dos opciones, que son el aluminio y el acero inoxidable.

A pesar de que el aluminio es un metal muy ligero, muy buen conductor térmico y presenta una excelente resistencia a la corrosión, optaremos por el acero inoxidable porque el aluminio tiene poca resistencia al desgaste debido a su baja dureza y como se protege de la corrosión gracias a una capa de óxido de aluminio que se forma en su superficie cuando reacciona con el oxígeno, esto nos puede perjudicar a la hora de crear un diseño higiénico ya que dentro del cilindro habrá un husillo que funcionará de la misma manera que el tornillo de Arquímedes para extruir el chocolate, y este posiblemente rozará contra la superficie interna del cilindro a causa de la poca holgura que hay entre ellas provocando el desprendimiento del óxido de aluminio y a la vez contaminando el chocolate.

Dentro de la familia de aceros inoxidables hay variedades de subtipos, las más recomendadas y más comunes para el contacto con alimentos son los AISI 304, AISI 304L, AISI 316 y AISI 316L.

Los aceros AISI 304 y AISI 316 son dos aceros muy parecidos, son resistentes a la corrosión que puede ser originada por la mayoría de alimentos y de los productos de limpieza que se pueden utilizar para máquinas alimentarias. Son muy similares en cuanto a composición química, la única diferencia notable es que el AISI 316 incorpora un 2-3% de molibdeno, lo que le incrementa la resistencia contra la corrosión frente al AISI 304.

Los aceros AISI 304L y AISI 316L son similares a los anteriores respectivamente, pero con la diferencia de que estos aceros tienen un bajo contenido en carbono y esto ayuda a reducir los riesgos de corrosión intergranular que se produce en estructuras soldadas.

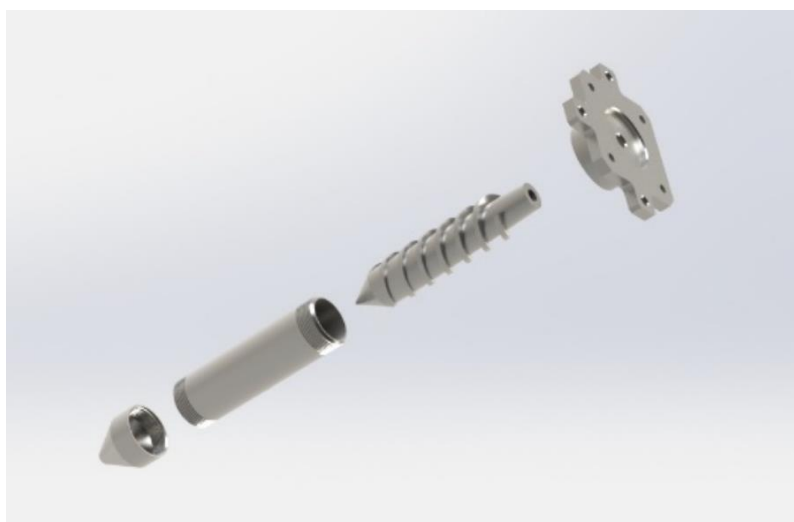
### 5.3. Extrusor.

El sistema de extrusión que se ha diseñado consta de tres partes, el sistema extrusor, el sistema calefactor y el sistema de alimentación

A continuación, se explicará el diseño de cada uno de estos tres grupos.

- **Sistema extrusor.**

Este conjunto está formado por cuatro piezas: la boquilla, el cilindro extrusor, el husillo y la tapa superior.



*Ilustración 21. Explosionado del extrusor. Fuente Elaboración propia.*

Todo este conjunto, se ha dimensionado de una manera muy similar al de una extrusora de polímero, pero a pequeña escala. Como se ha comentado anteriormente, algunas relaciones de dimensionado que se aplican a la hora de diseñar un extrusor de polímero serán imposibles de implementar en nuestro diseño, por tanto, se aplicará las medidas lógicamente.

Para el dimensionado se ha tomado como referencia una impresora 3D Prusa i2 (Ilustración 22. Impresora 3D Prusa i2. Fuente: 3dprintingdatabase), y a partir de la capacidad volumétrica de impresión que tiene esta impresora (180x180x130 mm) se ha comenzado a dar forma al extrusor de chocolate.



*Il·lustració 22. Impresora 3D Prusa i2. Fuente: 3dprintingdatabase*

El material que se va a utilizar es el mismo para los cuatro componentes de este conjunto, de esta manera nos evitaremos problemas que podría causar crear todos los componentes con diferentes materiales.

Un posible problema al emplear distintos materiales podría ser la variación de los ajustes debido a la diferencia de coeficientes de dilatación. Este caso es evitable si se calcula la variación de cada componente a su temperatura de funcionamiento y luego dimensionarlo correctamente, pero como nosotros a priori no sabemos a qué temperatura va a funcionar la máquina, entonces lo más sencillo será utilizar el mismo material para todos los componentes.

### 5.3.1.1. Cilindro extrusor.

La pieza principal del extrusor sin duda es el cilindro extrusor porque es la más grande, esta será la referente de los demás componentes, es decir, todas las piezas que tiene el sistema de extrusión se han diseñado y dimensionado tomando como referencia las dimensiones de este cilindro.

Hemos optado por un cilindro de 20mm de diámetro exterior, 17,1mm de diámetro interior y 70mm de longitud.

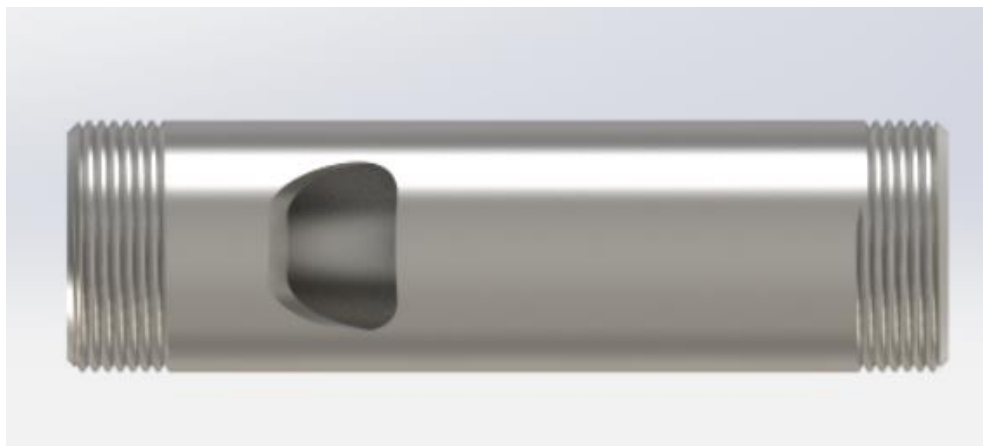


Ilustración 23. Cilindro extrusor. Fuente: Elaboración propia.

Esta pieza se construirá mediante el proceso de mecanizado por arranque de virutas debido a que se han aplicado unas tolerancias muy pequeñas en todo el sistema de extrusión.

Para no producir un exceso de desperdicio de material, como semiproducto del cilindro extrusor hemos optado por una barra de acero inoxidable AISI 316L de diámetro  $\varnothing 20\text{mm}$ .

Todo el cuerpo del cilindro se mecanizará con un torno CNC excepto el agujero de entrada de material que se mecanizará con una fresadora CNC.

Las características a destacar en este componente son:

- La rugosidad en el interior del cilindro es de clase N6 ( $Ra=0,8\mu\text{m}$ ) debido a que así se especifica en las normativas relacionadas con el diseño higiénico.
- Las dos roscas de métrica fina tendrán un ajuste del tipo h4, para obtener una tolerancia fina con la boquilla y la tapa superior. Esta tolerancia es necesaria para asegurar la estanqueidad del extrusor evitando de esta manera posibles fugas del material alimenticio o filtraciones de sustancias no deseadas.

### 5.3.1.2. Boquilla.

Una pieza muy importante para el extrusor es la boquilla por donde se extruirá el material. Esta marcará la calidad de impresión ya que define el diámetro del hilo extruido.

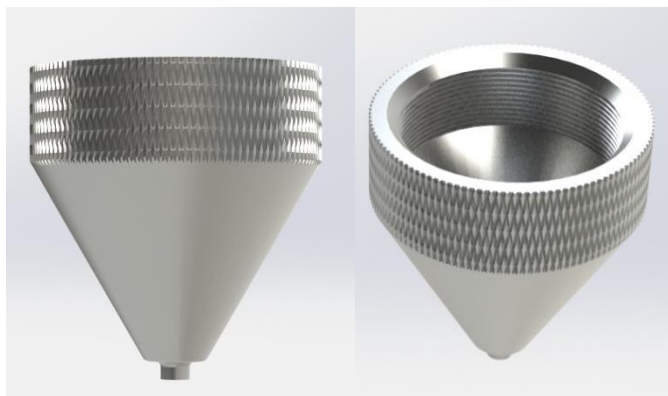


Ilustración 24. Boquilla. Fuente: Elaboración propia.

Este componente se fabricará mediante el proceso de mecanizado por arranque de virutas, se mecanizará completamente en un torno.

Como semiproducto se utilizará una barra redonda de acero inoxidable AISI 316 L de diámetro  $\varnothing 24\text{mm}$ , utilizaremos el mismo material del cilindro extrusor por los motivos comentados anteriormente.

Las características a destacar en esta pieza son:

- La rugosidad en el interior del cilindro es de clase N6 ( $R_a=0,8\mu\text{m}$ ) debido a que así se especifica en las normativas relacionadas con el diseño higiénico.
- El moleteado en la cara exterior de la boquilla servirá para facilitar el montaje y desmontaje de esta pieza.
- Rosca interior de métrica fina tendrá un ajuste del tipo H5 para conseguir una tolerancia fina con el cilindro extrusor (h4) y así evitar cualquier tipo de fuga.
- El diámetro del agujero de salida será variable, es decir, se fabricará varias boquillas idénticas, pero con diámetros distintos. Los agujeros tendrán unos diámetros de  $\varnothing 0,5\text{mm}$ ,  $\varnothing 1\text{mm}$ , y  $1,5\text{mm}$ . De esta manera podremos ajustar el sistema de extrusión para imprimir diferentes tipos de chocolate.

Se ha escogido estos diámetros porque investigando, se ha encontrado un proyecto final de grado similar: “*Disseny i materialització d’un sistema d’extrusió amb cartutxos per a la impressió 3D de xocolata*”, de un compañero de la ETSEIB (UPC), donde probó varios diámetros y el óptimo, en su caso, resultó ser la boquilla de  $\varnothing 1\text{ mm}$ , por tanto, escogemos la de diámetro  $\varnothing 1\text{ mm}$ , además también se escogerá una boquilla con un diámetro inferior y otra con un diámetro superior a  $1\text{mm}$ .

### 5.3.1.3. Tapa superior.

Este componente se encargará de unir el motor con el extrusor, por tanto, debe tener una superficie plana donde irá apoyado el motor.

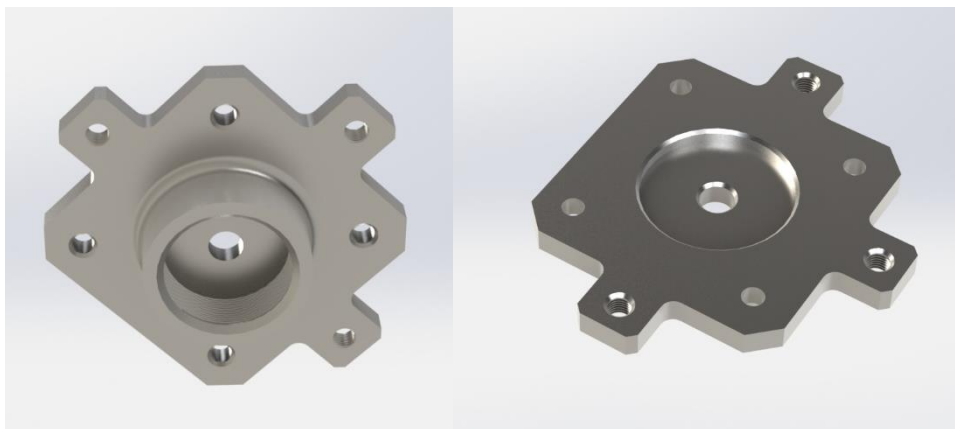


Ilustración 25. Tapa superior. Fuente: Elaboración propia.

Es muy importante para esta pieza la concentricidad del diámetro de la rosca con el diámetro central por donde pasará el eje del motor paso a paso NEMA que se escogerá más adelante porque influirá en la posición del husillo dentro del cilindro extrusor y nos interesa que el husillo esté lo más concéntrico posible para evitar que este roce contra las paredes del cilindro extrusor.

Para esta pieza se utilizará como semiproducto una barra cuadrada también de acero inoxidable AISI 316L.

El proceso de fabricación será mediante mecanizado por arranque de virutas, concretamente torneado para la parte cilíndrica y fresado para la parte cuadrada.

Las características a destacar en este componente son:

- La concentricidad entre la rosca y el agujero central como se ha comentado anteriormente.
- La rosca de métrica fina (MF20) tendrá un ajuste del tipo H5 por el mismo motivo por el que le aplicamos este ajuste en la boquilla.
- Chaflanes en los taladros para facilitar posteriormente el montaje de tornillos.

### 5.3.1.4. Husillo.

Por último, la pieza más complicada de fabricar es el husillo del extrusor. Como se ha comentado anteriormente, diseñaremos este componente siguiendo las posibles relaciones de dimensiones de una extrusora de polímero.

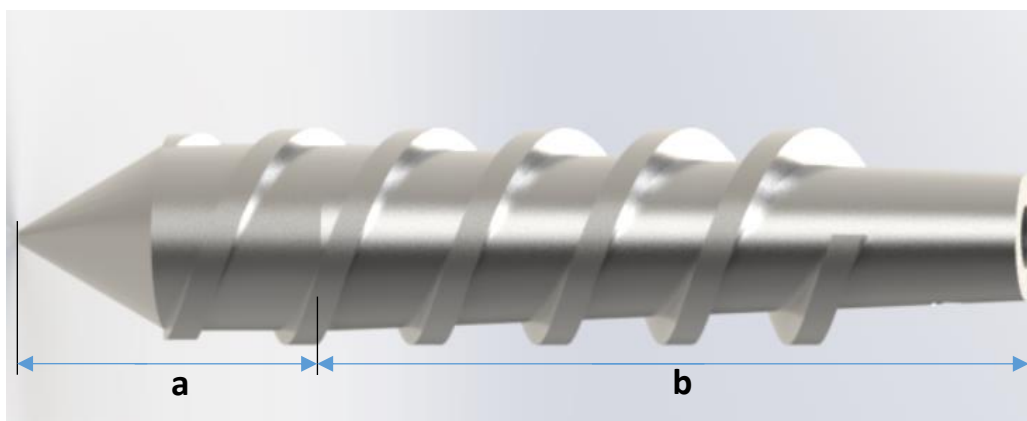


Ilustración 26. Husillo. Fuente: Elaboración propia.

Este, está inspirado en un husillo convencional de tres zonas, pero se ha diseñado solamente con 2 zonas, la zona de compresión (b) y la zona de dosificación (a).

Lo ideal para un husillo simple para la extrusión de plástico sería que la zona de compresión tuviese una longitud igual a 6 veces el diámetro y la zona de dosificación una longitud igual a 4 veces el diámetro (SAVGORODNY, 1973), pero como ya se ha comentado, no se puede seguir todas las correlaciones de una extrusora de plástico, por tanto, se ha dimensionado el husillo de la manera más similar posible dentro de las limitaciones que nos restringe el cilindro extrusor.

La zona de compresión tiene una longitud de 55mm y la zona de dosificación una longitud igual a 25,4mm.

Una vez que sabemos las dimensiones del husillo, se pasa al proceso de fabricación que se hará por mecanizado por arranque de virutas y para ello necesitaremos un torno CNC y un taladro. Para este componente se utilizará como semiproducto una barra redonda de acero inoxidable AISI 316 L de  $\varnothing 18\text{mm}$ .

Como características destacables en este componente podemos decir que:

- Todo el husillo deberá tener una rugosidad de clase N6, excepto el agujero donde se acoplará el eje del motor, porque toda la pieza estará en contacto con el material alimenticio.
- En la parte lateral superior tendrá un pequeño agujero roscado para el tornillo prisionero que mantendrá unida el husillo junto al eje motor.



### - Sistema Calefactor.

A la hora de diseñar todo el sistema de extrusión se ha de tener en cuenta que el objetivo de un proyecto de este tipo es poder comercializar la máquina que se diseña, por lo tanto, el bloque calefactor que es el conjunto que estará a la vista deberá tener un diseño atractivo.

En el mercado actual hay una gran diversidad de calefactores capaces de adaptarse a nuestro extrusor, pero los diseños de estos no son nada especiales, ni atractivos, ya que se trata de unas simples bandas calefactoras o resistencias flexibles en forma de cable que irían enrolladas alrededor del sistema de extrusión.

Por este motivo, vamos a diseñar un calefactor con la finalidad de hacer un sistema de extrusión que aparte de ser funcional, sea atractivo.

El sistema calefactor está compuesto por simplemente dos componentes: El bloque calefactor (a) y la tapa de este (b).

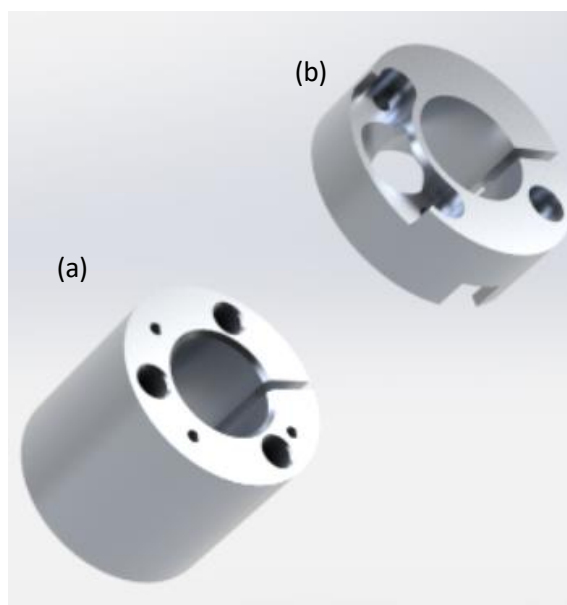


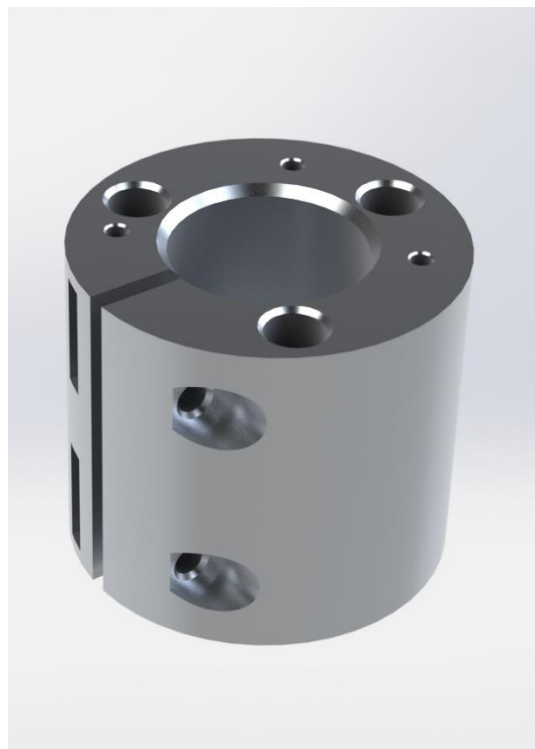
Ilustración 27. Vista explosionada del Sist. Calefactor. Fuente: Elaboración propia

Todo el conjunto se fabricará de aluminio EN AW 6082-T6 por su buena conductividad.

En el caso del bloque calefactor, este no va a estar en contacto con el material alimenticio en ningún momento, en cambio la tapa de este sí que entrará en contacto con el material alimenticio, en la entrada del material al extrusor, pero en este caso como no habrá desgaste el aluminio es un material totalmente aceptable.

### 5.3.1.5. Bloque Calefactor.

La función del bloque calefactor será acoger a tres calefactores que llevará esta máquina y distribuirá homogéneamente el calor sobre alrededor del cilindro extrusor permitiendo, de esta manera, fundir el chocolate que se suministrará en estado sólido.



*Ilustración 28. Bloque calefactor. Fuente: Elaboración propia.*

Esta pieza se fabricará por mecanizado por arranque de virutas, con una fresadora convencional. El semiproducto elegido es una barra de aleación de aluminio EN AW 6082-T6 de 40mm de diámetro.

Como características destacables no hay ninguna importante a mencionar, solo decir que las posiciones de los tres calefactores deben de estar correctamente distribuido para que el calor generado se conduzca uniformemente por el bloque calefactor.

### 5.3.1.6. Tapa complementaria del bloque calefactor.

Esta pieza complementaria del bloque calefactor en un principio era un simple complemento para mejorar la estética del sistema calefactor permitiendo ocultar el cableado de los calefactores que irán acoplados en el bloque calefactor, sin embargo, al final se le ha dado una función extra haciendo de puente para el cilindro extrusor y la tolva de alimentación

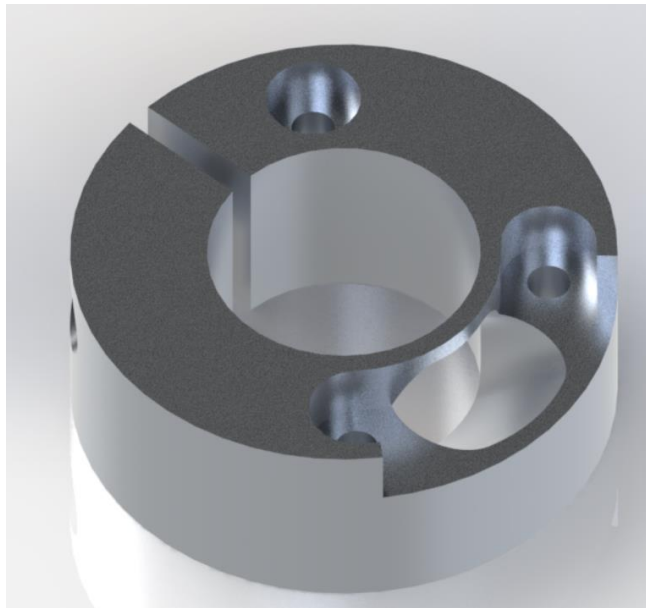


Ilustración 29. Tapa calefactor. Fuente: Elaboración propia.

Esta pieza se fabricará mediante el proceso de mecanizado por arranque de virutas, y para ello utilizaremos una fresadora CNC debido a la compleja posición y forma del agujero de alimentación.

Para ello utilizaremos como semiproducto el mismo material que se empleará para fabricar el bloque calefactor, aluminio EN AW 6082-T6.

En esta pieza hay que remarcar que la dimensión del agujero de alimentación debe ser igual o menor que el respectivo agujero del cilindro extrusor para evitar deposiciones de material alimenticio en la escala que formaría en caso de que la dimensión fuera mayor que la del agujero del cilindro.

## - Sistema de alimentación

Este conjunto está formado por 5 componentes: el acople de la tolva (a), el retenedor (b), la tolva (c), la tapa (d) y el cinturón (e).

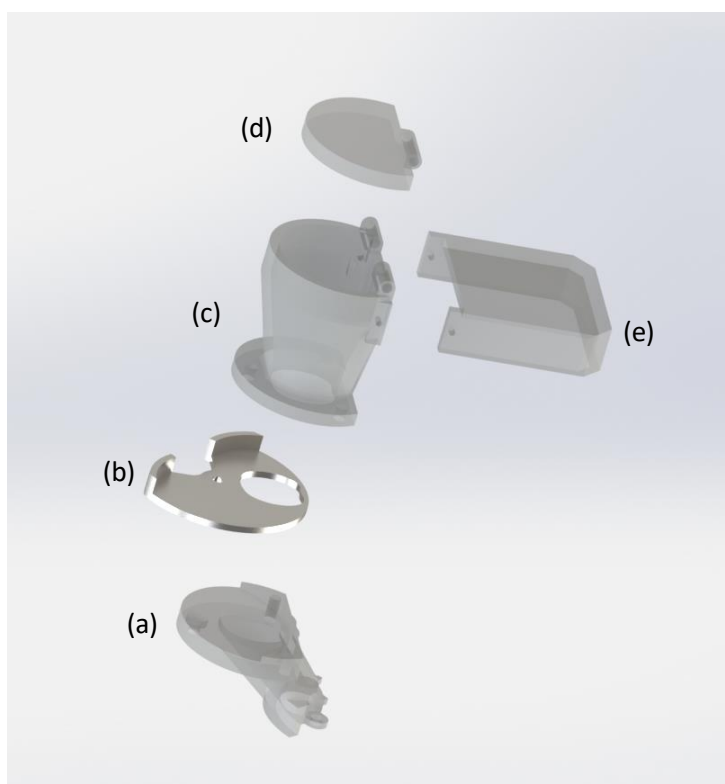


Ilustración 30. Vista explosionada sist. alimentación. Fuente: Elaboración propia.

Cada componente de este conjunto tiene una función:

- a) El acople de la tolva sirve para unir la tolva con la tapa superior del calefactor.
- b) El retenedor tiene la función de abrir y cerrar el paso de material desde la tolva, esto permitirá poder desmontar la tolva habiendo chocolate en el interior.
- c) La tolva sirve para almacenar y suministrar chocolate hacia el sistema de extrusión.
- d) Y por último el cinturón de la tolva, que tiene la función de sujetar la tolva al motor, dándole al sistema de alimentación otra sujeción a parte del acople de la tolva.

Todo este conjunto se ha dimensionado en relación de los demás componentes que forma el sistema de extrusión, para ello se le ha dado una dimensión justa para que fuera a juego con todo el resto de conjuntos, pero se podría aumentar o disminuir el tamaño según mejor le convenga al usuario.

Para facilitar el cambio de dimensiones al usuario, este conjunto se fabricará mediante impresión 3D, un método rápido y barato.

La materia prima a utilizar para la fabricación de estos componentes (excepto el retenedor) será un filamento PETT, concretamente T-GLASE de la casa **Taulman** que ha sido aprobado por la Food and Drugs Administration (FDA) como filamento válido para contacto directo con alimentos. Este material es totalmente capaz de soportar la temperatura de trabajo del sistema de extrusión porque la temperatura de transición vítrea de este material es mayor a 76°C y la temperatura máxima de trabajo del sistema calefactor será de 62,4°C, por tanto, tiene bastante margen para asegurar que el material no se ablandará.

Una de las razones más importantes de utilizar un polímero es porque tiene baja conductividad térmica, de esta manera se disminuye la transferencia de calor del cilindro extrusor hacia la tolva y consecuentemente evitamos que el chocolate en forma de pellets se derrita antes de tiempo (dentro de la tolva)

Sobre los componentes de este conjunto hay que remarcar que las superficies de contacto con los alimentos no son tan importantes como en el cilindro extrusor por tanto estas tendrán mayor tolerancia en el acabado superficial.

Por otro lado, decir que para dimensionar este conjunto se le ha dado mucha importancia al tamaño del agujero de salida de material, se ha intentado crear las piezas con el mayor tamaño posible en estos agujeros porque así se evita la formación de embudo o la segregación del material dentro de la tolva. Aunque sabiendo que la tolva estará en movimiento constante, esto no parece que vaya a ser un posible problema ya que las vibraciones de la propia impresora 3D hará que la tolva funcione correctamente.

## - Adaptador extrusor – impresora 3D

Como se ha comentado al principio de la memoria, el objetivo de este proyecto es crear un extrusor adaptable a cualquier impresora 3D RepRap, es decir cualquier impresora 3D que sea modificable por el usuario.

Hoy en día, existe un gran número de impresoras RepRap, por tanto, no se diseñará un adaptador para cada impresora existente en el mercado, pero sí que se hará una para la más vendida/más accesible para los usuarios amateur, que posiblemente sea la Prusa i2, una impresora sencilla ya que se construye con componentes fáciles de adquirir como son: varillas, pernos, tuercas, rodamientos, piezas impresas por otra impresora 3D y los componentes electrónicos.

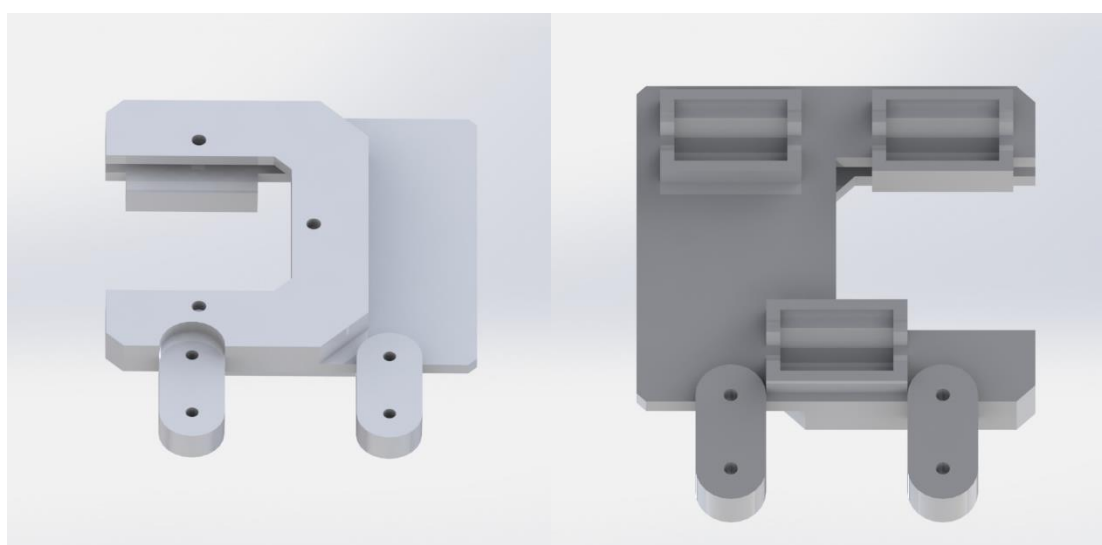


Ilustración 31. Adaptador extrusor-impresora 3D. Fuente: elaboración propia.

Esta pieza es una modificación de la base del extrusor de polímero de la impresora 3D Prusa i2, se ha modificado casi por completo, pero se mantiene su tensor de correa, por tanto, se puede usar los tensores que se emplea en dicha impresora.

El adaptador no sufrirá grandes esfuerzos, por tanto, se fabricará mediante impresión 3D y como materia prima se utilizará el acrilonitrilo butadieno estireno, más conocido como ABS, un material que se emplea mucho en el mundo de la impresión 3D debido a sus buenas características y capacidad de crear prototipos totalmente funcionales.

Una vez tenemos todos los componentes, el extrusor ensamblado al adaptador quedaría de esta manera:

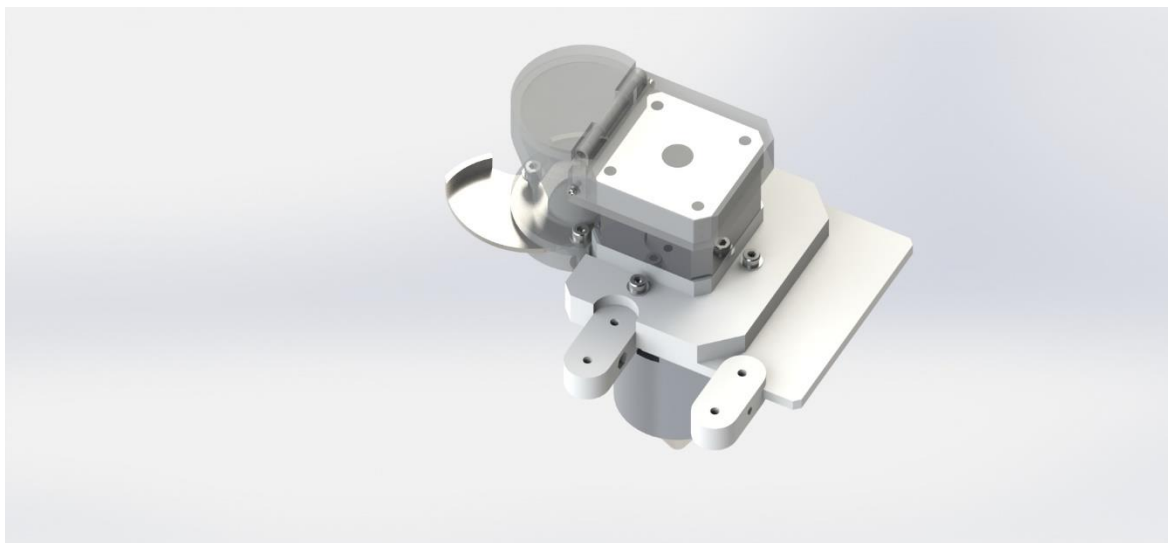


Ilustración 32. Extrusor ensamblado en el adaptador. Fuente: elaboración propia.

Y todo este conjunto montado en la impresora 3d Prusa i2:

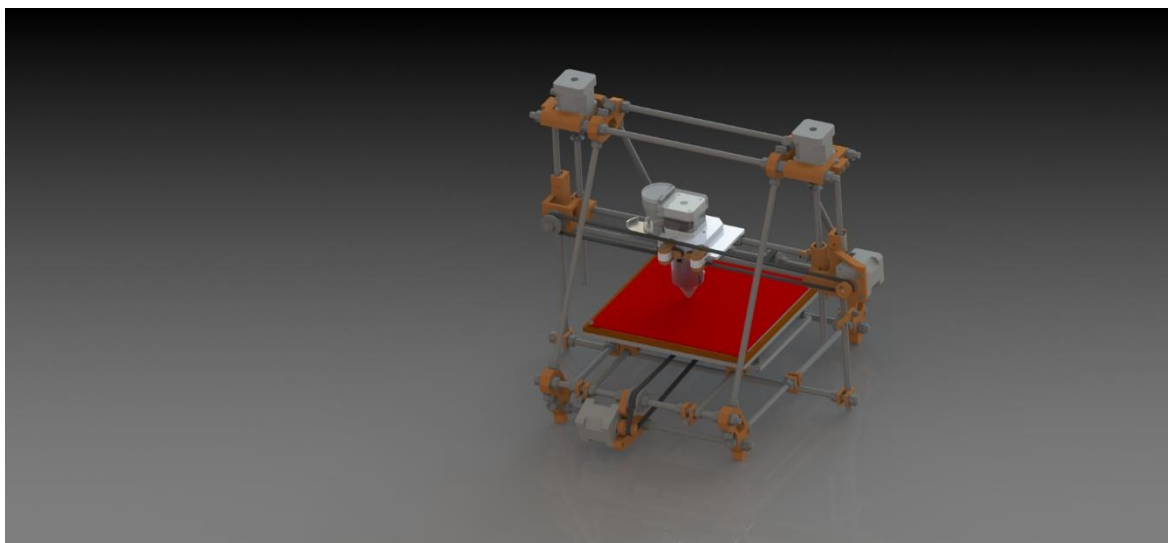


Ilustración 33. Impresora 3D con extrusor de chocolate. Fuente: Elaboración propia

En esta simulación, podemos observar que el diseño realizado se ajusta perfectamente a la impresora que se ha escogido como base del diseño.





## CONCLUSIONES

Tras finalizar el presente trabajo, se puede decir que se ha cumplido con gran rigurosidad los objetivos marcados en el inicio del trabajo. Es decir:

1. Se ha dimensionado el conjunto de extrusión de tal manera que es capaz de poder montarse en una impresora 3D como es la Prusa i2.
2. Se han verificado que el extrusor sería capaz de fundir el chocolate con el flujo que se le ha especificado.
3. Los materiales seleccionados para la construcción del extrusor son totalmente aceptables para estar en contacto alimentario.
4. Se ha utilizado diferentes materiales según la finalidad de las piezas para optimizar el peso del conjunto.
5. Se han utilizado diferentes tipos de uniones desmontables para ensamblar el extrusor.
6. El extrusor tiene un diseño sin zonas cerradas para evitar cualquier retención de fluido.
7. La boquilla de salida se ha diseñado con un diámetro de salida suficientemente pequeño como para evitar el goteo del chocolate cuando el aparato este en reposo.
8. Y finalmente, se puede decir que el diseño exterior del extrusor es atractivo para un futuro comercialización.

Visto el resultado final se cree necesario la implementación de un sistema de refrigeración para tener un mejor control del sistema calefactor y también para enfriar más rápidamente el material extruido.

Por otro lado, en caso de que no funcionase derretir el chocolate sin temperar, podemos afirmar que el extrusor diseñado puede funcionar perfectamente introduciendo chocolate en estado líquido, para ello, solo habría que insertar unas juntas entre al acople de tolva y la tolva y también entre el acople de tolva y la tapa del bloque calefactor para evitar cualquier tipo de fuga del fluido.

Y finalmente, respecto a la parte electrónica, se prevé que con los componentes electrónicos que tiene las impresoras 3D puede funcionar perfectamente, solamente se habría que reprogramar la configuración de impresión y recalibrar la impresora.



## Presupuesto

En este apartado se determinará el presupuesto de inversión necesario para llevar a cabo el proyecto y el prototipado del diseño realizado.

No se realizarán los análisis del VAN y el TIR debido a que este proyecto trata sobre el diseño de un extrusor, el cuál a falta de fabricar el prototipo es imposible conocer si funcionará correctamente, es decir, la finalidad de este proyecto no es la comercialización del producto, sino que es la fabricación de un prototipo para estudiar el funcionamiento de este.

### - Coste de ingeniería.

El coste de ingeniería se realizará según las horas dedicadas en este proyecto y la facturación por hora de trabajo se le aplicará los honorarios de un ingeniero junior que serán 30€/h.

| COSTE DE INGENIERIA     |                |              |               |
|-------------------------|----------------|--------------|---------------|
| CONCEPTO                | DEDICACIÓN [h] | PRECIO [€/h] | COSTE [€]     |
| Búsqueda de información | 100            | 30           | 3.000         |
| Diseño conceptual       | 95             | 30           | 2.850         |
| Diseño CAD              | 170            | 30           | 5.100         |
| Planos                  | 120            | 30           | 3.600         |
| Verificación del diseño | 30             | 30           | 900           |
| Memoria                 | 85             | 30           | 2.550         |
| <b>TOTAL</b>            | <b>600</b>     |              | <b>18.000</b> |

Tabla 2. Coste de ingeniería

## - Coste de software.

En este punto se definirá todos los programas utilizados y el coste que han supuesto para realizar el presente proyecto.

El diseño CAD del extrusor y la elaboración de los planos se han realizado mediante SolidWorks. El precio de licencia de SolidWorks Standard es de 6.600€ más una suscripción anual de 1.500€. Para calcular el coste de Software solo se tendrá en cuenta la suscripción anual porque las licencias son inversiones a largo plazo de la empresa.

Otros programas utilizados son el Microsoft Office y el Repetier-Host, el primero solo se ha de pagar licencia y el segundo es gratuito.

Para calcular estos costes se tendrá en cuenta el precio/hora que le supondría a una empresa con una jornada laboral de 8 horas, 30 días de vacaciones y 248 días laborales.

| COSTE SOFTWARE      |              |                       |                   |              |                |               |
|---------------------|--------------|-----------------------|-------------------|--------------|----------------|---------------|
| SOFTWARE            | LICENCIA [€] | SUSCRIPCIÓN ANUAL [€] | HORAS ANUALES [h] | PRECIO [€/h] | DEDICACIÓN [h] | COSTE [€]     |
| SOLIDWORKS Standard | 6600         | 1500                  | 1744              | 0,86         | 290            | 249,43        |
| Microsoft Office    | 280          | 0                     | 1744              | -            | -              | -             |
| Repetier-Host       | Gratuïta     | 0                     | 1744              | -            | -              | -             |
| <b>TOTAL</b>        |              |                       |                   |              |                | <b>249,43</b> |

Tabla 3. Coste software

## - Coste del prototipo.

El coste de fabricación del prototipo será la suma de todas las piezas y componentes (motor, pernos, tuercas, etc.) que forman el extrusor. De todo el conjunto podemos juntar las piezas en dos grupos: las piezas que se fabrican por impresión 3D y las que se fabrican mediante mecanizado por arranque de virutas.

### - Fabricación por impresión 3D.

El coste de fabricación por impresión 3D se ha calculado mediante el software Repetier-Host, con la ayuda de este programa se ha podido calcular el tiempo de impresión y material necesario para imprimir cada una de las piezas que forman este grupo.

Cabe destacar que es una estimación del coste, este puede variar según las configuraciones de la impresora, los parámetros de impresión, el proveedor del material de impresión, etc.

#### 1. Adaptador impresora Prusa i2 3D.

|                              | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]    |
|------------------------------|----------|----------------|--------------|
| Filamento ABS en Kg          | 0,03612  | 12,5           | 0,45         |
| Tiempo impresión 3D en horas | 1,72     | 7              | 12,04        |
| <b>Total</b>                 |          |                | <b>12,49</b> |

Tabla 4. Coste adaptador Prusa i2.

#### 2. Tapa tolva.

|                              | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]   |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Filamento T-GLASE en Kg      | 0,005207 | 72,11          | 0,38        |
| Tiempo impresión 3D en horas | 0,2      | 7              | 1,40        |
| <b>Total</b>                 |          |                | <b>1,78</b> |

Tabla 5. Coste tapa tolva.

#### 3. Tolva.

|                              | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]   |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Filamento T-GLASE en Kg      | 0,024257 | 72,11          | 1,75        |
| Tiempo impresión 3D en horas | 0,86     | 7              | 6,02        |
| <b>Total</b>                 |          |                | <b>7,77</b> |

Tabla 6. Coste tolva.

#### 4. Acople tolva.

|                              | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]   |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Filamento T-GLASE en Kg      | 0,011811 | 72,11          | 0,85        |
| Tiempo impresión 3D en horas | 0,47     | 7              | 3,29        |
| <b>Total</b>                 |          |                | <b>4,14</b> |

Tabla 7. Coste acople tolva.

#### 5. Cinturón tolva.

|                              | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]   |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Filamento T-GLASE en Kg      | 0,013843 | 72,11          | 1,00        |
| Tiempo impresión 3D en horas | 0,55     | 7              | 3,85        |
| <b>Total</b>                 |          |                | <b>4,85</b> |

Tabla 8. Coste cinturón tolva.

#### - Fabricación por arranque de virutas.

Para calcular el coste de las piezas que se fabricarán por mecanizado, se ha utilizado el programa SolidWorks para estimar los tiempos de programación CNC y los tiempos de mecanizado, lo cual pueden variar a la hora de fabricarlo.

De la misma manera, los precios de los semiproductos se han cogido de una página web online, es decir, también puede variar según el proveedor donde se adquiera finalmente.

#### 6. Boquilla.

|  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]    |
|--|----------|----------------|--------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                                 | 2        | 35             | 70,00        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                     | 2,5      | 0,58           | 1,46         |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda AISI 316L<br>Ø24mm | 0,026    | 20,04          | 0,52         |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>71,98</b> |

Tabla 9. Coste boquilla.

**7. Cilindro extrusor.**

|  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|--|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                                 | 5,42     | 35             | 189,70        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                     | 4,83     | 0,58           | 2,82          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda AISI 316L<br>Ø20mm | 0,071    | 20,04          | 1,42          |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>193,94</b> |

Tabla 10. Coste cilindro extrusor.

**8. Husillo.**

|  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|--|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                                 | 3,25     | 35             | 113,75        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                     | 2,02     | 0,58           | 1,18          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda AISI 316L<br>Ø20mm | 0,081    | 20,04          | 1,62          |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>116,55</b> |

Tabla 11. Coste husillo.

**9. Tapa bloque calefactor.**

|   | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|---|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                            | 7,58     | 35             | 265,30        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                | 4,22     | 0,58           | 2,46          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda 6082-T6 Ø40mm | 0,016    | 20,56          | 0,33          |
| <b>Total</b>  |          |                | <b>268,09</b> |

Tabla 12. Coste tapa bloque calefactor.

**10. Bloque calefactor.**

|   | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|---|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                            | 7,58     | 35             | 265,30        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                | 4,4      | 0,58           | 2,57          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda 6082-T6 Ø40mm | 0,04     | 20,56          | 0,82          |
| <b>Total</b>  |          |                | <b>268,69</b> |

Tabla 13. Coste bloque calefactor.

**11. Tapa superior.**

|  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|--|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                                 | 3,25     | 35             | 113,75        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                     | 5        | 0,58           | 2,92          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda AISI 316L<br>Ø65mm | 0,017    | 141,82         | 2,41          |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>119,08</b> |

Tabla 14. Coste tapa superior.

**12. Retenedor tolva.**

|  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]     |
|--|----------|----------------|---------------|
| Tiempo de programación CNC [h]                                 | 3,15     | 35             | 110,25        |
| Tiempo de mecanizado [min]                                     | 3,85     | 0,58           | 2,25          |
| Largo de semiproducto [m]:<br>Barra redonda AISI 316L<br>Ø55mm | 0,01     | 105,33         | 1,05          |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>113,55</b> |

Tabla 15. Coste retenedor tolva.

**- Coste componentes.**

| COSTE COMPONENTES                                    |          |                |              |
|--|----------|----------------|--------------|
| COMPONENTE   | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]    |
| Parallel Pin ISO 2338 - 3 h6 x 30 - St               | 1        | 0,22           | 0,22         |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS -- 16NHX            | 6        | 0,04           | 0,24         |
| B18.22M - Plain washer, 3 mm, narrow                 | 15       | 0,03           | 0,45         |
| B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 --D-N        | 7        | 0,04           | 0,28         |
| ceramic cartridge 20W                                | 3        | 1,25           | 3,75         |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 20 Hex SHCS -- 20NHX            | 3        | 0,05           | 0,15         |
| B18.22M - Plain washer, 1.6 mm, narrow               | 2        | 0,02           | 0,04         |
| B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 6 Hex SHCS -- 6NHX           | 2        | 0,04           | 0,08         |
| Motor Nema 17 - 40cm                                 | 1        | 12,37          | 12,37        |
| B18.3.6M - M3 x 0.5 x 2.5 Hex Socket Cone Pt. SS --N | 1        | 0,02           | 0,02         |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 10 Hex SHCS -- 10NHX            | 3        | 0,04           | 0,12         |
| Termistor 100 Kohm NTC                               | 1        | 3,3            | 3,3          |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>21,02</b> |

Tabla 16. Coste componentes.



- **Coste total de fabricación.**

Sumando el coste de todas las piezas que forman el extrusor más los componentes, obtenemos el coste total de fabricación del extrusor.

| COSTE DE FABRICACIÓN                                 |          |                |                 |
|--|----------|----------------|-----------------|
| PIEZA  | UNIDADES | PRECIO [€/Ud.] | COSTE [€]       |
| Adaptador impresora Prusa i3 3D                      | 1        | 12,49          | 12,49           |
| Tapa tolva   | 1        | 1,78           | 1,78            |
| Tolva  | 1        | 7,77           | 7,77            |
| Acople tolva   | 1        | 4,14           | 4,14            |
| Cinturón tolva                                       | 1        | 4,85           | 4,85            |
| Boquilla   | 3        | 71,98          | 215,94          |
| Cilindro extrusor                                    | 1        | 193,94         | 193,94          |
| Husillo  | 1        | 116,55         | 116,55          |
| Tapa bloque calefactor                               | 1        | 268,09         | 268,09          |
| Bloque calefactor                                    | 1        | 268,69         | 268,69          |
| Tapa superior  | 1        | 119,08         | 119,08          |
| Retenedor tolva                                      | 1        | 113,55         | 113,55          |
| Parallel Pin ISO 2338 - 3 h6 x 30 - St               | 1        | 0,22           | 0,22            |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS -- 16NHX            | 6        | 0,04           | 0,24            |
| B18.22M - Plain washer, 3 mm, narrow                 | 15       | 0,03           | 0,45            |
| B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 --D-N        | 7        | 0,04           | 0,28            |
| ceramic cartridge 20W                                | 3        | 1,25           | 3,75            |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 20 Hex SHCS -- 20NHX            | 3        | 0,05           | 0,15            |
| B18.22M - Plain washer, 1.6 mm, narrow               | 2        | 0,02           | 0,04            |
| B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 6 Hex SHCS -- 6NHX           | 2        | 0,04           | 0,08            |
| Motor Nema 17 - 40cm                                 | 1        | 12,37          | 12,37           |
| B18.3.6M - M3 x 0.5 x 2.5 Hex Socket Cone Pt. SS --N | 1        | 0,02           | 0,02            |
| B18.3.1M - 3 x 0.5 x 10 Hex SHCS -- 10NHX            | 3        | 0,04           | 0,12            |
| Termistor 100 Kohm NTC                               | 1        | 3,3            | 3,3             |
| <b>Total</b>   |          |                | <b>1.347,89</b> |

Tabla 17. Coste total de fabricación.

En este coste está incluido las horas de programación CNC para la fabricación de dichas piezas, pero si se quisiera comercializar, el coste de programación CNC se aplicaría como si fuera una inversión ya que solo se programa una sola vez, por tanto, finalmente el precio de fabricación se reduciría considerablemente

## - Coste total del proyecto

La suma total de todo el trabajo realizado por parte de ingeniería, la manufactura y los componentes requeridos para el extrusor hacen un total de 19.597,32€.

| PRESUPUESTO          |                  |
|----------------------|------------------|
| CONCEPTO             | COSTE [€]        |
| Coste de ingeniería  | 18.000           |
| Coste de licencias   | 249,43           |
| Coste de fabricación | 1347,89          |
| <b>Total</b>         | <b>19.597,32</b> |

*Tabla 18. Presupuesto total*

## Bibliografía

- Beckett, S. T. (2008). *The Science of Chocolate 2nd Edition*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Beckett, S. T. (2009 [1998]). *Industrial chocolate manufacture and use*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.
- Bel Salvadó, S. (2016). *Disseny i materialització d'un sistema d'extrusió amb cartutxos per a la impressió 3D de xocolata*. Barcelona.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). *Tecnología de Polímeros*.
- Bonet López, L. (2016). *Estudi de l'extrusió de la xocolata mitjançant la tecnologia d'impressió 3D*. Barcelona.
- Castañeda Martín, E. (s.f.). *Diseño higiénico del equipo de procesamiento de alimentos*. Madrid.
- Conde Lopez, J. E. (9 de junio de 2017). Obtenido de [http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf)
- Festo. (2017 de septiembre de 15). Obtenido de [https://www.festo.com/rep/es\\_es/assets/pdf/FOOD\\_manual\\_materials\\_es.pdf](https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_materials_es.pdf)
- <http://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/disenio-higienico-en-la-industria-alimentaria/>. (14 de Abril de 2017).
- <http://www.engineeringtoolbox.com>. (19 de setiembre de 2017). Obtenido de [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html)
- Mans Teixidó, C. (07 de diciembre de 2015). <http://www.investigacionyciencia.es>. Obtenido de <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/24/posts/chocolate-al-cava-13783>
- Mohos, F. Á. (2017). *Confectionery and Chocolate Engineering: principles and applications*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- SAVGORODNY, V. (1973). *Transformación de plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.



## ANEXO

### A. Cálculos

#### 1. Potencia de calefactor

En esta sección calcularemos la potencia que se requiere para calentar el extrusor.

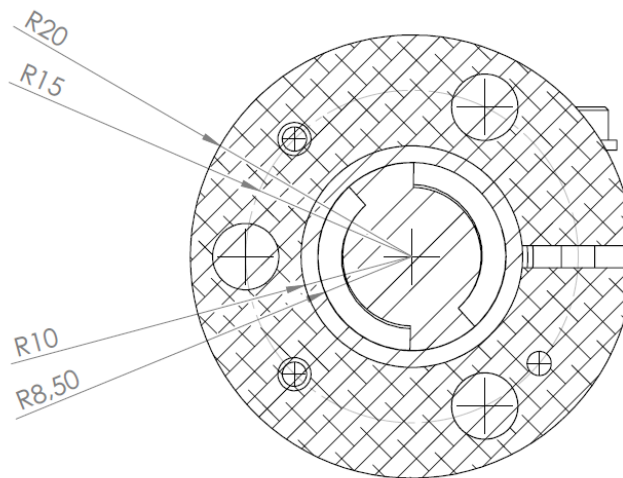


Ilustración 34. Croquis seccionado del extrusor. Fuente: elaboración propia.

Para verificar que los calentadores que usaremos son válidos, simplificaremos los cálculos suponiendo que los tres calefactores, con una potencia de 25W (lo mínimo encontrado en el mercado) cada uno, calentarán de manera simétrica y uniformemente por todo el bloque calefactor, por tanto, trabajará como si fuera un solo calefactor cilíndrico a la altura de R15 del bloque calefactor. Además, también supondremos que la mitad de la potencia del calefactor se dirigirá disipará hacia el cilindro extrusor y la otra mitad se disipará hacia el exterior, por tanto, el este equivalente tendría una potencia de 37,5W.

Para realizar estos cálculos de verificación utilizaremos la ley de Fourier.

- Resistencia térmica de conducción para una pared cilíndrica:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k} \quad (0.1)$$

Donde:  $r_{ext}$  es el radio exterior del cilindro.  
 $r_{int}$  es el radio interior del cilindro.

- Resistencia total:

$$R_{total} = \sum R \quad (0.2)$$

- Coeficiente global de transferencia de calor:

$$U_{total} = \frac{1}{R_{total}} \quad (0.3)$$

- Razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = L \cdot U_{total} \cdot (T_f - T_0) \quad (0.4)$$

Donde:  $L$  : longitud del cilindro.  
 $T_f$  : temperatura final.  
 $T_0$  : temperatura inicial

- Datos del cilindro extrusor:

| Cilindro extrusor                 |                       |                         |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                                   |                       | Unidades                |
| <b>Diámetro exterior (R1)</b>     | 20                    | mm                      |
| <b>Diámetro interior (R0)</b>     | 17                    | mm                      |
| <b>Material</b>                   | AISI 316L             |                         |
| <b>Conductividad térmica (K1)</b> | 16                    | W/(m·K)                 |
| <b>Coeficiente de dilatación</b>  | $16,02 \cdot 10^{-6}$ | $^{\circ}\text{C}^{-1}$ |

- Datos del bloque calefactor:

| Bloque calefactor                 |                      |                         |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|
|                                   |                      | Unidades                |
| <b>Diámetro exterior (R2)</b>     | 40                   | mm                      |
| <b>Diámetro interior (R1)</b>     | 20                   | mm                      |
| <b>Material</b>                   | EN AW 6082-T6        |                         |
| <b>Conductividad térmica (K1)</b> | 184                  | W/(m·K)                 |
| <b>Coeficiente de dilatación</b>  | $23,5 \cdot 10^{-6}$ | $^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
| <b>Longitud (L)</b>               | 35                   | mm                      |

- Esquema conducción térmica:

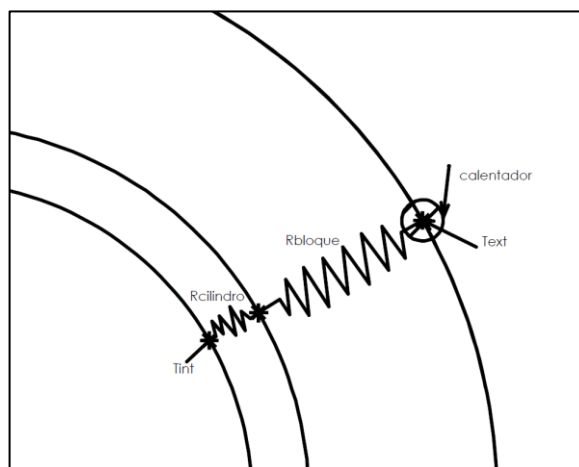


Ilustración 35. Esquema conducción térmica

- Cálculos:

|  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
| $R = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_0}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_1}$ <p>R(cilindro)= 0,00161661 m·K/W</p> | } | $R_{total} = \sum R$ <p>Rtotal: 0,00221616 m·K/W</p>                | } | $\dot{Q} = L \cdot U_{total} \cdot (T_f - T_0)$                                       |
| $R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_2}$ <p>R(bloque)= 0,00059955 m·K/W</p>   |   | $U_{total} = \frac{1}{R_{total}}$ <p>Utotal: 451,231172 W/(m·K)</p> |   | $T_0 = T_f - \frac{\dot{Q}}{L \cdot U_{total}}$                                       |
|  |   | <p>Tint: 60 °C</p> <p>Text: ?? °C</p>                               |   | <p>Text: 335,374456 K</p> <p style="background-color: yellow;">Text: 62,374456 °C</p> |
|  |   | <p>Q̇: 37,5 (max) W</p>   |   |   |

El cálculo realizado solo sirve para demostrar que los calefactores escogidos son totalmente funcionales para nuestro diseño.

Con los resultados obtenidos, podemos ver que para que el interior del cilindro alcance los 60°C, que será la temperatura máxima que alcanzaremos ya que el chocolate se funde a 50°C, el calefactor ha de trabajar a 62.4°C para cumplir lo requerido.

Sabiendo que los calefactores de cerámica utilizados en la mayoría de las impresoras 3D alcanzan un temperatura por encima de los 200°C, podemos concluir que estos calentadores funcionarán perfectamente en nuestro diseño.

## 2. Dimensionado del husillo

Para dimensionar este componente se utilizarán las correlaciones descritas por (SAVGORODNY, 1973):

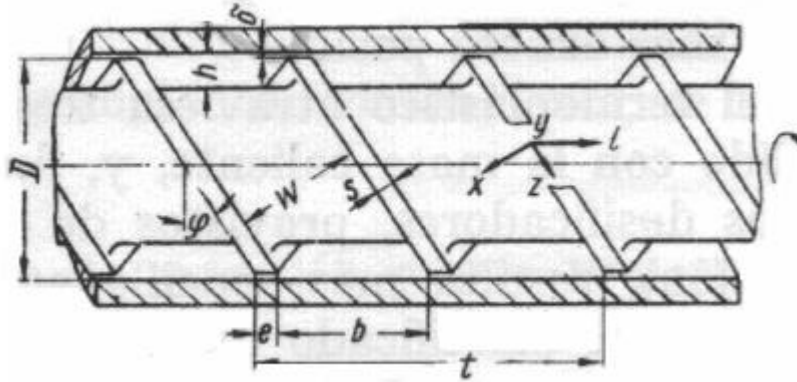


Ilustración 36. Sección de un cilindro con husillo de dos canales.

Fuente: Transformación de plásticos Ed. Gustavo Gili, S.A.

- Diámetro interior del cilindro (d).

$$d = D + \delta \tag{0.2}$$

- Diámetro del husillo (D)

- Anchura de la cresta del filete (e).

$$e = (0,06 \div 0,12) \cdot D \tag{0.3}$$

- Holgura entre cilindro y husillo ( $\delta$ ).

$$\delta = (0,002 \div 0,003) \cdot D \tag{0.4}$$

- Paso del husillo (t).

Para un husillo no especializado (en cuanto a material a procesar) se utilizará:

$$t = D \tag{0.5}$$

Lo que implica que  $\varphi$  sea igual a  $17,65^\circ$ .



Entonces, el husillo tendrá las siguientes dimensiones:

- **Diámetro del husillo (D):**

Tenemos el diámetro interior del cilindro extrusor es  $d=17,10$  mm.

Utilizando las ecuaciones que hay arriba se demuestra que el diámetro del husillo óptimos debería ser:  $D_{\text{óptimo}}=17,07$  mm.

Aplicando la ecuación ( 0.4)sobre la ecuación ( 0.2) obtenemos el siguiente resultado:

$$D + 0,002 \cdot D = d \rightarrow 1,002 \cdot D = 17,10\text{mm} \rightarrow D = 17,07\text{mm}$$

Podemos observar que esta ecuación está pensada para aplicarla a extrusoras de grandes dimensiones porque en la práctica con una holgura de tres centésimas será muy complicado evitar que haya rozamiento entre el husillo y el cilindro, por tanto, se deberá aumentar dicha holgura al menos a una décima de milímetro.

De esta manera el diámetro del husillo será: **D = 17mm**

- **Holgura ( $\delta$ ):**

Aplicando la ecuación ( 0.2), tenemos que la holgura es:  **$\delta = 0,1$  mm**

- **Paso (t):**

Con la relación ( 0.5), tenemos que el paso es: **t=17mm**

- **Ancho de la cresta (e):**

Para calcular el ancho de la cresta utilizaremos la ecuación ( 0.3):

$$e = 0,12 \cdot 17 \rightarrow e = 2,04 \text{ mm}$$

- **Profundidad del canal (h):**

La profundidad del canal se calculará según la ecuación que se muestra en la Ilustración 20. Dimensión del husillo. Fuente: EUSS ingeniería. (indicado como H) para  $D < 30\text{mm}$ .

La profundidad será: **h=1,15mm.**

### 3. Flujo volumétrico

Según el investigador V.K. Savgorodny, en su libro *Transformación de plásticos*, el flujo volumétrico ( $Q$ ) de un extrusor horizontal se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \left( \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} \right) \cdot n \quad (0.6)$$

Donde:

$\alpha$ : es el flujo de arrastre (flujo producido por el husillo).

$$\alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h \cdot \left( \frac{t}{m} - e \right) \cdot \cos^2 \varphi}{2} \quad (0.7)$$

$K$ : es la constante de forma de la cabeza perfiladora.  
Esta constante se define como:

$$K_{total} = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_1} + \sum \frac{1}{K_2} + \dots + \sum \frac{1}{K_n}} \quad (0.8)$$

- Constante para canal cilíndrico:

$$K_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L_1} \quad (0.9)$$

Donde:

$L_1$ = Longitud del canal.

$d$ = Diámetro del canal.

- Constante para canal cónico:

$$K_2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot d_1^3}{128 \cdot L_2 \cdot (d_0^2 + (d_0 \cdot d_1) + d_1^2)} \quad (0.10)$$

Donde:

$d_0$ = Diámetro entrada.

$d_1$ = Diámetro salida.

$L_2$ = Longitud del canal.

$\beta$ : es el flujo de presión (flujo en sentido opuesto al de arrastre).

$$\beta = \frac{m \cdot h^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \text{sen } \varphi \cdot \cos \varphi}{12 \cdot L} \quad (0.11)$$

Donde:

L: longitud del husillo (solamente la parte donde hay cresta).

m: número de canales del husillo.

$\gamma$ : es el flujo de filtración (pérdida que se produce por la holgura ( $\delta$ )).

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \tan \varphi}{10 \cdot e \cdot L} \quad (0.12)$$

$n$ : es la velocidad angular del husillo.

Para un extrusor vertical como el que se ha diseñado se le debería aplicar la fuerza de la gravedad, pero en este caso se puede menospreciar debido a la alta viscosidad del chocolate.

Entonces conociendo los valores de:

$$D = 17 \text{ mm}$$

$$h = 1,15 \text{ mm}$$

$$\varphi = 17,65^\circ$$

$$t = D$$

$$e = 2,04 \text{ mm}$$

$$L = \text{longitud del husillo} = 55 + 13,55 = 68,55 \text{ mm (zona de alimentación + zona de compresión).}$$

$$L_1 = 3 \text{ mm}$$

$$L_2 = 25,60 - 7,70 = 17,90 \text{ mm}$$

$$m = 1$$

$$\delta = 0,1 \text{ mm}$$

$$d_0 = 19 \text{ mm}$$

$$d_1 = 1 \text{ mm}$$

$$n = \text{max. } 1200 \text{ rpm}$$

se obtiene:

- Flujo de arrastre:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \cos^2 \varphi}{2} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 17 \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{17}{1} - 2,04\right) \cdot \cos^2 17,65^\circ}{2} = 417,17 \text{ mm}^3$$

- Flujo de presión:

La función que nos proporciona Savgorodny no es válida, debido a que sirve solamente para un husillo uniforme, es decir, que tenga la misma profundidad de canal a lo largo del husillo y en nuestro caso la profundidad es variable en la zona de alimentación.

Pero al ser una variación tan poco significativa, de 3,50 mm a 1,15 mm en los 55 mm de longitud de la zona de alimentación que lo podemos apreciar en la Ilustración 37. holgura husillo. Fuente: elaboración propia. , trataremos el husillo como si fuera uno uniforme, con una profundidad de 1,15mm.

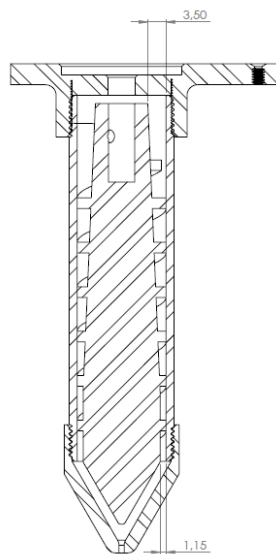


Ilustración 37. holgura husillo. Fuente: elaboración propia.

Por tanto, el flujo de presión será:

$$\beta = \frac{m \cdot h^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \text{sen } \varphi \cdot \cos \varphi}{12 \cdot L} = \frac{1 \cdot 1,15^3 \cdot \left(\frac{17}{1} - 2,04\right) \cdot \text{sen } 17,65^\circ \cdot \cos 17,65^\circ}{12 \cdot 68,55} = 7,99 \cdot 10^{-3} \text{mm}^3$$

- Flujo de filtración:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \tan \varphi}{10 \cdot e \cdot L} = \frac{\pi^2 \cdot 17^2 \cdot 0,1^3 \cdot \tan 17,65^\circ}{10 \cdot 2,04 \cdot 68,55} = 6,49 \cdot 10^{-4} \text{mm}^3$$

- Constante para canal cilíndrico (boquilla de Ø1mm):

$$K_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L_1} = \frac{\pi \cdot 1^4}{128 \cdot 3} = 8,18 \cdot 10^{-3} \text{mm}^3$$

- Constante para un canal cónico:

$$K_2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot d_1^3}{128 \cdot L_2 \cdot (d_0^2 + (d_0 \cdot d_1) + d_1^2)} = \frac{3 \cdot \pi \cdot 19^3 \cdot 1^3}{128 \cdot 17,90 \cdot (19^2 + (19 \cdot 1) + 1^2)}$$

$$= 7,405 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^3$$

- Constante forma cabeza perfiladora:

$$K_{total} = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_1} + \sum \frac{1}{K_2} + \dots + \sum \frac{1}{K_n}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8,18 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{7,405 \cdot 10^{-2}}}$$

$$= 7,37 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$$

### Flujo volumétrico:

$$Q = \left( \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} \right) \cdot n = \left( \frac{417,17 \cdot 7,37 \cdot 10^{-3}}{7,37 \cdot 10^{-3} + 7,99 \cdot 10^{-3} + 6,49 \cdot 10^{-4}} \right) \cdot 1200$$

$$= 230396,675 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

Este es el flujo que tendríamos en caso de usar la boquilla con un diámetro de salida de 1mm con el motor girando a máxima velocidad.

En cambio, si utilizásemos las boquillas de 0,5mm o 1,5mm, tendríamos un flujo igual a:

$$\emptyset 0,5 \text{ mm} \rightarrow Q = 26618,9982 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

$$\emptyset 1,5 \text{ mm} \rightarrow Q = 402364,809 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

En nuestro caso, el flujo del sistema de extrusión se limitará a un máximo de 5 mm<sup>3</sup>/s, es decir, 300 mm<sup>3</sup>/s, debido a la baja velocidad de solidificación que tiene el chocolate, por tanto, se recalcula la velocidad a la cual debe girar el motor para conseguir este flujo (boquilla Ø1mm):

$$n = \frac{Q}{\left( \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \gamma} \right)} = \frac{300}{\left( \frac{417,17 \cdot 7,37 \cdot 10^{-3}}{7,37 \cdot 10^{-3} + 7,99 \cdot 10^{-3} + 6,49 \cdot 10^{-4}} \right)} = 1,563 \text{ rpm}$$

$$\emptyset 0,5 \text{ mm} \rightarrow 13,524 \text{ rpm}$$

$$\emptyset 1,5 \text{ mm} \rightarrow 0,895 \text{ rpm}$$

Una vez obtenido los resultados, se puede observar que, en el peor de los casos, cuando hay mayor flujo, el husillo deberá girar a n=0,895rpm. Entonces, sabiendo esto, se limitará la velocidad del motor a la obtenida en lo cálculos con la boquilla de 1,5mm de diámetro.

#### 4. Verificación capacidad calefactora.

En este apartado se verificará si el calefactor empleado será capaz de calentar el flujo de chocolate que circulará por el extrusor. Para ello se necesita conocer las propiedades del chocolate, los cuales varían según su composición (% grasa de cacao, %leche, %azúcar, etc.), pero indagando un poco se ha encontrado datos convincentes.

Según (Mohos, 2017), el calor específico del chocolate negro es un valor entre 1,432KJ/(Kg·K) y 1,695KJ/(Kg·K)

68 Confectionery and chocolate engineering: principles and applications

Table 3.5 Calculation of specific heat capacity of milk chocolate and dark chocolate.<sup>a</sup>

|   | Milk chocolate {8.301} |                        | Dark chocolate {8.302} |                        |                |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
|   | Ingredients (g/kg)     | $c_p$ (J/g K)          | Ingredients (g/kg)     | $c_p$ (J/g K)          |                |
| <i>Calculation using the data in Table 3.4</i>  |                        |                        |                        |                        |                |
| Water   | 4.182                  | 8                      | 33.456                 | 10                     | 41.82          |
| Ash   | 0.84                   | 19                     | 15.96                  | 12                     | 10.08          |
| Protein   | 1.55                   | 86                     | 133.3                  | 62                     | 96.1           |
| Fat   | 1.67                   | 348                    | 581.16                 | 310                    | 517.7          |
| Carbohydrate                                    | 1.42                   | 539                    | 765.38                 | 606                    | 860.52         |
| Total for composition                           |                        |                        | 1529.256 J/kg K        |                        | 1526.22 J/kg K |
| <i>Calculation using Eqns (3.17) and (3.18)</i> |                        |                        |                        |                        |                |
|   |                        | Milk chocolate {8.301} |                        | Dark chocolate {8.302} |                |
| $c_p = 1.67 + 2.5x_w$ (Eqn 3.17)                |                        | 1.69 kJ/kg K           |                        | 1.695 kJ/kg K          |                |
| $c_p = 1.40 + 3.2x_w$ (Eqn 3.18)                |                        | 1.423 kJ/kg K          |                        | 1.432 kJ/kg K          |                |

Il·lustració 38. Calor específic del chocolate. Fuente: (Mohos, 2017).

Y de acuerdo a la página web *engineerintoolbox* el calor específico del chocolate es aproximadamente igual a 1,6KJ/(Kg·K), por tanto, nos encontramos con unos valores muy parecidos, para los cálculos escogeremos  $C_p=1,6KJ/(Kg·K)$  que es un valor medio del rango de valores que proporciona el autor Ferenc Á. Mohos.

| Food               | Specific Heat - liquids (above freezing) |             |               |
|--------------------|--|-------------|---------------|
|                    | (btu/(lb°F))                             | (KJ/(kg°C)) | (kcal/(kg°C)) |
| Apples             | 0.87                                     | 3.64        | 0.87          |
| Apricots, fresh    | 0.88                                     | 3.68        | 0.88          |
| Artichokes         | 0.87                                     | 3.64        | 0.87          |
| Asparagus          | 0.94                                     | 3.94        | 0.94          |
| Asparagus beans    | 0.88                                     | 3.68        | 0.88          |
| Avocados           | 0.72                                     | 3.01        | 0.72          |
| Bacon              |  | 2.0         |               |
| Bananas            | 0.8                                      | 3.35        | 0.8           |
| Barracuda          | 0.8                                      | 3.35        | 0.8           |
| Bass               | 0.82                                     | 3.43        | 0.82          |
| Beef, carcass      | 0.68                                     | 2.85        | 0.68          |
| Beef, flank        | 0.56                                     | 2.34        | 0.56          |
| Beef, hamburger    |  | 3.52        |               |
| Beef, loin         | 0.66                                     | 2.76        | 0.66          |
| Beef, rib          | 0.67                                     | 2.81        | 0.67          |
| Beef, round        | 0.74                                     | 3.1         | 0.74          |
| Beef, rump         | 0.62                                     | 2.6         | 0.62          |
| Beef, shanks       | 0.76                                     | 3.18        | 0.76          |
| Beef, corned       | 0.63                                     | 2.64        | 0.63          |
| Beets              | 0.9                                      | 3.77        | 0.9           |
| Blackberry         | 0.87                                     | 3.64        | 0.87          |
| Blueberries        | 0.87                                     | 3.64        | 0.87          |
| Brains             | 0.84                                     | 3.52        | 0.84          |
| Broccoli           | 0.92                                     | 3.85        | 0.92          |
| Brussels sprouts   | 0.88                                     | 3.68        | 0.88          |
| Butter             | 0.65                                     | 2.72        | 0.65          |
| Butter-fish        | 0.77                                     | 3.22        | 0.77          |
| Cabbage            | 0.94                                     | 3.94        | 0.94          |
| Candy              | 0.93                                     | 3.89        | 0.93          |
| Carp               | 0.82                                     | 3.43        | 0.82          |
| Carrots            | 0.91                                     | 3.81        | 0.91          |
| Cauliflower        | 0.93                                     | 3.89        | 0.93          |
| Celery             | 0.94                                     | 3.94        | 0.94          |
| Chard              | 0.93                                     | 3.89        | 0.93          |
| Cheese, cottage    |  | 3.27        |               |
| Cherries, sour     | 0.88                                     | 3.68        | 0.88          |
| Cherries, sweet    | 0.84                                     | 3.52        | 0.84          |
| Chicken, squab     | 0.8                                      | 3.35        | 0.8           |
| Chicken, broilers  | 0.77                                     | 3.22        | 0.77          |
| Chicken, fryers    | 0.74                                     | 3.1         | 0.74          |
| Chicken, hens      | 0.65                                     | 2.72        | 0.65          |
| Chicken, capons    | 0.88                                     | 3.68        | 0.88          |
| Chocolate (aprox.) |  | 1.6         |               |

Ilustración 39. Calor específico del chocolate (aprox.). Fuente: (<http://www.engineeringtoolbox.com>, 2017).

La densidad del chocolate igual que el calor específico, es un valor que varía según su composición, y su rango varía desde 1200Kg/m<sup>3</sup> (1,2Kg/L) el chocolate más graso hasta 1300Kg/m<sup>3</sup> el chocolate con leche, menos graso. (Mans Teixidó, 2015).

Para la densidad, de la misma manera que el calor específico, se escogerá el valor entre medio del valor máximo y mínimo encontrado, en este caso sería  $\rho=1250\text{Kg/m}^3$ .

Entonces, conociendo los valores del calor específico del chocolate, la densidad del chocolate y el flujo al que limitaremos nuestro extrusor, podemos realizar la verificación de la capacidad calefactora del diseño realizado.

Sabiendo que:

- Calor específico:

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (0.13)$$

Donde:

$Q$ = calor absorbido.  
 $m$ = masa de sustancia considerada.  
 $\Delta T$ = variación de temperatura.

- Flujo volumétrico o caudal volumétrico

$$Q_v = A \cdot v = \frac{V}{t} \quad (0.14)$$

Donde:

$A$  = área sobre la cual fluye el fluido.  
 $v$ = velocidad del fluido.  
 $V$ = volumen del fluido.  
 $t$ = tiempo

Podemos convertir el calor específico másico a volumétrico multiplicándolo por la densidad.

$$C_p \cdot \rho = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \cdot \frac{m}{V} = \frac{Q}{V \cdot \Delta T} \quad (0.15)$$

Y con el calor específico (volumétrico) multiplicado por el caudal se obtiene la potencia requerida para aumentar una variación de temperatura.

$$\frac{P_{req}}{\Delta T} = C_p \cdot \rho \cdot Q_v = \frac{Q}{V \cdot \Delta T} \cdot \frac{V}{t} = \frac{Q}{t \cdot \Delta T} \quad (0.4)$$

Una vez sabemos esto, podemos verificar si el extrusor diseñado será válido o no.

Sustituyendo por los valores de las propiedades del chocolate:

$$\begin{aligned} 1,6 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \cdot 1250 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{1m^3}{1.000.000.000mm^3} \cdot 5 \frac{mm^3}{s} &= 1 \cdot 10^{-5} \frac{KJ}{s \cdot K} \\ &= 1 \cdot 10^{-5} \frac{KW}{K} = 0,01 \frac{W}{K} \end{aligned}$$

Es decir, necesitamos 0.01W para aumentar un grado la temperatura al chocolate.



Partiendo de la temperatura normal que es  $T_o = 20^\circ\text{C}$  hasta alcanzar la temperatura de fusión del chocolate  $T_f = 50^\circ\text{C}$ , existe un incremento  $\Delta T = 30^\circ\text{C} = 30\text{K}$

$$P_{req} = 0,01 \frac{W}{K} \cdot 30K = 0,3W$$

Una vez llegado a la temperatura de fusión, el chocolate requerirá una energía extra para pasar de estado sólido a estado líquido. Esta energía es conocida como calor latente de fusión y para la manteca de cacao este valor es igual a  $157 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$  (Beckett, The Science of Chocolate 2nd Edition, 2008).

$$P_{fusión} = 157 \frac{J}{g} \cdot \frac{1000g}{1 Kg} \cdot 1250 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{1m^3}{1.000.000.000mm^3} \cdot 5 \frac{mm^3}{s} = 0,98 \frac{J}{s} = 0,98W$$

La potencia total necesaria para aumentar el chocolate desde los  $20^\circ\text{C}$  hasta los  $50^\circ\text{C}$  y convertir el chocolate en estado sólido a estado líquido será:

$$P_{total} = P_{req} + P_{fusión} = 0,3W + 0,98W = 1,28W$$

Esto quiere decir que se necesita tan solo  $1,28W$  para derretir el chocolate que fluye a  $5 \text{ mm}^3/\text{s}$  dentro del extrusor.

Y teniendo un sistema calefactor con una potencia equivalente a  $37,5W$ , se puede afirmar con certeza que dicho sistema calefactor funcionará con una potencia muy por encima de lo requerido, por tanto, también se puede afirmar que derretirá el chocolate sin ningún problema.

## B. Fichas técnicas

## ALUMINIO ALEACIÓN MAGNESIO SILICIO 6082

### Productos

Chapas - Placas - Barras - Tubos - Perfiles - Alambre

### Aplicaciones y usos típicos

Moldes industria del calzado.  
Moldes de botellas de plástico por soplado.  
Moldes de termoconformados.  
Moldes industria del caucho.  
Moldes y matrices para la industria en general.  
Modelos para la fundición y placas.

El aluminio aleación magnesio silicio 6082 es de uso general en la construcción de maquinariaindustrial, armamento y blindaje.  
Automoción: vehículos industriales.  
Plantillas

### Tratamientos Térmicos

Puesto en solución: 535° C + - 5° C de 0,5 a 2 horas.  
Temple en agua fría (40° C max). Tan rápido como sea posible.  
Maduración: Estado T4, 8 días mínimo a 20° C.  
Maduración artificial: Estado T6, 16 horas a 165° C + - 5° C ó 8 horas a 175° C += 5° C.  
Recocido: De 30 min. a 2 horas a 380° -420° C, seguido de enfriamiento lento. Trabajo en caliente: desde 300° a 490°C.

### Aptitudes tecnológicas

**MB:** muy buena  
**B:** buena  
**R:** regular  
**M:** mala, evitar

### Soldadura

- A la llama .....(MB)  
- Al Arco bajo gas argón.....(B)  
- Por resistencia eléctrica.....(MB)  
- Braseado .....(B)

### Mecanización:

-Fragmentación de la viruta. **En estado 0:** (M) **En estado: T6** (R)  
-Brillo de superficie.....**En estado 0:** (-) **En estado: T6** (MB)

### Comportamiento Natural

-En ambiente rural.....(MB)  
-En ambiente industrial.....(MB)  
-En ambiente marino.....(B)  
-En agua de mar .....(R)

### Embutición:

-Por expansión ..... **En estado:0** (MB) **En estado:T6** (M)  
-Embutición profunda.....**En estado:0** (MB) **En estado: T6** (M)

### Anodizado

-De protección.....(MB)  
-Decorativo .....(R)  
-Anodizado duro .....(MB)

### Repujado

-**En estado:0** .....(B)

**Composición Química**

| %       | Si           | Fe   | Cu   | Mn           | Mg           | Cr   | Zn   | Ti |   | Otros | Al    |
|---------|--------------|------|------|--------------|--------------|------|------|----|---|-------|-------|
| Min.Max | 0,70<br>1,30 | 0,50 | 0,10 | 0,40<br>1,00 | 0,60<br>1,20 | 0,25 | 0,20 | -  | - | 0,10  | Resto |

**Equivalencias Internacionales**

| USA  | ESPAÑA           | FRANCIA   | ALEMANIA         | G.B  | SUECIA | SUIZA    | CANADA | ITALIA |
|------|------------------|-----------|------------------|------|--------|----------|--------|--------|
| A.A. | U.N.E.           | AFNOR     | DIN(1712-1725)   | B.S. | S.I.S. | VSM      | ALCAN  | UNI    |
| 6082 | L-3453<br>38.348 | A-SG M0,7 | AIMSi1<br>3.2315 | H30  | 4212   | AIMgSiMn | -      | 3571   |

**Propiedades Mecánicas**

| ESTADO | Carga de rotura<br>Rm N/mm2 | Límite elástico<br>Rp 0.2 N/mm2 | Alargamiento<br>5,65 V So | Resistencia de la<br>Cizalladura<br>N/mm2 | Dureza      |         |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|-------------|---------|
|        |                             |                                 |                           |   | Brinell(HB) | Vickers |
| T4     | 215                         | 130                             | 15                        | 178                                       | 70          | 74      |
| 76     | 305                         | 270                             | 8                         | 218                                       | 100         | 105     |

**Propiedades Físicas**

| Módulo elástico<br>N/mm2 | Peso específico<br>gms/cm3 | Temperatura de fusión<br>°C | Coefficiente de dilatac. lineal<br>(20°-100°) 10-6/°C | Conductividad térmica<br>w/m °C | Resistencia eléctrica<br>Micro Ohm cm. | Conduct. eléctrica<br>% IACS | Potencial de disolución<br>V. |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|---------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 69.500                   | 2,70                       | 570-660                     | 23´5  | 184                             | 3´7                                    | 48´6                         | 0´83                          |

**Radios De Plegado**

| Estado | Coef | 0´4-0´8 m/m | 0´8-1´6 m/m | 1´6-3´2 m/m | 3´2-4´8 m/m | 4´8-6 m/m | 6-10 m/m | 10-12 m/m |
|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0      | K    | 0           | 0´5         | 1           | 1´5         | 1´75      | 2        | 2´5       |
| T4     | K    | 1           | 1´5         | 2           | 2´5         | 3         | 3´5      | 4         |
| T6     | K    | 2           | 2´5         | 3´5         | 4           | 4´5       | 5        | 6         |



Irestal Group



TABLA DE CARACTERISTICAS

TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CORRESPONDENCIA

APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

**TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE**

**SERIE 300 -**

**Acero al Cromo Níquel**

| DESIGNACIÓN                       | TIPO ASTM (AISI)   | 301  | 302  | 303   | 304   | 304 L   | 321  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|---|---|---|--|--|
|                                   | COMPOSICIÓN QUÍMICA  |  | C% 0,15 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00<br>Ni% 6,008,00 | C% 0,15 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 17,0019,00<br>Ni% 8,0010,00 | C% 0,15 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 17,0019,00<br>Ni% 8,0010,00<br>S% 0,15 Mín, | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 18,0020,00<br>Ni% 8,0010,50 | C% 0,030 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 18,0020,00<br>Ni% 8,0012,00 | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 17,0019,00<br>Ni% 9,0012,00<br>Ti%>5xC%>0,07 |
| PROPIEDADES FÍSICAS               | PESO ESPECÍFICO (g/cm³)  | 7,9  | 7,9  | 7,9   | 7,9   | 7,9   | 7,9  |  |
|                                   | MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm²)  | 193.000  | 193.000  | 193.000   | 193.000   | 193.000   | 193.000  |  |
|                                   | ESTRUCTURA   | AUSTENÍTICO  | AUSTENÍTICO  | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO  |  |
|                                   | CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)  | 500  | 500  | 500   | 500   | 500   | 500  |  |
|                                   | CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)  | a 100 C<br>a 150 C   | 16<br>21   | 16<br>21  | 16<br>21  | 16<br>21  | 16<br>21   | 16<br>21,5   |
|                                   | COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> ) | 0100 C<br>0300 C<br>0500 C<br>0700 C   | 16,92<br>17,10<br>18,18<br>18,72   | 17,28<br>17,82<br>18,36<br>18,72  | 17,3<br>17,8<br>18,4<br>18,7  | 17,30<br>17,80<br>18,40<br>18,80  | 17,30<br>17,80<br>18,40<br>18,80   | 16,74<br>17,10<br>18,54<br>19,26   |
|                                   | INTERVALO DE FUSIÓN (C)  |  | 13981420   | 13981420  | 13981420  | 13981454  | 13981454   | 13981427   |
| PROPIEDADES ELÉCTRICAS            | PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO                             |  | AMAGNÉTICO<br>1,02   | AMAGNÉTICO<br>1,008   | AMAGNÉTICO<br>1,008   | AMAGNÉTICO<br>1,008   | AMAGNÉTICO<br>1,008  |  |
|                                   | CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)                               |  | 0,72   | 0,72  | 0,72  | 0,72  | 0,72   |  |
| PROPIEDADES MECÁNICAS A 20º       | DUREZA BRINELL RECOCIDO HB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HB                        |  | 135185<br>210330   | 135185<br>180330  | 130180<br>180330  | 130150<br>180330  | 125145<br>-  | 130185<br>-  |
|                                   | DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HRC                     |  | 7592<br>2541<br>1/4 DURO-DURO  | 7090<br>1035  | 7090<br>-   | 7088<br>1035  | 7085<br>-  | 7088<br>-  |
|                                   | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm(N/mm²)                  | RECOCIDO   | 590750<br>8701200<br>1/4 DURO-DURO   | 560720<br>6801180   | 530700<br>-   | 500700<br>7001180   | 500680<br>-  | 520700<br>-  |
|                                   | ELASTICIDAD CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (0,2)(N/mm²)                          | RECOCIDO   | 215340<br>500900<br>1/4 DURO-DURO  | 205340<br>340900  | 205340<br>350900  | 195340<br>340900  | 175300<br>-  | 205340<br>-  |
|                                   | RECOCIDO Rp(1) (N/mm²) MÍNIMO  |  | 225  | 245   | 255   | 235   | 215  | 245  |
|                                   | ALARGAMIENTO 50mm. A(%)  |  | 6555<br>258<br>1/4 DURO-DURO   | 6050<br>5010  | 6050<br>-   | 6550<br>5010  | 6550<br>-  | 6040<br>-  |
|                                   | ESTRICCION RECOCIDO Z (%)  |  | 7060   | 7555  | Min. 50   | 7560  | 7560   | 6550   |
|                                   | RESILENCIA   | KCUL (J/cm²)<br>KVL (J/cm²)  | 130<br>140   | 160<br>180  | Mín. 100<br>-   | 160<br>180  | 160<br>180   | 120<br>130   |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE | ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS  | Rp(0,2) (N/mm²)<br>a 300 C<br>a 400 C<br>a 500 C<br>Rp(1) (N/mm²)<br>a 300 C<br>a 400 C<br>a 500 C | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-  | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-   | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-   | 125<br>97<br>93<br>147<br>127<br>107  | 115<br>98<br>88<br>137<br>117<br>108   | 150<br>135<br>120<br>186<br>161<br>152   |
|                                   | LÍMITE DE FLUENCIA   | a 500 C<br>a 600 C<br>a 700 C<br>σ1 / 100.000/ t (N/mm²) a 800 C                                   | -<br>-<br>-<br>-   | -<br>-<br>-<br>-  | -<br>-<br>-<br>-  | 68<br>42<br>14,5<br>4,9   | 58,5<br>36<br>10,5<br>3,9  | 102<br>64<br>16,5<br>5,8   |
|                                   | TRATAMIENTOS TÉRMICOS  | RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC) (I)   | ENFR. RÁPIDO 10081120  | ENFR. RÁPIDO 10081120   | ENFR. RÁPIDO 10081120   | ENFR. RÁPIDO 10081120   | ENFR. RÁPIDO 10081120  | ENFR. RÁPIDO 9531120   |
| TEMPLE                            |  | NO COGE TEMPLE   | NO COGE TEMPLE   | NO COGE TEMPLE  | NO COGE TEMPLE  | NO COGE TEMPLE  | NO COGE TEMPLE   |  |
| INTERVALO DE FORJA                | TEMPER. INICIAL<br>TEMPER. FINAL   | 1200<br>925  | 1200<br>925  | 1200<br>925   | 1200<br>925   | 1200<br>925   | 1175<br>925  |  |
| TEMPERATURA FORMACIÓN CASCARILLA  | SERVICIO CONTINUO<br>SERVICIO INTERMITENTE                                   | 900<br>810   | 900<br>810   | -<br>815  | 925<br>840  | 925<br>840  | 900<br>810   |  |
| OTRAS PROPIEDADES                 | SOLDABILIDAD   |  | MUY BUENA  | MUY BUENA   | NO ACONSEJABLE  | MUY BUENA   | MUY BUENA  | BUENA  |
|                                   | MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112                 |  | 45%  | 45%   | 55%   | 45%   | 45%  | 36%  |
|                                   | EMBUTICIÓN   |  | BUENA  | BUENA   | REGULAR   | MUY BUENA   | MUY BUENA  | BUENA  |

| AUSTENÍTICO  |   |   |   |  |  |  | SERIE 400 - FERRÍTICO   |   |  |
|--|---|---|---|--|--|--|---|---|--|
| Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno  |   |   |   | Acero refractario  |  |  | Acero al Cromo  |   |  |
| 316  | 316 S   | 316 L   | 316 Ti  | 309  | 310  | 310 S  | 409   | 420   | 430  |
| C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00<br>Ni% 10,0014,00<br>Mo%2,02,50 | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00<br>Ni% 12,0014,00<br>Mo%2,503,00 | C% 0,03 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00<br>Ni% 10,0014,00<br>Mo%2,002,50 | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00<br>Ni% 10,0014,00<br>Mo%2,002,50<br>Ti5xC%0,80 | C% 0,20 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 22,0024,00<br>Ni% 12,0015,00 | C% 0,25 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,50 Máx.<br>Cr% 24,0026,00<br>Ni% 19,0022,00 | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 2,00 Máx.<br>Si% 1,50 Máx.<br>Cr% 24,0026,00<br>Ni% 19,0022,00 | C% 0,08 Máx.<br>Mn% 1,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 10,511,75<br>Ti6xC%0,75 | C% 0,15 Min.<br>Mn% 1,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 12-14 | C% 0,10 Máx.<br>Mn% 1,00 Máx.<br>Si% 1,00 Máx.<br>Cr% 16,0018,00 |
| 7,95   | 7,95  | 7,95  | 7,95  | 7,9  | 7,9  | 7,9  | 7,7   | 7,75  | 7,7  |
| 193.000  | 193.000   | 193.000   | 193.000   | 200.000  | 200.000  | 200.000  | 200.000   | 200.000   | 200.000  |
| AUSTENÍTICO  | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO   | AUSTENÍTICO  | AUSTENÍTICO  | AUSTENÍTICO  | FERRÍTICO   | MARTENSÍTICO  | FERRÍTICO  |
| 500  | 500   | 500   | 500   | 500  | 500  | 500  | 460   | 460   | 460  |
| 16<br>21   | 16<br>21  | 16<br>21  | 16<br>21  | 12,5<br>17,5   | 12,5<br>17,5   | 12,5<br>17,5   | -<br>-  | 28<br>-   | 26<br>27   |
| 16,02<br>16,20<br>17,46<br>18,54   | 16,02<br>16,20<br>17,46<br>18,54  | 16,02<br>16,20<br>17,46<br>18,54  | 16,50<br>18,00<br>19,00<br>-  | 14,9<br>16,7<br>17,3<br>18, -  | 15,9<br>16,2<br>16,9<br>17,5   | 15,2<br>16,6<br>17,6<br>18,5   | 11,7<br>-<br>-<br>13  | 10,2<br>10,8<br>11,7<br>12,2                                | 10,4<br>11, -<br>11,4<br>11,9                                    |
| 13711398   | 13711398  | 13711398  | 1370  | 13981454   | 13981454   | 13981454   | 14271510  | 14541510  | 14271510   |
| AMAGNÉTICO<br>1,008  | AMAGNÉTICO<br>1,008   | AMAGNÉTICO<br>1,008   | AMAGNÉTICO<br>1,02  | AMAGNÉTICO<br>1,008  | AMAGNÉTICO<br>1,008  | AMAGNÉTICO<br>1,008  | FERRO-<br>MAGNÉTICO   | FERRO-<br>MAGNÉTICO   | FERRO-<br>MAGNÉTICO  |
| 0,74   | 0,74  | 0,74  | 0,75  | 0,78   | 0,79   | 0,79   | 0,59  | 0,55  | 0,60   |
| 130185<br>-  | 130185<br>-   | 120170<br>-   | 130190<br>-   | 140185<br>-  | 145210<br>-  | 145210<br>-  | 120150<br>-   | 160190<br>520225<br>con tratamiento<br>térmico              | 135180<br>180230   |
| 7085<br>-  | 7085<br>-   | 7085<br>-   | 7085<br>-   | 7085<br>-  | 7085<br>-  | 7085<br>-  | 6580<br>-   | 23<br>-   | 7588<br>-  |
| 540690<br>-  | 540690<br>-   | 520670<br>-   | 540690<br>-   | 540690<br>-  | 540690<br>-  | 520670<br>-  | 360420<br>-   | 67<br>84154<br>con tratamiento<br>térmico                   | 440590<br>610900   |
| 205410<br>-  | 205410<br>-   | 195370<br>-   | 215380<br>-   | 215370<br>-  | 215370<br>-  | 205370<br>-  | 205330<br>-   | 205330<br>-   | 250400<br>400860   |
| 245  | 245   | 235   | 255   | 265  | 265  | 255  | 235   | 235   | 275  |
| 6040<br>-  | 6040<br>-   | 6040<br>-   | 6040<br>-   | 5540<br>-  | 5540<br>-  | 6040<br>-  | 3025<br>-   | 3025<br>-   | 3022<br>202  |
| 7560   | 7560  | 7565  | 7560  | 7050   | 7050   | 7055   | -   | 6055  | 7060   |
| 160<br>180   | 160<br>180  | 160<br>180  | 120<br>130  | 160<br>180   | 160<br>180   | 160<br>180   | 95<br>95  | 8070<br>6010  | 50<br>65   |
| 140<br>125<br>105  | 140<br>125<br>105   | 138<br>115<br>95  | 145<br>135<br>125   | 160<br>150<br>145  | 156<br>147<br>137  | 165<br>156<br>147  | -<br>-<br>-   | -<br>-<br>-   | 245<br>215<br>155  |
| 166<br>147<br>127  | 166<br>147<br>127   | 161<br>137<br>117   | 176<br>166<br>156   | -<br>-<br>-  | -<br>-<br>-  | 181<br>171<br>137  | -<br>-<br>-   | -<br>-<br>-   | -<br>-<br>-  |
| 82<br>62<br>20<br>6,5  | 82<br>62<br>20<br>6,5   | 71<br>53<br>15,5<br>5   | 82<br>62<br>20<br>6,5   | -<br>49<br>13,6<br>4,9   | -<br>70,6<br>30<br>15,5  | -<br>58,5<br>19,5<br>5   | -<br>-<br>-<br>-  | -<br>-<br>-<br>-  | 29,42<br>16,67<br>5,88<br>-                                      |
| ENFR. RÁPIDO<br>10081120   | ENFR. RÁPIDO<br>10081120  | ENFR. RÁPIDO<br>10081120  | ENFR. RÁPIDO<br>10201070  | ENFR. RÁPIDO<br>10361120   | ENFR. RÁPIDO<br>10361149   | ENFR. RÁPIDO<br>10361149   | ENFR. AL AIRE<br>885  | ENFR. LENTO<br>843899                                       | ENFR. AL AIRE<br>750815  |
| NO COGE<br>TEMPLE  | NO COGE<br>TEMPLE   | NO COGE<br>TEMPLE   | NO COGE<br>TEMPLE   | NO COGE<br>TEMPLE  | NO COGE<br>TEMPLE  | NO COGE<br>TEMPLE  | NO COGE<br>TEMPLE   | 9821030C<br>Rev. 149371C                                    | NO COGE<br>TEMPLE  |
| 1200<br>925  | 1200<br>925   | 1200<br>925   | 1150<br>750   | 1175<br>980  | 1175<br>980  | 1175<br>980  | 1150<br>750   | 10931149C<br>(retardar enfriamiento)                        | 1060<br>650  |
| 925<br>840   | 925<br>840  | 925<br>840  | 925<br>840  | 1090<br>1000   | 1120<br>1035   | 1120<br>1030   | 800<br>850  | 648<br>809  | 840<br>890   |
| MUY BUENA  | MUY BUENA   | MUY BUENA   | BUENA   | BUENA  | BUENA  | BUENA  | BUENA<br>UNIÓN FRÁGIL   | BUENA<br>UNIÓN FRÁGIL                                       | BASTANTE BUENA<br>UNIÓN FRÁGIL                                   |
| 45%  | 45%   | 45%   | -   | 45%  | 45%  | 45%  | 50%   | 45%   | 55%  |
| BUENA  | BUENA   | BUENA   | BUENA   | BUENA  | BUENA  | BUENA  | BASTANTE BUENA  | MEDIOCRE  | BASTANTE BUENA   |

TABLA DE CORRESPONDENCIA APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

| EN<br>(EUROPA)<br>Nº |        | AISI UNS<br>(USA) |         | AFNOR<br>(FRANCIA)                   | BSI<br>(REINO<br>UNIDO) | DIN<br>(ALEMANIA) | GOST<br>(FEDERACION<br>RUSA)         | JIS<br>(JAPON)       | SS<br>(SUECIA) | UNE<br>(ESPAÑA)     | UNI<br>(ITALIA)                 |
|----------------------|--------|-------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| X 10 CrNi 18-8       | 1.4310 | 301               | S 30100 | Z 11 CN 18-08<br>Z 11 CN 17-08       | 301 S 21                | 1.4310            |                                      | SUS 301              | 23 31          | X12 CrNi 17-07      | X 12 CrNi 1707                  |
|                      |        | 302               | S 30200 | Z 12 CN 18-09                        | 302 S 25                | 1.4319            |                                      |                      |                | X10CrNi 18-09       | X 8 CrNi 1910<br>X 10 CrNi 1809 |
| X 8 CrNiS 18-9       | 1.4305 | 303               | S 30300 | Z 8 CNF 18-09                        | 303 S 21<br>303 S 31    | 1.4305            |                                      | SUS 303              | 23 46          | X10 CrNiS 18-09     | X 10 CrNiS 1809                 |
| X 5 CrNi 18-10       | 1.4301 | 304               | S 30400 | Z 7 CN 18-09                         | 304 S 15<br>304 S 16    | 1.4301            | 08 Kh 18N10<br>08 Kh 18N11           | SUS 304              | 23 32<br>23 33 | X6CrNi 19-10        | X 5 CrNi 1810                   |
| X 2 CrNi 18-9        | 1.4307 | 304 L             | S 30403 | Z 3 CN 19-09                         | 304 S 11                | 1.4307            |                                      | SUS 304 L            | 23 52          |                     |                                 |
| X 2 CrNi 19-11       | 1.4306 | 304 L             | S 30403 | Z 3 CN 18-10                         | 304 S 11                | 1.4306            | 03 Kh 18N 11                         | SUS 304 L            | 23 52          | X2CrNi 19-10        | X 2 CrNi 1811                   |
| X 15 CrNiSi 20-12    | 1.4828 | 309               | S 30900 | Z 17 CNS 20-12                       | 309 S 24                | 1.4828            | 20 Kh 23N 13                         | SUH 309              |                |                     | X 16 CrNi 2314                  |
| X 12 CrNi 23-13      | 1.4833 | 309 S             | S 30908 | Z 15 CN 23-13                        |                         | 1.4833            |                                      | SUS 309 S            |                |                     | X 6 CrNi 2314                   |
|                      |        | 310               | S 31000 |                                      | 310 S 24                | 1.4845            | 20 Kh 23N 18                         | SUH 310              |                |                     | X 22 CrNi 2520                  |
| X 8 CrNi 25-21       | 1.4845 | 310 S             | S 31008 | Z 8 CN 25-20                         | 310 S 16                | 1.4845<br>1.4842  | 10 Kh 23N 18                         | SUS 310 S            | 23 61          |                     | X 6 CrNi 2520                   |
| X 5 CrNiMo 17-12-2   | 1.4401 | 316               | S 31600 | Z 7 CND 17-11-02                     | 316 S 31                | 1.4401            |                                      | SUS 316              | 23 47          | X6CrNiMo 17-12-03   | X 5 CrNiMo 1712                 |
| X 3 CrNiMo 17-13-3   | 1.4436 | 316               | S 31600 | Z 7 CND 17-12-02                     | 316 S 33                | 1.4436            |                                      | SUS 316              | 23 43          | X6CrNiMo 17-12-03   | X 5 CrNiMo 1713                 |
| X 2 CrNiMo 17-12-2   | 1.4404 | 316 L             | S 31603 | Z 3 CND 17-11-02<br>Z 3 CND 17-12-02 | 316 S 11                | 1.4404            | 03 Kh 17N 14 M2                      | SUS 316 L            | 23 48          | X2CrNiMo 17-12-03   | X 2 CrNiMo 1712                 |
| X 2 CrNiMo 18-14-3   | 1.4435 | 316 L             | S 31603 | Z 3 CND 18-14-03                     | 316 S 13                | 1.4435            | 03 Kh 16N 15 M3                      |                      | 23 53          | X2CrNiMo 17-12-03   | X 2 CrNiMo 1713                 |
| X 2 CrNiMo 17-12-3   | 1.4432 | 316 L             | S 31603 | Z 3 CND 17-13-03                     | 316 S 13                | 1.4432            |                                      | SUS 316 L            | 23 53          | X2CrNiMo 17-12-03   | X 2 CrNiMo 1713                 |
| X 6 CrNiMoTi 17-12-2 | 1.4571 | 316 Ti            | S 31635 | Z 6 CNDT 17-12                       | 320 S 31                | 1.4571            | 08 Kh 17N 13 M2T<br>10 Kh 17N 13 M2T | SUS 316 Ti           | 23 50          | X6CrNiMoTi 17-12-03 | X 6 CrNiMoTi 1712               |
| X 6 CrNiTi 18-10     | 1.4541 | 321               | S 32100 | Z 6 CNT 18-10                        | 321 S 31                | 1.4541            | 08Kh 18N 10 T                        | SUS 321              | 23 37          | X6CrNiTi 18-11      | X 6 CrNiTi 1811                 |
| X 6 CrAl 13          | 1.4002 | 405               | S 40500 | Z 8 CA 12                            | 405 S 17                | 1.4002            |                                      | SUS 405              |                | X6CrAl 13           | X6CrAl 13                       |
| X 2 CrTi 12          | 1.4512 | 409               | S 40900 | Z 3 CT 12                            | 409 S 19                | 1.4512            |                                      | SUH 409 L<br>SUS 409 |                |                     | X2CrTi12<br>X6CrTi12            |
| X 6 Cr 17            | 1.4016 | 430               | S 43000 | Z 8 C 17                             | 430 S 17                | 1.4016            | 12Kh 17                              | SUS 430              | 23 20          | X8Cr17              | X8Cr17                          |
| X 6 CrMo 17-1        | 1.4113 | 434               | S 43400 | Z 8 CD 17-01                         | 434 S 17                | 1.4113            |                                      | SUS 434              |                |                     | X8CrMo 17                       |
| X 20 Cr 13           | 1.4021 | 420               | S 42000 | Z 20 C 13                            | 420 S 29<br>420 S 37    | 1.4021            | 20 Kh 13                             | SUS 420 J1           | 23 03          | X20Cr 13            | X20 Cr 13                       |
| X 30 Cr 13           | 1.4028 | 420               | S 42000 | Z 33 C 13                            | 420 S 45                | 1.4028            | 30 Kh 13                             | SUS 420 J2           | 23 04          | X30Cr 13            | X30 Cr 13                       |
| X 39 Cr 13           | 1.4031 | 420               | S 42000 | Z 33 C 13                            | 420 S 45                | 1.4031            |                                      |                      | 23 04          |                     |                                 |
| X 46 Cr 13           | 1.4034 | 420               | S 42000 | Z 44 C 14                            |                         | 1.4034            | 40 Kh 13                             |                      |                | X40Cr 13            | X40 Cr 14                       |
| X 17 CrNi 16-2       | 1.4057 | 431               | S 43100 | Z 15 CN 16-02                        | 431 S 29                | 1.4057            | 20 Kh 17 N 2                         | SUS 431              | 23 21          | X15CrNi 16          | X16Cr Ni 16                     |





MSDS for t-glase (PETT)

taulman3D,LLC St Louis, MO.



taulman3D,LLC

## Material Safety Data Sheet

PETT (t-glase)  
1.75mm dia and 3mm dia  
Round  
3D Printing material

Prepared May 21 2013



taulman3D,LLC

314 609 3549 4061 N. Saint Peters Parkway, Saint Peters, MO. 63376

# MSDS for t-glase (PETT)

taulman3D,LLC St Louis, MO.



## Product and Company:

TAULMAN3D, LLC  
4061 N. Saint Peters Parkway,  
Saint Peters, MO. 63376  
<http://taulman3d.com/>  
[taulman@taulman3d.com](mailto:taulman@taulman3d.com)  
For Emergencies Call: 314 609 3549

## Identification:

Generic Name: PETT/PET/PETG  
Chemical Name: Copolyester  
Molecular Formula: N/A  
Molecular Weight: N/A

## Specific use:

Mono Filament for FFF 3D Printing

## Product Classification:

PET Copolyester

## Composition of Ingredients

There is NO chemical present in this product at a concentration of 0.1% or more classified as a carcinogen by IARC, NTP or OSHA

## Physical Properties

Melting Point: 446 F (230 C)  
Appearance: Colorless/Red/Blue/Green/Black  
Specific Gravity: 1.27 / 23°C  
Tg: >76C  
Cas Reg. No. 25038-91-9 Base polymer Eastar GN071  
Water Solubility: N/A  
Odor: No noticeable odor  
Percent Volatiles: Nil

## HAZARDOUS MIXTURES

taulman3D PETT are thermoplastic resins. In the solid state, they are not hazardous. During processing when converted to the molten state, normal precautions for the handling of hot, sticky, fluid melts should be observed.



taulman3D,LLC

314 609 3549 4061 N. Saint Peters Parkway, Saint Peters, MO. 63376

# MSDS for t-glase (PETT)

taulman3D,LLC St Louis, MO.



## Fire Data:

Flash Point: N.A. LEL: N.A. UEL: N.A.

Extinguishing Media: Water, Foam, Carbon Dioxide, Dry Chemical.

Unusual Fire and Explosion Hazards: Smoke and noxious gases (carbon monoxide, hydrocarbons) evolved upon burning.

Special Fire Fighting Procedures: Self-contained breathing apparatus in any closed space.

## Health Hazard Data:

Threshold Limit Value: N.A.

Effects of Overexposure:

Ingestion (Swallowing): Low Toxicity, not a probable route of exposure.

## Emergency and First Aid Procedures:

Eye Contact: Flush with water for approximately 15 minutes.

Skin Contact: Mechanical or thermal (molten state only) - flush with cool water immediately.

Dermatitis (dust only) - flush with water. Seek medical attention if severe reaction occurs.

## Reactivity Data:

Stability: Stable.

Incompatibility (Materials to Avoid): None known.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Conditions to Avoid: Temperatures over 550°F may result in thermal decomposition.

## Spill or Leak Procedures:

Steps to be Taken in Case Material is Released or Spilled: Sweep up and discard.

Waste Disposal Method: Landfill in accordance with local, state and federal laws.

This Material Safety Data Sheet (MSDS) is presented in good faith, based on currently available information, and is accurate to the best of our knowledge. It does not replace the precautions, directions and information contained on the product label. The user is solely responsible for: 1) following all instructions, recommendations and directions; 2) deciding whether this product or the information about this product is suitable for its use; 3) providing this MSDS.



# Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

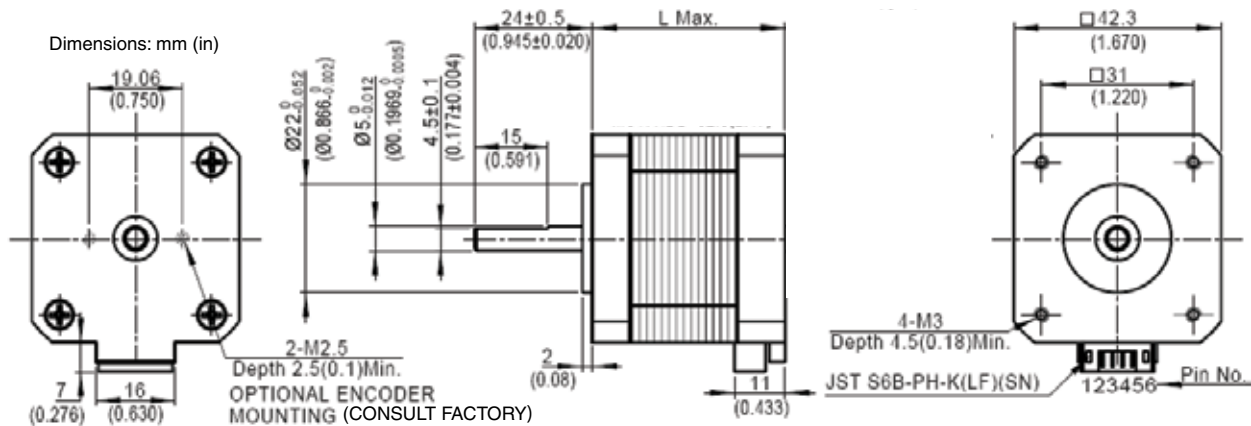


|                       |   |
|-----------------------|---|
| Phases                | 2   |
| Steps/Revolution      | 200   |
| Step Accuracy         | ±5%   |
| Shaft Load            | 20,000 Hours at 1000 RPM                    |
| Axial                 | 25 N (5.6 lbs.) Push<br>65 N (15 lbs.) Pull |
| Radial                | 29 N (6.5 lbs.) At Flat Center              |
| IP Rating             | 40  |
| Approvals             | RoHS  |
| Operating Temp        | -20° C to +40° C                            |
| Insulation Class      | B, 130° C                                   |
| Insulation Resistance | 100 MegOhms                                 |

Standard shaft motor shown.

| Description | Length            | Mounted Rated Current | Mounted Holding Torque |            | Winding Ohms mH  |     | Detent Torque |                   | Rotor Inertia      |      | Motor Weight |      |
|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------|------------------|-----|---------------|-------------------|--------------------|------|--------------|------|
|             |                   |                       | Nm Typ.                | oz-in Typ. | ±10% @ 20°C Typ. | mNm | oz-in         | g cm <sup>2</sup> | oz-in <sup>2</sup> | kg   | lbs          |      |
| (Stack)     | "L" Max           | Amps                  |                        |            |                  |     |               |                   |                    |      |              |      |
| Single      | 39.8 mm (1.57 in) | 2                     | 0.48                   | 68         | 1.04             | 2.2 | 15            | 2.1               | 57                 | 0.31 | 0.28         | 0.62 |
| Double      | 48.3 mm (1.90 in) | 2                     | 0.63                   | 89         | 1.3              | 2.9 | 25            | 3.5               | 82                 | 0.45 | 0.36         | 0.79 |
| Triple      | 62.8 mm (2.47 in) | 2                     | 0.83                   | 120        | 1.49             | 3.8 | 30            | 4.2               | 123                | 0.67 | 0.6          | 1.3  |

\*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



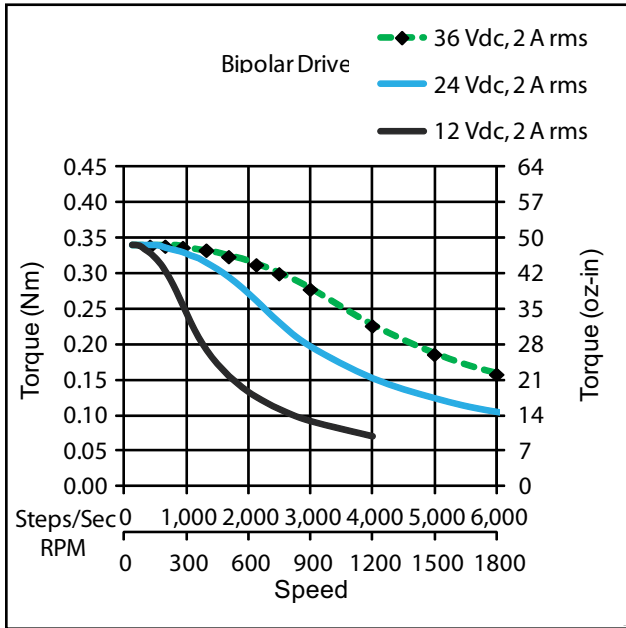
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)  
4 Lead Connector, PBC Part#6200490  
(Consult factory for optional motor connectors)

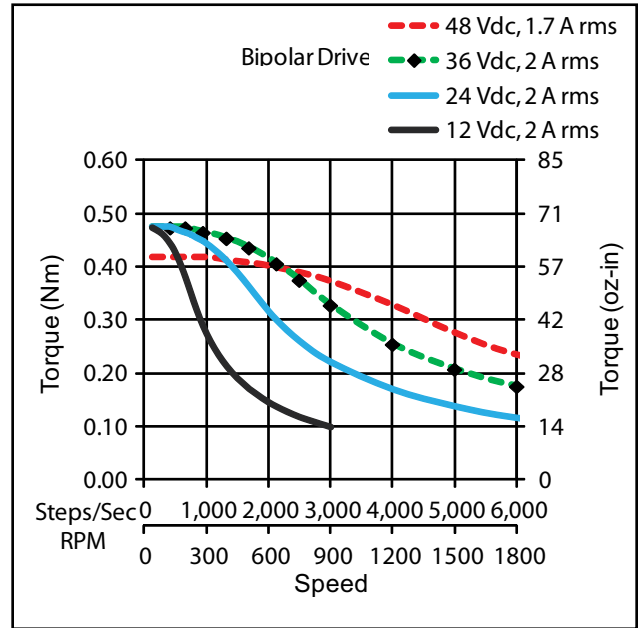


# NEMA 17 Stepper Motor

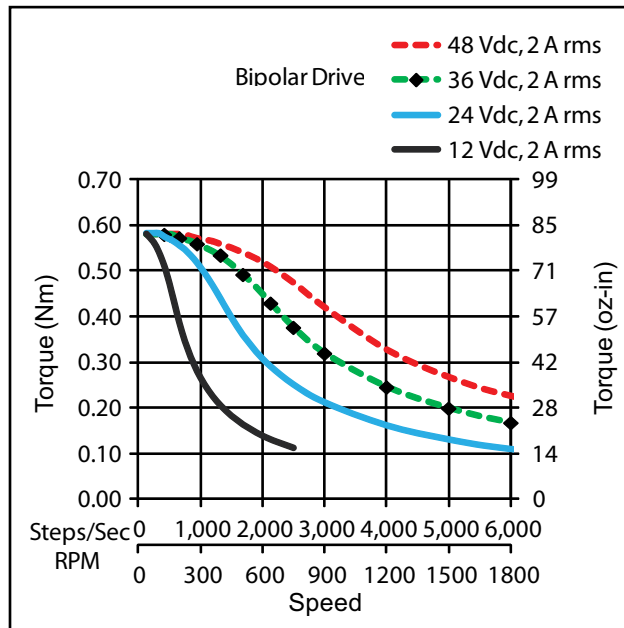
\*Performance curves apply to continuous duty cycles.  
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



**Single Stack**



**Double Stack**



**Triple Stack**

# Stepper Motor NEMA 23

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

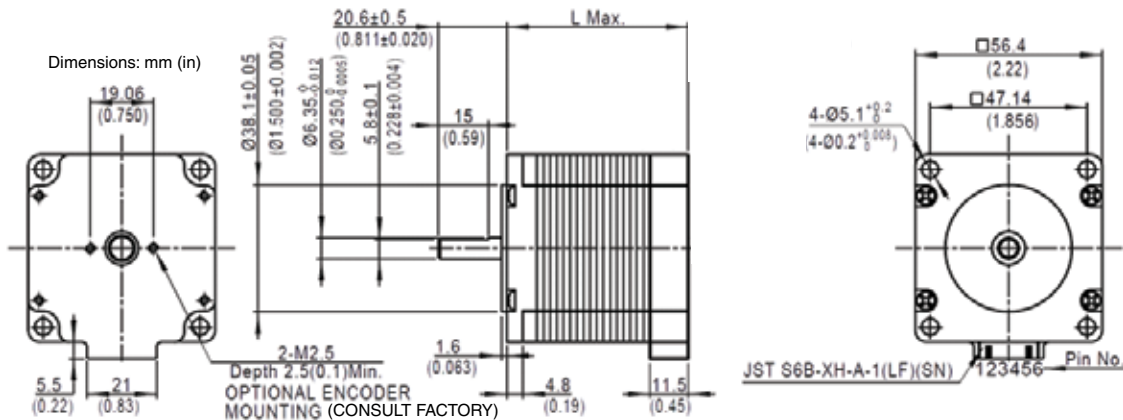


Standard shaft motor shown.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Phases                | 2  |
| Steps/Revolution      | 200  |
| Step Accuracy         | ±5%  |
| Shaft Load            | 20,000 Hours at 1000 RPM                   |
| Axial                 | 40 N (9 lbs.) Push<br>130 N (30 lbs.) Pull |
| Radial                | 70 N (15.5 lbs.) At Flat Center            |
| IP Rating             | 40   |
| Approvals             | RoHS                                       |
| Operating Temp        | -20° C to +40° C                           |
| Insulation Class      | B, 130° C                                  |
| Insulation Resistance | 100 MegOhms                                |

| Description         | Length            | Mounted Rated Current | Mounted Holding Torque |            | Winding Ohms mH |      | Detent Torque |       | Rotor Inertia |        | Motor Weight |     |
|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------|-----------------|------|---------------|-------|---------------|--------|--------------|-----|
|                     |                   |                       | Nm Typ.                | oz-in Typ. | ±10% @ 20°C     | Typ. | mNm           | oz-in | g cm2         | oz-in2 | kg           | lbs |
| (Stack)             | "L" Max           | Amps                  |                        |            |                 |      |               |       |               |        |              |     |
| Single              | 55.0 mm (2.17 in) | 2.2                   | 1.50                   | 210        | 1.6             | 6.9  | 45            | 6.4   | 220           | 1.2    | 0.6          | 1.3 |
| Double              | 77.0 mm (3.03 in) | 3                     | 2.30                   | 330        | 1.1             | 4.5  | 75            | 11    | 390           | 2.1    | 1            | 2.2 |
| Power Plus (Triple) | 77.0 mm (3.03 in) | 3                     | 3.30                   | 470        | 1.1             | 3.7  | 150           | 21    | 390           | 2.1    | 1.1          | 2.4 |

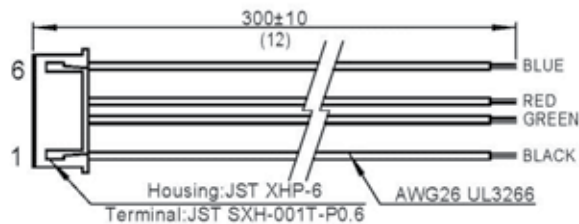
\*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



Motor with leads: Lead wire is 22 AWG UL3266, 300 ±10 (12 ±.5) long

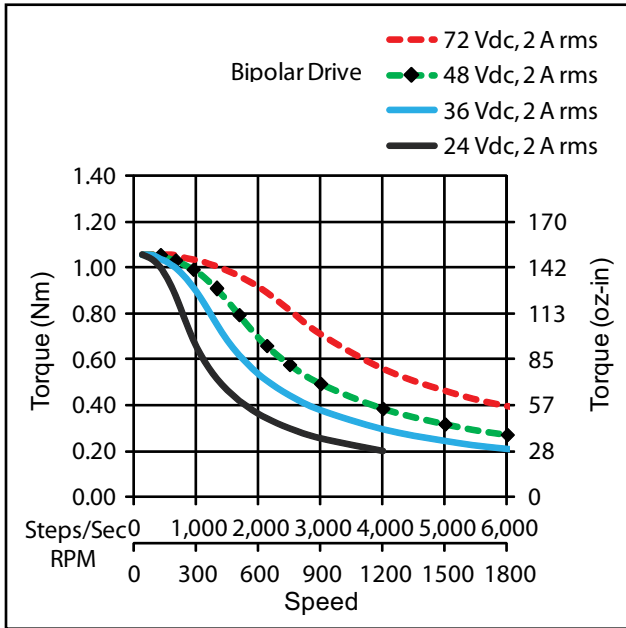
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)  
4 Lead Connector, PBC Part#6200491  
(Consult factory for optional motor connectors)

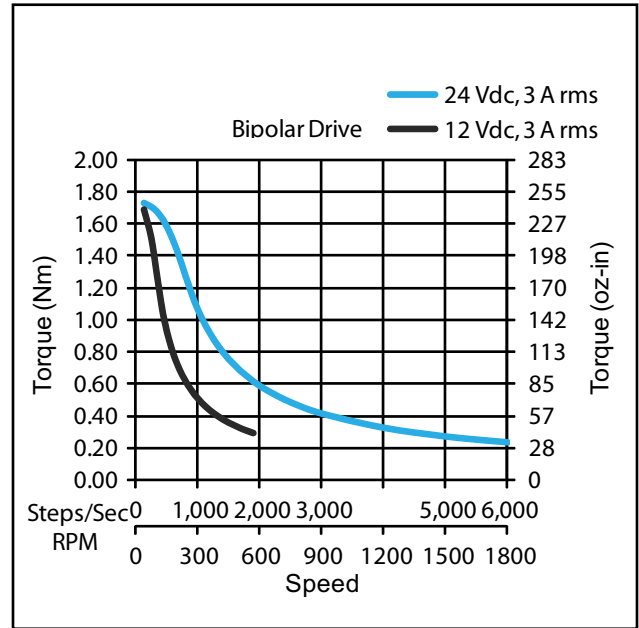


# NEMA 23 Stepper Motor

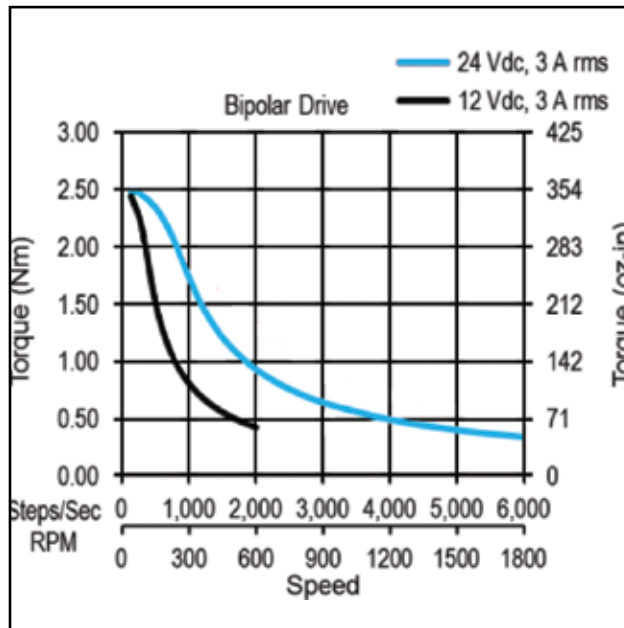
\*Performance curves apply to continuous duty cycles.  
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



**Single Stack**



**Double Stack**



**Power Plus (Triple Stack)**

TRABAJO FIN DE GRADO

**Grado en Ingeniería Mecánica**

## **DISEÑO DE UN EXTRUSOR PARA IMPRIMIR CHOCOLATE**



**Volumen II**

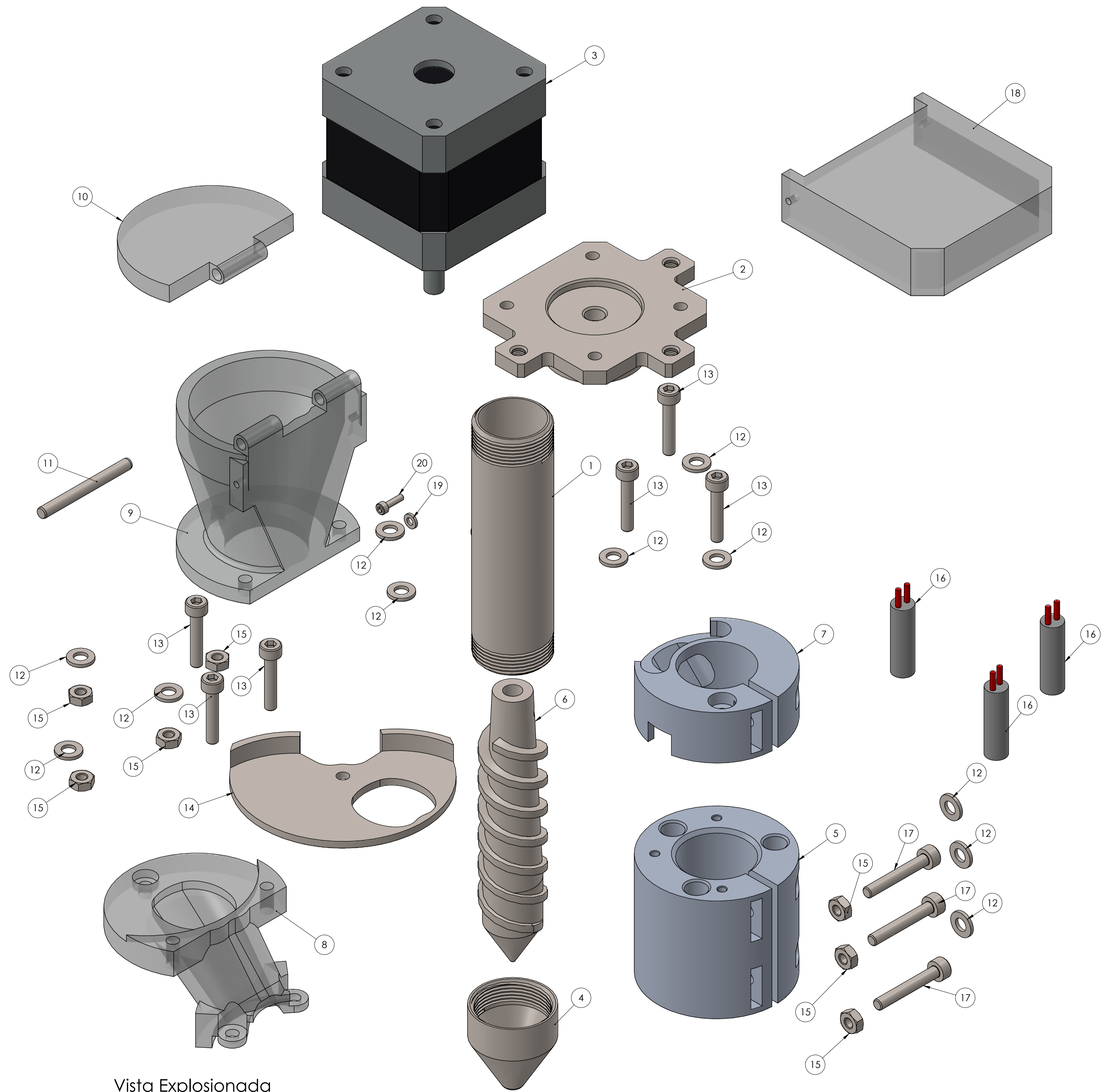
**PLANOS**

**Autor:** Wenyan Ji Chen  
**Director:** Jordi Jorba Peiró  
**Departamento:** CMEM  
**Convocatoria:** octubre 2017

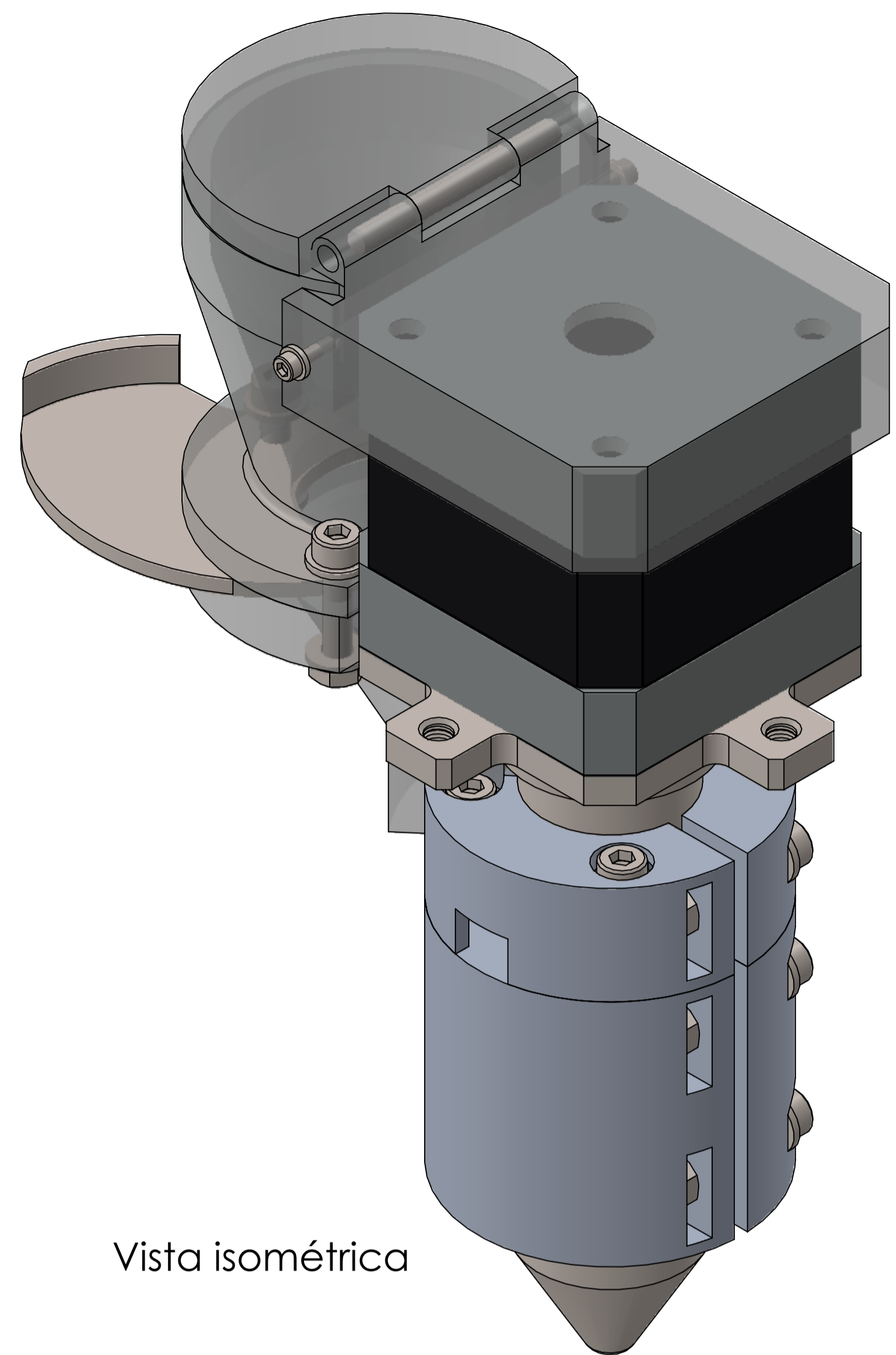


## ÍNDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Ensamblaje extrusora</b> _____            | Plano 1/15  |
| <b>Adaptador impresora 3D Prusa i2</b> _____ | Plano 2/15  |
| <b>Acople tolva</b> _____                    | Plano 3/15  |
| <b>Boquilla</b> _____                        | Plano 4/15  |
| <b>Cilindro extrusor</b> _____               | Plano 5/15  |
| <b>Husillo</b> _____                         | Plano 6/15  |
| <b>Tapa bloque calefactor</b> _____          | Plano 7/15  |
| <b>Tapa superior</b> _____                   | Plano 8/15  |
| <b>Tapa tolva</b> _____                      | Plano 9/15  |
| <b>Tolva</b> _____                           | Plano 10/15 |
| <b>Retenedor tolva</b> _____                 | Plano 11/15 |
| <b>Bloque calefactor</b> _____               | Plano 12/15 |
| <b>Cinturón tolva</b> _____                  | Plano 13/15 |
| <b>Adaptador imp3D-imp</b> _____             | Plano 14/15 |
| <b>Sistema de extrusión</b> _____            | Plano 15/15 |



Vista Explosionada



Vista isométrica

| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA                                  | CANTIDAD |
|-----------------|---|----------|
| 1               | cilindro extr                                 | 1        |
| 2               | tapa superior                                 | 1        |
| 3               | Motor_nema17_42x42x40mm_                      | 1        |
| 4               | nuevo boquilla                                | 1        |
| 5               | bloque calefactor                             | 1        |
| 6               | husillo                                       | 1        |
| 7               | complemento bloque calefactor                 | 1        |
| 8               | acople tolva                                  | 1        |
| 9               | tolva   | 1        |
| 10              | tapa tolva                                    | 1        |
| 11              | Parallel Pin ISO 2338 - 3 h6 x 30 - St        | 1        |
| 12              | B18.22M - Plain washer, 3 mm, narrow          | 12       |
| 13              | B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS -- 16NHX     | 6        |
| 14              | retenedor tolva                               | 1        |
| 15              | B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 --D-N | 7        |
| 16              | ceramic cartridge 20W                         | 3        |
| 17              | B18.3.1M - 3 x 0.5 x 20 Hex SHCS -- 20NHX     | 3        |
| 18              | cinturon tolva                                | 1        |
| 19              | B18.22M - Plain washer, 1.6 mm, narrow        | 2        |
| 20              | B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 6 Hex SHCS -- 6NHX    | 2        |

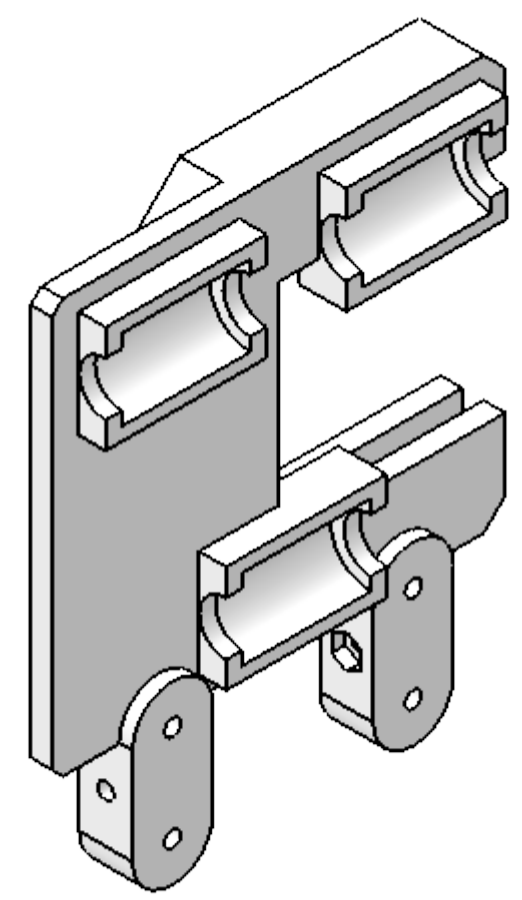
Dibujado: Ji Chen, Wenyan    Fecha: 21/05/17    Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate  
 Revisado: Jorba Peiró, Jordi    Fecha: 25/07/17    Plano: Ensamblaje extrusora  
 Observación:    Material:    Escala:    Proyección:    Formato:    Escala:    Proyección:    Plano 1/15

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
 BARCELONATECH  
 Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

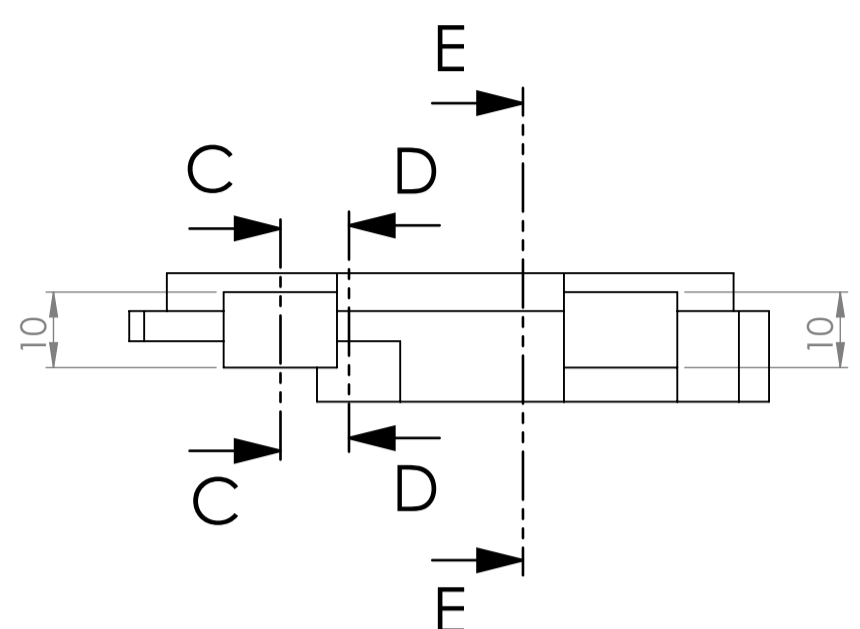
ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano

N10

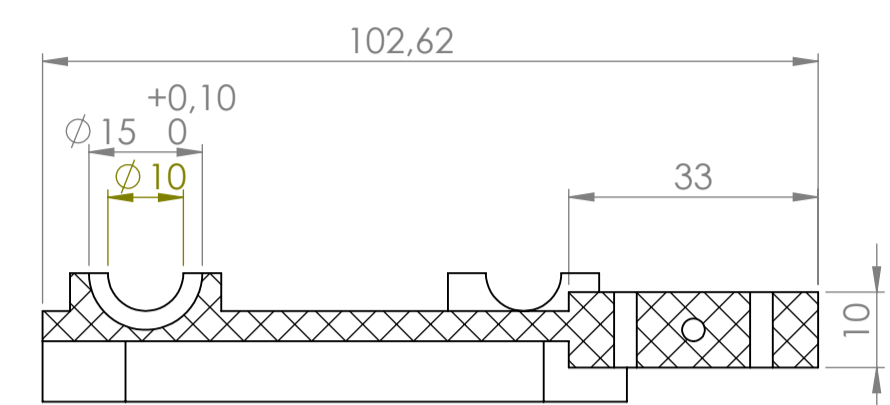
Tolerancias generales:  
cotas entre 0 y 30: ±0.10  
a partir de 30: ±0.25



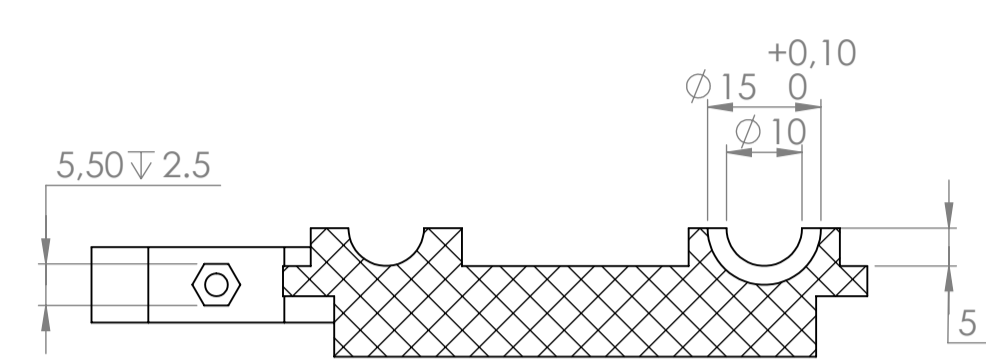
Vista isométrica



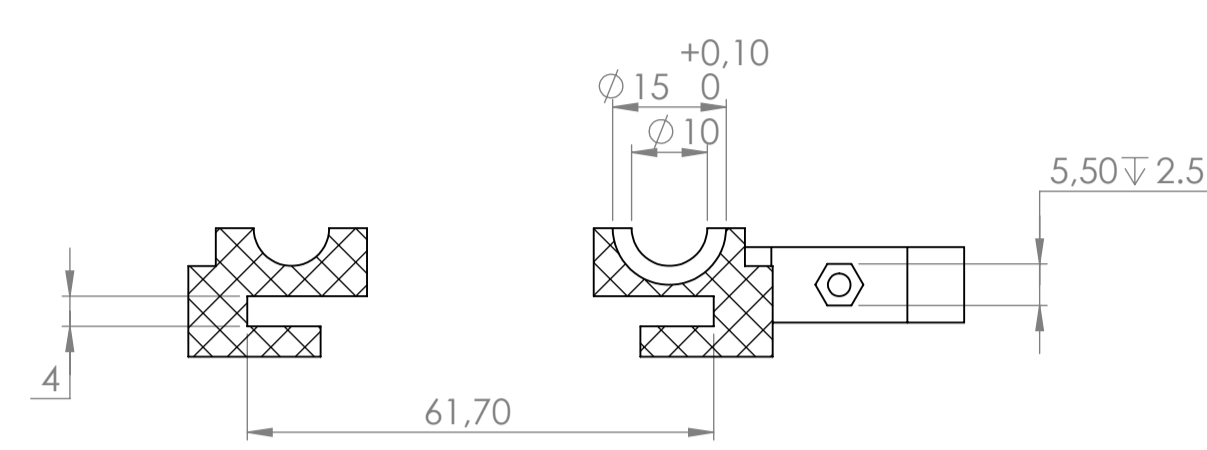
Vista inferior



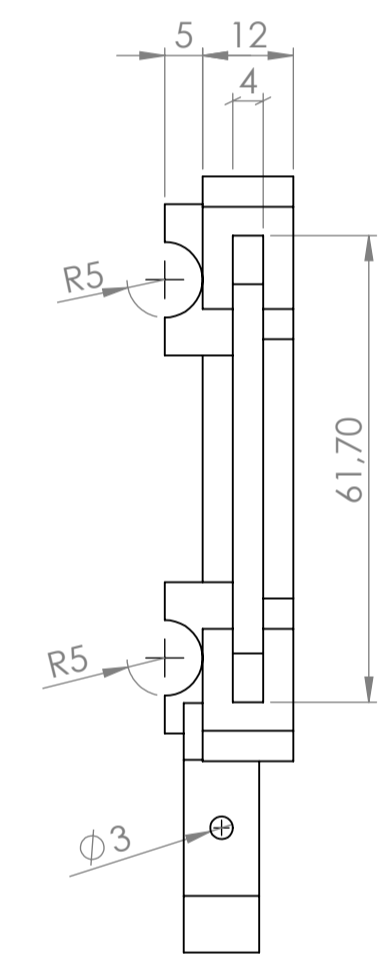
SECCIÓN C-C



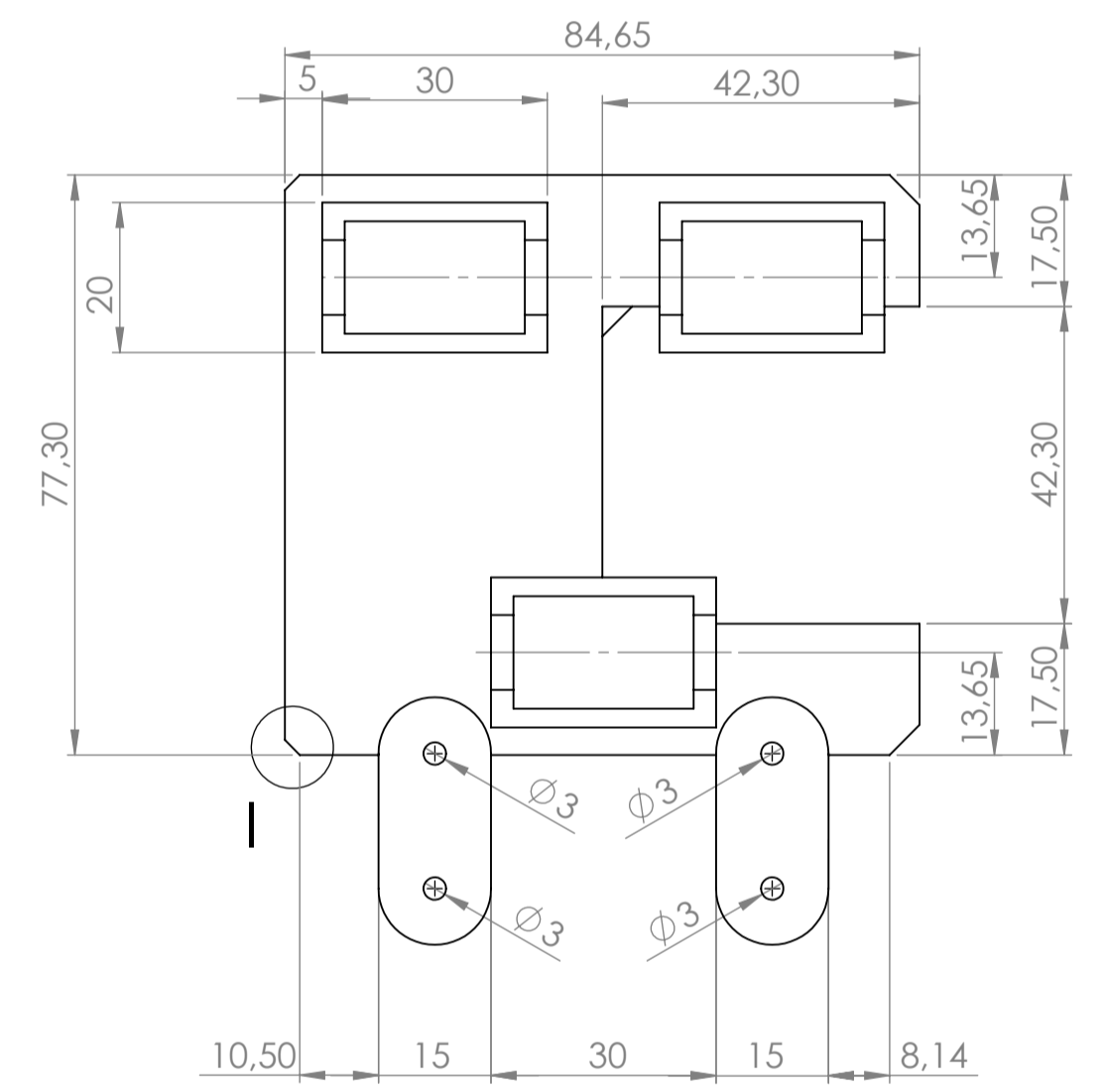
SECCIÓN D-D



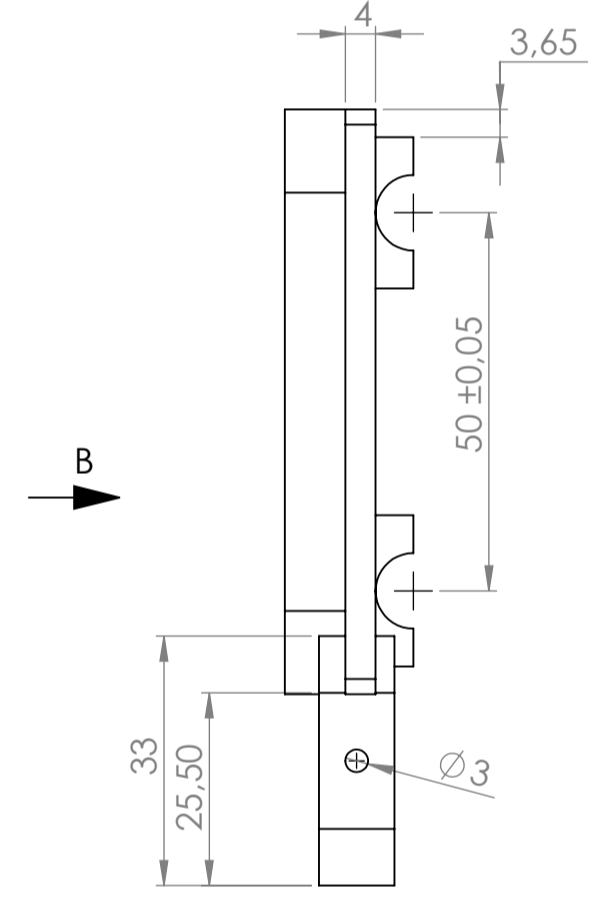
SECCIÓN E-E



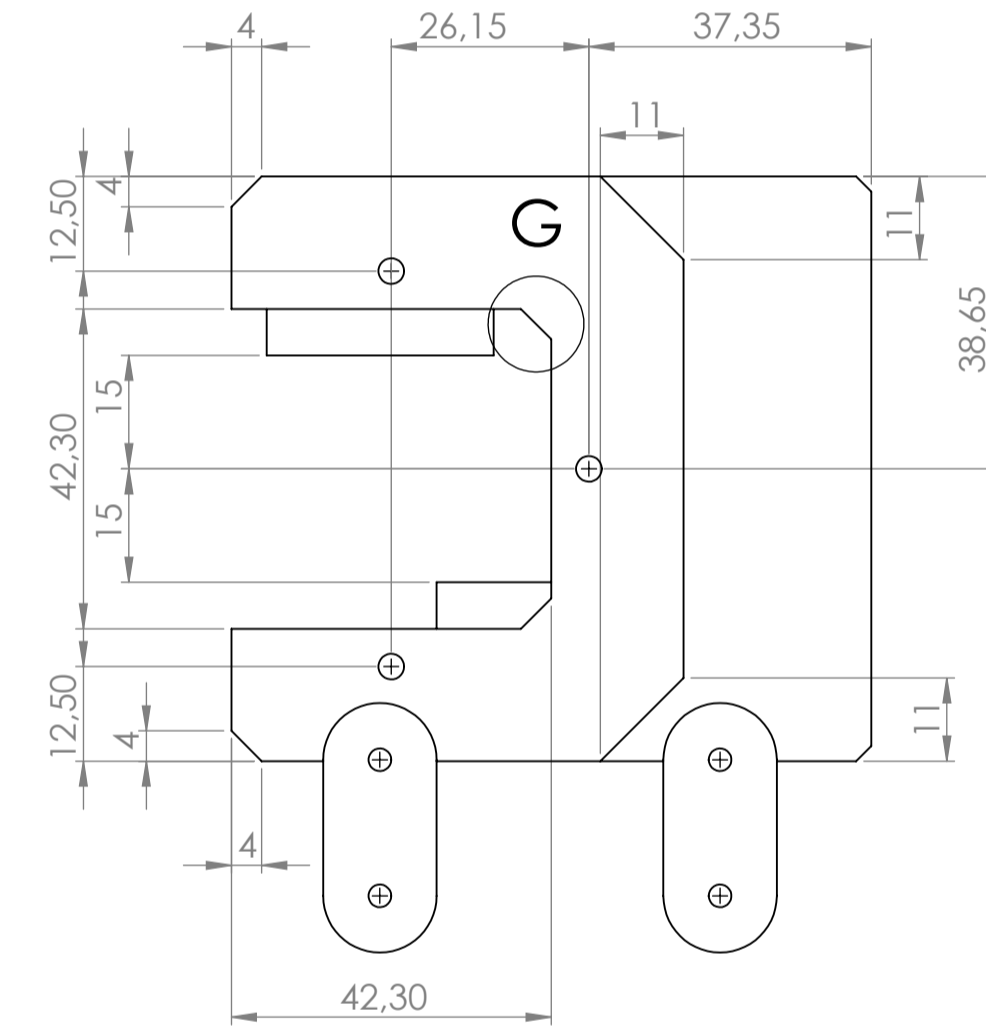
Vista derecha



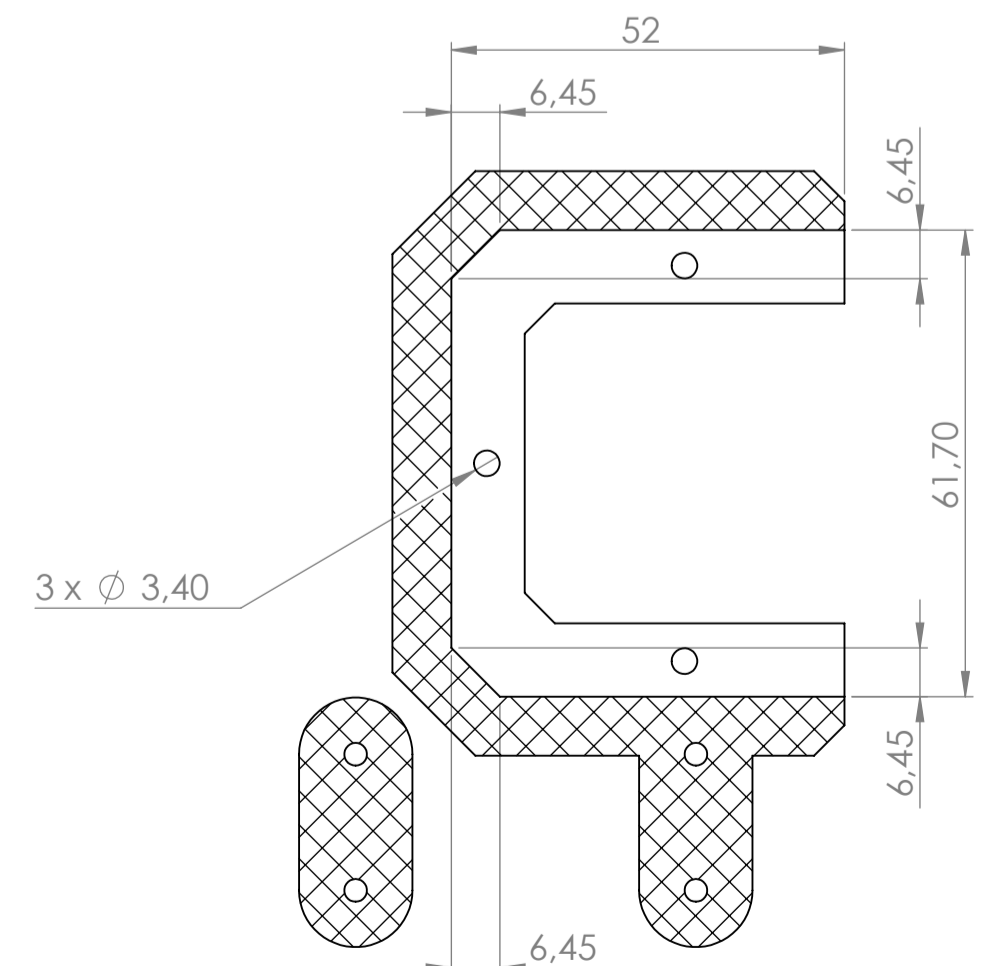
Vista frontal



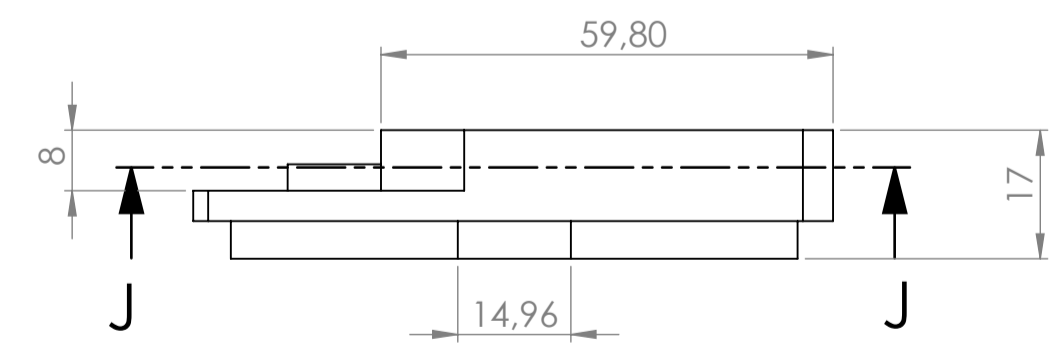
Vista izquierda



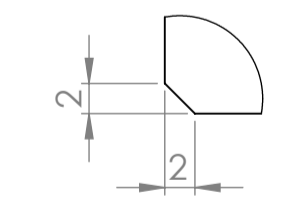
VISTA B



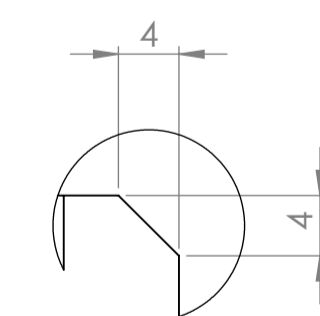
SECCIÓN J-J



Vista superior



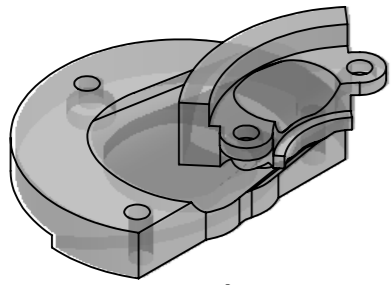
DETALLE I  
ESCALA 2:1



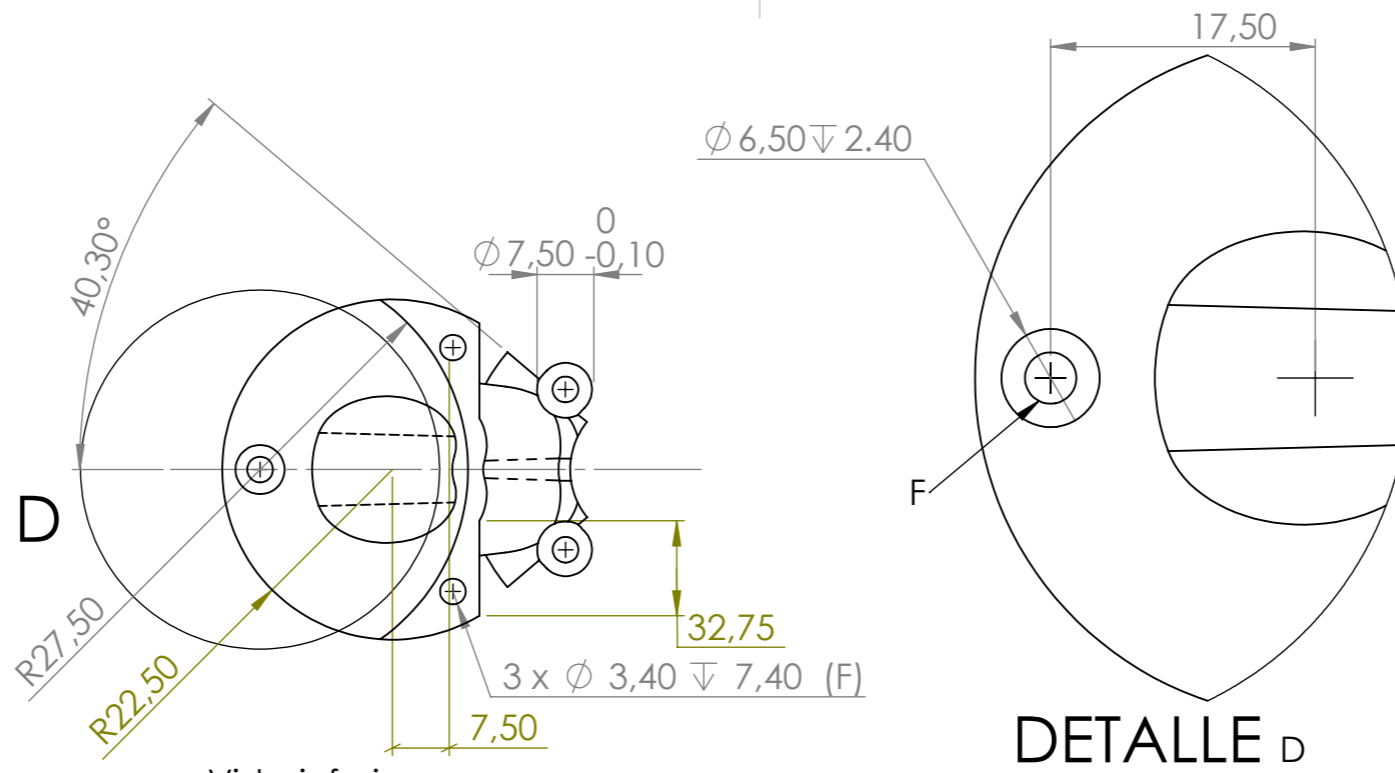
DETALLE G  
ESCALA 2:1

|                                 |                    |   |                 |                                    |                |
|---------------------------------|--------------------|---|-----------------|------------------------------------|----------------|
| Dibujado:<br>Ji Chen, Wenyan    | Fecha:<br>21/05/17 | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |                 |                                    |                |
| Revisado:<br>Jorba Peiró, Jordi | Fecha:<br>06/09/17 | Plano: Adaptador impresora Prusa i2 3D  |                 |                                    |                |
| Observación:<br>unidades en mm  |                    | Material: ABS   | Peso: 45,78 gr. | Formato:<br>DIN A1                 | Escala:<br>1:1 |
|                                 |                    | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                 | Proyección:<br>1 <sup>a</sup> Ang. | Plano 2/15     |

ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano



Vista isométrica

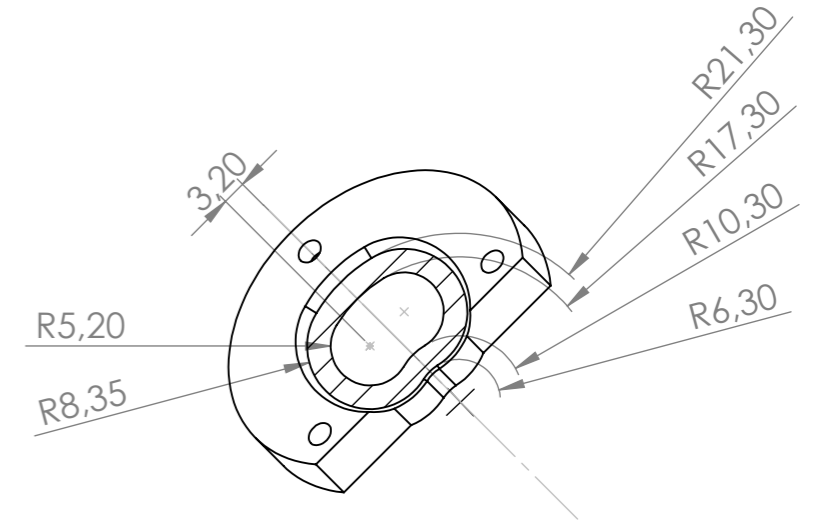


Vista inferior

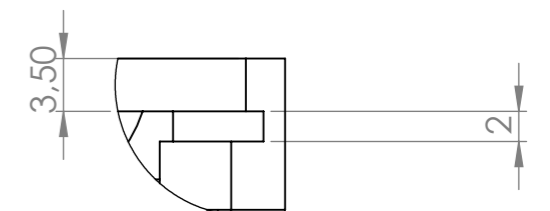
DETALLE D

N10

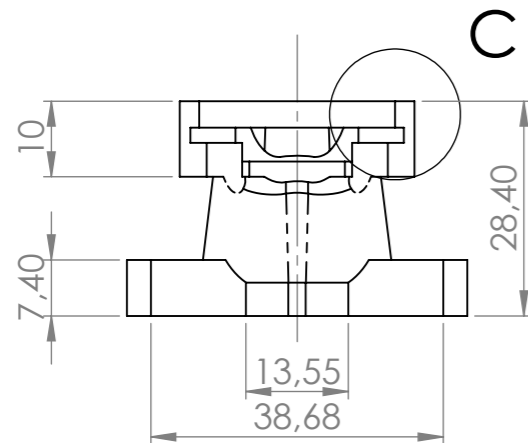
Tolerancias generales:  $\pm 0.25$



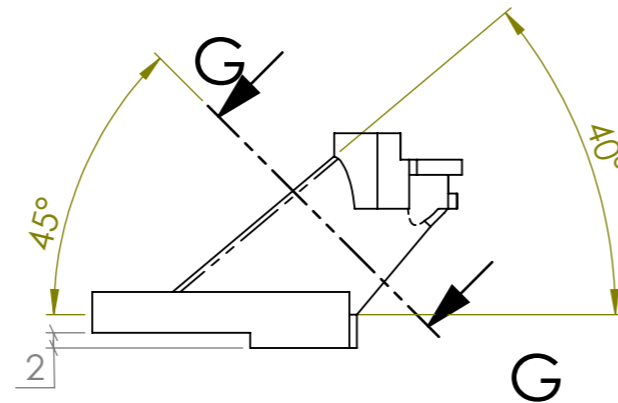
SECCIÓN G-G



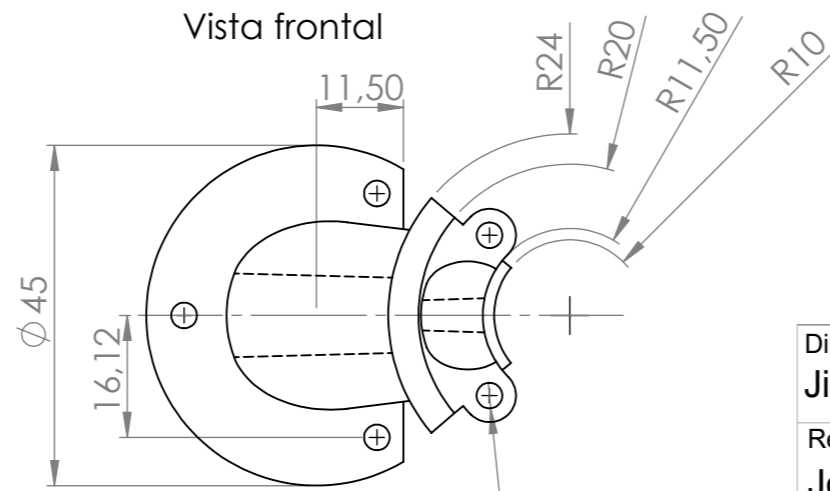
DETALLE C  
Escala 2:1



Vista derecha

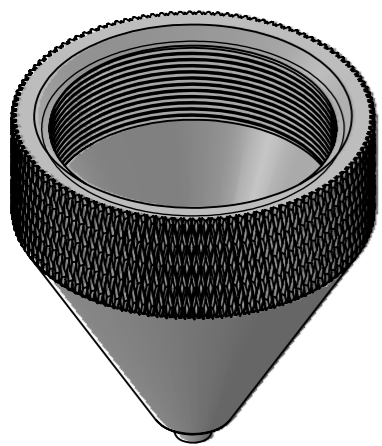


Vista frontal

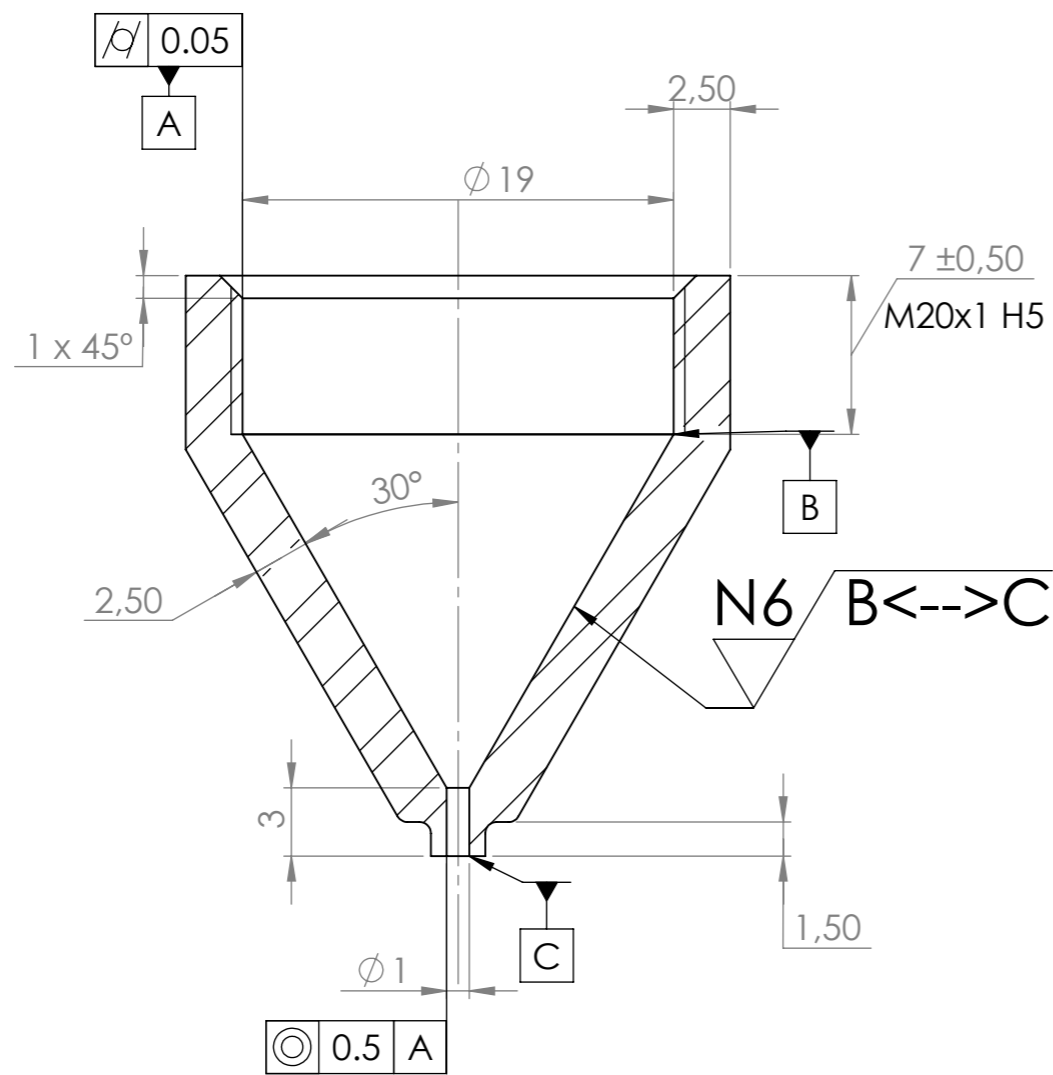


Vista superior

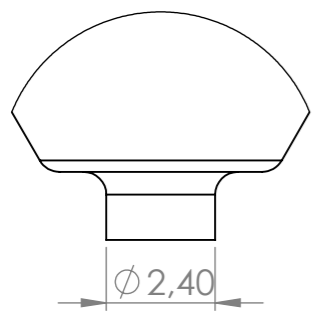
|  |                           |  |  |  |
|--|---------------------------|--|--|--|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate  |  |  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b> | Fecha:<br><b>25/07/17</b> | Plano: Acople tolva  |  | Peso: 13.14gr.   |
| Observación:<br><br>Unidades en mm     |                           | Material: Taulman T-Glase  | Formato:<br><b>DIN A3</b>  | Escala:<br><b>1:1</b>  |
|  |                           |  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  | Proyección:<br> |
|  |                           |  | ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano<br>Plano 3/15 |  |



Vista isométrica  
Escala 2:1



SECCIÓN A-A

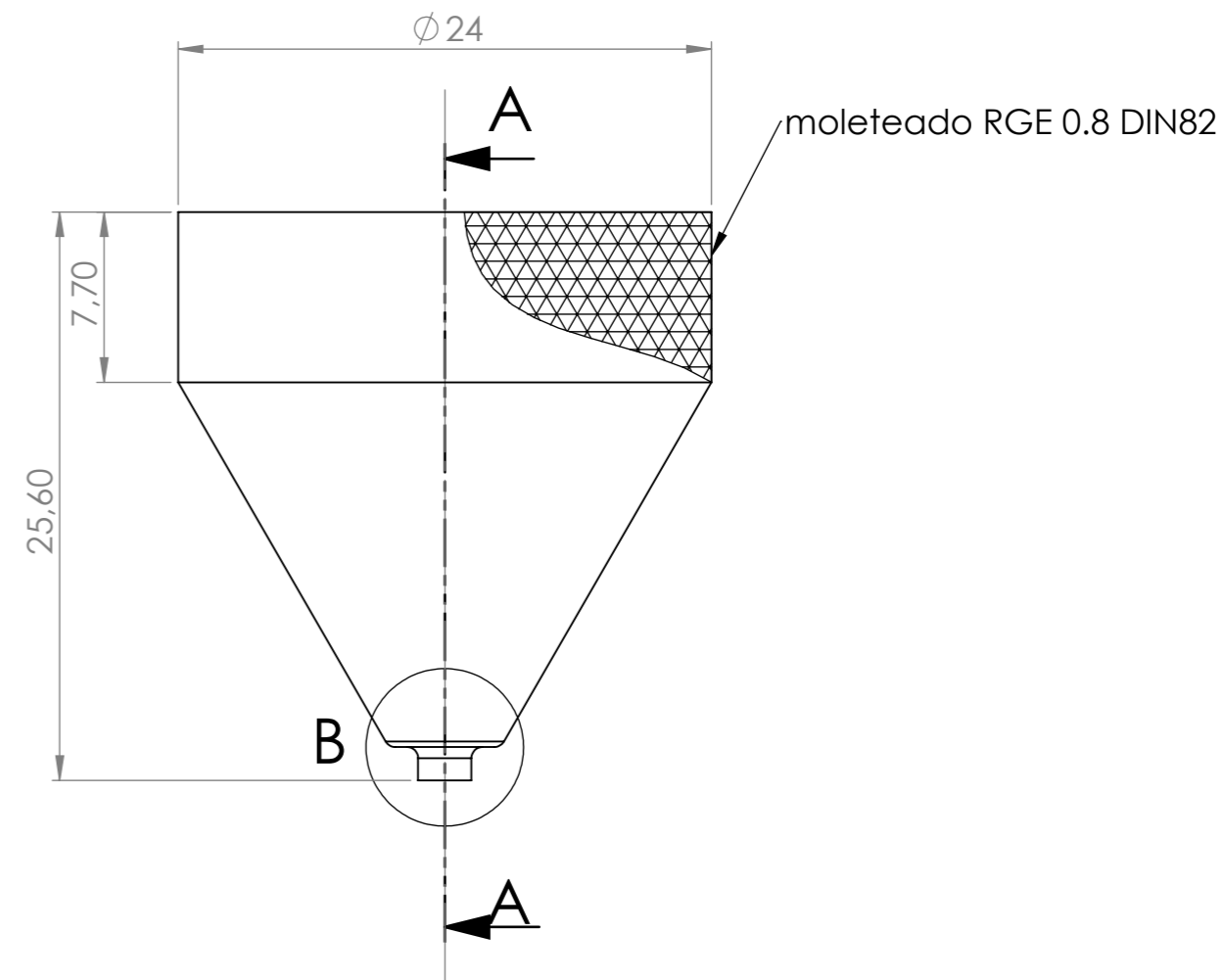


DETALLE B  
ESCALA 6:1

Nota: redondeos no especificados: r=0,5mm

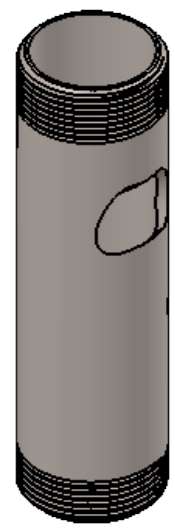
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

N10 / ( N6 B<-->C )  
Tolerancias generales: ± 0.25

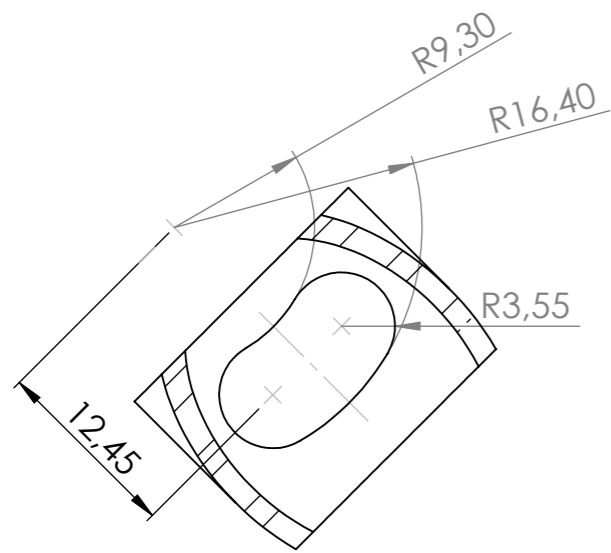


Vista frontal

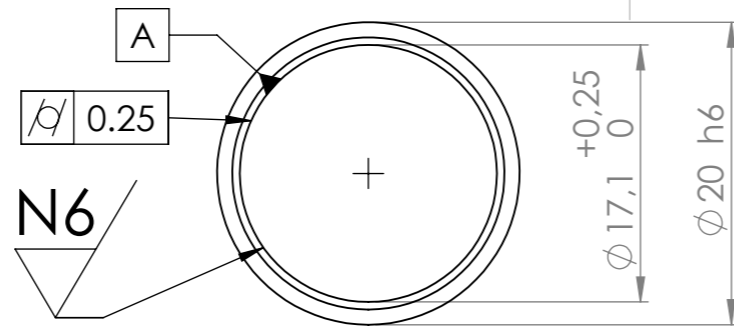
|  |                    |   |                    |                       |
|--|--------------------|---|--------------------|-----------------------|
| Dibujado:<br>Ji Chen, Wenyuan                                      | Fecha:<br>21/05/17 | Título del TFG: <b>Diseño de un extrusor para imprimir chocolate</b>                          |                    |                       |
| Revisado:<br>Jorba Peiró, Jordi                                    | Fecha:<br>25/07/17 | Plano: Boquilla   | Peso: 24.15gr.     |                       |
| Observación:<br>Unidades en mm                                     |                    | Material: AISI 316L Acero inoxidable  | Formato:<br>DIN A3 | Proyección:<br>       |
|  |                    | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                    | Escala:<br><b>3:1</b> |
| ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                    |   |                    | Plano 4/15            |



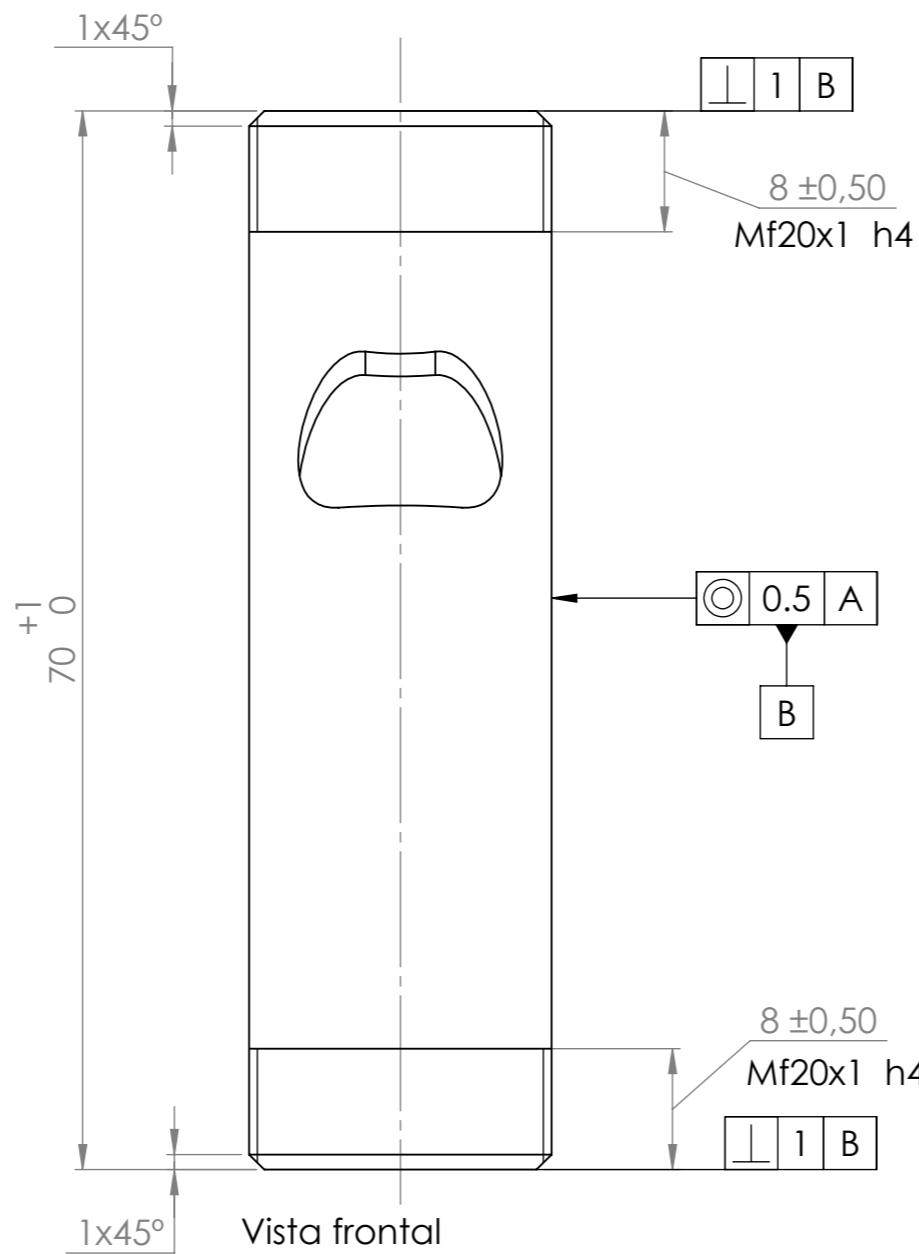
Vista isométrica  
escala 1:1



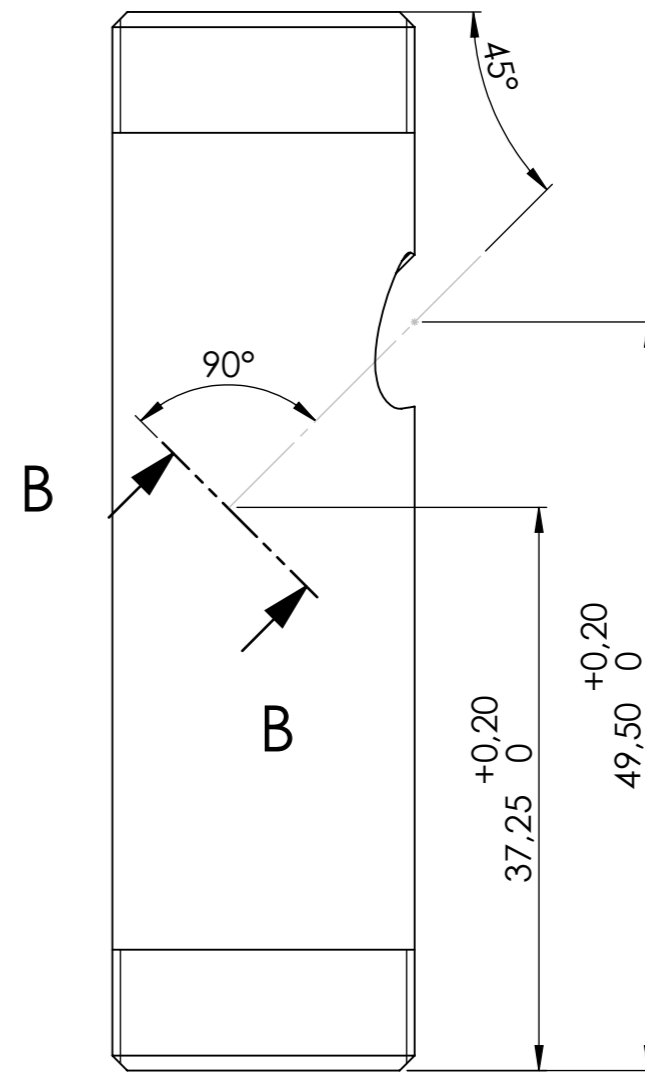
SECCIÓN B-B



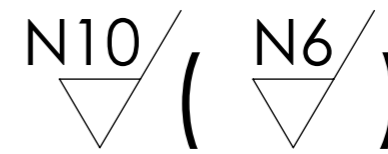
Vista superior



Vista frontal

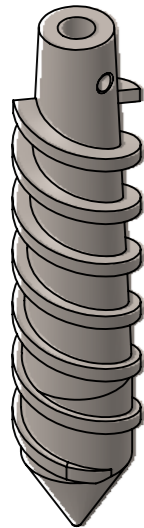


Vista izquierda

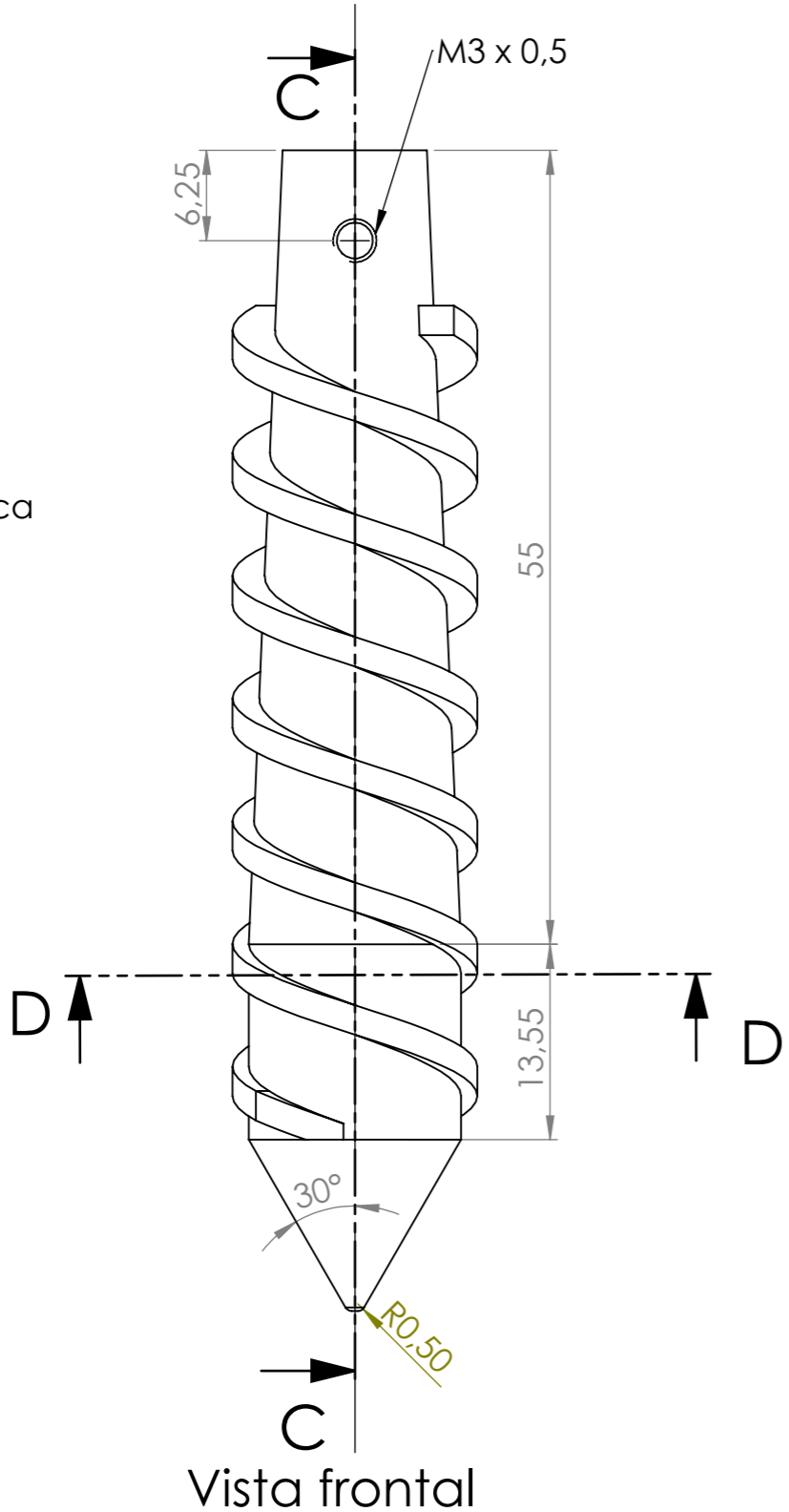


Tolerancias generales:  $\pm 0.25$

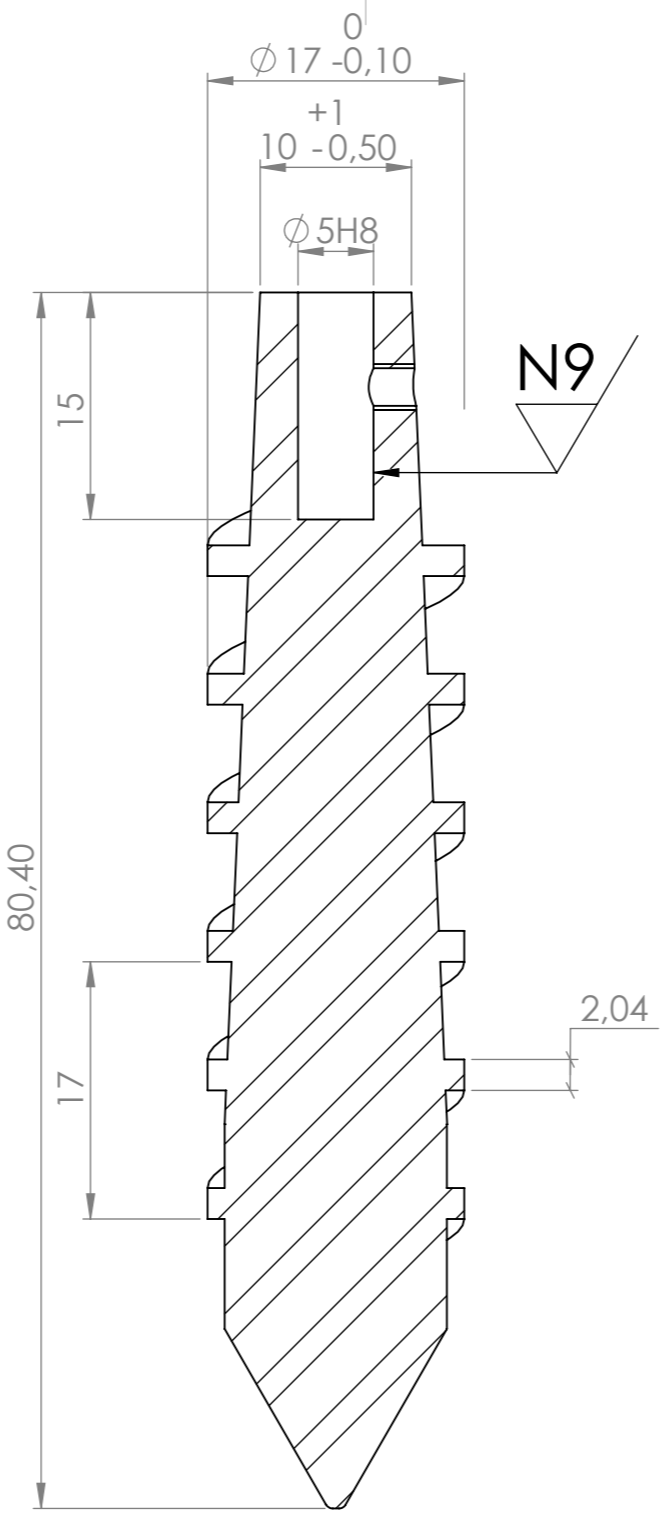
|  |                           |  |                           |  |
|--|---------------------------|--|---------------------------|--|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>                               | Fecha:<br><b>23/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate  |                           |  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                             | Fecha:<br><b>23/05/17</b> | Plano: Cilindro extrusor   |                           |  |
| Observación:<br>Unidades en mm                                     |                           | Material: AISI 316L Acero inoxidable   | Peso: 46.90gr.            |  |
|  |                           | <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Escala:<br><b>2:1</b><br>Proyección:<br> |
| ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |  |                           | Plano 5/15                               |



Vista isométrica  
Escala 1:1



Vista frontal

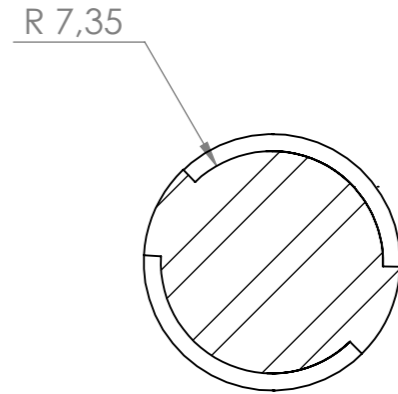


SECCIÓN C-C

N6 / ( N9 )

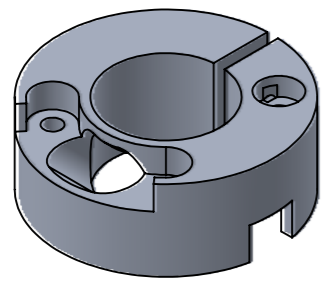
Tolerancias generales: ± 0.25

Nota: El husillo es un tornillo sinfín de 2 entradas con un paso de 17mm.

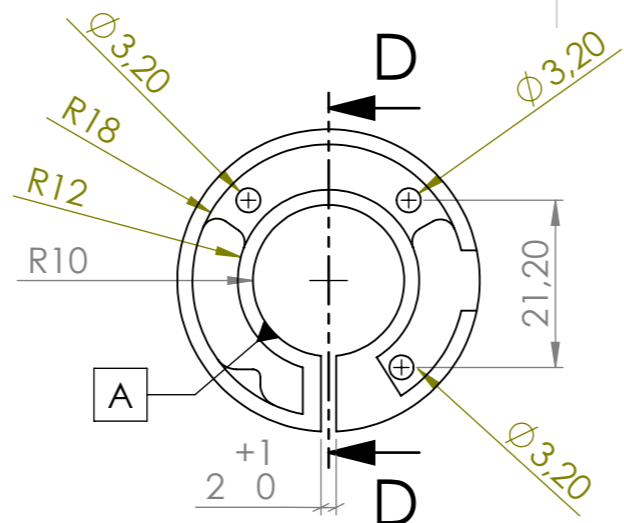


SECCIÓN D-D

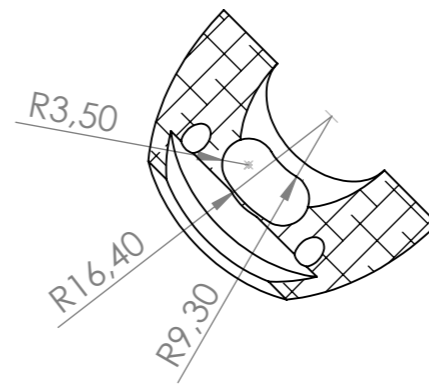
|  |                           |   |                        |                                   |
|--|---------------------------|---|------------------------|-----------------------------------|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>                               | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate   |                        |                                   |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                             | Fecha:<br><b>23/05/17</b> | Plano: <b>Husillo</b>   |                        |                                   |
| Observación:<br>Unidades en mm                                     |                           | Material: <b>AISI 316L Acero inoxidable</b>   | Peso: <b>84.53gr.</b>  |                                   |
|  |                           | <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato: <b>DIN A3</b> | Escala: <b>2:1</b><br>Proyección: |
| ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |   |                        | Plano 6/15                        |



Vista isométrica



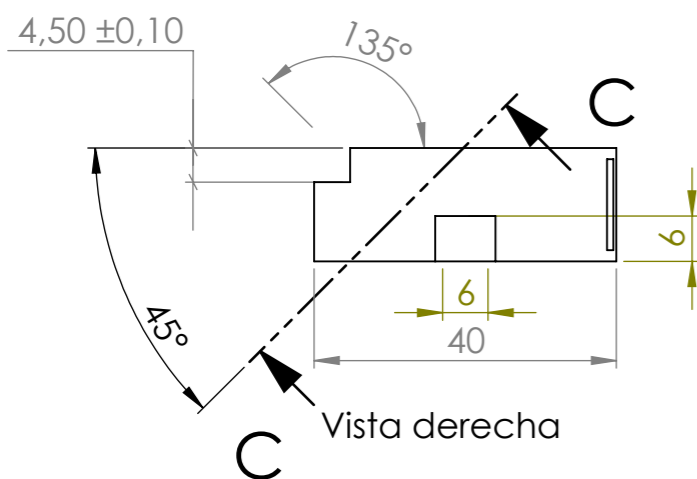
Vista inferior



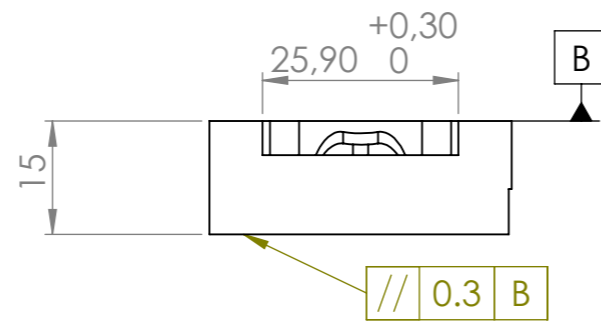
SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 : 1

N10

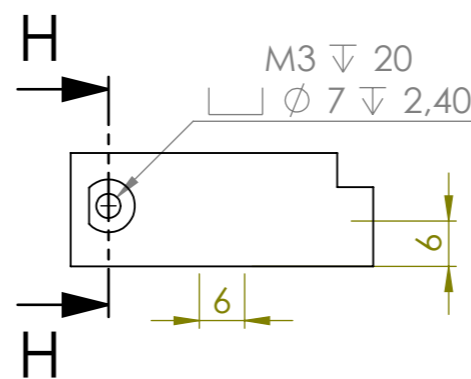
Tolerancias generales: ± 0,25



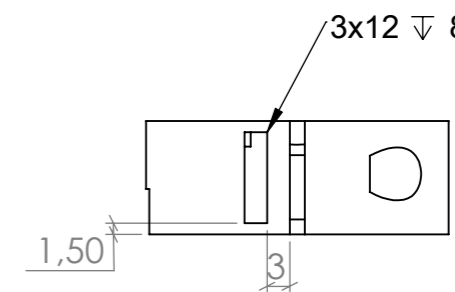
Vista derecha



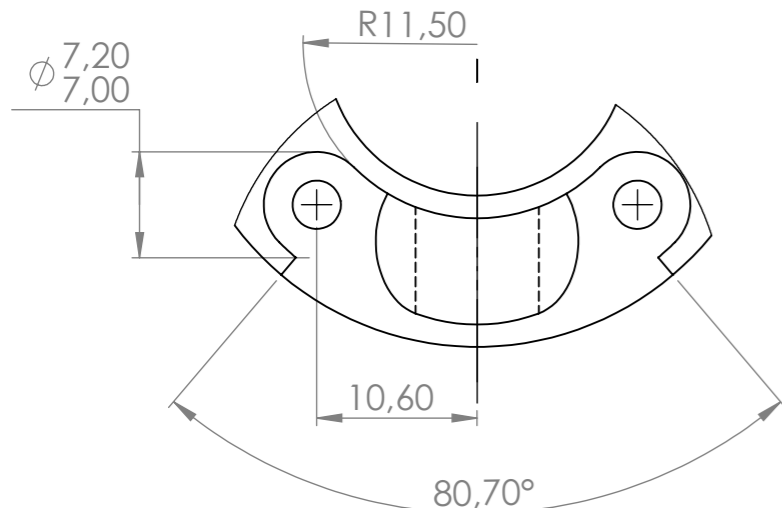
Vista frontal



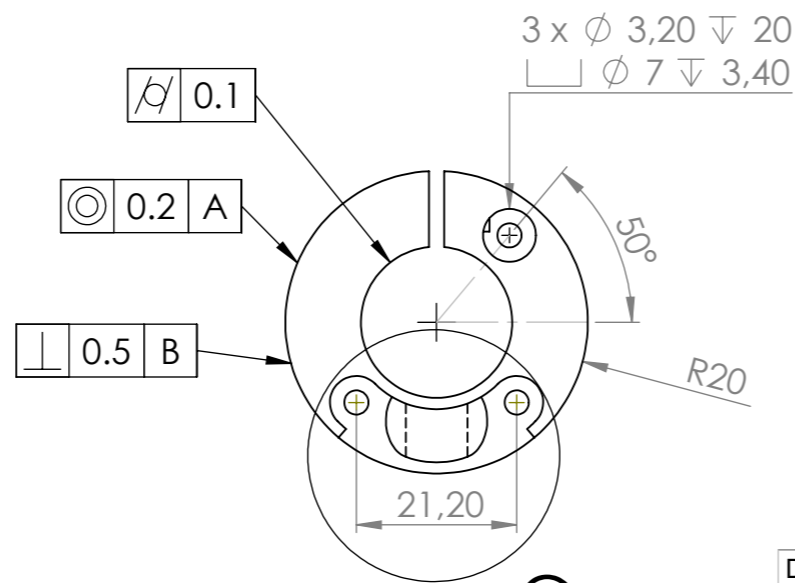
Vista izquierda



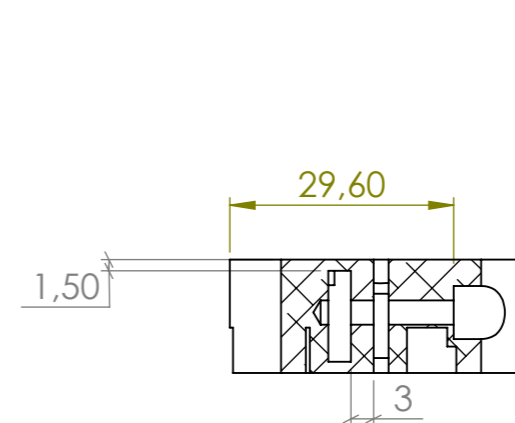
Vista trasera



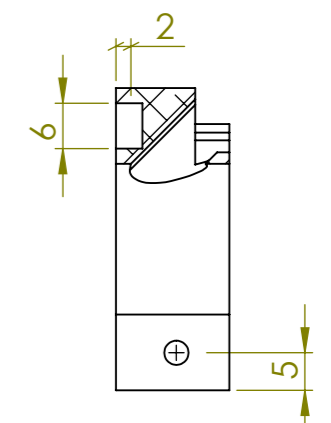
DETALLE G  
Escala 2:1



Vista superior



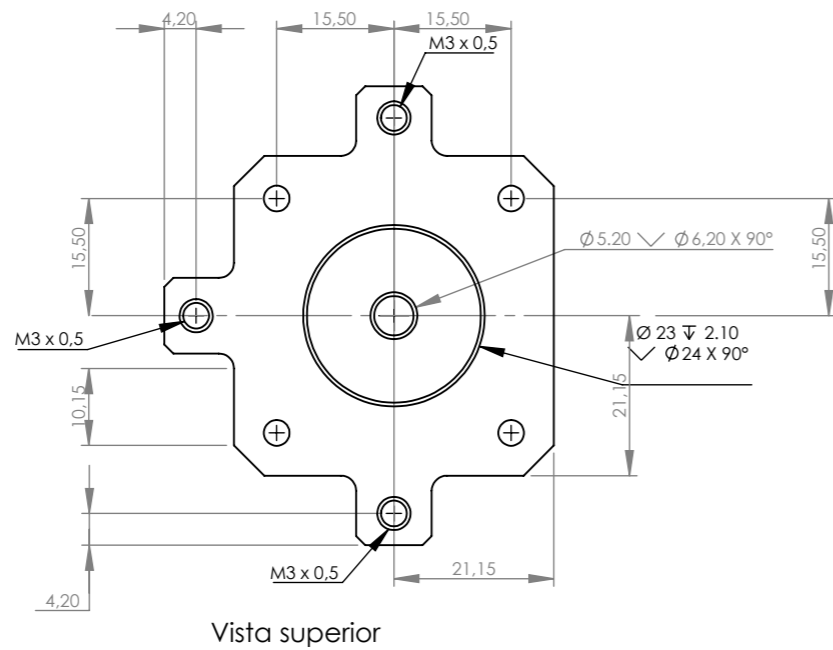
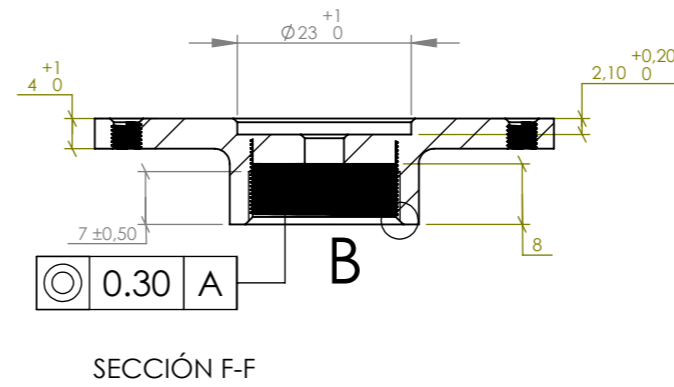
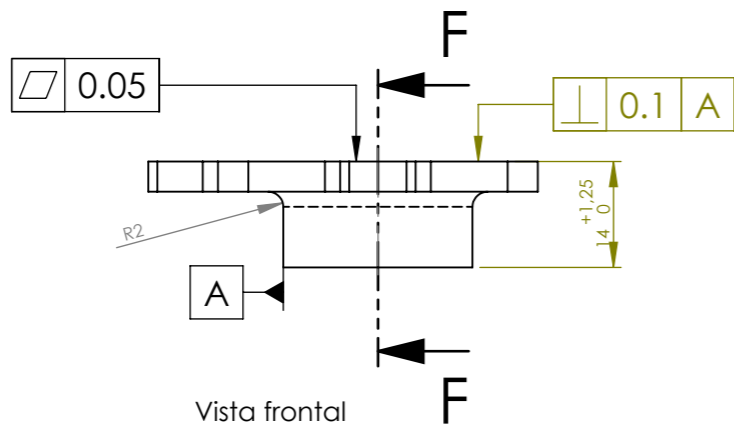
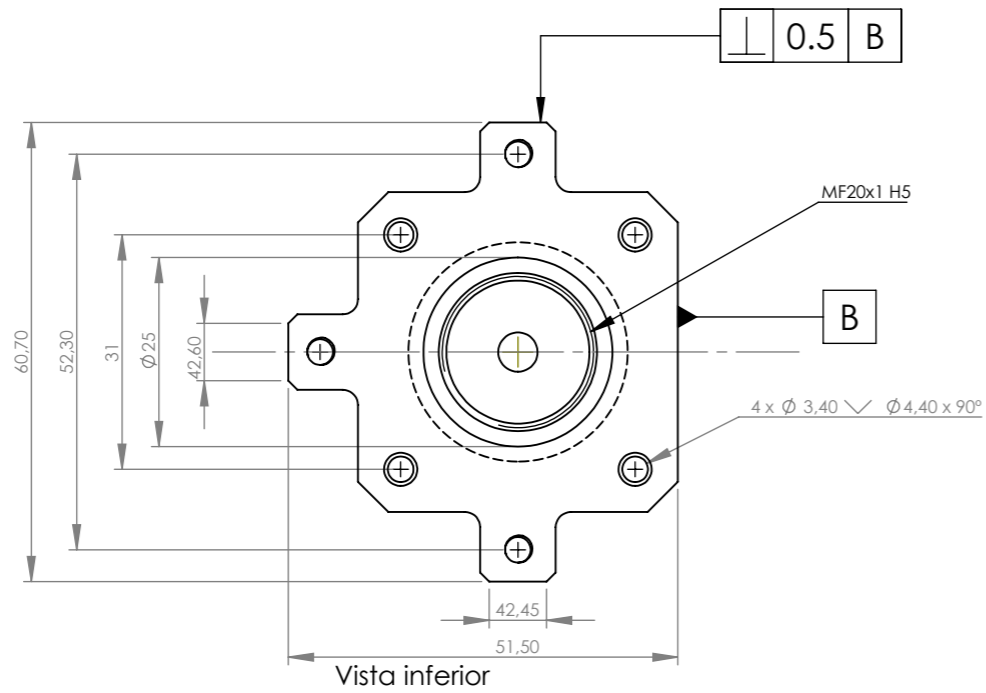
SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 1

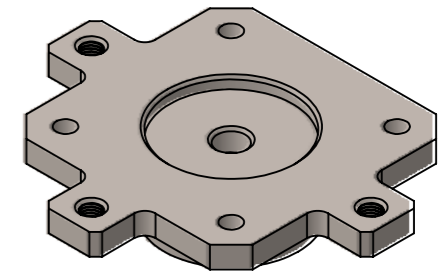
|  |                           |   |                           |                       |
|--|---------------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |                           |                       |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b> | Fecha:<br><b>25/07/17</b> | Plano: Tapa bloque calefactor   |                           |                       |
| Observación:<br>Unidades en mm         |                           | Material: EN AW 6082-T6   | Peso: 24.05gr.            |                       |
|  |                           | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Escala:<br><b>1:1</b> |
|  |                           | <b>ATENCIÓN:</b> no deducir cotas por medio de medición directa del plano                     |                           | Proyección:<br>       |
|  |                           |   |                           | Plano 7/15            |



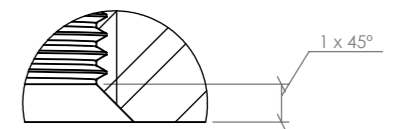


N10

Tolerancias generales  
Cotas de 0 a 30mm : ±0.1  
a partir de 30mm : ±0.25

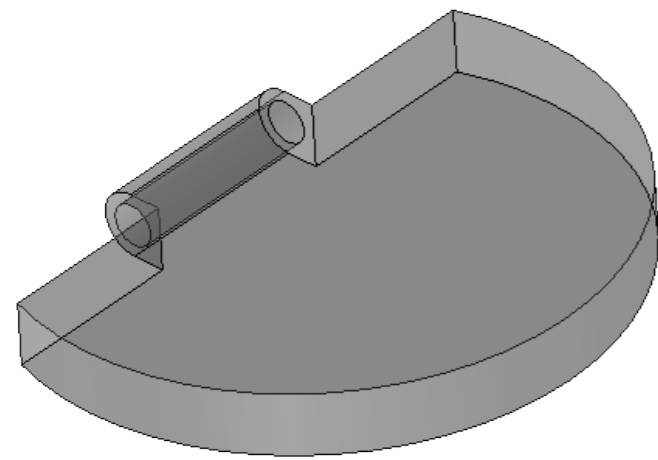


Vista isométrica

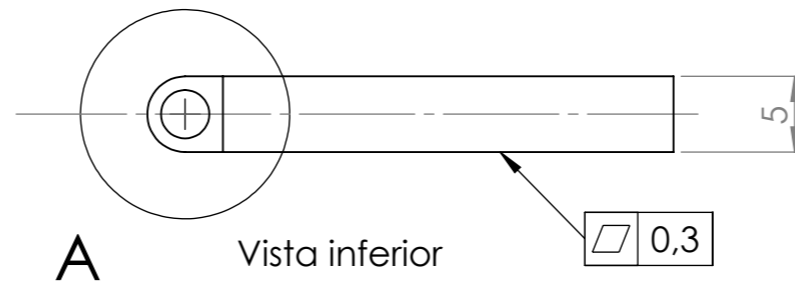


DETALLE B  
ESCALA 5 : 1

|  |                           |   |                           |                                  |
|--|---------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |                           |                                  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b> | Fecha:<br><b>30/05/17</b> | Plano: Tapa superior  |                           |                                  |
| Observación: Unidades en mm            |                           | Material: AISI 316L Acero inoxidable  | Peso: 76.46gr.            |                                  |
|  |                           | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Escala:<br><b>1:1</b>            |
|  |                           | ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano                            |                           | Proyección:<br><b>Plano 8/15</b> |



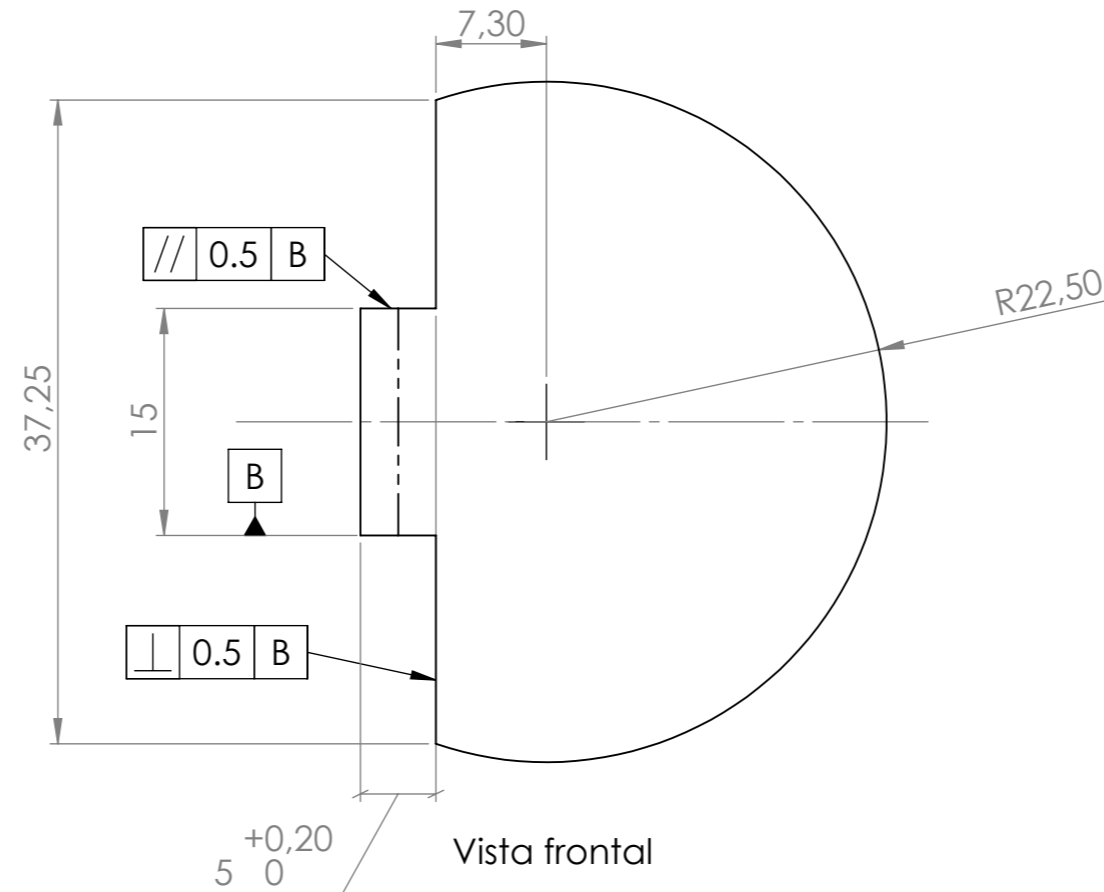
Vista isométrica



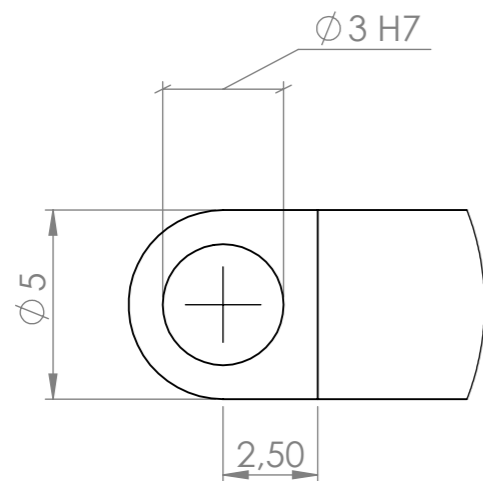
A Vista inferior

N10

Tolerancias generales:  
 cotas de 0 a 30mm:  $\pm 0.1$   
 a partir de 30 mm:  $\pm 0.25$



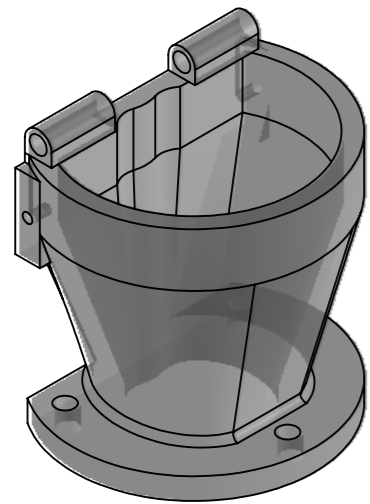
Vista frontal



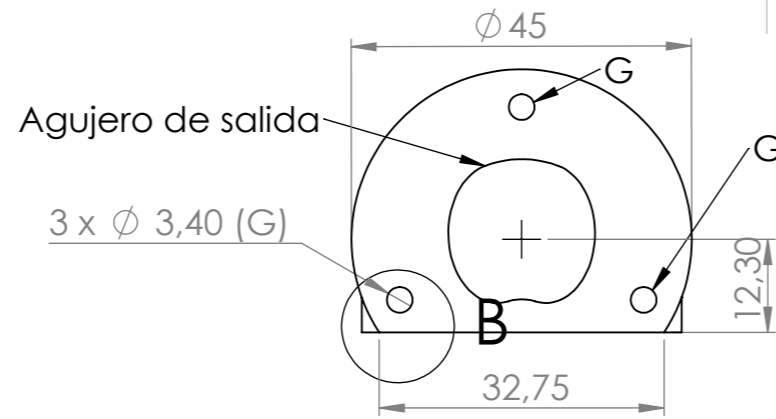
DETALLE A

ESCALA 5:1

|  |                           |   |  |  |
|--|---------------------------|---|--|--|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |  |  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b> | Fecha:<br><b>25/05/17</b> | Plano: Tapa tolva   |  |  |
| Observación:<br><br>Unidades en mm     |                           | Material: Taulman T-Glase   | Peso: 7.37gr.  |  |
|  |                           | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:<br><b>DIN A3</b>  | Escala:<br><b>2:1</b><br><br>Proyección:<br> |
|  |                           |   | ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano | Plano 9/15                                   |



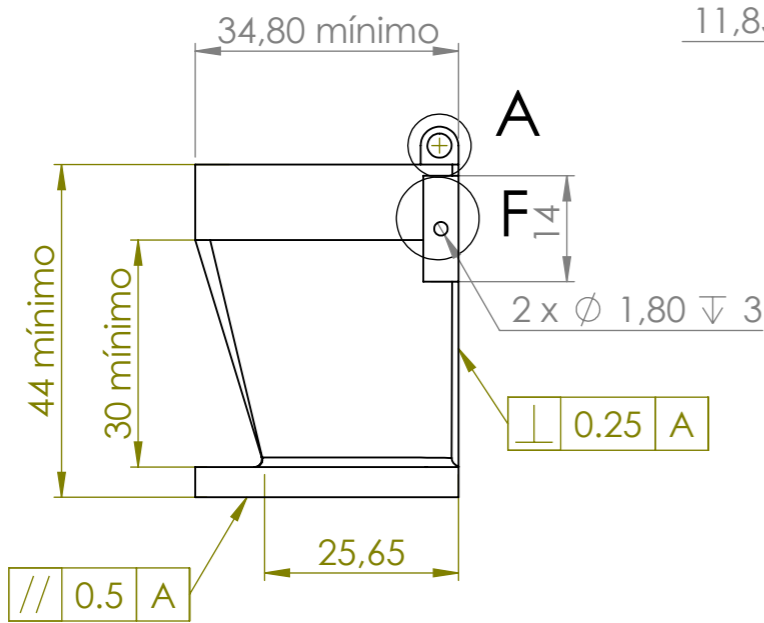
Vista isométrica



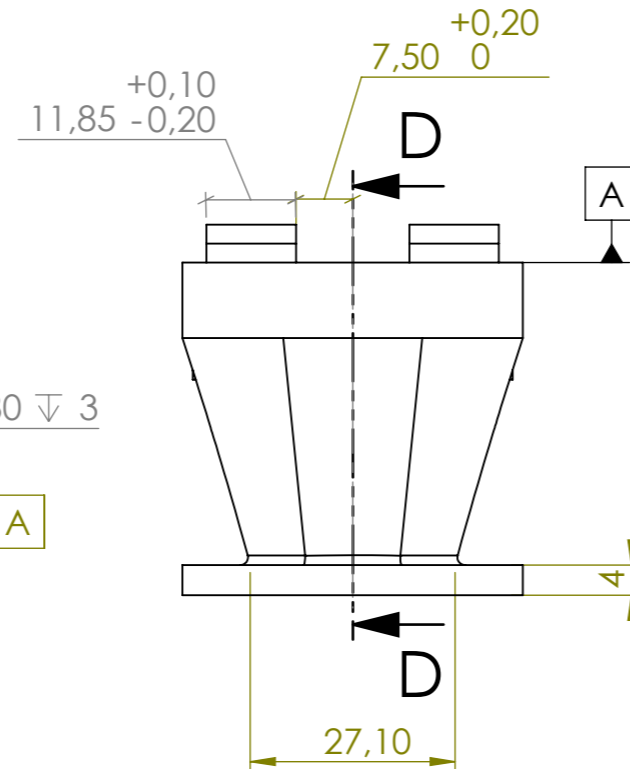
Vista inferior

N10 / ( N7 / B<-->C )

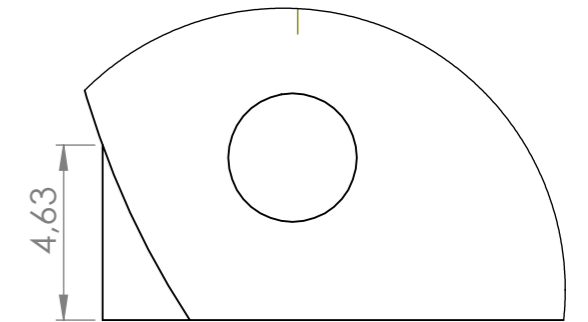
Tolerancias generales: ±0,25



Vista izquierda

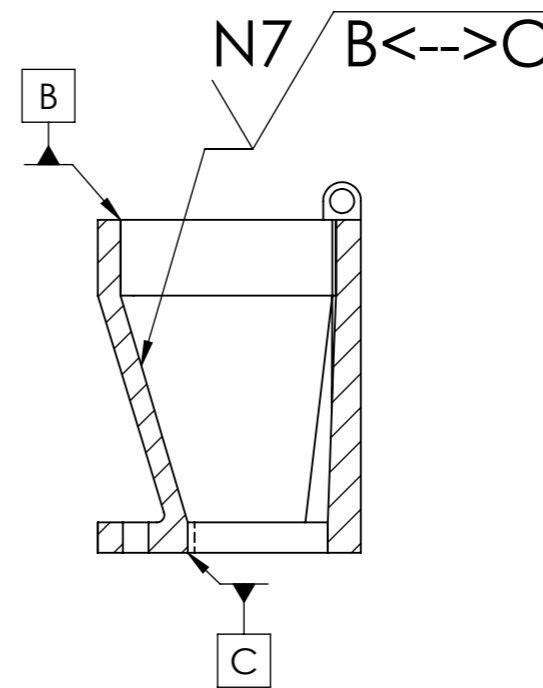


Vista frontal

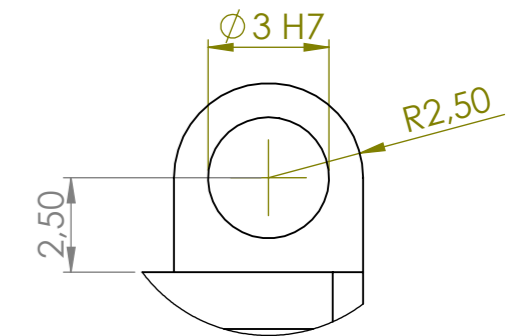


DETALLE B

ESCALA 5 : 1

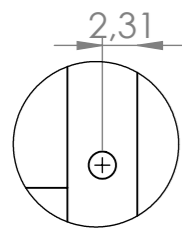


SECCIÓN D-D



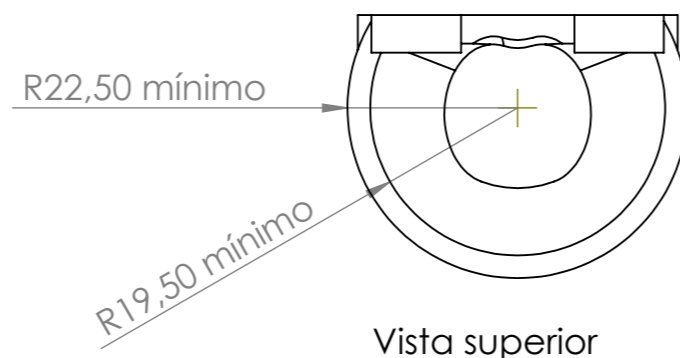
DETALLE A

ESCALA 5 : 1



DETALLE F

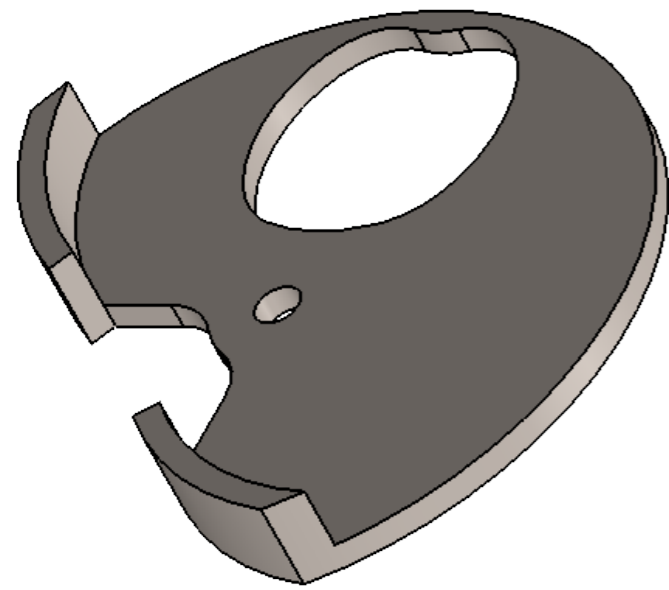
ESCALA 2 : 1



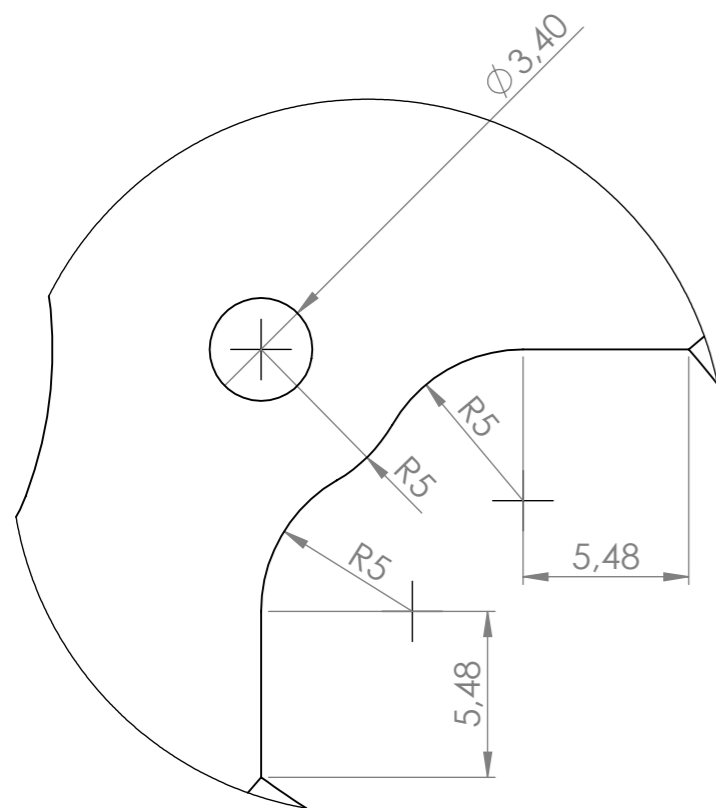
Vista superior

Nota: Espesor de pared: 3mm  
Agujero de salida acotada en el plano nº3.

|  |                           |   |                           |                       |
|--|---------------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>                               | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |                           |                       |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                             | Fecha:<br><b>25/05/17</b> | Plano: Tolva  | Peso: 23.68gr.            |                       |
| Observación:<br>Unidades en mm                                     |                           | Material: Taulman T-Glase   | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Proyección:<br>       |
|  |                           | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                           | ESCALA:<br><b>1:1</b> |
| ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |   |                           | Plano 10/15           |

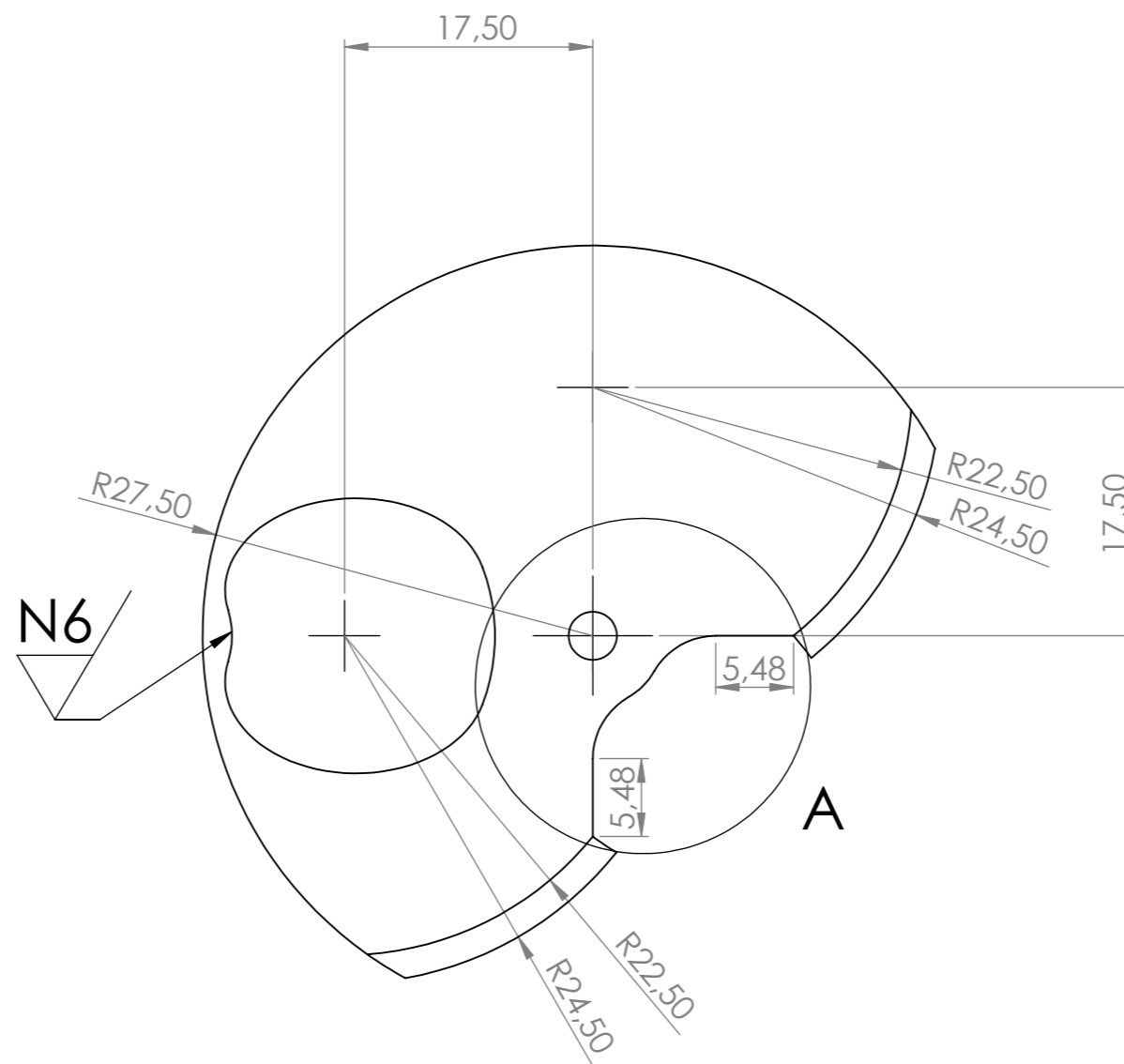


Vista Isométrica

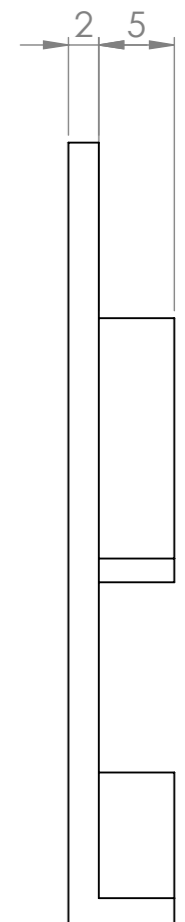


DETALLE A

ESCALA 4 : 1



Vista frontal



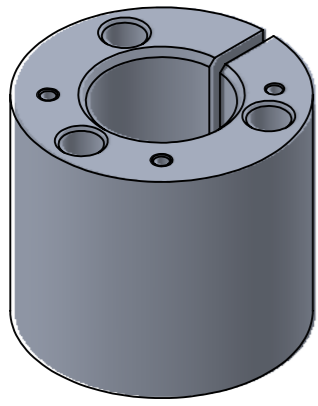
Vista izquierda

N10 / ( N6 / )

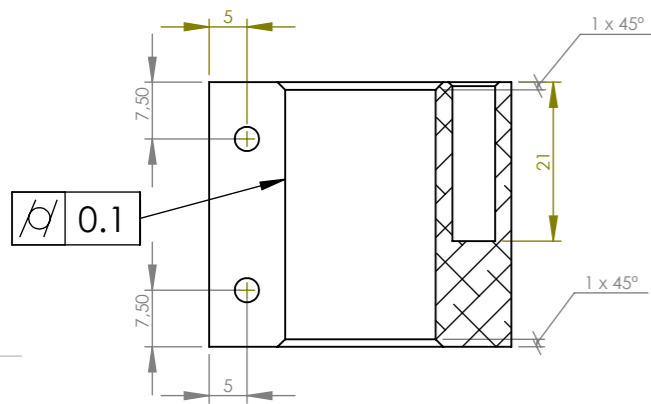
Tolerancias generales:  $\pm 0.25$

Nota: Agujero forma acotada en el plano nº3

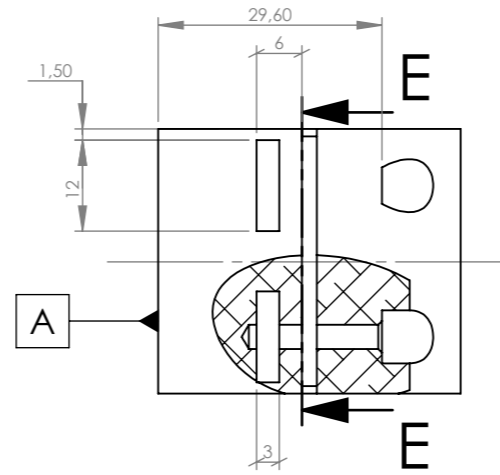
|   |                           |  |                           |  |
|---|---------------------------|--|---------------------------|--|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>                                      | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate  |                           |  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                                    | Fecha:<br><b>25/07/17</b> | Plano: Retenedor tolva   |                           | Peso: <b>24,80gr.</b>  |
| Observación:<br><br>unidades en mm  |                           | Material: AISI 316L Acero Inoxidable   | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Escola:<br><b>2:1</b>  |
|   |                           |  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                           | Proyección:<br><br><b>Plano 11/15</b> |
| <b>ATENCIÓN:</b> no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |  |                           |  |



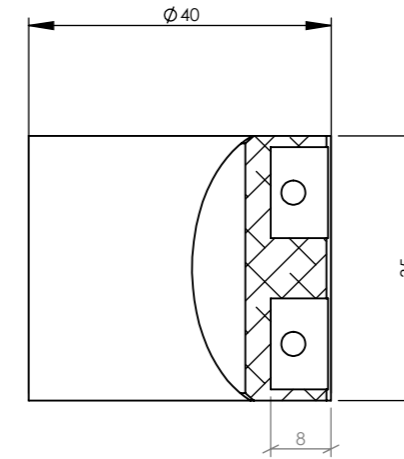
Vista isométrica



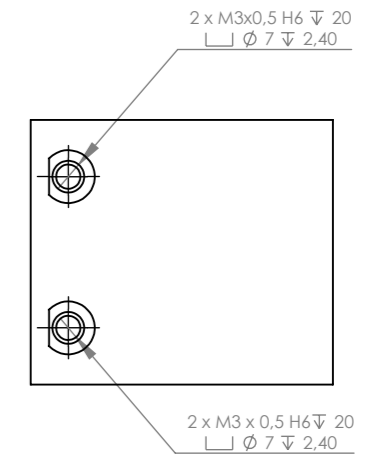
SECCIÓN E-E



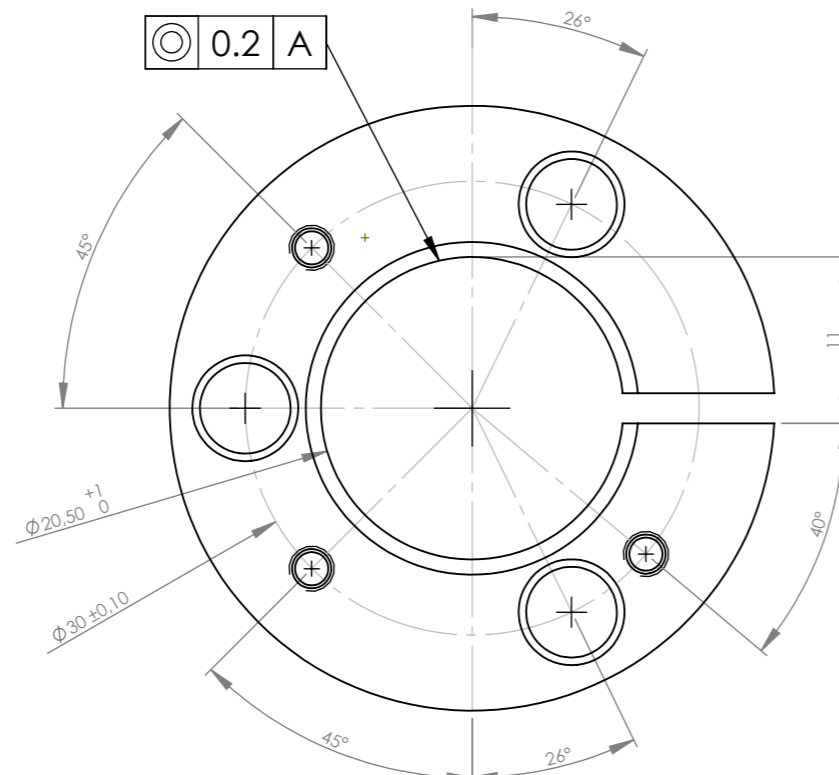
Vista derecha



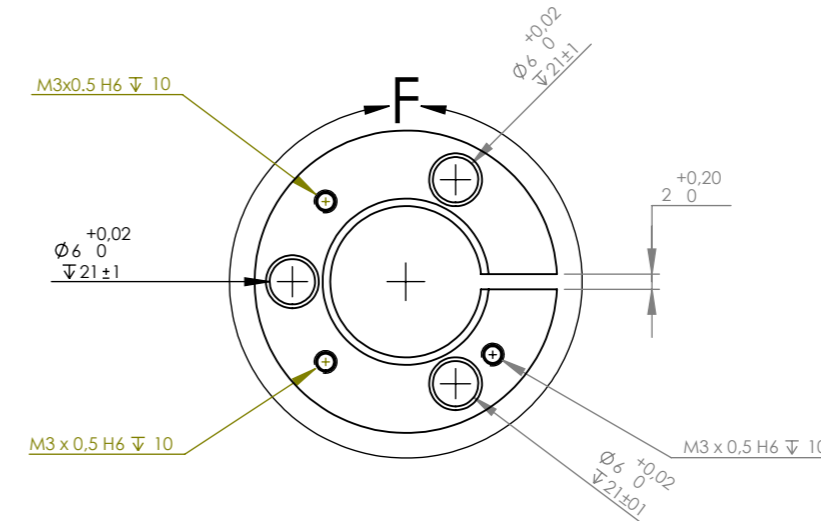
Vista frontal



Vista trasera



DETALLE F  
ESCALA 2 : 1

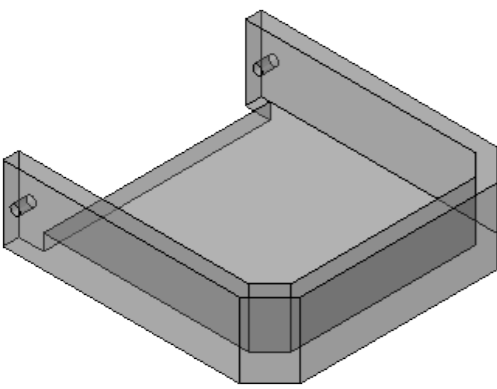


Vista superior

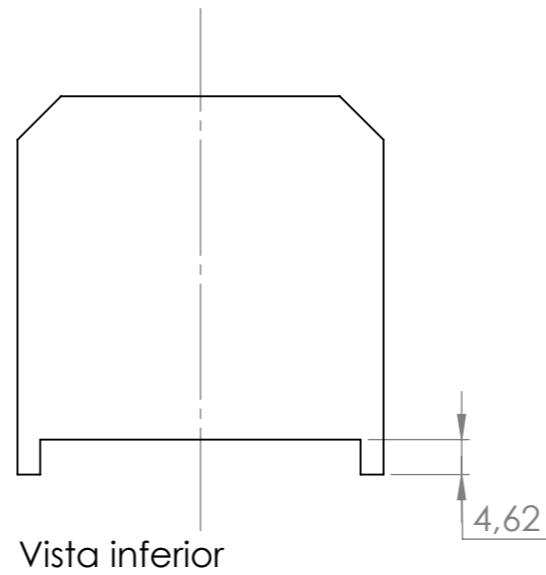
N10  
Tolerancias generales:  $\pm 0.25$

Nota: Los taladros llevan un chaflán de  $0,5 \times 45^\circ$  a no ser que indiquen lo contrario

|  |                           |   |                           |                       |
|--|---------------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate |                           |                       |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>   | Fecha:<br><b>25/07/17</b> | Plano: Bloque calefactor                                      |                           | Peso: <b>79.33gr.</b> |
| Observación:<br>Unidades en mm   |                           | Material: <b>EN AW 6082-T6</b>                                | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Proyección:<br>       |
|  |                           | Escala:<br><b>1:1</b>   |                           | Plano 12/15           |
| <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH<br/>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</p> <p>ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano</p> |                           |   |                           |                       |



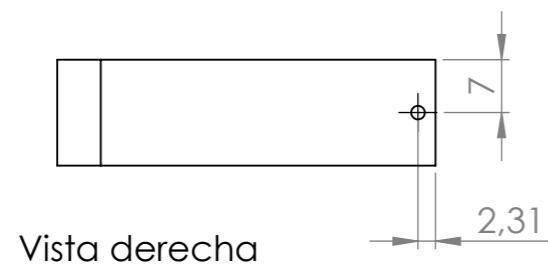
Vista isométrica



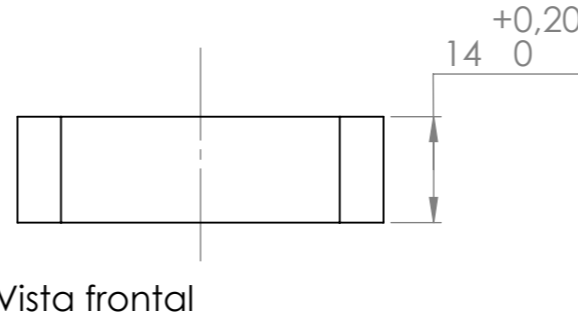
Vista inferior

N10

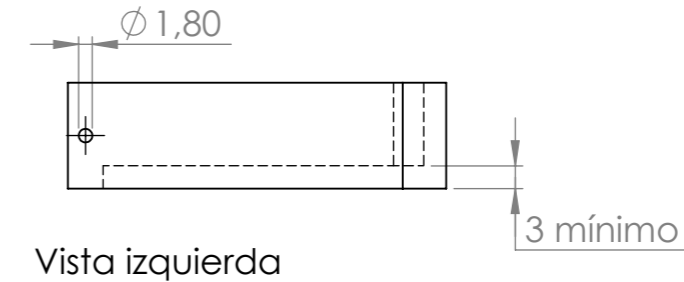
**Tolerancias generales**  
 cotas desde 0 a 30:  $\pm 0.05$   
 a partir de 30:  $\pm 0.10$



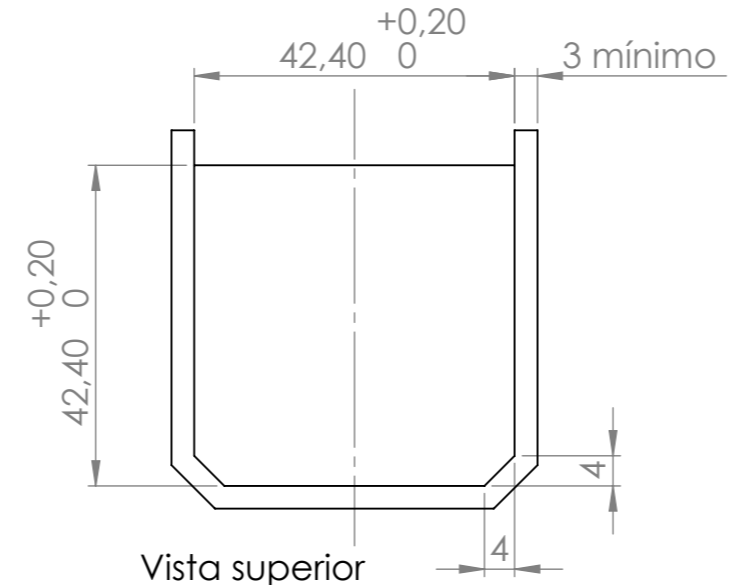
Vista derecha



Vista frontal

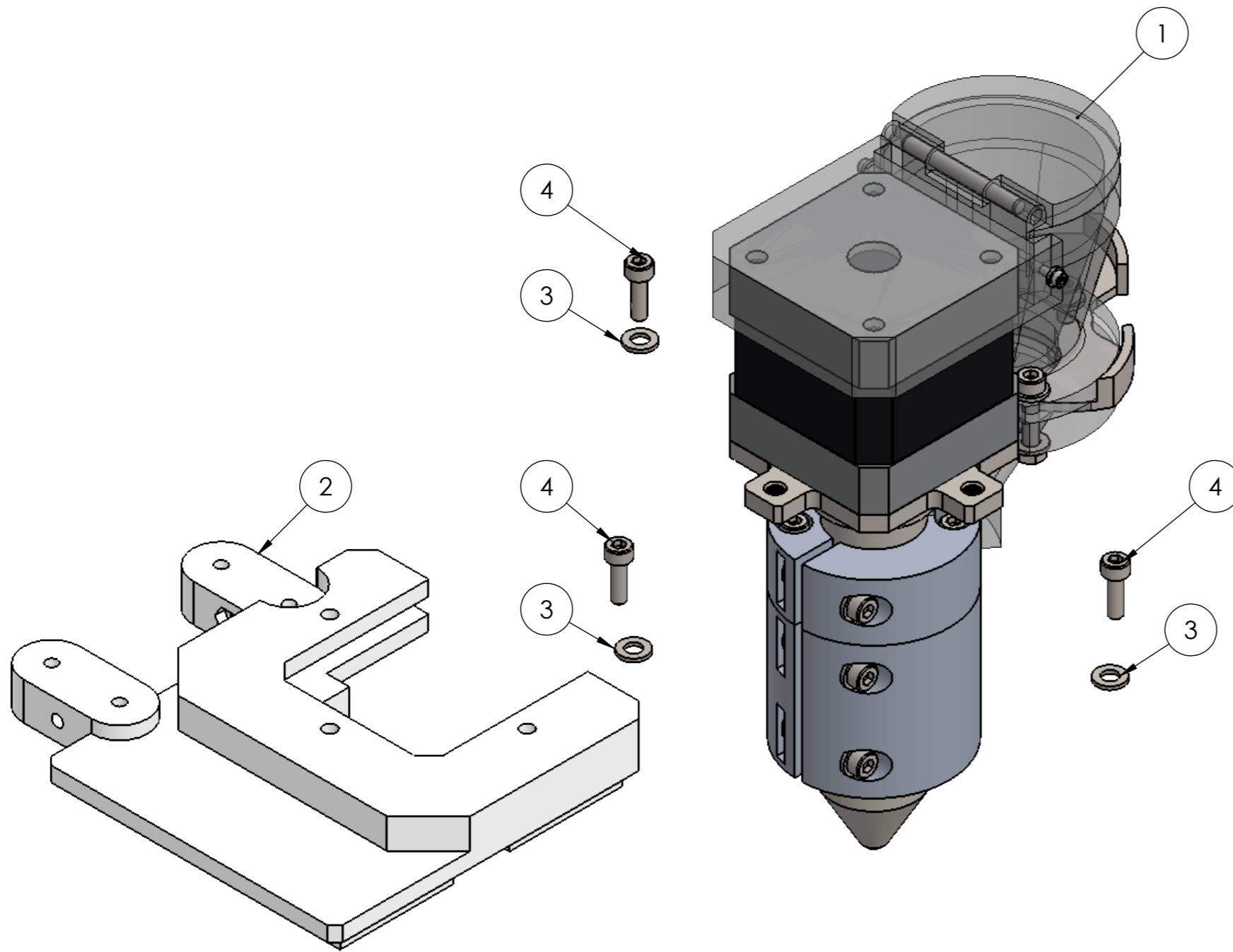


Vista izquierda

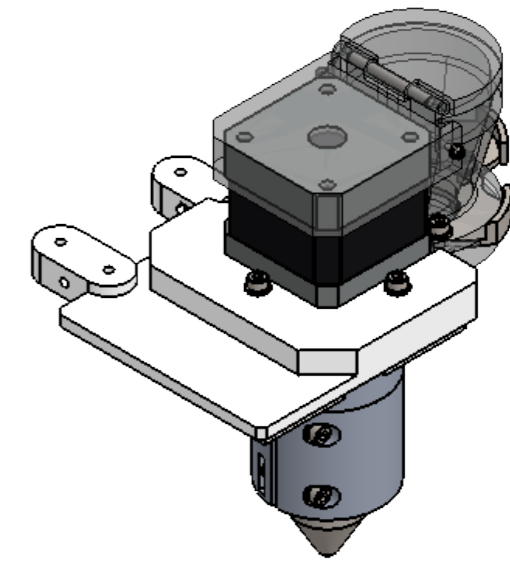


Vista superior

|  |                           |   |                           |  |
|--|---------------------------|---|---------------------------|--|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>                               | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate                                 |                           |  |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                             | Fecha:<br><b>06/09/17</b> | Plano: Cinturón tolva   |                           |  |
| Observación:<br><br>Unidades en mm                                 |                           | Material: Taulman T-Glase   | Peso: 14.06gr.            |  |
|  |                           | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:<br><b>DIN A3</b> | Escala:<br><b>1:1</b><br><br>Proyección:<br> |
| ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |   |                           | Plano 13/15                                  |



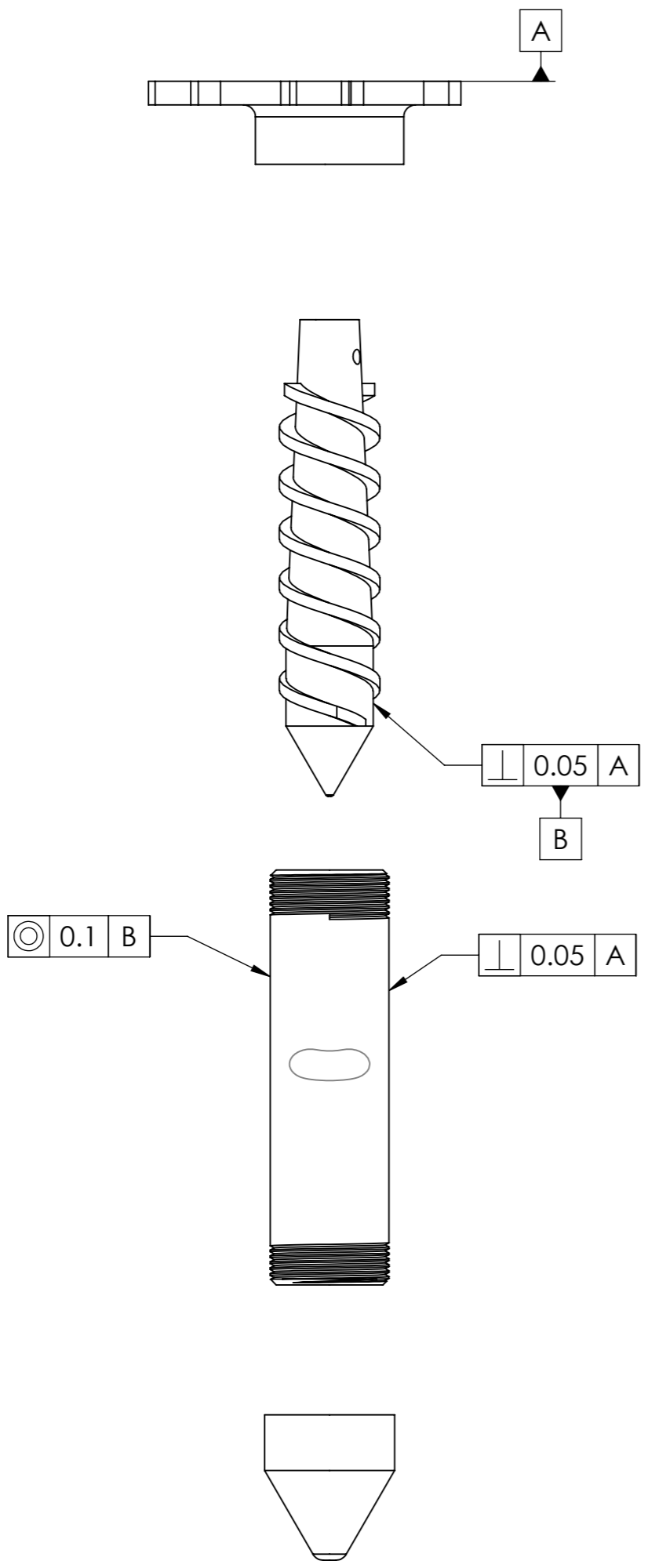
Vista explosionada



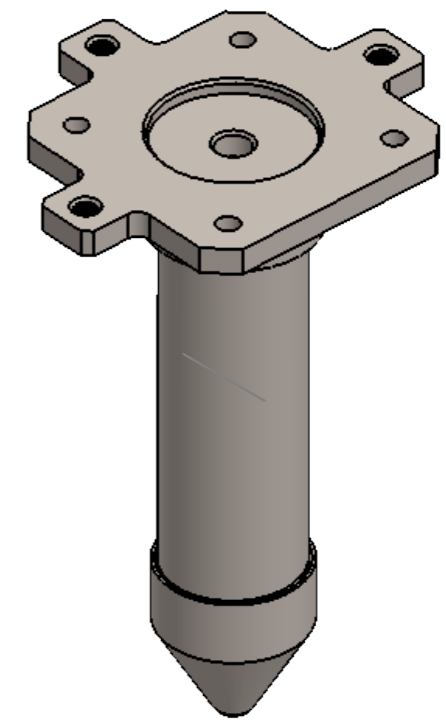
Vista isométrica  
Escala 1: 2

| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA                              | CANTIDAD |
|-----------------|---|----------|
| 1               | Ensamblaje extrusor                       | 1        |
| 2               | adaptador impresora 3D                    | 1        |
| 3               | B18.22M - Plain washer, 3 mm, narrow      | 3        |
| 4               | B18.3.1M - 3 x 0.5 x 10 Hex SHCS -- 10NHX | 3        |

|   |                           |   |               |             |   |
|---|---------------------------|---|---------------|-------------|---|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyan</b>                                       | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate   |               |             |   |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b>                                    | Fecha:<br><b>06/09/17</b> | Plano: Adaptador imp3D-extrusor   |               |             |   |
| Observación:  |                           | Material:   | Peso: gr.     |             |   |
|   |                           |  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:      | Escola:     | Proyección:   |
|   |                           |   | <b>DIN A3</b> | <b>1:1</b>  |  |
| <b>ATENCIÓN:</b> no deducir cotas por medio de medición directa del plano |                           |   |               |             |   |
|   |                           |   |               | Plano 14/15 |   |



Vista explosionada



Vista isométrica

|  |                           |  |  |            |   |
|--|---------------------------|--|--|------------|---|
| Dibujado:<br><b>Ji Chen, Wenyuan</b>   | Fecha:<br><b>21/05/17</b> | Título del TFG: Diseño de un extrusor para imprimir chocolate  |  |            |   |
| Revisado:<br><b>Jorba Peiró, Jordi</b> | Fecha:<br><b>06/09/17</b> | Plano: Sistema de extrusión  |  |            |   |
| Observación:                           |                           | Material:  | Peso: gr.  |            |   |
|  |                           |  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Formato:   | Escola:    | Proyección:   |
|  |                           |  | <b>DIN A3</b>  | <b>1:1</b> |  |
|  |                           |  | ATENCIÓN: no deducir cotas por medio de medición directa del plano |            | Plano 15/15   |