



Desarrollo de un dosificador de plástico para impresión 3D a base de pellets

Franco Ariel Maccaroni

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
Año 2023

Desarrollo de un dosificador de plástico para impresión 3D a base de pellets

Franco Ariel Maccaroni

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniero Mecánico

Director/a:

Ing. Pedro Sismondi – Ing. Guillermo Rodríguez – Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
Año 2023

Dedicatoria

La culminación de este trabajo la dedico a toda mi familia por todo su apoyo en mis 10 años de estudio. En especial a mi abuela y a mi papa que hoy se encuentran fuera del plano terrenal y que tuvieron un gran impacto en mí. Por otro lado, lo dedico a todas aquellas personas que fueron y siguen siendo mis compañeros. Que, caídos en el combate de la vida contra el estudio, todavía cursando o ya habiendo terminado tuve el gusto de conocer y compartir momentos de amistad, aprendizaje y compañía que no se van a borrar tan fácilmente.

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón y alma a toda mi familia por haberme dado la oportunidad y el apoyo económico y emocional para estudiar lo que me gusta, de vivir sin tantas preocupaciones para poder centrarme en mis estudios y poder progresar a un paso lento pero firme, pudiendo completar la carrera con todos mis altibajos. Además agradezco a todos mis profesores que tuve el gusto de conocer y agradezco al centro tecnológico de plásticos y elastómeros de la UNR por ayudarme en mi investigación.

Resumen

Este trabajo busca encontrar una alternativa económica a la impresión 3D por FDM sustituyendo la materia prima en filamento por una alternativa más barata como lo es el plástico en pellets. Con este cambio se pueden hacer ahorros hasta 50% del costo de la materia prima, pero para lograr esto se necesita tener la capacidad en la propia máquina de procesar el material. Con este fin se toma el desafío de diseñar y validar una máquina compacta montada sobre la impresora que pueda hacer el trabajo de fundir y extruir en condiciones adecuadas el material en forma de pellets.

Palabras clave: impresión 3D, FDM, extrusión, pellets, tornillo

Abstract

This work search to find an economic alternative to FDM 3D printing by replacing the filament coil material with a cheaper alternative like plastic pellets. This change can represent a 50% reduction in raw material cost, but to do that we need the ability to process the pellets in the machine. For that end we take the challenge of designing and validating a compact machine mounted on the printer head that can melt and extrude pellet material in the right conditions.

Keywords: 3D printing, FDM, extrusion, pellets, screw

Contenido

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Contenido	7
Introducción	9
Conflicto	10
Problema	10
Efecto útil deseado	10
Capítulo 1: Investigación del estado del arte	11
Descripción del aporte	15
Capítulo 2: Objetivos	16
Primer objetivo	16
Nuevo EUD	21
Segundo y tercer objetivo	23
Capítulo 3: Propuestas de solución	25
Propuestas de solución de objetivos 1, 2 y 3	25
Capítulo 4: Verificaciones	31
Potencia calefactora necesaria	31
Caudal de bomba de vacío	32
Presión de extrusión y carga sobre rodamiento	35
Capítulo 5: Estudio de distribución de temperaturas	39
Estudio 1: distribución de temperatura con cartucho de 4W	40
Materiales	41
Mallado	42
Resultados de estudio 1	43
Estudio 2: flujo de potencia con temperatura constante	44
Resultados del estudio 2	45
Estudio 3: convección natural calculada con disipador	47
Resultados estudio 3	48
Estudio 4: convección natural simulada con disipador	49
Resultados estudio 4	49
Estudio 5: convección forzada con disipador	50
Resultados estudio 5	51
Estudio 6: convección forzada sin disipador	52
Resultados estudio 6	53
CONCLUSIONES DE ESTUDIO TÉRMICO	54
Capítulo 6 : Modelo final	55

Conclusiones y recomendaciones.....	57
Conclusiones	57
Recomendaciones	59
Anexo A: extrusión de plástico	60
Introducción	60
Descripción del equipo	61
Anexo B: Extensión sobre conflicto	69
Anexo C: Hoja de datos de bomba de vacío	70
Anexo D: Cálculo y dimensionamiento de componentes	71
Piezas a dimensionar	71
Cálculo del tornillo extrusor.....	72
Cálculo del torque en tornillo	74
Dimensionamiento del cañón.....	78
Dimensionamiento del pico.....	82
Dimensionamiento de poleas y correa	83
Selección de rodamientos.....	84
Cálculo de vida útil.....	84
Selección de sello.....	87
Anexo E: Planos.....	89
BIBLIOGRAFIA	90

Introducción

La impresión 3D es una tecnología que viene tomando cada vez más terreno en la industria, esto es gracias a su poca complejidad y bajo costo al menos en el tipo de impresora que vamos a utilizar en este informe

La tecnología de impresión 3D que se describe a continuación es la de Modelado por Deposición Fundida o FDM por sus siglas en ingles. La cual cuenta con un robot con cabezal de movimiento tridimensional en el espacio, este último cuenta con un bloque caliente al cual se le suministra materia prima en forma de filamento plásticos mediante un devanador que toma filamento de una bobina. Al hacer que el devanador impulse material plástico a través del bloque caliente este se funde y se extrude por un pico con un orificio calibrado, esta extrusión de plástico será la utilizada para depositar material sobre una plataforma de impresión y ayudado por un software de control CNC al que previamente se le cargo el programa de rutas a ejecutar por el robot construirán la pieza de a una capa por vez, más detalle de esto se puede ver en la imagen siguiente

Técnica FDM

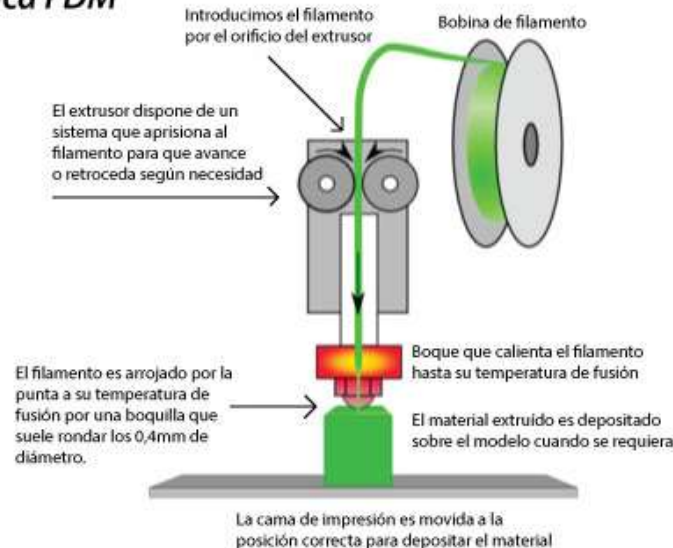


Figura 0-1: Esquema general del proceso de impresión 3D por la técnica de FDM - VILLAR ALARCÓN MIGUEL ÁNGEL. (2016). LA IMPRESIÓN 3D: QUE ES Y SUS TÉCNICAS DE IMPRESIÓN. 2021, DE INNOVATION & ENTREPRENEURSHIP BUSINESS SCHOOL RECUPERADO

DE [HTTPS://COMUNIDAD.IEBSCHOOL.COM/IMPRESORAS3D/2016/11/02/LA-IMPRESION-3D-QUE-ES-Y-SUS-TECNICAS-DE-IMPRESION/](https://comunidad.iebschool.com/impresoras3d/2016/11/02/la-impresion-3d-que-es-y-sus-tecnicas-de-impresion/)

Conflicto

La oferta de materiales es limitada por las empresas que manufacturan filamento para impresión 3D, el proceso de tomar pellets y extruirlos en filamento agrega hasta un 80% del costo sobre la materia prima y solo ofrecen materiales populares, mientras que todos los productores de plásticos del mundo venden sus productos en pellet que luego serán fundidos en extrusoras especiales ahorrando costos de procesos intermedios¹

Problema

El problema radica en que no podemos utilizar el sistema convencional de extrusión que encontramos en las impresoras FDM comerciales, ya que no son compatible con pellets, y los que existen no cuentan con control activo sobre el aire atrapado en los intersticios naturales entre pellet o sobre la humedad contenida en la materia prima.

Efecto útil deseado

El efecto útil deseado que se desea es crear un dosificador de plástico que funcione a base de pellets de termoplásticos de cualquier clase, pudiéndose adaptarse a las condiciones de temperatura, presión y humedad que dicho material necesite para que la pieza terminada posea las propiedades esperadas del tipo de plástico utilizado

¹ Para más detalle sobre el conflicto, extrusoras de plástico y sus procesos ver **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y

Capítulo 1: Investigación del estado del arte

Se comenzó con la investigación en fuentes de acceso abierto nacionales tomando como primer inicio a la biblioteca electrónica de ciencia y tecnología, pero al ingresar la búsqueda de las palabras “impresión 3D” no se obtuvieron resultados ni en revistas o publicaciones, solo en libros los cuales no contienen material relacionado a la búsqueda del efecto útil deseado por lo que descarte esa fuente y pasé a utilizar la plataforma de Google académico, en esta plataforma conseguí encontrar coincidencias varias al punto de poder buscar en inglés y en español un posible artículos sobre utilización de pellets para la impresión 3D, de pocos pares de coincidencias que encontré solo uno era de libre lectura y los demás son de acceso restringido o pagos por los que no pude leer más que el resumen. Sin embargo, pude extraer las siguientes propuestas mencionadas por los mismos como en la Figura 1-1, donde se hace referencia a un sistema de jeringa y otro de tornillo sin fin muy parecido al sistema de inyectoras de plástico industrial.

En otra de las coincidencias de búsqueda mencionadas pero esta vez sin acceso al archivo se hablaba de un sistema de extrusión mediante tornillo pero que este se encontraba lejos del cabezal y que conducía el material fundido mediante mangueras calefaccionadas hasta el cabezal de impresión

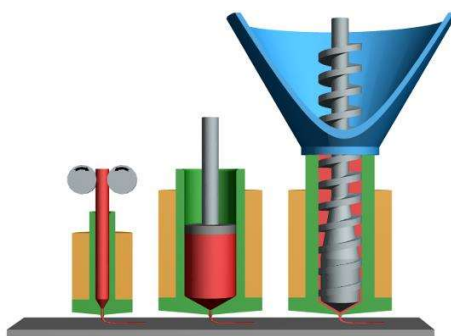


Figura 1-1: Esquema general de principios de la impresión 3D basados en la extrusión: (a) Extrusión a base de filamento, (b) Extrusión tipo jeringa, (c) extrusión de tornillo - (H. Valkenaers)

Por otro lado, buscando en productos comerciales encontramos dos que son del tipo de extrusión de tornillo, el primero que está diseñada para manejar caudales muy grandes de plástico fundido para impresión de piezas de gran volumen llamado Pulsar™ Large-Scale Pellet Extruder el cual se ve de la siguiente forma



Figura 1-2: Cabezal Pulsar™ Large-Scale Pellet Extruder montado en maquina - DYZE DESIGN. (2020). PULSAR™ LARGE-SCALE PELLET EXTRUDER. 2021, DE DYZE DESIGN
RECUPERADO DE [HTTPS://DYZEDESIGN.COM/PULSAR-PELLET-EXTRUDER/?Gclid=CJWKCAJWQVYFBHB7EiWAER786BBc2M0RU5cBEK5vsHXTN54OGR9EBGKFIV5A8RZQEHV-kCSXKYMROXOCNU4QAVD_BWE#PLASTICS-STANDARD](https://dyzedesign.com/pulsar-pellet-extruder/?Gclid=CJWKCAJWQVYFBHB7EiWAER786BBc2M0RU5cBEK5vsHXTN54OGR9EBGKFIV5A8RZQEHV-kCSXKYMROXOCNU4QAVD_BWE#PLASTICS-STANDARD)

Este extrusor comercial cuenta con las siguientes características tales un caudal máximo de 2.5 Kg/h de plástico, 800w de potencia de calefacción y tiene un peso de 7Kg. Con lo cual está bien para impresiones de gran volumen, pero por todo esto y por su precio u\$d10000 es completamente inaccesible para hobbistas o pequeño emprendimiento. Más datos de este extrusor se encuentran en Tabla 1-1: Características de la unidad en la siguiente hoja por legibilidad del texto

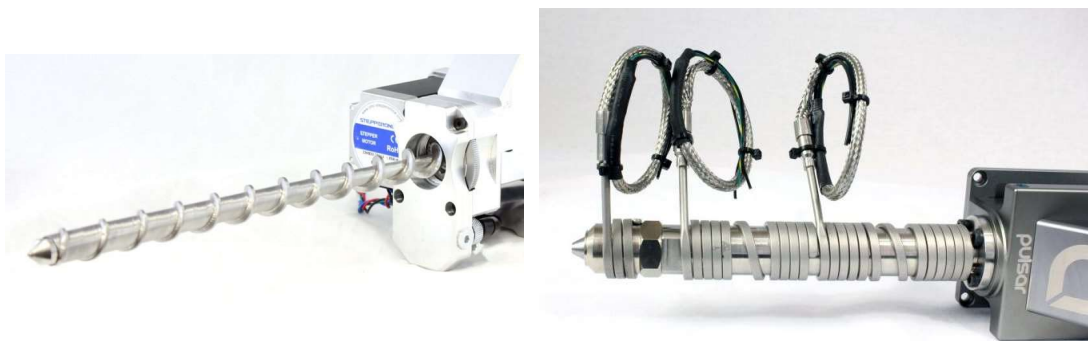
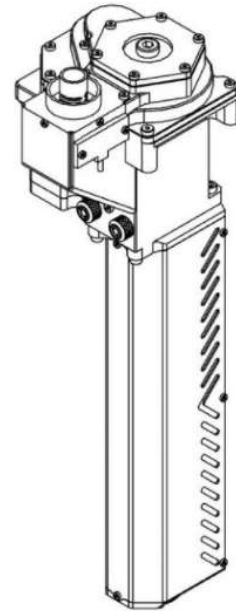


Figura 1-3: Tornillo interno del extrusor (izquierda), tubo con resistencias calefactoras (derecha) - DYZE DESIGN. (2020). PULSAR™ LARGE-SCALE PELLET EXTRUDER. 2021, DE DYZE DESIGN
RECUPERADO DE <https://dyzedesign.com/pulsar-pellet->

extruder/?gclid=CjwKCAjwqvyFBhB7EiwAER786bBc2M0RU5cBek5vsHXtn54OGR9ebg
KfIV5A8RZqEhV-kCSXKYmroxoCNu4QAvD_BwE#plastics-standard

Tabla 1-1: Características de la unidad

Parameter	Value	Units
Weight	~7000	g
Screw diameter	16	mm
Operating speed	100	RPM
Max temperature	500	°C
Max environment temperature	100	°C
Available nozzle sizes	1.00 3.00 5.00	mm
Max flow	500 2.5	mm ³ /s kg/h
Total length	484	mm
Screw length	235	mm
Heating power	800	W



Dyze Design. (2020). Pulsar™ Large-Scale Pellet Extruder. 2021, de Dyze Design
Recuperado de https://dyzedesign.com/pulsar-pellet-extruder/?gclid=CjwKCAjwqvyFBhB7EiwAER786bBc2M0RU5cBek5vsHXtn54OGR9ebgKfIV5A8RZqEhV-kCSXKYmroxoCNu4QAvD_BwE#plastics-standard

Otro extrusor comercial pero esta vez de bajo caudal es el Pellet Extruder v4 el cual como se mencionó antes es del tipo extrusión de tornillo y se muestra a continuación

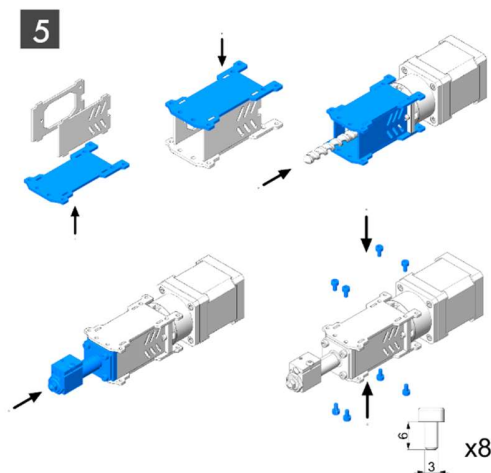


Figura 1-4: Extrusor de bajo caudal Pellet Extruder v4 - MAHOR.XYZ. (2019). PELLET EXTRUDER WIKI. 2021, DE MAHOR.XYZ RECUPERADO DE [HTTPS://MAHOR.XYZ/WIKI/PELLET-EXTRUDER-WIKI/](https://mahor.xyz/wiki/pellet-extruder-wiki/)

Con estos datos investigados podemos plantear un Espectro de Concepto de Solución o (ECS) preliminar

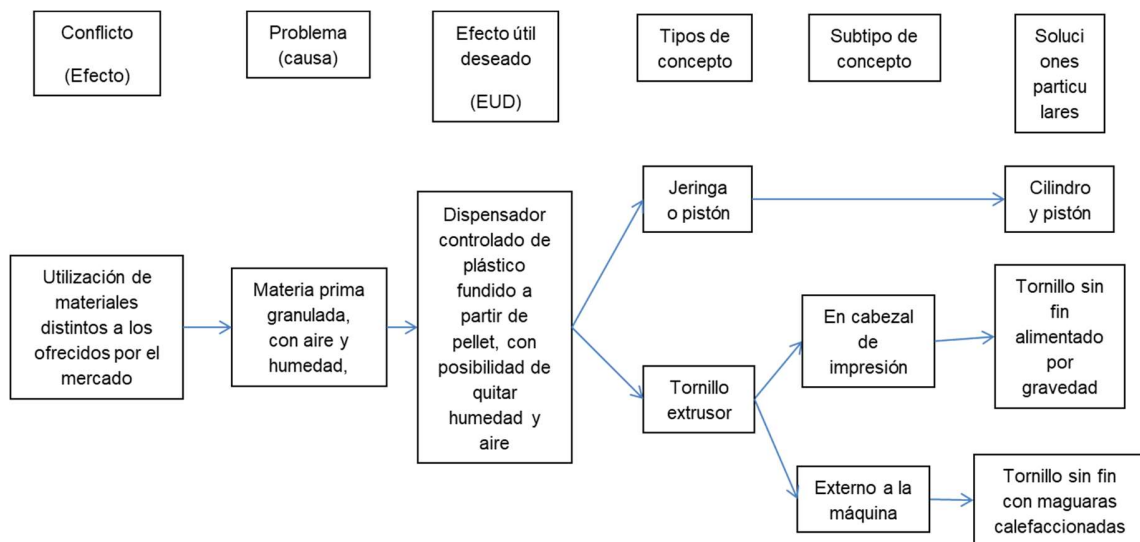


Figura 1-5: Espectro de concepto de solución del estado del arte

Descripción del aporte

Lo que se busca es mejorar la continuidad del medio extruido para impresoras hobbistas en un tamaño compacto sumando controles de presión, humedad y temperatura intentando mantener al mínimo la complejidad sin intentar sumar maquinas externas.

Capítulo 2: Objetivos

Los objetivos que se plantean en este trabajo son los siguientes.

1. Materializar un dosificador de plástico fundido a partir de pellets
2. Eliminar la humedad de material fundido
3. Eliminar el aire atrapado en el material fundido
4. Optimizar todo lo anterior

Primer objetivo

Para el primer objetivo se plantea es crear un dosificador de plástico a partir de pellets para el cual se conceptualizaron diferentes soluciones mostradas a continuación

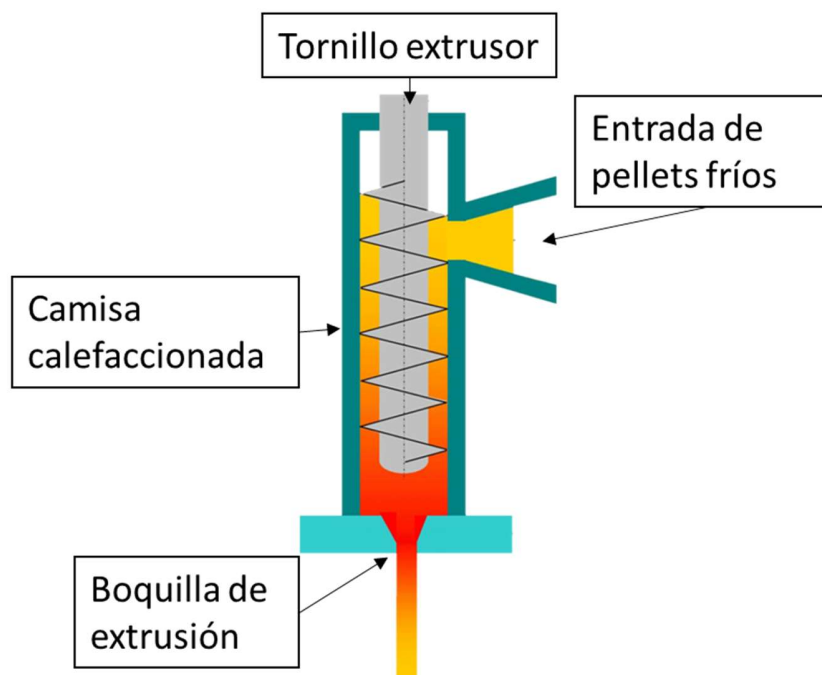


Figura 2-1: Extrusor por tornillo y camisa calefaccionada con alimentación por gravedad
– imagen base Manuel Torres Búa (2014) – conformado de los plásticos – extrusión –
recuperado de:

https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947174/52_proceso_tecnologico.html

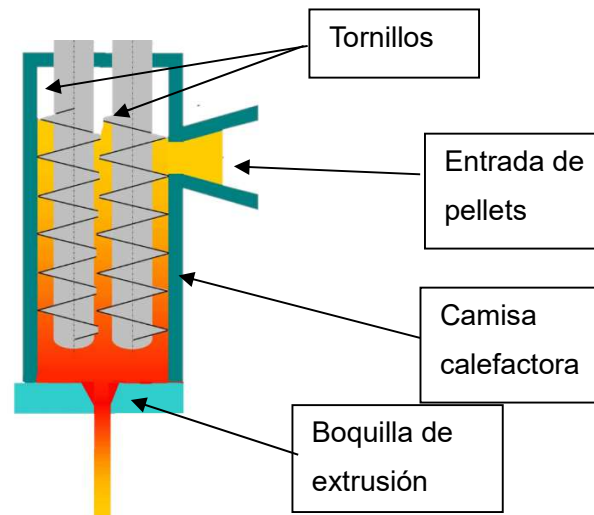


Figura 2-2: Extrusor de doble tornillo con camisa calefaccionada con alimentación por gravedad. Este extrusor es igual al anterior con la diferencia de tener dos tornillos en paralelo que puede manejar mayor caudal y mejor mezclado que un solo tornillo.

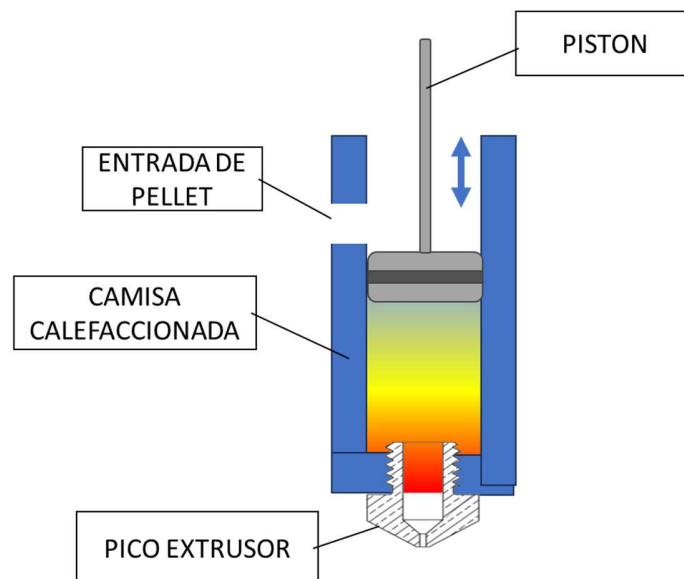


Figura 2-3: Extrusor tipo jeringa con camisa calefaccionada. Este diseño es muy sencillo en su construcción ya que cuenta con un pistón que empuja el material fundido hacia la salida, pero tiene las desventajas de no extruir de forma continua ni de poder deshacerse de los gases atrapados en la recámara.

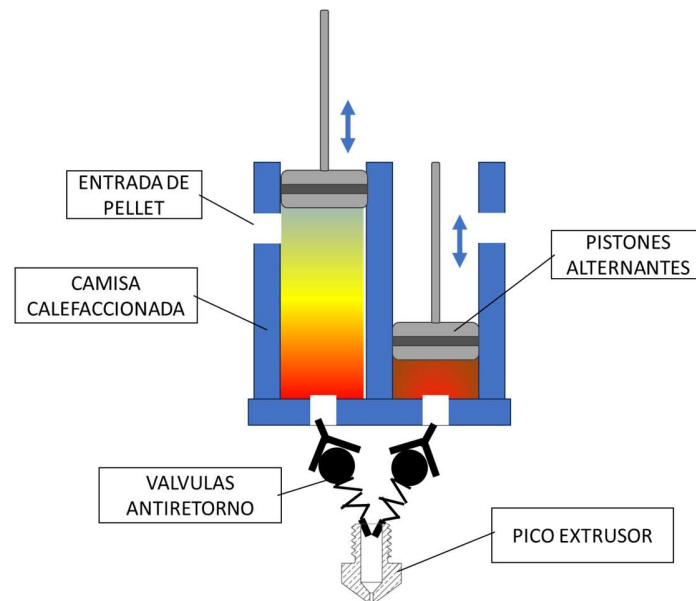


Figura 2-4: Extrusión por pistón doble alternados con camisa calefaccionada. Este diseño tiene la ventaja de no tener que esperar para seguir extruyendo una vez que la carrera de uno de los pistones llega al final, ya que el otro está listo para empezar a extruir mientras el que se vació puede volver a llenarse y preparar su carga para ser extruida.

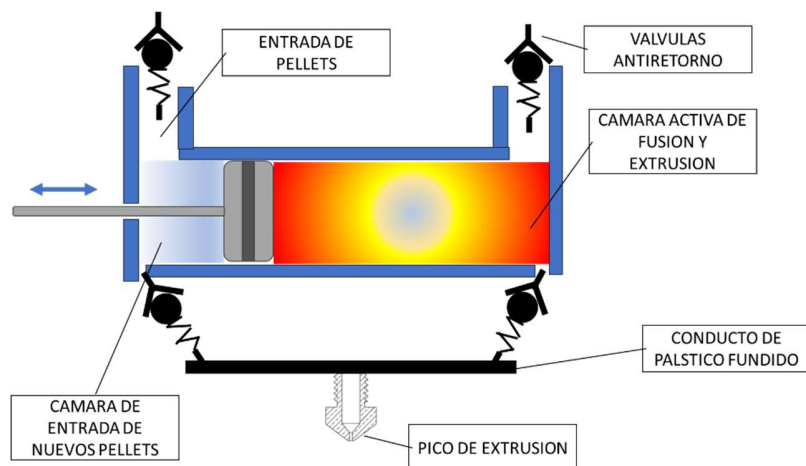


Figura 2-5: Extrusor de pistón de doble acción. Este extrusor funciona tanto a en la carrera de avance como en la de retroceso permitiendo una extrusión constante, cabe destacar que al mismo avance del pistón las distintas cámaras impulsaran caudales distintos, pero esto se puede controlar.

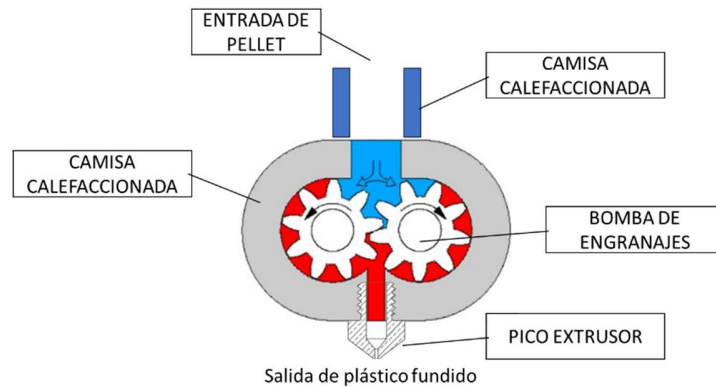


Figura 2-6: Bomba de engranajes con camisa calefaccionada. Esta solución está basada en la conocida bomba de engranajes utilizada normalmente en aplicaciones hidráulicas. Esta bomba de desplazamiento positivo funcionaría con plástico fundido además tenemos la ventaja de poder dosificar la cantidad de plástico extruida. - Hydroptic – ingeniería hidráulica ((s.f.)) Bomba de engranajes externos recuperado de: <https://hydropyc.com/bomba-hidraulica-de-engranajes/>

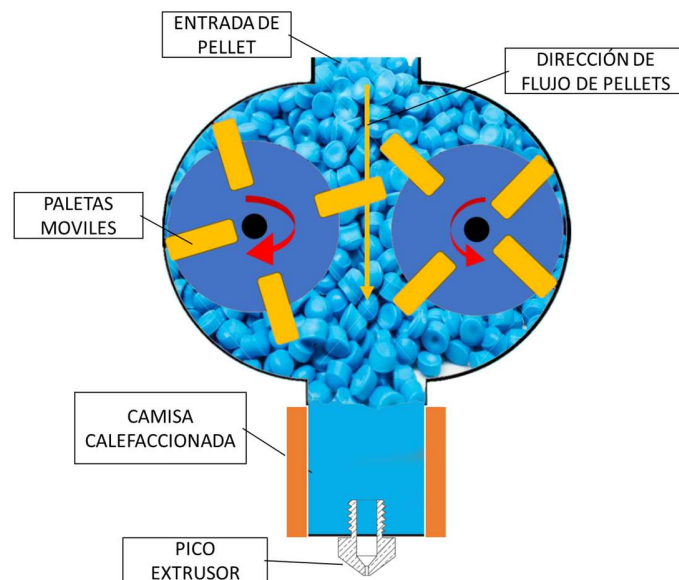


Figura 2-7: Extrusor por paletas retractiles. Este extrusor funciona de manera parecida al de engranajes presentados anteriormente con la diferencia que la impulsión se da con el material en estado sólido, impulsado el material que se toma en la parte superior por las paletas retractiles y lo fuerzan a pasar hacia la cámara de fundido, luego de esto

las paletas se ocultan dentro de los cilindros motores para luego salir en la parte superior para volver a empezar el ciclo.

Por cuestiones de estéticas se muestra el EUD en la próxima hoja (ver Figura 2-8)

Nuevo EUD

El nuevo EUD presenta las nuevas opciones generadas en color celeste con flechas del mismo color de línea de trazos

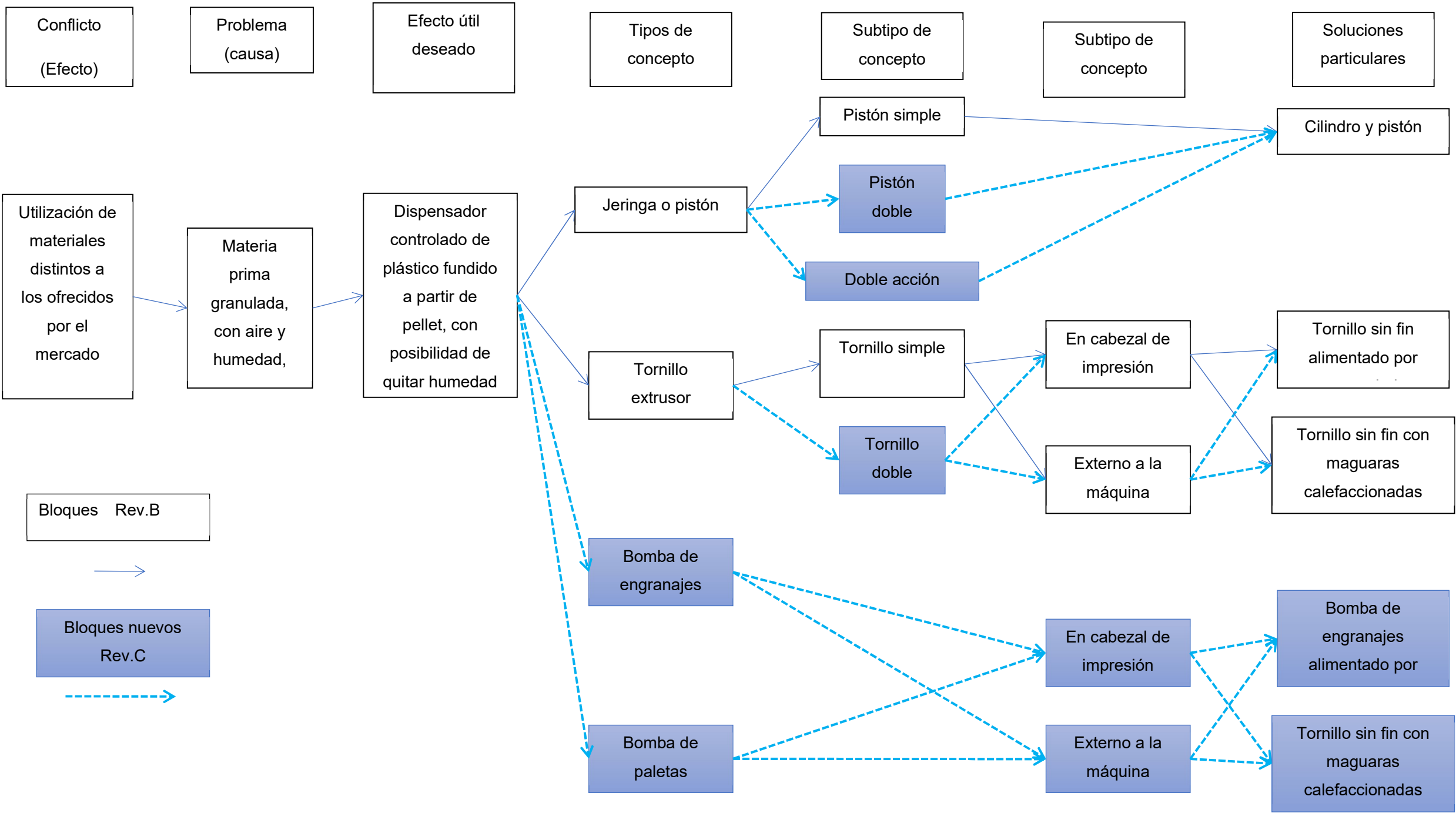


Figura 2-8: EUD con propuestas de solución

De este nuevo EUD sirvió para ver nuevas posibilidades, pero como podemos concluir a partir de la lectura del (Anexo A: extrusión de plástico), necesitamos para la correcta desgasificación del plástico que se le esté aplicado vacío mediante una bomba a la tolva y al cañón o que toda la cámara interna del cañón esté conectada para que la humedad y aire que se puedan generar en la zona de transición entre sólido y líquido pueda siempre escapar hacia atrás y no quedar atrapada para luego formar burbujas o poros en la pieza final. Con lo cual las posibilidades planteadas de pistones o bombas de desplazamiento positivo son difíciles de desgasificar ya que todo el material a fundir se encuentra confinado en un volumen y por ende no deja escapar el aire y la humedad contenido en el plástico que se liberan al fundirse. Con esto concluimos que el extrusor deberá ser de una sola cámara o que trabaje con el material previamente fundido y desgasificado.

Dicho lo anterior se reduce el EUD a los extrusores de tornillo, de bomba de engranajes y de paletas retractiles por lo que deberemos tomar algún criterio para terminar de seleccionar una, este será el control y la potencia requerida. Para esto también deberemos adoptar cual es nuestro caudal de plástico objetivo, en una impresora hobbista el caudal es de entre 10 a 30g de plástico por hora dependiendo de la velocidad de impresión y el diámetro de boquilla adoptado, estos son caudales muy bajos por lo que cualquier extrusor puede lograrlo.

Por el otro lado la facilidad de control estará dada por la linealidad de su extrusión y su respuesta, para el caso del tornillo sabemos que está ampliamente implementado en sistemas de extrusión por su capacidad de generar un flujo continuo de material fundido a velocidad constante por su paso de rosca definido, pero para la bomba de engranajes esto no es así ya que sabemos de las bombas hidráulicas que estas tienen pulsaciones en su salida debidas a que el fluido es descargado a la zona de alta presión de un diente o cámara a la vez. La última bomba propuesta de paletas retractiles que impulsan el material en estado sólido presenta nuevos retos de control pues está impulsando material sólido contra una interfaz líquido sólido que cambia de volumen constantemente lo cual podría ser útil para procesos de extrusión continuos donde la maquina funciona en estado estacionario, pero no para la técnica de FDM donde se tienen gran cantidad de arranque y paradas en poco tiempo.

Mencionado todo lo anterior se decide que se utilizara el modelo de tornillo único por su facilidad de control y capacidad desgasificadora natural mencionada en (Anexo A: extrusión de plástico) donde separa al tornillo en 3 partes las cuales son zona de carga, zona de compresión y zona de dosificación. Esta zona de compresión permite mediante la disminución de la profundidad del filete desde la zona de carga hasta la zona de dosificación ir comprimiendo el plástico y por tanto escurrir el aire atrapado entre los pellets hacia atrás, zona de carga, antes de quedar listo para ser dosificado

Segundo y tercer objetivo

Estos objetivos están unidos porque sabemos que hay cierta correlación entre aire y humedad. Para la eliminación de aire intersticial podemos contar con la capacidad desgasificadora del propio tornillo y/o con un sistema externo de extracción de aire. Para la humedad se puede acudir a calefacción del plástico para la evaporación del agua absorbida y también a la disminución de la presión de aire circundante para hacerla hervir como se ve en la gráfica de estados de agua en función de la presión y temperatura en (Figura 2-9). Podríamos disminuir un poco la presión ambiente por ejemplo a la mitad 50kPa y mantener calefaccionado el plástico en el tornillo a 85°C para hervir el agua antes de que entre al tornillo para ser fundido.

Reducir la presión del entorno significaría también tener una cámara estanca por lo que se propone una tolva de almacenamiento con una doble puerta para así poder mantener el vacío parcial en el tornillo y la alimentación de plástico.

Esta implementación necesitara una bomba de vacío adecuada a nuestras necesidades la cual tendrá que extraer el aire intersticial y la humedad del pequeño volumen desde la válvula de doble puerta al tornillo con lo cual se piensa en una bomba de vacío de paletas o diafragma de pequeña dimensión montada sobre el mismo cuerpo del cabezal con su propio motor o externa a la máquina.

Con estos detalles resueltos podemos comenzar la construcción y validación virtual de un prototipo que cuentes con las características mencionadas, tornillo simple, tolva de alimentación, doble puerta de alimentación, cañón calefaccionado y succión de aire.

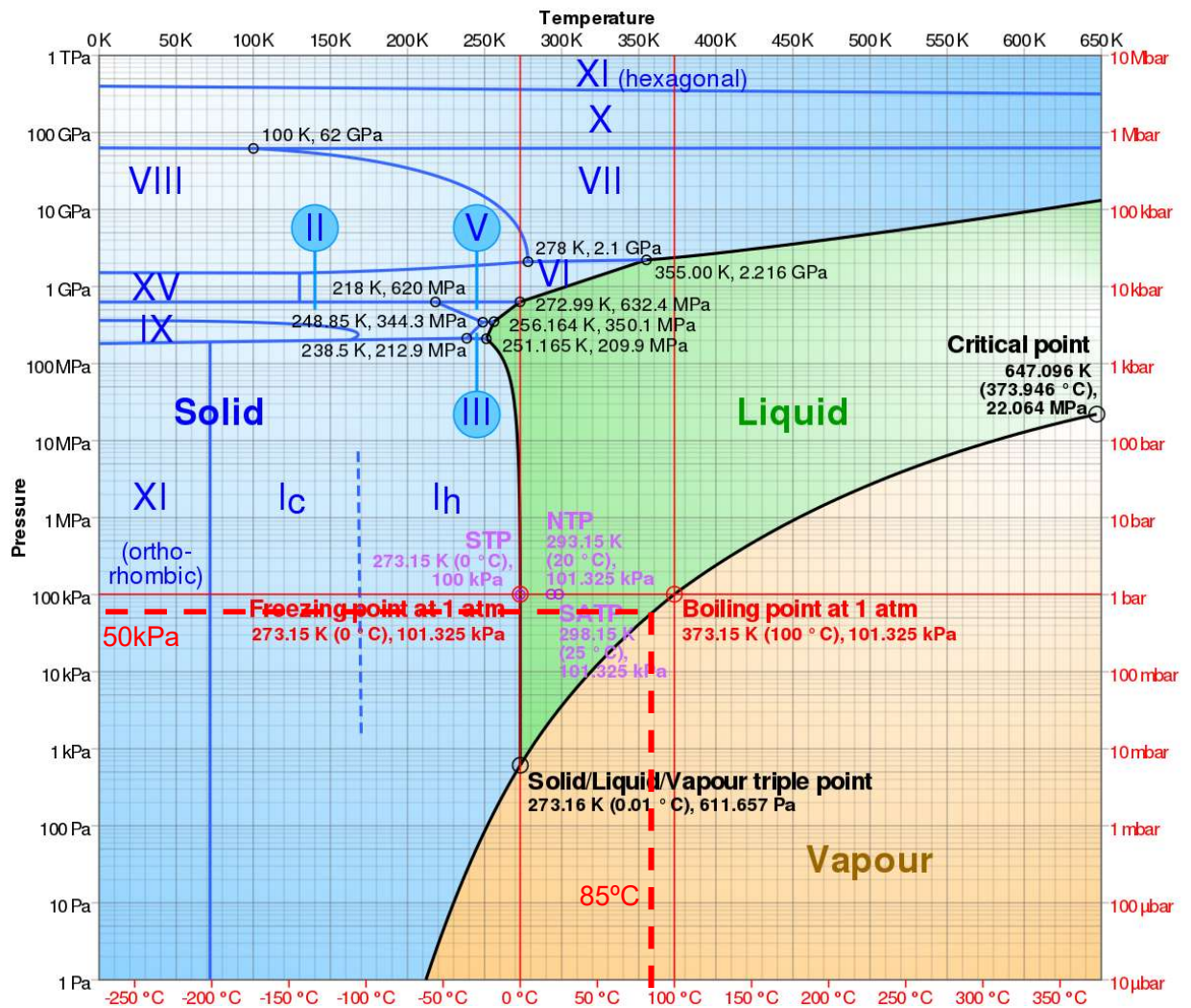


Figura 2-9: Estados del agua en función de la temperatura y presión - UNIVERSIDAD DE SEVILLA. (S.F.). PROPIEDADES DEL AGUA. 2021, DE DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA III RECUPERADO DE http://laplace.us.es/wiki/index.php/Propiedades_del_agua. CC BY-NC-SA 3.0

Capítulo 3: Propuestas de solución

Propuestas de solución de objetivos 1, 2 y 3

Para implementar una propuesta de solución se empieza por el carro del cabezal de la impresora, el cual tiene un patrón de agujeros común a la mayoría de las impresoras mostrados a continuación

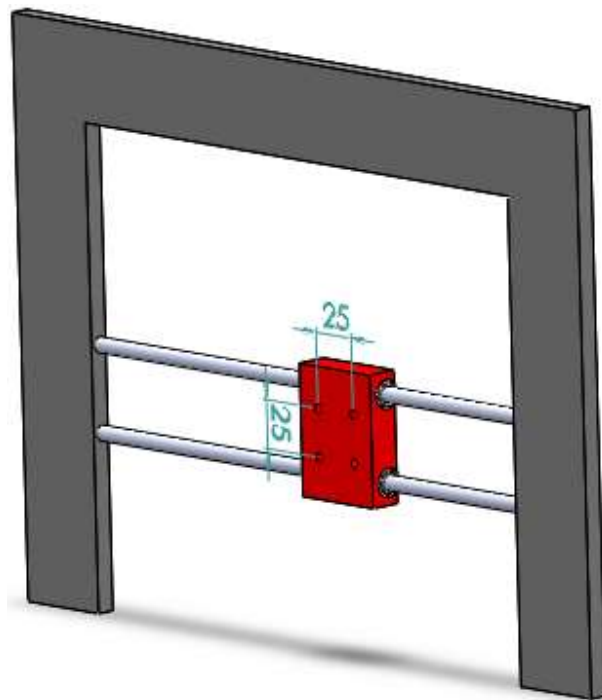


Figura 3-1: Patrón de agujeros en carro Y

Con este patrón definido se decidió poner una brida con el correspondiente patrón de agujeros para soportar el cañón del extrusor y sobre esto montar el resto de los componentes

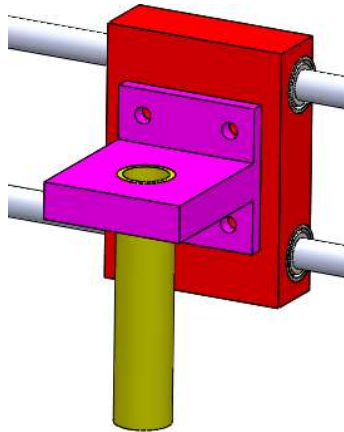


Figura 3-2: Carro X con brida y cañón

Para especificar un diámetro de cañón primero vemos con qué tipo de materias primas vamos a trabajar, los pellets comerciales suelen fabricarse a pedido del cliente, pero lo más usual es encontrarlos en forma de pequeños cilindros de 3mm de diámetro y 5mm de largo o en pequeñas esferas de aproximadamente 3mm de diámetro, por lo tanto, la zona de carga del tornillo deberá tener suficiente espacio en cada filete para albergar varios de estos y poder trasportarlos hacia la zona de compresión. Dicho lo anterior se adoptó un diseño de tornillo con 15mm de diámetro exterior y una profundidad de filete en la zona de carga de 5mm y un paso de 10mm. Se adoptaron proporciones de tercios entre las tres zonas del tornillo y relación de compresión por debajo 4.5 recomendado en Anexo A: extrusión de plástico. Dicho esto adoptamos relación de compresión de 3.5 es decir la sección del área de alimentación se achica 3.5 veces para llegar al área de dosificación.

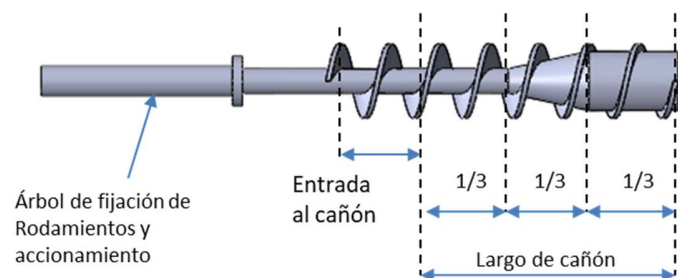


Figura 3-3: Tornillo prototipo

Este tornillo tendrá que ser soportado por otra brida encima de la existente con rodamiento para permitir su correcto funcionamiento, un rodamiento de esfuerzo axial para soportar el esfuerzo creado por el tornillo y un rodamiento radial para centrarlo, y soportar las cargas laterales por parte del mando.

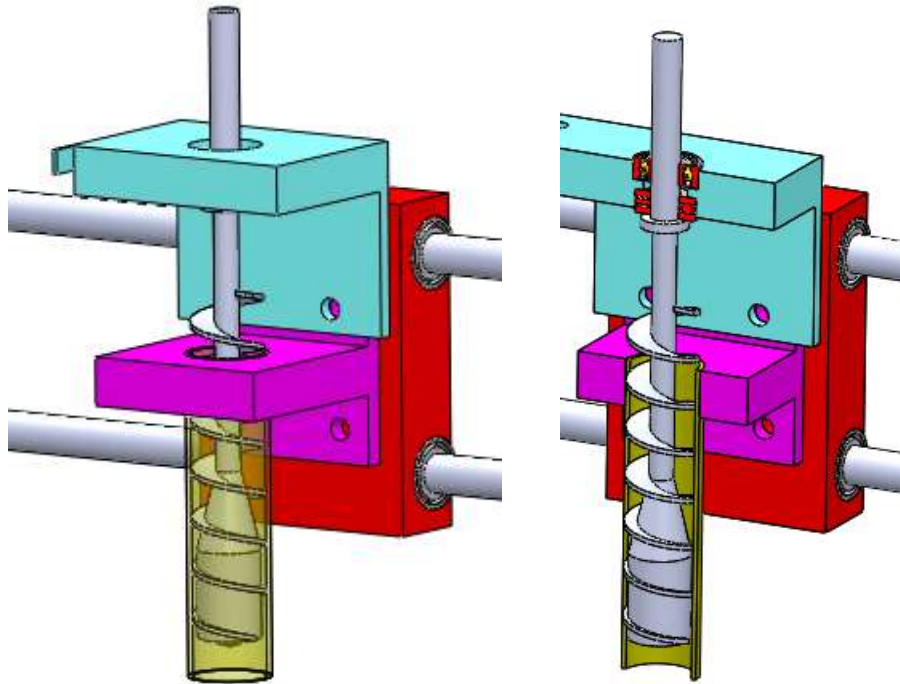


Figura 3-4: Montaje de tornillo

Luego para dar lugar a la entrada de pellets y sellar la parte superior del cañón se prefirió una doble brida con un conducto de alimentación (Figura 3-5), esta cámara será de donde el cañón será alimentado con material y por donde se extraerá el aire y la humedad.

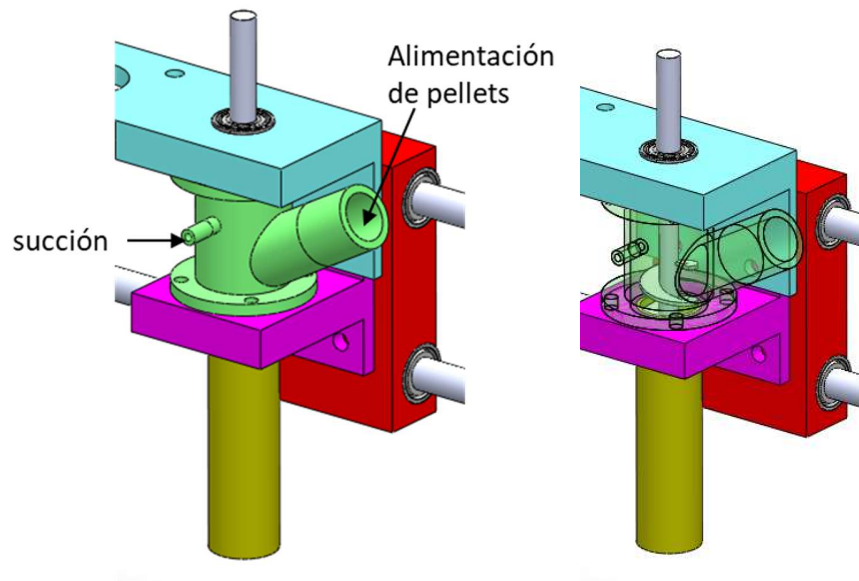


Figura 3-5: Montaje de cámara de alimentación y succión

Esta cámara estará conectada mediante una manguera a una tolva arriba de la impresora para lograr la alimentación por gravedad de la materia prima como se aprecia en la imagen siguiente, esta tolva será hermética por medio de una tapa con sello de goma para así lograr el vacío parcial dentro del sistema cañón-cámara-manguera-tolva

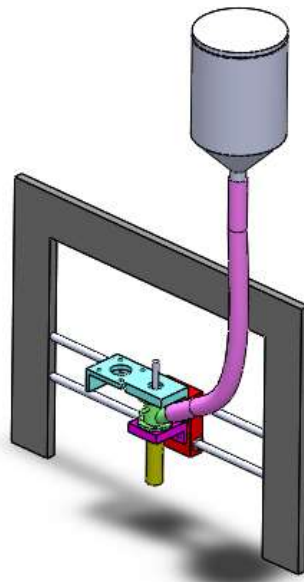


Figura 3-6: Montaje de tolva y manguera de alimentación

Lograda la alimentación del material ahora debemos poder mover el tornillo, esto lo lograremos mediante un motor paso a paso para controlar el giro del mismo de manera precisa y poder dosificar adecuadamente el material fundido y un par de poleas dentadas con su correa correspondiente

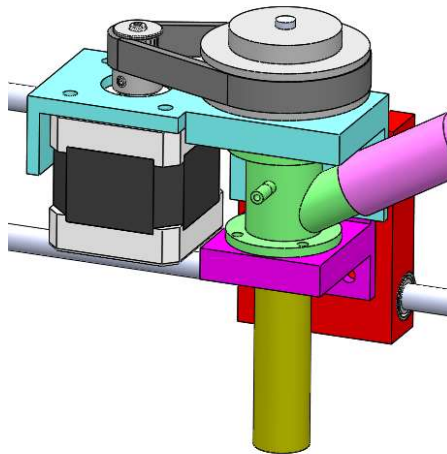


Figura 3-7: Montaje de mando motoriz

Para la succión del volumen interior se selecciona una bomba de vacío de pequeñas dimensiones que se montara al lado del motor con una línea de succión conectada a la cámara.

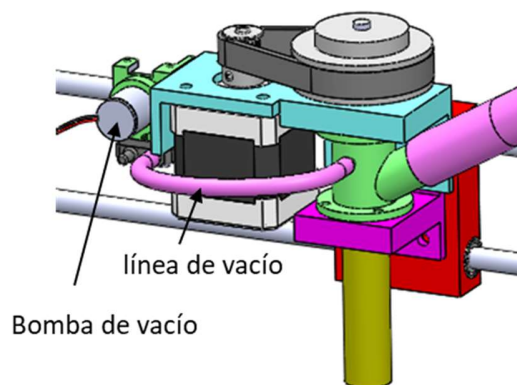


Figura 3-8: Montaje de bomba de vacío y línea de succión

Ahora nos centraremos en la calefacción del cañón, está la lograremos con bloques de aluminio que abrazan al cañón y contienen un cartucho térmico en el mismo mientras que para la extrusión del material se tendrá una boquilla que enrosca en el final del cañón

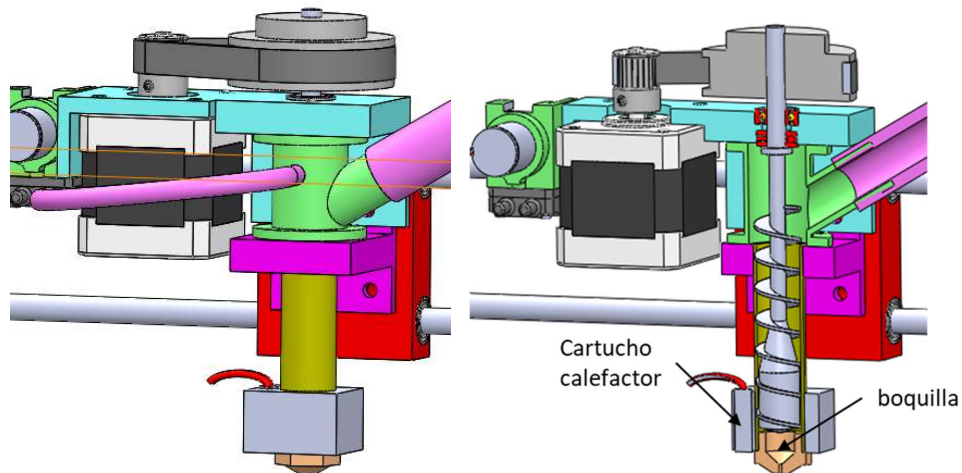


Figura 3-9: Montaje de bloque calentador, boquilla de extrusión y corte del ensamblaje

Para finalizar se agregan un sensor de presión en la cámara y un sensor de temperatura en el bloque calefactor (no mostrados en el prototipo) con los cuales monitorear y controlar las variables del proceso.

Con esto queda terminado el prototipo, pero falta validar muchos aspectos del mismo que se definieron arbitrariamente, los que se proponen para tal fin son

- Potencia calefactora necesaria para el bajo caudal de plástico requerido
- Caudal de succión por parte de la bomba de vacío
- Torque necesario
- Longitud calefaccionada del cañón
- Longitud adecuada de cañón y tornillo para correcta precalentamiento y deshumidificación
- Paso del tornillo
- Tamaño de la tolva

Capítulo 4: Verificaciones

Si bien el plástico más utilizado a nivel hobbista es el ácido poliláctico o PLA por su facilidad de impresión y resistencia mecánica, esta última viene a expensas de ser frágil y no tener buena resistencia al impacto, este plástico pierde sus propiedades mecánicas por encima de los 55°C por lo que no es recomendable para aplicaciones con temperaturas medias a elevadas, en cambio el acrilonitrilo butadieno estireno o ABS soporta temperaturas de trabajo de 80°C es menos resistente que el PLA pero tiene una mejor resistencia al impacto. Su problema para la impresión radica en su comportamiento higroscópico, es decir absorbe humedad dentro del plástico provocando defectos luego en la impresión, por lo que centraremos nuestra atención al plástico ABS para estas verificaciones.

Potencia calefactora necesaria

La potencia calorífica necesaria será la que haga que nuestro material en forma de pellets aumente su temperatura en su paso por la zona calefaccionada del cañón hasta llegar al estado de líquido viscoso y pueda ser extruido por un pequeño orificio para luego ser depositado y adherido de forma efectiva sobre otra capa de del mismo plástico. Estas temperaturas varían según el tipo de plástico utilizado

Para calcular la potencia necesaria a aplicar nos valemos de la ecuación

$$\dot{q} = \dot{m} C \Delta T \quad (1)$$

Donde

$\dot{q}$ = potencia entregada

$\dot{m}$ = flujo masico

C = calor especifico

ΔT = diferencia de temperatura

Con el flujo másico de $30 \frac{g}{hora}$ de material adoptado en Primer objetivo, el mayor calor específico (peor condición) del ABS de $2.13 \frac{J}{g^{\circ}C}$ sacado de

Tabla 4-1 y suponiendo una temperatura ambiente de 20°C y una temperatura de extrusión recomendada de 240°C calculamos la potencia entregada

$$\dot{q} = 30 \frac{g}{hora} * 2.13 \frac{J}{g^{\circ}C} * (240^{\circ}C - 20^{\circ}C) = 14058 \frac{J}{hora} = 3.9W \quad (2)$$

Esta será la potencia que consumirá solo el plástico sin tener en cuantos enfriamientos por transmisión ni perdidas por convección en el exterior del conjunto cañón bloque calefactor

Tabla 4-1: Propiedades térmicas de ABS

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	7.90 - 900 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	4.39 - 500 $\mu\text{in}/\text{in}^{\circ}\text{F}$	Average value: 88.8 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ Grade Count:184
CTE, linear, Transverse to Flow	81.0 - 100 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	45.0 - 55.6 $\mu\text{in}/\text{in}^{\circ}\text{F}$	Average value: 92.2 $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ Grade Count:13
Specific Heat Capacity	1.60 - 2.13 $\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$	0.382 - 0.509 $\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$	Average value: 1.99 $\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$ Grade Count:7
Thermal Conductivity	0.128 - 0.187 $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$	0.888 - 1.30 $\text{BTU-in}/\text{hr-ft}^2^{\circ}\text{F}$	Average value: 0.163 $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$ Grade Count:17
 Thermal Conductivity	0.250 - 0.250 $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$ @Temperature 30.0 - 260 $^{\circ}\text{C}$	1.74 - 1.74 $\text{BTU-in}/\text{hr-ft}^2^{\circ}\text{F}$ @Temperature 86.0 - 500 $^{\circ}\text{F}$	Average value: 0.250 $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$ Grade Count:1
Maximum Service Temperature, Air	50.0 - 109 $^{\circ}\text{C}$	122 - 228 $^{\circ}\text{F}$	Average value: 74.9 $^{\circ}\text{C}$ Grade Count:24

MATWEB (S.F.). OVERVIEW OF MATERIALS FOR ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS), MOLDED. 2021, JUNIO 29, DE WWW.MATWEB.COM RECUPERADO DE [HTTP://WWW.MATWEB.COM/SEARCH/DATASHEET.ASPX?MATGUID=EB7A78F5948D481C9493A67F0D089646&CKCK=1](http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=eb7a78f5948d481c9493a67f0d089646&ckck=1)

Caudal de bomba de vacío

Consideraciones iniciales: Para las condiciones óptimas de procesabilidad indicadas por el distribuidor de ABS en Figura 4-1 nos dice que el material debe ser secado con una temperatura de entre 80 y 90°C durante un periodo de tiempo de 2 a 4hs para el proceso de inyección. En nuestro caso deberíamos hacer pruebas con el material real en las condiciones nombradas en la sección “Segundo y tercer objetivo” de 85°C y 50kPa de presión absoluta con el material real durante periodos de tiempo crecientes luego pesarlos y ver la perdida de humedad de los mismo y como afecta esto a la calidad de impresión. Esto anterior servirá para tener un tiempo de preparación de la maquina antes de empezar a imprimir y saber si el tiempo que tarda en recorrer el cañón calefaccionado es suficiente para una correcta deshumidificación para su impresión.

Processing Information		
Injection	Nominal Value	Unit
Drying Temperature	80 to 90	°C
Drying Time	2.0 to 4.0	hr

Figura 4-1: Condiciones de secado para ABS. - RESINEX. (S.F.). ABS MAGNUM™.
2021, JUNIO 30, DE RESINEX RECUPERADO DE
[HTTPS://WWW.RESINEX.ES/PRODUCTOS/MAGNUM.HTML](https://www.resinex.es/productos/magnum.html)

Dejando la consideración anterior de lado por imposibilidad de estos experimentos calcularemos el caudal de la bomba de vacío necesario. Para esto necesitamos el volumen interno de aire contenido dentro del tornillo, la cámara, la manguera de alimentación y la tolva. Como peor condición se toma al sistema completamente sin carga ya que el volumen desplazado por los pellets será volumen que no tenga que ser vaciado de aire.

Para esto se elaboró la Tabla 4-2 adoptando una tolva de 770cm^3 de capacidad ya que en esta entran medio kilogramo de material plástico ABS según Ecuación (4) en pellets y las impresiones hobbistas no suelen sobrepasar esta cantidad de material y los demás datos calculados mediante el software CAD.

Ecuación de densidad

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Donde

ρ = densidad

m = masa

V = volumen

Despejando el volumen de la ecuación anterior y teniendo la densidad aparente es decir la densidad de los pellets junto con sus intersticios de aire es de $0.65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ sacado de Figura 4-2

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{500\text{g}}{0.65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \cong 770 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

ASTM & ISO Properties ¹		
Physical	Nominal Value	Unit Test Method
Density	1.05	g/cm ³ ISO 1183
Apparent (Bulk) Density	0.65	g/cm ³ ISO 60

Figura 4-2: Propiedades físicas del ABS. - RESINEX. (S.F.). ABS MAGNUM™. 2021,
JUNIO 30, DE RESINEX RECUPERADO DE
[HTTPS://WWW.RESINEX.ES/PRODUCTOS/MAGNUM.HTML](https://www.resinex.es/productos/magnum.html)

Tabla 4-2: Volumen de aire dentro del sistema

componente	volumen interno [cm3]
tolva	770
manguera	80
cámara	10,6
cañón	10
total	601,2

La bomba de vacío no deberá desalojar todo este volumen sino solo la mitad de el para lograr la presión deseada y retenerlo a la presión indicada, se muestra en el

Anexo C: Hoja de datos de bomba de vacío, los datos de una bomba de vacío de diafragma comercial con un caudal máximo de $800 \frac{cm^3}{min}$ a presión atmosférica y capaz de generar 68kPa de presión absoluta, esto hace que la temperatura de ebullición del agua suba de 85°C a 90°C aproximadamente por lo que no representa un problema (Figura 2-9).

Volviendo al problema del caudal la bomba es capaz de extraer el aire necesario en cuestión de minutos y luego seguirá extrayendo la humedad que pueda aparecer.

Presión de extrusión y carga sobre rodamiento

Para calcular la pérdida de carga en un tubo circular con flujo laminar tenemos la ley de Poiseuille para la pérdida de presión.

$$\Delta P = \frac{32\mu\bar{u}L}{D^2} \quad (5)$$

Donde μ viscosidad cinemática, $\bar{u}$ es la velocidad promedio del flujo, L es la longitud del tubo y D el diámetro del tubo.

Para un flujo laminar completamente desarrollado en un tubo de sección circular tenemos que la velocidad media $\bar{u}$ es

$$\bar{u} = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Donde Q es el caudal y A el área de la sección transversal calculada como

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 \quad (7)$$

Siendo D el diámetro del tubo

Remplazando en las ecuaciones (6) y (7) con los datos de $Q = 19 \frac{mm^3}{seg}$ y $D = 0.4mm$

$$\bar{u} = \frac{19 \frac{mm^3}{s} * \frac{1m^3}{(1000mm)^3}}{\frac{\pi}{4} (0.0004m)^2} = 0.151 \frac{m}{s} \quad (8)$$

Para el valor de L utilizamos 5 veces el diámetro de la boquilla para estar dentro de la validez de la Formula (5)

$$L = 5D = 5 * 0.4mm = 2mm \quad (9)$$

Para el valor de la viscosidad lo sacamos de la Figura 4-3 teniendo en cuenta la máxima tasa de corte $\dot{\gamma}$ en un flujo en conducto circular según Bakrani et. All es

$$\dot{\gamma}_w = \frac{8(3n+1)Q}{n * \pi D^3} = \frac{(3n+1)\bar{V}}{nR} \quad (10)$$

Donde Q es el caudal volumétrico, n el índice de flujo, D el diámetro de tubo, $\bar{V}$ la velocidad promedio a la entrada y R el radio del tubo.

Tenemos todos los datos excepto el índice de flujo n para abs que lo sacamos de la siguiente tabla

Tabla 4-3 Propiedades útiles de algunos polímeros genéricos

Polymer	k [J/ms°C]	C _p [J/g°C]	ρ [g/cm³]	T _g [°C]	T _{mp} [°C]	n [-]	dη/ηdT [°C ⁻¹]
PS	0.12	1.20	1.06	101	-	0.30	0.08
PVC	0.21	1.10	1.40	80	-	0.30	0.20
PMMA	0.20	1.45	1.18	105	-	0.25	0.20
SAN	0.12	1.40	1.08	115	-	0.30	0.20
ABS	0.25	1.40	1.02	115	-	0.25	0.20

RAUWENDAAL, CHRIS ,2014. POLYMER EXTRUSION. 5TH ED., HANSER PUBLICATIONS,

Con este último dato calculamos $\dot{\gamma}_w$ y obtenemos

$$\dot{\gamma}_w = \frac{8(3 * 0.25 + 1) 19 \frac{mm^3}{seg}}{0.25 * \pi(0.4mm)^3} = 5292 \text{ seg}^{-1}$$

Sabiendo que esta tasa de corte solo se da cerca de las paredes del tubo y que la tasa de corte el centro del tubo es cero, tomamos un valor medio de tasa de corte de

$$\dot{\gamma}_{medio} = \frac{\dot{\gamma}_w}{2} = 2646 \text{ seg}^{-1}$$

Con estos datos entramos a la gráfica siguiente y obtenemos un valor de viscosidad $\eta = 200 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

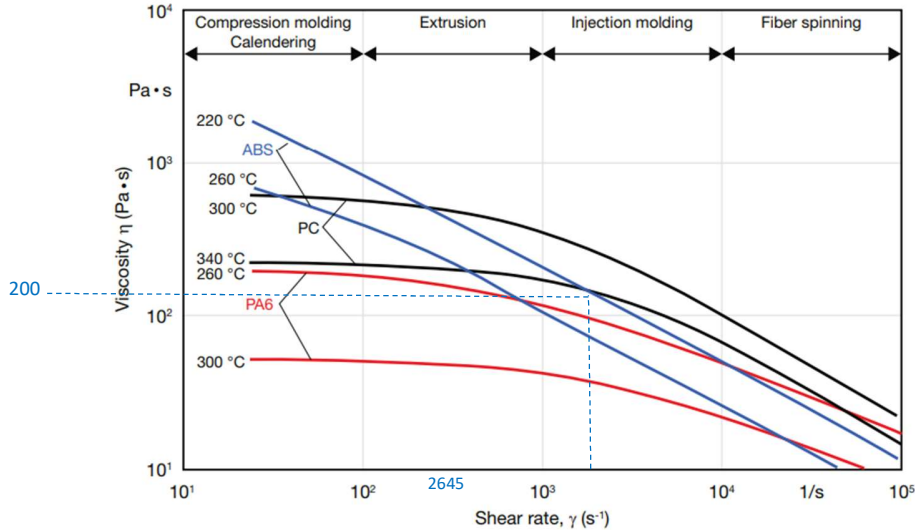


Figura 4-3 Curvas de viscosidad de varios polímeros a diferentes temperaturas. - OSWALD, RUDOLPH, NATALIE RUDOLPH, (2015) POLIMER RHEOLOGY FUNDAMENTALS AND APLICATIONS (P.39), HANSER, MUNICH .

Con todos los valores ahora encontrados Insertando estos en (5) hallamos la diferencia de presión

$$\Delta P = \frac{32 * 200 \text{ Pa}\cdot\text{s} * 0.150 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.002\text{m}}{(0.0004\text{m})^2} = 12.1 \text{ MPa} \cong 123.4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad (11)$$

Con este valor ahora calculamos cual sería la carga que aplicaría el tornillo sobre el rodamiento axial que calcularemos con la siguiente formula

$$F = \Delta P * A \quad (12)$$

Donde F es la fuerza, P es la presión y A es el área sometida a la presión.

Con la ecuación (7) calculamos el área del tornillo que será igual que el área interna del cañón

$$A_{cañon} = \frac{\pi}{4} (1.5cm)^2 = 1.77cm^2 \quad (13)$$

Remplazando en (13)

$$F_{axial} = 123.4 \frac{kgf}{cm^2} 1.77cm^2 = 218 kgf \quad (14)$$

Esta será la fuerza de acción soportada por el rodamiento Axial y la fuerza de reacción sobre el cañón, la unión entre pico y cañón, y la brida a la cual esta agarrado todo el conjunto para poder lograr el caudal deseado.

Capítulo 5: Estudio de distribución de temperaturas

El estudio realizado a continuación pretende ver la distribución de temperaturas en todo el cabezal tomando en cuenta de calor intercambiado con el ambiente y además la conducción térmica interna en la zona del cañón teniendo como objetivo que la temperatura en la zona de alimentación no supere la temperatura de transición vítrea (T_g) del material, para nuestro caso ABS $T_g = 100^{\circ}\text{C}$

Se adoptó en esta primera aproximación al espacio ocupado por pellets como un sólido continuo con las propiedades del ABS facilitando el estudio térmico. El espacio mencionado se muestra en color celeste en la imagen a continuación

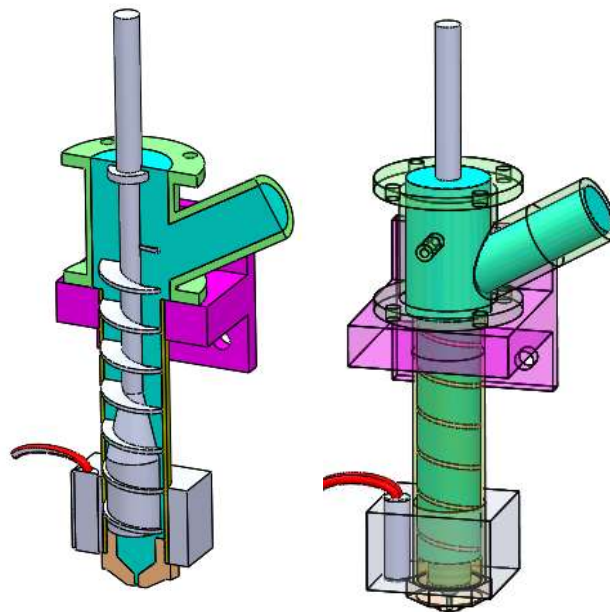


Figura 5-1: Modelo para estudio térmico

Estudio 1: distribución de temperatura con cartucho de 4W

El estudio a realizar es de régimen permanente para tener una idea de la distribución de temperaturas. Se definió un flujo de potencia de 4 W (ver Ecuación (2)) en las caras cilíndricas donde está alojado le cartucho térmico

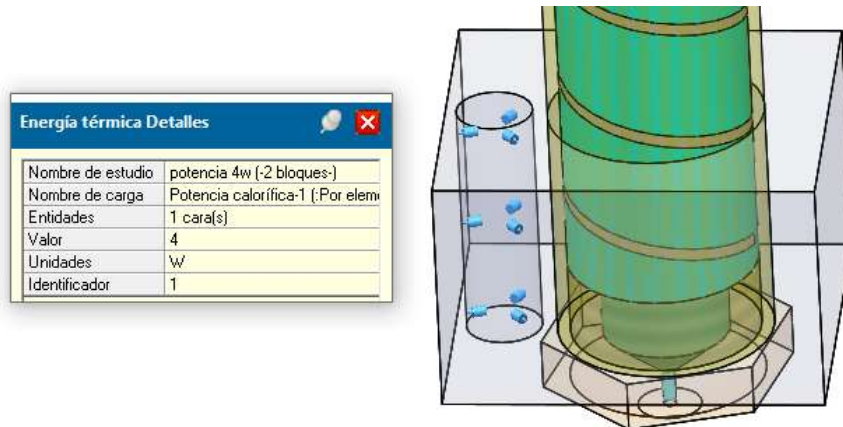


Figura 5-2: Entrada de potencia al sistema

Por ser esta la única fuente de energía la condición restante es la de intercambio de energía con el ambiente que en este caso imponemos a todas las caras expuestas al exterior una condición de convección (Figura 5-3) con coeficiente de transferencia de calor $h = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ que se elige dentro del rango bajo dado en Tabla 5-1 para generar una condición mala de transferencia de calor.

Tabla 5-1: Rango de valores de coeficiente de transferencia de calor por convección del aire

Medio	Coeficiente de transferencia de calor h ($W/m^2 \cdot K$)
Aire (convección natural)	5-25

FUENTE: DASSAULT SYSTEMES. (S.F.). COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN. 2021, JULIO 22,

DE [HTTP://HELP.SOLIDWORKS.COM/](http://help.solidworks.com/) RECUPERADO DE

[HTTP://HELP.SOLIDWORKS.COM/2011/SPANISH/SOLIDWORKS/CWORKS/LEGACYHELP/SIMULATION/ANALYSISBACKGROU
ND/THERMALANALYSIS/CONVECTION_TOPICS/CONVECTION_HEAT_COEFFICIENT.HTM](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/legacyhelp/simulation/analysisbackground/thermalanalysis/convection_topics/convection_heat_coefficient.htm)

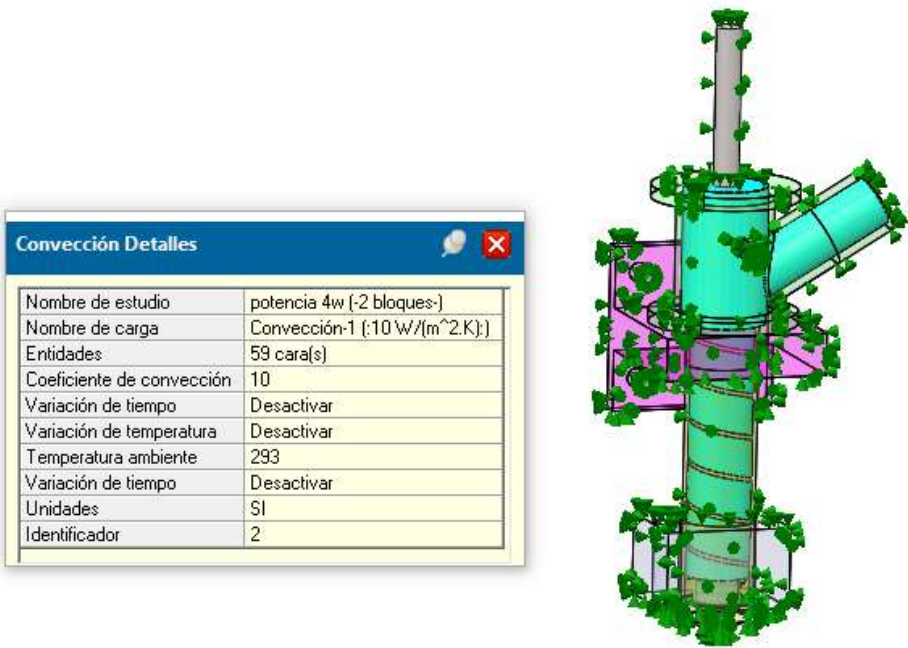


Figura 5-3: Condiciones de convección

Materials

Los materiales utilizados se detallan en la imagen a continuación

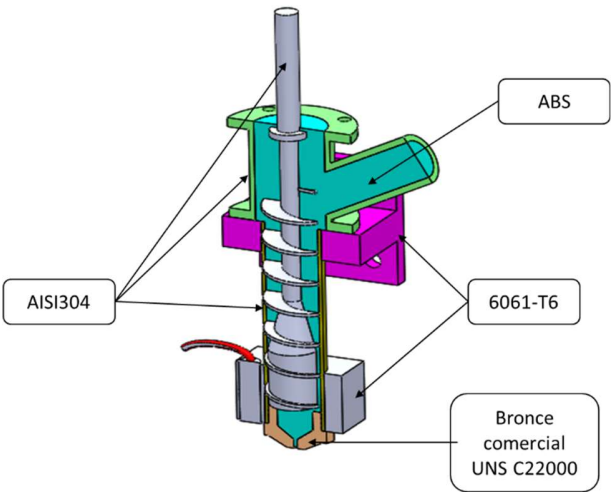


Figura 5-4: Materiales asignados para la simulación

Mallado

El mallado que se aplicó en este primer estudio fue el por defecto sugerido por el programa

Nombre de estudio	potencia 4w (-2 bloques-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	4.27416 mm
Tolerancia	0.213708 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	23487
Número total de elementos	15075
Cociente de aspecto máximo	31.691
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	71
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.889
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:10
Nombre de computadora	FM

Figura 5-5: Parámetros de mallado

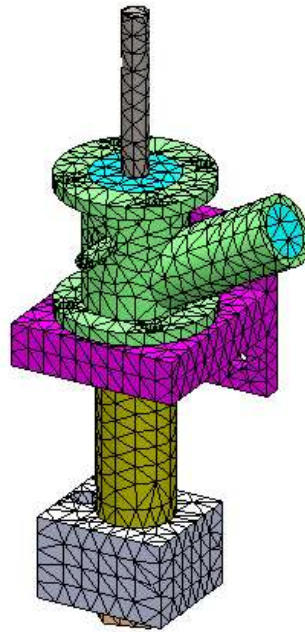


Figura 5-6: Visualización de malla

Resultados de estudio 1

Con todo lo anterior se procedió a ejecutar el estudio dándonos el siguiente resultado mostrado a continuación. En él se aprecia que la temperatura máxima no supera los 65.4°C muy por debajo de 240°C necesarios para el bloque de aluminio, esto se debe al intercambio de calor por convección con el exterior

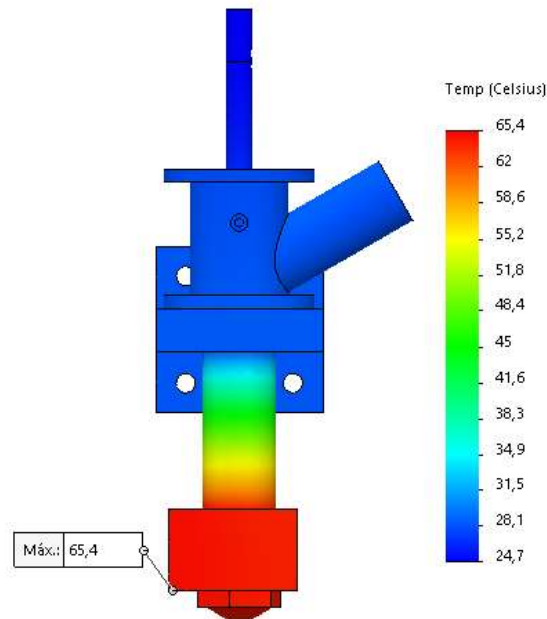


Figura 5-7: Distribución de temperatura con 4W

Estudio 2: flujo de potencia con temperatura constante

Para el estudio 2 de régimen permanente se pretende dejar al cartucho térmico a una temperatura fija de 240°C para ver la distribución de temperaturas y la potencia que fluyen por la pared cilíndrica del bloque donde se aloja el cartucho. Los materiales, la malla y la condición de convección son la mismas que las del estudio anterior.

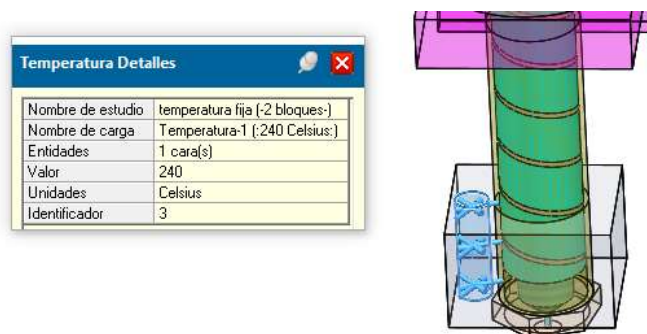


Figura 5-8: Condición de temperatura contante

Resultados del estudio 2

En estos resultados lo que nos interesa ver es donde se da la temperatura $T_g = 100^\circ\text{C}$, por los colores del trazado podemos ver que la zona marcada por línea de puntos está entre los 130°C y 140°C este resultado supera por 30°C la temperatura que queremos para dicha zona.

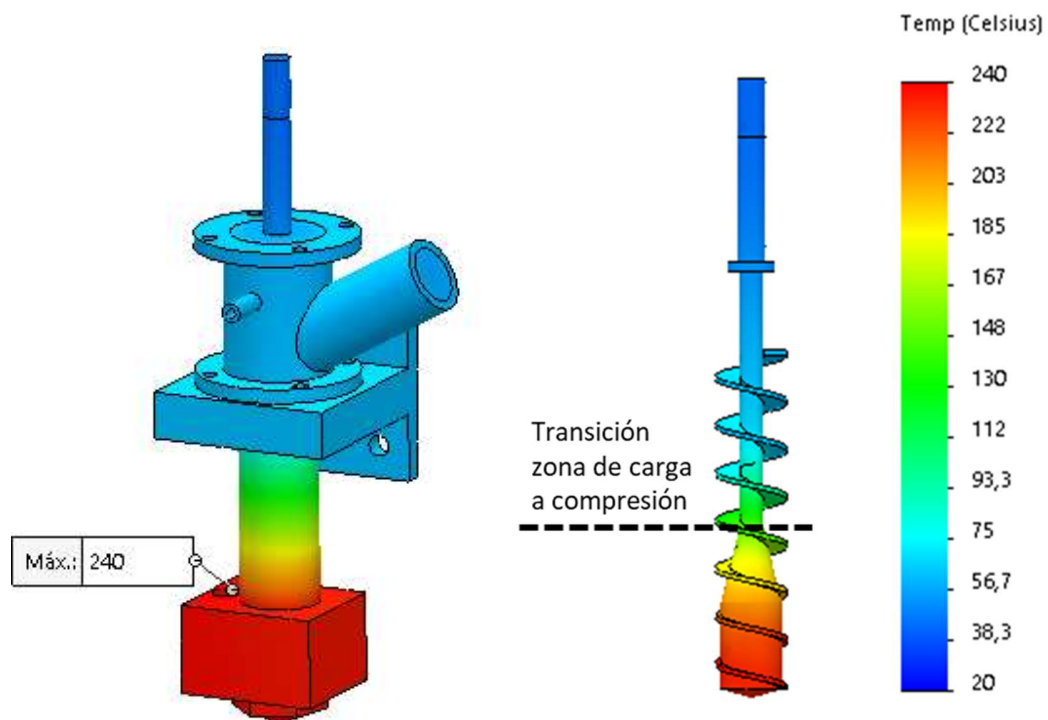


Figura 5-9: Distribución de temperaturas en el cabezal y en el tornillo interior

Para tener mayor certeza de que zona del tornillo del cabezal se encuentra a la temperatura T_g podemos utilizar los trazados que nos ofrece el software utilizado

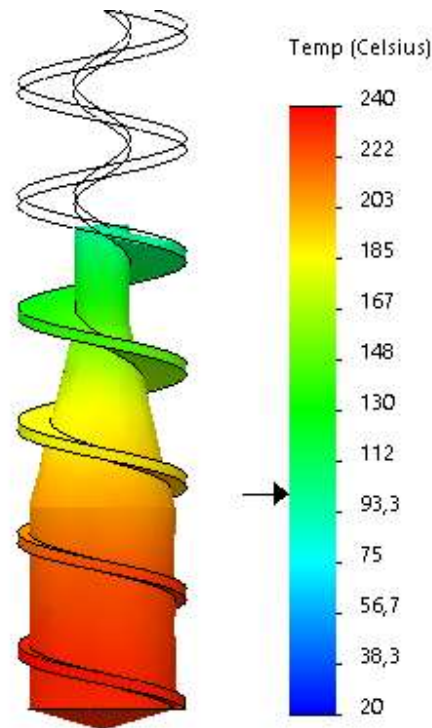


Figura 5-10: Volumen del tornillo que se encuentra por encima de 100°C mostrado en color

Con el resultado anterior vemos que la temperatura T_g se da un paso de rosca por encima de donde debería, por lo que deberemos hacer algo para bajar la temperatura de manera más rápida en dicha zona.

Por otro lado, podemos obtener de los resultados de la simulación el flujo de energía a través de las paredes del alojamiento de la resistencia, este valor es de 18W el cual por haberse calculado en estado estacionario diremos que es el mínimo de potencia necesaria para el correcto funcionamiento.

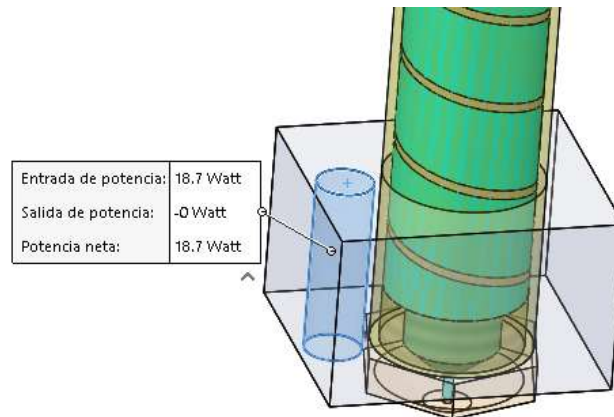


Figura 5-11: Flujo de calor en cara cilíndrica

Estudio 3: convección natural calculada con disipador

Para este nuevo estudio podemos optar por 2 posibilidades, la primera es alargar el cañón y por consecuencia el tornillo, pero esto obviamente aumentaría el tamaño del cabezal y no es lo que queremos por lo que deberemos enfriar la zona. Este enfriamiento lo podremos lograr por medios pasivos o activos, siendo los primeros el agregado de aletas y el segundo el agregado de un forzador de aire.

En particular para este estudio agregaremos un collar de aluminio de 20mm de altura con 8 aletas de 1mm de espesor y 10mm de largo para utilizar la convección natural a nuestro favor

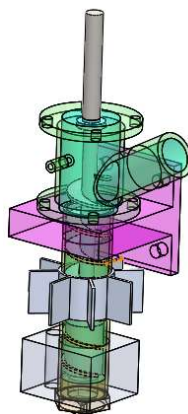


Figura 5-12: Modelo con disipador de aletas verticales

Resultados estudio 3

Los resultados mostrados a continuación muestran que este disipador no parece suficiente, todo lo contrario, comprándolo con el resultado del estudio 2 la temperatura T_g se alcanza un poco más arriba en el tornillo, provocando el efecto contrario al deseado

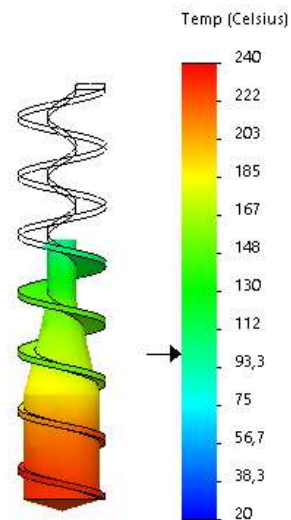


Figura 5-13: Distribución de temperaturas en el tornillo interno.

Estudio 4: convección natural simulada con disipador

Este nuevo estudio se realizó con el módulo FlowSimulation para tener en cuenta la dinámica de convección y ver como esta influye en el resultado. Se importaron todos los materiales de las piezas de estudios anteriores.

Por ser un estudio transitorio se le dio un tiempo de 4 min para evolucionar. En la siguiente imagen se muestra el dominio computacional (caja que rodea el modelo), la malla y sus parámetros. Como condición de borde se impuso una temperatura de 240°C al bloque de aluminio.

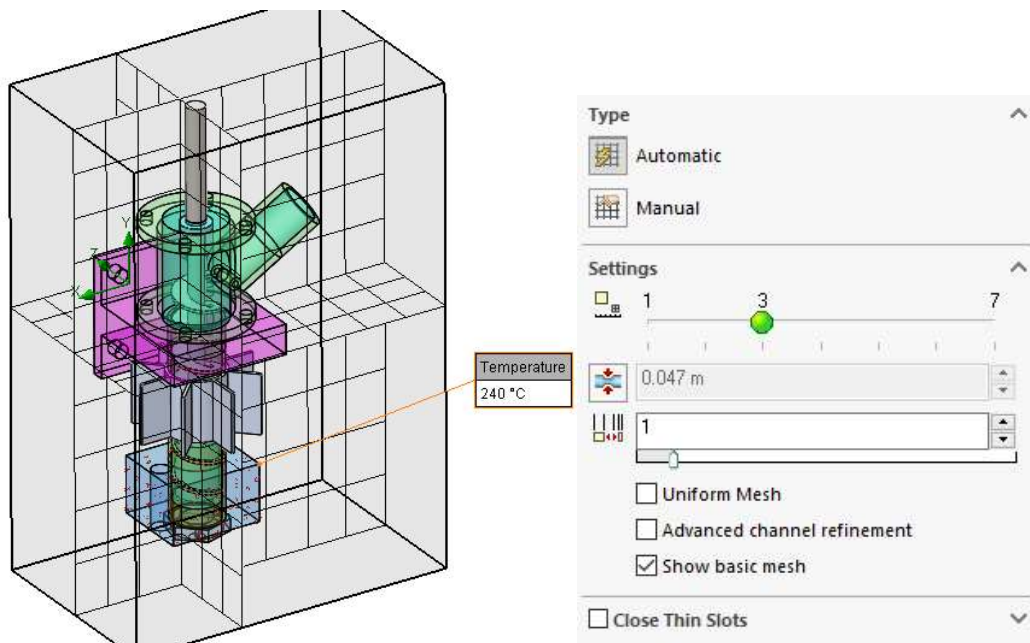


Figura 5-14: Visualización de malla y condición de borde (izq.). Parámetros de mallado (der.)

Resultados estudio 4

El resultado mostrado en la imagen a continuación se tomó a los 240 segundos de la simulación y muestran que la temperatura en la zona de interés es de 130°C, pero lo más importante que logramos ver en este estudio son las temperaturas de las corrientes ascendentes que nos muestran con la escala de colores que estas superan los 100°C en las paredes externas del cañón en la parte superior por lo que el disipador de aluminio

colocado en este estudio actúa en contra de nuestro objetivo ya que el mismo ayuda a calentar el aire alrededor del cañón disminuyendo la eficiencia de transmisión de calor del sistema y por lo tanto empeorando la situación, haciendo que se alcancen los 100°C incluso más arriba en el tornillo que en los estudio sin el dissipador.

Por esto concluimos que un dissipador con convección natural y de aletas verticales no servirá para nuestra aplicación y tendremos que recurrir a convección forzada horizontal como se ve normalmente en las impresoras 3D.

La animación de este estudio se adjunta en un archivo de video entregado en conjunto con este informe con el nombre “Estudio_4_conveccion_natural”.

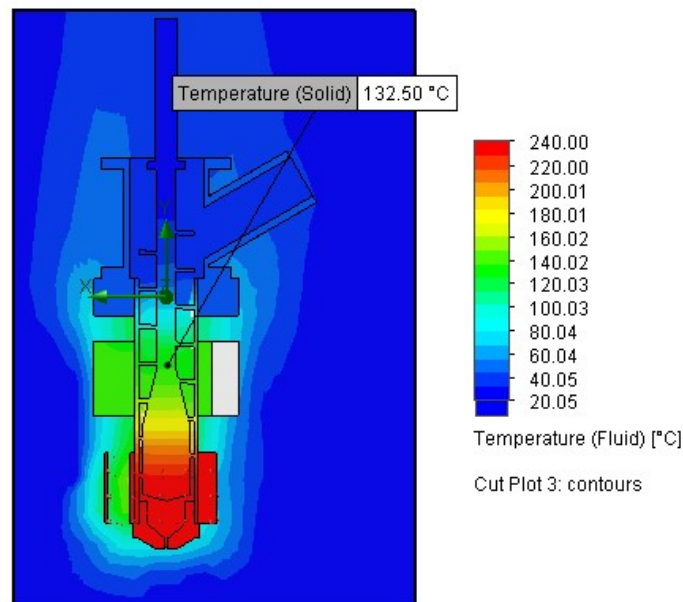


Figura 5-15: Diagrama de temperaturas con anillo dissipador de aluminio y convección natural a los 240 seg.

Estudio 5: convección forzada con dissipador

En este estudio incorporaremos un anillo con aletas horizontales con un flujo forzado de aire para aumentar la capacidad del dissipador y evitar que las corrientes de aire caliente ascendentes afecten la eficiencia. Se modeló por cuestiones de espacio un dissipador de 20mm de altura con anillos de 5 aletas circulares espaciadas 3mm entre sí que sobresalen 10mm del anillo principal y se colocó aleatoriamente arriba de la zona de interés como se

ve en la siguiente figura. A este disipador se le adiciona una corriente de aire de 1m/s proveniente de un ventilador modelado como un ingreso de aire con velocidad.

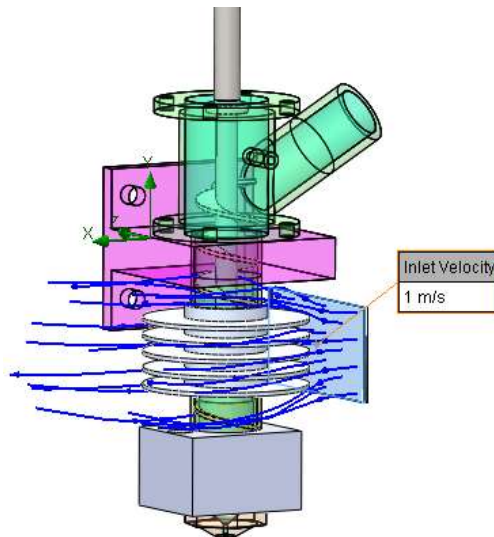


Figura 5-16: Modelo con disipador horizontal con convección forzada

Este nuevo estudio para poder simularlo en un tiempo prudente se definió un paso de tiempo de 0.25seg que no es lo ideal por tener un fluido en rápido movimiento y geometría muy pequeña, pero nos interesa aproximarnos a su comportamiento a largo plazo en este estudio.

Resultados estudio 5

El estudio se ejecutó teniendo como objetivo la estabilización de la temperatura de la zona de interés como se muestra a continuación.

La animación de este estudio se adjunta en un archivo de video entregado en conjunto con este informe con el nombre “Estudio_5_conveccion_forzada”.

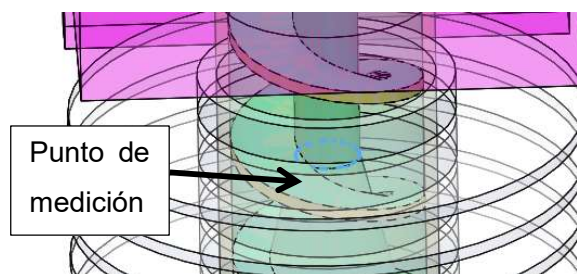


Figura 5-17: Indicación del punto de medición para el objetivo del estudio

El estudio terminó a los 257 seg o un poco más de 4 min en donde la temperatura se estabilizó en 96°C, se muestra a continuación la gráfica de convergencia de temperatura generada por el solver

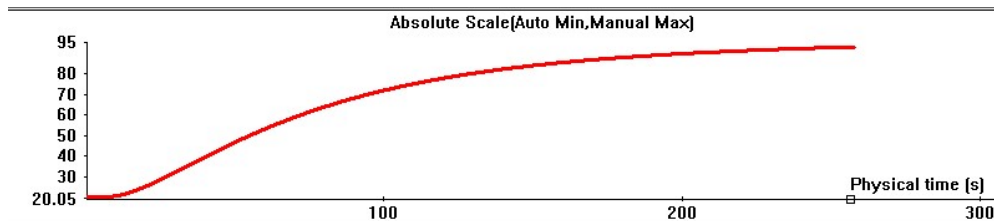


Figura 5-18: Curva de temperatura [°C] vs tiempo [seg] del punto de interés

Pasando al resultado a los 257seg vemos en la ilustración siguiente que nos aproximamos mucho al resultado buscado ya que la temperatura es de 96°C, solo 4°C por debajo de los 100°C ideales de la zona en cuestión.

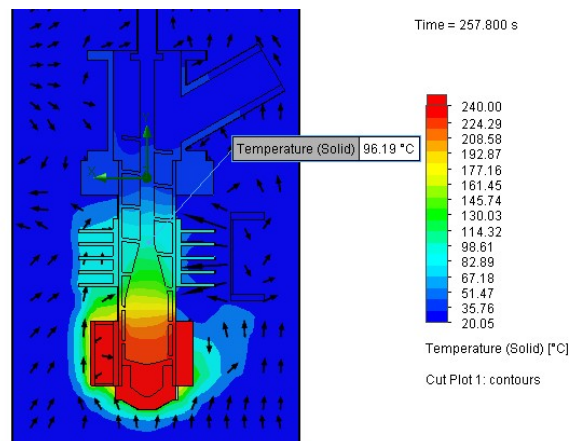


Figura 5-19: Distribución de temperaturas a los 257seg

Estudio 6: convección forzada sin disipador

En este último estudio quitaremos el anillo disipador y solo soplaremos sobre el cañón con las mismas condiciones que en el estudio anterior para ver si es necesario el agregado del anillo disipador

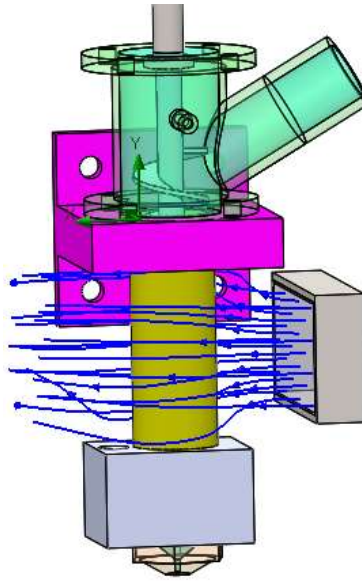


Figura 5-20: Modelo con soplado directo sobre el cañón

Resultados estudio 6

En la imagen siguiente vemos como la temperatura aún no se estabiliza, pero pasados los 200seg está en 123°C con lo cual queda probada la efectividad del anillo disipador y que este es esencial para poder controlar la temperatura en nuestro sistema

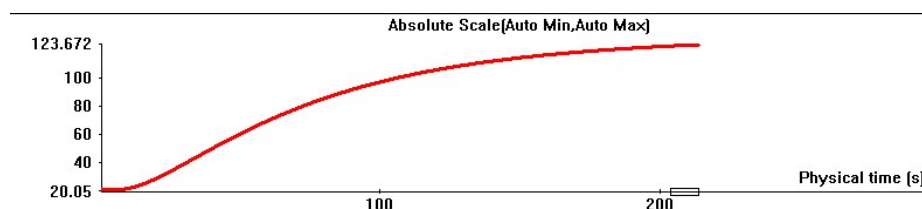


Figura 5-21: Curva de temperatura [°C] vs tiempo [seg] del punto de interés sin disipador

Por último, se muestra a continuación la distribución de temperaturas al final de este estudio, destacándose que, aunque se sopla directamente sobre la superficie del cañón, no se logra extraer la suficiente cantidad de energía consecuencia de la pobre capacidad de transferir calor del acero inoxidable y la poca superficie de intercambio en su exterior.

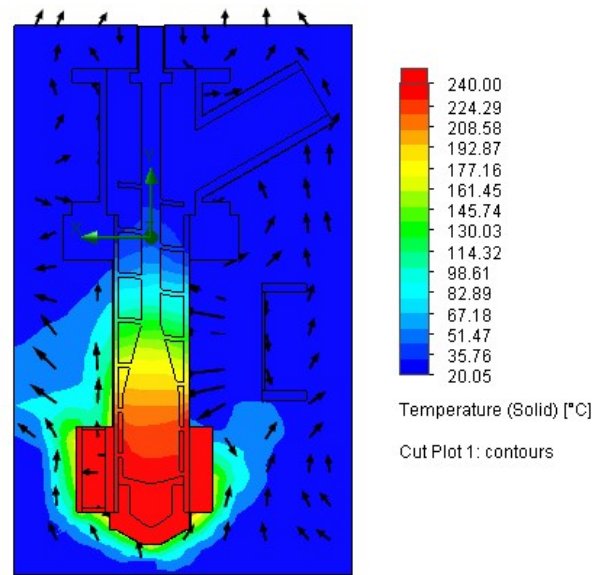


Figura 5-22: Distribución de temperaturas con convección forzada directa sobre el cañón al final del estudio

CONCLUSIONES DE ESTUDIO TÉRMICO

En el estudio 2 pudimos apreciar que la potencia consumida en estado estacionario por el cartucho calefactor será de 18W, un valor que es fácil de conseguir en el mercado ya que los cartuchos térmicos de impresoras están en los 30W a 100W y se usan con sistemas de control para mantener una temperatura estable por lo que el prototipo del punto de vista consumo de potencia es factible.

Por otro lado, se vio muy claramente que los disipadores con aletas verticales empeoran el desempeño del aparato mientras que con la convección forzada y aletas horizontales es posible controlar la temperatura de la zona en cuestión pudiéndose ajustar subiendo o bajando el anillo disipador a voluntad lo que nos da cierta flexibilidad para ajustar el gradiente. Con un estudio adicional vimos que este disipador es esencial para lograr el gradiente de temperaturas deseado ya que al quitarlo el gradiente empeora.

Capítulo 6 : Modelo final

Ya teniendo la verificación por el lado térmico ahora pasamos a las verificaciones por el lado de resistencia mecánica que se realizan en el Anexo D: Cálculo y dimensionamiento de componentes por cuestión de extensión, con estas y otras modificaciones para facilitar la construcción y ensamblaje, el modelo final al cual se llegó se encuentra en (ver Figura 6-1). Se resaltan los cambios más evidentes respecto a la maqueta presentada para la validación con globo de texto en la figura.

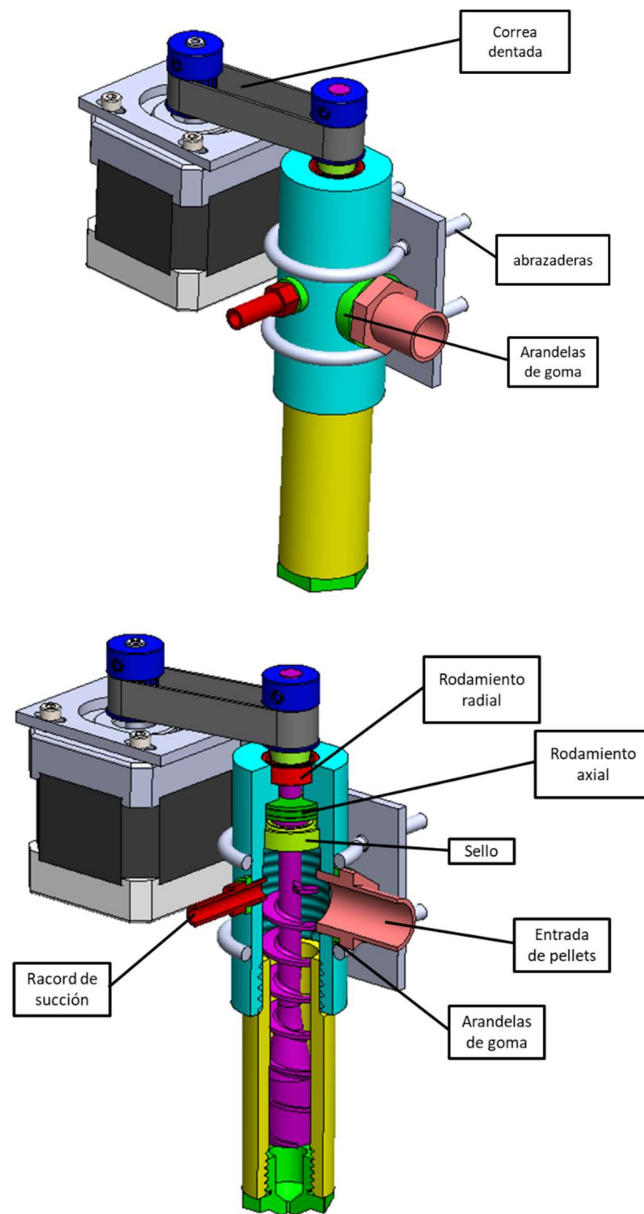


Figura 6-1: Diseño final de extrusor sin componentes eléctricos ni disipador, excepto motor

Con este modelo terminado ahora vemos cómo quedaría ensamblado junto con el carro x de la impresora, bloque calefactor, disipador, ventilador, tolva y bomba de vacío. Véase que se cambió la ubicación de la bomba de vacío para sacar peso del carro principal, y solo dejar una manguera que llega al mismo.

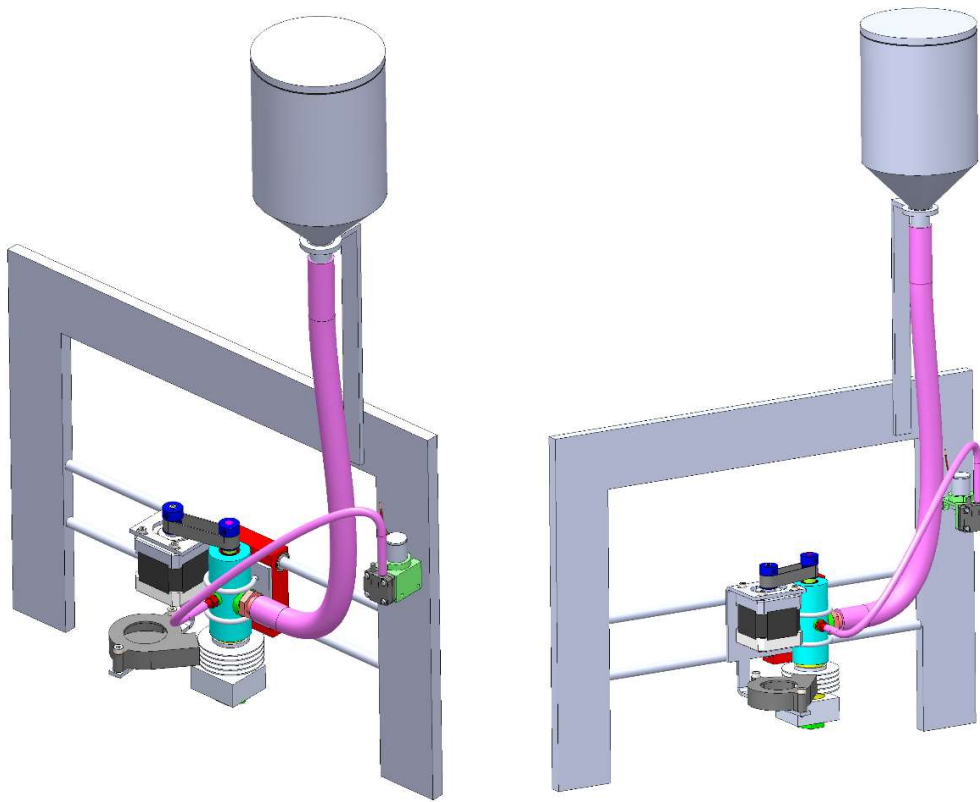


Figura 6-2: modelo final con bloque calefactor, disipador y ventilador incorporados

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Mediante las validaciones propuestas realizadas vemos que el prototipo es completamente factible desde los puntos de vista abordados, habilitando la posibilidad de realizar los estudios experimentales que faltan para terminar de validar el prototipo y dar mayor precisión a los resultados, por ejemplo la presión de extrusión calculada en este informe es comparable con las que se hallan en un sistema hidráulico de maquinaria

pesada lo cual parece un poco alto pero que solo la práctica o un experimento con un viscosímetro para caracterizar el plástico en cuestión y poder tener un cálculo más acertado pueden validar.

Por otro lado, desde el punto de vista de la adaptación a la impresora el prototipo mostrado en este informe tiene una altura de 15cm la cual es comparable con la de los extrusores del tipo directo encontrados en impresoras comerciales por lo que no habría mayores inconvenientes al remplazarlos directamente. El modelo propuesto utiliza tecnología muy similar que se usa en impresión 3D y por ende su sistema de control de temperatura y movimiento se encuentra muy maduro hoy en día y con simples cambios de cableado y configuraciones mínimas el firmware este ya puede funcionar correctamente.

Respecto a la construcción, inevitablemente las piezas más caras y necesarias son de todo el ensamblaje el cañón con sus torneados internos y el tornillo extrusor con su espiral y gran precisión en el diámetro exterior de los filetes, pero que suponemos al ser piezas chicas que su costo sumado al resto de las piezas estará muy por debajo de equipos similares comerciales como los mostrados en el Capítulo 1:.

Por el lado académico me resulto un proyecto que pensé que iba a ser más fácil ya que a la fecha tengo 6 años de experiencia en el mundo de la impresión 3D y pensé que iba a encontrar información rápidamente pero la realidad fue que no, si bien es un campo explotado por el ámbito privado la mayoría de las empresas start ups se han centrado en seguir innovando en la extrusión por filamento FDM y no en el potencial uso directo de pellets por lo que deja la tecnología dentro de las empresas privadas, por un lado demostramos que necesitamos de piezas especiales más caras y caras que un extrusor normal de FDM, además de un secado previo para la máxima performance pero con un posible ahorro del 50% en materia prima se amortizaría rápidamente.

Saco de este proyecto muchos recursos valiosos y experiencias que logre a la fuerza, buscando información en sitios previamente desconocidos, papers y sitios académicos, luego de eso explorar sistemáticamente posibles soluciones por inadecuadas que parezcan y la combinación de las mismas para lograr un espectro más amplio, para luego descartar con un criterio las menos aptas y validar la solución resultante. Estas validaciones realizadas, térmicas y mecánicas, me ayudaron a acercarme mucho mas al

rol de diseñador mecánico y mientras las hacía el pensar en todas las clases de interacciones que estoy dejando de lado para simplificar el modelo y poder aproximarme a un resultado que me provea información útil.

Extraigo de esta experiencia un muy buen repaso y profundización en ciertos temas de la carrera por la cual transité.

Recomendaciones

Se recomienda hacer una tabla de valores de viscosidad dinámica para los materiales disponibles en el mercado local ya que este fue un dato más difícil de hallar y que es clave para el cálculo de presión de extrusión y por consiguiente de dimensionamiento de todas las partes del extrusor. También optimizar la forma del tornillo y mejorar el sistema de vacío como así también integrar sensores para medir la diferencia de presión y humedad. Se recomienda como todo equipo que trabaja con diferencia de temperatura considerable aislar la parte calefaccionada para tener menos pérdidas de calor al ambiente por convección. También se podría buscar el diámetro de manguera correcto por el cual los pellets no se acuñen entre ellos mismos formando atascos en el sistema y si la vibración característica del movimiento del cabezal hace que el material fluya naturalmente o si hay que adosar un vibrador o probar otras posibilidades para mejorar el libre flujo de los mismos. Otra forma de mejorar el secado del plástico también sería investigar la posibilidad de manguera y tolva calefaccionada e incluso con ventilación forzada. Estos y muchos otros aspectos están fuera del alcance de lo presentado en este informe por lo que se los deja como recomendaciones.

Anexo A: extrusión de plástico

El siguiente apartado se encuentra una introducción a la extrusión de plástico, un detalle y descripción de la máquina, así como sus partes internas y su funcionamiento. Este material fue extraído de la fuente ²

Introducción

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa forzar un material a través de un orificio. La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja y continua, de manera tal, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio. En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que, durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, es enfriado. Este proceso de extrusión tiene por objetivo, usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc.

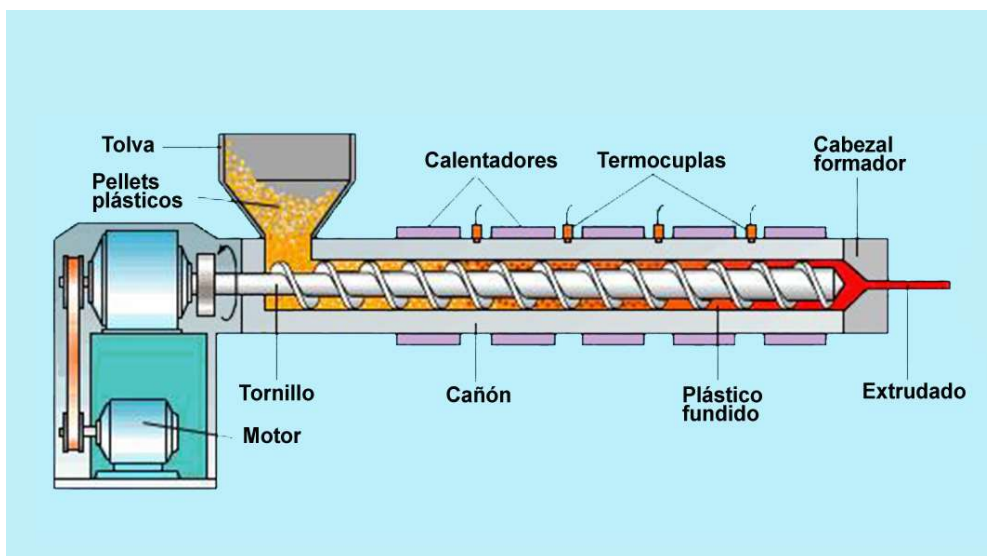


Figura A-1: Esquema de extrusión

² (Tecnología de los Plásticos, Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado)

Descripción del equipo

Tolva:

La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor. Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción. En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo los puentes de material formados y permitiendo la caída del material a la garganta de alimentación.

Barril o Cañón: Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste. La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo. El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido. El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser flujo de líquido o por ventiladores de aire. Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado. Para la mejor conservación de la temperatura a lo largo del cañón y prevenir cambios en la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del cañón con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro. En el diseño de todo cilindro de extrusión se busca:

1. Máxima durabilidad.
2. Alta transferencia de calor.
3. Mínimo cambio dimensional con la temperatura.

En la fabricación de cilindros de extrusión tales exigencias logran ser cubiertas utilizando materiales tales como: [Xaloy 101](#) (para extrusoras de propósito general, procesamiento de PEAD y PEBD), Xaloy 800 (para el procesamiento de PELBD), ó Xaloy 306 (para productos corrosivos, como los copolímeros ácidos).

Husillo: Gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industrial plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión.

Por esto, es la pieza que en alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. Con base al diagrama, se describen a continuación las dimensiones fundamentales para un husillo y que, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora

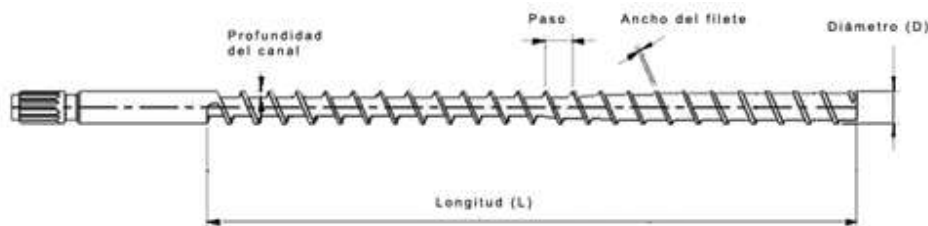


Figura A-2: Características de tornillo o husillo

Cilindros con Zonas Acanaladas:

Son cilindros de extrusión que poseen una superficie interna con canales de formas específicas. Zonas acanaladas ubicadas en la etapa de alimentación de los cilindros de extrusión, suelen ser utilizadas para favorecer el procesamiento de resinas de bajo coeficiente de fricción (Ej.-[HMW PEAD](#) y [PP](#)). Para ser transportado hacia adelante, el material no debe girar junto con el tornillo, o al menos debe girar a una menor velocidad que el tornillo. La única fuerza que puede evitar que el material de vueltas junto con el tornillo y, por tanto hacer que el material avance a lo largo de la camisa, es la fuerza de arrastre o fricción entre el material y la superficie interna de la camisa. A mayor fricción menor rotación del material junto con el tornillo y, por lo tanto, más movimiento hacia delante. El caudal se hace tanto mayor cuanto mayor sea el coeficiente de rozamiento del sólido con la carcasa con respecto al del sólido con el eje del tornillo. Por ello las carcasas de las extrusoras en la sección de alimentación suelen “ranurarse” según las generatrices del cilindro.



Figura A-3: Sección transversal de las zonas de alimentación acanaladas

Existe un variado diseño de zonas de alimentación acanaladas; sin embargo, las de canales de sección cuadrado maximizan el volumen de material alimentado. Las zonas de alimentación acanaladas permiten controlar el coeficiente de fricción polímero-cilindro mediante la geometría reduciendo la sensibilidad con respecto a la temperatura y las propiedades termodinámicas de las resinas. Por otro lado, las zonas de alimentación acanaladas permiten incrementar el volumen de la sección de alimentación, acelerando así la fusión; con lo que se logran importantes aumentos en el caudal de extrusión (ver tablas 1 y 2). Con mayores precauciones que con los extrusores tradicionales, las secciones de alimentación acanaladas deben mantenerse refrigeradas y aisladas del cilindro de extrusión; para favorecer el desplazamiento axial del polímero.

Tabla A-1: Caudales de extrusión de PEBD para maquinas con sección de alimentación lisa y acanalada.

Diámetro del Cilindro (mm)	Zona de Alimentación Lisa		Zona de Alimentación Acanalada	
	Caudal/revolución (kg/h.min ⁻¹)	Caudal (kg/h)	Caudal/revolución (kg/h)	Caudal (kg/h)
60	0.6 a 0.7	140	0.9 a 1.0	220
90	1.7 a 1.9	300	2.6 a 2.8	450
120	3.2 a 4.2	470	5.0 a 5.2	650
150	7.0 a 8.0	760	8.0 a 8.5	840
200	15 a 17	1200	18 a 20	1500

Tabla A-2: Caudales de extrusión de PP para maquinas con sección de alimentación lisa y acanalada.

Diámetro del Cilindro (mm)	Zona de Alimentación Lisa		Zona de Alimentación Acanalada	
	Caudal/revolución (kg/h.min ⁻¹)	Caudal (kg/h)	Caudal/revolución (kg/h)	Caudal (kg/h)
60	0.5	120	1.20	180
90	1.8	250	2.33	280
120	3.0	400	5.00	520
150	6.0	600	8.50	1500

En los cilindros con zonas de alimentación lisas (convencionales) las etapas de dispersión y mezclado del tornillo se encuentran localizadas en la zona de dosificación (última sección del tornillo); lo cual frecuentemente genera merma en la producción. En cilindros acanalados, los mejores resultados se han obtenido ubicando las etapas de mezclado a dos tercios (2/3) de la longitud del tornillo. Esta ubicación promueve la dispersión de aglomerados y la finalización de la fusión.

Control de la temperatura en los cilindros:

El calentamiento del cilindro se produce, casi exclusivamente, mediante resistencias eléctricas.

El sistema de calentamiento de la extrusora es responsable de suministrar entre un 20-30% del calor necesario para fundir la resina. Para suministrar el calor requerido, el calentamiento suele ser de 25 a 50 vatios/in² (38750 a 77500 W/m²).

Sistema de enfriamiento del cilindro:

Aunque pueda lucir contradictorio, cada zona de calentamiento del tornillo de la extrusora está acompañada, en la mayor parte de los equipos comerciales, de un ventilador el cual permite el control de la temperatura eliminando calor de la extrusora mediante el flujo de aire sobre la superficie requerida. Los ventiladores son accionados por controladores de temperatura que comandan la operación de los calefactores eléctricos. Los ventiladores entran en operación cuando la temperatura de una zona supera el punto prefijado, por efecto de:

- a. La transferencia excesiva de calor por parte de la resistencia (Ej.- Durante el arranque de la máquina).
- b. La generación excesiva de calor por parte de los elementos de mezclado presentes en el tornillo de la extrusora.

La temperatura de extrusión sólo puede ser controlada de manera precisa mediante la acción combinada de las bandas de calentamiento eléctrico y los ventiladores de cada zona.

Importancia de la temperatura en la fase de alimentación de la resina:

Con la mayor parte de los materiales poliméricos, y en especial las poliolefinas, es necesario mantener la temperatura de la zona de alimentación al tornillo, conocida como "garganta de alimentación", al menos a 50°C por debajo de la temperatura de fusión del polímero. Una temperatura muy baja en la zona de alimentación impide que la fusión de la resina produzca la adhesión de la misma a la superficie del tornillo; minimizando el flujo de material por arrastre, y por lo tanto el caudal extruido. Generalmente, el uso de agua corriente permite mantener la temperatura de la garganta en los límites deseados ($T_m - 50^\circ\text{C}$); sin embargo, en ambientes calientes y con equipos de alto caudal de producción puede requerirse el uso de agua enfriada en torres o incluso, refrigerada.

El Motor:

El motor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla. Los motores incorporados en las líneas de extrusión son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 V. Las extrusoras modernas emplean motores DC (corriente continua), ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de la velocidad. Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb/h de caudal, sin embargo para las aplicaciones de alto requerimiento de mezclado esta relación puede llegar a ser de 1HP por cada 3 a 5 lb/h. La velocidad alcanzada por los motores resulta más elevada que la requerida por el tornillo. Las cajas reducen la velocidad hasta en un 20:1.

El Cabezal:

El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extrudado. De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son:

Plato rompedor y filtros:

Constituyen el punto de transición entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extrudado. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del extrudado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc.



Figura A-4: Plato rompedor y filtros

En lo que respecta a su diseño, el plato rompedor no es más que una placa cilíndrica horadada. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas con acero inoxidable, ya que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas.

Torpedo: Algunos cabezales de extrusión suelen presentar en el ducto de acople entre la extrusora y el cabezal, un elemento que contribuye con la función del plato rompedor (modificar el patrón de flujo en espiral a uno longitudinal). Por su geometría, a este dispositivo se le suele denominar torpedo.

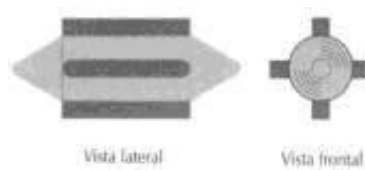


Figura A-5: Esquema de un torpedo de un cabezal de extrusión de película tubular

Boquilla: La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extrudado. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. Los diseños actuales de boquillas presentan dos secciones claramente definidas. La primera de estas secciones es conocida como: cámara de relajación; mientras que la segunda puede ser llamada cámara de salida (die land). La cámara de relajación de la boquilla tiene como propósito producir la desaceleración del material e incrementar el tiempo de residencia en la boquilla de manera tal que el polímero relaje los esfuerzos impartidos por el paso a través de los paquetes de filtros y el plato rompedor. La cámara de descarga (Die land) produce el formado del perfil deseado con las dimensiones requeridas. Los parámetros básicos para la especificación de una boquilla son: El diámetro y la abertura de la salida. Adaptadores: Son requeridos cuando la boquilla no es diseñada específicamente para un determinado extrusor. Debido a que los fabricantes de extrusoras y boquillas no siempre son los mismos, el uso de adaptadores suele ser común.

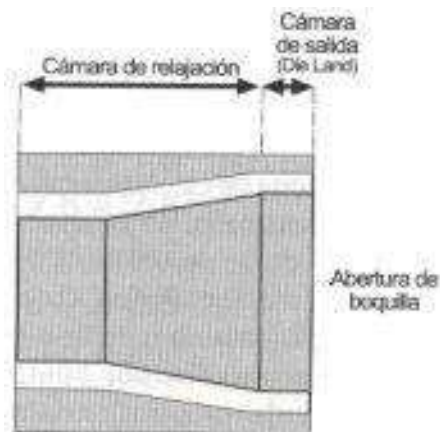


Figura A-6: Sección de una boquilla circular de extrusión.

Alabes o Filetes o Paleta Pistón: Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que éstos tengan, determinarán el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir del equipo. En un tornillo de extrusión se pueden distinguir tres zonas características: zona de alimentación, zona de compresión y la zona de dosificación

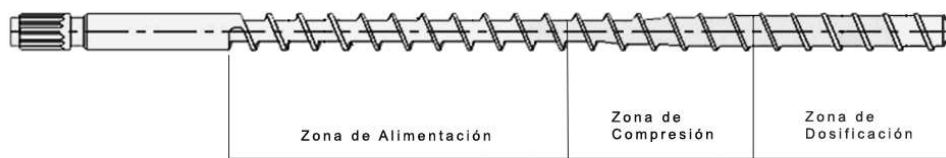


Figura A-7: Zonas del tornillo

Zona de Alimentación: En esta parte, los filetes (distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo) son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del extrusor, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido. **Zona de compresión:** los filetes del tornillo decrecen gradualmente (compactación) y se expulsa el aire atrapado entre los pellets. Cumple la función de fundir y homogenizar el material. **Zona de dosificación:** Ejerce presión sobre el material para dosificarlo hacia el cabezal y garantiza que el material salga de la extrusora homogéneo, a la misma temperatura y presión.

Relación de compresión y relación R/L

a) Relación de Compresión: Como las profundidades de los alabes no son constantes, las diferencias que diseñan dependiendo del tipo de material a procesar, ya que los plásticos tienen comportamientos distintos al fluir. La relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 en ciertos materiales.

b) Longitud: Tienen una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del husillo y consecuentemente la del extrusor, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina. Esto significa que operando dos extrusores en las mismas condiciones de rpm. Y temperatura que sólo se distingan en longitud no tenga capacidad de fundir o plastificar el material después de recorrer todo el extrusor, mientras que el extrusor de mayor longitud ocupará la longitud adicional para continuar la plastificación y dosificará el material perfectamente fundido, en condiciones de fluir por el dado. Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad de mezclado y homogeneización del material. De esta forma, en un extrusor pequeño la longitud es suficiente para fundir el material al llegar al final del mismo y el plástico se dosifica mal mezclado. En las mismas condiciones, un extrusor mayor fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo homogéneo. Esto es importante cuando se procesan materiales pigmentados o con masterbatch de cargas o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto.

c) Diámetro: Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina generalmente crece en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en Kg/hr es presumiblemente superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud de husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

Como consecuencia de la importancia que tienen la longitud y el diámetro del equipo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbre especificar las dimensiones principales del husillo como una relación longitud / diámetro (L/D). Comercialmente las relaciones L / D más comunes van desde 16:1 a 32:1. Fuera de este rango también está disponible.

Anexo B: Extensión sobre conflicto

Una impresora de tipo FDM necesita de un material en forma de filamento calibrado con una excelente tolerancia dimensional y que este se encuentre libre de humedad, lograr dichos requerimientos tiene impacto monetario el precio final del producto. Para lograr lo mismo resultado con pellet que son hasta 50% más baratos

para que la máquina pueda procesarlo sin problemas y no generen defectos por sobre-extrusión o sub-extrusión, ya que las maquinas no censan el diámetro del material, sino que este es cargado como un parámetro fijo.

Esto trae como consecuencia que los diferentes materiales y colores que uno quisiese imprimir tiene que ser prefabricados por las empresas productoras de filamento por lo que la disponibilidad está sujeta a la demanda que la empresa recibe de sus clientes, marketing y cuestiones tecnológicas del procesamiento del material.

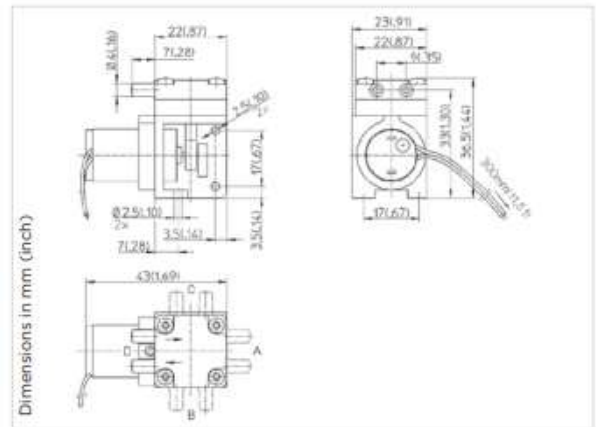
Teniendo lo anterior en cuenta si fijamos la vista en la industria de extrusión de plástico estos trabajan con materia prima granulada directa de fábricas de plástico de cualquier parte del mundo lo que les da la ventaja a la hora de elegir materiales y colorear sus productos utilizando pigmentos a gusto, así como agregar contenido de fibras o partículas destinadas a aumentar propiedades mecánicas de la pieza. Todo esto es posible gracias a que las extrusoras de plástico comercial toma plástico en forma de pellets, los funden e inyectan atreves de un dado o boquilla con el perfil adecuado.

Anexo C: Hoja de datos de bomba de vacío

Tabla C-1: Características de la bomba de vacío utilizada

Diaphragm Pump **3003 VD DC**

Flow	1000 ml/min
Max. pressure	650 mbar
Max. vacuum	38 %



PNEUMATIC DATA				
Description:		3003VD/0.7/E/DC	3003VD/0.7/E/DC	3003VD/0.7/E/DC
Part number	4.5 V 6.0 V 12.0 V	30030506	30030511	30030509
Max. flow		850 ml/min	850 ml/min	1000 ml/min
Max. intermittent duty		650 mbar	650 mbar	650 mbar
Max. continuous pressure		200 mbar	200 mbar	200 mbar
Max. restart pressure		200 mbar	200 mbar	200 mbar
Max. vacuum		38 %	38 %	38 %
Max. restart vacuum		20 %	20 %	20 %

Anexo D: Cálculo y dimensionamiento de componentes

Piezas a dimensionar

Para el dimensionamiento del prototipo comenzaremos dimensionando las partes más críticas que definen también el esfuerzo en los demás componentes (componentes en Figura D-1), en nuestro caso el tornillo, el cañón y el pico extrusor son los encargados de soportar la presión del plástico en la zona de dosificación transfiriendo las fuerzas a los demás componentes por medio de los rodamientos a la montura superior y mediante tracción del cañón a la brida de montaje, haciendo que la cámara doble brida impida la separación de todo el conjunto.

Para el direccionamiento se tomará como objetivo tener un factor de seguridad (FOS) de 1.5 ya que este dispositivo no experimenta cargas de impacto

Las piezas a dimensionar son las siguientes marcadas en la imagen siguiente

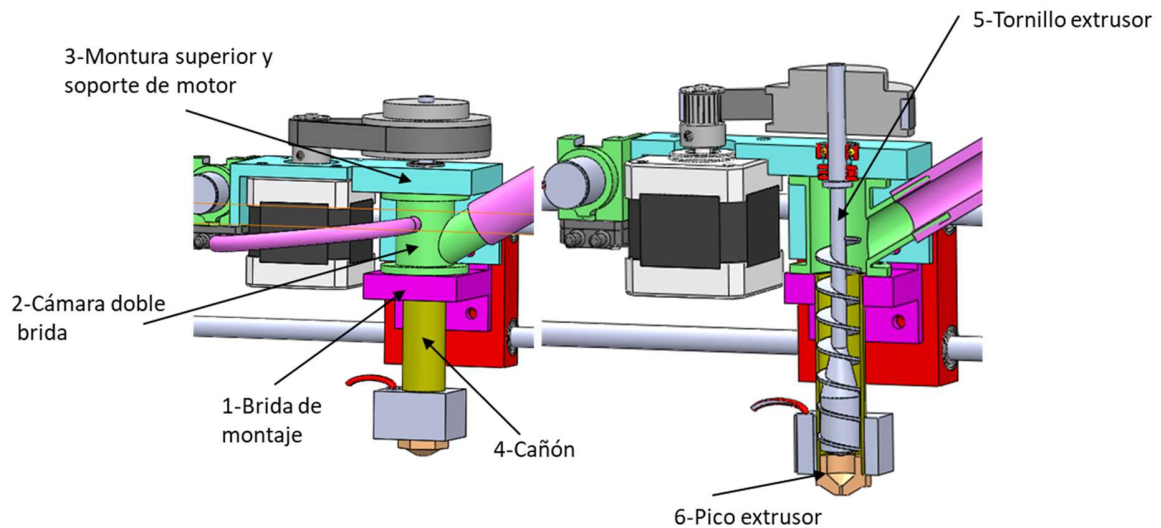


Figura D-1: Numeración de piezas a calcular

Cálculo del tornillo extrusor

Para el cálculo del tornillo utilizamos un cálculo preliminar para determinar el diámetro más pequeño a compresión del tornillo sabiendo el material del mismo mostrado en Tabla D-1 Parámetros de la simulación y el FOS=1.5

$$\phi_{min} = \sqrt{\frac{4 * F * FOS}{\pi * \sigma_{adm}}} = \sqrt{\frac{4 * 218kg * 9.8 \frac{N}{kg} * 1.5}{\pi * 208.8 \frac{N}{m^2}}} = 0.00442m \approx 4.42mm \quad (15)$$

Con el diámetro introducido al modelo realizamos una simulación con los siguientes estados de sollicitación y geometría fija en el apoyo del rodamiento axial del tornillo

Tabla D-1 Parámetros de la simulación

Material	SAE304	
$\sigma_{fluencia}$	206807000	N/m ²
Presión	123	kg/cm ²
Area cañon	1.76	cm ²
F axial	218	kg

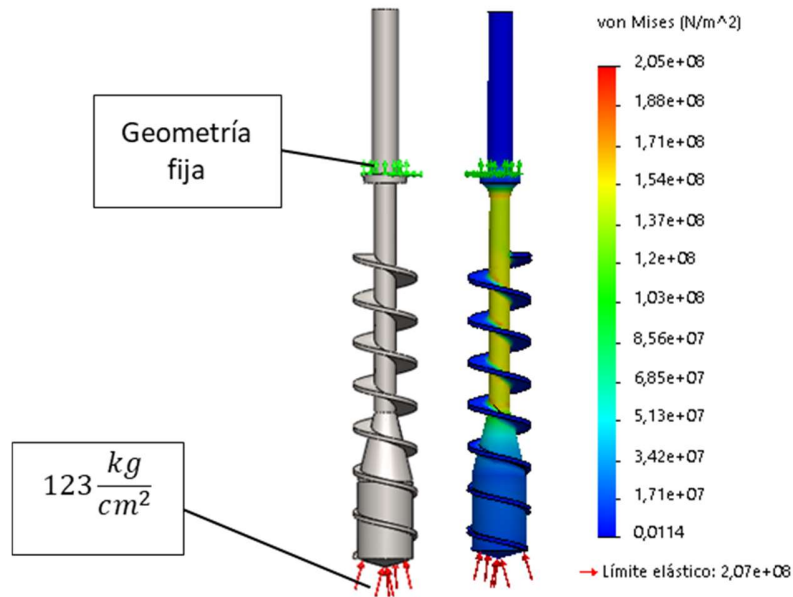


Figura D-2: Estado de sollicitación del tornillo (izq.), resultados de la simulación(der)

Vemos en la simulación que las tensiones llegan muy cerca de las de fluencia del material en el vástago de la zona de alimentación. Realizamos un estudio de FOS y concluimos que la pieza tiene un mínimo FOS de 1.25 con lo que se la considera apta para el trabajo ya que la misma no está sometida nunca a cargas fluctuantes por encima de su $\sigma_{admisible}$

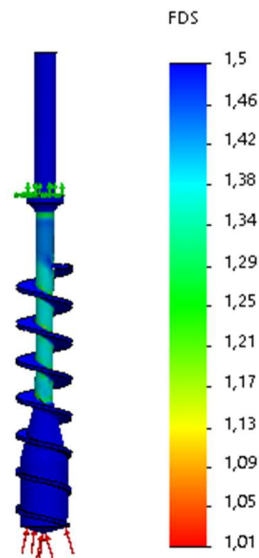


Figura A-4-3: FOS (izquierda)

Cálculo del torque en tornillo

Comenzamos con el modelo de tornillo descrito en (Tomassini, (s.f)) donde se calcula la tasa de corte $\dot{\gamma}$ entre dos paredes cilíndricas con una estacionaria y otra móvil separadas por el espesor de líquido H como se muestra en la Figura A-4 es

$$\dot{\gamma} = \frac{V_i - V_o}{H} = \frac{2\pi}{60} N R_1 \quad (19)$$

Donde V_i es la velocidad tangencial del cilindro móvil, V_o es la velocidad del cilindro estacionario (velocidad cero), H es la distancia entre las paredes cilíndricas, N es la velocidad de giro en RPM, R_1 es el radio del cilindro móvil y

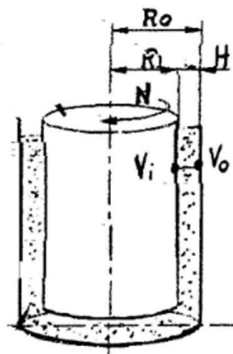


Figura D-4 modelo de cilindro

Con esta forma de cálculo en mente pasamos al modelo de tornillo en la Figura D-5 donde vemos que existen dos zonas bien definidas donde se da el corte del fluido, estas zonas son entre el filete del tornillo y el cañón mientras que la otra es entre el fondo del filete o canal y el barril

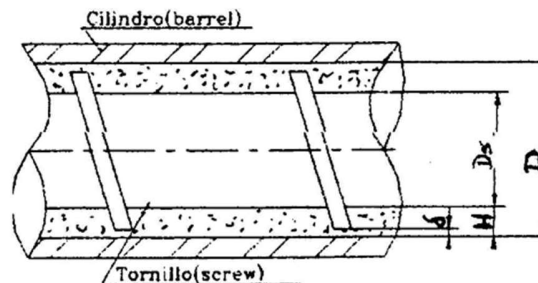


Figura D-5 Modelo de tornillo

Con el modelo de cilindro aplicado ahora a los dos diámetros de interés D_s y $D_s + 2(H - \delta)$ tenemos dos tasas de corte

$$\dot{\gamma}_{canal} = \frac{2\pi}{60} N \left(\frac{D}{H} - 2 \right) \quad (20)$$

$$\dot{\gamma}_{filete} = \frac{2\pi}{60} N \left(\frac{D}{\delta} - 2 \right) \quad (21)$$

Donde D_s es el diámetro interno del tornillo en la zona de dosificación, H es la altura del canal y δ es el juego entre el filete del tornillo y el cañón o camisa. En nuestro modelo la zona de dosificación $H = 1mm$ de altura y el juego recomendado es $\delta = 0.001D$, en nuestro caso $\delta = 0.001 * 15mm = 0.015mm$.

Antes de calcular la tasa de corte necesitamos la velocidad de giro del tornillo. Sabiendo que el volumen en una revolución del canal 10mm de ancho y 1mm de profundidad es de $396 \frac{mm^3}{rev}$ y que para lograr el caudal deseado de $19 \frac{mm^3}{seg}$ la velocidad de giro será de

$$\omega_{giro} = \frac{19 \frac{mm^3}{seg}}{396 \frac{mm^3}{rev}} = 0.048 \frac{rev}{seg} \approx 2.87RPM \quad (22)$$

Ahora con estos valores calculamos las tasas de corte

$$\dot{\gamma}_{canal} = \frac{2\pi}{60} 2.87RPM \left(\frac{15mm}{1mm} - 2 \right) = 1.95 \text{ seg}^{-1} \quad (23)$$

$$\dot{\gamma}_{filete} = \frac{2\pi}{60} 2.87RPM \left(\frac{15mm}{0.015mm} - 2 \right) = 300 \text{ seg}^{-1} \quad (24)$$

Vemos que la tasa de corte en el filete es 2 órdenes de magnitud superior que la del canal.

Ahor para calcular la tensión de corte en el cañón para luego calcular el torque necesitamos los valores de viscosidad del plástico a las tasas de corte, por suerte ya lo tenemos en Figura 4-3 que se vuelve a traer para calcular los nuevos valores.

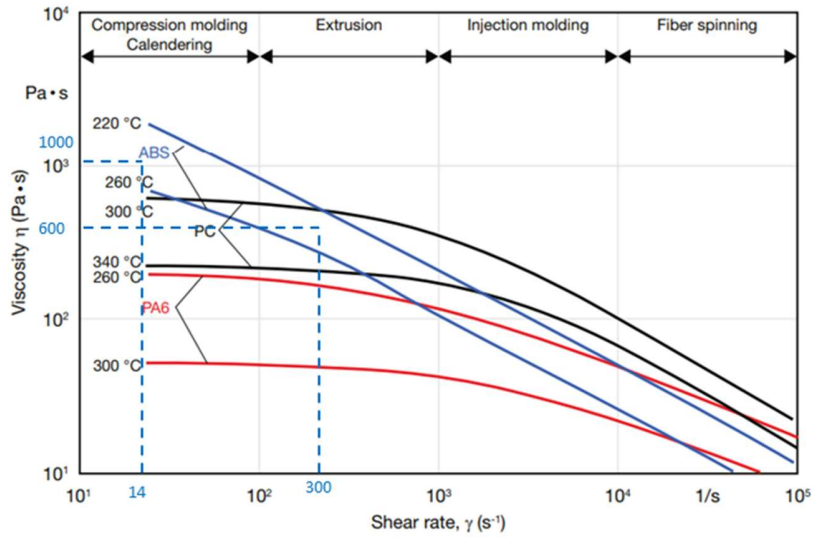


Figura D-6 Valores de viscosidad para las tasas de corte del canal y el filete

Con esto ahora tenemos $\eta_{canal} = 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ y $\eta_{filete} = 300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ y podemos calcular es el fuerza de corte viscoso $\tau_{viscoso}$ en el tornillo.

$$\tau_{viscoso} = \eta \dot{\gamma} \quad (25)$$

Remplazando correspondiente para cada uno

$$\tau_{viscoso \text{ canal}} = 1000 \text{ Pa}\cdot\text{s} \cdot 14 \text{ seg}^{-1} = 14000 \text{ Pa} \quad (26)$$

$$\tau_{viscoso \text{ filete}} = 600 \text{ Pa}\cdot\text{s} \cdot 300 \text{ seg}^{-1} = 180000 \text{ Pa} \quad (27)$$

Con estos valores solo necesitamos las áreas del tornillo a las que están sometidas estas tensiones de corte, estos los obtenemos del modelo CAD

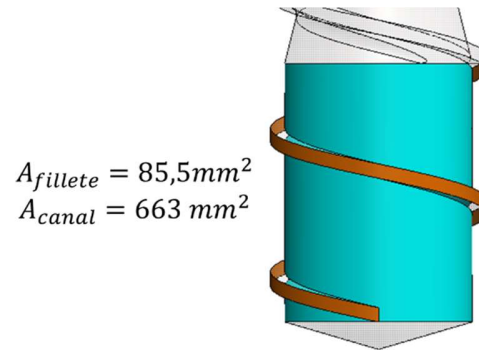


Figura D-7 Área de filete en marrón y área del canal en celeste

Ahora calculamos las fuerzas de corte y torque generadas por cada superficie como

$$T = \tau A r \quad (28)$$

Donde T es el Torque ejercido y r la distancia a la cual está la superficie del eje de giro, reemplazando los datos obtenidos y luego sumando los torques obtenemos

$$T_{canal} = 14000 \text{ Pa} * 663 \text{ mm}^2 * \frac{1}{1000^2 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2}} * \frac{6.5 \text{ mm}}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} = 0.06 \text{ Nm} \quad (29)$$

$$T_{fillete} = 180000 \text{ Pa} * 85.5 \text{ mm}^2 * \frac{1}{1000^2 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2}} * \frac{15 \text{ mm}}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} = 0.23 \text{ Nm} \quad (30)$$

$$T_{total} = T_{canal} + T_{fillete} = 0.29 \text{ Nm} \approx 2.9 \text{ Kgf.cm} \quad (31)$$

Se destaca que el torque aportado por el canal pese a tener más área es de 20% del total el cual claramente no es despreciable.

Con este dato calculado lo sumamos a la simulación anterior y vemos los resultados en Figura D-8, donde se aprecia que se aumentó el tamaño del vástago a 6mm por problemas de superación de tensiones, esto resolvió el problema, pero quedan rastros de tensiones mayores en lugares puntuales por singularidades de la malla de cálculo siendo del 1% del volumen de la pieza, pero que no afectarán a la pieza real. Con esto la pieza tiene un factor de FOS=1.5 deseado

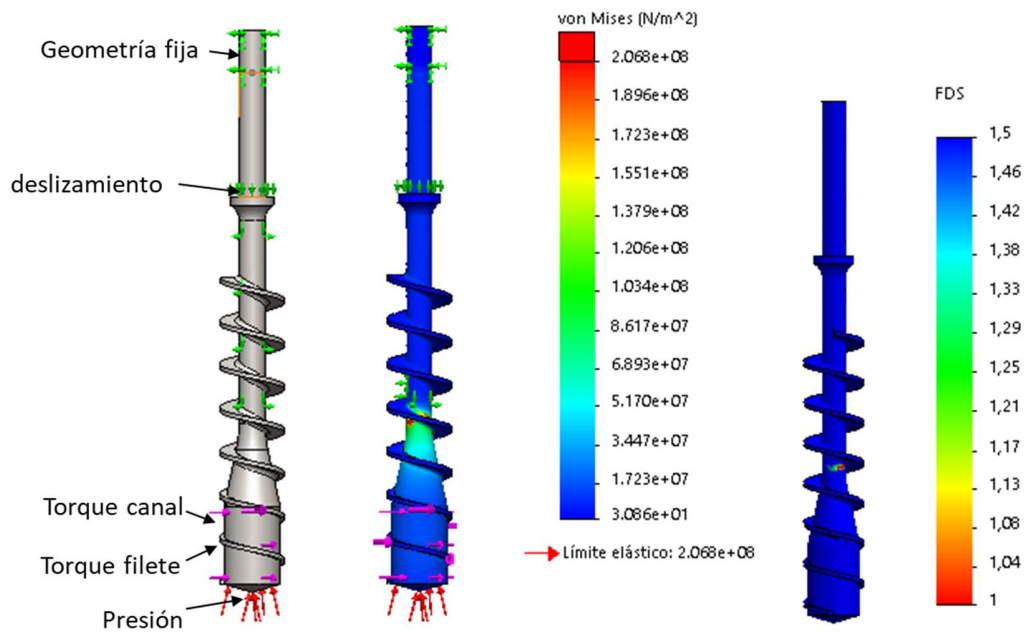
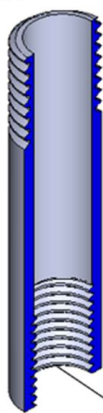


Figura D-8 Estado de solicitación (izq.), solución y tensiones (medio), FOS (der)

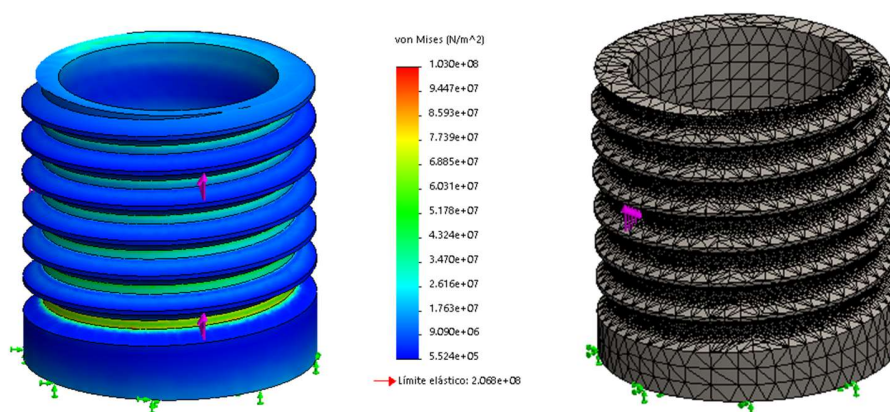
Dimensionamiento del cañón

Teniendo ya la presión del apartado anterior ahora podemos dimensionar las roscas que sujetan el cañón al pico de extrusión y a la cámara de doble brida, se llegó a la conclusión mediante cálculos preliminares, y modificaciones del modelo que con un caño de 20mm de acero inoxidable SAE304 de diámetro exterior 20mm e interior 15mm, y una rosca externa M20x2.5x20 para sujetar contra la brida base doble y una rosca interna en el otro extremo M16x2x20 para conectar el pico se logran las características requeridas de funcionalidad y resistencia como se muestra en las simulaciones siguientes

M20x2,5x20



M16x2x15

Figura D-9 Vista en corte de modelo de cañón con roscas

Nombre de estudio	Análisis estático 3 {-rosca corta pared gruesa-}
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño de elementos	1.26273 mm
Tolerancia	0.06 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	170388
Número total de elementos	106073
Cociente de aspecto máximo	159.54
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	81
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.112
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:15
Nombre de computadora	FM

Figura D-10 Simulación de rosca externa

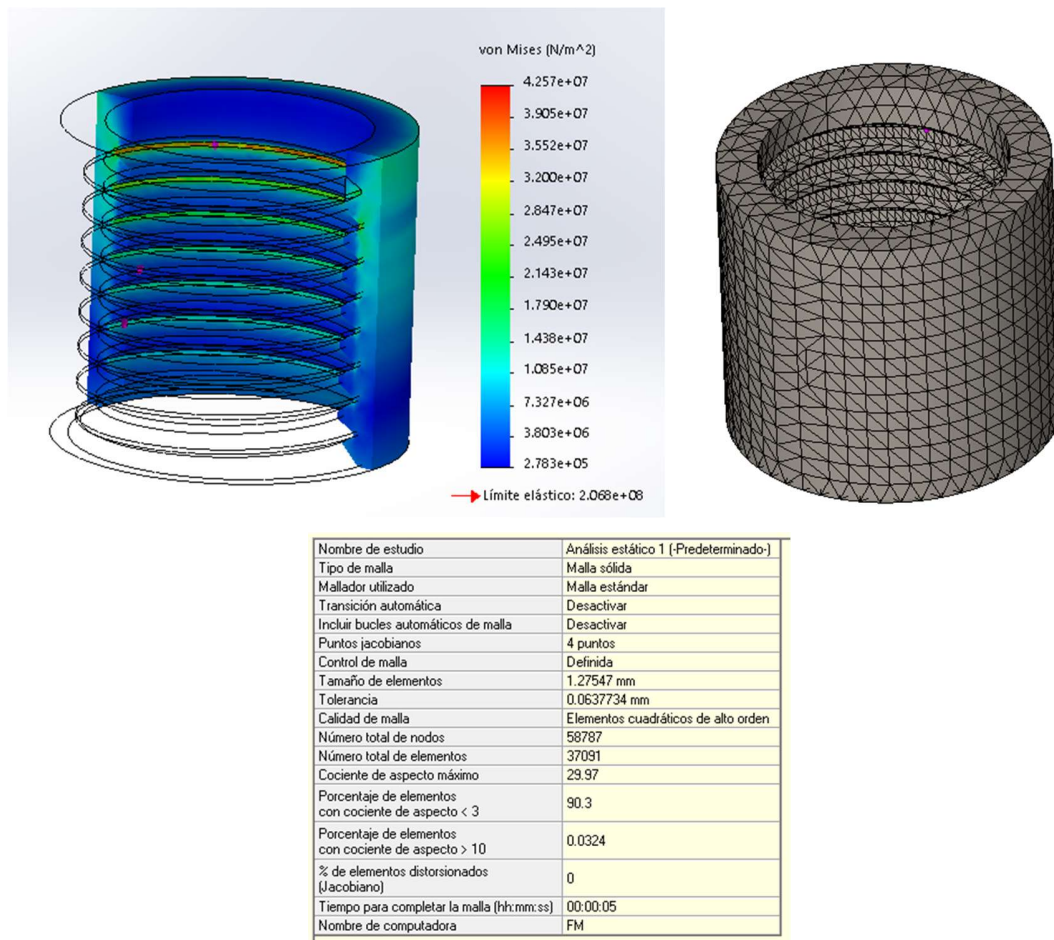
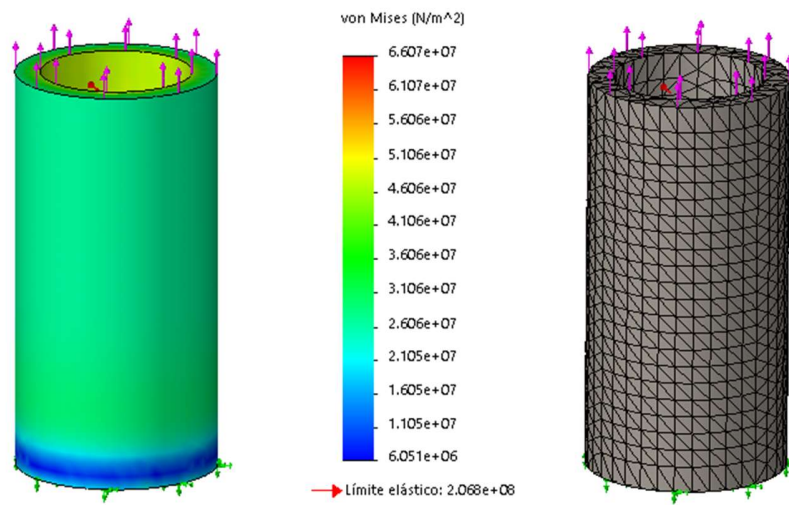


Figura D-11 Rosca interna M16x2



Nombre de estudio	solo cañon (-solo cañon-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	1.76599 mm
Tolerancia	0.0882995 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	13176
Número total de elementos	7609
Cociente de aspecto máximo	3.8245
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.6
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:01
Nombre de computadora	FM

Figura D-12 Solo cañón sometido a presión 123kg/cm² y tracción 218kgf

Dimensionamiento del pico

Para el pico se eligió hacerlo de bronce UNS 22000, por la alta conductividad térmica de los broces y fácil mecanizado, teniendo un límite elástico de 125MPa logramos verificar que el tamaño y geometría de la rosca M16 es apto para el estado de sollicitación al cual se somete.

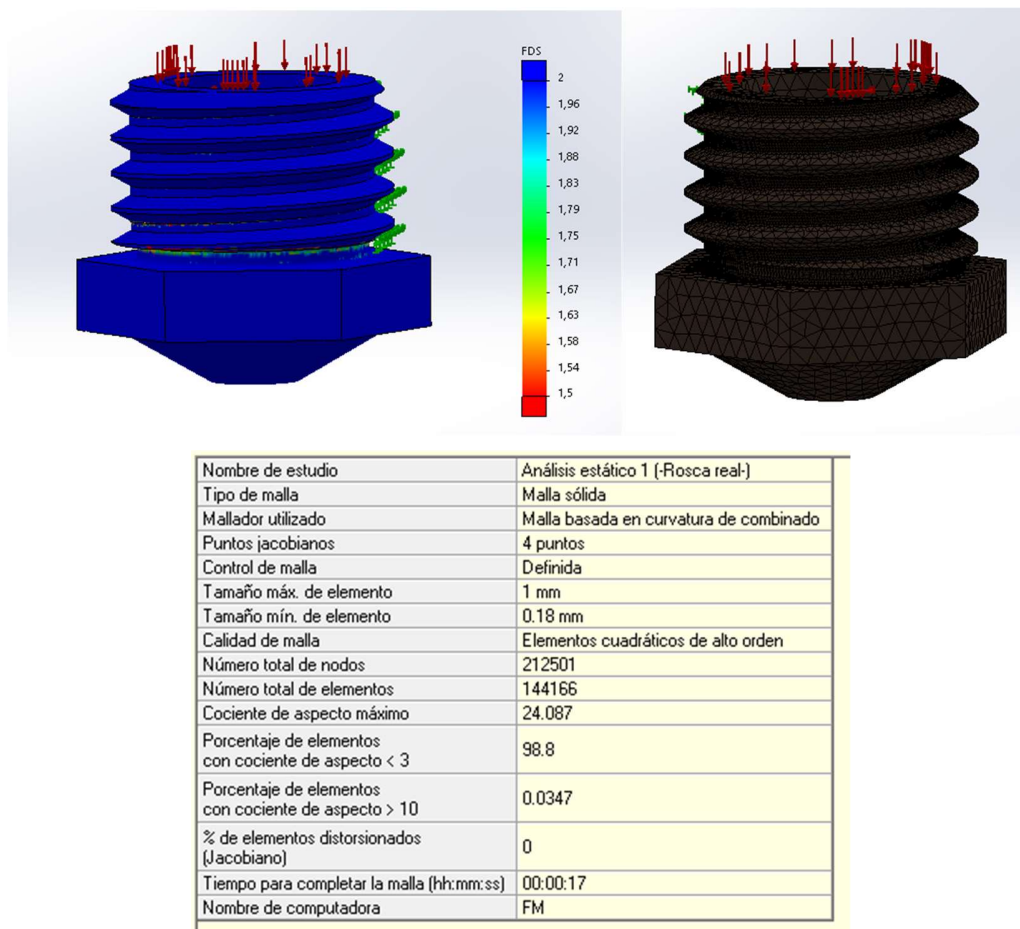


Figura D-13 Simulación del pico (izquierda), mallado con refinamiento (derecha)

Dimensionamiento de poleas y correa

El torque necesario calculado para mover el tornillo fue de 2.9 kgf.cm esto torque es fácilmente alcanzable por un motor paso a paso NEMA 17 cuerpo Medio como se ve en Figura D-14, que tiene un torque máximo a velocidades bajas de 4.5 kgf.cm por lo que el sistema puede ser directamente impulsado con relación 1:1. Con esto dicho se toma una correa dentada cerrada gt2 de 158mm de longitud lo que hace que nuestro diseño tenga que tener una corredera en los tornillos del motor para poder tensarla. El tensado de la correa es de 1/5 de la tensión a transmitir. Entonces la tensión a transmitir con una polea gt2 de 20 dientes y un diámetro primitivo de 12mm es

$$T = f * d \quad (32)$$

Donde T: torque, f: fuerza, d: distancia a la que se aplica la fuerza

$$2.9 \text{ kgf.cm} = f * \frac{1.2\text{cm}}{2} \quad (33)$$

$$f = 4.8\text{kgf} \quad (34)$$

Un quinto de esta fuerza es

$$f_t = \frac{f}{5} = \frac{1}{5} * 4.8\text{kgf} \approx 1\text{kgf} \quad (35)$$

Lo cual nos dice que es posible tensar la correa a mano sin otros medios.

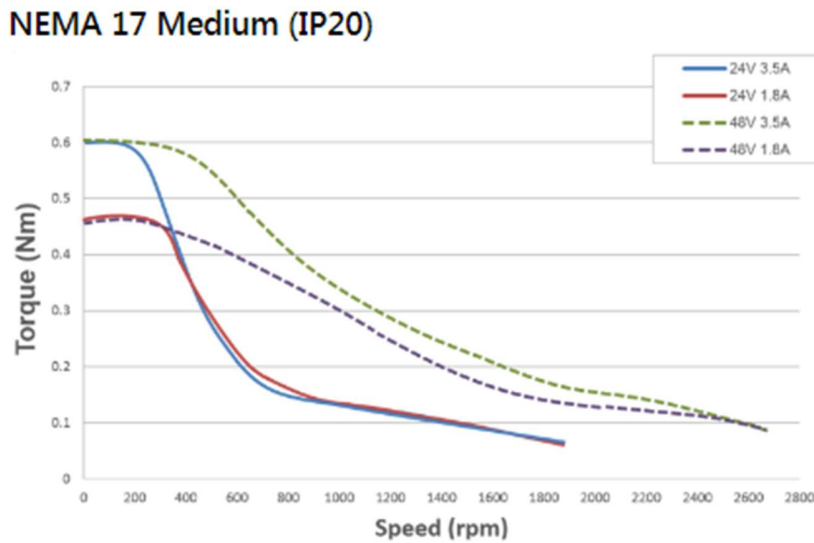


Figura D-14 torque vs velocidad en motores nema 17 a diferentes corrientes– stepIM (2023) – grafico recuperado de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1572377/ETC/NEMA17.html>.

Selección de rodamientos

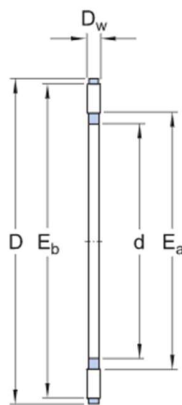
Para el rodamiento con carga axial que tiene que soportar una carga máxima de 216kg y tiene un eje de 8mm se selecciona un rodamiento de carga axial de bolas SKF BA7 con capacidad de carga de 250kg y para el rodamiento radial superior uno SKF 628-7-2z este solo soporta la tensión de la correa la cual es muy inferior a los 95kg de carga estática máxima del rodamiento

Cálculo de vida útil

Utilizamos la fórmula de vida útil normal con L1: 1 millón de ciclos, P1 carga dinámica básica del rodamiento, P2 carga de diseño y K=3 para rodamientos de bolas y 3.3 para rodamientos de rodillo, L2 vida útil calculada

$$L_2 = L_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^k \quad (36)$$

Rodamiento axial de agujas SKF “AXK 0821 TN”, con 216kg de carga axial o 2.16kN



Dimensiones

d	6 mm	Diámetro interno
D	19 mm	Diámetro exterior
D _w	2 mm	Diámetro del rodillo
E _a	min. 7 mm	Diámetro del camino de rodadura (mín.) corona axial de rodillos
E _b	max. 18 mm	Diámetro del camino de rodadura (máx.) corona axial de rodillos

Datos del cálculo

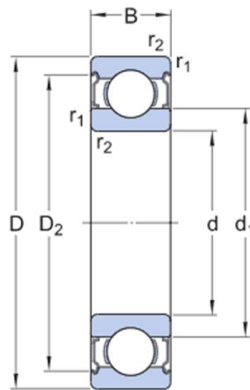
Capacidad de carga dinámica básica	C	6.3 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	16 kN
Carga límite de fatiga	P _u	1.86 kN
Velocidad de referencia		6 000 r/min
Velocidad límite		12 000 r/min

Figura D-15: Características dimensionales y datos para cálculo de rodamiento SKF AXK 0821 TN, – SKF ((s.f.)) – imágenes recuperadas de: <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-628%2F6-2Z>

$$L_2 = 10^6 \text{ ciclos} \left(\frac{6.3 \text{ kN}}{2.16 \text{ kN}} \right)^{3.33} = 34 \times 10^6 \text{ ciclos} \quad (37)$$

Lo cual para un servicio de 24h a carga máxima todos los días a 4RPM da una vida de 16 años, es decir que para cargas normales fluctuantes el rodamiento no será un problema en la vida útil del aparato.

Rodamiento rígido de bolas SKF 628-6-2z



Dimensiones

d	6 mm	Diámetro interno
D	15 mm	Diámetro exterior
B	5 mm	Ancho
d ₁	≈ 8.2 mm	Diámetro del resalte
D ₂	≈ 13 mm	Diámetro del rebaje
r _{1,2}	min. 0.2 mm	Dimensión del chaflán

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	0.884 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	0.27 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.011 kN
Velocidad de referencia		100 000 r/min
Velocidad límite		50 000 r/min
Factor de carga mínima	k _r	0.02
Factor de cálculo	f ₀	6.8

Figura D-16: Características dimensionales y datos para cálculo de rodamiento SKF 628-6-2z – SKF ((s.f.)) – imágene recuperada de: <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-628%2F6-2Z>

$$L_2 = 10^6 \text{ ciclos} \left(\frac{0.884 \text{ kN}}{0.042 \text{ kN}} \right)^3 = 9.3 \times 10^9 \quad (38)$$

Esto significa que el rodamiento tendrá una vida útil de 4000 años, pudiéndolo considerar que no se romperá en la vida útil del componente

Selección de sello

Para la selección del sello se pensó en que tiene que trabajar en seco ya que no se puede contaminar el plástico con aceites o grasas que puedan llegar a salirse de los rodamientos, por otro lado tendrá que soportar temperaturas de alrededor de 100°C además de tener un bajo rozamiento para evitar pérdidas por fricción, todo esto generando estanqueidad del resto del ambiente para soportar el vacío parcial que se le aplicara a la cámara donde se encuentra el plástico, por esto se elige un sello de material de PTFE de la marca SKF con sello simple con resorte toroidal para mejor sellado, que en su catálogo menciona que solo se hacen a pedido. Por lo que las dimensiones se copian de otro sello por posible compatibilidad de medidas. Por otro lado la perdida de potencia debida a la fricción en el sello según la Figura D-18 es despreciable por lo que no se la tomo en cuenta para el cálculo de torque por las pocas RPM a las que funciona el extrusor.

Teniendo en cuenta la designación dada por el fabricante Nuestro sello tendría el siguiente código 10 20 6 SLS T

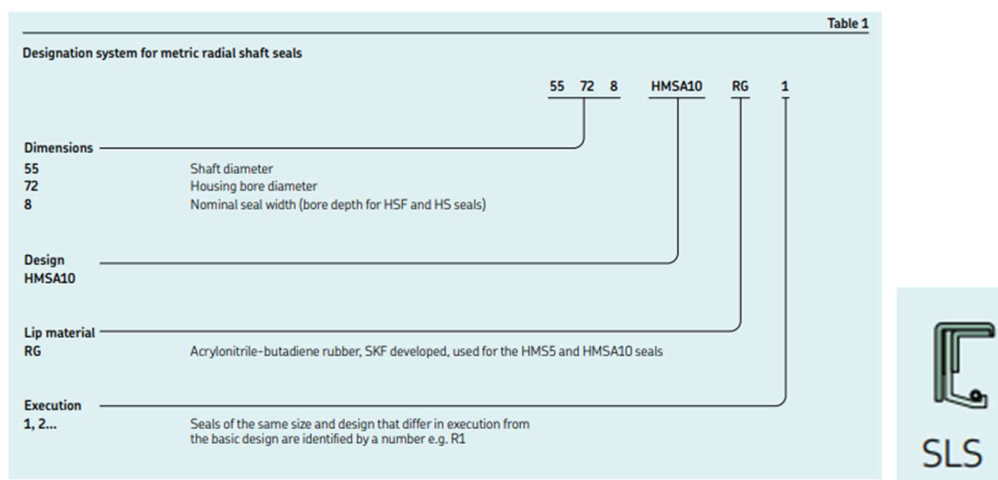


Figura D-17: Nomenclatura para sellos giratorios - SKF (2023) Ilustración recuperada de: catalogo SKF Industrial shaft seals

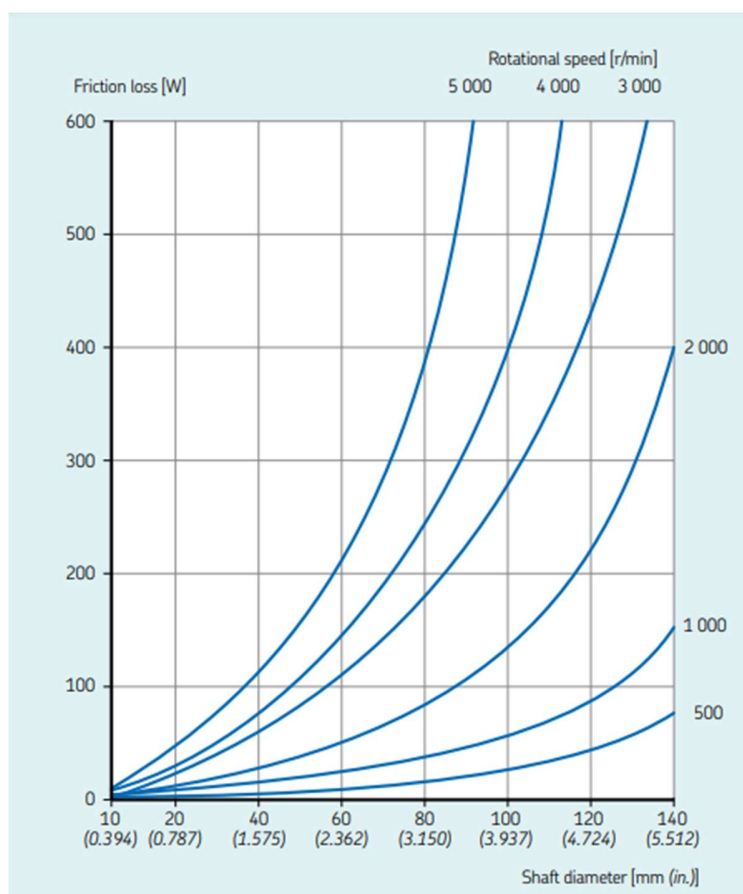
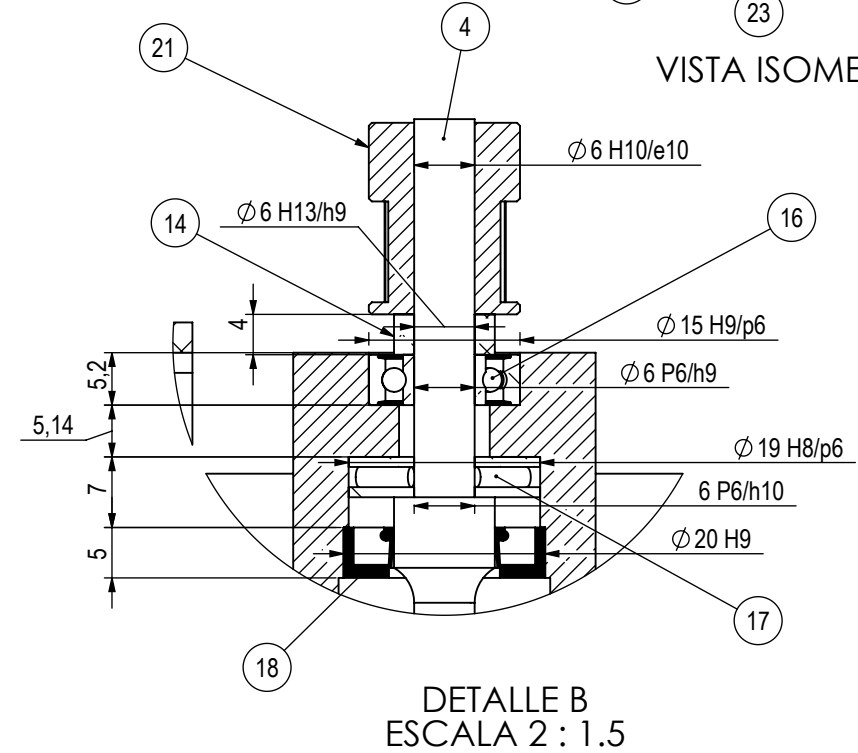
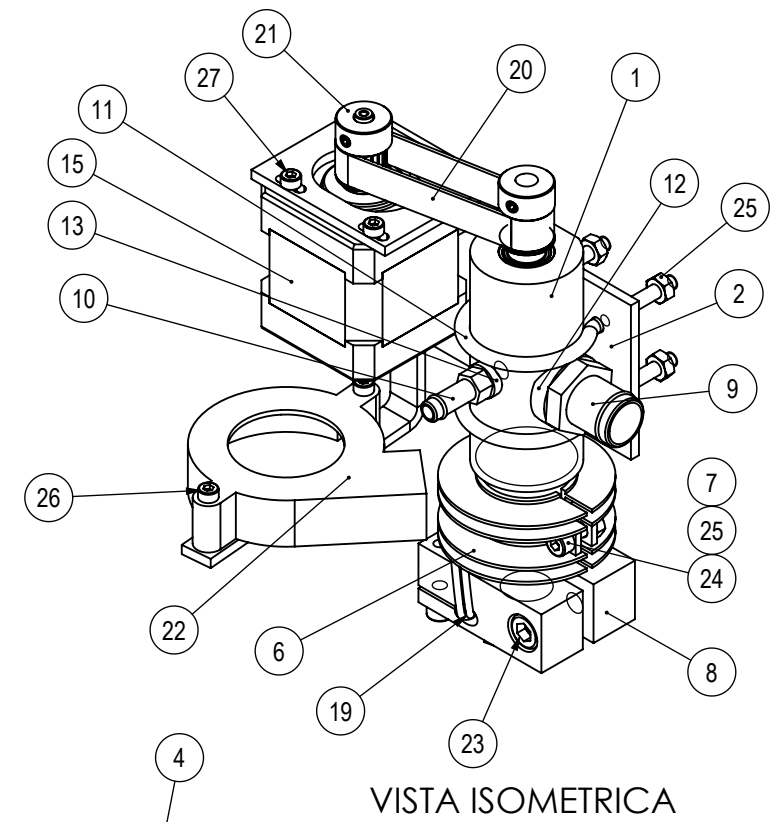
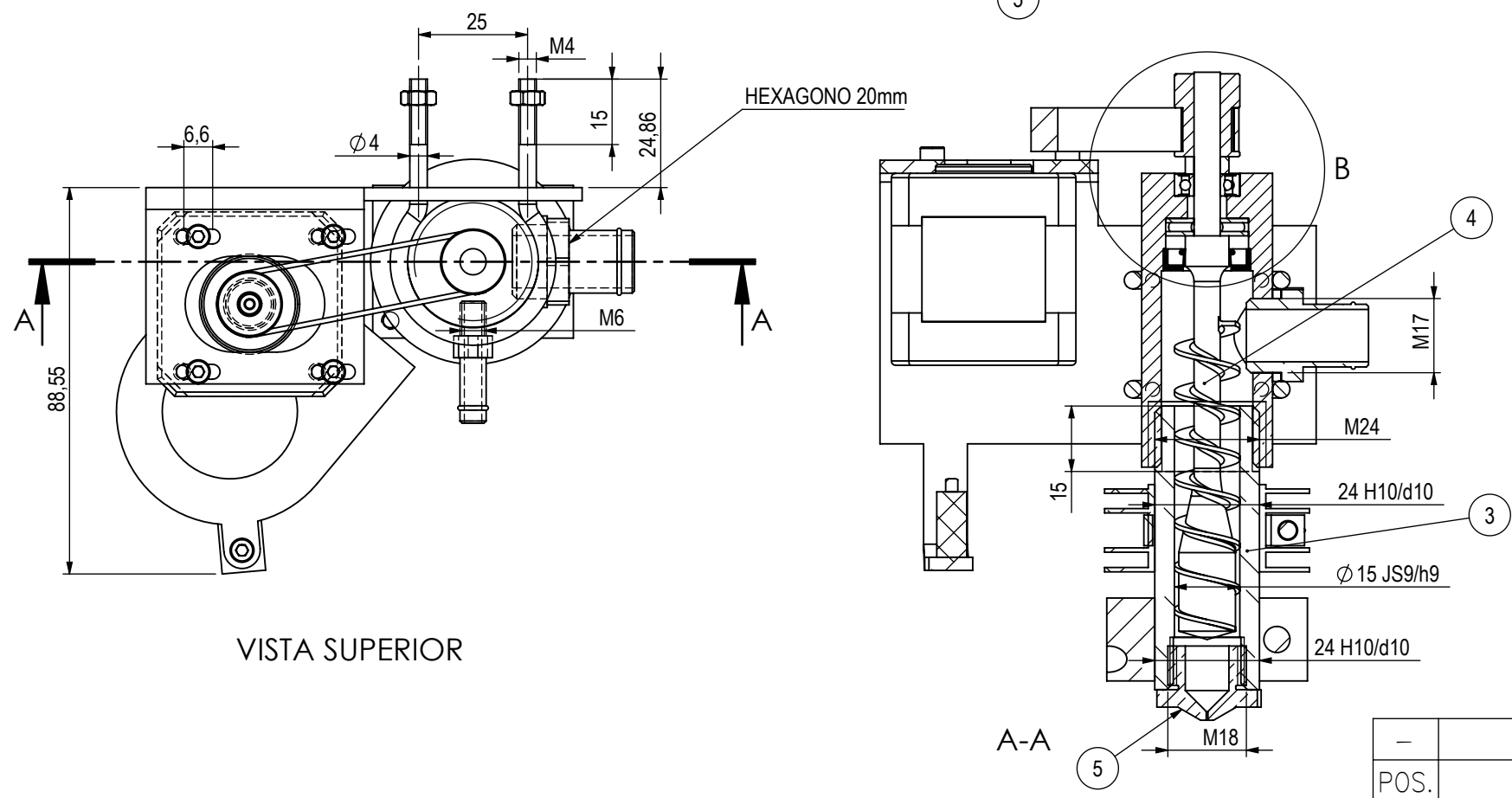
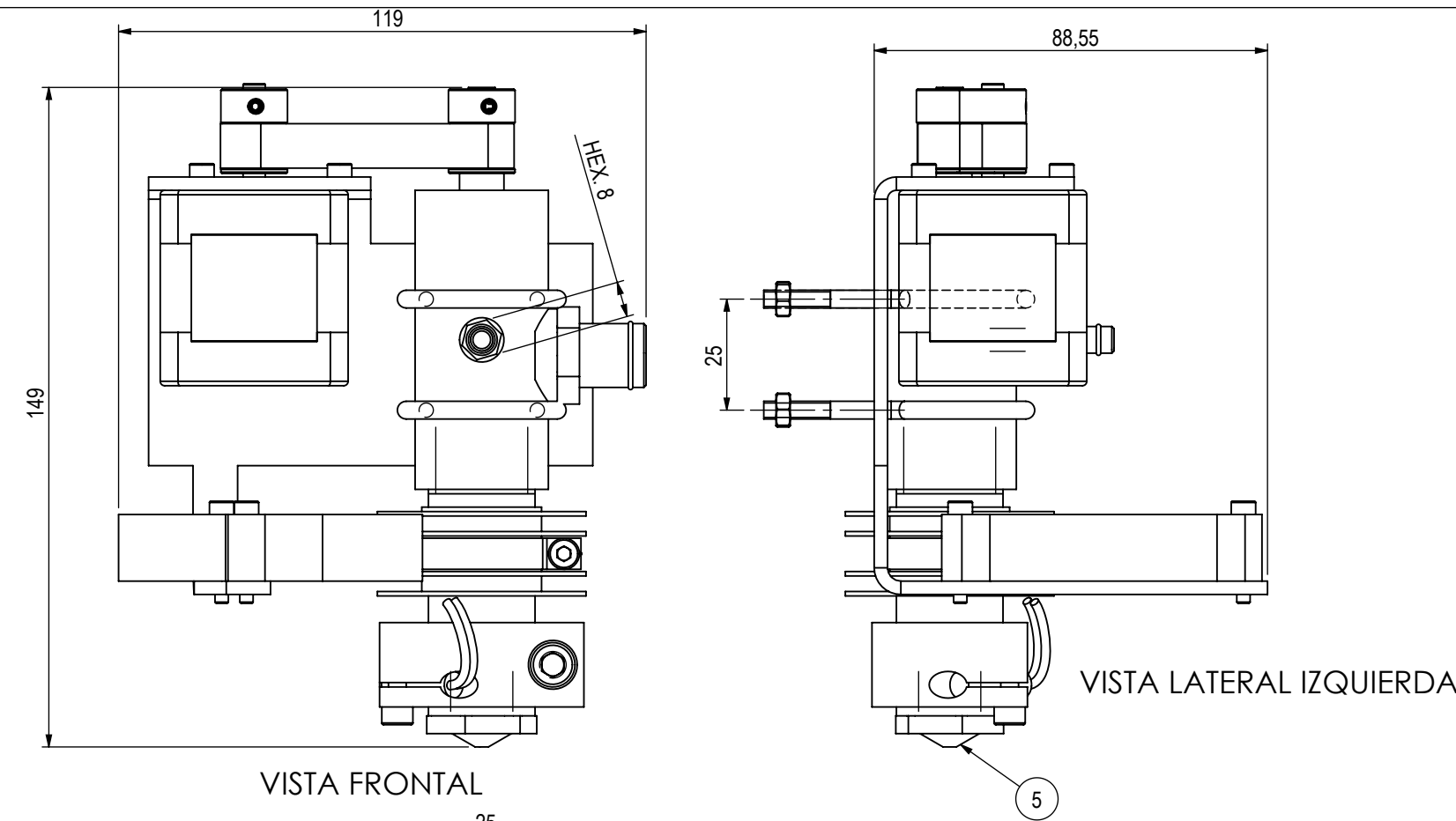


Figura D-18: Grafico de perdida de potencia por fricción en función de diámetro del eje y la velocidad de giro. SKF (2023) Ilustración recuperada de: catalogo SKF Industrial shaft seals

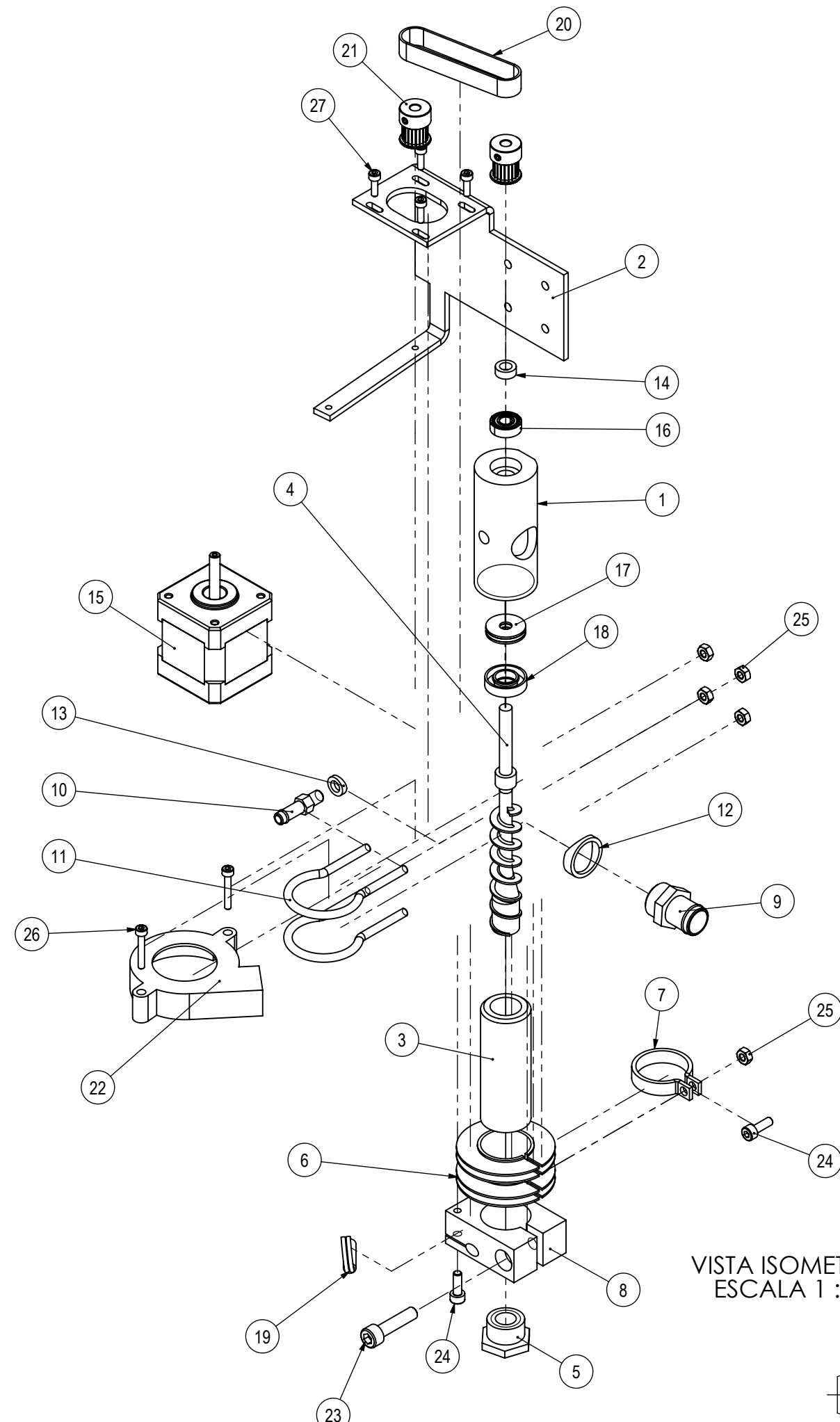
Anexo E: Planos

En esta sección se adjuntan todos los planos pertenecientes al conjunto calculado en este trabajo. (planos a continuación)

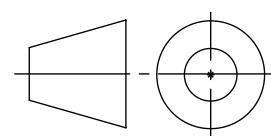


VISTA EXPLOTADA Y LISTA DE MATERIALES EN HOJA 2

—	—	—	—	—
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: EXTRUSOR COMPLETO		
DIBUJO	FECHA	ESCALAS	N° A01	HOJA 1 DE 2
APROBO	10/10/2023	MACCARONI 1:1.5		

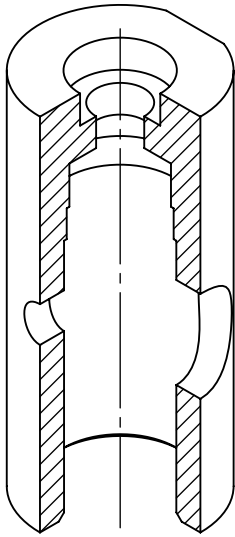


VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1 : 2.5

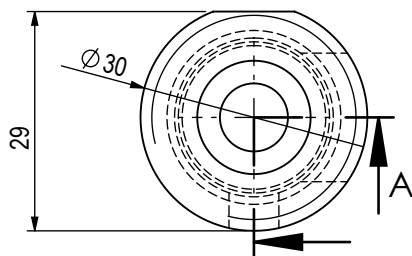


N.º DE ELEMENTO	PLANO	DESCRIPCIÓN	Material	CANT.
1	P01	CUERPO DE EXTRUSOR	AISI 304	1
2	P02	BASE DE MONTAJE	ALUMINIO 1100	1
3	P03	CAÑON DE EXTRUSION	AISI 304	1
4	P04	TORNILLO EXTRUSOR	AISI 304	1
5	P05	BOQUILLA DE EXTRUSION	Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronce)	1
6	P06	DISIPADOR	ALUMINIO 1100	1
7	P07	ABRAZADERA DE DISIPADOR	ALUMINIO 1100	1
8	P08	BLOQUE CALEFACTOR	ALUMINIO 1100	1
9	P09	RACORD DE ENTRADA DE PELLETS	Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronce)	1
10	P10	RACORD DE VACIO	Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronce)	1
11	P11	ABRAZADERA TIPO "U" BOLT PARA SUJECION DE CUERPO	AISI 304	2
12	P12	ARANDELA DE GOMA PARA RACORD DE PALLET	EPDM	1
13	P13	ARANDELA DE GOMA PARA RACORD DE VACIO	EPDM	1
14	P14	ESPACIADOR	ALUMINIO 1100	1
15		MOTOR PASO A PASO NEMA 17 (1.8º) 0.5Nm	COMERCIAL	1
16		RODAMIENTO SKF_619_6_2Z	COMERCIAL	1
17		RODAMIENTO SKF_AXK 0619 TN + AS 0619 + AS 0619	COMERCIAL	1
18		SELLO 10 20 6 SLS T	COMERCIAL	1
19		CARTUCHO CALEFACTOR 50W 12V DIAM 6mm X 25mm	COMERCIAL	1
20		CORREA CERRADA L=150 GT2 10MM	COMERCIAL	1
21		POLEA DENTADA 20DIENTES 10mm GT2 + PRISIONERO ALEN DIN 913 M3 X 5	COMERCIAL	2
22		TURBINA COOLER 50X50X15 12V	COMERCIAL	1
23		DIN 912 M6 x 25 --- 25N	COMERCIAL	1
24		DIN 912 M4 x 12 --- 12N	COMERCIAL	2
25		TUERCA ISO 4032 - M4	COMERCIAL	5
26		DIN 912 M3 x 20 --- 20N	COMERCIAL	2
27		DIN 912 M3 x 10 --- 10N	COMERCIAL	4

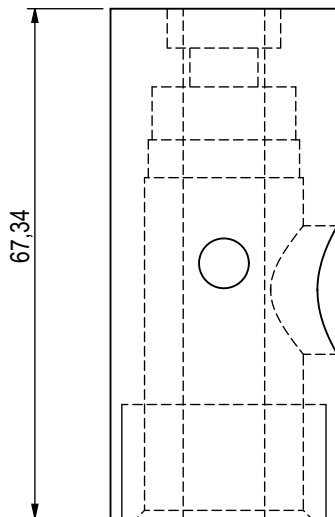
—	—		—	—	
POS.	DENOMINACION		MATERIAL	CANT.	PESO
PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			TITULO: EXTRUSOR EXPLOTADO		
	FECHA		ESCALAS	N° A01 HOJA 2 DE 2	
DIBUJO	10/10/2023	MACCARONI	1:1.5		
APROBO					



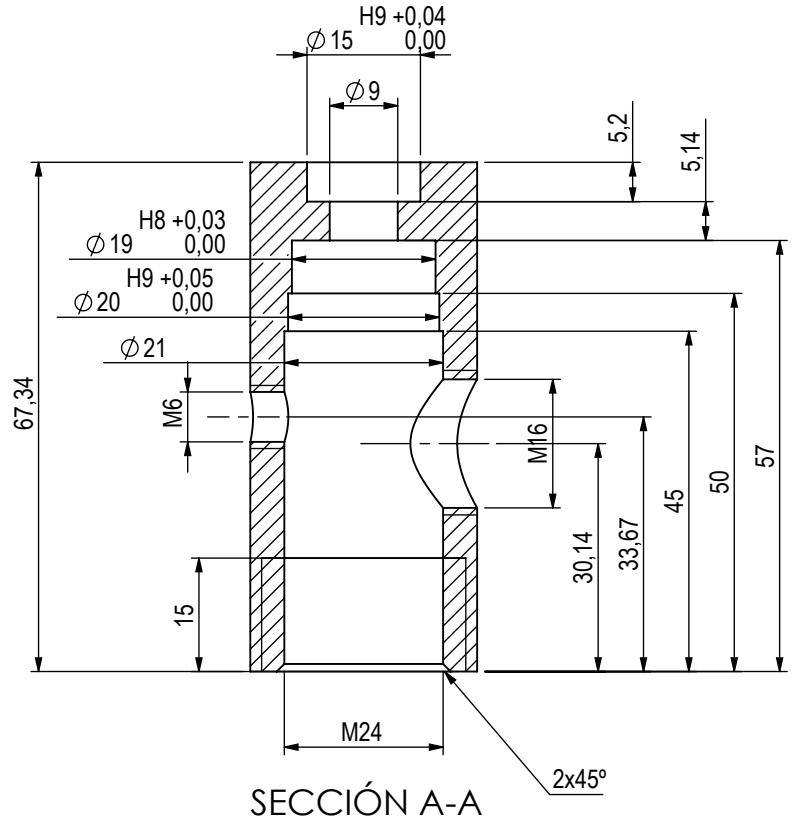
VISTA ISO DE SECCION A-A



VISTA SUPERIOR



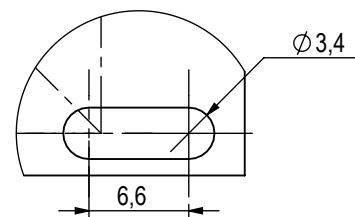
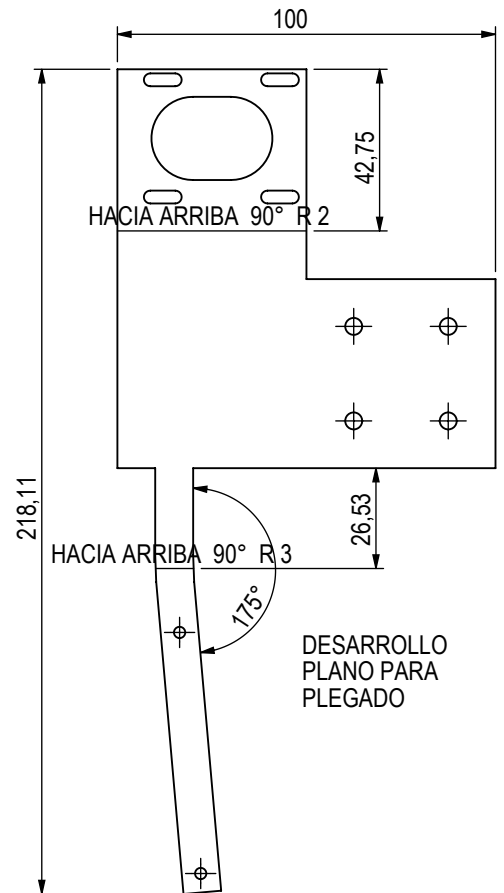
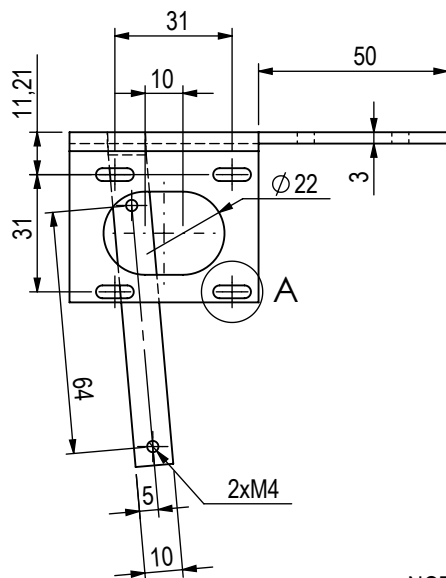
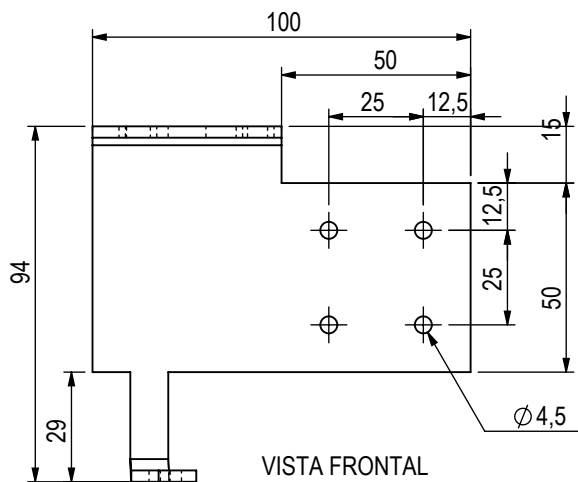
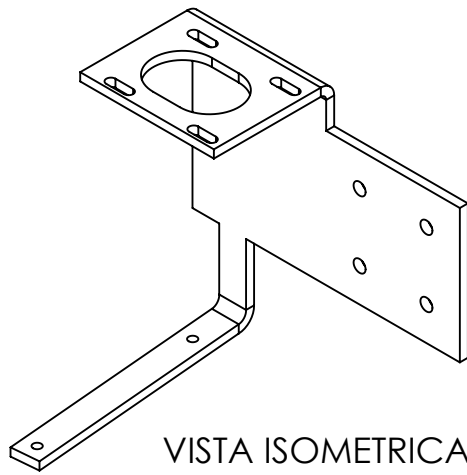
VISTA FRONTAL



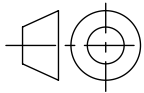
SECCIÓN A-A

NOTA: TOLERANCIAS NO ACOTADAS SEGUN ISO 2768 - F
MATAR CANTOS VIVOS

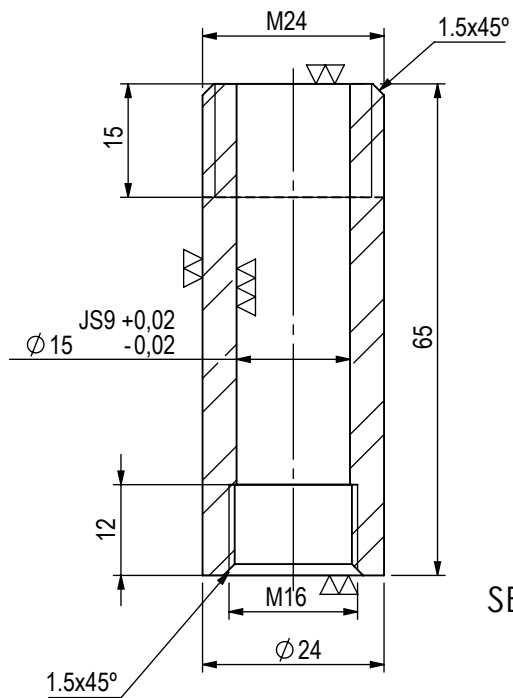
1	BARRA $\phi 30 \times 100$	AISI 304	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: CUERPO DE EXTRUSOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	PLANO:
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1	P01
APROBO				



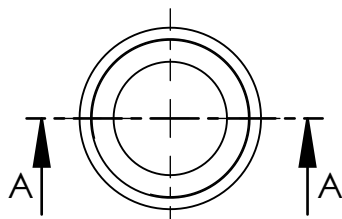
NOTA: TOLERANCIAS NO ACOTADAS SEGUN ISO 2768-M

2	CHAPA ESPESOR 3mm CORATADA EN LASER	ALEACION ALUMINIO 1100	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: BASE DE MONTAJE		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:2	
APROBO			 PLANO: P02	

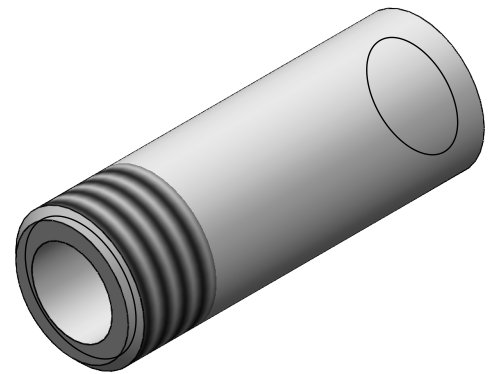
▽▽ - (▽▽)



SECCIÓN A-A

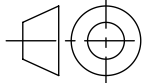


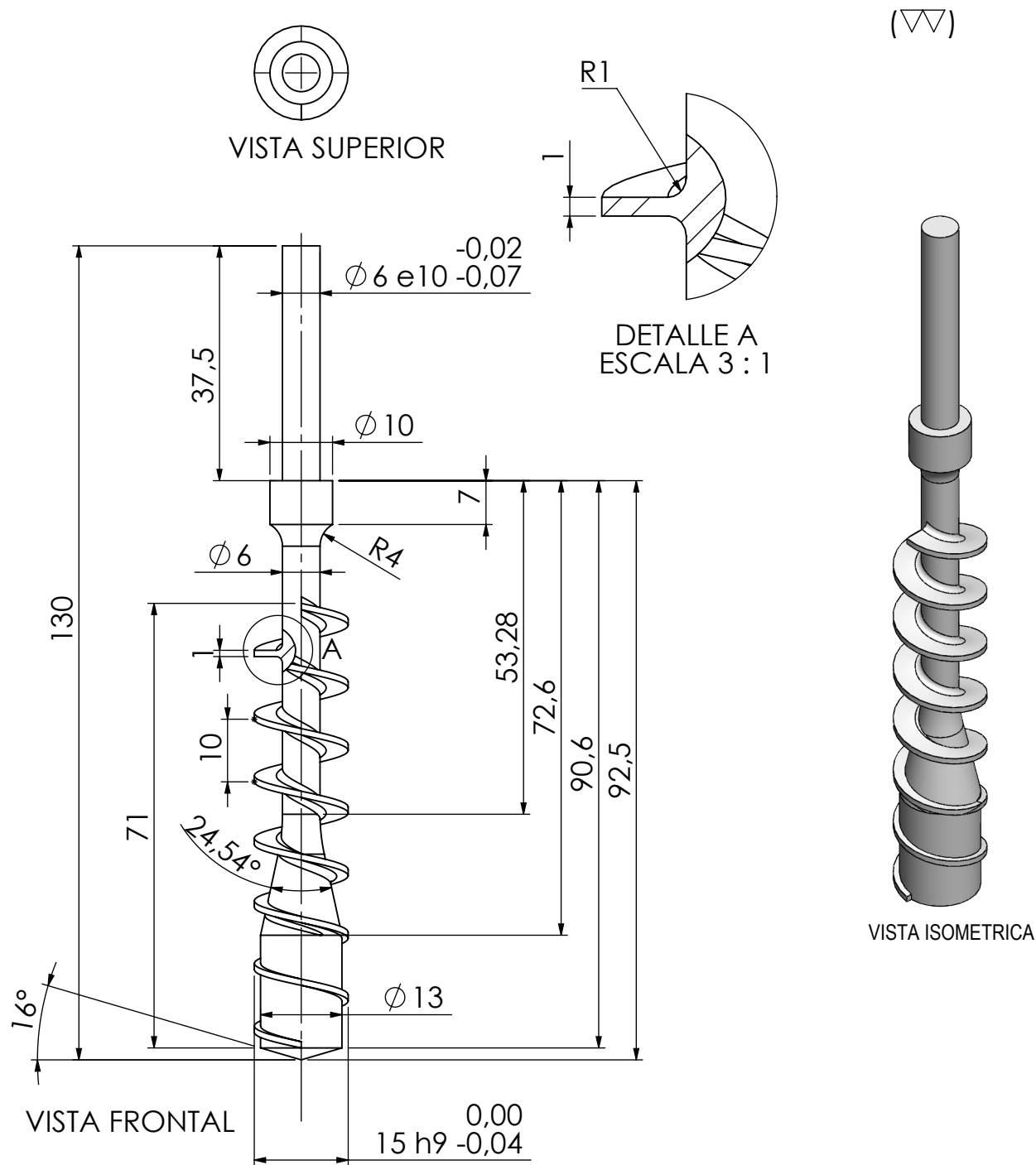
VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMETRICA

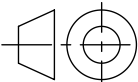
TOLERANCIAS NO ACOTADS SEGUN ISO 2768-M
MATAR CANTOS VIVOS

3	BARRA $\phi 25\text{mm}$ X 70mm	AISI 304	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: CAÑON DE EXTRUSOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1	
APROBO			 PLANO: P03	

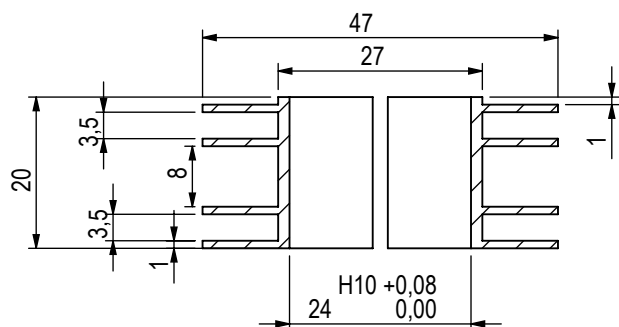


4	BARRA $\phi 16\text{mm}$ X 200	4	AISI 304	1	
POS.	DENOMINACION		MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			TITULO: TORNILLO EXTRUSOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	PLANO: P04	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1		
APROBO					

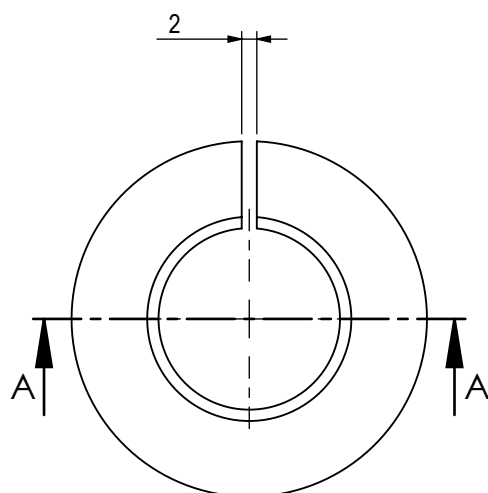
VISTA SUPERIOR

5	BARRA HEX. ϕ 25mm X 40mm			Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronce)	1	
POS.	DENOMINACION			MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO				TITULO: PICO EXTRUSOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS 2:1		PLANO: P05	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI				
APROBO						

(VV)

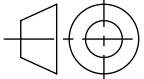


SECCIÓN A-A

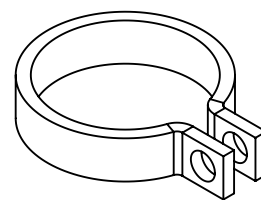
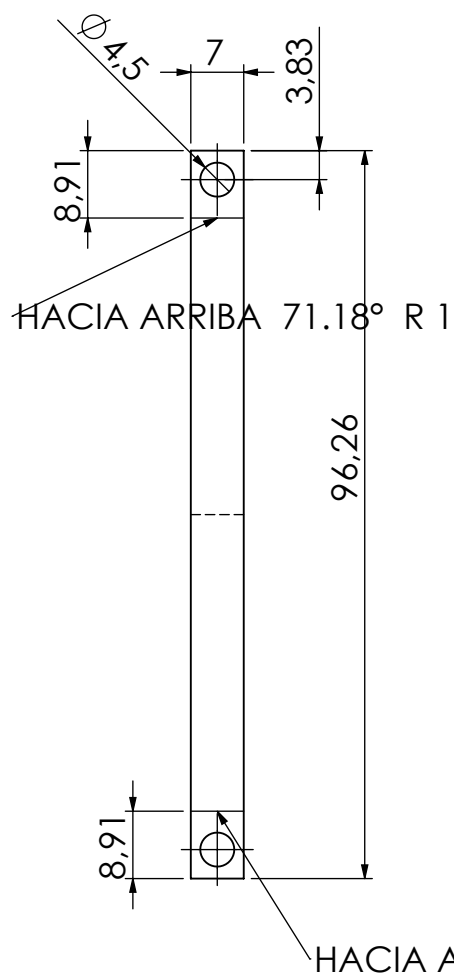


VISTA SUPERIOR

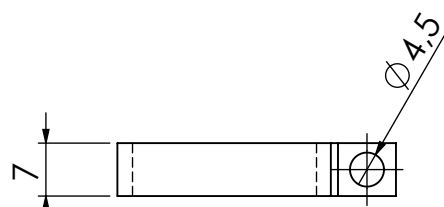
TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M - MATAR CANTOS VIVOS

6	BARRA $\varnothing 50 \times 50$	ALEACION DE ALUMINIO 1100	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: DISIPADOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1	
APROBO				
			PLANO: P06	

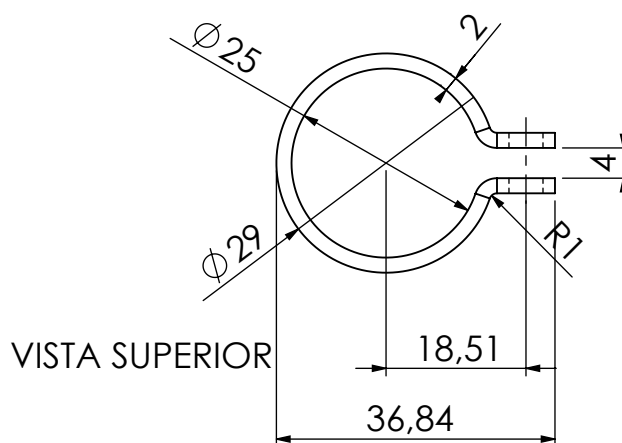
DESARROLLO DE CHAPA DESPLEGADA



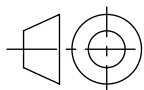
VISTA ISOMETRICA

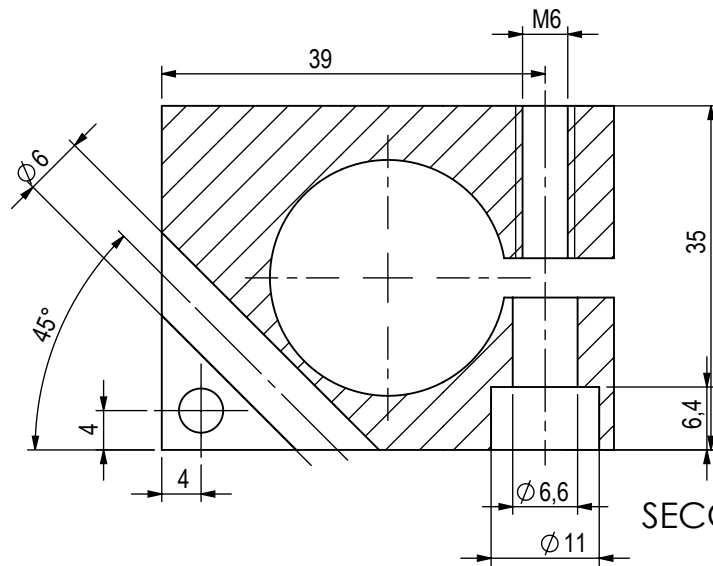


VISTA FRONTAL

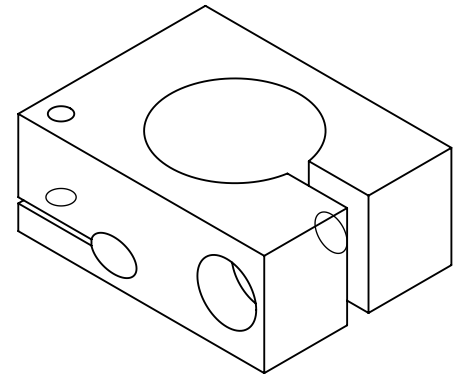


TOLERANCIAS NO ACOTADAS SEGUN ISO 2768-M - MATAR CANTOS VIVOS

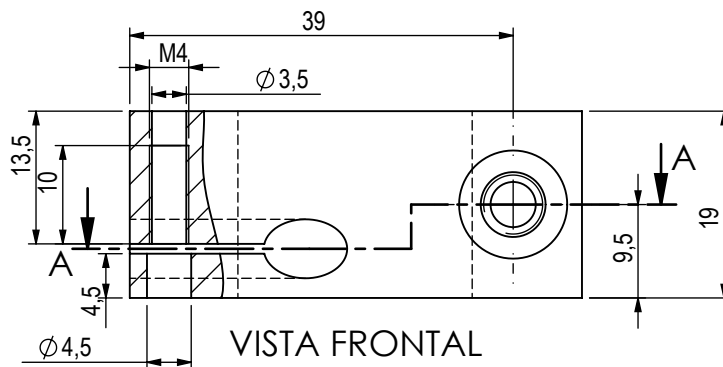
7	CHAPA CORTE LASER	ALUMINIO 1100	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUOLA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: ABRAZADERA DE DISIPADOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1	
APROBO				
			PLANO: P07	



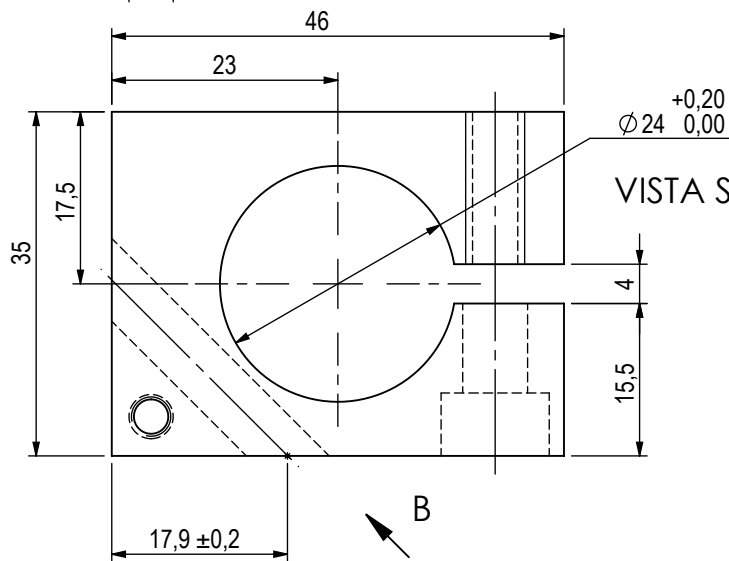
SECCIÓN A-A



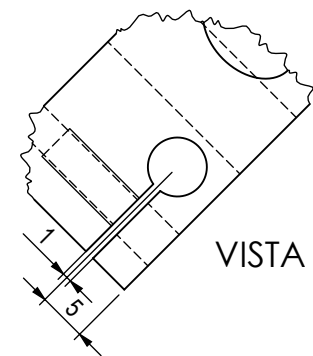
VISTA ISO



VISTA FRONTAL



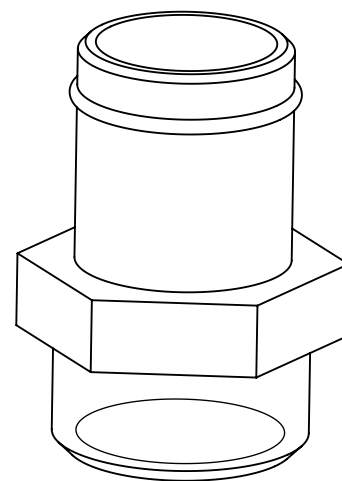
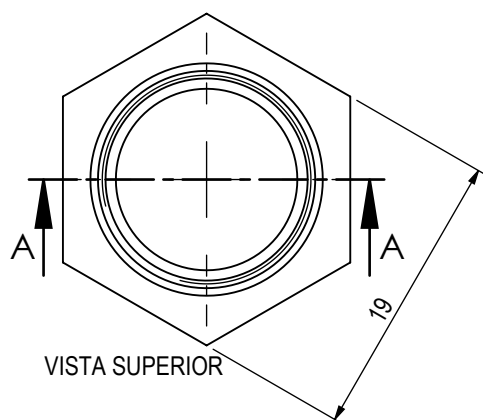
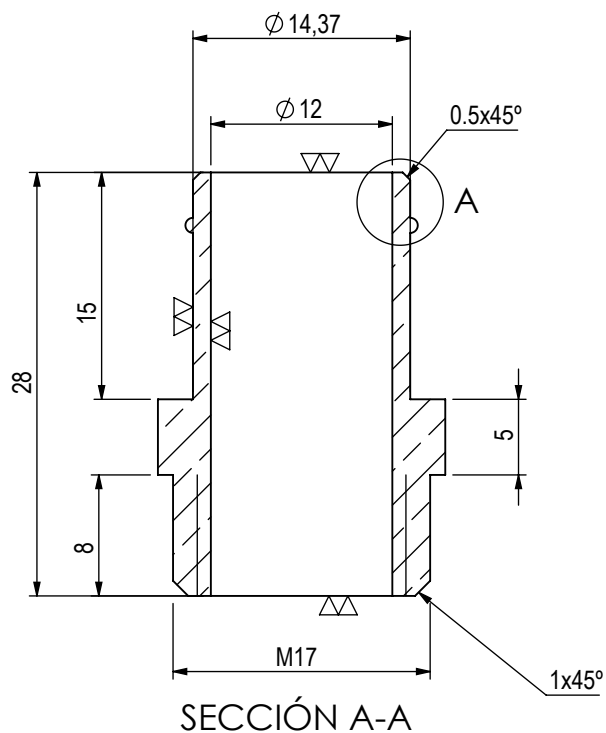
VISTA SUPERIOR



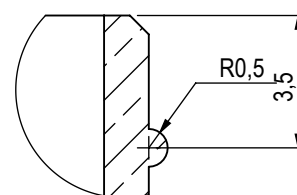
VISTA B

TOLERANCIAS NO ACOTADS SEGUN ISO 2768-F
MATAR CANTOS VIVOS

8	BARRA CUADRADA 50X50X25	ALUMINIO 1100	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: BLOQUE CALEFACTOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	PLANO:
DIBUJO	10/10/2023	MACCARONI	1.3:1	P08
APROBO				

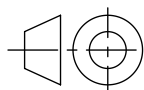


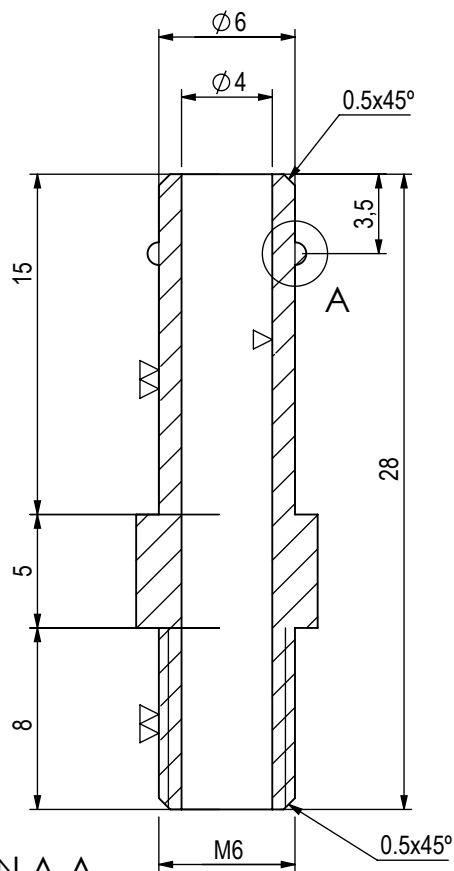
VISTA ISOMETRICA



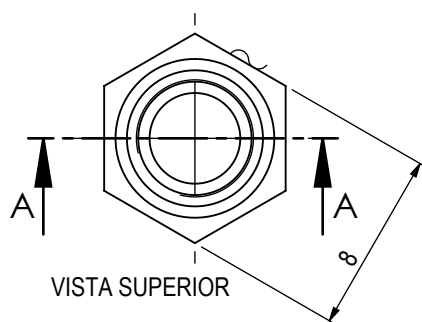
DETALLE A
ESCALA 5 : 1

TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M - MATAR CANTOS VIVOS

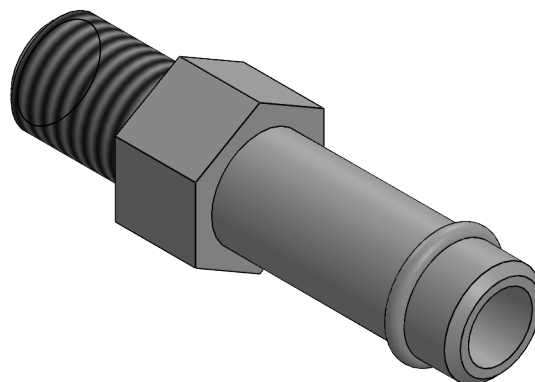
9	BARRA HEX. 7/8" X 40mm	Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronze)	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: RACORD DE ENTRADA DE PELLETS		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	2:1	
APROBO			 PLANO: P09	



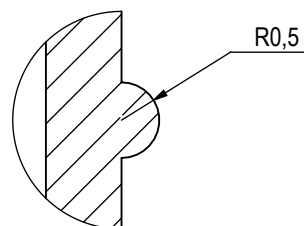
SECCIÓN A-A



VISTA SUPERIOR

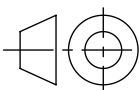


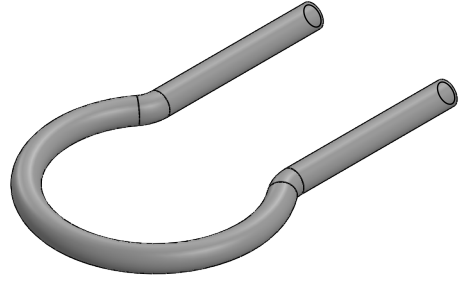
VISTA ISOMETRICA



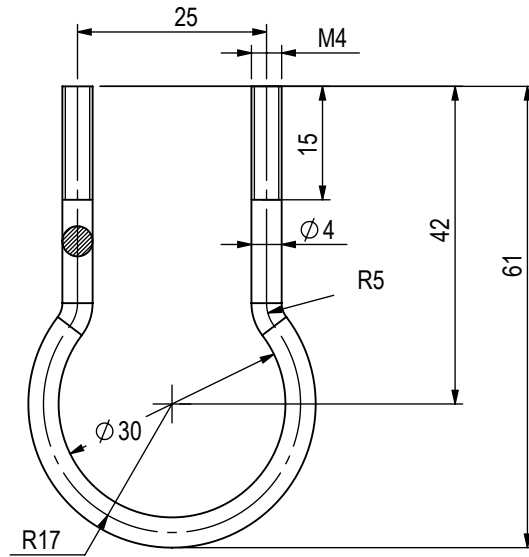
DETALLE A
ESCALA 10 : 1

TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M - MATAR CANTOS VIVOS

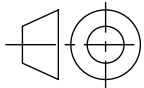
10	BARRA HEX. ϕ 10mm X 40mm	Bronce comercial, UNS C22000 (90-10 bronze)	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: RACORD DE VACIO		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	3:1	
APROBO			 PLANO: P10	

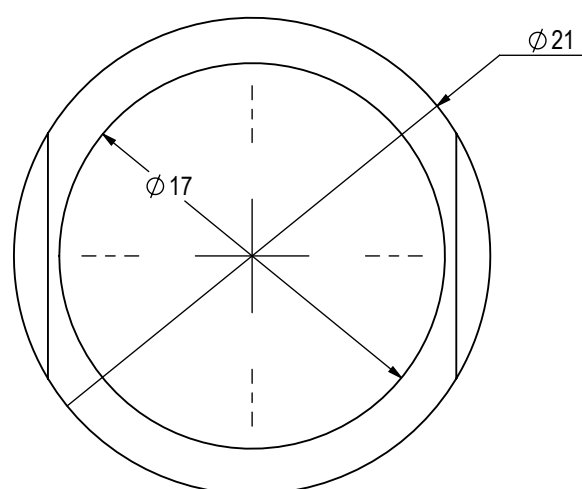
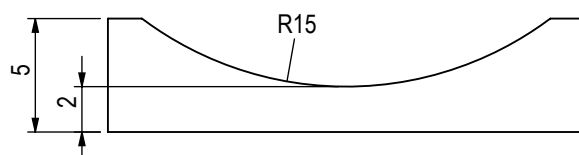
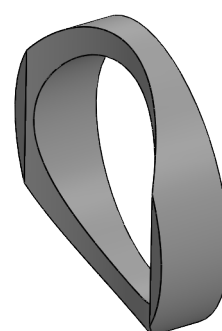


VISTA ISO

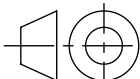


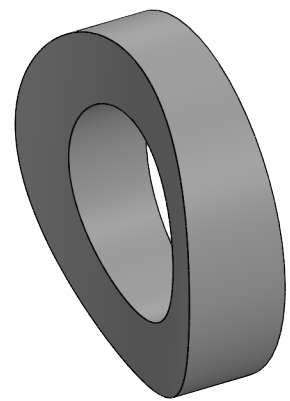
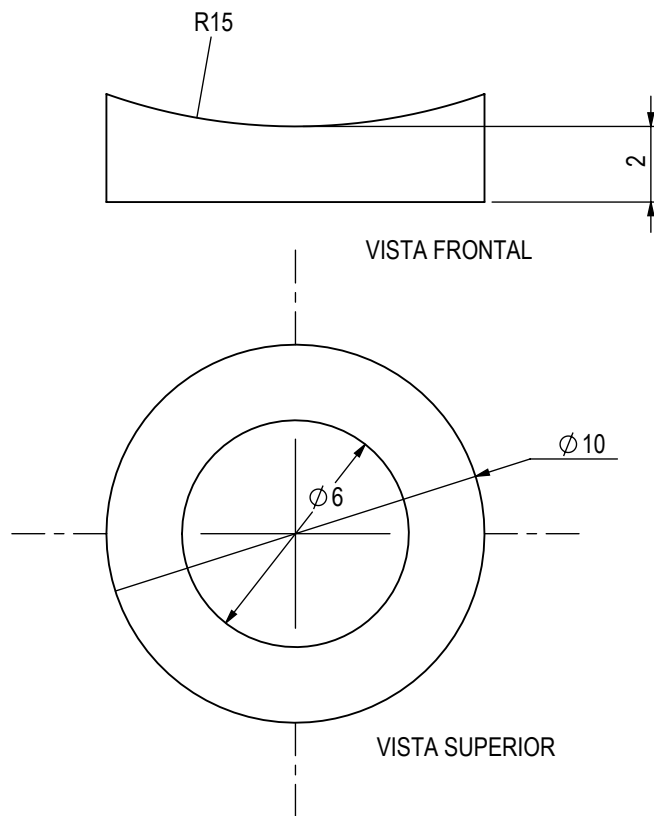
VISTA SUPERIOR

11	BARRA $\varnothing 4\text{mm}$ X 140mm	AISI 304	2	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: ABRAZADERA TIPO "U" BOLT PARA SUJECION DE CUERPO		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	1:1	
APROBO				
				PLANO: P11



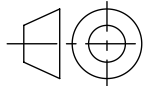
TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M

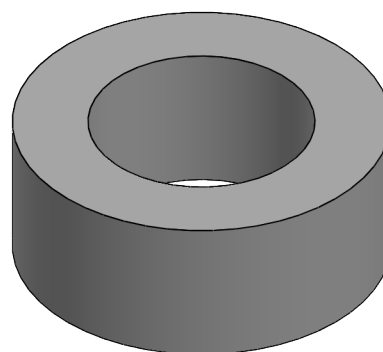
12	ARANDELA DE SELLO		EPDM MOLDEADO	1	
POS.	DENOMINACION		MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			TITULO: ARANDELA DE GOMAPARA RACORD DE PELLETS		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS 3:1	 PLANO: P12	
DIBUJO	10/10/2023	MACCARONI			
APROBO					



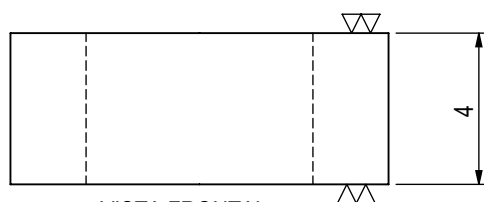
VISTA ISOMETRICA

TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M

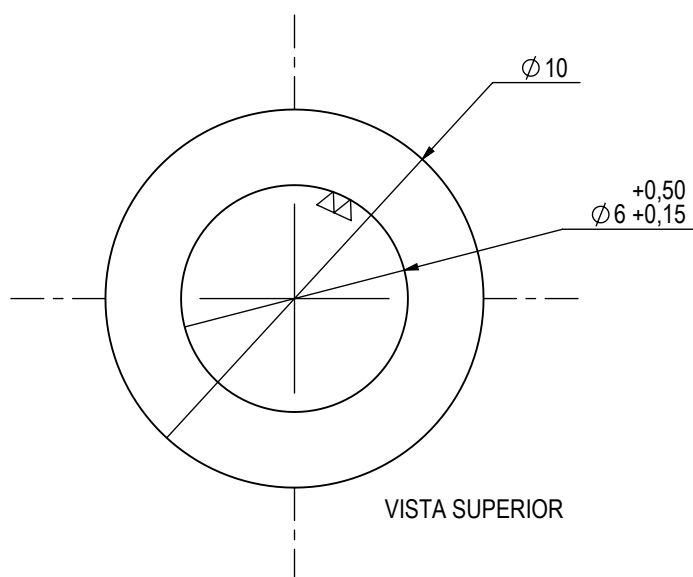
13	SELLO DE GOMA		EPDM MOLDEADO	1	
POS.	DENOMINACION		MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO			TITULO:		
			ARANDELA DE GOMA		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS		PLANO:
DIBUJO	10/10/2023	MACCARONI			
APROBO					
			5:1	P13	



VISTA ISOMETRICA

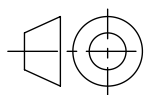


VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

NOTA:
TOLERANCIAS NO ACOTAS SEGUN ISO 2768-M
MATAR CANTOS VIVOS CON CHAFLAN 0.5X45°

14	BARRA $\varnothing 10\text{mm} \times 20\text{mm}$	Aluminio aleacion 1100	1	
POS.	DENOMINACION	MATERIAL	CANT.	PESO
 PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO: ESPACIADOR		
	FECHA	NOMBRE	ESCALAS	
DIBUJO	26/10/23	MACCARONI	5:1	
APROBO				
				PLANO: P14

BIBLIOGRAFIA

1. H. Valkenaers, F. V.-P. (n.d.). *A novel approach to additive manufacturing: screw extrusion 3D-printing*. Belgium.
2. Khondoker, M. S. (2009). *Direct coupling of fixed screw extruders using flexible heated hoses for FDM printing of extremely soft thermoplastic elastomers*. *Prog Addit Manuf* 4.
3. SEYEON, H., REYES, E., SIK MOON, K., RUMPF, R., & SOO KIM, N. (2015). Thermo-mechanical Characterization of Metal/Polymer Composite Filaments and Printing Parameter Study for Fused Deposition Modeling in the 3D Printing Process. *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, 272. doi:10.1007/s11664-014-3425-6
4. *Tecnología de los Plásticos, Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado*. (s.f.). Recuperado el 24 de 05 de 2021, de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>
5. Tomassini, C. ((s.f)). *Modulo 2: teoria de la extrusión*. Rosario, Santa Fe, Argentina.
6. Villar, A. A. (2016). *Innovation & Entrepreneurship Business School*. Obtenido de <https://comunidad.iebschool.com/impresoras3d/2016/11/02/la-impresion-3d-que-es-y-sus-tecnicas-de-impresion/>
7. Domurath, Jan. (2017). Stress and strain amplification in non-Newtonian fluids filled with spherical and anisometric particles.
8. OSWALD, RUDOLPH, NATALIE RUDOLPH, (2015) POLIMER RHEOLOGY FUNDAMENTALS AND APLICATIONS (P.39), HANSER, MUNICH .
9. Bakrani Balani, Shahriar & Chabert, France & Nassiet, Valérie & Cantarel, Arthur. (2018). Influence of printing parameters on the stability of deposited beads in fused filament fabrication of poly(lactic) acid. *Additive Manufacturing*. 25. 10.1016/j.addma.2018.10.012.
10. Rauwendaal, Chris. *Polymer Extrusion*. 5th ed., Hanser publications, 2014.
11. SKF (2023). *Catalogo Industrial shaft seals*.