

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Desarrollo de un prototipo extrusor de pasta"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Gino Moises Aguilera Soto

José Enrique Bailón Silva

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia por haber sido un pilar fundamental de mi vida, el gran esfuerzo de mis padres por apoyarme a lo largo del camino y poder culminar esta meta juntos.

Gracias a mis padres soy quien soy. Muchas Gracias Miriam y Gino, los amo.

Gino Moises Aguilera Soto

Este proyecto se lo dedico a Dios por haberme dado la oportunidad de crecer como persona, a mi madre Patricia por el sacrificio que hizo todos estos años para que lograra llegar hasta aquí, y a Luz por estar a mi lado en las buenas y en las malas.

José Enrique Bailón Silva

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios ser mi guía cada día de mi vida, por la sabiduría y paciencia que me brinda para poder realizar mis metas.

A mi madre Miriam que siempre ha estado a mi lado dándome su apoyo incondicional y su disciplina. A mi padre por la gran paciencia, por ser el mejor ejemplo de honradez y de un padre amoroso. A mi hermano por su gran ayuda a lo largo de mi vida y por su ejemplo de responsabilidad. A mis amigos Russell, María Elena y Hamilton por los buenos momentos y su ayuda en momentos oportunos.

Gino Moises Aguilera Soto

Agradezco a mi madre Patricia que estuvo siempre alentándome, a mis hermanos que me dieron apoyo moral, a mi futura esposa Luz que me apoyo y me aguantó todo este tiempo, a mi hijo Fernando que me dio una gran felicidad, a mi Tía Lucia que siempre me apoyó, a mis amigos Chaves y Mantilla por haberme ayudado, a Juan por su gran colaboración, y a toda mi familia que siempre me daban ánimos para graduarme.

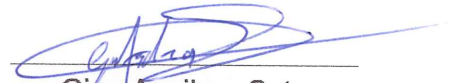
José Enrique Bailón Silva

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Gino Moises Aguilera Soto* y *José Enrique Bailón Silva* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Jose Bailon

José Bailón Silva

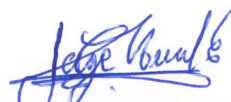

Gino Aguilera Soto

EVALUADORES



Francis Loayza Paredes

PROFESOR DE LA MATERIA



Jorge Hurel Ezeta

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La manufactura aditiva en el Ecuador aun es área que no se ha terminado de desarrollar, las impresoras 3D convencionales imprimen con filamentos de plástico los cuales terminan siendo insuficientes como material de trabajo debido a su baja versatilidad; el presente proyecto se centra en el desarrollo de un aparato extrusor de pasta adaptable al sistema de una impresora 3D. Para este proyecto se partió por establecer el chocolate como material de trabajo y la utilización una impresora 3D Geeetech Rostock 301, en la cual algunos de sus elementos fueron reemplazados para implementar las partes del sistema extrusor de pasta, el cual consta principalmente de un embolo cilindro y un conjunto de piezas soporte las cuales fueron fabricadas mediante impresión 3D. El prototipo del sistema de extrusión de pasta permite trabajar con materiales pastosos cuya densidad esté entre los 1250 a 1500 kg/m³ a un flujo volumétrico de aproximadamente 13 mm³/s y una velocidad de desplazamiento de 5 mm/s permitiendo obtener figuras complejas que no se pueden realizar a mano si no se tiene experiencia. El sistema extrusor de pasta desarrollado en este proyecto agrega nuevas funcionalidades al sistema de impresión 3D convencional y no supera un costo de fabricación de USD 80.00, este permite crear modelos previamente realizados en cualquier software de diseño 3D con varios tipos de materiales pastosos permitiendo al usuario experimentar diseños con formas complejas, llevando sus ideas a la realidad ya no solo con filamentos de plástico.

Palabras Clave: Manufactura Aditiva, Prototipo Extrusor, Impresión 3D, Filamento

ABSTRACT

Additive manufacturing in Ecuador is still an area that has not been finished developing, conventional 3D printers print with plastic filaments which end up being insufficient as work material due to its low versatility; The present project focuses on the development of a pasta extruder device adaptable to the system of a 3D printer. For this project we started by establishing chocolate as a work material and using a Geeetech Rostock 301 3D printer, in which some of its elements were replaced to implement the parts of the pasta extruder system, which consists mainly of a cylinder plunger and a set of support pieces which were manufactured by 3D printing. The prototype of the pasta extrusion system allows to work with pasty materials whose density is between 1250 to 1500 kg / m³ at a volumetric flow of approximately 13 mm³ / s and a displacement speed of 5 mm / s allowing to obtain complex figures that cannot be done by hand if you do not have experience. The pasta extruder system developed in this project adds new functionalities to the conventional 3D printing system and does not exceed a manufacturing cost of USD 80.00, this allows to create previously made models in any 3D design software with several types of paste materials, this allows you to create models previously made in any 3D design software with various types of pasty materials allowing the user to experience designs with complex shapes, taking their ideas to reality no longer with plastic filaments only.

Keywords: Additive Manufacturing, Extruder Prototype, 3D Printing, Filament

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Material de trabajo	3
1.4.2 Paste Extruder BCN3D+	5
1.4.3 Choc Creator V2.0 Plus	6
1.4.4 Makerbot Frostruder MK2.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1 Diseño de forma	9
2.2 Alternativas de diseño	9
2.2.1 Extrusor de piñón con cremallera	9
2.2.2 Extrusor de jeringa con tornillo sin fin	10
2.2.3 Extrusor de Aire comprimido.....	11
2.3 Selección de la alternativa de diseño por matriz de decisiones	11
2.4 Normativas	12
2.5 Identificación de los factores de diseño.....	13
2.6 Cálculos y diseño de los componentes del prototipo extrusor de pasta	13
2.6.1 Determinación de flujo volumétrico	14

2.6.2	Determinación de velocidad del motor	15
2.6.3	Carga de extrusión.....	15
2.6.4	Torque del tornillo	16
2.6.5	Relación de transmisión.....	16
2.6.6	Potencia del sistema	17
2.6.7	Propiedades del material de trabajo	17
2.6.8	Tabla de parámetros.....	19
2.7	Diseño del sistema extrusor	19
2.7.1	Jeringa de 200 cc.....	19
2.7.2	Varillas y Tornillo sin fin	20
2.7.3	Soportes para el motor, embolo y jeringa	21
2.8	Diseño en CAD del prototipo extrusor de pasta	22
2.9	Construcción del Sistema Extrusor.....	23
2.10	Control del sistema.....	23
2.10.1	Configuración de parámetros de la impresora	24
2.10.2	Retraso del flujo volumétrico.....	25
2.11	Obtención experimental de datos.....	26
2.11.1	Flujo volumétrico.....	26
2.11.2	Fuerza aplicada al embolo.....	26
2.11.3	Proceso de preparación del chocolate.....	26
CAPÍTULO 3		28
3.	Resultados y análisis	28
3.1	Funcionamiento del sistema extrusor	28
3.2	Resultados	29
3.2.1	Flujo volumétrico teórico	29
3.2.2	Flujo Volumétrico Experimental	30
3.2.3	Carga fuerza necesaria para empujar el embolo con material.....	33
3.2.4	Torque en el tornillo	33
3.2.5	Relación de transmisión.....	35
3.2.6	Potencia del sistema.....	36
3.3	Sistema Extrusor de pasta construido.....	36
3.3.1	Pruebas iniciales.....	37
3.3.2	Pruebas intermedias	38

3.3.3	Pruebas finales	39
3.4	Análisis de Costos del sistema extrusor	41
3.4.1	Costo de componentes	41
3.4.2	Costo de fabricación y preparación de elementos	41
3.5	Estudio de factibilidad.....	42
3.5.1	Valor actual neto y tasa interna de retorno (VAN y TIR)	42
3.6	Comparación de precios con otros prototipos en el mercado.....	43
CAPÍTULO 4.....		44
4.	Conclusiones y recomendaciones	44
4.1	Conclusiones.....	44
4.2	Recomendaciones.....	45
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
PLA	Acido poliláctico
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ARCSA	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria
ISO	International Organization for Standardization
CAD	Computer-aided design
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
kg	Kilogramo
cc	Centímetro cubico
mm ³	Milímetro cubico
Pas	Pascal-segundo
m	Metro
rpm	Revoluciones por minuto
°C	Celsius
m ³	Metro cubico
kJ	Kilo Joule
K	Kelvin
s	Segundos
W	Watts
N	Newton
Kgf	Kilogramos fuerza (kilopondios)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Variación de la viscosidad del chocolate en función de la temperatura a la que se lo somete se considera que el chocolate parte de estado sólido.	3
Figura 1.2 Proceso de temperado del chocolate [Fuente: Ohene E. (2007) Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate]	4
Figura 1.3 Extrusor de Pasta BCN3D+ [Fuente: BCND3 Technologies]	5
Figura 1.4 Choc Creator V2.0 Plus [Fuente: Chocedge]	6
Figura 1.5 Makerbot Frostruder MK2 [Fuente: Makerbot].....	7
Figura 2.1 Esquema de sistema: elementos que componen el sistema extrusor.	9
Figura 2.2 Esquema de alternativa de piñón con cremallera con sus respectivos componentes.	10
Figura 2.3 Esquema de alternativa con tornillo sinfín con sus respectivos componentes.	10
Figura 2.4 Esquema de alternativa con aire comprimido para empujar el embolo con sus componentes principales.....	11
Figura 2.5 Grafica del esfuerzo cortante, la viscosidad está representada por la pendiente de la gráfica. [Fuente: industrial chocolate manufacture and use]	18
Figura 2.6 Jeringa de 200 cc	20
Figura 2.7 Varilla y Tornillo sin fin.....	20
Figura 2.8 Soporte del motor	21
Figura 2.9 Soporte del embolo	21
Figura 2.10 Soporte de la jeringa	22
Figura 2.11 Diseño del prototipo extrusor de pasta	22
Figura 2.12 Velocidad y calidad de impresión: se modificó la altura de capa a 5 mm	24
Figura 2.13 Relleno de la impresión: se aumentó el relleno al 100%, con un espesor de pared de 10 mm.....	25
Figura 2.14 Parametros de flujo del material de trabajo: se aumento la velocidad del flujo de material de trabajo a un 300%.....	25
Figura 3.1 Mallado realizado a la jeringa realizado para media sección de la misma utilizando la herramienta de simetría del software SimFlow	34
Figura 3.2 simulación realizada por medio del software SimFlow	34

Figura 3.3 Equipo instalado en el sistema de la impresora realizando una figura de chocolate.....	36
Figura 3.4 Prueba realizada de una figura sobre papel.....	37
Figura 3.5 Prueba impresa con forma de corazón.....	38
Figura 3.6 Prueba realizada con forma de auto.....	39
Figura 3.7 Prueba final con forma de estrella.....	40
Figura 3.8 Prueba final con forma de tortuga.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisiones	12
Tabla 2.2 propiedades del chocolate a temperatura de extrusión (34 °C)	18
Tabla 2.3 valores establecidos de parámetros de partida.	19
Tabla 3.1 Determinación experimental de caudal.....	31
Tabla 3.2 Configuración inicial en software Repetier.....	37
Tabla 3.3 Configuración intermedia en software Repetier	38
Tabla 3.4 Configuración definitiva en software Repetier	39
Tabla 3.5 Costo de todos los componentes del extrusor	41
Tabla 3.6 Costo de mano de obra	42
Tabla 3.7 Valoración del proyecto	43
Tabla 3.8 Precio de diferentes modelos de extrusores de chocolate	43

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Ensamble
- PLANO 2 Vista explosionada
- PLANO 3 Soporte del motor
- PLANO 4 Soporte de la jeringa
- PLANO 5 Soporte del embolo
- PLANO 6 Varilla y tornillo sinfín
- PLANO 7 Piñón y engrane
- PLANO 8 Jeringa
- PLANO 9 Embolo
- PLANO 10 Base y seguro de la boquilla
- PLANO 11 Soporte del extrusor

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de fabricación aditiva consiste en la creación de objetos capa por capa a partir de un modelo en 3D del mismo («ASTM International - Un nuevo estándar ASTM respalda la impresión 3D de aleaciones de acero inoxidable», s. f.) mediante la utilización de impresoras 3D, estos procesos se encuentran en pleno apogeo y crecimiento y están ligadas a la revolución 4.0, la cual es una tendencia que consiste en la consolidación del mundo digitalizado (internet de las cosas)(Siemens, s. f.), en el Ecuador ya se tiene una cultura acerca de estos procesos y muchas personas poseen impresoras 3D las cuales ofrecen al usuario la posibilidad de realizar sus propios modelos, sin embargo esta tecnología está algo limitada, el problema se encuentra en que a pesar de tener la posibilidad de crear sus diseños, generalmente las impresoras utilizan filamento de plástico como material de trabajo, el cual limita las posibilidades del usuario debido a que suele ser costoso y el diseño siempre tiene que tener como fin un objeto rígido.

En el mercado nacional es muy complicado adquirir maquinas que permitan imprimir con materiales que no sean de origen plástico, y el hecho de fabricar los diseños por medio de una empresa que se dedica a esto puede resultar muy limitado y costoso.

Por estos motivos el objetivo de este proyecto de desarrollo tecnológico es el diseño y la construcción de un sistema que amplíe las posibilidades de uso de una impresora 3D hacia materiales como chocolate y/o pasta de chocolate, silicona, arcilla, cerámica, glaseado o merengue, etc. Ampliando notablemente la variedad de elementos que se pueden diseñar, ya sea en creación de moldes de silicona, piezas de cerámica, formas en chocolate, etc.

En este proyecto se utilizará como material de trabajo el chocolate por ser el Ecuador uno de los principales productores de cacao del mundo (Cacao Mexico, 2018), permitiendo también el uso de otros materiales tipo pastosos.

1.1 Descripción del problema

Las impresoras 3D brindan al usuario la posibilidad de fabricar sus ideas, estas requieren de un diseño realizado en computadora y también del material de trabajo el cual por lo general es filamento de plástico, a pesar de que este material es el ideal al momento de

fabricar modelos computarizados, limita la gama de materiales con los cuales se podría trabajar, ya que los usuarios no siempre poseen impresoras con la capacidad de imprimir con más de un color al mismo tiempo o con otros materiales debido a que las impresoras que pueden realizar estas operaciones son demasiado costosas y no se encuentran en el mercado nacional con facilidad.

En el Ecuador la tecnología de fabricación aditiva es un área que no se ha terminado de desarrollar y el imprimir en materiales que no son de origen plástico se podría decir que pertenece solo a cierto grupo del mercado, el usuario común aún no cuenta con esta posibilidad.

1.2 Justificación del proyecto

La fabricación aditiva (AM por sus siglas en inglés) es una industria en continuo desarrollo ampliándose cada vez más hacia diferentes sectores industriales donde antes parecía imposible. Esta tecnología de manufactura, que consiste en fabricar objetos capa por capa (es decir, de manera aditiva), es utilizado principalmente para la construcción de prototipos y modelos visuales. Sin embargo, el principal problema es que el filamento de plástico normalmente requerido en impresoras 3-D termina siendo insuficiente como material de trabajo y el producto final es rígido. Por este motivo, se propone el desarrollo de un extrusor de materiales pastosos que permite ampliar el uso de las impresoras 3D existentes hacia la impresión de productos como chocolate y/o pasta de chocolate, silicona, arcilla, cerámica, glaseado o merengue, etc. De tal manera que la cantidad de aplicaciones para las cuales pueden ser utilizadas las impresoras en 3D se vea mejorada, en este caso en particular permitiría al usuario trabajar en diseños para el área alimentaria (campo gourmet) y/o cerámica, brindándole una amplia gama de posibilidades económicas al momento de llevar del diseño a la realidad sus ideas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollo de un prototipo de Extrusor de Pasta, que expulse el volumen del material contenido de manera precisa y sin desperdicios. Utilizando como material de trabajo chocolate con la capacidad de utilizar otros materiales como arcilla, silicón, etc.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseño y construcción mediante impresión 3D del extrusor de pasta
- Desarrollo del mecanismo para la integración con el sistema de impresión 3D.
- Establecer mediante pruebas cuales son los parámetros de temperatura y velocidad de giro del tornillo sinfín para optimizar el proceso y así disminuir el desperdicio y mejorar el acabado superficial.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Material de trabajo

1.4.1.1 Chocolate

Inicialmente el chocolate era una mezcla de pepas de cacao molidas con azúcar, con el tiempo fue mezclándose con otros tipos de materiales, hasta llegar a lo que actualmente conocemos como chocolate, que es una mezcla entre manteca de cacao, leche y azúcar principalmente (Beckett, 2009).

Sus propiedades físicas pueden resultar bastante variables, depende de la calidad del chocolate es decir de su composición (Pèrez, s. f.), por lo que conseguir información específica del chocolate es algo que puede resultar complicado. Su viscosidad varía directamente con la temperatura, en la siguiente gráfica se puede observar esta variación.

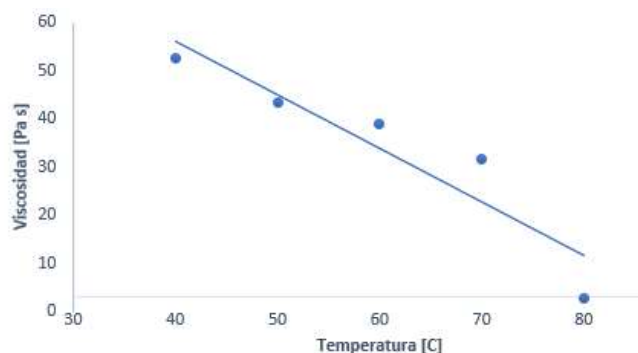


Figura 1.1 Variación de la viscosidad del chocolate en función de la temperatura a la que se lo somete se considera que el chocolate parte de estado sólido.

Algo que si se puede mencionar es el tratamiento térmico con el cual se puede conseguir mejorar la calidad del chocolate, a este proceso se le conoce como temperado (o templado) del chocolate, el cual consiste en calentar y enfriar el chocolate a temperaturas específicas, de tal forma que se consiga una masa homogénea, dando estabilidad a los cristales de manteca de cacao («Temperado de chocolate», s. f.).

Según estudios existen 6 polimorfismos para la manteca de cacao que van de la forma I a la forma VI, siendo la forma V la de mejor calidad (Beckett, 2008).

En la figura 1.2. se muestran los calentamientos y enfriamientos del proceso de temperado del chocolate, dando como temperatura media aproximadamente 34 °C.

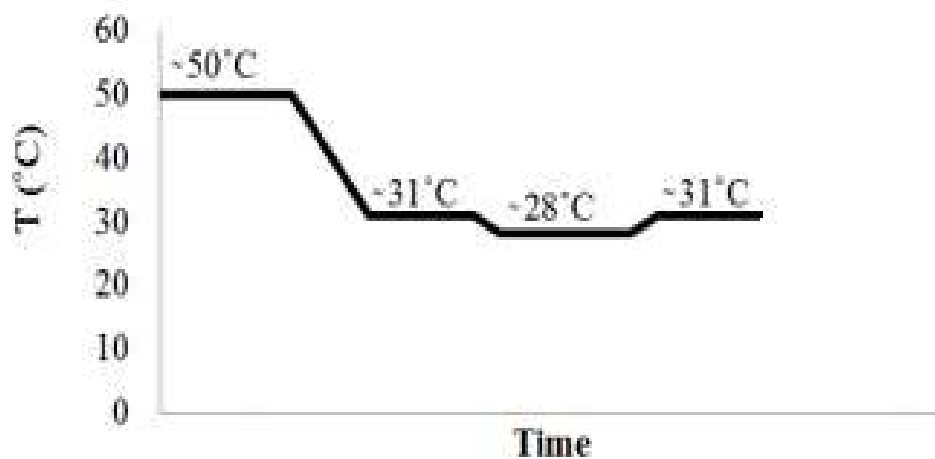


Figura 1.2 Proceso de temperado del chocolate [Fuente: Ohene E. (2007) Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate]

De la misma forma para otras sustancias, las características físicas varían de sus composiciones. En todos los casos existen gráficas que relacionan propiedades como viscosidad con respecto al porcentaje de agua, a diferencia del chocolate que no contiene agua y depende de la temperatura.

Actualmente en el mercado internacional se encuentran extrusores de materiales pastosos, sin embargo, son muy pocas las empresas que ofrecen un extrusor con la capacidad de extruir en chocolate.

Entre estos se pueden definir los 3 tipos de extrusores más comunes en extrusión de chocolate.

1.4.2 Paste Extruder BCN3D+

Este dispositivo cuenta con un sistema de engranajes y cremallera, el cual está acoplado con una jeringa, la cual controla la deposición del material. En la punta de la jeringa cuenta con una boquilla intercambiable, lo cual facilita la impresión de diversos materiales. El sistema de engranajes tiene una baja fricción y es fácil de abrir y cambiar («El paste extruder», 2015).

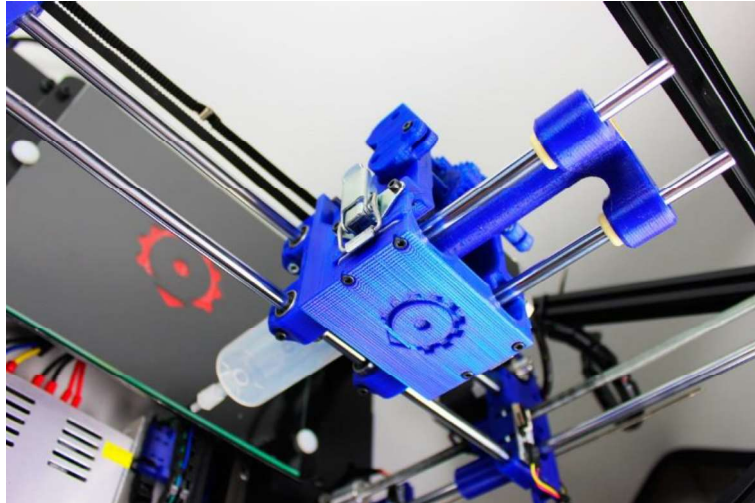


Figura 1.3 Extrusor de Pasta BCN3D+ [Fuente: BCND3 Technologies]

Ventajas

- Su construcción es sencilla y económica.
- Las partes son de fácil desmontaje.
- Tiene buena precisión
- Permite imprimir una gran variedad de materiales viscosos

Desventajas:

- Se debe desmontar cada parte del sistema para limpiar o rellenar la jeringa con el material de extrusión.
- No cuenta con un sistema de calefacción para el material de extrusión.
- Se necesita calentar el chocolate antes de ser introducido en la jeringa.
- No tiene un sistema de enfriamiento que solidifique el chocolate.

1.4.3 Choc Creator V2.0 Plus

El Choc Creator V2.0 Plus tiene un sistema de carga de jeringas, es decir, el chocolate templado se carga en la impresora a través de una jeringa y luego la jeringa se carga en la impresora. Se eligió este proceso porque es seguro para los alimentos, limpio, eficiente, permite el uso de diferentes chocolates y el chocolate que usted carga siempre estará fresco(choledge, s. f.).

El Choc Creator V2.0 Plus tiene un sistema de calefacción. El barril que aloja la jeringa mantiene una temperatura constante mientras se realiza la impresión



Figura 1.4 Choc Creator V2.0 Plus [Fuente: Chocedge]

Ventajas

- Buen acabado del chocolate.
- Buena velocidad de impresión.
- Mayor autonomía.
- Buena precisión.

Desventajas:

- Alto costo por el sistema de calefacción
- Solo puede imprimir chocolate
- Solo puede imprimir modelos hasta 18x18x4 cm

1.4.4 Makerbot Frostruder MK2.

Este sistema utiliza una jeringa y permite extruir materiales viscosos por medio de aire comprimido, el cual ejerce presión sobre el material que se va a extruir. Este sistema neumático consta de un compresor neumático, una válvula solenoide de entrada y una de salida. Por medio de la válvula de entrada se ejerce la presión que comprime el material y al usar la válvula de salida se descarga la presión dentro de la jeringa («Makerbot - MakerBot Industries Frostruder MK2 Kit», s. f.).

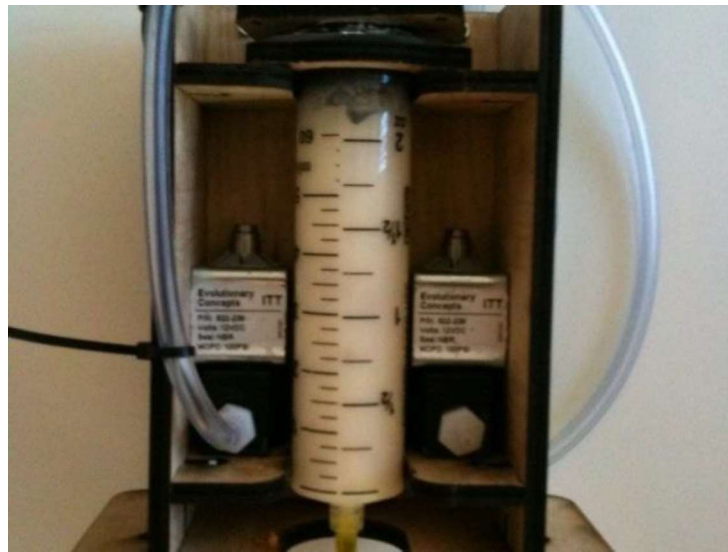


Figura 1.5 Makerbot Frostruder MK2 [Fuente: Makerbot]

Ventajas

- Limpieza sencilla y rápida.
- Deposición de material constante y uniforme.
- Velocidad de reacción instantánea.
- Se puede controlar la presión.

Desventajas:

- Elevado costo del sistema de aire comprimido.
- Se desconoce la cantidad de material restante en el extrusor.
- No cuenta con un sistema de calefacción.
- Ocupa mucho espacio al necesitar un compresor de aire.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En esta sección del documento se presenta la metodología que se sigue para el desarrollo del diseño y construcción del sistema extrusor de pasta, justificando el porqué de cada procedimiento y decisión.

Para esto se tuvo como punto de partida que el sistema extrusor de pasta se tiene que adecuar al mecanismo de una impresora 3D Geeetech Rostock 301 tipo delta, el funcionamiento de la impresora debe continuar exactamente igual antes y después de la implementación del sistema extrusor de pasta ya que el objetivo es añadir funcionalidades y no cambiar las ya existentes. Como se plantea trabajar con chocolate como material de pruebas, el cual es un producto alimenticio las piezas deben estar hechas de materiales que no produzcan efectos secundarios en los consumidores al ingerir el modelo.

Los parámetros de funcionamiento del sistema se los estableció de forma experimental, pero no dejando de lado la base teórica a las cuales se rigen las leyes, los cálculos teóricos sirvieron para tener un punto de referencia en cuanto a las especificaciones del diseño. Los materiales por su parte se seleccionaron de acuerdo con lo mencionado anteriormente y también rigiéndose a normativas ya sean nacionales o internaciones; la realización del diseño a partir de los cálculos y decisiones tomadas hasta este punto que permita la realización del prototipo para posteriormente realizar las pruebas y validar el funcionamiento de este

2.1 Diseño de forma

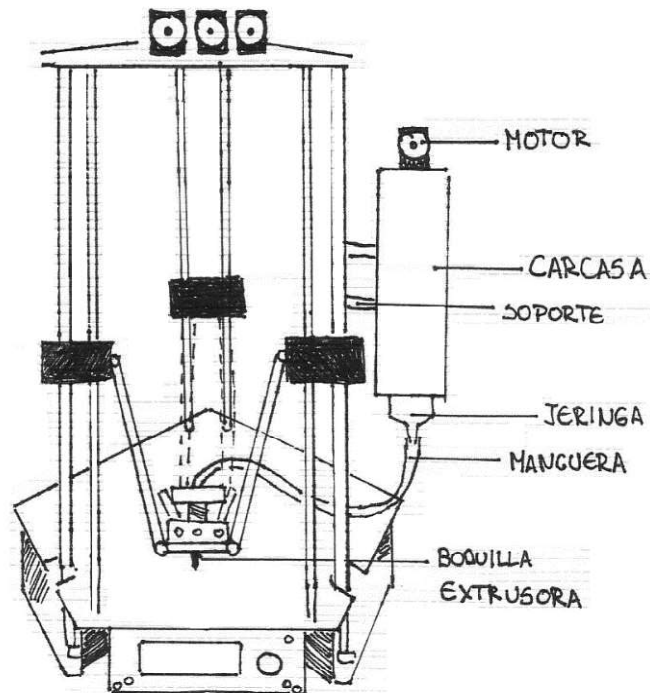


Figura 2.1 Esquema de sistema: elementos que componen el sistema extrusor.

En la figura 2.1. se presentó un diseño inicial del sistema extrusor, el cual está compuesto por un motor de pasos, un soporte para conectarlo directamente a la impresora 3D, una manguera para transportar el material de trabajo a extruir, y la jeringa con su respectivo embolo.

2.2 Alternativas de diseño

Para este proyecto se han considerado tres alternativas que se detallan a continuación, las cuales son de fácil construcción e implementación, y aunque tienen el mismo propósito de extruir un material pastoso, se obtiene un producto final con un mejor acabado o con una mejor precisión.

2.2.1 Extrusor de piñón con cremallera

Consiste en un juego de engranajes accionado por un servomotor, el cual mueve la cremallera, y esta empuja directamente el émbolo de una jeringa. El material dentro de la jeringa es expulsado y es depositado sobre la cama de impresión.

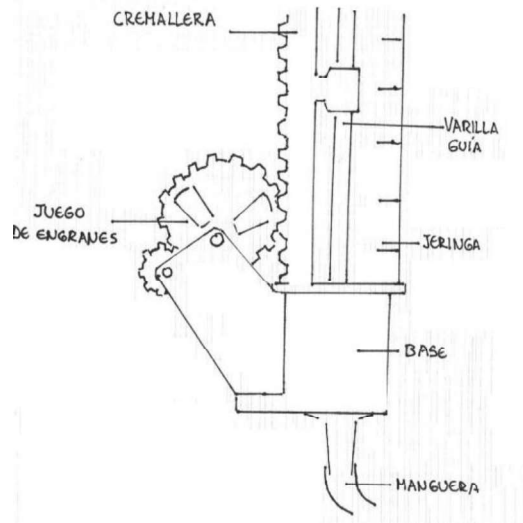


Figura 2.2 Esquema de alternativa de piñón con cremallera con sus respectivos componentes.

2.2.2 Extrusor de jeringa con tornillo sin fin

Este sistema consta de un tornillo sin fin accionado por un servomotor haciendo que el engranaje avance un número de dientes igual al número de entradas del sinfín. Este engranaje ejerce presión en el embolo y el material a extruir es expulsado por la boquilla de la jeringa.

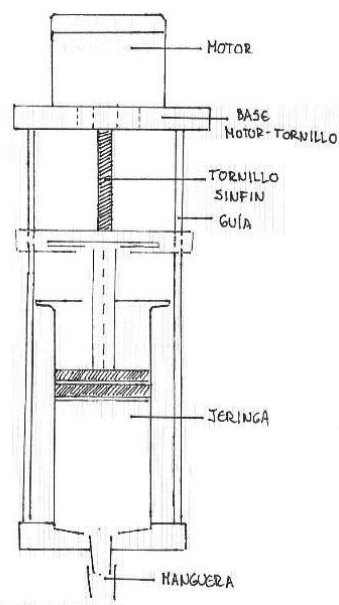


Figura 2.3 Esquema de alternativa con tornillo sin fin con sus respectivos componentes.

2.2.3 Extrusor de Aire comprimido

Este sistema ejerce presión por medio de aire comprimido, el cual consta de un compresor neumático y dos válvulas solenoide, cuando se abre la válvula de entrada ingresa el aire comprimido y ejerce presión sobre el material, mientras que al abrir la válvula de salida se descarga la presión de la jeringa.

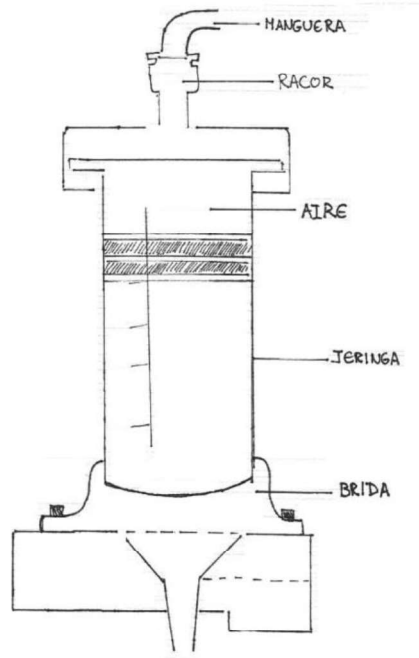


Figura 2.4 Esquema de alternativa con aire comprimido para empujar el embolo con sus componentes principales.

2.3 Selección de la alternativa de diseño por matriz de decisiones

Para la selección de la alternativa más adecuada entre el sistema de engranaje, sistema de tornillo sin fin y extrusor de aire comprimido, se realizó una matriz de decisiones en la cual se tomaron en cuenta las siguientes especificaciones:

- Costo: Esta ponderación dependerá del costo de venta del equipo, así como también del precio de los componentes y su posible costo si se realizara en otro país.

- Factibilidad de Fabricación: Nos indica si es posible construir el equipo con los materiales que se encuentran disponibles en el mercado local.
- Mantenimiento: La calificación de este punto está dada por la dificultad en realizar la reparación o limpieza del equipo, así como el costo que este implica.
- Precisión: Esta categoría nos indica que tan bueno es el acabado final del chocolate impreso.
- Tiempo de Trabajo: Se califica de acuerdo con el tiempo que se demora en crear una pieza impresa en chocolate.
- Los puntajes son del 1 al 5, siendo 1 el más desfavorable y 5 el más favorable

Tabla 2.1 Matriz de decisiones

Criterios	Peso	Piñón con cremallera	Tornillo sinfín	Aire comprimido
Costo	20%	4	5	1
Factibilidad de Fabricación	30%	5	4	3
Mantenimiento	20%	4	4	5
Precisión	15%	3	5	4
Tiempo de trabajo	15%	4	4	5
Total		4,15	4,35	3,45

En la tabla 2.1 se confirma que el extrusor de jeringa con tornillo sin fin es la opción más favorable debido a su bajo costo, fácil construcción, buena precisión y su fácil mantenimiento. La alternativa del extrusor que utiliza aire comprimido fue fácilmente descartada debido a la gran cantidad de espacio que utiliza para su funcionamiento, así como también del alto costo que este tendría para su construcción o implementación.

2.4 Normativas

Las normativas que se presentan a continuación se adecuan a las necesidades para las cuales se va a realizar este proyecto, las cuales están dirigidas a maquinas que están en contacto con productos alimenticios y están reguladas por entes nacionales.

- La Norma Técnica ARCSA/04/2015/EC nos indica que los materiales y superficies que se encuentren en contacto directo con los alimentos no deben ser tóxicos, y

además deberán ser diseñados de tal forma que sean de fácil mantenimiento, limpieza y desinfección. Así como también deberán facilitar el control de plagas, y dificultar que éstas tengan acceso dentro del material.

- Las superficies en contacto con los alimentos no deben transmitir olores ni sabores, así como tampoco deberán reaccionar con los materiales o ingredientes que se utilizan en el proceso de fabricación.
- Las tuberías destinadas a la conducción de alimentos tienen que ser inertes, resistentes, impermeables, no porosos, y de fácil desmontaje para su desinfección. Estas deberán ser limpiadas y desinfectadas por medio de recirculación de sustancias que cumplan un procedimiento validado para los alimentos.
- La Norma ISO 22000 nos dice que los contaminantes y bacterias pueden ingresar en cualquier etapa de actividad de la cadena alimentaria. Por ello es necesario implementar un sistema de gestión de la inocuidad a través de toda la cadena alimentaria.

2.5 Identificación de los factores de diseño

Para el diseño y posterior construcción del sistema extrusor, es necesario identificar los diferentes factores con los cuales va a operar el sistema.

Entre los factores que se han identificado se tiene:

- Flujo Volumétrico
- Velocidad de rotación del motor del extrusor
- Propiedades del material de trabajo
- Torque
- Diseño de forma del sistema

Cabe mencionar que estos factores se determinarán de forma teórica como experimental. En el capítulo 3 se mostrarán los resultados de estos.

2.6 Cálculos y diseño de los componentes del prototipo extrusor de pasta

Una vez que se ha seleccionado la alternativa de diseño y se han establecido las normativas dirigidas a maquinarias que están en contacto con los alimentos, se procede

a realizar los cálculos de cada uno de los componentes con sus respectivos diseños, así se logra disminuir la incertidumbre entre lo teórico y lo real, teniendo un punto de partida para la construcción del prototipo.

2.6.1 Determinación de flujo volumétrico

La cantidad de fluido que debe salir del extrusor puede variar dependiendo de la geometría con la cual se esté trabajando, el proceso de extrusión es experimental y en algunos casos la cantidad de chocolate a depositar debe graduarse mientras se realiza la extrusión.

De forma experimental el flujo volumétrico se lo determinó mediante la realización de pruebas, consistieron en tomar el tiempo necesario para que se realice una figura determinada, midiendo la diferencia entre la medida inicial de la jeringa y la final, utilizando la ecuación:

$$Q_{exp-boquilla} = \frac{V_{desplazado}}{t} \quad (2.1)$$

Donde:

$V_{desplazado}$: Es el volumen que se expulsa de la jeringa ml

t : Tiempo transcurrido s

El flujo volumétrico es igual al flujo que es empujado por medio del embolo, en donde se tiene:

$$Q_{jeringa} = Q_{boquilla} \quad (2.2)$$

$$A_e * V_e = A_b * V_b \quad (2.3)$$

Donde

$Q_{jeringa}$ & $Q_{boquilla}$: flujo de material en la jeringa y en la boquilla (entrada y salida)

A_e : Área del embolo

A_b : Área de salida en la boquilla

V_e : Velocidad del embolo

V_b : Velocidad de salida en la boquilla

Por recomendación se tiene que el flujo volumétrico debe ser bastante bajo teniendo un valor de $100 \text{ mm}^3/\text{s}$ debido a que el chocolate tiene una velocidad de solidificación baja, con este valor de caudal y variando la velocidad angular del motor se determina el diámetro de salida de la boquilla extrusora.

2.6.2 Determinación de velocidad del motor

Primero fue necesario calcular la velocidad lineal con la cual se desplazará el tornillo, de esta forma se puede identificar la velocidad con la cual se desplazará el embolo debido que es la misma.

Esta velocidad también se determina de forma teórica y experimental

Para calcular esta velocidad se tiene las siguientes ecuaciones:

$$V_a = A * n \quad (2.4)$$

Donde

A : Avance mm

n : Velocidad angular rpm

Determinando el avance se tiene:

$$A = p * e \quad (2.5)$$

Donde:

A : Avance mm

p : Paso de la rosca

e : Número de entradas

2.6.3 Carga de extrusión

La fuerza que debe aplicarse al embolo para poder desplazar el material de trabajo a través de la jeringa y luego por la sección de la manguera hasta la boquilla de extrusión. Debido a que el chocolate es un fluido no newtoniano no se puede realizar el cálculo de pérdidas en las secciones por las cuales se desplazará el chocolate y utilizar dinámica de fluidos computacional para el cálculo.

Por lo tanto, la fuerza se determinó de forma experimental y se determina por la siguiente ecuación:

$$F_{emb} = m * g \quad (2.6)$$

Donde:

m : Masa colocada sobre el embolo

g : Aceleración de la gravedad

2.6.4 Torque del tornillo

El torque del tornillo es el torque que debe imprimir el motor de paso NEMA 17, con este parámetro se pudo luego seleccionar cual es el motor adecuado para poder desplazar el embolo de la jeringa.

$$T_{tot} = T_{carga} + T_{collarin} \quad (2.7)$$

De forma expandida se tiene:

$$T_{tot} = \frac{F_{emb} * d_p (\mu \pi d_p + L)}{2(\pi d_p - \mu L)} + \mu_c F_{emb} \frac{d_c}{2} \quad (2.8)$$

Donde:

F_{emb} : Carga del embolo N

d_p : Diámetro de paso mm

d_c : Diámetro del collarín mm

μ_c : Coeficiente de fricción en el cojinete de empuje

2.6.5 Relación de transmisión

Para el caso de que el torque requerido en el tornillo sea superior al que puede suministrar el motor, la alternativa de solución más simple fue colocar un pequeño reductor, de tal forma que el torque que imprime el motor se vea aumentado la cantidad de veces que sea necesario, variando la relación de numero de dientes entre piñón y engranaje. Esta relación viene dada con la siguiente ecuación.

$$m_G = \frac{N_{eng}}{N_{piñ}} = \frac{T_{eng}}{T_{piñ}} \quad (2.9)$$

Donde:

m_G : Razón de engrane

N_{eng} : Numero de dientes del engrane

$N_{piñ}$: Número de dientes piñón

T_{eng} : Torque del engrane Nm

$T_{piñ}$: Torque del piñón Nm

De la misma forma, la velocidad angular a la que debe girar el motor debe variar, ya que al colocar un reductor, la velocidad de avance en el engrane será n veces menor que la del piñón (de acuerdo con la razón de engrane que se necesite), es decir que, para mantener la velocidad de avance necesaria, el motor debe girar más rápido para mantener la extrusión.

La razón de velocidad angular viene dada por la siguiente ecuación.

$$m_V = \frac{N_{piñ}}{N_{eng}} = \frac{n_{eng}}{n_{piñ}} \quad (2.10)$$

2.6.6 Potencia del sistema

Con los parámetros encontrados anteriormente se puede determinar la potencia del sistema extrusor de pasta, este parámetro sirve de guía para validar la selección del motor de paso y viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_{sis} = T_{eng} * n_{eng} \quad (2.11)$$

Donde:

T_{eng} : Torque del engranaje Nm

n_{eng} : velocidad angular del engranaje rad/s

2.6.7 Propiedades del material de trabajo

El chocolate es un material con un comportamiento bastante complejo, considerando que sus propiedades varían de acuerdo con varios parámetros, en estado líquido se comporta

como un fluido no newtoniano, pudiendo considerarlo un pseudo plástico, en la siguiente curva regida por la ecuación $n = \frac{\tau}{D}$ donde a viscosidad es el gradiente de la línea. (referencia)

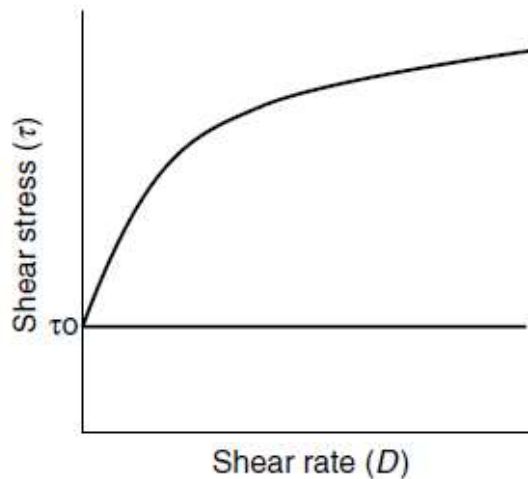


Figura 2.5 Grafica del esfuerzo cortante, la viscosidad está representada por la pendiente de la gráfica. [Fuente: industrial chocolate manufacture and use]

Anteriormente se mencionaron las propiedades del chocolate, es por esto por lo que en esta sección no se ahonda más en el tema, y se presenta una tabla con las propiedades de este a 34 °C.

Tabla 2.2 propiedades del chocolate a temperatura de extrusión (34 °C)

Densidad	1320 kg/m³
Viscosidad	50 Pa.s
Calor específico	1,432 – 1,695 KJ/(Kg · K)
% Manteca de cacao	(40 – 60) %

Considerando estos valores se pueden describir algunas características del chocolate:

- Su viscosidad depende en gran medida de la temperatura (Fluido no Newtoniano)
- El tiempo de solidificación a temperatura ambiente es 7 minutos.

- Las propiedades y calidad dependen de su porcentaje de manteca de cacao, contenido de azúcar, marca, etc. Siendo una mezcla entre el chocolate compound y chocolate amargo la mejor opción.

2.6.8 Tabla de parámetros

Los parámetros que se presentan en la siguiente tabla sirven de punto de partida para poder determinar las especificaciones de funcionamiento del sistema, es decir con estos valores se va a dimensionar el extrusor.

Tabla 2.3 valores establecidos de parámetros de partida.

Descripción	Valor
Material de trabajo	Chocolate
Paso	2.0 mm
Temperatura de extrusión	34 °C
Dimensiones de la jeringa	$D = 48 \text{ mm}$ $L = 20 \text{ cm}$
Diámetro del extrusor	2 mm
Torque del motor	1.6 kg – cm

2.7 Diseño del sistema extrusor

En base a los parámetros mencionados anteriormente, se inicia con el diseño conceptual del sistema extrusor, este de aquí debe adecuarse a los requerimientos del sistema, de esta forma se busca obtener un diseño sencillo y funcional, el cual va a estar dividido en análisis teórico y una parte experimental de ajuste de parámetros.

Como anteriormente se presentaron 3 propuestas de diseño, y se seleccionó el sistema con tornillo sin fin; a continuación, se presenta el diseño conceptual de la alternativa seleccionada y de cada uno de sus componentes.

2.7.1 Jeringa de 200 cc

La jeringa es el elemento que va a almacenar el chocolate, y a su vez va a depositar el material, por lo cual va a estar en contacto con el alimento en todo momento. El material es de Polipropileno, lo cual es ideal para nuestras condiciones de operación, porque

soporta temperaturas de hasta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin deformarse. En nuestro caso utilizaremos el chocolate a una temperatura media de aproximadamente $34\text{ }^{\circ}\text{C}$.

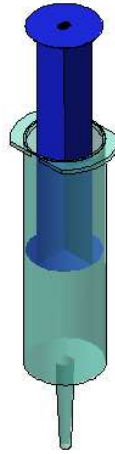


Figura 2.6 Jeringa de 200 cc

2.7.2 Varillas y Tornillo sin fin

Las 2 varillas lisas, así como el tornillo roscado son de acero ASTM 316 L, debido a sus buenas propiedades ante la corrosión, lo que la hace ideal para el diseño de nuestro prototipo. El paso del tornillo roscado es de 2 mm y tiene un diámetro de 10 mm , y en sus extremos se redujo el diámetro para acoplarlo a las bases del sistema.

Se lo seleccionó de tal forma que el sistema no se convierta en algo robusto, es por esto por lo que se escogió el de diámetro más bajo, ya que las fuerzas que actúan sobre el sistema no afectaran a su rendimiento.

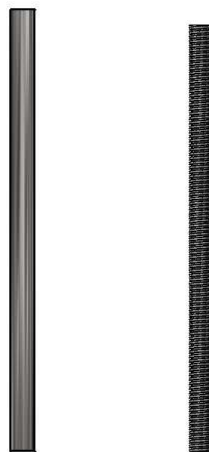


Figura 2.7 Varilla y Tornillo sin fin

2.7.3 Soportes para el motor, embolo y jeringa

Los soportes que van a sostener el motor, el embolo y la jeringa van a ser diseñados en Inventor, y luego van a ser impresos en PLA por medio de la impresora Delta Rostock 301 que tenemos.

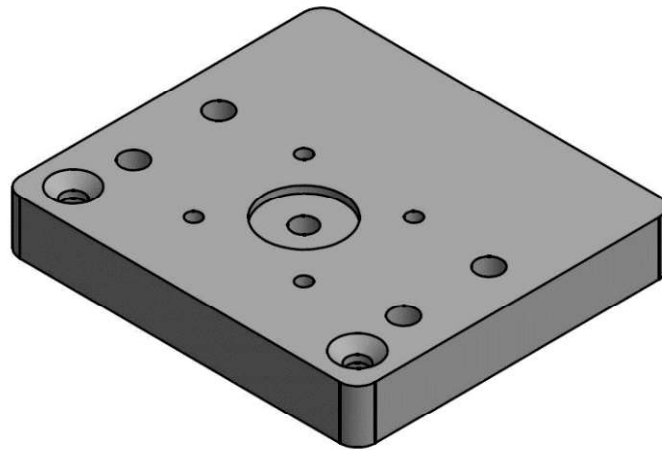


Figura 2.8 Soporte del motor

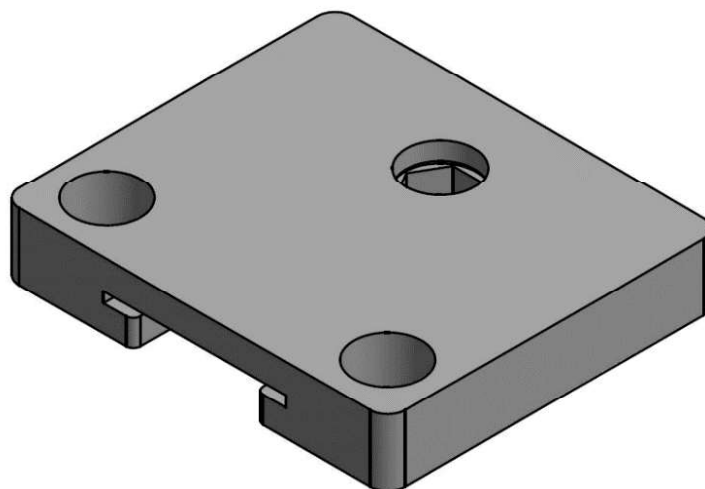


Figura 2.9 Soporte del embolo

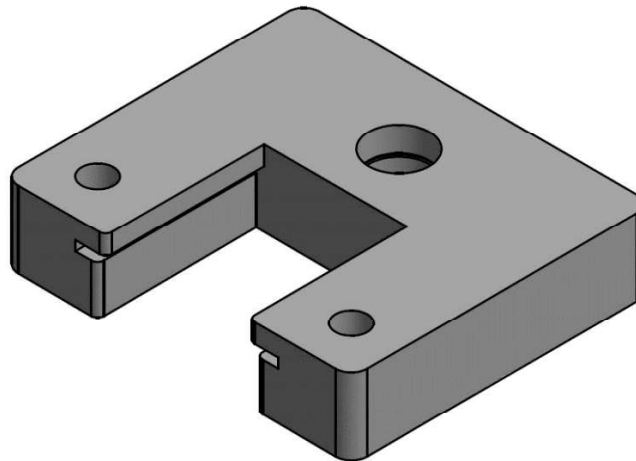


Figura 2.10 Soporte de la jeringa

2.8 Diseño en CAD del prototipo extrusor de pasta

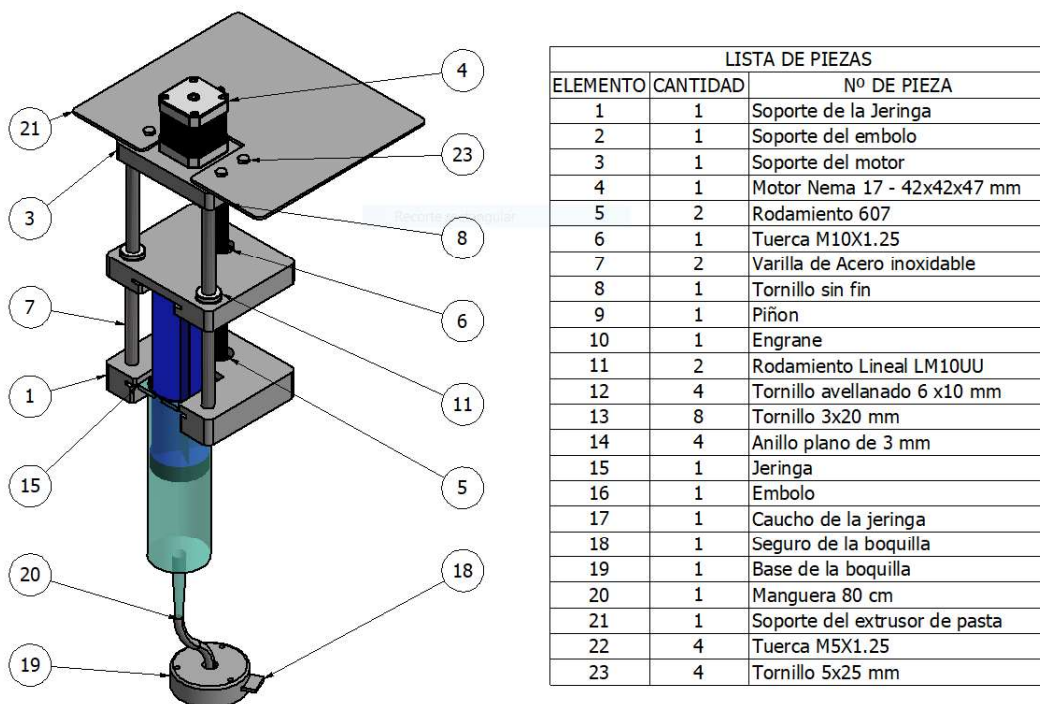


Figura 2.11 Diseño del prototipo extrusor de pasta

El elemento 1 sirve de soporte para el motor de paso y el extrusor de pasta, así como también conecta el piñón y el engrane con el tornillo sinfín, el elemento 2 tiene acoplado 2 rodamientos lineales, 1 tuerca y el embolo, el elemento 3 tiene un rodamiento y la jeringa, el elemento 19 conecta la manguera y tiene un seguro.

Los rodamientos lineales se los selecciona de forma parecida basándonos en factores como: costo, facilidad de montar y dimensiones pequeñas por esto se seleccionó rodamientos lineales tipo eLINE, su hoja de datos se encuentra en la sección de anexos H.

2.9 Construcción del Sistema Extrusor

Una vez realizado el diseño del sistema extrusor y establecidos los parámetros de funcionamiento de este, fue necesario realizar un diseño detallado del sistema, en este de aquí se consideran cada uno de los elementos, desde los más pequeños hasta los más grandes que se utilizarán en el extrusor. Los planos y la vista en explosión del extrusor de pasta se encuentran en el Anexo A.

Para la fabricación de la mayoría de los elementos del sistema extrusor, se utilizó la misma impresora a la cual van a adecuarse estos, ya fueron diseñados en un software CAD, para posteriormente ser impresos, el material del cual están hechos el PLA, el cual es un material inerte no se oxida por ser un plástico, otros elementos como la jeringa solo se los obtiene y son parte del sistema, cabe recalcar que como se trabaja con chocolate como material de trabajo y por tratarse el chocolate de un producto alimenticio, todos los elementos del sistema tienen que mantenerse inertes cuando entran en contacto con el chocolate y no lo contaminen por la posibilidad de causar efectos secundarios en la salud del consumidor en caso de que lo ingiera.

El sistema debe mantenerse en posición vertical dado que sus dimensiones son considerablemente grandes y la colocación en una posición distinta puede hacerlo menos práctico, es por esto por lo que se diseñó una base que mantiene al sistema en la posición deseada.

La ficha de datos y dimensiones de los rodamientos 607 y rodamiento lineal LM10UU se encuentran en Anexo B y C respectivamente.

La ficha de datos y dimensiones del tornillo roscado y de la tuerca hexagonal utilizadas se encuentran en Anexo F y G respectivamente.

2.10 Control del sistema

El sistema extrusor de pasta debe trabajar en forma sincronizada con la impresora 3D, como se planteó inicialmente la idea no es cambiar el funcionamiento de la impresora, sino agregarle nuevas funcionalidades, pero dado que utilizan distintos tipos de

materiales y el sistema extrusor es distinto, se establecen experimentalmente parámetros de avance mediante el software generador de código G con el cual se configura la impresora.

El sistema extrusor de pasta se conectó directamente a la tarjeta de control del sistema, reemplazando el driver de uno de los motores de la impresora por el del sistema extrusor, esto quiere decir que toma la señal de la programación de la impresora para dar movimiento al motor NEMA 17 (Ver Anexo D), a partir de eso los parámetros se los configura directamente mediante el software Repetier.

2.10.1 Configuración de parámetros de la impresora

Los parámetros que se configuraron para obtener un modelo en 3D de chocolate con un flujo de material constante y con buena precisión fueron: la altura de capa de 0.5 mm , relleno de 100% con un espesor de pared de 10 mm , y una velocidad de flujo de material de trabajo del 300%. Teniendo en cuenta que la velocidad de impresión era de 5 mm/s , se obtuvo que el relleno tenía la misma velocidad de 5 mm/s , mientras que el flujo de material de trabajo era de $100\text{ mm}^3/\text{s}$.

Es importante recordar que los parámetros son configurados para obtener una impresión con chocolate como material de trabajo, la configuración que se muestra es inicial, por lo tanto, el usuario puede modificarla por la que considere correcta.

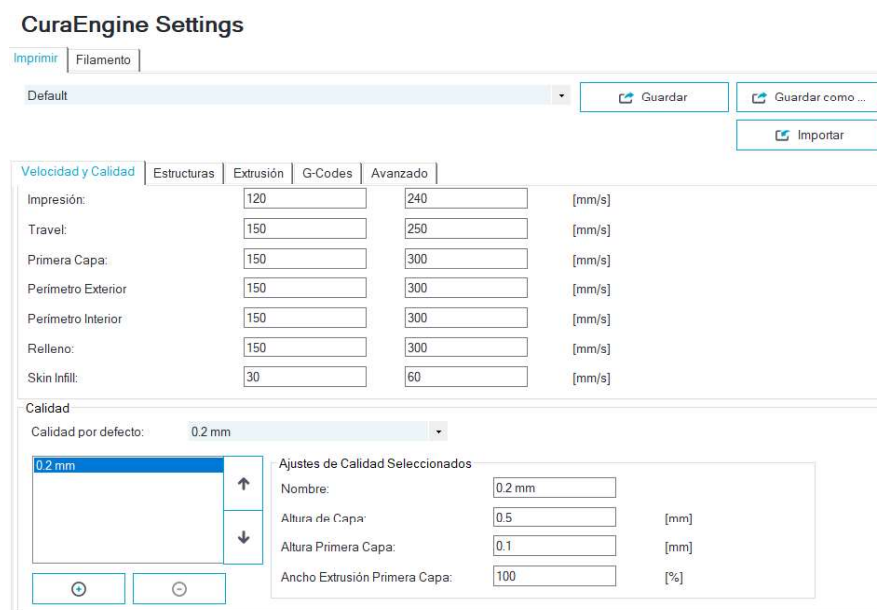


Figura 2.12 Velocidad y calidad de impresión: se modificó la altura de capa a 5 mm .

CuraEngine Settings

Imprimir Filamento

Default Guardar Guardar como ... Importar

Velocidad y Calidad **Estructuras** Extrusión G-Codes Avanzado

Relleno

Shell Thickness: [mm]

Espesor Superior/Inferior: [mm]

Infill Overlap: [%]

Infill Pattern: Automático

Relleno Superior Sólido Relleno Inferior Sólido

Apoyo

Patrón de Apoyo: Líneas

Overhang Angle: [°]

Cantidad de Relleno: [%]

Distancia XY: [mm]

Distancia Z: [mm]

Figura 2.13 Relleno de la impresión: se aumentó el relleno al 100%, con un espesor de pared de 10 mm.

CuraEngine Settings

Imprimir Filamento

Default Guardar

Filamento

Diametro de Filamento: [mm]

Flow: [%]

Temperatura

Print Temperature: [°C]

Bed Temperature: [°C]

Refrigeración

Min. Fan Speed: [%]

Max. Fan Speed: [%]

Minimum Layer Time: [s]

Figura 2.14 Parametros de flujo del material de trabajo: se aumento la velocidad del flujo de material de trabajo a un 300%.

2.10.2 Retraso del flujo volumétrico

Es importante considerar el retraso que tiene el desplazamiento del flujo volumétrico del material de trabajo debido a que el mismo se desplaza por una manguera, la reacción del material desplazándose por la manguera no es instantánea, por lo que habrá un

retraso tanto en avance como en retracción, debe considerarse que mientras más corta sea la manguera, menor va a ser el tiempo de retraso del material de trabajo (esto también es un punto a considerar en cuanto a la disminución de temperatura del chocolate y posterior endurecimiento prematuro), también el problema se puede minimizar utilizando mangueras con cierta resistencia a la flexibilidad.

2.11 Obtención experimental de datos

Con el prototipo montado, es necesario llevar a cabo pruebas de funcionamiento de este, en esta parte es en la cual se establecen los parámetros óptimos de funcionamiento, como se trata de experimentación, se establece el flujo volumétrico óptimo (Partiendo del recomendado), medición experimental del torque necesario del motor, velocidad de avance del embolo, retracción del material de trabajo (en caso de ser necesaria), potencia necesaria, temperatura de trabajo etc.

2.11.1 Flujo volumétrico

Para este caso se parte de los flujos recomendados por fabricantes, para poder llegar al flujo deseado se varía la velocidad de giro del motor y considerando la cantidad de fluido que se desplaza en la jeringa en un tiempo determinado, se puede regular el flujo volumétrico del extrusor.

2.11.2 Fuerza aplicada al embolo

Se la obtiene utilizando pesos calibrados, estas cargas se deben colocar en la parte posterior del embolo para determinar la carga necesaria para poder desplazar el embolo con el material de trabajo contenido, con este dato se obtiene el torque requerido por el tornillo sinfín como se describe en la sección 2.5.3.

2.11.3 Proceso de preparación del chocolate

Existen varias formas para preparar el chocolate, la más recomendable es realizar un proceso de temperado del mismo, en este de aquí se toma chocolate cobertura y se lo somete a un proceso de fundición del mismo por baño maría, controlando que la temperatura no sea superior a $45\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, colocar $\frac{3}{4}$ de la porción del chocolate

fundido en una superficie limpia y dejar el resto calentando en baño maría, luego con una espátula se mueve el chocolate en la superficie hasta que su temperatura baje a 28 °C mezclar el con el chocolate en baño maría hasta que alcance los 33 °C, seguido de esto se tiene un chocolate correctamente preparado por temperado («Temperado de chocolate», s. f.). Se puede realizar la preparación de chocolate en microondas («Atemperado», 2017) este procedimiento consiste en colocar el chocolate (el cual debe ser compound) troceado en un recipiente y calentarlo en un microondas por intervalos de 15 segundos hasta que quede fundido, una vez que los grumos hayan desaparecido el chocolate estará listo para colocarlo en el extrusor.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la metodología planteada en el capítulo 2 en el cual se mostró el proceso de diseño adecuado para el sistema extrusor de pasta. También se presenta el prototipo del sistema extrusor de pasta montado y funcionando además de algunas pruebas realizadas con el mismo.

En el apéndice A se muestra el esquema del sistema extrusor

3.1 Funcionamiento del sistema extrusor

El extrusor de pasta instalado en la impresora 3D tiene los siguientes elementos:

- Motor
- Jeringa
- Bases (de moto, jeringa y embolo)
- Tornillo sinfín
- Manguera
- Boquilla

Con el modelo 3D preparado previamente e ingresado el código de este en el panel de control de la impresora, el sistema enviará la señal de uno de los extrusores hacia el motor de paso, el cual entrega el torque a un juego de engranes que permite generar el torque suficiente para hacer girar el tornillo sinfín, este empuja al embolo utilizando una tuerca en la base del embolo e impulsa la base hacia la dirección deseada, el material de trabajo es empujado dentro de la jeringa por acción del émbolo y sale de la boquilla de la jeringa hacia una manguera la cual transporta el material hacia la boquilla final de extrusión, esta última reemplaza el extrusor típico de la impresora 3D moviéndose de la misma forma que lo haría con el sistema convencional mientras se expulsa el material pastoso colocándolo en la base de la impresora tomando la forma establecida del modelo.

3.2 Resultados

Para esta sección se tiene tanto la parte teórica como la experimental (real), el cálculo teórico se lo obtiene de la velocidad de rotación del motor de paso y así determinar el caudal de extrusión, por otro lado, la parte experimental se realizó tomando el tiempo que se tardaba en desplazar una determinada cantidad de material obteniendo así el valor del caudal.

3.2.1 Flujo volumétrico teórico

Los cálculos a continuación muestran cuál debería ser el flujo volumétrico de material que se expulse del sistema extrusor de pasta para la configuración recomendada por expertos.

3.2.1.1 Velocidad de giro del motor del extrusor

A pesar de que la velocidad de giro que tiene el motor de extrusor es variable, estos parámetros pueden configurarse en software, por tratarse de material pastoso para este caso se fijaron los parámetros de tal forma que mantenga constante el flujo de material de trabajo. La velocidad de giro del motor se determinó de manera directa, utilizando una configuración recomendada por fabricantes de sistemas similares, a partir de este dato se determinó de forma teórica el flujo volumétrico del sistema extrusor de pasta.

$$n_{motor} = 9 \text{ rpm}$$

3.2.1.2 Velocidad de giro del tornillo

La velocidad de rotación del tornillo se determinó a partir de la ecuación 2.4, es importante este dato dado que la velocidad con la que gira el tornillo no es la velocidad que suministra el motor al sistema ya que fue necesario implementar un juego de engranes el cual reduce la velocidad de rotación que imprime el motor en función de la relación de transmisión que se estableció.

$$V_a = A * n_t$$

La velocidad de giro del tornillo se determina por medio de la ecuación 2.10, la cual muestra la relación de transmisión que se estableció (en la sección 3.3.4 se muestra cómo se obtuvo este valor).

$$m_V = \frac{N_{\text{piñ}}}{N_{\text{eng}}} = \frac{n_{\text{eng}}}{n_{\text{piñ}}}$$

$$n_{\text{eng}} = \left(\frac{9}{5}\right) = 1.8 \text{ rpm}$$

Con este valor de velocidad de giro se determinó la velocidad lineal con la que se mueve el embolo con la ecuación 2.4, quedando:

$$V_a = \left(2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right) * \left(1.8 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) = 3.6 \text{ mm/min}$$

Con el valor de la velocidad de avance del tornillo se determinó el valor del flujo volumétrico en función de la escala con la que está graduada la jeringa, la cual corresponde a una relación de 1:17 entre centímetros cúbicos y centímetros lineales.

Por lo tanto, el flujo volumétrico corresponde a:

Se realiza la equivalencia entre velocidad y caudal, considerando:

$$1 \text{ cm} = 17 \text{ cm}^3$$

$$Q_{\text{extrusión}} = 3.6 \frac{\text{mm}}{\text{min}} * \frac{\text{cm}}{10\text{-mm}} * \frac{17 \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}} = 6 \text{ cm}^3/\text{min}$$

O

$$Q_{\text{extrusión}} = 0.10 \text{ cm}^3/\text{s} = 100 \text{ mm}^3/\text{s}$$

3.2.2 Flujo Volumétrico Experimental

El flujo volumétrico experimental es un valor obtenido de la realización de pruebas, de tal forma que se obtiene una mejor estimación de la cantidad real de material que es expulsado de acuerdo con los mejores resultados en cuanto a acabado y forma de las figuras modeladas.

Tabla 3.1 Determinación experimental de caudal

Valor inicial cm^3	Valor final cm^3	Diferencia cm^3	Tiempo s
125	100	25	206
100	75	25	210
75	50	25	213
50	25	25	200
Promedio		25	207
Caudal cm^3/s		0.12	
Caudal mm^3/s		120	

Este valor garantiza que la extrusión se va a realizar de forma correcta y no habrá exceso de material en la base donde se coloca el material.

El caudal experimental se lo determinó por medio de la ecuación 2.1, con los datos tabulados en la tabla 3.1.

$$Q_{experimental} = 120 \text{ mm}^3/s$$

3.2.2.1 Velocidad de avance del embolo

A partir del flujo volumétrico que se desplaza por la jeringa, se determinó la velocidad con la que el embolo debe moverse, a partir de la ecuación 2.3 se determina esta velocidad.

Velocidad real

$$V_e = \frac{Q_{salida}}{A_e}$$

$$V_e = \frac{120 \text{ mm}^3/s}{1591 \text{ mm}^3/s} = 0.075 \text{ mm/s}$$

O

$$V_e = 4.5 \text{ mm/min}$$

A su vez vale mencionar que la velocidad del embolo que se acaba de determinar es la misma velocidad lineal con la que se desplaza el tornillo sinfín.

3.2.2.2 Velocidad de giro del tornillo

De manera similar que en el punto 3.2.1.2, mediante la utilización de la ecuación 2.4 se puede determinar la velocidad de giro a la que va a estar el tornillo sinfín.

Como se muestra en la ecuación 2.5 el avance depende del número de entradas y el paso, teniendo un paso de 2 mm, por lo tanto, se tiene:

Se recomienda utilizar la velocidad en mm/min

$$n_t = \frac{3.0 \text{ mm/min}}{2 \text{ mm}} = 2.3 \text{ rpm}$$

3.2.2.3 Velocidad de giro del motor de paso

Utilizando la ecuación 2.10 se determinó la velocidad a la cual el motor debe girar para mantener el flujo volumétrico constante.

$$m_v = \frac{1}{5} = \frac{n_{eng}}{n_{piñ}}$$

$$n_{piñ} = (2.3 \text{ rpm}) * (5) = 11 \text{ rpm}$$

Los valores teóricos y experimentales guardan relación cercana, a simple vista parecen valores muy bajos ya que podría llegar a ser imperceptibles, pero esto se debe a que el área por el cual se desplaza el embolo es mucho mayor al área de extrusión, es decir que, aunque a velocidad parezca muy baja, es significativamente mayor cuando sale extruida de la boquilla.

$$V_{boquilla-real} = \frac{120 \text{ mm}^3/s}{2.3 \text{ mm}^2} = 53 \text{ mm/s}$$

$$V_{boquilla-teo} = \frac{100 \text{ mm}^3/s}{2.3 \text{ mm}^2} = 44 \text{ mm/s}$$

Los datos de velocidad de giro del motor son determinados para el caso en el que se requiera hacer un controlador debido a que no sea posible realizar un “plug and play” con el sistema y el controlador de la impresora, con estos datos se tiene la velocidad a la cual se debe configurar la velocidad de giro del motor.

3.2.3 Carga fuerza necesaria para empujar el embolo con material

La fuerza necesaria se la determinó mediante el uso de pesas, las cuales se colocaron sobre la base del embolo hasta llegar a la carga necesaria para empujar al embolo con el material de trabajo, manguera y boquilla.

Cuando la jeringa se encuentra sin material se podía desplazar con una carga de 2 *kgf*, una vez que se le agrega material de trabajo y el resto de los elementos, esta carga se ve aumentada hasta los 3.5 *kgf*, por lo tanto, la fuerza necesaria es de:

$$F_{embolo} = (3.5 \text{ kg}) * (9.8 \text{ m/s}^2) = 34 \text{ N}$$

Esta fuerza luego es de utilidad para realizar el cálculo del torque en el tornillo, ya que este es el dato que permite determinar el mismo.

3.2.4 Torque en el tornillo

El cálculo del torque necesario para que se realice el movimiento del embolo se lo realizó por medio de la ecuación 2.7 para esto la carga a levantar se la determinó experimentalmente (descrita en el punto anterior) y para el cálculo del torque se tomó el doble del valor necesario para asegurarnos de que el motor funcionará correctamente.

$$T_{tot} = \frac{Pd_p(\mu\pi d_p + L)}{2(\pi d_p - \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

$$T_{tot} = \frac{(34)(7)((0.15)\pi(7) + 2)}{2(\pi(7) - (0.15)2)} + (0.15)(34)\frac{8}{2}$$

$$T_{requerido} = 50 \text{ Nmm}$$

Con este resultado se seleccionó el motor con el cual el sistema va a ser impulsado, dado que los motores de paso NEMA17, a pesar de que el torque que se calculó es menor a la capacidad de torque del motor al momento de realizar pruebas se determinó experimentalmente que el motor en realidad no brinda el torque necesario para desplazar el material, además de que la fuerza axial que puede suministrar el motor según su tabla

de especificaciones la cual se encuentra en la sección de anexos es de 10 N y la fuerza que está desplazando en el sistema extrusor de pasta es de aproximadamente 40 N . Esta variación ocurrió debido a que se trabajó con fluido no newtoniano, su análisis mediante cálculos sin software termina siendo poco preciso, y la geometría de la jeringa tiene una reducción de sección la cual se opone al flujo del material de trabajo. Se procedió a realizar una simulación en SimFlow el cual es un software CFD el cual permitió obtener de manera confiable los esfuerzos a los que se somete la jeringa, en la figura 3.1 se muestra forma en la que se realiza el mallado de la jeringa y en la figura 3.2 se muestra la presión que ejerce el material de trabajo (chocolate) sobre las paredes internas de la jeringa.

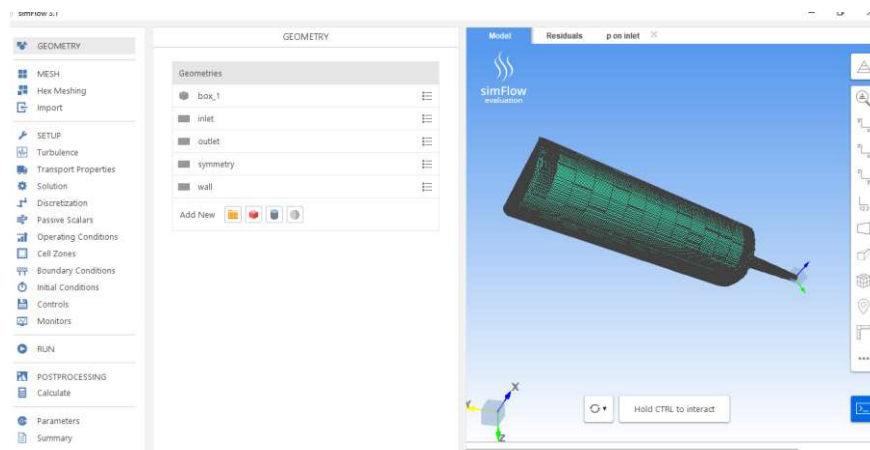


Figura 3.1 Mallado realizado a la jeringa realizado para media sección de la misma utilizando la herramienta de simetría del software SimFlow

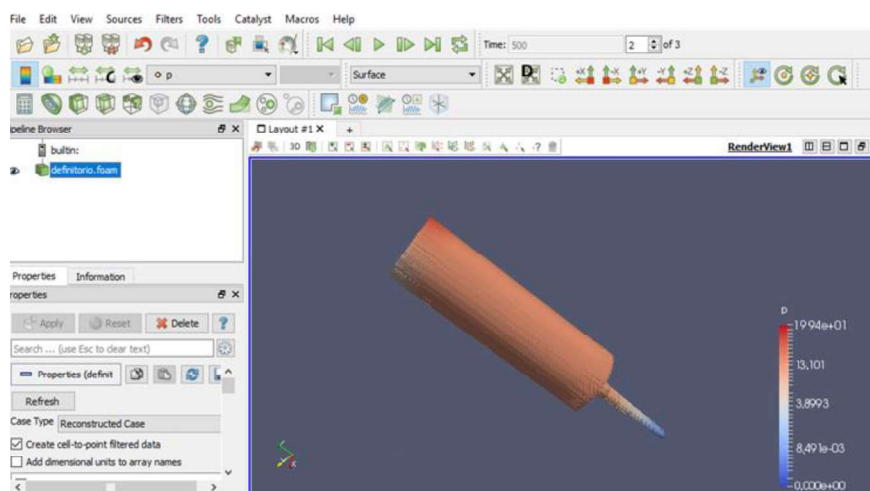


Figura 3.2 simulación realizada por medio del software SimFlow

Se puede observar en la figura que los valores más altos de presión están a aproximadamente 20 kPa , sin contar elementos como la boquilla de extrusión que aumenta estos valores, lo que significa que la fuerza necesaria es superior a la que suministra el motor, por lo cual terminó siendo necesario realizar una relación de transmisión para poder realizar la extrusión de manera ininterrumpida.

3.2.5 Relación de transmisión

Después de comprobar la capacidad del motor, se llegó al consenso de que el torque necesario debe ser al menos 5 veces superior al que suministra el motor, es por esto por lo que se optó por una relación de transmisión de 5:1, con un número de dientes de piñón de 16 y uno de engranaje de 80.

3.2.5.1 Torque del motor

El motor brinda un máximo valor de torque, como se mencionó fue necesario realizar una relación de transmisión ya que el torque del motor no fue suficiente, el cálculo del torque que suministra el sistema gracias al juego de engranes se obtuvo con la ecuación 2.8, la cual permite relacionar entre el torque que entra y el torque que se está entregando al tornillo por medio del juego de engranajes.

Por lo tanto, se tiene un torque de:

$$\frac{T_{eng}}{T_{piñ}} = 5$$

$$T_{eng} = 5 * (0.15\text{ Nm})$$

$$T_{reductor} = 0.75\text{ Nm}$$

Este será el torque que imprimirá el sistema hacia el tornillo, con el cual se garantiza que el material pastoso va a ser extruido correctamente.

La capacidad de fuerza axial que ofrece el motor es de 10 N , gracias a la relación de transmisión también se obtiene una magnificación de la fuerza a 50 N , con lo que se obtiene un factor de seguridad en cuanto al empuje de:

$$F = \frac{P_{empuje}}{P_{aplicada}} = \frac{50}{34} = 1.5$$

Gracias a este factor de seguridad se pudo asegurar que el sistema va a operar de forma correcta para cargas 1.5 veces mayores a la necesaria para extruir chocolate.

3.2.6 Potencia del sistema

Por último, para determinar la potencia que requiere el sistema extrusor de pasta para poder desplazar el material de trabajo se determina a partir de la ecuación 2.11, la cual permite obtener la potencia que suministra el motor NEMA 17, por lo tanto, se tiene:

$$P_{sis} = 0.75 Nm * 0.25 rad/s = 0.20 W$$

Gracias al cálculo de la potencia que necesita el sistema se puede verificar que el motor no va a exceder los valores permisibles y puede operar sin problemas.

3.3 Sistema Extrusor de pasta construido

A continuación, se muestra el sistema extrusor de pasta una vez que ya ha sido instalado en la impresora 3D, en la figura 3.1 se puede observar al equipo en funcionamiento.



Figura 3.3 Equipo instalado en el sistema de la impresora realizando una figura de chocolate.

3.3.1 Pruebas iniciales

Tabla 3.2 Configuración inicial en software Repetier

Configuración	
Velocidad de impresión	5 mm/s
Flujo	100%
Velocidad de desplazamiento	30 mm/s
Velocidad de capa inferior	30 mm/s

En la tabla 3.2 se obtuvo los parámetros de las pruebas iniciales con chocolate, empezando con una velocidad de impresión de 5 mm/s y flujo del 100% produjo que la cantidad de chocolate depositado fuera muy poco, además que la velocidad de desplazamiento de 30 mm/s era muy rápida y no se producía una figura de chocolate con una forma precisa.

Las primeras pruebas que se realizaron ya mostraban que el sistema trabajaba de la forma que se quería, con el problema de que aún no se tenían establecidos de forma correcta los parámetros de impresión en el software Repetier, en las figuras 3.4 y 3.5 se puede observar que el sistema extrusor cumplía con algunos de los requerimientos planteados inicialmente pero el acabado es completamente diferente a lo que se busca, en la sección de anexos E se pueden observar más modelos realizados en estas pruebas.



Figura 3.4 Prueba realizada de una figura sobre papel.



Figura 3.5 Prueba impresa con forma de corazón.

3.3.2 Pruebas intermedias

Tabla 3.3 Configuración intermedia en software Repetier

Configuración	
Velocidad de impresión	10 <i>mm/s</i>
Flujo	200%
Velocidad de desplazamiento	15 <i>mm/s</i>
Velocidad de capa inferior	15 <i>mm/s</i>

En la tabla 3.3 se anotaron los parámetros de las pruebas intermedias, en la cual se aumentó la velocidad de impresión a 10 *mm/s* y el flujo a un 200%, con lo cual se depositaba una mayor cantidad de chocolate, pero el desplazamiento de 15 *mm/s* era muy lento y producía que la figura de chocolate quedara sobredimensionada en ciertas zonas.

En la figura 3.6 se puede observar los resultados de la realización de pruebas con los parámetros establecidos, en el cual se puede ver una mejora en cuanto al acabado, pero debido a que los parámetros aun no eran los indicados ya que los resultados dejan muestran como aún hay partes en la figura en la cual el modelo se deforma y aún dejaban mucho que desear a pesar de la mejora.



Figura 3.6 Prueba realizada con forma de auto.

3.3.3 Pruebas finales

Tabla 3.4 Configuración definitiva en software Repetier

Configuración	
Velocidad de impresión	16 mm/s
Flujo	300%
Velocidad de desplazamiento	5 mm/s
Velocidad de capa inferior	5 mm/s

En la tabla 3.4 se logró definir los parámetros finales, con una velocidad de impresión de 16 mm/s y un flujo del 300%, se logró que la cantidad de material depositado fuera el que se necesitaba para que al desplazarse la boquilla a una velocidad de 5 mm/s se obtuviera una figura de chocolate con una forma constante y un buen acabado.

En la figura 3.7 y 3.8 se puede ver una mejora significativa en cuanto a la calidad de impresión del sistema extrusor de pasta, para este caso se ha variado la velocidad de impresión a 16 mm/s y aumentando el flujo manteniendo la velocidad de capa inferior a 5 mm/s.

Es evidente que estos son los mejores resultados obtenidos ya que no se encuentra presencia de chocolate derramado y las formas son más fáciles de identificar y las medidas de las figuras son las correctas.



Figura 3.7 Prueba final con forma de estrella.



Figura 3.8 Prueba final con forma de tortuga.

Las figuras de chocolate impresas tienen 5 capas, debido a que el chocolate que utilizamos se demora aproximadamente 8 minutos en solidificarse, y esto evita que podamos colocar una mayor cantidad de capas sin que se derrita la figura. El chocolate utilizado es una mezcla entre chocolate compound y chocolate negro con un 52% de cacao.

3.4 Análisis de Costos del sistema extrusor

A continuación, en esta sección se muestra detallado los costos generales del proyecto tanto en búsqueda de información, diseño y construcción. De esta forma también logrando un análisis de viabilidad de este

3.4.1 Costo de componentes

Como es un proyecto que requiere de fabricación de un prototipo del diseño extrusor, deben adquirirse varios componentes, muchas piezas y además muchos elementos se tuvieron que volver a adquirir, aunque estos costos no se especificaran, a continuación, en la tabla 3.5 se especifica el precio de cada uno de los elementos que fueron necesarios.

Tabla 3.5 Costo de todos los componentes del extrusor

Descripción	Unidades	Precio Unitario USD	Costo total USD
Motor 4 vias molex pesado nema	1	23	23
Perno avellanado allen 6x16	4	0.13	0.52
Perno avellanado allen 3x20	4	0.1	0.4
Tuerca acero inoxidable 3 mm	2	0.032	0.064
Seguro interior IJ-19	2	0.2	0.4
Varilla 10 mm 1m roscada	1	8.5	8.5
Metro acero 700X10 mm	1	11.5	11.5
Manguera plástica transparente ref. 1/8	1	0.71	0.71
Manguera plástica transparente ref. 3/16	1	0.95	0.95
Seguro E(A)-18	1	0.35	0.35
Tuerca de acero inoxidable 10 mm	1	0.24	0.24
Juego de brocas	1	3	3
Rodamiento lineal 10 mm	2	5.5	11
Rodamiento 607	1	5.0	5.0
Tornillo y arandela de 3 mm	4	0.4125	1.65
Lijas			0.65
Vincha interior	4	0.3125	1.25
Total USD			72.184

3.4.2 Costo de fabricación y preparación de elementos

Algunos de los elementos mencionados en la tabla anterior, se los adquiere con medidas estándar, es por esto por lo que se vuelve necesario trabajar sobre los mismos, en procesos como rebajado de diámetros o cortes, los cuales se realizaron en un torno. Por su parte hay otros elementos que, si tuvieron que fabricarse, debido a que los elementos

que se fabrican se los hace directamente con la impresora a disposición (debido a que es una adaptación), sus costos no se especifican. A continuación, en la tabla 3.6 se especifican mejor estos valores.

Tabla 3.6 Costo de mano de obra

Descripción	Costo total USD
Torneado de varillas guía	3
Roscado de varillas guía	3
Corte en tornillo roscado	3
Torneado en extremo de tornillo a 8 mm	3
Torneado en extremo de tornillo a 7 mm	3
Placa soporte del extrusor	6
Total USD	21

3.5 Estudio de factibilidad

A continuación, para determinar si el proyecto es viable o no se procede a realizar un análisis de factibilidad, en el cual se puede cuantificar los beneficios económicos al momento de monetizar el sistema extrusor de pasta estimando un precio de venta adecuado y llamativo con su respectivo ingreso.

En el siguiente análisis se podría realizar la estimación mediante un flujo de cajas estimado para una cantidad de años definida, pero utilizar este método significaría alejarse demasiado del propósito del proyecto ya que este no consiste en establecer una empresa que se encargue de la manufactura de este tipo de sistemas, más bien se realiza para estimar el beneficio por unidad fabricada.

3.5.1 Valor actual neto y tasa interna de retorno (VAN y TIR)

A continuación, se muestra el cálculo del VAN y la TIR considerando la venta de un sistema extrusor de pasta a un precio de 150 USD.

El valor actual neto permite conocer cuánto se ganará o perderá con la adquisición del producto, es decir el beneficio de realizar la inversión en la respectiva moneda con la que se trabaje.

La tasa interna de retorno mide directamente cual es el porcentaje de viabilidad o factibilidad del proyecto.

Por lo tanto, con la breve introducción que se acaba de mencionar, a continuación, se detalla en la tabla 3.7 los resultados de estos criterios.

Tabla 3.7 Valoración del proyecto

VAN y TIR unitario	
Precio de venta USD	150
Costo de fabricación USD	72
Mano de obra USD	50
Costos totales USD	122
Ingresos USD	28
VAN USD	15
TIR %	23

Con lo que podemos ver que tanto el VAN como la TIR son positivos, lo cual ya es positivo para definir si el proyecto es factible o no.

Lo que determina la factibilidad es el porcentaje de retorno que espera el inversionista, generalmente este valor se encuentra entre el 10% al 15% y como se puede observar se obtiene un valor que supera este porcentaje por unidad, si se hicieran estimaciones para periodos de tiempo más amplios este valor podría crecer demasiado en caso de no establecerse correctamente los costos fijos y variables.

Por lo tanto, de acuerdo con los criterios mencionados, se puede considerar factible el proyecto dado que los resultados obtenidos son los esperados y van de acuerdo con los requerimientos establecidos inicialmente

3.6 Comparación de precios con otros prototipos en el mercado

Tabla 3.8 Precio de diferentes modelos de extrusores de chocolate

Modelo	Precio USD
Choc Edge Creator V2.0	3,399
Print2Taste Procusini 3.0	2,250
Extrusor de pasta con sistema de tornillo sin fin	150

En la tabla 3.8 se tiene el precio de la Choc Edge Creator, de la Print2 Taste Procusini y el de nuestro prototipo con un mecanismo de tornillo sinfín, en la cual se puede determinar que nuestro sistema es por lo menos 15 veces más barato que otros sistemas de extrusión de pasta («Best 3D Food Printers of 2018», 2018), además que nuestro sistema es adaptable mientras que los otros modelos de extrusores de pasta solo pueden imprimir en chocolate.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proyecto se mostró el proceso de diseño y fabricación de un sistema extrusor de chocolate que cumple con los requerimientos establecidos inicialmente para el proyecto, el sistema se acopla a una impresora 3D de tipo delta cambiando temporalmente el extrusor de plástico por el extrusor de pasta, permitiendo así la impresión de modelos 3D con materiales pastosos como chocolate, pasta de chocolate y la posibilidad de probar con otros tipos de materiales como arcilla, glaseado, espumilla, etc.

El poder adaptar un extrusor de pasta a la impresora 3D le da una clara ventaja sobre un sistema convencional de impresión 3D ya que estos trabajan con materiales plásticos como PLA y ABS, además de que el precio de fabricación del mismo es bastante bajo comparado con los precios de los aparatos que ofrecen grandes fabricantes los cuales no se encuentran en el Ecuador y el sistema debe ser importado, como es fabricado con piezas adquiridas en Ecuador, sus repuestos se pueden encontrar la mayoría en ferreterías o en caso de ser necesario solo se los tendría que volver a imprimir.

En una impresora de tipo cartesiana podría mostrar más ventajas que en una de tipo delta, ya que la extrusión se podría hacer directamente desde la boquilla de la jeringa y no por medio de un tubo que retrasa un poco el flujo del material de trabajo. Por lo que queda abierta la posibilidad de la realización de un sistema extrusor de pasta por medio de una impresora 3D de tipo cartesiana, habiendo la posibilidad de realizar futuras innovaciones en el campo de la manufactura aditiva en el país ya que la cantidad de materiales con los cuales se puede realizar manufactura aditiva aumenta cada día.

4.1 Conclusiones

- En este proyecto de desarrollo tecnológico se ha podido estudiar los diferentes campos de aplicación a los cuales puede abrirse espacio la manufactura aditiva, para el caso de los materiales pastosos se ha podido evidenciar que fácilmente puede entrar en industrias como la gastronómica pastelera e incluso en el ámbito pedagógico.

- Los mejores resultados se obtuvieron con una mezcla de chocolate compound con chocolate negro con una relación de 60% chocolate negro y 40% chocolate compound, por tanto, el sistema permite al usuario la posibilidad de probar con qué tipo y marca de chocolate se siente a gusto y variar estas proporciones de acuerdo a sus preferencias, el sistema extrusor de pasta le da absoluta libertad en cuanto a elección de composición, sabor y precio
- El sistema permite la creación de modelos con distintos tipos de materiales, el acabado y el funcionamiento depende en gran medida de la forma en la que se prepara el material, en la sección 3.3.6 se muestra el valor del torque que puede suministrar el sistema, permitiendo colocar materiales que excedan el límite y aun seguir trabajando de forma correcta sin que se afecte la complejidad de la pieza ni se detenga la operación.
- La importancia del extrusor de pasta de realizar modelos en chocolate o en cualquier tipo de material pastoso abre las posibilidades de realizar figuras complejas, así como también disminuye el tiempo en el que se tomaría una persona novata en realizar un modelo en 3D.
- Una de las fortalezas del sistema de extrusor de pasta es que es económico, adaptable y es de fácil limpieza debido a que sus elementos son desmontables, y en el caso de que se dañe una parte del sistema, éstas pueden ser conseguidas fácilmente en una ferretería, o impresas en PLA mediante una impresora 3d.

4.2 Recomendaciones

- La mayor desventaja de nuestro sistema es la necesidad de calentar el chocolate antes de ser introducido en la jeringa, porque existe la posibilidad de contaminación en el chocolate en la preparación, así como en el método de calentamiento que se utiliza. No obstante, el acoplar un sistema que calienta el chocolate hasta la temperatura necesaria haría que nuestro sistema ocupara más espacio y tendría un mayor costo.
- Es recomendable utilizar una jeringa para almacenar el chocolate, así se evita que el alimento se contamine, debido a que esta puede ser desechada y utilizar una nueva jeringa.

- Se recomienda utilizar el extrusor de pasta en un lugar con temperatura ambiente, es decir entre los 20 y 25 °C, debido a que, si la temperatura se encuentra por debajo de estos valores, el chocolate se va a solidificar muy rápidamente, y se va a taponar la boquilla por la cual se expulsa el material.
- En las pruebas se utilizó un microondas para calentar el chocolate hasta la temperatura de 31 °C, pero se recomienda realizar un baño María al chocolate para obtener una temperatura uniforme en todo el chocolate y evitar que se quemara o tueste.
- Se puede utilizar cualquier tipo de material pastoso, pero se debe tener en cuenta que el material a utilizar debe poder solidificarse rápidamente una vez que salió de la boquilla para poder realizar la siguiente capa de material.

BIBLIOGRAFÍA



- ASTM International - Un nuevo estándar ASTM respalda la impresión 3D de aleaciones de acero inoxidable. (s. f.). Recuperado 9 de noviembre de 2018, de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND16/techcommsatwork_spnd16.html#energia
- Atemperado: Atemperar el chocolate en el microondas. (2017, enero 11). Recuperado 5 de enero de 2019, de <https://www.callebaut.com/es-ES/chocolate-video/tecnica/atemperado/microondas>
- Beckett, S. T. (2008). *The science of chocolate* (2nd ed). Cambridge, UK: RSC Publishing.
- Beckett, S. T. (Ed.). (2009). *Industrial chocolate manufacture and use* (4th ed). Chichester, U.K. ; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.
- Best 3D Food Printers of 2018. (2018, octubre 9). Recuperado 1 de febrero de 2019, de <https://all3dp.com/1/best-3d-food-printer/>
- Cacao Mexico. (2018, noviembre 1). Principales Priductores de Cacao. Recuperado de https://www.cacaomexico.org/?page_id=201
- chocedge. (s. f.). Choc Edge - The Choc Creator 2.0 Plus. Recuperado 18 de noviembre de 2018, de <http://chocedge.com/index.php/buy/ccv3-landing-page.html>
- El paste extruder, nuestros platos impresos en 3D. (2015, julio 25). Recuperado 18 de noviembre de 2018, de <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/paste-extruder/>
- Makerbot - MakerBot Industries Frostruder MK2 Kit. (s. f.). Recuperado 18 de noviembre de 2018, de <https://robosavvy.com/store/makerbot-makerbot-industries-frostruder-mk2-kit.html>
- Pèrez, A. (s. f.). Límite de elasticidad y Medida de Viscosidad de muestras de Chocolate con el RheolabQC. Recuperado 2 de febrero de 2019, de <http://www.assinfilt.com.ec/index.php/noticias/item/32-rheolabqc>
- Siemens. (s. f.). <https://www.siemens.com/la-revista/es/portada/industria/revolucion-industrial-40-en-ecuador.html>. Recuperado 9 de noviembre de 2018, de <https://www.siemens.com/la-revista/es/portada/industria/revolucion-industrial-40-en-ecuador.html>
- Temperado de chocolate. (s. f.). Recuperado 18 de noviembre de 2018, de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icea/n4/p2.html>

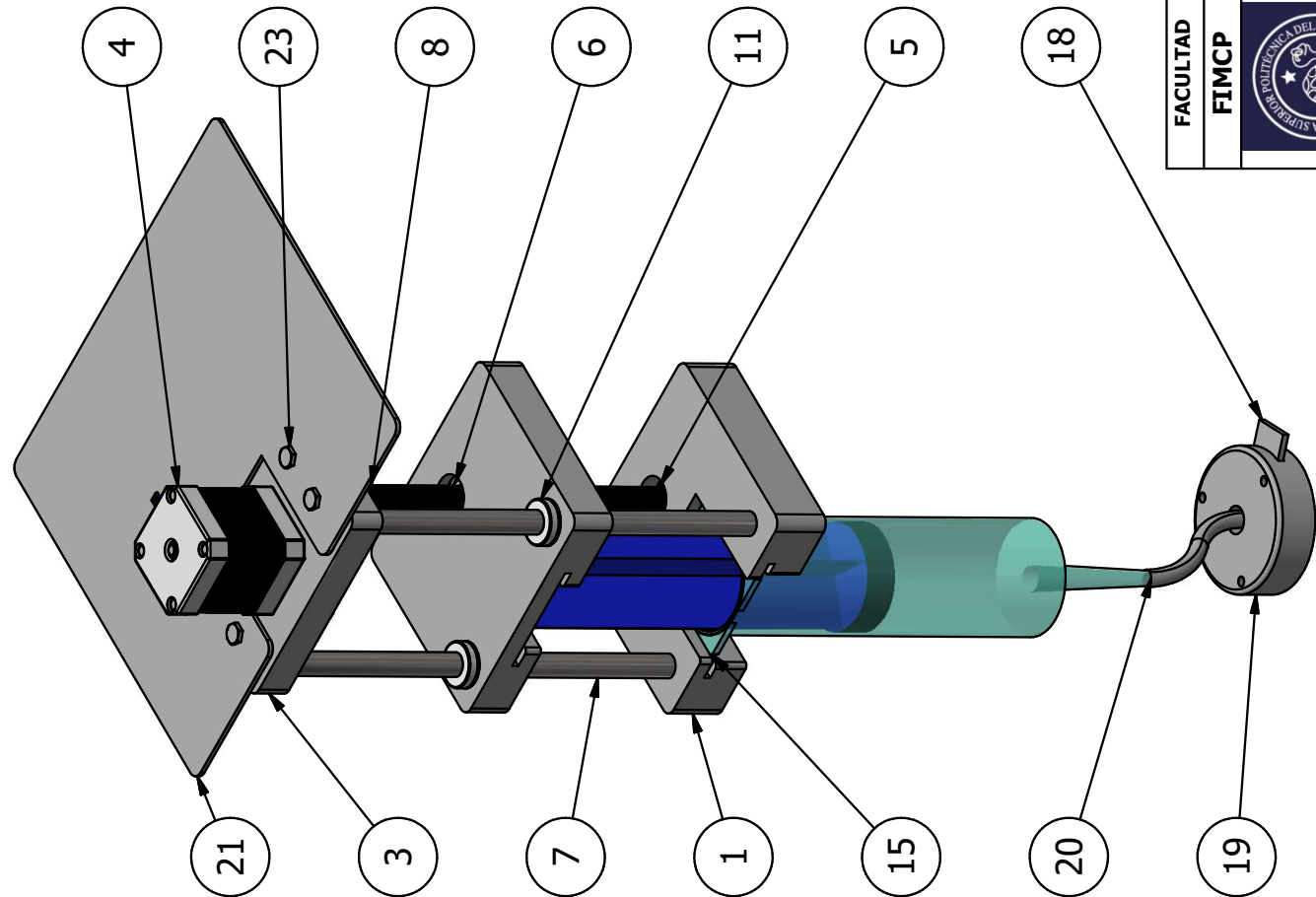
APÉNDICES

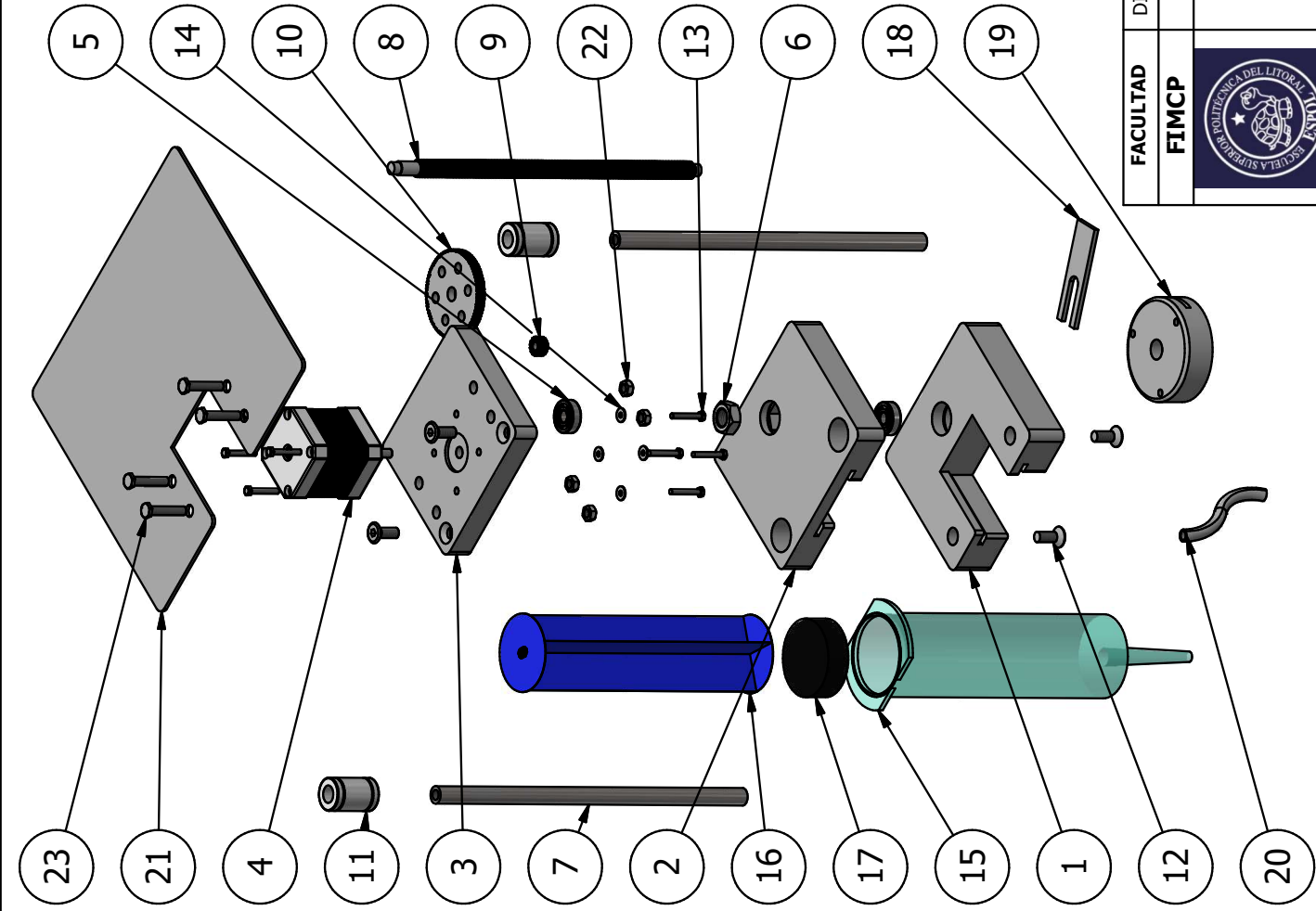
APÉNDICE A
Planos de fabricación

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte de la Jeringa
2	1	Soporte del embolo
3	1	Soporte del motor
4	1	Motor Nema 17 - 42x42x47 mm
5	2	Rodamiento 607
6	1	Tuerca M10X1.25
7	2	Varilla de Acero inoxidable
8	1	Tornillo sin fin
9	1	Piñon
10	1	Engrane
11	2	Rodamiento Lineal LM10UU
12	4	Tornillo avellanado 6 x10 mm
13	8	Tornillo 3x20 mm
14	4	Anillo plano de 3 mm
15	1	Jeringa
16	1	Embolo
17	1	Caucho de la jeringa
18	1	Seguro de la boquilla
19	1	Base de la boquilla
20	1	Manguera 80 cm
21	1	Soporte del extrusor de pasta
22	4	Tuerca M5X1.25
23	4	Tornillo 5x25 mm



FACULTAD FIMCP 	DIBUJADO: JOSE BAILLON, GINO AGUILERA	APROBADO: PHD. FRANCIS LOAIZA	FECHA 21/1/2019	
	REVISADO: PHD. FRANCIS LOAIZA		ENSAMBLE	
EXTRUSOR DE PASTA			ESCALA 1:3	Nº PLANO 001





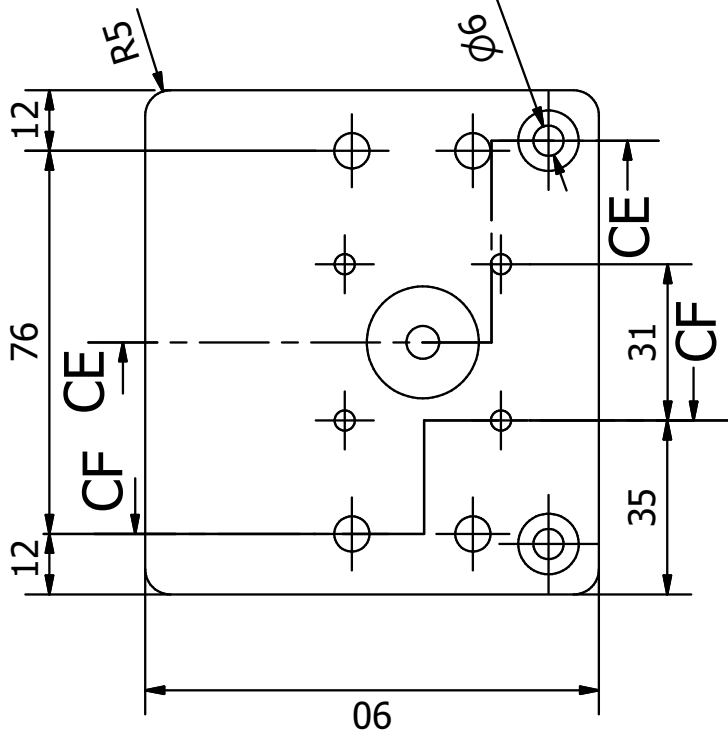
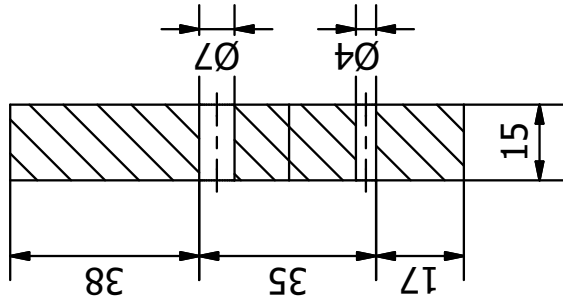
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte de la Jeringa
2	1	Soporte del embolo
3	1	Soporte del motor
4	1	Motor Nema 17 - 42x42x47 mm
5	2	Rodamiento 607
6	1	Tuerca M10X1.25
7	2	Varilla de Acero inoxidable
8	1	Tornillo sin fin
9	1	Piñon
10	1	Engrane
11	2	Rodamiento Lineal LM10UU
12	4	Tornillo avellanado 6 x10 mm
13	8	Tornillo 3x20 mm
14	4	Anillo plano de 3 mm
15	1	Jeringa
16	1	Embolo
17	1	Caucho de la jeringa
18	1	Seguro de la boquilla
19	1	Base de la boquilla
20	1	Manguera 80 cm
21	1	Soporte del extrusor de pasta
22	4	Tuerca M5X1.25
23	4	Tornillo 5x25 mm

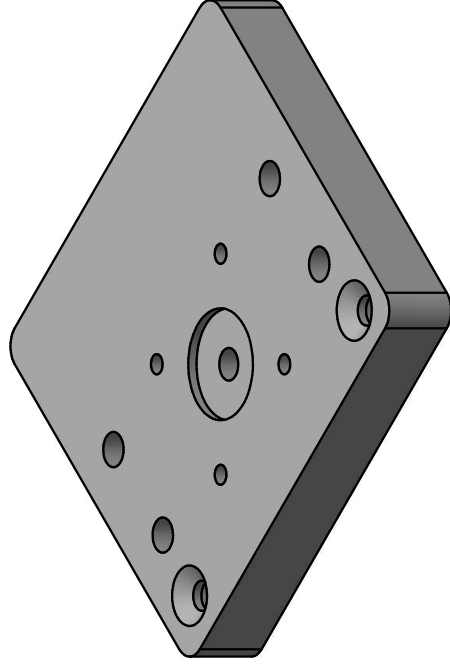
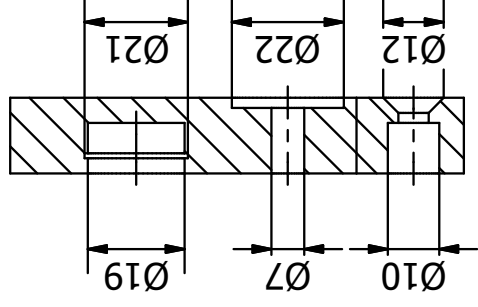
FACULTAD FIMCP	DIBUJADO:	APROBADO:	FECHA	 VISTA EXPLOSIONADA
	JOSE BAILON, GINO AGUILERA	PHD. FRANCIS LOAIZA	21/1/2019	
	REVISADO:	EXTRUSOR DE PASTA ESCALA 1:4 Nº PLANO 002		
	PHD. FRANCIS LOAIZA			

ESPOL

CF-CF (1 : 1.5)



CE-CE (1 : 1.5)



FACULTAD
FIMCP



DIBUJADO:
JOSE BAILON, GINO AGUILERA

ESPOL

APROBADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

REVISADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA



FECHA
21/1/2019

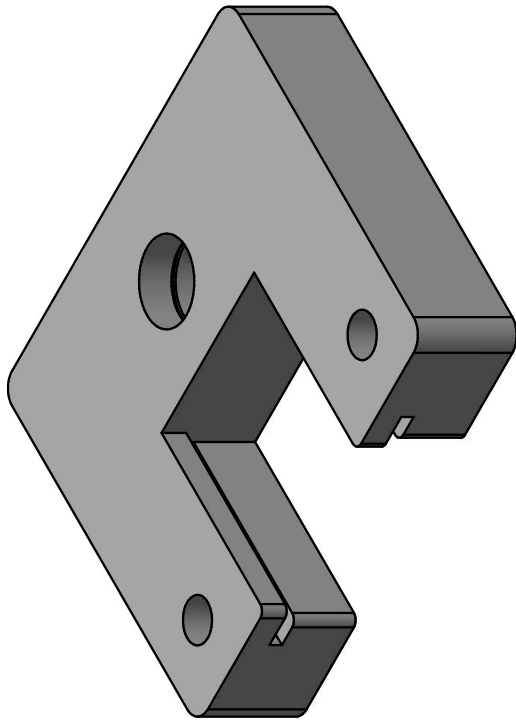
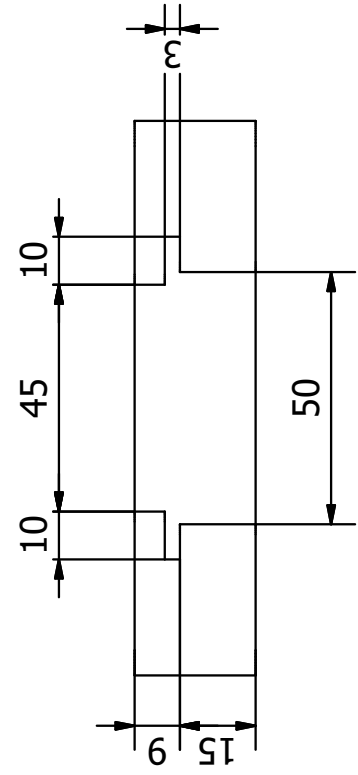
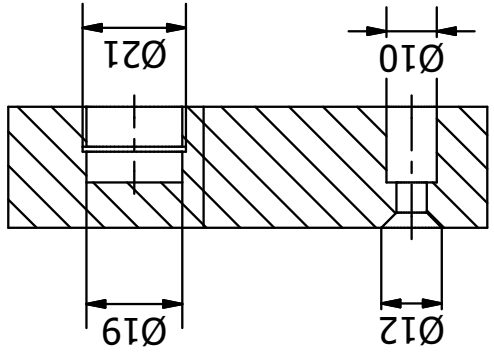
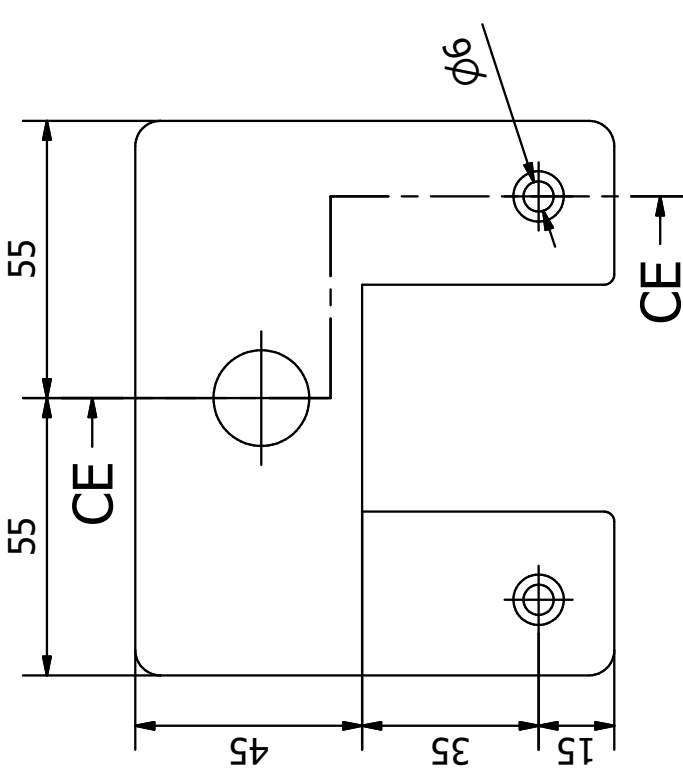
SOPORTE DEL MOTOR

EXTRUSOR DE PASTA

ESCALA
1:1.5

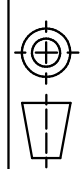
Nº PLANO
003

CE-CE (1 : 1.5)



FACULTAD
FIMCP

DIBUJADO:
JOSE BAILON, GINO AGUILERA



APROBADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

REVISADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

FECHA
21/1/2019

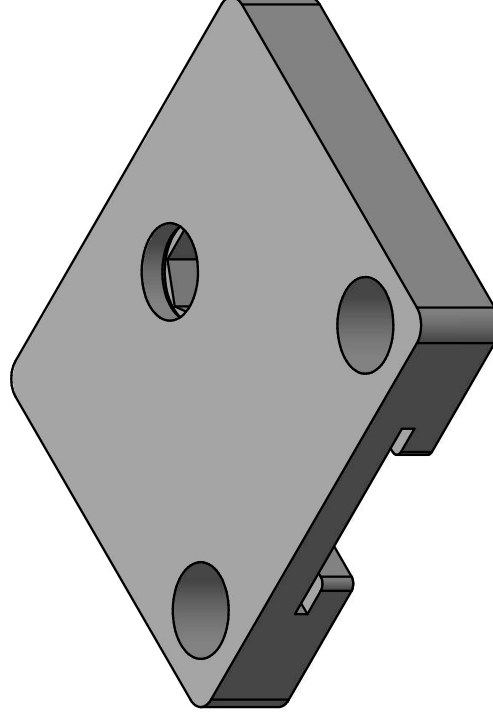
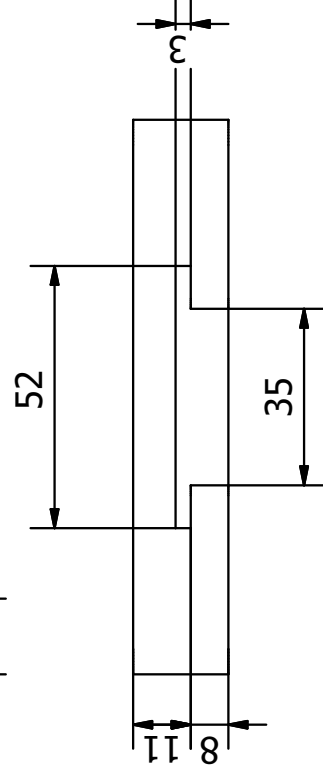
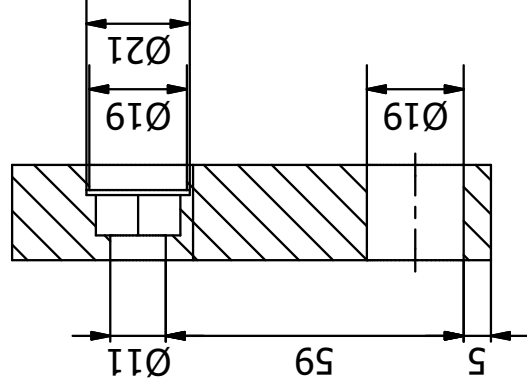
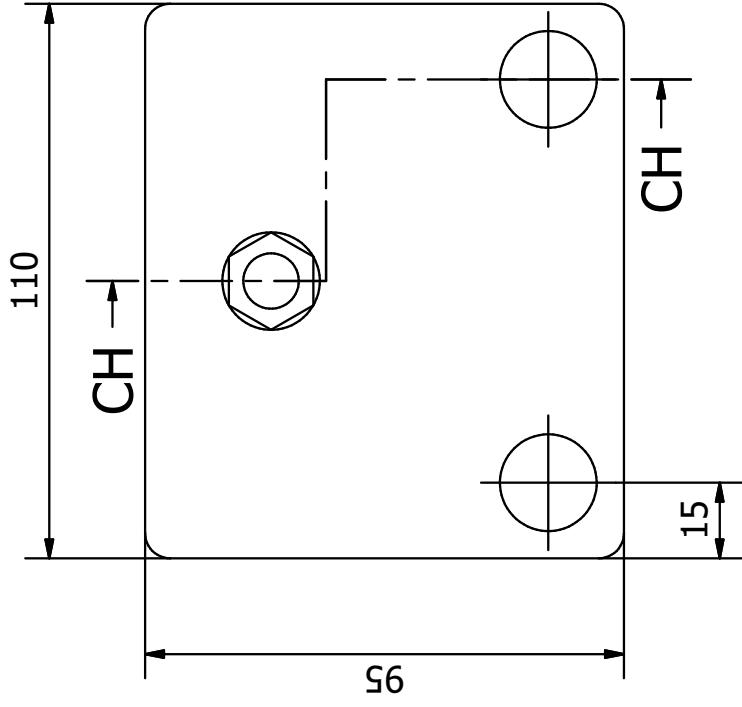
ESPOL

EXTRUSOR DE PASTA

SOPORTE DE LA JERINGA

ESCALA
1:1.5

Nº PLANO
004



FACULTAD
FIMCP

DIBUJADO:
JOSE BAILON, GINO AGUILERA

ESPOL

APROBADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

REVISADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

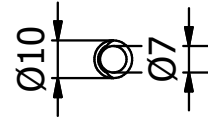
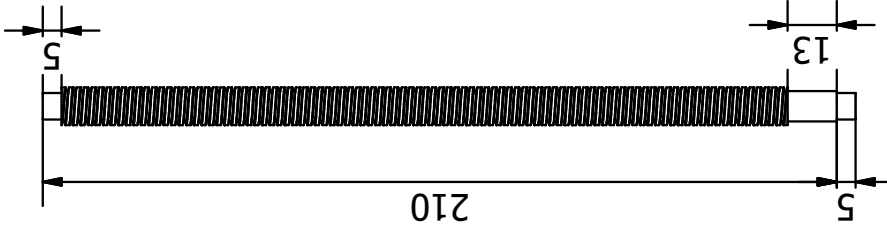
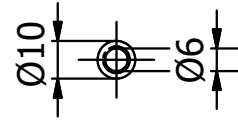
EXTRUSOR DE PASTA




FECHA
21/1/2019

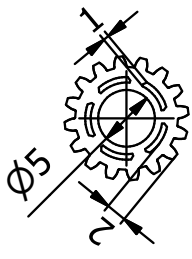
SOPORTE DEL EMBOLO

ESCALA
1:3

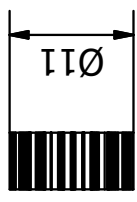
Nº PLANO
005



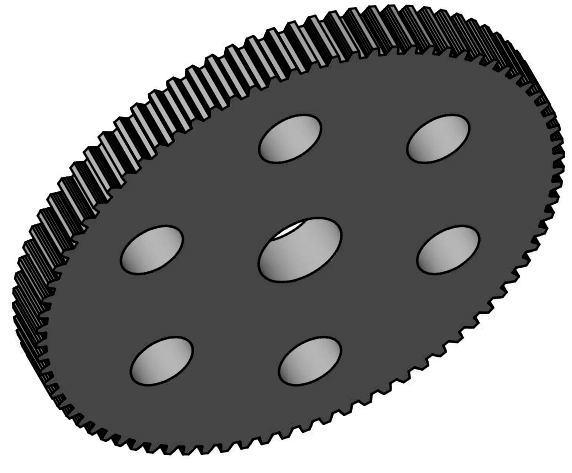
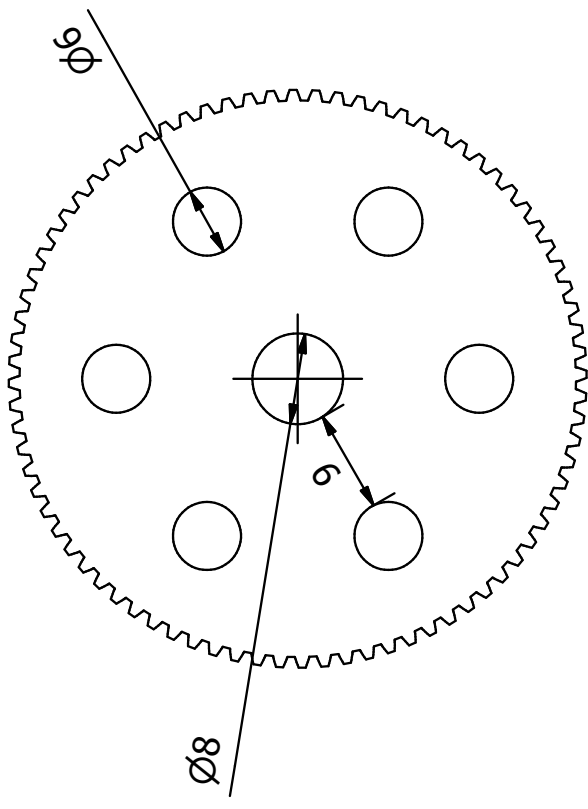
FACULTAD FIMCP 	DIBUJADO: JOSE BAILLON, GINO AGUILERA	APROBADO: PHD. FRANCIS LOAIZA	FECHA 21/1/2019	 
	ESPOL		REVISADO: PHD. FRANCIS LOAIZA	VARILLA Y TORNILLO SINFIN Nº PLANO 006
EXTRUSOR DE PASTA			ESCALA 1:2	





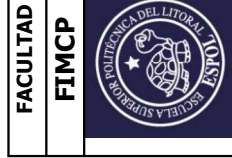
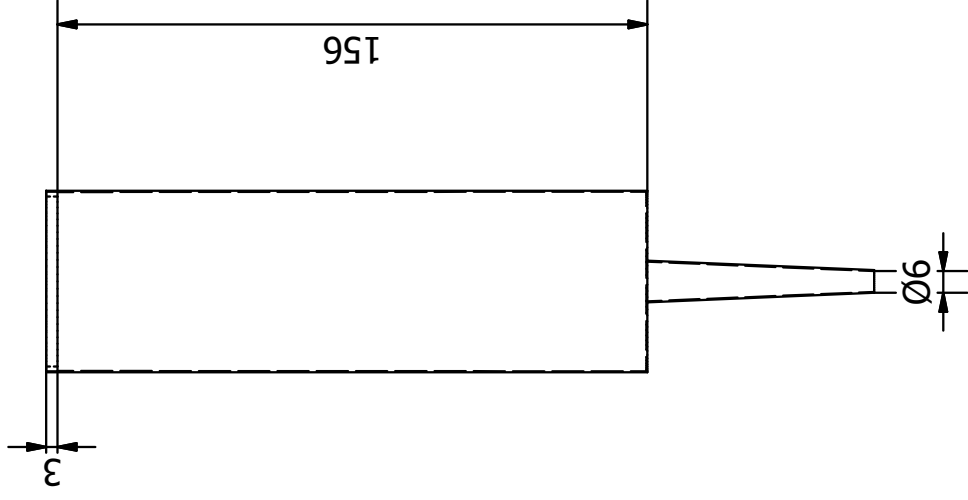
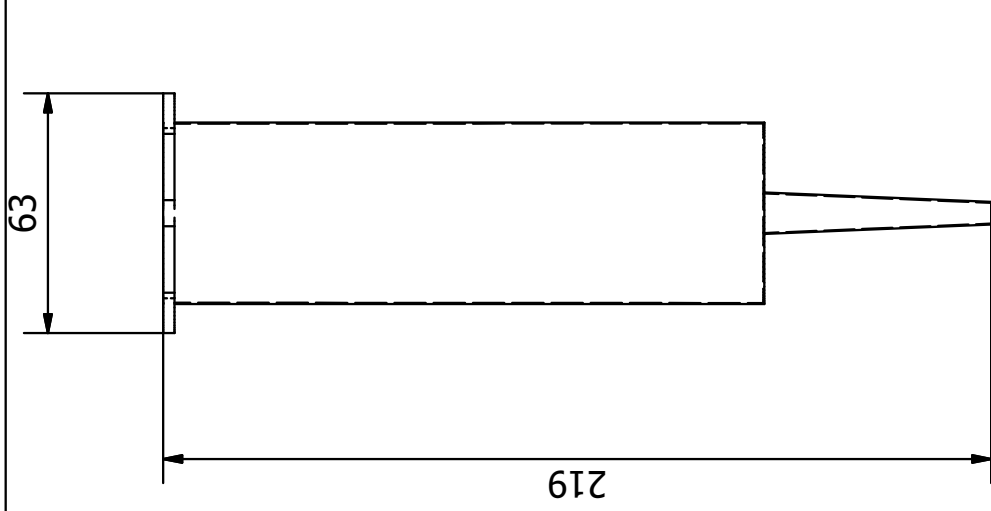
Np=16



Ne=80



FACULTAD FIMCP 	DIBUJADO: JOSE BAILON, GINO AGUILERA	APROBADO: PHD. FRANCIS LOAIZA	FECHA 21/1/2019	
	REVISADO: PHD. FRANCIS LOAIZA		PIÑÓN Y ENGRANE	ESCALA 1.5:1
EXTRUSOR DE PASTA			Nº PLANO 007	



ESPOL

FACULTAD
FIMCP

DIBUJADO:
JOSE BAILLON, GINO AGUILERA

APROBADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

REVISADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

FECHA
21/1/2019

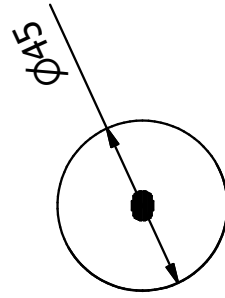
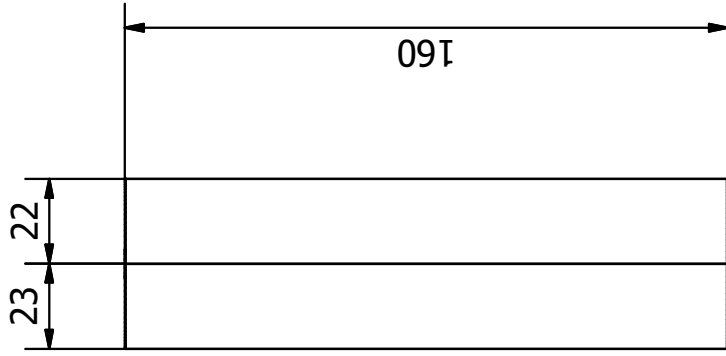


JERINGA

EXTRUSOR DE PASTA

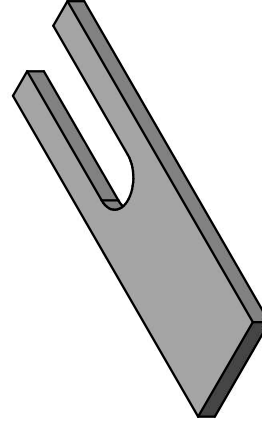
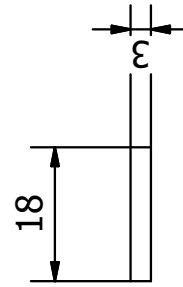
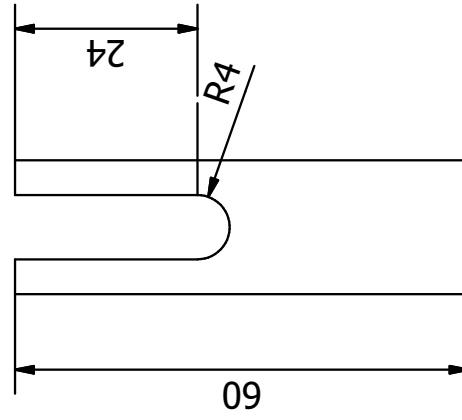
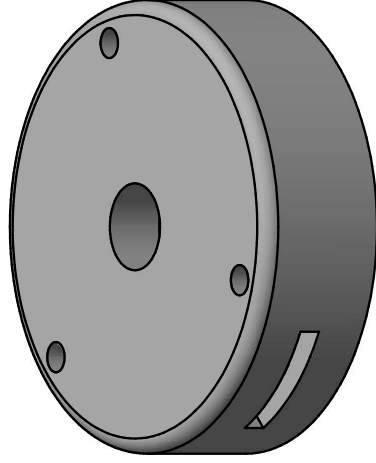
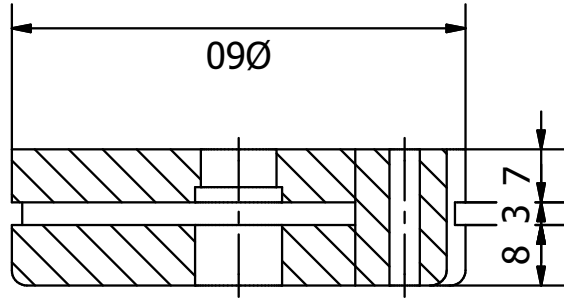
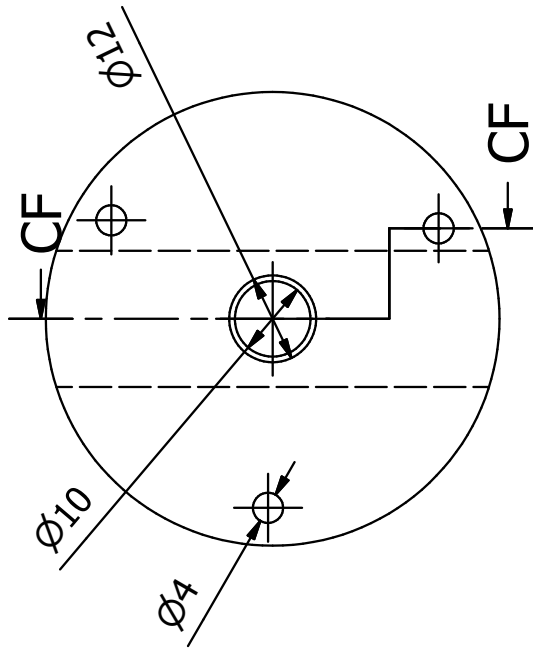
ESCALA
1:2

Nº PLANO
008



FACULTAD	DIBUJADO:	APROBADO:	FECHA	
FIMCP	JOSE BAILON, GINO AGUILERA	PHD. FRANCIS LOATZA	21/1/2019	
	ESPOL		REVISADO:	EMBOLO
			PHD. FRANCIS LOATZA	EXTRUSOR DE PASTA
				Nº PLANO 009

CF-CF (1 : 1)



FACULTAD
FIMCP

DIBUJADO:
JOSE BAILON, GINO AGUILERA

APROBADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

FECHA
21/1/2019



ESPOL

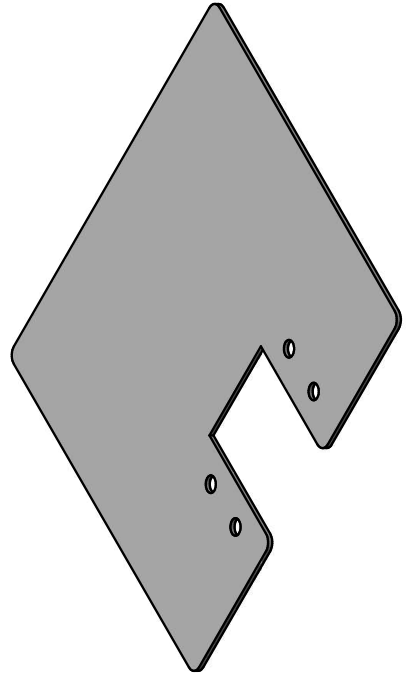
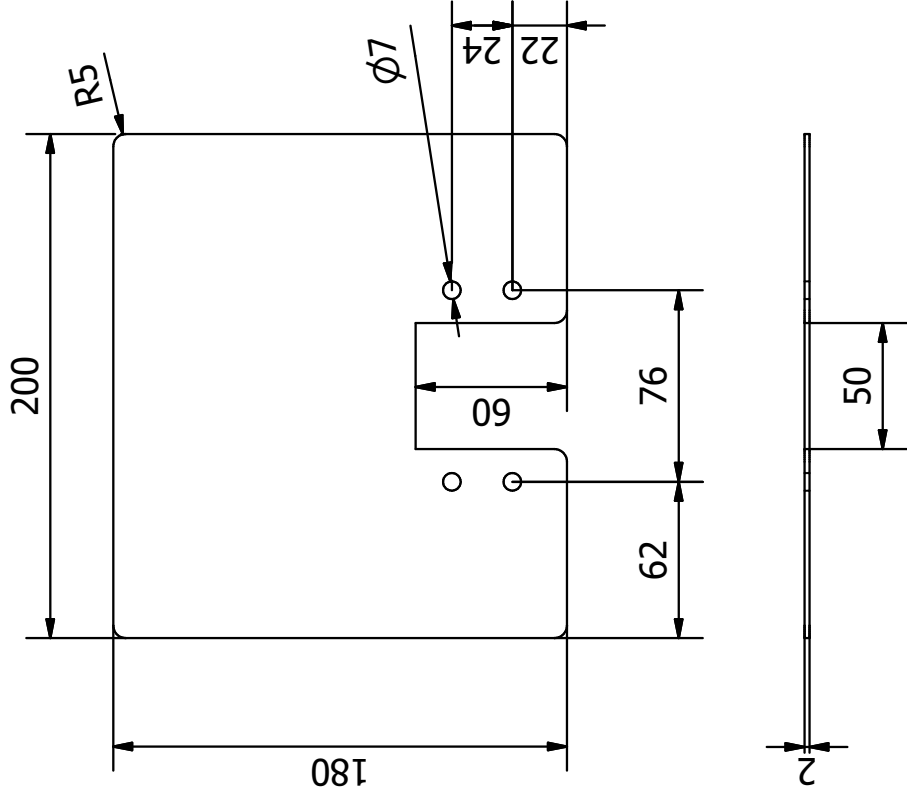
REVISADO:
PHD. FRANCIS LOAIZA

BASE Y SEGURO DE BOQUILLA

EXTRUSOR DE PASTA

ESCALA
1:1

Nº PLANO
0010



FACULTAD
FIMCP

DIBUJADO:
 JOSE BAILON, GINO AGUILERA

ESPOL

APROBADO:
 PHD. FRANCIS LOAIZA

REVISADO:
 PHD. FRANCIS LOAIZA

EXTRUSOR DE PASTA

FECHA
 21/1/2019

SOPORTE DEL EXTRUSOR

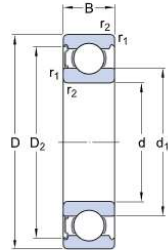
ESCALA
 1:2

Nº PLANO
 0011

APÉNDICE B

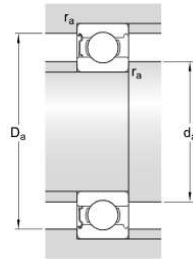
Ficha de datos del rodamiento rígido de bolas 607

Dimensiones



d	7	mm
D	19	mm
B	6	mm
d ₁	≈ 11.1	mm
D ₂	≈ 16.5	mm

Dimensiones de los resaltes



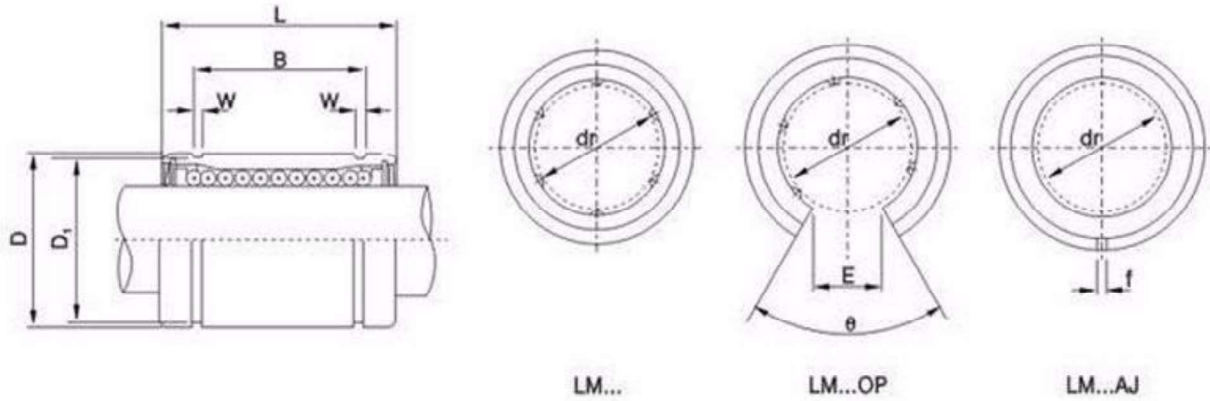
d _a	min. 9	mm
d _a	max. 11	mm
D _a	max. 17	mm
r _a	max. 0.3	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	2.34	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	0.95	kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.04	kN
Velocidad de referencia		85000	r/min
Velocidad límite		53000	r/min
Factor de cálculo	k _r	0.025	
Factor de cálculo	f ₀	13	

APÉNDICE C

Ficha de datos del rodamiento lineal LM10UU



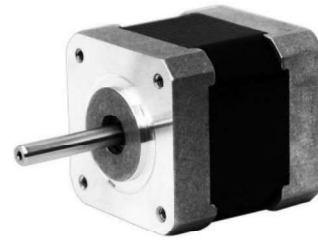
Major dimensions and tolerance											Ratings load		Type
D (mm)	Tolerance (mm)	L (mm)	Tolerance (mm)	B (mm)	Tolerance (mm)	W (mm)	D1 (mm)	f (mm)	E (mm)	θ	Dynamic C(N)	Static Co(N)	
8	0	12	0	-	-	-	-	-	-	-	88	127	LM4UU
10	-0.009	15	-0.12	10.2		1.1	9.6	-	-	-	167	206	LM5UU
12		19		13.5		1.1	11.5	1	-	-	206	265	LM6UU
15	0	17		11.5		1.1	14.3	1	-	-	176	216	LM8UU
15	-0.011	24		17.5		1.1	14.3	1	-	-	274	392	LM8UU
19		29	0	22	0	1.3	18	1	6.8	60°C	372	549	LM10UU
21	0	30	-0.2	23	-0.2	1.3	20	1.5	8	80°C	510	784	LM12UU
23	-0.013	32		23		1.3	22	1.5	9	80°C	510	784	LM13UU
28		37		26.5		1.6	27	1.5	11	80°C	774	1180	LM16UU
32		42		30.5		1.6	30.5	1.5	11	60°C	882	1370	LM20UU
40	0	59		41		1.85	38	2	12	50°C	980	1570	LM25UU
45	-0.016	64		44.5		1.85	43	2.5	15	50°C	1570	2710	LM30UU
52		70	0	49.5	0	2.1	49	2.5	17	50°C	1670	3140	LM35UU
60	0	80	-0.3	60.5	-0.3	2.1	57	3	20	50°C	2160	4020	LM40UU
80	-0.019	100		74		2.6	76.5	3	25	50°C	3820	7940	LM50UU
90	0	110		85		3.15	86.5	3	30	50°C	4700	10000	LM60UU
120	-0.022	140	0	105.5	0	4.15	116	3	40	50°C	7350	18000	LM80UU
150	0	175	-0.4	125.5	-0.4	4.15	145	3	50	50°C	14120	34800	LM100UU

APÉNDICE D

Ficha de datos del motor de pasos

1.8° 42MM High Torque Hybrid Stepping Motor

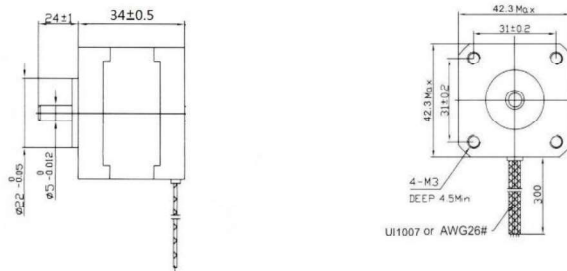
Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperatru Rise	80°CMax. (rated current,2 phase on)
Ambient Temperatuar	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M?Min.,500VDC
Dielectric Strength	500VAC/for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm foom the flange)
Max.axial force	10N



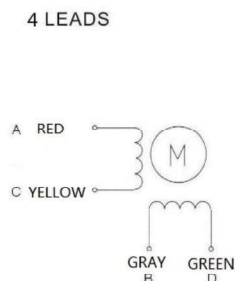
● 42MM Hybrid Stepping Motor Specifications

Model No	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weinght	Detent Torque	Length
	V	A	Ω	mH	Kg-cm		g-cm ²	kg	g-cm	mm
XY42STH34-0354A	12	0.35	34	33	1.6	4	35	0.22	120	34

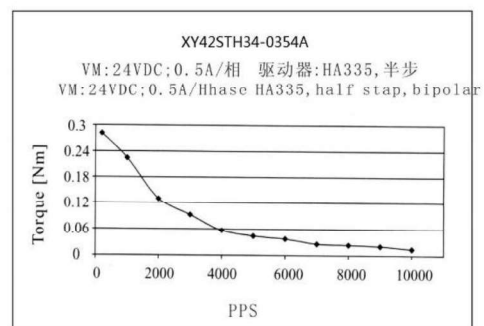
● Dimension



● Wiring Diagram



● Pull out Torque Curve



APÉNDICE E

Fotos de los modelos impresos en chocolate



Figura E 1. Prueba inicial de un circulo



Figura E 2. Prueba inicial de una estrella



Figura E 3. Prueba intermedia de una tortuga



Figura E 4. Prueba intermedia de un círculo



Figura E 5. Prueba final de un árbol



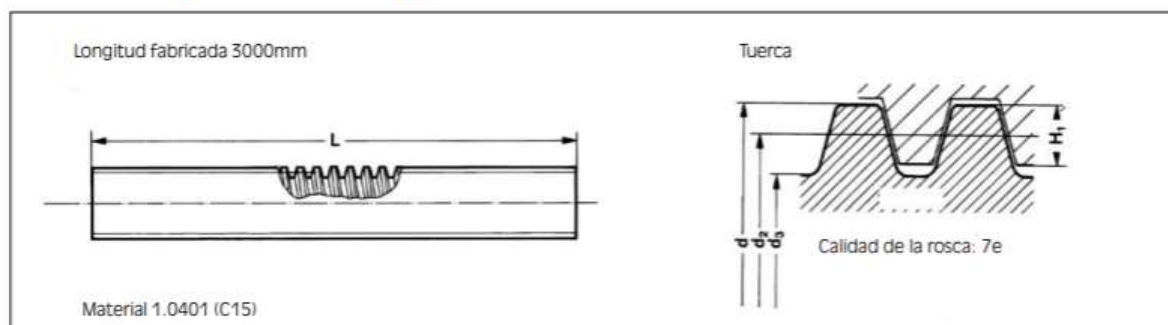
Figura E 5. Prueba final de una tortuga

APÉNDICE F

Ficha de datos del Tornillo sinfín

Husillos trapezoidales

Husillos trapezoidales de precisión laminados RPTS



Tipo ¹⁾	Dimensiones					Precisión $\mu\text{mm}/$ 300 mm	Rectitud $\mu\text{mm}/$ 300 mm	2)	3)	Peso (kg/ml)	Momento de inercia polar lcm^4	Momento de resistencia ⁴⁾ lcm^3	Momento de inercia (kgm^2/m)
	d	$d_{2 \text{ min}}$	$d_{2 \text{ max}}$	d_3 ⁷⁾	H_1								
RPTS Tr 10x2	10	8.739	8.929	6.89	1	300	0.5	4°2'	0.40	0.500	0.011	0.032	$0.51 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 10x3	10	8.191	8.415	5.84	1.5	300	0.5	6°24'	0.51	0.466	0.0057	0.020	$0.40 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 12x3	12	10.191	10.415	7.84	1.5	300	0.5	5°11'	0.46	0.746	0.019	0.047	$1.03 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 12x6 P3	12	10.165	10.415	7.84	1.5	300	0.5	10°18'	0.62	0.746	0.019	0.047	$1.03 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 14x3	14	12.191	12.415	9.84	1.5	300	0.5	4°22'	0.42	1.04	0.046	0.094	$2.04 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 14x4	14	11.640	11.905	8.80	2	300	0.5	6°3'	0.50	0.888	0.029	0.067	$1.60 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 16x4	16	13.640	13.905	10.80	2	50	0.1	5°11'	0.46	1.21	0.067	0.124	$2.96 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 16x8 P4	16	13.608	13.905	10.80	2	300	0.3	10°18'	0.62	1.20	0.067	0.124	$2.96 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 18x4	18	15.640	15.905	12.80	2	50	0.1	4°32'	0.43	1.58	0.132	0.206	$5.05 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 20x4 ⁶⁾	20	17.640	17.905	14.8	2	50	0.1	4°2'	0.40	2.00	0.236	0.318	$8.10 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 20x8 P4	20	17.608	17.905	14.8	2	200	0.2	8°3'	0.57	2.00	0.236	0.318	$8.10 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 20x16 P4	20	17.608	17.905	14.8	2	200	0.2	15°47'	0.71	2.00	0.236	0.318	$8.10 \cdot 10^{-5}$
RPTS Tr 22x5	22	19.114	19.394	15.50	2.5	50	0.1	4°39'	0.43	2.23	0.285	0.366	$1.00 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 22x24 P4S5 ⁸⁾	22	19.140	19.505	16.50	2.5	200	0.2	21°34'	0.75	2.23	0.364	0.411	$1.00 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 24x5	24	21.094	21.394	17.50	2.5	50	0.1	4°14'	0.41	2.72	0.460	0.526	$1.50 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 24x10P5	24	21.058	21.394	17.50	2.5	200	0.2	8°25'	0.58	2.72	0.460	0.526	$1.50 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 26x5	26	23.094	23.394	19.50	2.5	50	0.1	3°52'	0.39	3.26	0.710	0.728	$2.0 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 28x5	28	25.094	25.394	21.50	2.5	50	0.1	3°34'	0.37	3.85	1.05	0.976	$3.0 \cdot 10^{-4}$
RPTS Tr 30x6	30	26.547	26.882	21.90	3	50	0.1	4°2'	0.40	4.50	1.13	1.05	$4.0 \cdot 10^{-4}$

APÉNDICE G

Ficha de datos de la tuerca hexagonal

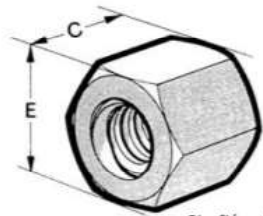
Tuercas hexagonales - SKM

■ Apropriadas para operaciones de sujeción, posicionamiento manual y en combinación con tornillos de soporte.

■ Tratamiento adicional: la rosca sirve como referencia para un proceso de fabricación y montaje precisos.

■ No apropiadas para transmisiones de movimiento, ya que el contacto entre acero y acero tiene tendencia al agarre.

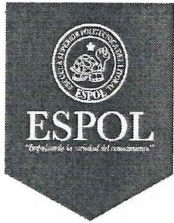
■ Material: acero de corte libre 1.0718 (9SMNPb 28)



Chafilán: 45°

Tipo	E (mm)	C (mm)	Peso (kg)	Tipo	E (mm)	c (mm)	Peso (kg)
SKM Tr 10x2	17	15	0.022	SKM Tr 28x5	41	42	0.30
SKM Tr 10x3	17	15	0.022	SKM Tr 30x6	46	45	0.43
SKM Tr 12x3	19	18	0.028	SKM Tr 32x6	46	48	0.42
SKM Tr 14x3	22	21	0.044	SKM Tr 36x6	55	54	0.73
SKM Tr 14x4	22	21	0.044	SKM Tr 40x7	65	60	1.3
SKM Tr 16x4	27	24	0.084	SKM Tr 44x7	65	66	1.2
SKM Tr 18x4	27	27	0.086	SKM Tr 48x8	75	72	1.8
SKM Tr 20x4	30	30	0.17	SKM Tr 50x8	75	75	1.8
SKM Tr 22x5	30	33	0.17	SKM Tr 60x9	90	90	2.8
SKM Tr 24x5	36	36	0.20	SKM Tr 70x10	90	105	3.1
SKM Tr 26x5	36	39	0.20				

Registro de reuniones y entrevistas



FIMCP
Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2018 - Termino I
Registro de Entrevistas con Contactos Externos

Paralelo: 3

Profesor Coordinador: Francis Loayza

Proyecto: Desarrollo de un prototipo extrusor de pasta

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
1	26/10/2018	Gino Aguilera	Soncho Acosta Jorjhe	CAcosta@Espol.edu.ec
Descripción del Contacto:				
Comentarios: Utilizar chocolate Compound				
2	5/11/2018	José Bailón	Juan Menoscal	Jmenoscal.maran@gmail.com
Descripción del Contacto:				
Comentarios: Acoplar rodamientos lineales				
3	16/11/2018	José Bailón	Ing. Shirley Vera	svera@climasa.net
Descripción del Contacto: Shirley Vera siba				
Comentarios: Recubrir la manguera con espagueti termico				
4	5/01/2019	Gino Aguilera	Ing. Carlos Baldeon	Karlos_baldeon@hotmail.com
Descripción del Contacto: Carlos Baldeon				
Comentarios: Implementar un soporte con resgo para la boquilla				
5	19/01/2019	José Bailón	Ing. José Riechro	jriechro@dimusa.net
Descripción del Contacto:				
Comentarios: Acoplar ventiladores al sistema				