



Diseño y construcción de tornillo para máquina extrusora de polímeros

Daniel Gómez Cardona

Institución Universitaria Pascual Bravo
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica
Medellín, Colombia
2026

Diseño y construcción de tornillo para máquina extrusora de polímeros

Daniel Gómez Cardona

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Tecnólogo en Mecánica Industrial

Director:

Dr. Ing. Adrián Gómez Zapata

Línea de Investigación:

Manufactura sustractiva

Institución Universitaria Pascual Bravo
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica
Medellín, Colombia

2026

Declaración de obra original

Yo, Daniel Gómez Cardona declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo Directivo 009 del 15 de junio de 2018 del Consejo Directivo “Reglamento de Propiedad Intelectual de la Institución Universitaria Pascual Bravo” y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la institución.

Daniel Gómez Cardona

Fecha 30/05/2026

Resumen

Diseño y construcción de tornillo para máquina extrusora de polímeros

Con el auge actual de los polímeros, se hace necesario el estudio de las formas de creación de estos materiales; en la Institución Universitaria Pascual Bravo se cuenta con una máquina destinada a uno de estos procesos, la extrusión, para la que se diseñó y fabricó un tornillo o husillo extrusor funcional con herramientas de diseño asistido por computadora CAD y métodos de manufactura convencional. Se inició con una revisión bibliográfica sobre el proceso de extrusión, generalidades y aspectos importantes en la extrusión de termoplásticos como las poliolefinas, luego, información sobre la fabricación de dichos tornillos de acuerdo a las especificaciones y posibilidades de la máquina como el material a trabajar y la geometría adecuada. Se realizaron los montajes en las máquinas respectivas (torno y fresadora) conforme lo determinado en los cálculos y los instrumentos y accesorios disponibles en la Institución y se obtuvo como resultado un husillo funcional con las características deseadas para un proceso satisfactorio.

Palabras clave: Extrusión de polímeros, tornillo extrusor, termoplásticos, manufactura sustractiva.

Abstract

Design and manufacture of a screw for a polymer extrusion machine.

With the current rise in the use of polymers, it has become essential to study the methods used to produce these materials. At Institución Universitaria Pascual Bravo, an extrusion machine is available for one such process. For this purpose, a functional extrusion screw was designed and manufactured using computer-aided design (CAD) tools and conventional manufacturing methods.

The work began with a literature review on the extrusion process, covering general principles and key aspects of thermoplastic extrusion, particularly polyolefins. This was followed by an analysis of the manufacturing of such screws, taking into account the machine's specifications and capabilities, including the material to be processed and the appropriate geometry.

Machining operations were then carried out on the relevant equipment (lathe and milling machine) in accordance with the calculated parameters, as well as the tools and accessories available at the institution. The outcome was a functional screw with the required characteristics for a successful extrusion process.

Keywords: Polymer extrusion, extrusion screw, thermoplastics, subtractive manufacturing.

Contenido

	Pág.
Introducción	8
1. Estado del arte y marco teórico	10
1.1 Estado del arte	10
1.2 Extrusión de poliolefinas	12
1.3 Acero al carbono AISI/SAE 1020	14
1.4 Procesos de manufactura sustractiva	15
1.4.1 Manufactura convencional	15
1.4.1.1 Torno paralelo	15
1.4.1.2 Fresadora universal	17
1.4.2 Manufactura avanzada	18
1.5 Software de diseño asistido por computadora	19
1.5.1 CAD	19
1.5.2 CAM	20
2. Metodología	22
2.1 Diseño, modelado y planimetría	22
2.2 Mecanizado	26
2.2.1. Selección y corte de material.	26
2.2.2. Torneado	27
2.2.3. Fresado	30
3. Resultados	35
3.1 Diseño y planimetría	35
3.2 Prototipo de tornillo extrusor	37
4. Conclusiones y oportunidades de mejora	38
Referencias	40

Glosario de términos

- Broca Centro: Herramienta de corte rotativa para realizar perforaciones cónicas a 60° usadas como alojamiento de accesorios de soporte en máquinas-herramienta convencionales.
- Broca-fresa: Herramienta de corte rotativa utilizada para la remoción de material en los procesos de fresado.
- Buril: Herramienta de corte utilizada en torno para mecanizar piezas por arranque de viruta.
- Caja de guitarra: Elemento de la fresadora que permite el montaje y acoplamiento de un tren complejo de engranajes, con el fin de sincronizar el cabezal divisor y el avance longitudinal de la máquina.
- Cono morse: Sistema de acoplamiento mecánico que aprovecha el ajuste por fricción de dos superficies para la sujeción de herramientas o dispositivos.
- Cuñero: Ranura o canal mecanizado en una pieza (normalmente un eje), para alojar una cuña, con el fin de transmitir potencia a otros elementos.
- Extrusión: Proceso de transformación de plásticos que tiene como resultado una forma con perfil transversal constante.
- Husillo: Componente mecánico que transforma el movimiento angular en movimiento lineal por medio de una geometría característica.
- Matriz de extrusión: Elemento de la máquina extrusora que define la forma de la sección transversal del producto.
- Polimerización: Proceso químico en el cual moléculas pequeñas llamadas monómeros se unen para formar cadenas llamadas polímeros.
- Porta-boquillas: Dispositivo de las fresadoras que permite el intercambio de dispositivos de sujeción para herramientas de corte por fresado.

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Número de dientes engranaje conductor 1	-	-
B	Número de dientes engranaje conducido 1	-	-
C	Número de dientes engranaje conductor 2	-	-
D	Número de dientes engranaje conducido 2	-	-
S_n	Paso del tornillo de avance	mm	6
S_p	Paso de la hélice	mm	25
N	Revoluciones por minuto en el husillo del torno	rpm	-
V_c	Velocidad de corte	$\frac{m}{min}$	40

Abreviatura Término

CNC	Control numérico computarizado
CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistida por computadora

Lista de figuras

Ilustración 1. Secciones geométricas de un tornillo extrusor convencional. Fuente: Propia, generada por ChatGPT	24
Ilustración 2. Geometría del sistema tornillo-barril. Fuente: Lafleur y Vergnes (2014)	25
Ilustración 3. Modelado del cuerpo del tornillo extrusor. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.	25
Ilustración 4. Mezclador. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.	26
Ilustración 5. Cuñero cilíndrico. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.	26
Ilustración 6. Modelo 3D del tornillo extrusor. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.	27
Ilustración 7. Sierra de vaivén. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso	28
Ilustración 8. Torno pinacho SP 200. Fuente: Propia, a partir de la máquina utilizada en el proceso.	28
Ilustración 9. Buril de acero rápido con punta de diamante. Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso.	29
Ilustración 10. Esquema del refrentado en torno paralelo. Fuente: Google fotos.	30
Ilustración 11. Broca Centro #3. Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso.	30
Ilustración 12. Esquema del cilindrado en torno paralelo. Fuente: Google fotos.	31
Ilustración 13. Fresadora universal FWD 250. Fuente: Propia, a partir de la máquina utilizada en el proceso.	31
Ilustración 14. Cabezal birrotativo. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso.	32

Ilustración 15. Cabezal divisor. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso. _____	33
Ilustración 16. Caja de guitarra. Fuente: Propia, a partir de dispositivo _____	33
Ilustración 17. Contrapunta de fresadora. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso. _____	34
Ilustración 18. Broca fresa plana de $\frac{5}{8}$ " (15.88 mm). Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso _____	34
Ilustración 19. Broca fresa plana de 3 mm. Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso. _____	35
Ilustración 20. Fresa de punta redonda de $\frac{3}{8}$ " (9.53 mm). Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso. _____	35
Ilustración 21. Modelo 3D en Inventor del tornillo extrusor. Fuente: Propia, generada con el software Inventor. _____	37
Ilustración 22. Planos del tornillo extrusor y geometría de las secciones. Fuente: Propia, generada con el software Inventor. _____	38
Ilustración 23. Prototipo de tornillo extrusor. Fuente: Propia, generada con el software Inventor. _____	39

Introducción

Desde el descubrimiento de sus propiedades y aplicabilidad a la industria, los materiales poliméricos representan un papel esencial en la tecnología referente a la manufactura de objetos; se pueden ver en casi que cualquier entorno, asimismo, y aún más en el siglo XXI se ha evidenciado la necesidad de indagar y desarrollar estrategias que, desde los procesos y/o las propiedades, manifiesten el avance demandado y correspondiente a lo que representan este tipo de materiales de los cuales un sin fin de objetos son creados, mejorados y optimizados dado el gran repertorio de posibilidades que se tienen al trabajar con estos.

Las poliolefinas son materiales termoplásticos obtenidos mediante un proceso llamado polimerización y están presentes en aproximadamente el 50% de los productos plásticos industriales gracias a sus ventajas y propiedades, además, está en desarrollo su fabricación por medio de fuentes amigables con el medio ambiente de acuerdo con la problemática actual presente de reducir los desechos no aprovechables y hacer una transición energética en los procesos de fabricación de este material.

Para su proceso de transformación se utiliza la extrusión de polímeros, un proceso mediante el cual se pretende transformar un material termoplástico, y cambiar su forma en bruto, ya sean pellets, polvo o gránulos y forzarlo a una forma determinada con perfil constante mediante una boquilla o matriz. Durante el proceso pasa por una cavidad calentada con resistencias y es transportado, comprimido y dosificado por un tornillo que facilita su extrusión en un molde con alguna forma útil.

El tornillo extrusor o husillo, es el elemento que en gran medida determina el éxito de la operación; y con el auge de la industria plástica su estudio y comportamiento de flujo han sido ampliamente profundizados para mejorar el proceso, desde la manufactura

sustractiva, existen diversos métodos para su construcción, en torno paralelo o en fresadora universal y sus correspondientes con tecnología de CNC, donde resulta mucho más fácil garantizar la geometría que por procesos convencionales demandantes de mayor tiempo y cuidado. Un tornillo extrusor es una curva helicoidal sobrepuesta y prominente sobre un cilindro con diámetro variable, que se consigue sincronizando el movimiento angular de la pieza, con el movimiento axial de la herramienta, así pues, para lograr esta sincronización se opta por un tren de engranajes, lira o guitarra con una relación de transmisión específica acorde y en proporción a las dimensiones esperadas.

Con esta propuesta se pretende diseñar y crear un tornillo extrusor, lo más afín posible con sus características ideales, a través del uso de las máquinas y herramientas convencionales disponibles en la institución, buscando optimizar la relación entre las zonas del tornillo (alimentación, compresión y dosificación) para garantizar un flujo estable y una adecuada homogeneización térmica y mecánica del material.

Además, el proyecto contempla la selección apropiada del material con el cual se fabricará el tornillo y la evaluación de los procesos de manufactura más adecuados, con el fin de asegurar precisión geométrica, resistencia al desgaste y un desempeño confiable dentro del proceso de extrusión.

1.Estado del arte y marco teórico

1.1 Estado del arte

La firme consolidación industrial de los productos plásticos, vislumbra la necesidad de investigar para mejorar cada parte del procesamiento y transformación de los polímeros como materia prima a objetos funcionales, con el fin de agilizar y optimizar métodos y tiempos, que se ven reflejados en la calidad del producto final, beneficios y satisfacción obtenidas por parte del usuario y el productor. En este sentido, se vuelve imperativa la búsqueda de avances significativos tanto en el procedimiento como en componentes críticos como el husillo de la máquina extrusora.

En respuesta a este requerimiento surgen algunos estudios como, Pourhosseinian y Haddadi (2026), que analizan ventajas y consideraciones del método de alimentación por dosificación frente a la tradicional alimentación por gravedad en máquinas mono y doble husillo, buscando determinar la mejoría en estabilidad, homogeneidad de la mezcla y fusión del material durante la extrusión; examinando desde un punto de vista general la influencia del tipo de alimentación y factores extrínsecos de la máquina en el proceso de extrusión. Enfocándonos en los tornillos extrusores para máquinas mono-husillo, la empresa italiana Bausano S.p.A, señala aspectos fundamentales dentro de la elección del mismo, como lo son el tipo de plástico a trabajar, la forma del producto y la velocidad de producción, además expone tipos de tornillos y sus beneficios e implicaciones.

Gutiérrez y Bornacelli (2008), recalcan el papel crucial que toma el tornillo extrusor en la operación y su demanda de un diseño con consideraciones rigurosas, enfatizando en su geometría de canal, ángulo de la hélice, perfiles de mezcla y relación de compresión.

También, Beltrán y Marcilla (2012) describen y modelan matemáticamente los cálculos para las zonas críticas del tornillo, teniendo en cuenta aspectos térmicos, reológicos, dinámicos y geométricos. Y en trabajos como el de Ugboya et al. (2019); se nos da una visión más detallada de las características intrínsecas del tornillo y la minuciosidad requerida para el proceso de extrusión, donde se aborda el cálculo desde la parte de resistencia de los materiales con momento de flexión y torsión, la transmisión de potencia, cálculo de carga permitida, análisis de flujo, eficiencia, entre otras.

Aunque queda demostrado que la información sobre el cálculo y diseño es extensa y robusta, en lo concerniente a la fabricación y mecanizado de husillos extrusores por procesos de remoción de material, se tiene un vacío alimentado por la transición tecnológica hacia la automatización relativa a la manufactura sustractiva. En este contexto es evidente que muchos de los procesos de fabricación de tornillos que aparecen como respuesta, han dejado atrás los métodos de manufactura sustractiva convencionales (torno y fresadora), que constituyen gran parte de la industria metalmecánica mundial, en especial en países como Colombia. A pesar de su aparente rezago tecnológico frente a las tecnologías CNC (en su mayoría), se conservan ventajas considerables: accesibilidad, versatilidad, velocidad para piezas únicas o de lotes pequeños y la facilidad de mantenimiento.

El tallado de la geometría helicoidal de un tornillo extrusor representa el mayor desafío de construcción, se realiza gracias a la sincronización de un movimiento de rotación y otro de traslación normalmente mediante un husillo giratorio o cabezal divisor y un tren compuesto de ruedas dentadas o lira, acoplados al tornillo patrón de la máquina como lo expone la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. El tamaño de la hélice se amplifica o reduce dependiendo del número de dientes de los engranajes y su configuración, que complementado con un eje previamente cilindrado a medidas determinadas y el cálculo de la profundidad de corte nos posibilitan la transformación del perfil helicoidal.

Si bien este trabajo se enfoca en el tallado de la hélice en fresadora universal, existen métodos igualmente válidos como el de torno paralelo, usado en el estudio de Ruíz (2021), donde el principio fundamental es el mismo del tren de engranajes compuesto que modifica la relación de transmisión y se tiene un mayor repertorio a la hora de escoger la geometría de la herramienta de corte, pudiendo ser un buril con el perfil de la ranura o una broca-fresa convencional gracias a adaptaciones en el carro portaherramientas.

En la fresadora universal, se cuenta con una configuración clara y controlada del montaje y de la máquina. Se utiliza un cabezal divisor universal que controla el giro del eje cilindrado, con una contrapunta escualizable como soporte evitando la flexión por su gran longitud, además, el eje longitudinal encargado del avance que actúa como tornillo patrón y generador del avance de la hélice. El cabezal y el eje longitudinal se encuentran acoplados a una caja de guitarra con un tren de engranajes compuesto que permite variar la relación de transmisión y obtener diferentes pasos de hélice, de forma que el fresado helicoidal se realiza de manera completamente mecánica con ayuda de una fresa cilíndrica con un perfil adecuado.

Este trabajo busca llenar esa laguna de información precisa, profundizando en los detalles prácticos del mecanizado de tornillos extrusores mediante remoción de material en fresadora universal, describiendo meticulosamente la configuración del cabezal divisor, el tren de engranajes compuesto, la sincronía rotación-traslación y las consideraciones de corte para generar perfiles helicoidales precisos, así como los procesos de diseño en CAD, torneado y puesta a punto.

1.2 Extrusión de poliolefinas

Dentro del mundo de los materiales, los plásticos (termoplásticos y termofijos) son los materiales de mayor impacto y más frecuentemente utilizados en la mayoría de entornos que necesitan una solución ligada a las propiedades peculiares que ofrecen los materiales poliméricos, dado su origen orgánico.

Hacen parte de ellos los termoplásticos, que cuentan con características que dependen de factores externos a su composición y estructura, como la temperatura,

humedad e interacción con otras sustancias y cargas mecánicas, así como excelentes propiedades eléctricas y ópticas, sin embargo, lo que más llama la atención de este grupo de materiales es su comportamiento termomecánico que es explotado para cuestiones de transformación y puesto en la mira para su resistencia mecánica dada su fragilidad a bajas temperaturas y ablandamiento a altas temperaturas.(Biron, 2007)

Las poliolefinas son uno de estos materiales, en cuya investigación se ha puesto especial interés desde la década de los 50, enfatizando en el refinamiento de la configuración estructural para obtener mejores propiedades mecánicas y buena procesabilidad. Su obtención, llamada polimerización de olefinas, consiste en la unión de un grupo de monómeros con una reacción química propiciada por la reactividad de los mismos.

El polietileno (PE) y el polipropileno (PP) son dos de los termoplásticos más utilizados y de los primeros en alcanzar una producción de más de 1000 millones de lb, se manifiestan como uno de los principales objetivos de investigación gracias a que los avances tecnológicos hacen posible la generación de materiales que comparten la estructura esencial monomérica, pero al polimerizarse por distintas formas tienen propiedades que distan sustancialmente de unos a otros, como es el caso del incremento de dureza y resistencia a la tracción del polietileno de alta densidad con respecto al de baja densidad (Billmeyer, 1975).

La extrusión es el método por excelencia en la industria de procesamiento de polímeros, y gran parte de los plásticos tendrán que ver al menos una vez en su vida con el proceso de extrusión mono-husillo, en el que los termoplásticos como materia prima transmutan en una forma útil, comúnmente de pellets a una barra de perfil constante. Las partículas sólidas de polímero son depositadas en barril que se calienta para generar cambios en la estructura del material que se ven reflejados en su estado, además es transportado por un tornillo de Arquímedes que comprime, y dosifica de acuerdo a los requerimientos instalados en la matriz de extrusión. El principal foco de intervención está en el comportamiento reológico del plástico fundido, directamente emparentado con la tasa estable de salida de material, calidad de la fusión, homogeneidad y pureza. (Vlachopoulos y Polychonopoulos, 2022).

Para un proceso mono-husillo se cuenta con 4 partes principales: el tornillo, el cañón o barril, el sistema de calentamiento y refrigeración y la matriz de extrusión. El tornillo es la parte más crítica del proceso y es el mayor responsable de su rendimiento y calidad, por lo que es entendible que sea una de las partes con mayor tecnología de la máquina.

1.3 Acero al carbono AISI/SAE 1020

Actualmente, quizás pocos materiales tengan un impacto tan severo y una presencia casi que absoluta en los procesos de manufactura, como lo es el acero, a su vez, es uno de los elementos más revolucionarios en cuestión de avances tecnológicos por su versatilidad y propiedades atractivas para la mayoría de sectores y entornos ingenieriles.

Es una aleación fundamental de hierro con carbono, en una relación no mayor al 1% del peso en carbono, su proporción influye en las propiedades de la mezcla resultante y están clasificados en bajo, medio y alto carbono.

Los aceros de bajo carbono son ampliamente requeridos en la industria por su buena ductilidad y tenacidad, dentro de este grupo se puede destacar el acero AISI/SAE 1020 utilizado ampliamente en aplicaciones estructurales, además cuenta con una maquinabilidad y soldabilidad alta que lo hacen la opción más adecuada para la experimentación con parámetros de corte y técnicas de mecanizado. (Callistar y Retwhisch

COMPOSICIÓN QUÍMICA		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
		0.18/0.23	0.30/0.60	0.040	0.050	0.15/0.30			
PROPIEDADES MECÁNICAS									
Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm ²	Límite elástico Kg/mm ²	Alargamiento %		Reducción de área		Dureza Brinell aprox.		
Laminado en caliente	40	31	25		41		40/180		
Calibrado	55	38	15		30		180/220		

Tabla 1. Propiedades y composición química del acero AISI/SAE 1020.

Fuente: Aceros Dimecol

1.4 Procesos de manufactura sustractiva

Mucho antes de que la humanidad estuviera constituida como civilización y desde antes del inicio de la agricultura, los humanos han visto la necesidad de utilizar objetos para innumerables fines; los objetos pueden estar hechos de uno o varios materiales que a su vez son objetos en sí, por ejemplo, una aguja o una llave están hechas de un sólo material, pero un Boeing 747-400 está compuesto por más de 6 millones de piezas.

Aproximadamente desde el año 5000 a.C. o incluso desde los inicios de la civilización como tal, los procesos que permiten la generación de objetos o los conjuntos de objetos a partir de un material crudo los llamamos **manufactura**. Así como existen infinidad de objetos, existe una cantidad de procesos de manufactura que responden a las particularidades de creación de cada uno, dentro de los cuales está el mecanizado, perteneciente al grupo de la manufactura sustractiva, que cambian la forma de un material inicial con una geometría por defecto. Los procesos de mecanizado remueven material en forma de viruta, para transformar un “stock” o material en bruto en una pieza funcional. Generalmente es considerado una de las bases de la industria, ya que, si el objeto no es fabricado por mecanizado, la máquina que lo hace, sí, y si no, la fabricación de la máquina con la que hacen la máquina está siempre asociada a un proceso de mecanizado.

1.4.1 Manufactura convencional

La manufactura convencional normalmente se hace mediante máquinas semi-automáticas y tecnologías simples, caracterizadas por su alta intervención humana, donde la elección de los parámetros, precisión y eficiencia dependen en su mayoría de los conocimientos y eficacia del operario. Dos de las máquinas más utilizadas alrededor del mundo y a lo largo de la historia son descritas a continuación.

1.4.1.1 Torno paralelo

El torno paralelo, conocido como la reina de las máquinas-herramienta del taller metalmecánico por su versatilidad y facilidad de montaje, es una máquina que transmite movimiento rotacional a la pieza en bruto y que, gracias a una herramienta o cuchilla de corte, genera piezas con forma de sólidos de revolución.

Hay tipos de torno dependiendo de su finalidad, pero esencialmente cualquier máquina de torneado cuenta con 4 partes principales: la bancada, que es la espina dorsal de la máquina, a la cual están acopladas las partes fijas y es la guía de las partes móviles; el cabezal fijo, donde se encuentra la cadena cinemática y de transmisión de potencia del motor eléctrico hasta el husillo, además de las configuraciones y avances de la máquina; el carro porta-herramienta, encargado de sostener las herramientas de corte y desplazarlas por sus 2 ejes de traslación (longitudinal y transversal ó ejes z y x respectivamente); por último, el cabezal móvil, accesorio principal del torno usado generalmente como punto de apoyo para piezas de gran longitud o alojamiento para el portabrocas, entre otras.

Con el fin de minimizar el error humano, la máquina cuenta con un tren de engranajes y palancas de embrague que sincronizan el movimiento del husillo con el de los carros, generando así movimientos automáticos y constantes a lo largo de los ejes o la generación de perfiles helicoidales.

De estos movimientos se derivan las 7 operaciones básicas del torno:

1. Refrentado: para reducir la longitud de la pieza.
2. Cilindrado: para reducir el diámetro de la pieza.
3. Taladrado: para generar perforaciones coaxiales al eje de giro de la pieza
4. Roscado: es el tallado de un perfil helicoidal con relieve para unión, o movimiento de piezas.
5. Ranurado: para realizar ranuras o cortes de piezas más pequeñas.
6. Conicidades: para la realización de piezas con una sección transversal circular de diámetro variable, ascendente o descendente.
7. Mandrinado o alesado: para la modificación de orificios internos.

1.4.1.2 Fresadora universal

La fresadora universal es una máquina herramienta usualmente usada como complemento del torno paralelo, en la que se pueden fabricar piezas con una geometría irregular que no están ligadas necesariamente a un sólido de revolución, como cubos, rectángulos, ranuras rectas, cuñeros, etc.

Se compone de 2 partes fundamentales: el bastidor, allí se encuentra el husillo principal donde va acoplada la herramienta de corte, la cadena cinemática y la transmisión de potencia, aparte, es la columna de la máquina y la guía donde se desplaza la mesa de trabajo; la ménsula, que tiene la mesa de trabajo y las manivelas que generan los movimientos en los 3 ejes de la máquina (x,y,z). Su principal ventaja es la diversidad de montajes posibles, y al no ser la pieza la que gira, sino la herramienta, permite que las piezas sean de formas mucho más diversas.

El complemento de sujeción de la herramienta de corte es una de las partes donde recae parte de la polivalencia de la fresadora y se les conoce como cabezales o árboles. Entre las operaciones fundamentales que se hacen con el cabezal universal se encuentran, el perforado, el planeado, contorneado, ranurado, mecanizado de cavidades; con el cabezal amortajador se pueden hacer cuñeros internos, coronas de engranajes para sistemas de engranajes epicicloidales; con los árboles portafresas se hace el tallado de engranajes, estrías y piezas que requieran fresas de generación o fresas madre.

El cabezal divisor es otro de los accesorios por excelencia de las fresadoras universales, esencial para el mecanizado de engranajes, es un mecanismo diferencial que tiene la característica de que por cada vuelta del husillo la manivela da un número de vueltas exacto, llamado constante de división. Se pueden realizar cierta cantidad de movimientos equidistantes o divisiones en una vuelta gracias a este mecanismo, igualmente, se puede coordinar su movimiento con el del eje x para obtener un perfil helicoidal con pasos de hélice mucho mayores a los del torno paralelo.

1.4.2 Manufactura avanzada

La manufactura avanzada emerge como desarrollo tecnológico y mejora sustancial de la manufactura convencional, la caracteriza su relación con tecnologías de punta y la automatización de los procesos.

La tecnología que destaca entre las técnicas de manufactura avanzada es el Control Numérico Computarizado CNC. Es un método de control de movimientos en el que se insertan instrucciones en un código en forma de números y letras que el microcontrolador de la máquina interpreta y convierte en señales de salida para diferentes componentes, como velocidad del husillo, avance, activación o desactivación de acciones, cambios de herramienta; a este código se le llama código G.

En estas máquinas se mejoran varios aspectos reflejados en la calidad y productividad; los movimientos de la máquina y parámetros como velocidades, son controlados por computadora, garantizando una precisión de las piezas difícil de alcanzar convencionalmente y una repetibilidad de la pieza que de otro modo sería imposible para una producción en serie manual; los movimientos de los ejes pueden ser simultáneos, creando así patrones y geometrías complejas. Otra de las ventajas del CNC, es que se pueden realizar varias tareas de diferente índole, como torneado y fresado en una misma máquina, conocida como centro de mecanizado.

El CNC tiene un estrecho vínculo con los softwares de diseño asistido por computadora CAD, y de manufactura asistida por computadora CAM. Las piezas que se crean en CNC pueden ser programadas manualmente y por CAM, estas hacen parte de un proceso sistemático, donde primero se digitaliza la forma y se dan parámetros a un modelo en tres dimensiones, teniendo en cuenta las consideraciones de diseño y resistencia de materiales, luego, en el CAM se hace un programa de manufactura donde se describen las operaciones, herramientas y parámetros que se van a utilizar que será traducido al código G de la máquina, seguido se hace el montaje de las herramientas, dispositivos de sujeción y la pieza en bruto. Nuevamente, este proceso optimiza la fabricación en serie, minimizando tiempos de producción y aumentando la precisión de las piezas, no obstante, a costa de precios elevados en la adquisición, mantenimiento, herramientas y equipos. (Kalpakjian y Schmid, 2014).

1.5 Software de diseño asistido por computadora

1.5.1 CAD

El diseño asistido por computadora (Computer Aided Design), de una manera simple es la intervención de los computadores en el proceso de creación, modificación, análisis u optimización de un diseño, son altamente utilizados en el diseño de componentes ingenieriles para vehículos, barcos, aviones y en general para casi cualquier producto con el que se interactúa día a día.

Es el uso conjunto de elementos de hardware y software para realizar las funciones especializadas de diseño requeridas por un usuario en particular.

Para interactuar con los CAD, se utilizan dispositivos de entrada que permiten la alimentación de datos, información y demás entradas en el sistema del computador; el procesamiento de estas señales se lleva a cabo en la CPU, donde se convierte en términos de bits posibilitando su lectura por el computador e interacción con el dispositivo gráfico; luego, el sistema entrega señales de salida, que normalmente son en forma visual para el usuario y permiten generar una representación tridimensional del modelo o prototipo que se pretende crear, es generalmente caracterizado por permitir la creación de geometrías complejas.

Su evolución ha estado estrechamente relacionada con los avances en los gráficos de las computadoras, desde la década de los 60 se han creado variedad de programas CAD con enfoques y funcionalidades que mejoran constantemente, buscando optimizar y cumplir los requerimientos del auge comercial de los productos y su desarrollo.

Algunas de las razones para implementar un CAD en el proceso de diseño de objetos son:

- El incremento de la productividad del diseñador
- La mejora en la calidad del diseño
- La mejora en la comunicación del diseño y la claridad de lo que se desea transmitir
- Para la creación de una base de datos de manufactura, ayudando a la documentación para el diseño de productos.

Existen tres tipos de cad principales: el CAD en 2D, utilizado para dibujo arquitectónico, planos industriales y diagramas; CAD paramétrico, que permite crear sólidos tridimensionales mediante operaciones editables; CAD de superficies, pensado para geometrías complejas o formas orgánicas.

Algunos de los CAD más utilizados dentro del campo de la ingeniería son: Autodesk Inventor, Autodesk AutoCAD, SolidWorks, Siemens NX, entre otros.

1.5.2 CAM

La manufactura asistida por computadora (Computer aided manufacturing), es el uso de los sistemas computacionales para planear, administrar y controlar los procesos de manufactura realizados por los recursos de producción.

Se derivan dos grandes usos del CAM:

- Monitoreo y control por computadora: Donde la computadora está directamente conectada al proceso de manufactura para monitorear o controlar el proceso.
- Aplicaciones de soporte para la manufactura: Son aplicaciones independientes que ayudan en las operaciones de producción, pero no hay una interfaz directa entre el computador y el proceso de manufactura.

Uno de los campos donde toman gran relevancia las aplicaciones de soporte para la manufactura, es en el control numérico computarizado, permitiendo la programación y edición de procesos de mecanizado para máquinas automáticas; mediante este tipo de software se evita el uso de programación manual y se logran avances en las capacidades de la máquina para generar geometrías no convencionales, así como secuencias de operaciones.

Normalmente trabajan en conjunto con las herramientas CAD, para posibilitar un proceso de diseño más completo dentro de una misma interfaz y programas como MasterCAM, Fusion360, PowerMill y SiemensNX son altamente reconocidos dentro del campo de la manufactura. (Groover y Zimmers, 1984).

2. Metodología

A continuación, se presenta una breve descripción de la metodología llevada a cabo para el desarrollo y fabricación del prototipo funcional del tornillo extrusor propuesto y las consideraciones de diseño para efectuar el proceso de extrusión de poliolefinas.

2.1 Diseño, modelado y planimetría

Todo proceso de manufactura comienza con la planimetría y modelado del prototipo que se desea hacer, es una etapa crucial, por su influencia en la funcionalidad del producto final. Es esencial tener en cuenta las consideraciones de diseño, resistencia al desgaste, fatiga y torque de la máquina, además de la geometría y zonas del tornillo, las cuales son:

- Alimentación: Donde el material sólido entra en contacto con el tornillo, tiene una profundidad de canal constante.
- Compresión: Zona donde el material comienza a fundirse debido al calentamiento por las resistencias y la fricción entre el barril y el tornillo; tiene una profundidad de canal que aumenta progresivamente para generar un efecto de compresión en el material fundido.
- Dosificación: Es la zona donde se funde totalmente el material y se regula la cantidad que sale por la matriz de extrusión, su profundidad es constante, pero menor que la de la zona de alimentación.

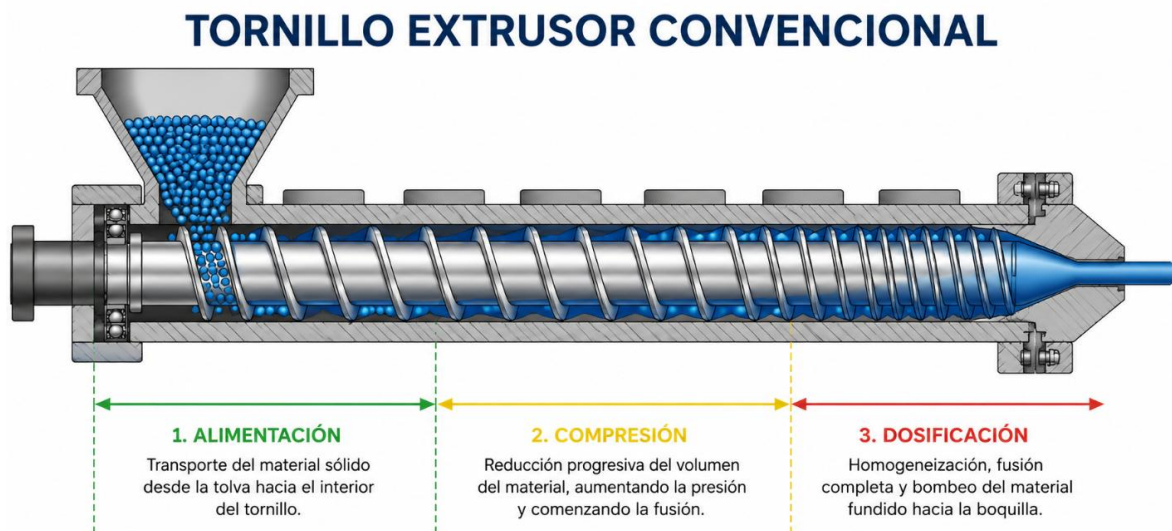


Ilustración 1. Secciones geométricas de un tornillo extrusor convencional. Fuente: Propia, generada por ChatGPT

La geometría del canal y de la hélice son igualmente importantes, están caracterizadas por cinco parámetros independientes:

- Paso de la hélice o del tornillo
- Diámetro nominal del canal
- Profundidad del canal
- Holgura entre el barril y el tornillo
- Espesor del filete

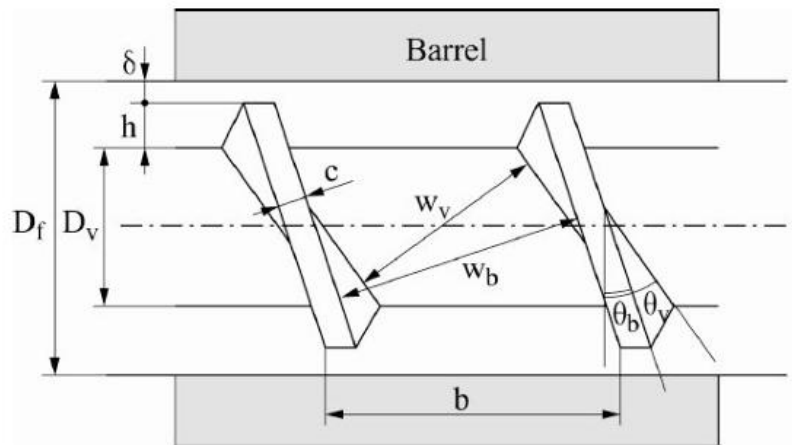


Ilustración 2. Geometría del sistema tornillo-barril. Fuente: Lafleur y Vergnes (2014)

Para el modelado 3D, se utilizó el software de Autodesk Inventor, que permite diseñar, simular y documentar elementos de diseño mecánico. Mediante la parametrización de una representación visual del producto final, facilita la creación de modelos 2D y 3D que son editables conforme lo requieran para satisfacer las características deseadas.



Ilustración 3. Modelado del cuerpo del tornillo extrusor. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.

Cabe mencionar que la búsqueda de optimización y perfeccionamiento del tornillo traen consigo constantes innovaciones, dentro de las cuales están los barriles acanalados, los

tornillos de barrera y las cabezas mezcladoras, estas últimas se han convertido casi que un complemento obligatorio en los tornillos, ya que incrementan la capacidad de mezclado dividiendo y recombinaando el flujo antes de la salida del material.

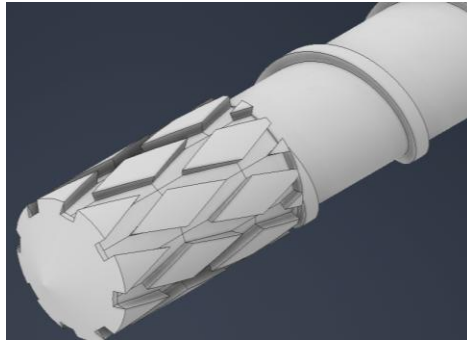


Ilustración 4. Mezclador. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.

De igual forma, se necesita un mecanismo de unión que posibilite la transferencia de potencia del eje de la caja reductora al tornillo, este mecanismo es una cuña circular ubicada en una zona anterior a la sección de alimentación del tornillo.



Ilustración 5. Cuñero cilíndrico. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.

Como modelo final tenemos un tornillo extrusor con cuerpo, mezclador y cuñero para garantizar la funcionalidad del mismo.

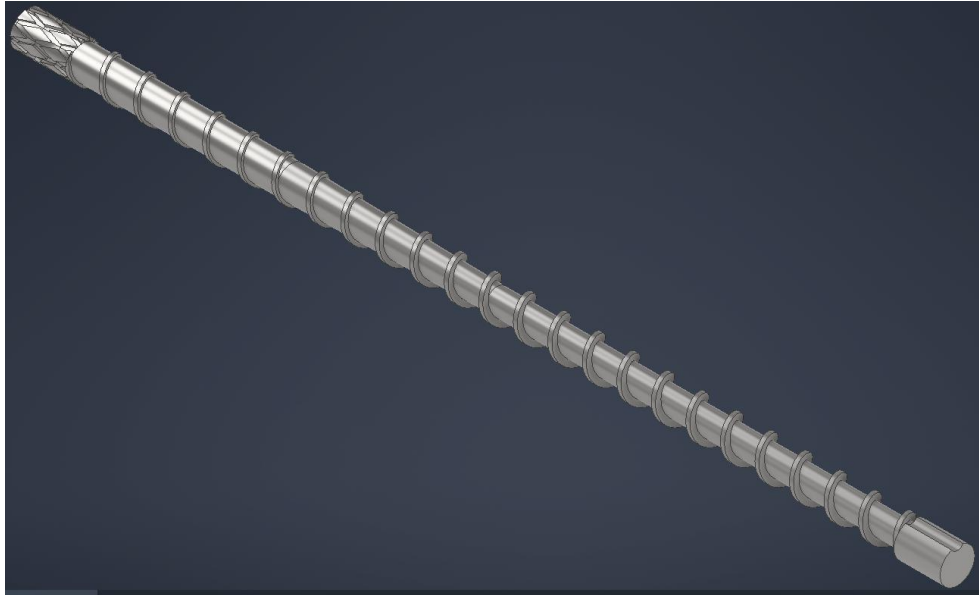


Ilustración 6. Modelo 3D del tornillo extrusor. Fuente: Propia, obtenida con el software Inventor.

2.2 Mecanizado

2.2.1. Selección y corte de material.

Se utilizó un stock cilíndrico de acero AISI 1020 de 1" de diámetro, con ayuda de la sierra de vaivén se realiza un corte a 690 mm, con el fin de garantizar una sobremedida que permite un mecanizado preciso y con el mínimo desperdicio de material posible.



Ilustración 7. Sierra de vaivén. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso

2.2.2. Torneado

Se realiza un montaje en torno paralelo Pinacho SP 200 para dar medidas de longitud y diámetro del cilindro inicial gracias a las siguientes herramientas de corte



Ilustración 8. Torno pinacho SP 200. Fuente: Propia, a partir de la máquina utilizada en el proceso.



Ilustración 9. Buril de acero rápido con punta de diamante. Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso.

- Refrentado

Debido a las condiciones, y a que la sierra de vaivén no es una máquina pensada para dar precisión geométrica, el corte queda oblicuo y poco uniforme; el refrentado alisa y uniformiza las superficies planas de los costados del cilindro, además las deja perpendiculares respecto a la superficie cilíndrica. Se utilizan las siguientes variables de corte, según la herramienta de corte y material, además, por la ecuación (1), se determinaron las revoluciones por minuto a las que debe girar el husillo de la máquina

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad (1)$$

Velocidad de corte (V_c) = 42 m/min

Diámetro de la pieza (D) = 25.4 mm

Velocidad de avance (f) = 0.1 mm/rev

Profundidad de corte (a_p)= 0.4 mm

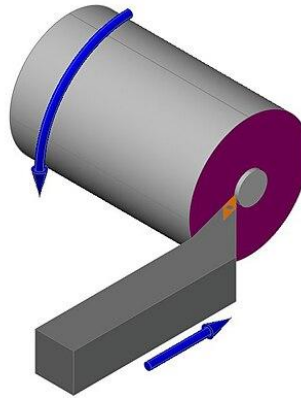


Ilustración 10. Esquema del refrentado en torno paralelo. Fuente: Google fotos.

Posterior al proceso de refrentado, se realiza el avellanado con brocacentro #3, necesario para el montaje entre copa y punto giratorio así como el montaje en fresadora entre cabezal divisor y contrapunta.



Ilustración 11. Broca Centro #3. Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso.

- Cilindrado

El proceso de cilindrado se realiza con el fin de reducir el diámetro por defecto de la pieza de 25.4 mm a 25 mm de acuerdo con las tolerancias especificadas en el plano. Es

necesario escoger unos parámetros de corte adecuados, para garantizar en la mayor medida el acabado superficial del tornillo, ya que influye en la fusión y fluidez del material.

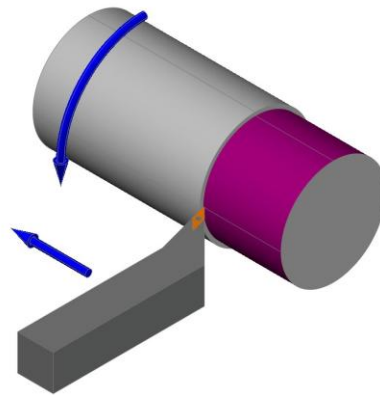


*Ilustración 12. Esquema del cilindrado en torno paralelo.
Fuente: Google fotos.*

2.2.3. Fresado

La máquina utilizada es una fresadora universal FWD 250 de 16 velocidades.



*Ilustración 13.
Fresadora universal
FWD 250. Fuente:
Propia, a partir de
la máquina utilizada
en el proceso.*

El montaje propuesto consta de:

- Cabezal birrotativo: Es un dispositivo que emula la función del cabezal universal al permitir el uso de fresas cilíndricas por el uso de portaboquillas con cono morse, pero permite la inclinación angular sobre los ejes Y y X de la fresadora.

-



Ilustración 14. Cabezal birrotativo. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso.

Cabezal divisor: Por medio de un sistema de engranajes se genera una relación de transmisión entre la manivela y la copa de 1/40 de vuelta, con los platos divisores con múltiples números de agujeros que se acoplan a la manivela, permiten realizar la división angular y calcular con cierto nivel de precisión el movimiento de manivela para hacer divisiones equidistantes. Cuenta con un eje de salida acoplable con la caja de guitarra, que, a su vez, cuenta con un tren complejo de 4 engranajes que modifica el movimiento axial del eje X. Esta relación de transmisión de la caja de guitarra es la responsable de generar el paso de la hélice sobre el cilindro, se calcula con la ecuación (2):

$$\frac{S_n}{S_p * 40} = \frac{A * C}{B * D} \quad (2)$$

Donde A (28) y C (32), son el número de dientes de los engranajes conductores; B (86) y D (100), son el número de dientes de los engranajes conducidos; Sp es el paso del tornillo de avance (6 mm) y Sn es el paso que se desea cortar (25 mm). El número de dientes escogido depende de la disponibilidad de engranajes de cada fresadora.



Ilustración 15. Cabezal divisor.

Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso.



Ilustración 16. Caja de guitarra. Fuente: Propia, a partir de dispositivo

Contrapunta: Es un accesorio ubicado sobre la mesa de trabajo, consta de un cono a 60° que se acopla al avellanado generado en el torno, es desplazable en el eje Z y escualizable sobre el eje Y, reduce la flexión en piezas de gran longitud.



Ilustración 17. Contrapunta de fresadora. Fuente: Propia, a partir del dispositivo utilizado en el proceso.

- Herramienta de corte:

- 1) Para el canal de la hélice se usó una broca-fresa plana de 4 labios de $\frac{5}{8}$ " (15.88 mm) con un rebaje del vástago de 14 mm por disponibilidad de la boquilla.



Ilustración 18. Broca fresa plana de $\frac{5}{8}$ " (15.88 mm). Fuente: Propia, a partir de la herramienta utilizada en el proceso

2) Para el patrón del mezclador se utiliza una broca-fresa plana de 3 mm de diámetro.



*Ilustración 19.
Broca fresa
plana de 3
mm. Fuente:
Propia, a
partir de la
herramienta
utilizada en el
proceso.*

3) Para el cuñero, se utilizó una broca-fresa de punta redonda de radio $\frac{3}{8}$ " (9.53 mm).



*Ilustración 20.
Fresa de punta
redonda de $\frac{3}{8}$ "
(9.53 mm).
Fuente: Propia, a
partir de la
herramienta
utilizada en el
proceso.*

Procedimiento de fresado:

Una vez finalizado el montaje, se gradúan el cabezal divisor y la contrapunta a 1° con el que se puede empezar el tallado de la hélice.

Dada la disponibilidad, se utilizó una broca-fresa de 15.88 mm de diámetro, que deja un canal de menor medida frente al requerido de 22 mm, para dar la medida exacta se opta por desplazar la herramienta hasta el inicio de la hélice, se desembraga el cabezal divisor, y se mueve la diferencia de 3 mm para cortar el exceso de material.

Para el mezclador se amplifica el paso de la hélice con la ecuación (2), queda que $A=100$, $B=48$, $C=64$ y $D=72$; se hace una división angular para 8 divisiones equidistantes, luego, se invierte el sentido de giro del cabezal divisor para generar ranuras en sentido antihorario y crear el patrón de rombos.

El cuñero se hace mediante la creación de una ranura longitudinal donde irá alojada una cuña cilíndrica, para ello, se aísla y bloquea el movimiento del cabezal divisor, para evitar otro movimiento además del generado por el eje X.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el proceso de diseño y construcción del tornillo extrusor con ayuda del programa Autodesk Inventor y las máquinas y herramientas disponibles en la Institución Universitaria Pascual Bravo

3.1 Diseño y planimetría

Con base en la metodología mencionada anteriormente, se obtuvo el siguiente modelo, con sus planos correspondientes.

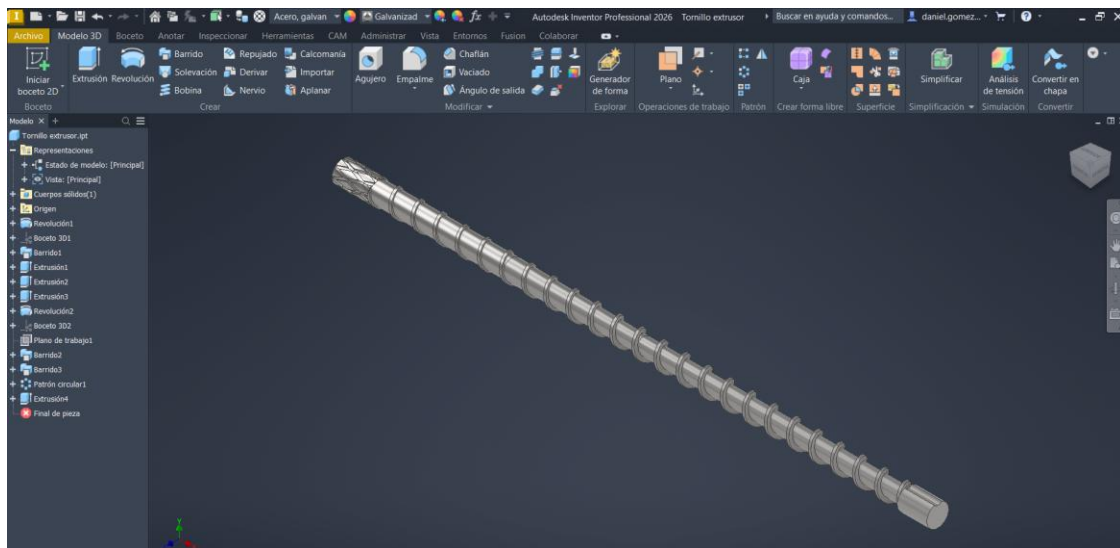


Ilustración 21. Modelo 3D en Inventor del tornillo extrusor. Fuente: Propia, generada con el software Inventor.

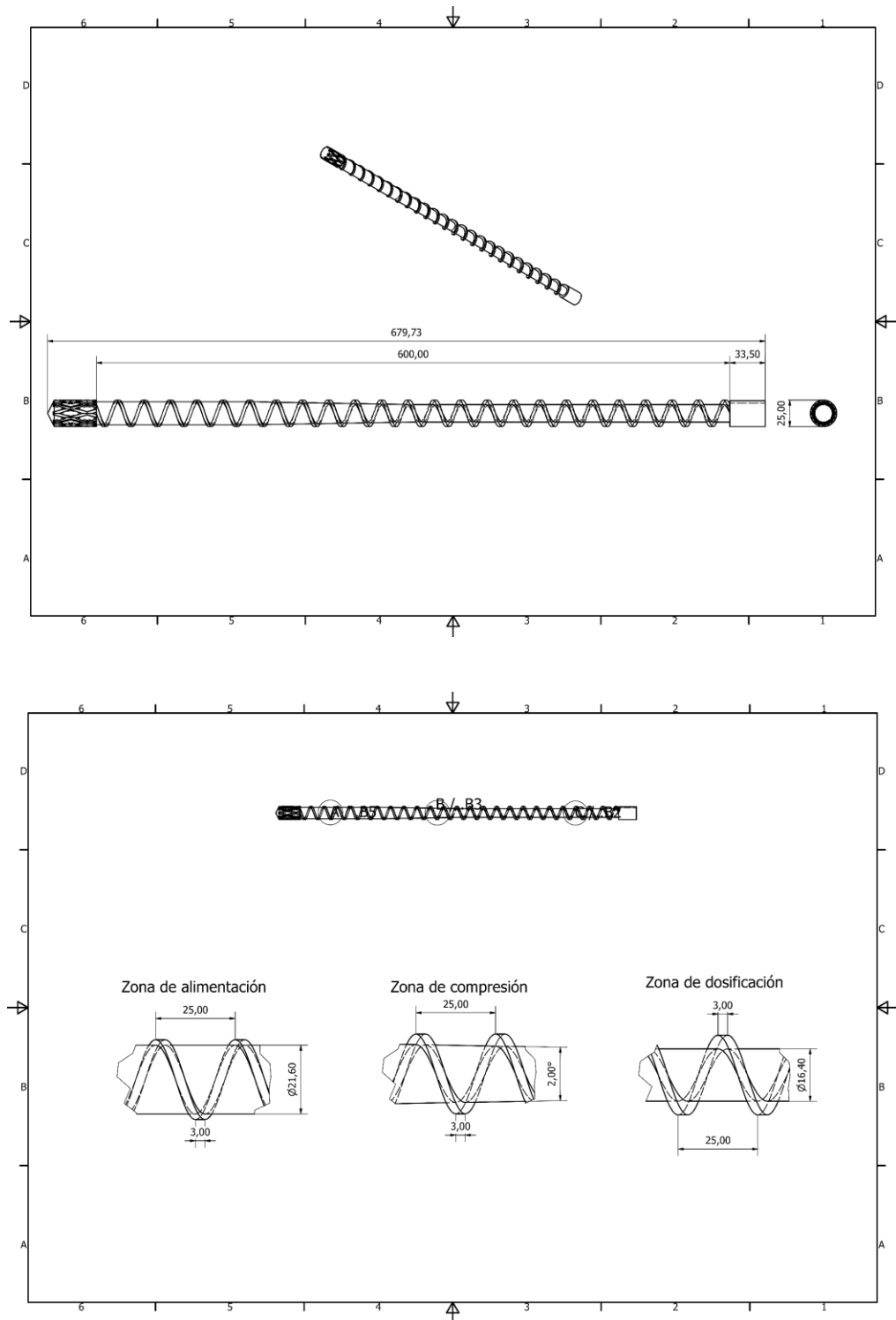


Ilustración 22. Planos del tornillo extrusor y geometría de las secciones.
Fuente: Propia, generada con el software Inventor.

3.2 Prototipo de tornillo extrusor



Ilustración 23. Prototipo de tornillo extrusor. Fuente: Propia, generada con el software Inventor.

3.3 Análisis de parámetros de corte.

En la siguiente tabla se hace un paralelo entre las condiciones de corte ideales y las usadas para cada proceso, donde los parámetros de corte fueron determinados según el tipo de material y las capacidades y características de las máquinas usadas.

Operación \ Parámetro					
	Vc(m/min)	rpm	ap(mm)	f(mm/rev)	
Torneado	40	503,9	0.4	0.1	Parámetros ideales
	42	530	0.4	0.12	Parámetros usados
Fresado	50	1000	-	-	Parámetros ideales
	47,25	945	-	-	Parámetros usados

Tabla 2. Parámetros de corte ideales y usados para los procesos de remoción de material. Fuente: Propia, generada con el software excel.

4. Conclusiones y oportunidades oportunidades de mejora

Conclusiones

- Se logró construir un prototipo de tornillo extrusor funcional para una máquina extrusora de polímeros mediante procesos y máquinas-herramienta convencionales, demostrando que es posible realizar estos componentes con los recursos a disposición en la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- El uso del CAD Autodesk Inventor permitió el modelado 3D del prototipo, facilitando la comprensión del diseño y la elaboración de la planimetría necesaria para realizar el mecanizado.
- La selección de parámetros y geometría del tornillo como paso de la hélice, profundidad del canal y relación de compresión, permitió obtener un diseño orientado a garantizar las condiciones de funcionamiento necesarios para el proceso de extrusión.
- Se evidenció que los procesos y métodos de manufactura convencionales siguen siendo una opción viable en ciertos contextos industriales y académicos cuando no se cuenta con tecnologías más avanzadas como CNC.
- El proceso de fresado mediante el cabezal divisor y tren de engranajes permitió la sincronización de los movimientos de rotación y traslación necesarios para generar la geometría del tornillo extrusor.
- Los parámetros de corte experimentales permitieron un proceso de mecanizado estable y sin complicaciones, así como un acabado y tolerancias dentro de los márgenes aceptados para el uso académico. Además, la elección rigurosa de estos valores permite alargar la vida útil de las herramientas, reducir el desgaste y vibración del ambiente de trabajo.
- La fabricación del cuñero y el mezclador contribuyen a la funcionalidad del tornillo, garantizando su usabilidad en un entorno de extrusión real.
- Se fortalecieron conocimientos del campo del diseño mecánico y procesos de manufactura, mediante la integración de los componentes prácticos y teóricos correspondientes.

Oportunidades de mejora

- Las herramientas utilizadas deben ser las adecuadas para el proceso y las adaptaciones influyen en la calidad del producto final.
- Se debe hacer un proceso posterior de pulido o hacer pruebas con parámetros de corte diferentes para garantizar un mejor acabado superficial del tornillo
- Los dispositivos utilizados deben estar totalmente calibrados y en perfecto funcionamiento para garantizar todos los requerimientos dimensionales y geométricos.

Referencias

Pourhosseinian, M., & Haddadi, B. (2026). *Starve feeding in screw extruders: A review*. *Advances in Polymer Technology*, 2026, 9495468. John Wiley & Sons Ltd.

Gutiérrez Morales, P. A., & Bornacelli Castillo, J. F. (2006). *Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo* [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. Universidad Autónoma de Occidente.

Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). *Tema 4. Extrusión*. En *Tecnología de polímeros*. [Material académico].

Ugboya, A. P., Odiamenhi, A. M., & Aigbojie, O. E. (2019). The design and construction of a single screw extruder. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 6(7), 10340–10349.

Billmeyer, F. W. (1984). *Ciencia de los polímeros* (3ª ed.). Reverté

Biron, M. (2013). *Thermoplastics and thermoplastic composites: Technical information for plastics users* (2nd ed.). Elsevier.

Vlachopoulos, J., & Polychronopoulos, N. D. (2019). *Understanding rheology and technology of polymer extrusion*. Hanser Publishers

Bausano S.r.l. (s.f.). *Tipos de diseño de los tornillos para la extrusión de plásticos*.

Bausano. Recuperado de <https://www.bausano.com/es/noticias-y-nota-de-prensa/tipos-de-dise%C3%B1o-de-los-tornillos-para-la-extrusi%C3%B3n-de-pl%C3%A1sticos>

Universidad Tecnológica Nacional (s.f.). *UT N° 5 Fresado*. Recuperado de

https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/9708/mod_resource/content/1/UT%20N%C2%B0%205%20Fresado

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales* (2.^a ed.). Editorial Reverté.

DIMECOL. (2013). *SAE 1020*. Recuperado de [https://irp-](https://irp-cdn.multiscreensite.com/de08f08f/MOBILE/pdf/sae+1020+dimecol240f.pdf?i=1137457.pdf&fn=SAE%201020%20DIMECOL)

[cdn.multiscreensite.com/de08f08f/MOBILE/pdf/sae+1020+dimecol240f.pdf?i=1137457.pdf&fn=SAE%201020%20DIMECOL](https://irp-cdn.multiscreensite.com/de08f08f/MOBILE/pdf/sae+1020+dimecol240f.pdf?i=1137457.pdf&fn=SAE%201020%20DIMECOL)