



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingenierías

PROYECTO DE TITULACIÓN

[DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN HUSILLO PARA UN PROTOTIPO
DE MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICOS DE DESECHO]

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

CESAR EDUARDO SOLEDAD CASILLAS

ASESOR:

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR

AGRADECIMIENTOS

Querida familia, compañeros y profesores,

Quiero aprovechar este espacio para expresar mi más profunda gratitud y agradecimiento a todos y cada uno de ustedes por haberme apoyado a lo largo de mi carrera universitaria. Su aliento, orientación y confianza en mí han sido muy valiosos, y estoy muy agradecido por haber contado con su apoyo en todo momento.

A mi familia, gracias por estar siempre a mi lado, tanto emocional como económicamente. Su amor y apoyo han significado el mundo para mí, y no podría haber superado estos últimos años sin ustedes.

A mis compañeros de clase, gracias por ser mis amigos y compañeros de estudios. Su compañerismo, colaboración y competencia me han empujado a dar lo mejor de mí y han hecho que mi estancia en la universidad sea mucho más agradable.

Y a mis profesores, gracias por ser mis mentores e inspirarme para seguir aprendiendo toda la vida. Sus conocimientos, experiencia y dedicación a sus alumnos han sido una fuente constante de inspiración, y les estaré eternamente agradecido por el impacto que han tenido en mi educación y en mi vida.

Gracias de nuevo a todos por su apoyo. Estoy muy agradecido de haber tenido a todos y cada uno de ustedes en mi vida durante este increíble viaje.

RESUMEN

“DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN HUSILLO PARA UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICOS DE DESECHO”

Por: **CESAR EDUARDO SOLEDAD CASILLAS**

Se presenta el diseño y manufactura de un husillo para una máquina extrusora solar híbrida horizontal. El diseño del husillo está adaptado a las dimensiones del sistema de extrusión y del sistema de transmisión de empuje mecánico de la máquina extrusora de estudio. Para los diseños se empleó el software de diseño mecánico CAD 3D SolidWorks®. La manufactura se realizó en una empresa externa especializada en tecnología de manufactura de tornillos sin fin y en donde se fue participando en la puesta en operación del trabajo de torneado. Para tal fin, la empresa utilizó los diseños obtenidos en este estudio. El diseño del husillo es de monocapa donde las zonas de alimentación, de comprensión y de dosificación cuentan con las mismas dimensiones de roscado, donde se seleccionó un roscado de tipo ACME con un paso de rosca de 2 hilos por pulgada. Lo anterior por la disponibilidad tecnológica de manufactura a la que se tuvo acceso en el desarrollo del presente proyecto.

El presente trabajo es producto de los proyectos:

- (1) proyecto “Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, proyecto ID 1086950;
- (2) programa PRODEP mediante el Fortalecimiento de CAs, ITPA-CA-1, proyecto “Diseño, implementación y control de sistemas mecatrónicos de registro y monitoreo de variables de operación en prototipos de aplicación en la industria del reciclaje de plásticos: trituración, extrusión y pirolisis”;
- (3) proyecto TecNM clave 9433.20-P.;
- (4) proyecto IDSCEA IA-025-2019.

Dirigido por:

M. en C. Víctor Manuel Herrera Ambriz

Dr. José Alonso Dena Aguilar

III.		xviii
DESARROLLO.....		
....		
3.1	TÉCNICAS Y EQUIPOS DE MANUFACTURA EMPLEADOS.....	xviii
3.1.1	Diseños CAD 3D.....	xviii
3.1.2	TÉCNICAS Y EQUIPOS DE MANUFACTURA EMPLEADOS	xviii
3.1.3	FORMULAS DEL DISEÑO DEL HUSILLO.....	xxiii
3.1.4	PRUEBAS EXPERIMENTALES DE VELOCIDAD DE GIRO...	xxv
3.2	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	xxvi
IV. RESULTADOS.....		xxvii
4.1	DISEÑOS 3D.....	xxvii
		Pág.
4.2	MANUFACTURA DEL EQUIPO.....	xxix
4.3	CARACTERIZACIÓN TÉRMICA.....	xxxiv
V. CONCLUSIONES.....		xxxvi
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....		xxxvii
VII.	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	xxxviii

Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	xi
...	
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	xli
...	

LISTA DE FIGURAS

	Pág
	.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	iv
Figura 2. Representación del plástico como contaminante en los mares.....	vi

Figura 3.	Conservación de los plásticos en el mar.....	vii
Figura 4.	Composición de una máquina extrusora de plásticos.....	viii
Figura 5.	Extrusora de plásticos marca SILOGS.....	ix
Figura 6.	Extrusora de plásticos horizontal.....	xi
Figura 7.	Máquina de Control Numérico Computacional (CNC.....	xii
Figura 8.	Resultado y acabado de la unión de dos piezas soldadas correctamente.....	xiii
Figura 9.	Tipos de máquinas de corte dependiendo su material.....	xiv
Figura 10.	Clasificación de los husillos dependientes de su aplicación.....	xv
Figura 11.	Análisis de las propiedades de trabajo de un husillo.....	xvii
Figura 12.	Diseño final del husillo.....	xviii

Figura 13. Torno manual marca BAOJI modelo BJ-1660GD..... xix

Figura 14. Configuración de torno para el desbaste de materiales..... xix

Pág

Figura 15. Luneta viajera, permite disminuir la vibración y evitar la elongación..... xx

Figura 16. Configuración de los parámetros del torno para la generación de rosca tipo ACME..... xx

Figura 17. Costilla parabola de entremedio..... xxi

Figura 18. Inicio del desbaste para la generación de la cuerda ACME..... xxi

Figura 19. Finalización de la generación de la rosca tipo acme..... xxii

Figura 20. Lijado del husillo con el fin de eliminar filos..... xxii

Figura 21. Husillo Finalizado..... xxii

Figura 22. Esquema de identificación de las partes que componen la rosca tipo ACME.....	xxiii
Figura 23. Sistema de empuje mecánico de la extrusora.....	xxv
Figura 24. Sistema de mando eléctrico de la extrusora.....	xxvi
Figura 25. Cronograma de actividades general.....	xxvi
Figura 26. Área de desahogo del husillo.....	xxvi i
Figura 27. Vista del extremo delantero del husillo.....	xxvi i
Figura 28. Vista del extremo trasero del Husillo.....	xxvi i
	Pág
	.
Figura 29. Propiedades de la cuerda tipo ACME en el husillo.....	xxvi ii
Figura 30. Parte extrema trasera de husillo y sus dimensiones.....	xxvi ii
Figura 31. Torneado inicial de husillo para ajuste al barril (maquinado previo al de formación de alabes). Actividad realizada dentro de ITPA. Disminución de	

diámetro de 50 a 48.5 mm..... xxix

Figura 32. Colocación del cilindro en el torno, para comenzar su desbaste..... xxix

Figura 33. Desbaste del cilindro..... xxx

Figura 34. Área de desahogo para evitar rupturas en el cortado..... xxx

Figura 35. Primeras impresiones de la generación de la rosca ACME..... xxxi

Figura 36. Impresiones antes de finalizar el mecanizado del cilindro..... xxxi

Figura 37. Eliminación de filos en los alabes del husillo..... xxxi
i

Figura 38. Vista completa del husillo con alabes maquinados..... xxxi
i

Figura 39. Acercamiento de alabes maquinados (punta del husillo)..... xxxi
ii

Figura 40. Acercamiento de alabes maquinados (extremo del husillo adjunto al cuello)..... xxxi
ii

Figura 41. Cuello del husillo con ranura para comunicación con sistema de empuje.)..... xxxi

v

Pág

.

Figura 42. Velocidades de rotación del husillo obtenidos experimentalmente con la caja reductora y el sistema de mando eléctrico en 35 operación.....

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, desarrollo tecnológico, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere al diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de monohusillo para plásticos de desecho.

En este trabajo se propone el diseño y manufactura de un husillo para una máquina extrusora solar hibrida horizontal. El diseño del husillo es de monocapa con un roscado de tipo ACME con un paso de rosca de 2 hilos por pulgada.

El presente trabajo es producto de los proyectos:

- (1) proyecto “Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, proyecto ID 1086950;
- (2) programa PRODEP mediante el Fortalecimiento de CAs, ITPA-CA-1, proyecto “Diseño, implementación y control de sistemas mecatrónicos de registro y monitoreo de variables de operación en prototipos de aplicación en la industria del reciclaje de plásticos: trituración, extrusión y pirolisis”;
- (3) proyecto TecNM clave 9433.20-P.;
- (4) proyecto IDSCEA IA-025-2019.

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

Objetivos de la empresa

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al desarrollo del proyecto.

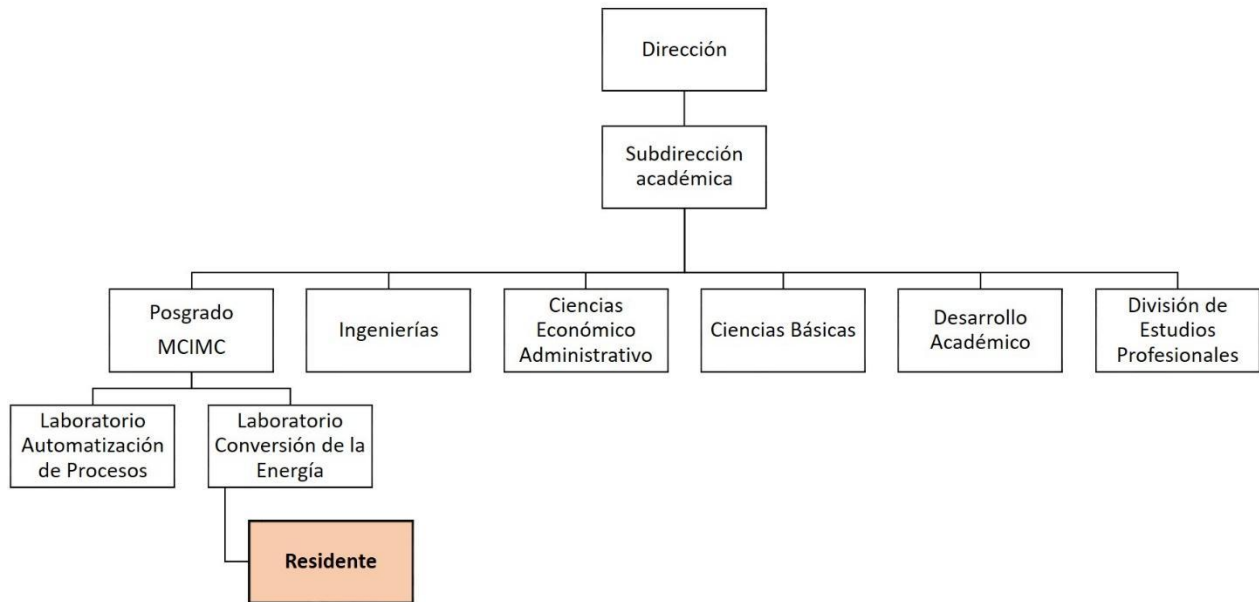


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

La cadena de valor para el reciclaje de plásticos involucra la participación de centros acopiadores que en cierta manera están agrupados en pequeñas cooperativas o asociaciones que podrían ser las áreas de oportunidad beneficiadas con el uso de la tecnología propuesta.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Manufactura de un husillo para una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple:
 - Diseño del husillo.
 - Manufactura del husillo.
 - Puesta en operación del husillo en la máquina extrusora.

1.4 Justificación

Los plásticos de un solo uso ocasionan efectos negativos al ambiente. Dentro de los métodos de reciclaje encontramos la extrusión como una técnica capaz de

otorgarles un valor agregado a los desechos plásticos al otorgarles una nueva forma para un nuevo uso por los consumidores. Una máquina extrusora, puede ser una opción para las PyMes y MiPyMes dedicadas a la industria del reciclaje como una alternativa para dar valor agregado a sus actividades a través de la tecnología propuesta. Por tanto, el presente estudio puede ser parte de la cadena de valor de los plásticos de un solo uso para obtener pellets de segundo uso.

El alcance del proyecto es el diseño y manufactura de un husillo para una máquina extrusora solar híbrida horizontal.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y manufacturar un husillo de extrusión mediante el uso de técnicas de diseño CAD 3D y manufactura avanzada para integrarlo a una máquina extrusora prefabricada.

1.5.2 Objetivos específicos

- Elaborar los diseños mecánicos CAD 3D del husillo mediante software de diseño especializado para definir el dimensionamiento y la geometría del tornillo acorde al sistema de extrusión de la máquina extrusora.
- Manufacturar el husillo mediante técnicas de manufactura avanzada para su puesta en operación.
- Realizar pruebas de integración del husillo en el sistema de extrusión de la máquina extrusora mediante ensayos de velocidad de rotación para validar el diseño de husillo y su integración con el sistema de empuje mecánico.

1.6 Alcances y limitaciones

En los diseños CAD 3D solo se especificarán las dimensiones generales por cuestiones de patentado.

Ninguna extrusión es realizada.

Esta fuera de alcance del proyecto la optimización o reingeniería del husillo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PLÁSTICOS DE DESECHO

La producción mundial de plásticos es un problema importante debido a su impacto en el medio ambiente. Más del 90% de los plásticos se producen a partir de resina virgen, que se obtiene de la transformación de derivados del petróleo. Esto representa más del 6% del consumo mundial de este hidrocarburo, lo que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero. En México, se producen más de siete millones de toneladas de plástico al año, de las cuales el 48% se destina a envases, empaques y embalajes. Muchos de estos productos son de un solo uso y contribuyen a la contaminación por plástico en el país. En la Ciudad de México, por ejemplo, se producen más de trece mil toneladas de residuos al día, de las cuales entre el 12% y el 15% es basura plástica. A pesar de que se promete que estos residuos serán reciclados, la realidad es que los porcentajes de reciclaje son bajos. Sólo se recupera y recicla una pequeña fracción (6.07%) del plástico y la mayoría de los empleos relacionados con esta actividad son informales y precarios. El panorama mundial es similar, ya que después de cuatro décadas de haberse introducido la etiqueta de reciclaje en los envases plásticos, sólo el 14% de ellos han sido recolectados para su valorización.



Figura 2. Representación del plástico como contaminante en los mares [1].

El estudio realizado por Greenpeace y el Laboratorio de Biodiversidad Arrecifal y Conservación de la UNAM en áreas naturales protegidas del Caribe mexicano y del Golfo de México muestra que la contaminación por plásticos en estas zonas es un problema grave que requiere medidas urgentes para abordarlo. Es necesario tomar medidas integrales para evitar que los residuos plásticos lleguen a la naturaleza, tales como reducir la producción y el consumo de plásticos de un solo uso, prohibir su comercialización y distribución gratuita, y fomentar la reutilización de materiales duraderos y no tóxicos. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) deben asumir un papel central en la lucha contra la contaminación plástica y proponer políticas públicas efectivas para resolver el problema. Además, el gobierno federal debe asegurarse de que la CONANP cuente con los recursos necesarios para proteger adecuadamente las áreas naturales protegidas y el poder legislativo debe legislar para abordar el problema de raíz [1].



Figura 3. Conservación de los plásticos en el mar [1].

2.2 EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

Las extrusoras de plástico son máquinas utilizadas en la industria del reciclaje para moldear y dar forma a materiales poliméricos, como el plástico. La máquina utiliza altas temperaturas y presión para fundir la materia prima y moldearla según la forma del husillo que se utilice. Esta máquina se compone principalmente de una tolva, un barril o cañón, un husillo o tornillo y una matriz o boquilla. La tolva es el depósito de materia

prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor. El barril o cañón es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de la máquina. El husillo o tornillo es el elemento que impulsa y procesa el material plástico a través del extrusor. La matriz o boquilla es la pieza que da forma al material plástico y lo convierte en el producto final deseado [2].

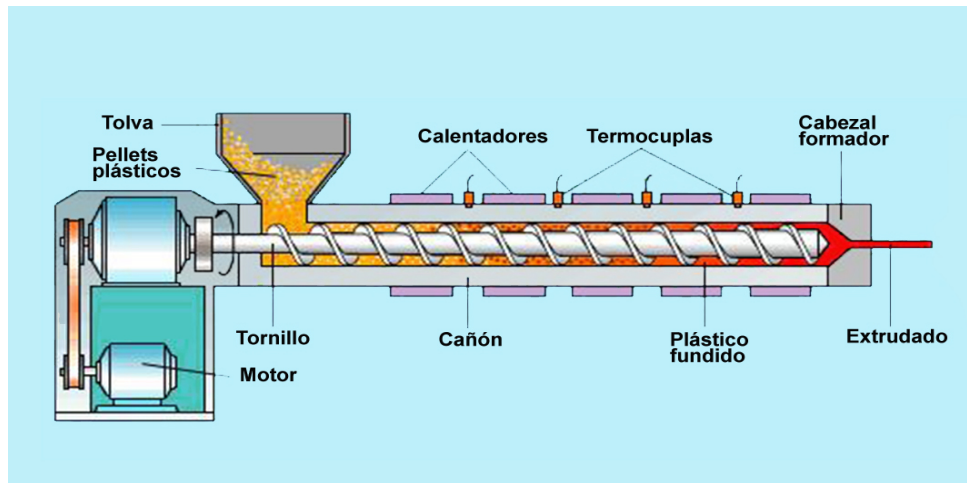


Figura 4. Composición de una máquina extrusora de plásticos [2].

Existen diferentes tipos de extrusoras según el número de husillos que utilicen, siendo las más comunes las que tienen un solo husillo (mono husillo) y las que tienen dos o más. Las extrusoras de mono husillo son utilizadas para formar presión en el polímero fundido y extruirlo a través del dado. Por otro lado, las extrusoras de doble husillo o más husillos son utilizadas para mezclar y formar compuestos o reaccionar materiales poliméricos. El uso de las extrusoras de plástico permite agilizar el proceso de reciclaje de plástico y aprovechar al máximo la materia prima. La máquina es capaz de producir moldes de manera continua y rápida, lo que reduce tiempos y costos en el proceso industrial. Además, el uso de estas máquinas contribuye a la reducción de la producción de residuos plásticos y al cuidado del medio ambiente.

El funcionamiento de una extrusora de plástico se basa en el paso de la materia prima, en forma de gránulos triturados, a través de un embudo que abastece al cilindro o "cañón" que posee alta temperatura. En su interior se encuentra el husillo que empuja el material a lo largo del cilindro y genera presión y eleva la temperatura para permitir el

fundido y moldeado del material. Una vez fundido, el material es empujado a través del dado, que tiene la forma deseada según el husillo utilizado en la máquina. La extrusora permite obtener el molde de manera rápida y continúa, agilizando el proceso industrial de reciclado y aprovechando al máximo la materia prima.

Las extrusoras se utilizan para procesar una variedad de materiales, incluyendo plásticos. Algunos de los tipos de plásticos que se pueden procesar en una extrusora incluyen polietileno, polipropileno, policarbonato y cloruro de polivinilo (PVC). También se pueden procesar materiales compuestos a base de plástico, como por ejemplo fibra de vidrio reforzada con plástico (GRP) [2].

El costo de una extrusora de plástico puede variar dependiendo del tipo de máquina y de sus características técnicas. En general, las extrusoras de plástico pueden tener un costo que va desde alrededor de \$10,000 a más de \$100,000.

Las máquinas más básicas y sencillas, con un único husillo y capacidad de producción baja, pueden tener un costo de alrededor de \$10,000 a \$30,000. Por otro lado, las extrusoras de plástico de alta capacidad y con características técnicas avanzadas, como doble husillo o sistemas de mezclado y reacción, pueden tener un costo que supera los \$100,000.

Además del costo de la máquina en sí, también hay que considerar otros costos relacionados con su adquisición, como el costo de instalación, capacitación de operadores y mantenimiento [3].



Figura 5. Extrusora de plásticos marca SILOGS [4].

2.3 MÁQUINAS EXTRUSORAS HORIZONTALES

Las máquinas extrusoras horizontales son un tipo de máquina utilizada en la industria de procesamiento de alimentos y plásticos para producir productos de forma continua mediante un proceso de extrusión. En este proceso, un material plástico o alimenticio en forma de polvo o gránulos es introducido en una tolva de alimentación, que se encuentra en la parte superior de la máquina. A continuación, el material es transportado por un tornillo sinfín hacia una boquilla de extrusión, donde se somete a alta presión y temperatura para ser moldeado en la forma deseada. Las máquinas extrusoras horizontales se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, como la producción de alimentos para animales, alimentos para humanos, productos de plástico y productos químicos.

Las máquinas extrusoras horizontales tienen varias ventajas en comparación con otras formas de procesamiento de alimentos y plásticos. Algunas de estas ventajas incluyen [5]:

1. Producción continua: las máquinas extrusoras horizontales son capaces de producir productos de forma continua, lo que permite una alta eficiencia y una producción en masa.
2. Facilidad de uso y mantenimiento: estas máquinas suelen tener un diseño sencillo y fácil de usar, lo que reduce la necesidad de capacitación para su operación y mantenimiento.
3. Flexibilidad: las máquinas extrusoras horizontales pueden ser utilizadas para producir una gran variedad de productos de diferentes formas y tamaños, lo que permite una alta flexibilidad en la producción.
4. Calidad del producto: debido a que el proceso de extrusión permite un control preciso de la temperatura y la presión, los productos que se producen con máquinas extrusoras horizontales suelen tener una alta calidad y uniformidad.
5. Ahorro de energía: las máquinas extrusoras horizontales utilizan un tornillo sinfín para transportar el material a través de la máquina, lo que reduce la necesidad de energía en comparación con otros procesos que utilizan sistemas de transporte mecánico.



Figura 6. Extrusora de plásticos horizontal.

2.4 TÉCNICAS DE MANUFACTURA AVANZADA CNC, SOLDADURA, CORTE Y ABRASIÓN

Las técnicas de manufactura avanzada incluyen la utilización de máquinas controladas por computadora (CNC), la soldadura, el corte y el abrillantado. La fabricación CNC implica el uso de un software de control numérico para guiar la máquina en la producción de piezas de precisión y alta calidad.

La soldadura se utiliza para unir dos o más piezas metálicas mediante el uso de calor y un metal de soldadura. El corte se realiza mediante el uso de maquinaria especializada para cortar materiales en piezas de tamaños específicos. El abrillantado implica el uso de herramientas abrasivas para pulir y dar un acabado suave a una superficie. Estas técnicas se utilizan en una variedad de industrias, como la automotriz, la aeroespacial y la mecánica de precisión, entre otras.

Máquinas CNC

Además del mecanizado CNC, existen otros tipos de mecanizados utilizados en las industrias actuales. Estos incluyen:

- Mecanizado por arranque de viruta: se trata de un proceso en el que se utilizan herramientas de corte para eliminar material de una pieza mediante el arranque de virutas de metal.
- Mecanizado por electroerosión: en este proceso, se utiliza una corriente eléctrica para erosionar la pieza de trabajo y darle forma.
- Mecanizado por láser: en este caso, se utiliza un láser para cortar y dar forma a la pieza.
- Mecanizado por chorro de agua: en este proceso, se utiliza un chorro de agua a alta presión para cortar y dar forma a la pieza.

En general, cada uno de estos tipos de mecanizado tiene sus propias ventajas y desventajas, y se elige en función de las características de la pieza a mecanizar y del resultado deseado [6].



Figura 7. Máquina de Control Numérico Computacional (CNC) [6].

Soldadura

La soldadura es un proceso de unión de piezas de material mediante el uso de calor y/o presión. El calor se produce generalmente a través de un arco eléctrico, que se genera mediante la electricidad de la fuente de potencia de soldadura. La soldadura

por arco se puede utilizar en diferentes métodos, como soldadura TIG, MIG/MAG, entre otros. Además de calor, se puede aplicar presión en el proceso de soldadura para ayudar a unir las piezas.

En la soldadura, se da forma a las piezas a unir para que encajen juntas y se crea un baño de fusión en el que se funden las piezas y el material de relleno. Para proteger el baño de fusión de la oxidación y otros efectos del aire, se utilizan gases de protección o escoria. Los materiales más comúnmente soldados son los metales, como el aluminio, el acero y el acero inoxidable [7].



Figura 8. Resultado y acabado de la unión de dos piezas soldadas correctamente

Máquinas de Corte

Las máquinas de corte son herramientas utilizadas para cortar materiales de diversos tipos. Estas máquinas pueden ser utilizadas para cortar madera, metal, plástico y otros materiales en piezas de diferentes formas y tamaños. Las máquinas de corte suelen funcionar mediante la utilización de una herramienta de corte que se mueve de forma precisa y controlada a lo largo del material a cortar.

Hay diferentes tipos de máquinas de corte, cada una diseñada para cortar diferentes tipos de materiales y en diferentes formas. Algunos ejemplos comunes de máquinas de corte incluyen sierras de cinta, sierras de calar, sierras circulares, guillotinas y máquinas de corte láser. Estas máquinas se utilizan en una variedad de aplicaciones, como la fabricación de muebles, la construcción de edificios y la producción de piezas mecánicas.

Tipos de herramientas de corte mecanizado:

1. Máquina de acero al carbon
2. Herramientas de corte de acero de alta velocidad
3. Maquinaria de carburo cementado y cermet
4. Herramientas de cerámica
5. Utensilios de corte con diamante

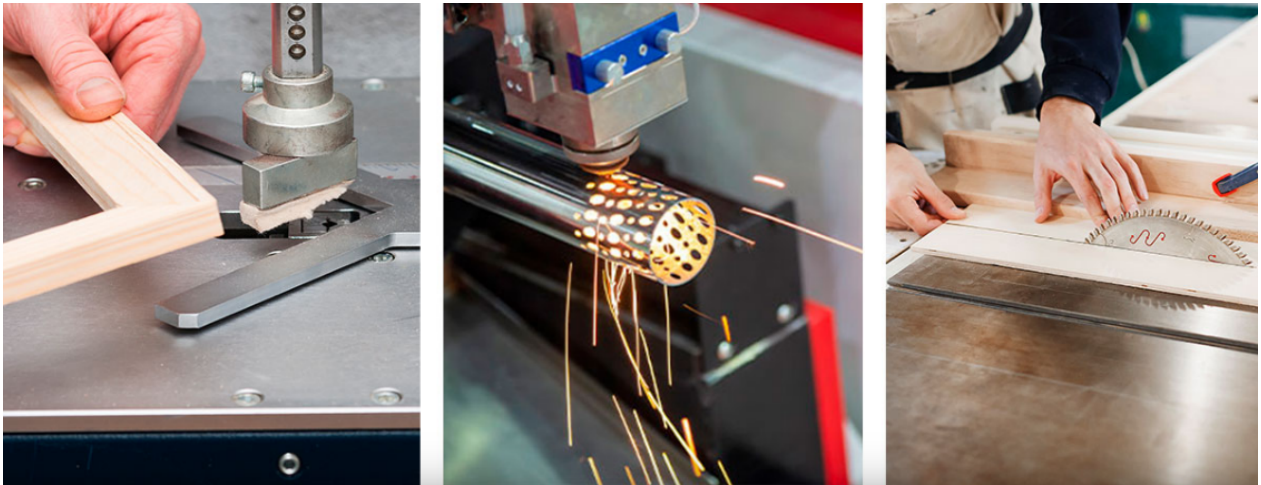


Figura 9. Tipos de máquinas de corte dependiendo su material [8].

2.5 HUSILLOS DE EXTRUSIÓN

Un husillo de extrusión es un elemento esencial en una máquina de inyección de plástico. Se trata de un eje cilíndrico con un diseño helicoidal que se utiliza para impulsar el plástico fundido a través de la matriz de moldeo. El diseño del husillo es crucial para el rendimiento y calidad de la máquina de inyección, así como para la plastificación, homogeneización y transformación del polímero [9].

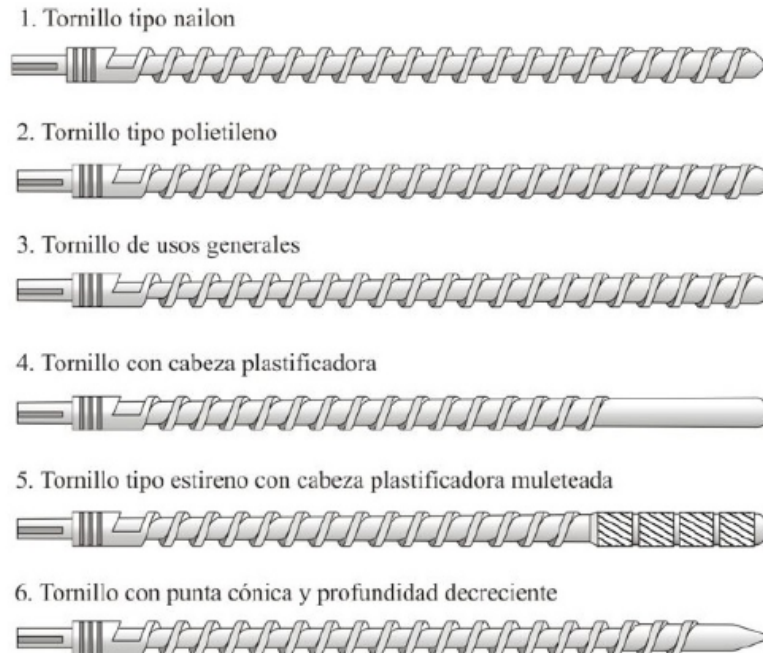


Figura 10. Clasificación de los husillos dependientes de su aplicación [9].

En el diseño de husillos, se definen tres etapas cada una con diferente funciones:

- **Zona de alimentación:** La zona de alimentación es una parte importante de una máquina de inyección de plástico. Se encuentra en el extremo posterior del husillo, cerca de la tolva donde se almacena el material en forma de granza. En esta zona, el material es transportado hacia las zonas delanteras del husillo para ser procesado. Es importante tener en cuenta el coeficiente de fricción entre la granza y el husillo en esta zona, ya que puede afectar la eficiencia del transporte del material.
- **Zona de compresión:** la zona de compresión en una máquina de inyección de plástico se encuentra en el interior del filete del husillo. En esta zona, el volumen del material disminuye progresivamente debido a la compresión ejercida por el husillo. Esto provoca calor por fricción y cizalla, lo que ayuda a fundir el material y aumentar su volumen específico
- **Zona de dosificación:** Zona donde se produce la mezcla y homogeneización final de la masa fundida

El husillo en una máquina de inyección de plástico es mucho más que un eje cilíndrico con un enrollamiento helicoidal para transportar material desde la tolva hacia la punta del husillo. Su función va más allá del simple transporte de polímeros semilíquidos. El husillo también se encarga de comprimir y calentar el material para fundirlo y aumentar su volumen específico, así como de desplazar el aire que hay entre los polímeros hacia la zona anterior de alimentación. Estas funciones son esenciales para el rendimiento y calidad de la máquina de inyección de plástico.

- La zona inicial del husillo se encarga de llenar el canal del husillo con sólidos o granza. Cada vez que el filete del husillo gira, empuja y atrapa la granza que cae por gravedad en la ranura del filete. El rendimiento en esta zona puede verse afectado por factores como la geometría del husillo, el ángulo del filete, la anchura del canal y las revoluciones de giro del husillo.
- La zona de transporte de sólidos se encarga de comprimir la granza de material para rellenar el volumen libre del canal. El rendimiento en esta zona puede verse afectado por el coeficiente de fricción entre el polímero, el husillo y la camisa de la cámara. Es óptimo que la granza se "pegue" a la camisa y resbale en el husillo para un transporte eficiente.
- En la zona de $2/3$ de la altura del filete la velocidad es cero.
- En la zona superior a esos $2/3$ de la altura del filete se produce un movimiento hacia el flanco activo del husillo.
- En la zona inferior a estos $2/3$ de la altura del filete se produce un movimiento hacia el flanco pasivo.

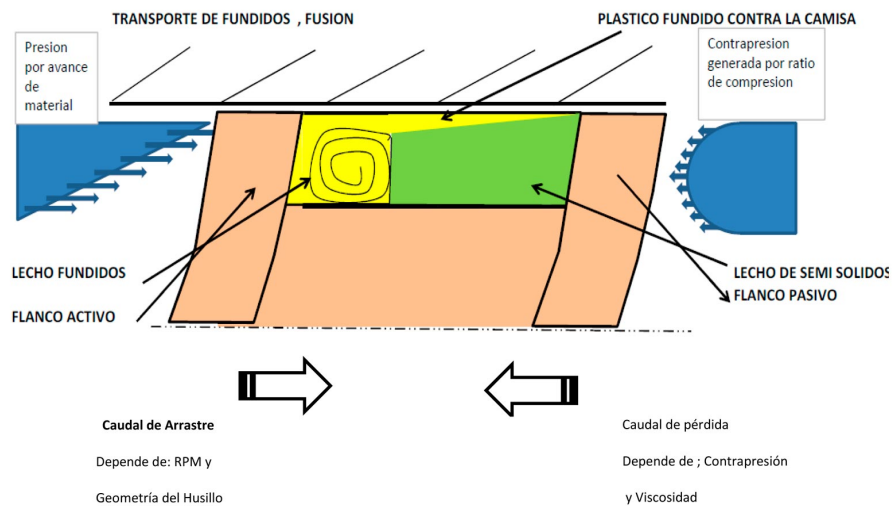


Figura 11. Análisis de las propiedades de trabajo de un husillo [10].

En resumen, para que se produzca el efecto de turbulencia y homogeneización en una máquina de inyección de plástico, deben cumplirse ciertas condiciones. Primero, debe existir una contrapresión a la carga del material. Además, el desgaste en el ajuste de diámetros entre el husillo y la cámara de plastificación no debe ser excesivo.

Para que el material avance a través de la cámara de plastificación, la fricción entre la granza y el husillo debe ser menor que la fricción contra la camisa de la cámara de plastificación. Si la fricción entre la granza y el husillo es demasiado alta, el material no avanzará y se detendrá en el husillo. Para evitar esto, es necesario aumentar la fricción entre la granza y la camisa de la cámara de plastificación para que el material avance a lo largo del husillo.

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Diseños CAD 3D

Todos los diseños mecánicos se elaboraron empleando el software CAD SolidWorks versión 2020. Únicamente se presentan los diseños en vistas isométricas con dimensiones generales de largo x ancho x alto por cuestiones de patentado (unidades de cotas en mm).



Figura 12. Diseño final del husillo.

3.1.2 Técnicas y equipos de manufactura empleados

El sistema de extrusión de la máquina extrusora de estudio consta de un barril, una tolva de alimentación y el husillo.

El barril consta de una barra redonda perforada de acero 8630 de 1200 mm de longitud, 75 mm de diámetro externo y 50 mm de diámetro interno.

El husillo consta de una barra redonda de acero 4140T de 50 mm de diámetro de 1500 mm de largo. Se considera 300 mm de cuello (área lisa) y el resto de área útil de extrusión (rosca-maquinado de álabes).

La manufactura del husillo se realizó en la empresa TITAN localizada en Blas Garcia 112 Peñuelas el Cienegal cp.20340 Aguascalientes, Ags., México. Para la manufactura del husillo se empleó el uso del torno manual de la marca BAOJI modelo BJ-1660GD.



Figura 13. Torno manual marca BAOJI modelo BJ-1660GD

Debido al pandeo del material a tornearse, se optó por comenzar por un desbaste que permitiría eliminar imperfecciones e irregularidades en el cilindro, además de posibles vibraciones al momento de emplear esta herramienta en la extrusora. Para ello se configura el torno para que tenga un avance muy lento que permita el desbaste, en el tablero de instrumentación del torno encontramos la configuración perfecta para este caso.



Figura 14. Configuración de torno para el desbaste de materiales

Una vez definidos los parámetros para el desbaste del cilindro, se coloca la luneta viajera, esta herramienta nos permite controlar la vibración que puede llegar a generar el cilindro además de evitar la elongación del mismo.



Figura 15. Luneta viajera, permite disminuir la vibración y evitar la elongación

Y se comienza el desbaste del cilindro para poder comenzar con el maquinado de la rosca tipo ACME.

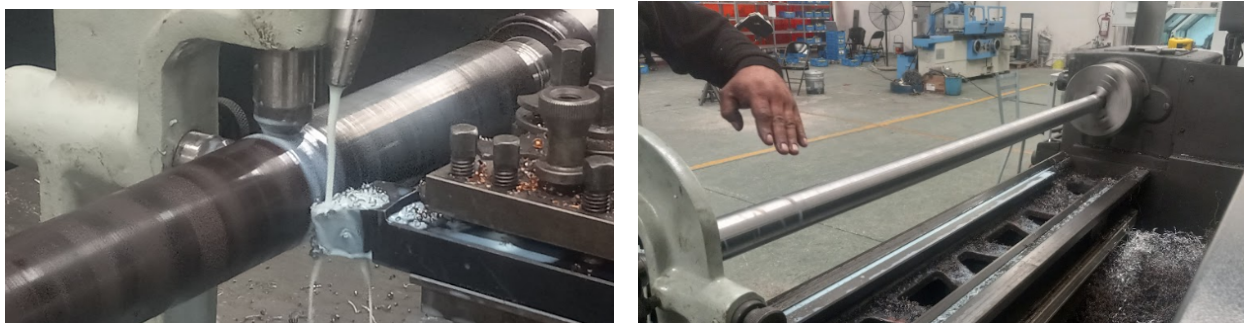


Figura 16. Proceso de desbaste del material a utilizar para el husillo.

Una vez desbastado se cambian los parámetros del torno para comenzar la elaboración de la rosca, de la cual tendremos un avance de dos hilos por pulgada



Figura 17. Configuración de los parámetros del torno para la generación de rosca tipo ACME.

Una vez configurado el torno, se comienza la primera pasada del cortador, todo este proceso se realizó en un torno convencional, por lo que este proceso es arduo y lleva varias horas de trabajo, cuidando el correcto traslado del cortador y el correcto avance para permitir un corte adecuado.



Figura 18. Inicio del desbaste para la generación de la cuerda ACME.

Después de alrededor de 12 horas de trabajo, se logra notar el acabado del husillo.

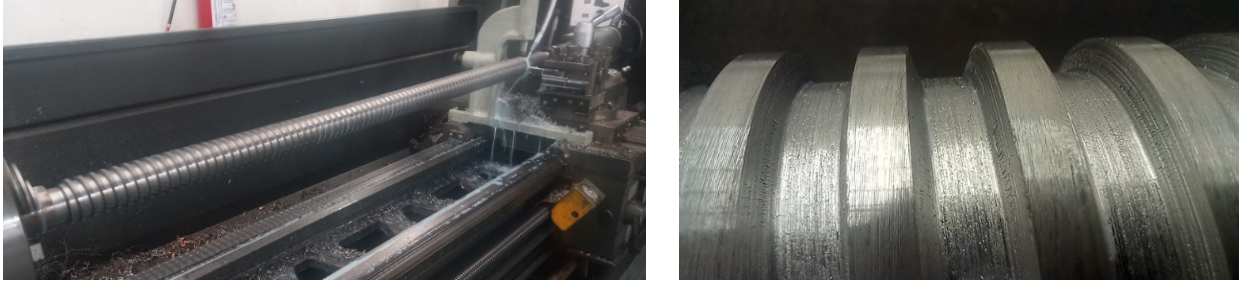


Figura 19. Finalización de la generación de la rosca tipo ACME.

Una vez terminado el proceso de elaboración de la rosca ACME se realiza un lijado en el área de la cresta del husillo, esto para evitar cortes al momento de manipular el mismo.



Figura 20. Lijado del husillo con el fin de eliminar filos

A continuación, se muestra el acabado final del husillo.



Figura 21. Husillo Finalizado

3.1.3 Formulas del diseño del husillo

FÓRMULAS PARA CALCULAR ROSCA TRAPEZIAL TIPO ACME ACME SISTEMA INGLÉS

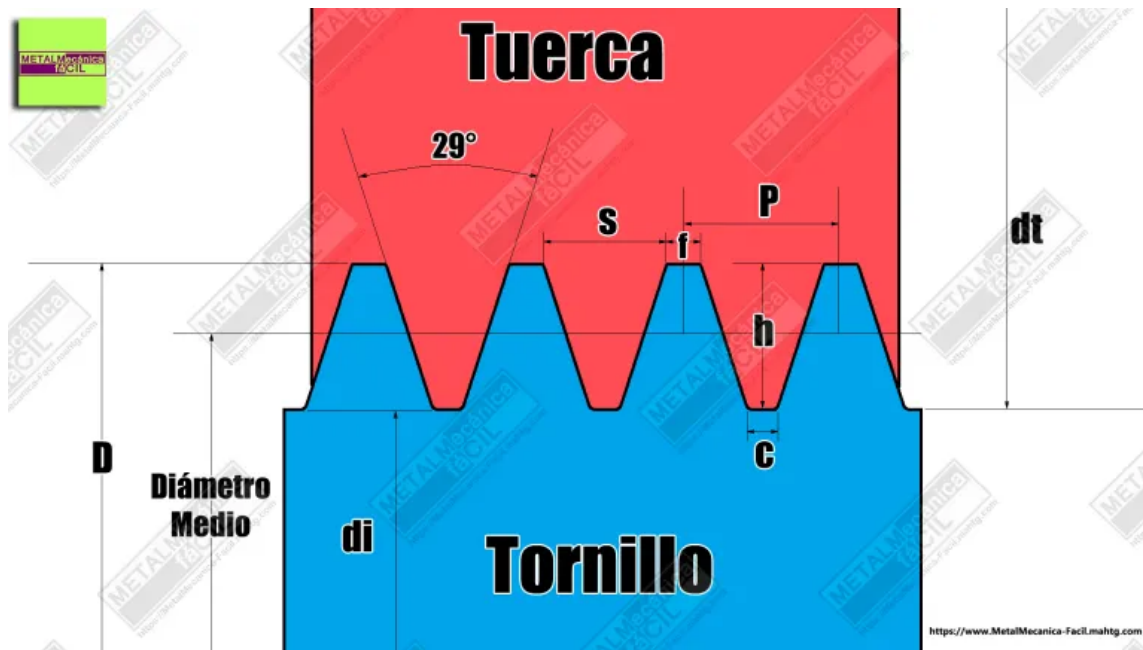


Figura 22. Esquema de identificación de las partes que componen la rosca tipo ACME

[11].

Nomenclaturas

Donde:

- alfa= 95 grados
- D= Diámetro exterior del tornillo
- p= Paso del tornillo
- h= Altura del filete
- f= Ancho de la cresta
- c= Ancho del fondo
- s= Distancia entre dos flancos consecutivos
- di= diámetro al fondo del tornillo

dt= diámetro a torneear la tuerca

$P=1/N$ donde:

P=paso de la rosca

N= Número de hilos por pulgada

Fórmulas para el tornillo

Datos:

$$N = 2$$

$$D = 1.8897 \text{ in}$$

$$P=1/2 =0.5$$

Paso de la rosca

$$p=0.2 (1.8897)$$

$$p= 0.3779 \text{ in}$$

Altura del filete

$$h= (0.5 (p))+0.010$$

$$h= (0.5(0.3779))+0.010$$

$$h= 0.1989 \text{ in}$$

Ancho de la cresta

$$f=0.3707(p)$$

$$f= 0.3707 (0.3779)= 0.14$$

Ancho del Fondo

$$c= (0.3707*p)- 0.052 \text{ in}$$

$$c= (0.3707 * 0.3779) - 0.0052$$

$$c= 0.1348 \text{ in}$$

Distancia entre dos flancos consecutivos

$$s= 0.6292 (p)$$

$$s = 0.6292 \text{ (0.3779)}$$

$$s = 0.2377 \text{ in}$$

di y dt son omitidas debido a que estas variables solo se consideran al momento de querer incorporar roscas en la cuerda.

Ya que la empresa que nos brindara la ayuda para el maquinado de la rosca tipo ACME cuenta con herramientas adaptadas al sistema inglés.

El segundo método del presente documento son los valores predeterminados para el maquinado de nuestro husillo.

3.1.4 Pruebas experimentales de velocidad de giro

El husillo fue adaptado mediante una cadena de paso 60 medida $\frac{3}{4}$ y un sprocket 60B13 medida $\frac{3}{4}$ al sistema de empuje mecánico (no presentado) y a un sistema de mando eléctrico (no presentado).

Se obtuvieron gráficas de frecuencia contra velocidad de rotación.



Figura 23. Sistema de empuje mecánico de la extrusora.

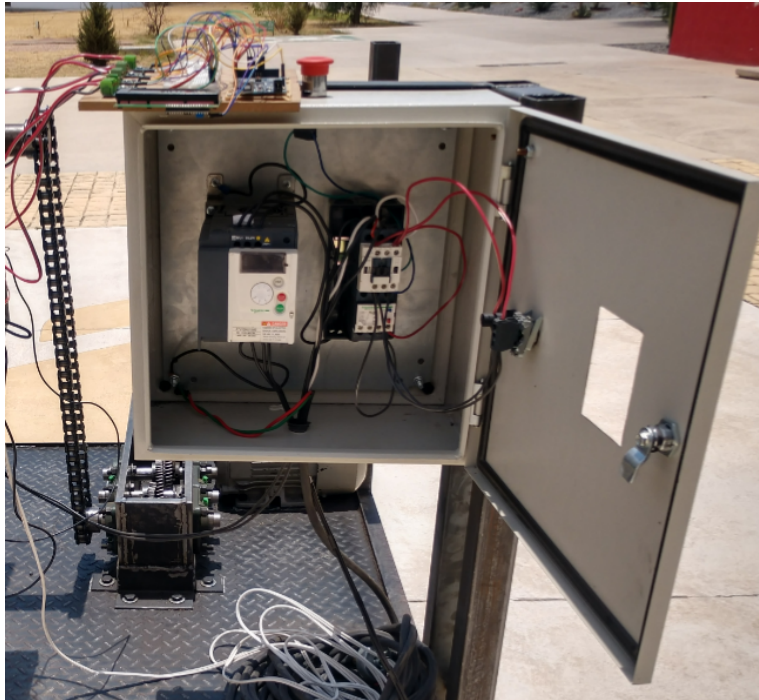


Figura 24. Sistema de mando eléctrico de la extrusora.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Revisión bibliográfica										
Diseños mecánicos CAD 3D										
Manufactura del husillo										
Diseño experimental										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

Figura 25. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

Por cuestiones de patentado se reservan demás evidencia de ejecución del proyecto.

4.1 DISEÑOS 3D

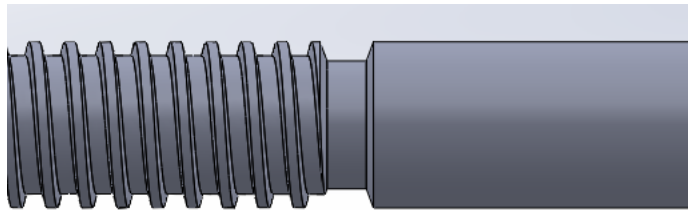


Figura 26. Área de desahogo del husillo.

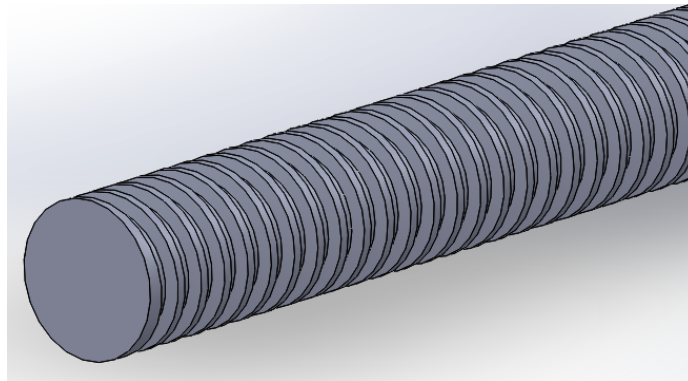


Figura 27. Vista del extremo delantero del husillo.

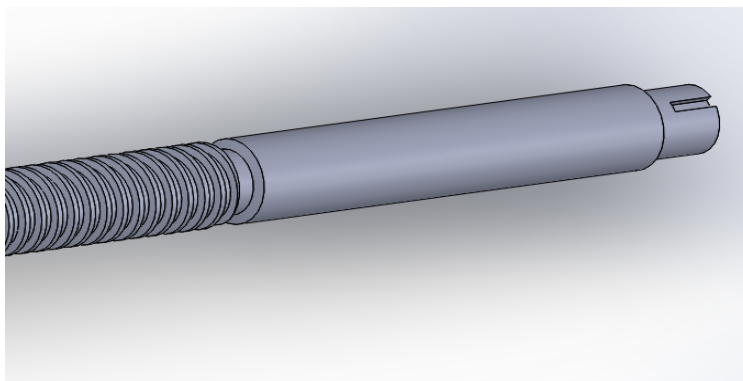


Figura 28. Vista del extremo trasero del Husillo.

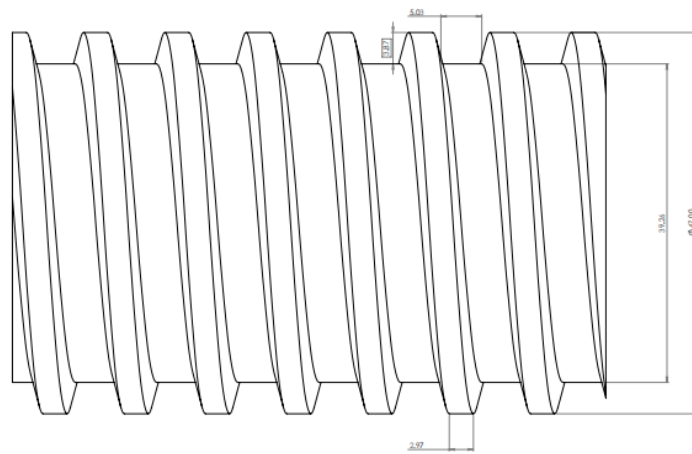


Figura 29. *Propiedades de la cuerda tipo ACME en el husillo.*

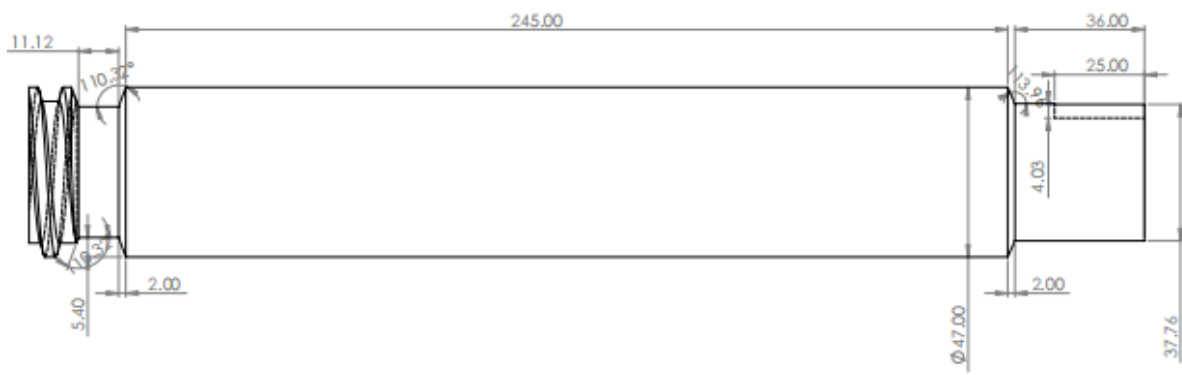


Figura 30. *Parte extrema trasera de husillo y sus dimensiones.*

4.2 MANUFACTURA DEL EQUIPO

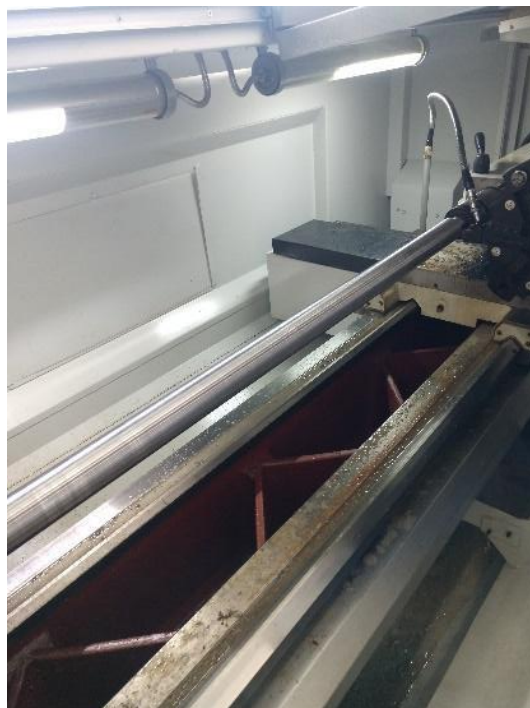


Figura 31. Torneado inicial de husillo para ajuste al barril (maquinado previo al de formación de alabes). Actividad realizada dentro de ITPA. Disminución de diámetro de 50 a 48.5 mm.



Figura 32. Colocación del cilindro en el torno, para comenzar su desbaste.

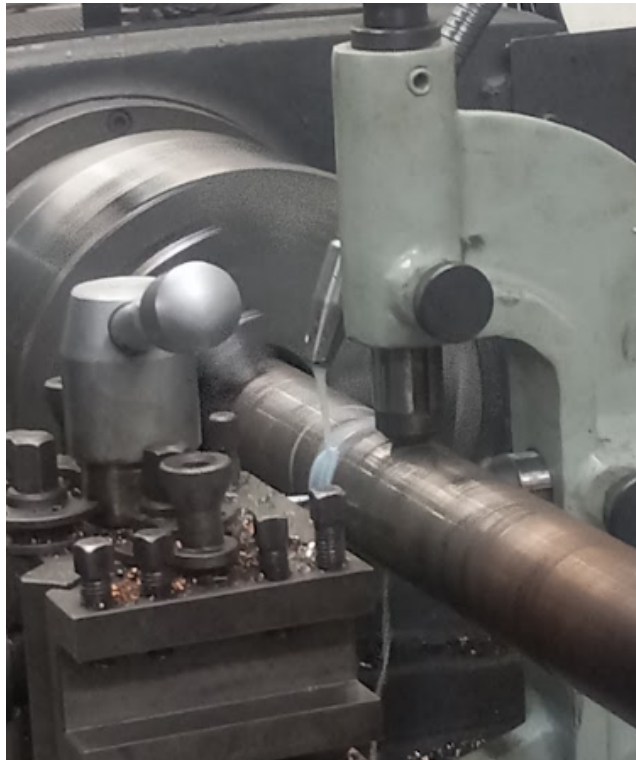


Figura 33. Desbaste del cilindro.

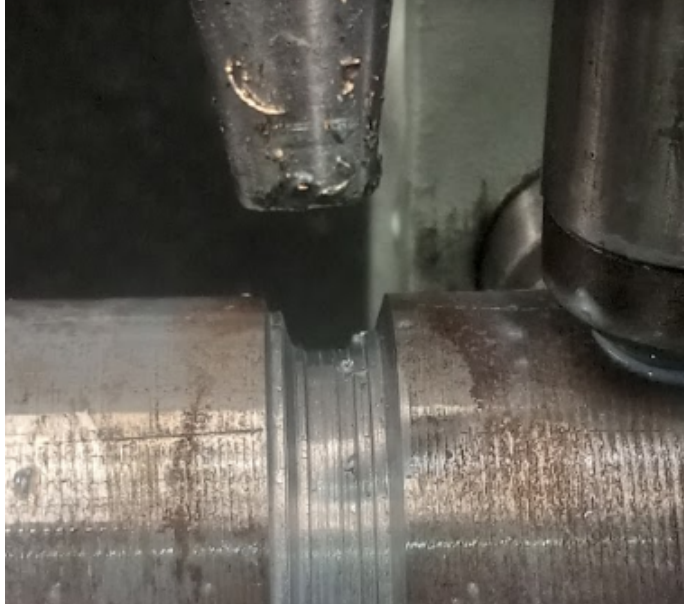


Figura 34. Área de desahogo para evitar rupturas en el cortado.

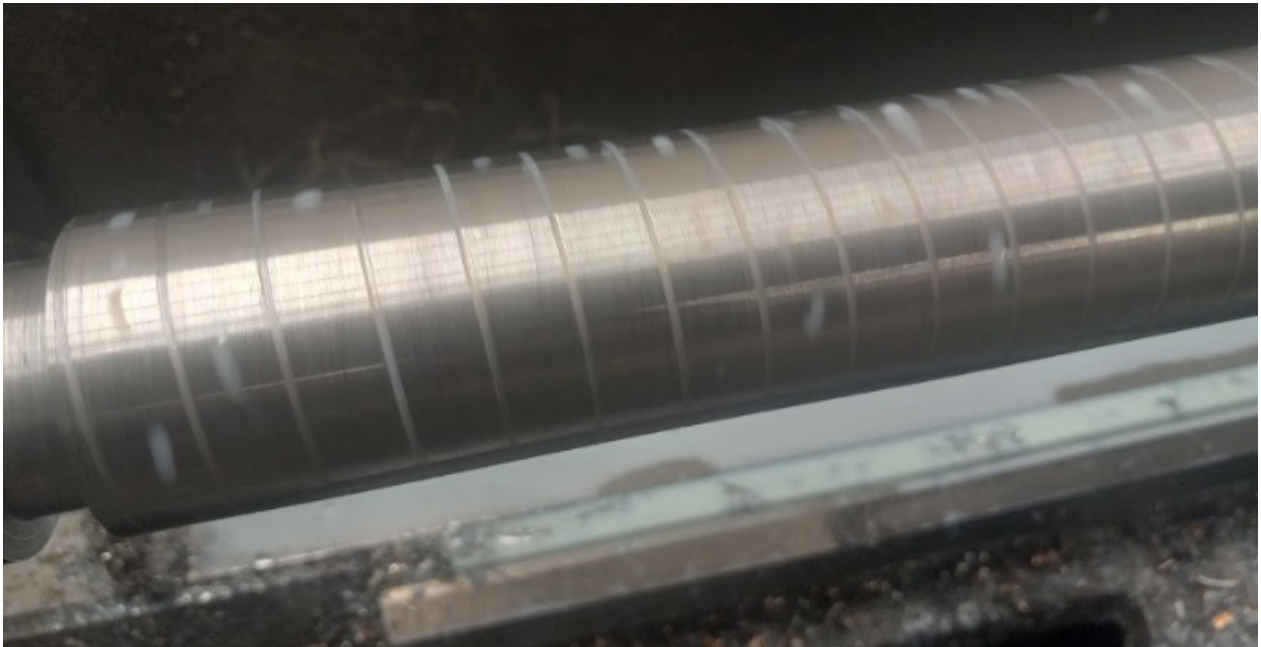


Figura 35. Primeras impresiones de la generación de la rosca ACME.

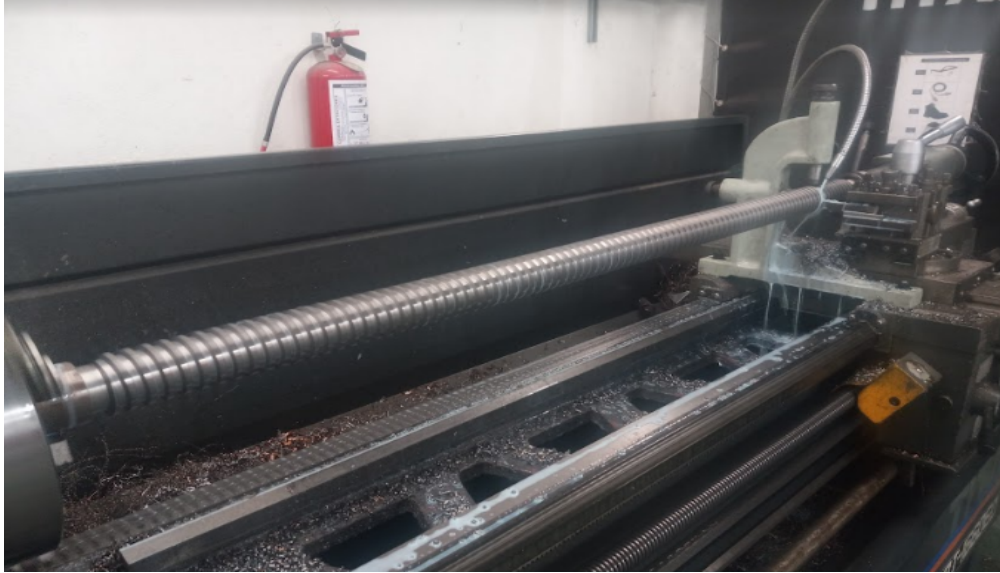


Figura 36. Impresiones antes de finalizar el mecanizado del cilindro.



Figura 37. Eliminación de filos en los alabes del husillo.



Figura 38. Vista completa del husillo con alabes maquinados.



Figura 39. Acercamiento de alabes maquinados (punta del husillo).



Figura 40. Acercamiento de álabes maquinados (extremo del husillo adjunto al cuello).



Figura 41. Cuello del husillo con ranura para comunicación con sistema de empuje.

4.3 PRUEBAS DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL HUSILLO

Giro del husillo

Se realizaron pruebas simples de funcionamiento del sistema de potencia regulado por el variador de frecuencia. El variador logra disminuir los rpm del motor de 1740 a velocidades entre 50 y 100 rpm según los Hz programados en el variador. Las pruebas se realizaron con el sistema de empuje, sistema de mando eléctrico y el husillo conectados entre sí. La medición de los rpm se realizó empleando un tacómetro dual DT-2236 marca Lutron.

En la siguiente figura se observan los resultados registrados.

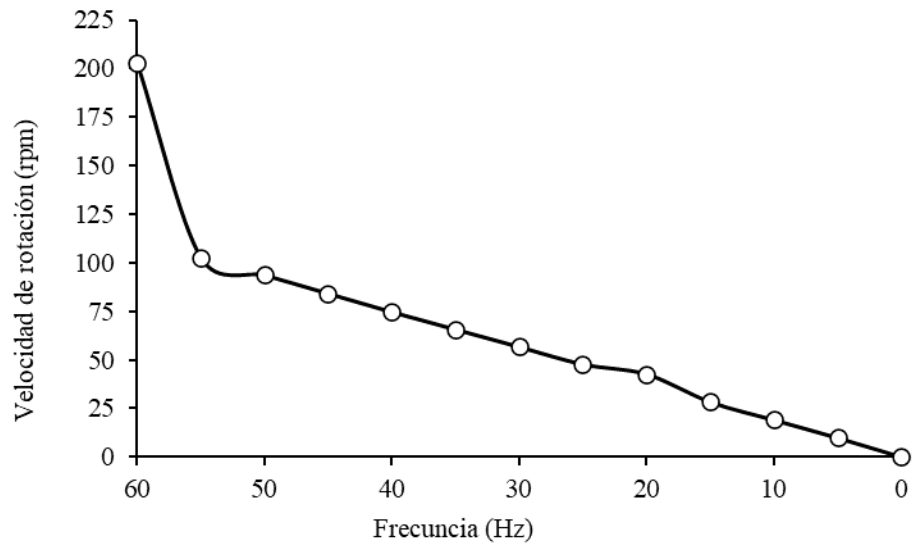


Figura 42. Velocidades de rotación del husillo obtenidos experimentalmente con la caja reductora y el sistema de mando eléctrico en operación

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

Se logró diseñar y manufacturar un husillo para una máquina extrusora horizontal. Los módulos integrados al husillo permiten controlar los rpm de giro del mismo.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en proyectos de desarrollo tecnológico a nivel prototipo.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, uso de software de diseño especializado, técnicas de maquinado y manufactura, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de desarrollo tecnológico, investigación e innovación fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Mecatrónica con base en las necesidades del proyecto de desarrollo tecnológico de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique métodos de diseño 3D y maquinado incluidos en la metodología de operación requerida.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de tecnología, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de desarrollo tecnológico.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Rivera-Garibay Omar Oslet, Álvarez-Filip Lorenzo, Rivas Miguel, Garelli-Ríos Ornela, Pérez-Cervantes Esmeralda y Estrada-Saldívar Nuria (2020). Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas. Greenpeace México.
- [2] <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>
- [3] Fernandez, H. (s. f.). *Extrusora de plástico*. <https://www.silogsas.com/fichas-tecnicas/extrusora-de-plastico/>
- [4] Sures Romero Jose David, Ing. Felipe de Jesus Garcia Monroy, M. en C. Ricardo Cortez Olivera(2015) *Proyecto de maquinas extrusoras para creación de hilos de Poli Etileno Tereftalato*
- [5] Jorge Andres Rubio Cordon, Diego Orlando Galvis Flores. *Diseño construcción y prueba de una extrusora horizontal de tornillo sencillo para polietileno de baja densidad*
- [6] ¿Cuál es el Proceso del Maquinado de Piezas con CNC? | Gemak CNC. (2021, 14 abril). Gemak. <https://maquinadocnc.com.mx/cual-es-el-proceso-del-maquinado-de-piezas-con-cnc>
- [7] ¿Qué es la soldadura? Explicación detallada de la soldadura. (s. f.). Kemppi. <https://www.kemppi.com/es-ES/asistencia/fundamentos-de-soldadura/que-es-la-soldadura/>
- [8] Fernández, C. H. (2022, 7 junio). *Herramientas de corte: Tipos, definición y para qué sirven*. Servei Estació. <https://serveiestacio.com/blog/herramientas-corte-tipos/>
- [9] Otriz Abata, Cristian Fabian, ING. Acuña Cuello, Fausto Vinicio *Diseño y Construcción de una maquina de filamento de 1.75mm y 3mm para Impresoras 3D a partir de polímero reciclado*
- [10] *El mecanismo del husillo*. (s. f.). Interempresas. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-El-mecanismo-del-husillo.html>

[11] <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/la-rosca-acme-torno/>

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la titulación



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 16/agosto/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-063/2022
Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. CESAR EDUARDO SOLEDAD CASILLAS**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 171050126, ha sido aceptado(a) para realizar en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Análisis de la propuesta del diseño de un husillo para un prototipo de máquina extrusora de plásticos de desecho"** durante el periodo de agosto-diciembre 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Víctor Manuel Herrera Ambríz (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel. El presente proyecto de Residencia Profesional es parte del proyecto de EPM, modalidad 1, ID 1086950 y fortalecimiento de cuerpos académicos ITPA-CA-1.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Tierra Siempre Fértil"


EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 119
e-mail: cyd_parteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la titulación



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes., 12/diciembre/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-069/2022
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

**JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. CESAR EDUARDO SOLEDAD CASILLAS**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 171050126, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Diseño y manufactura de un husillo para un prototipo de máquina extrusora de plásticos de desecho"** durante el periodo de agosto-diciembre 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Víctor Manuel Herrera Ambríz (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

El presente proyecto de Residencia Profesional es parte del proyecto "Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, proyecto ID 1086950; y del programa para el Desarrollo Profesional Docente, tipo Superior mediante el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos, ITPA-CA-1, proyecto "Diseño, implementación y control de sistemas mecatrónicos de registro y monitoreo de variables de operación en prototipos de aplicación en la industria del reciclaje de plásticos: trituración, extrusión y pirolisis"

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica.
"Tierra Siempre Fértil"*

**EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO**

ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 119
e-mail: cyd_parteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx

