



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingeniería Industrial

REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
ERNESTO RICARDO CARREÓN GALLARDO

CARRERA:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***[DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE COAGULADO DE
FILAMENTOS DE PLÁSTICO OBTENIDOS EN UNA MÁQUINA EXTRUSORA
HIBRIDA HORIZONTAL]***

Laboratorio de Conversión de la Energía
Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR
Asesor externo

ING. JORGE FERNANDO CARMONA ESPINOZA
Asesor interno

Diciembre de 2024

AGRADECIMIENTOS

A Dios y al Universo por siempre conspirar a mi favor en mí día a día, en mis metas y proyectos.

A mis padres y mis hermanos por todo el apoyo proporcionado, por esa ayuda incondicional, por ser soporte en mis cosas personales o del hogar, por esa inmensa paciencia y comprensión, por cada demostración de cariño reflejada en ese “¡Dios te ayude!”, “¡Ya duerme!”, “¡Descansa!”, “¿Ya casi terminas?” “¡Ya deja!”, “¡Con cuidado!”, “¡Ahí está ese café!”, tanto que agradecerles, pero pocas palabras que no se pueden comparar con todo lo que me han aportado.

Gracias a todos mis amigos que han estado a mi lado hasta este punto de mi vida, gracias por sus porras, por sus ánimos, por su cariño y admiración, por esas risas, por las tareas y apuntes compartidos, por sus llamadas de atención, por esos momentos que me regalaron para compartir un almuerzo, una charla, una cerveza, gracias por esa empatía.

Como no agradecer a esas personitas inquietas y gritonas de la casa siempre me reciben con tanta emoción, que me alegran el día con sus ocurrencias. No sé si agradecerles ese “Quiero ser como mi tío”, porque para ser sincero me alegra, pero también me asusta.

Y gracias especialmente a mi mamá que siempre ha creído en mí, que a pesar de los giros de nuestras vidas sigue encontrando la manera para expresarme tanta maravilla, quisiera verme a través de sus ojos. Gracias por darme muchas lecciones de vida importantes.

RESUMEN

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE COAGULADO DE FILAMENTOS DE PLÁSTICO OBTENIDOS DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA HIBRIDA HORIZONTAL”

Por: **ERNESTO RICARDO CARREÓN GALLARDO**

En este estudio se presentan los diseños mecánicos de un módulo de coagulado de filamentos de plástico, así como la implementación del módulo en pruebas de extrusión de filamentos de plástico.

Los diseños mecánicos del módulo de coagulado fueron elaborados en el software de diseño especializado SolidWorks® para validar las dimensiones, materiales y el funcionamiento del módulo previo a su construcción.

Los diseños fueron empleados para la manufactura del módulo de coagulado (resultados no presentados).

La implementación del módulo de coagulado se realizó (1) mediante la puesta en operación del dispositivo en pruebas de extrusión de filamentos de plástico de polietileno de baja densidad bajo un arreglo ortogonal $L4(2^3)$ y (2) la aplicación de un diseño completamente al azar y análisis de varianza.

Bajo las condiciones de operación establecidas se determinó que se logran filamentos poliméricos bajo una capacidad de extrusión de 0.645 kg/h ya que el uso del módulo de coagulación permitió que fueran sometidos a enfriamiento y convertidos en hilaturas poliméricas.

Del análisis de datos por DCA y ANOVA de los resultados experimentales obtenidos, se determina que ninguna corrida del arreglo ortogonal de estudio, en cuanto a sus medias, son estadísticamente iguales por lo que ninguna corrida experimental genera diferencias en la cantidad de material extruido obtenido.

El presente proyecto de residencia profesional se deriva del proyecto de Estancias Posdoctorales por México (EPM), modalidad 1, CONAHCYT, “Diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple con calentamiento mayor a 200

°C mediante un sistema automático de concentración solar para su implementación en la industria del reciclaje de plásticos”: convocatoria 2022(1)_renovación 2023.

Por lo que este estudio se desarrolló de manera grupal por los requerimientos, condiciones y características del proyecto de EPM proponente. Por tanto, los reportes de residencia de los participantes comparten las mismas secciones básicas y logros del documento de residencia. En este estudio se presentan los resultados obtenidos de diseño mecánico de un módulo de coagulado para filamentos de plástico extruidos.

Dirigido por:

Dr. José Alonso Dena Aguilar

Ing. Jorge Fernando Carmona Espinoza

ÍNDICE

	Pág.
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	1
1.3 Problema(s) a resolver.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Alcances y limitaciones.....	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 RECICLAJE DE PLÁSTICO POR EXTRUSIÓN.....	6
2.2 PELLETS DE PLÁSTICO.....	7
2.3 PROCESO DE PELETIZADO.....	8
2.4 METODOLOGÍA DOE.....	10
2.5 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI.....	10
2.6 DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA) Y ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	11
III. DESARROLLO	13
3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	13
3.1.1 Diseños mecánicos CAD 3D.....	13
3.1.2 Condiciones de operación de estudio.....	13
3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	15
IV. RESULTADOS	16

	Pág.
4.1 DISEÑOS DEL MÓDULO DE COAGULACIÓN.....	16
4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE COAGULACIÓN.....	19
4.2.1 Resultados experimentales de extrusión.....	19
4.2.2 Resultados del DCA y ANOVA.....	26
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	31
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	32
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	34
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes de una maquina extrusora de plástico horizontal.....	9
Tabla 2. Factores y niveles experimentales empleados en el arreglo L4(2 ³) de estudio.....	13
Tabla 3. Resultados promedio de las pruebas de extrusión realizadas.....	20
Tabla 4. Tabla ANOVA para el DCA de los kg/h extruidos.....	27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	3
Figura 2. Ejemplo de máquina extrusora de plástico.....	6
Figura 3. Ejemplo de plástico extruido en gránulos.....	7
Figura 4. Esferas de plástico de entre 1 y 5 milímetros de diámetro.....	8
Figura 5. Componentes típicos de una máquina extrusora horizontal de plásticos.....	9
Figura 6. Proceso de cocción de pasteles que muestra los componentes del diseño experimental [8].....	10
Figura 7. Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados.....	11
Figura 8. Variabilidad en método DCA.....	12
Figura 9. Máquina extrusora híbrida horizontal de estudio.....	14
Figura 10. Aspecto del plástico de trabajo colocado en la tolva de alimentación.....	14
Figura 11. Cronograma de actividades general.....	15
Figura 12. Diseño isométrico integral del proyecto.....	16

	Pág.
Figura 13. Dibujo técnico del módulo de coagulado: tanque de enfriamiento.....	17
Figura 14. Diseño isométrico del módulo de coagulado: tanque de enfriamiento.....	17
Figura 15. Diseño isométrico del módulo de coagulado: torre de enfriamiento.....	18
Figura 16. Dibujo técnico del módulo de coagulado: torre de enfriamiento.....	18
Figura 17. Material en tolva de alimentación del proceso de la corrida 3-eléctrica.....	19
Figura 18. Aspecto del material extruido a la salida de la extrusora del proceso de la corrida 3-eléctrica SIN el uso de módulo de coagulado.....	21
Figura 19. Aspecto “pata de elefante” del material extruido ya enfriado y resultante del proceso de la corrida 2-híbrida SIN el uso de módulo de coagulado.....	21
Figura 20. Módulo de coagulado: componentes y aspecto de salida del filamento polimérico de la extrusora CON el uso de módulo de coagulado.....	22
Figura 21. Aspecto del filamento polimérico sumergido en agua de enfriamiento CON el uso de módulo de coagulado.....	22
Figura 22. Recolección manual de filamento de plástico CON el uso del módulo de coagulado.....	23

	Pág.
Figura 23. Aspecto del filamento de plástico extruido y recolectado CON el uso del módulo de coagulado.....	23
Figura 24. Registro de lecturas de irradiación solar durante del proceso de la corrida 2- hibrida.....	24
Figura 25. Registro de lecturas de temperatura durante del proceso de la corrida 2- hibrida.....	24
Figura 26. Grafica de extrusión (T vs t) de la corrida 2-hibrida.....	25
Figura 27. Formulas ANOVA para el DCA de estudio.....	25
Figura 28. Grafica de extrusión (T vs t) de la corrida 2-hibrida.....	26
Figura 29. Formulas ANOVA para el DCA de estudio.....	27

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 a la extrusión de filamentos de plásticos empleando una máquina extrusora híbrida.

En este trabajo se diseña e implementa un módulo de coagulado para la obtención de filamentos poliméricos. La implementación del módulo de coagulado se realizó (1) mediante la puesta en operación del dispositivo en pruebas de extrusión de filamentos de plástico de polietileno de baja densidad bajo un arreglo ortogonal L4(2³) y (2) la aplicación de un diseño completamente al azar y análisis de varianza.

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.

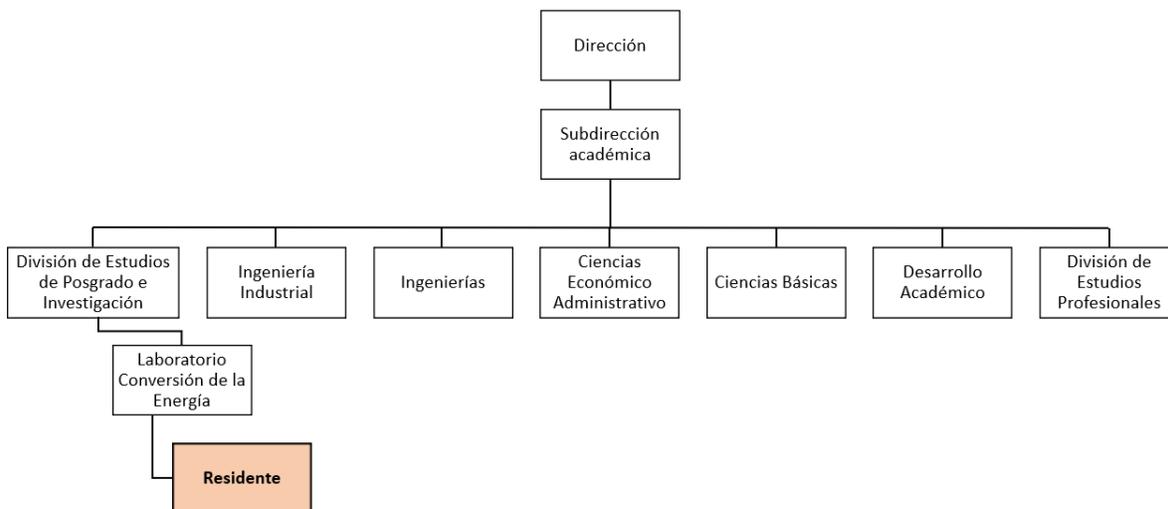


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

El pellet es un concepto que se aplica a gránulos comprimidos de un material determinado en forma de pequeños cilindros que posteriormente son usados para la fabricación de

diversos artículos. Convencionalmente las peletizadoras de plástico se integran de un sistema de extrusión en donde el plástico se plastifica. Es por ello que se ha estudiado la fabricación de máquinas peletizadoras. Sin embargo, los trabajos reportados son escasos y están principalmente orientados a estudios académicos sin el perfil pertinente para llegar a su implementación aplicada. Adicional a lo anterior, los trabajos reportados no especifican el desarrollo de los módulos auxiliares y complementarios del proceso.

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

1.- Desarrollo de un sistema de peletizado con módulos de operación integrados:

- Diseño de un módulo de coagulado para el enfriamiento del filamento polimérico recién extruido.
- Manufactura de un módulo de coagulado para obtener filamentos de plástico con gradiente de temperatura manipulable.
- Implementación del módulo de coagulado en pruebas de extrusión de filamentos poliméricos.

Obtener filamentos de plástico extruido con un gradiente de temperatura manipulable puede otorgar un valor agregado a un sistema de extrusión.

1.4 Justificación

En la institución sede del proyecto se cuenta con una máquina extrusora híbrida horizontal (patente en trámite) con una capacidad de producción de filamentos de plástico amorfos por lo que es necesario diseñar, manufacturar e implementar demás módulos de fabricación de peletizado para obtener productos poliméricos cilíndricos (pellets) de geometría regular y controlada. Dentro de los módulos convencionales de peletizado se encuentran: coagulado, secado, estirado, bobinado y corte. En particular, el módulo de coagulado es la operación unitaria que permite inicialmente disminuir la temperatura (por enfriamiento por inmersión) de salida del filamento y simultáneamente comenzar la solidificación de las capas externas del filamento para continuar su proceso de acabado final en demás operaciones unitarias. El coagulado del filamento extruido es

el primer paso para definir algunas propiedades mecánicas del filamento, como lo es, la cristalización del material. Es por ello que se requiere diseñar, construir e implementar un modulo de coagulado para ir conformando el proceso de peletizado requerido para completar la funcionalidad de la máquina extrusora hibrida horizontal prefabricada.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un modulo de coagulado de filamentos de plástico obtenidos de una maquina extrusora hibrida prefabricada mediante la aplicación de técnicas de diseño mecánico CAD 3D y de la metodología DOE para la obtención de pellets amorfos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Comprender el proceso de obtención de pellets por extrusión mediante una revisión exhaustiva de la literatura para elegir las condiciones de operación y operaciones unitarias que lo integran.
- Comprender las características del proceso de coagulado de filamentos plásticos mediante una revisión exhaustiva de la literatura para establecer una estrategia de implementación de un módulo de coagulado a una máquina extrusora hibrida prefabricada.
- Elaborar los diseños mecánicos del modulo de coagulado mediante el uso de software especializado de diseño CAD 3D para validar las dimensiones del modulo previo a su construcción.
- Implementar el modulo de coagulado mediante la obtención de filamentos de plástico utilizando la máquina extrusora hibrida existente para validar el diseño propuesto bajo una metodología DOE.

1.6 Alcances y limitaciones

- Esta fuera de alcance la manufactura del módulo de coagulado, así como la optimización de la experimentación DOE establecida.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 RECICLAJE DE PLÁSTICO POR EXTRUSIÓN

El reciclaje de plásticos es un proceso mediante el cual los residuos de plástico se recuperan y se utilizan como materia prima para producir nuevos productos. Los métodos más comunes de reciclaje de plásticos son el reciclaje mecánico y químico. El reciclaje mecánico consiste en la recuperación del plástico mediante la trituración y el lavado de los residuos de plástico para producir hojuelas de plástico reciclado que se pueden utilizar como materia prima para fabricar nuevos productos. Por otro lado, el reciclaje químico implica la descomposición de los residuos de plástico en sus componentes químicos originales para producir nuevas materias primas [1].

La extrusión es indispensable para obtener los llamados pellets. Es una etapa fundamental del proceso de reciclado mecánico que, gracias a la utilización de máquina extrusoras, permite obtener un material reciclado de alta calidad, ver Figura 2. La extrusora tiene como principal función fundir el material plástico, anteriormente triturado en escamas mediante el proceso de molturación, por medio de un tornillo giratorio calentado [2].



Figura 2. Ejemplo de máquina extrusora de plástico [2].

La extrusión de plástico es un proceso de manufactura que consiste en fundir y moldear termoplásticos, como pellets o gránulos, bajo presión a través de una matriz.

Este método permite obtener productos de forma continua y en grandes cantidades, adaptándose a una amplia gama de aplicaciones, desde tuberías hasta perfiles para construcción. Es una técnica de producción altamente eficiente que aprovecha la fusión de termoplásticos para dar forma a una variedad de productos. A través de la aplicación de presión, el material fundido es forzado a pasar por una boquilla, adquiriendo la geometría deseada. Esta versatilidad ha posicionado a la extrusión como un método fundamental en la fabricación de productos de plástico [3].



Figura 3. Ejemplo de plástico extruido en gránulos [3].

2.2 PELLETS DE PLÁSTICO

El pellet de plástico, también denominado granza, son polímeros que la industria del plástico utiliza para la fabricación a gran escala de multitud de productos para la vida cotidiana, así como para uso industrial y médico. En otras palabras, es la materia prima con la que se fabrican los productos plásticos. Los pellets son pequeñas esferas de plástico de entre 1 y 5 milímetros de diámetro, ver Figura 4. Su composición varía dependiendo del uso que se les dé. Pero generalmente, los pellets de plástico están compuestos de polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET) y cloruro de polivinilo (PvC), entre otros tipos de plásticos [4].



Figura 4. Esferas de plástico de entre 1 y 5 milímetros de diámetro [4].

Los gránulos de plástico se pueden fundir y adoptar la forma que se desee para fabricar una infinidad de artículos compuestos de estos materiales plásticos. Según datos de Plastics Europe, más de 50 000 fabricantes en todo el mundo emplean este material industrial para la elaboración de productos de plástico, como, por ejemplo: botellas de plástico, bolsas, envases alimentarios, cubos y contenedores, cables, tuberías, piezas mecánicas, recubrimientos, biberones, juguetes y catéteres [4].

2.3 PROCESO DE PELETIZADO

La máquina extrusora de plásticos tiene como objetivo la extrusión de polímeros triturados por medio de procesos de compactación, fundición y empuje de material. Esto en un sistema continuo que comprende en el calentamiento del material hasta obtener un estado líquido y por medio una fuerza mecánica, extruir todo el material en distintas formas y tamaños. Actualmente las maquinas extrusoras de plástico son altamente utilizadas en la industria para la producción de distintos productos plásticos [5].

La máquina extrusora de plástico contiene un husillo o también conocido como tornillo sin fin, el cual consta de un eje de metal dentro de un cilindro metálico cubierto por resistencias eléctricas. En el inicio del cilindro se encuentra la entrada para la materia prima a través de una tolva, generalmente de forma cónica, además posicionado en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo que con ayuda de un motor eléctrico permite el movimiento controlando la velocidad a través del sistema de

engranaje manipulado por una programación estandarizada. En la parte final del cilindro metálico, se encuentra la salida del material plástico [6].

Cómo tal extrusión significa forzar un material a través de un orificio. La extrusión consiste trasladar bajo la acción de la presión un material termoplástico [7].

En la Figura 5, se muestran los distintos elementos que integran típicamente una máquina extrusora horizontal. En la Tabla 1, se describen las funciones generales de los componentes del equipo de extrusión [6].

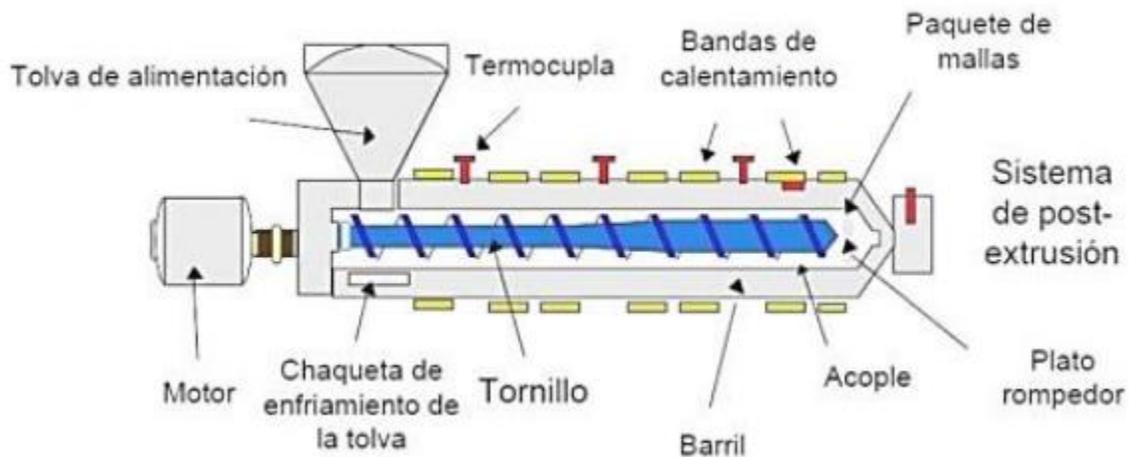


Figura 5. Componentes típicos de una máquina extrusora horizontal de plásticos [6].

Tabla 1. Componentes de una maquina extrusora de plástico horizontal [6].

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Motores	Sistemas de conversión de energía a movimiento especialmente al tornillo sin fin.
Tolva de alimentación	Embudo con aislante de temperatura para la entrada de materia prima al barril.
Barril	Cilindro metálico principal que recubre al tornillo sin fin con la función principal de recibir y concentrar el calor a la materia prima.
Tornillo sin fin o husillo	Sistema mecánico ajustable de empuje de material desde la entrada hasta la boquilla.
Resistencias eléctricas	Sistema de transmisión de calor por conducción con energía eléctrica.
Plato rompedor	Pieza metálica con la función de romper el patrón de flujo de plástico que genera el tornillo sin fin.
Boquilla	Pieza final del cabezal que conforma la extrusión a un cierto diámetro.
Sistema de control	Sistema de programación para el control de los actuadores.

2.4 METODOLOGÍA DOE

El diseño de experimentos (DOE) es un método sistemático utilizado en estadística aplicada para evaluar las numerosas alternativas posibles en una o varias variables de diseño. Permite manipular varios factores de entrada para determinar qué efecto podrían tener para obtener el resultado deseado o mejorar el resultado. En el diseño experimental o de experimentos, los experimentos se utilizan para encontrar un resultado o efecto desconocido, para probar una teoría o para demostrar un efecto ya conocido. El DOE es una forma de recoger información durante el experimento y luego determinar qué factores o qué procesos podrían conducir al resultado deseado. El concepto clave de esta metodología es que existe una relación entre los factores que afectan a la respuesta. Por lo tanto, un plan experimental completo consiste en la combinación de factores utilizados para evaluar sus efectos en la respuesta. Esto explica lo que es el experimento de control, una metodología esencial en la investigación científica [8].



Figura 6. Proceso de cocción de pasteles que muestra los componentes del diseño experimental [8].

2.5 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI

El Diseño de Experimentos es un procedimiento que se utiliza en aquellos procesos en los que se desea determinar si una o más variables independientes (factores) tienen influencia sobre la media de una variable respuesta. Evalúa simultáneamente en una

misma experimentación los efectos de los factores y sus interacciones; permite un análisis completo de los resultados experimentales, pudiéndose además obtener, para aquellos factores que tienen influencia sobre la media de la variable respuesta, el mejor nivel que la optimiza. De gran utilidad, es un método que puede resultar complejo a medida que se aumenta el número de factores. Fue introducido por Ronald Fisher en la década del 20 y aplicado originalmente en el ámbito agrícola. Un aporte relevante de Taguchi al Diseño de Experimentos consistió en extender de manera práctica su aplicación al ámbito de la industria, simplificando considerablemente su complejidad. Recién en la década del 80 se hizo conocido el trabajo que al respecto Taguchi venía desarrollando en Japón desde mucho tiempo atrás. A partir de ello se dio un amplio debate sobre la eficiencia de su método y la comparación con el diseño clásico desarrollado por Fisher. Indirectamente esta discusión contribuyó a la difusión del Diseño de Experimentos y especialmente del método de Taguchi, ya que éste, a diferencia de lo que ocurre con el diseño clásico, no requiere ser un experto en el método para estar en condiciones de aplicarlo [9].

Factores de control			Factores de ruido				
			z ₃	-1	1	1	-1
x ₁	x ₂	x ₃	z ₂	-1	1	-1	1
-1	-1	-1	z ₁	-1	-1	1	1
1	-1	-1		y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄
-1	1	-1		y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄
1	1	-1		y ₃₁	y ₃₂	y ₃₃	y ₃₄
				y ₄₁	y ₄₂	y ₄₃	y ₄₄

Figura 7. Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados [10].

2.6 DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA) Y ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

La investigación resalta la importancia del diseño experimental en la industria para comparar tratamientos, estudiar factores y optimizar operaciones, mejorando la calidad y la toma de decisiones. Bajo un enfoque experimental el cual sigue principios como la aleatorización, repetición y bloqueo. El diseño completamente aleatorizado (DCA) asigna

tratamientos aleatoriamente a unidades homogéneas, siendo básico, pero menos efectivo en entornos heterogéneos, mediante el análisis de la varianza (ANOVA), se puede analizar la variabilidad en un proceso e identifica los tratamientos que producen un efecto significativo en la variable respuesta; métodos como Fisher LSD y Tukey se aplican para comparaciones post-ANOVA. Herramientas avanzadas de DOE, como diseño de bloques completamente al azar, diseños de cuadro latino y grecolatino son sus respectivos modelos estadísticos y ANOVAS. Adicionalmente, presenta el análisis de los diseños factoriales, desde conceptos básicos hasta representaciones de modelos estadísticos, análisis de varianza, y comparaciones entre factores ya sean fijos o aleatorios, como sus modelos [11].

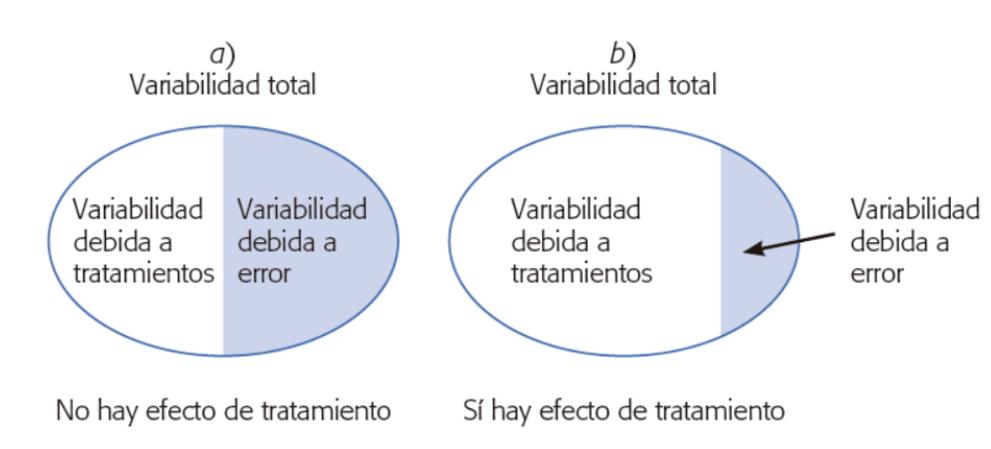


Figura 8. Variabilidad en método DCA [12].

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Diseños mecánicos CAD 3D

Los diseños mecánicos CAD 3D se elaboraron empleando el software SolidWorks® considerando un recipiente rectangular para alojar el agua de enfriamiento, una torre de enfriamiento y un sistema de bobinado provisional.

3.1.2 Condiciones de operación de estudio

Para obtener los filamentos poliméricos se empleo una máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada desarrollada en el trabajo de [13], ver Figura 9. Bajo su arquitectura de ingeniería se definió un arreglo ortogonal $L4(2^3)$ [14] de las variables de operación de trabajo para llevar a cabo pruebas de extrusión y obtener datos experimentales de capacidad de producción (kg/h) de filamentos de plástico, ver Tabla 2.

Tabla 2. Factores y niveles experimentales empleados en el arreglo $L4(2^3)$ de estudio.

Corrida	A	B	C
1	2.0	Eléctrica	50.0
2	2.0	Híbrida	70.0
3	3.0	Eléctrica	70.0
4	3.0	Híbrida	50.0

Donde:

A = cantidad de materia prima (kg).

B = modo de operación de la máquina extrusora híbrida.

C = velocidad de rotación del husillo (rpm).

Como materia prima de estudio se emplearon perlas de polietileno de baja densidad color blanco con una densidad de 0.9209 g/cm^3 obtenidas a granel de la empresa IPASA bolsas artesanales de Occidente SA de CV. Todas las pruebas de extrusión se realizaron durante el mes de junio de 2024, que se caracteriza por ser el inicio del temporal de lluvias y por ende en los días de pruebas se pronosticaba alta

probabilidad de precipitaciones. Las pruebas se llevaron a cabo por duplicado bajo las metodologías definidas y durante un determinado tiempo de extrusión, el cual era determinado por el agotamiento del total de material de trabajo. Al finalizar la extrusión, se dejaba por 24 h que el material extruido se enfriara con convección natural (por razones de seguridad y manejo) para posteriormente caracterizarlo gravimétricamente.



Figura 9. Máquina extrusora híbrida horizontal de estudio.



Figura 10. Aspecto del plástico de trabajo colocado en la tolva de alimentación.

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		■	■							
Elaboración de diseños CAD 3D				■	■	■	■			
Implementación del módulo de coagulado					■	■	■	■		
Asesorías		■	■	■	■	■	■	■	■	
Evaluación y seguimiento de asesorías				■			■		■	
Evaluación de reporte									■	
Informe semestral									■	
Elaboración reporte técnico (productos entregables)					■	■	■	■	■	

Figura 11. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

Por cuestiones de patentado, se reservan los diseños y datos mas prioritarios obtenidos durante el presente proyecto de residencia profesional, por lo que se presentan solo algunos diseños del sistema propuesto.

4.1 DISEÑOS DEL MÓDULO DE COAGULACIÓN

Se presentan diseños mecánicos CAD 3D en vista isométrica y de dibujo técnico.

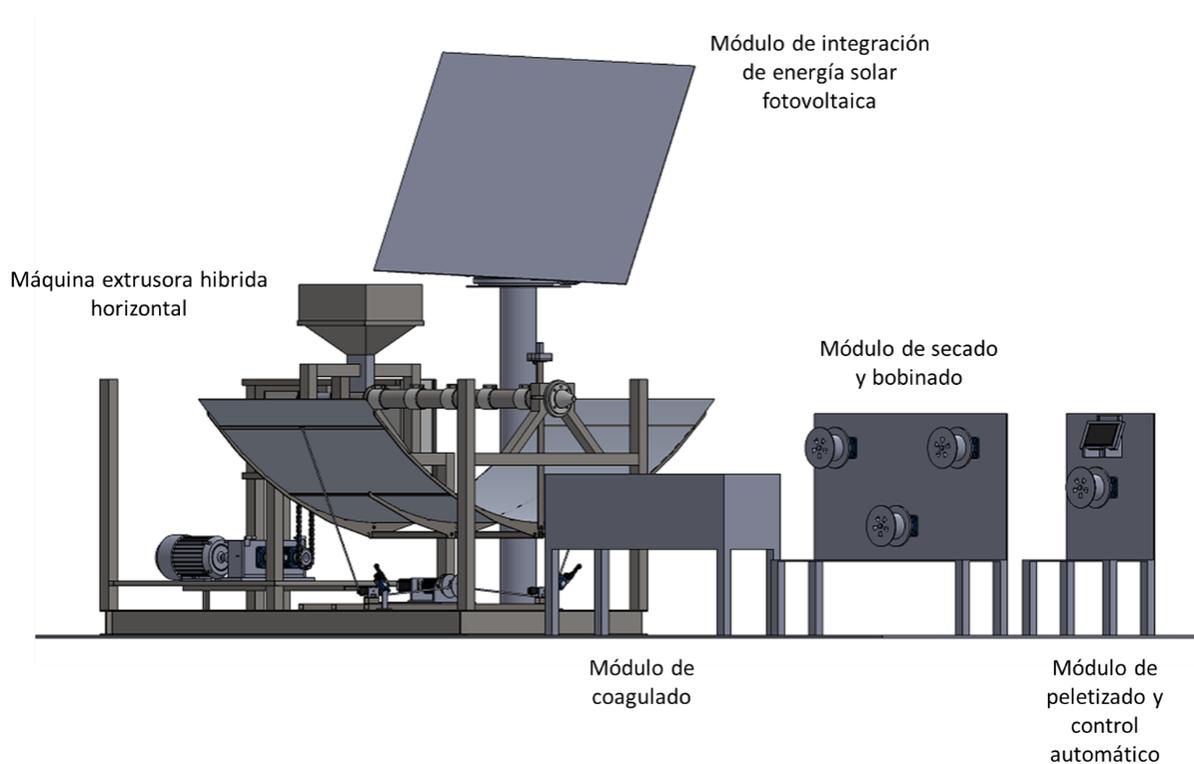


Figura 12. *Diseño isométrico integral del proyecto.*

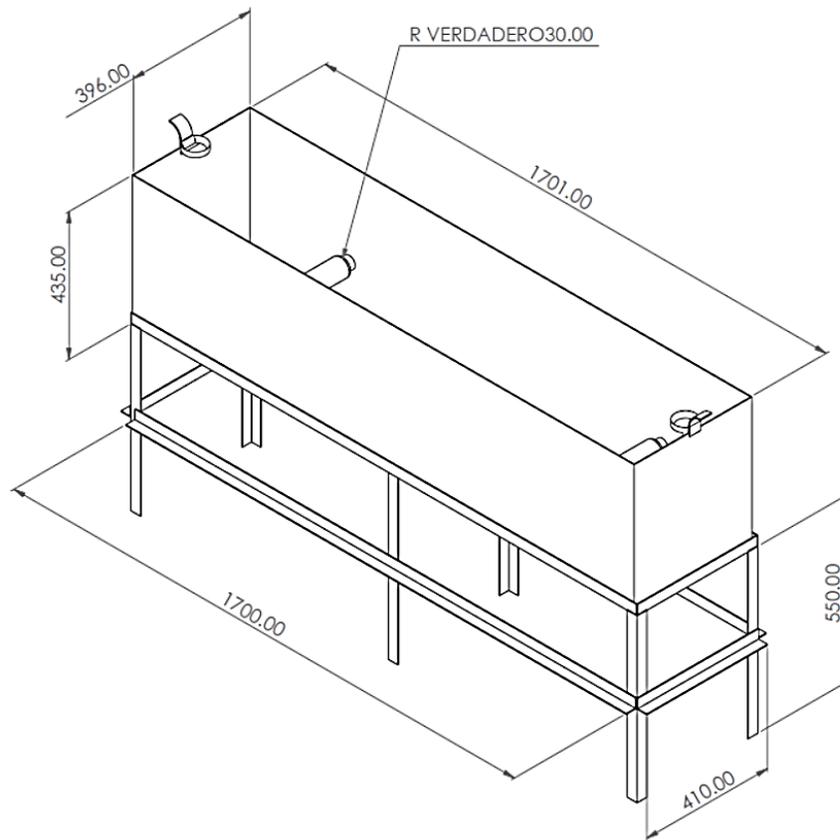


Figura 13. Dibujo técnico del módulo de coagulado: tanque de enfriamiento.

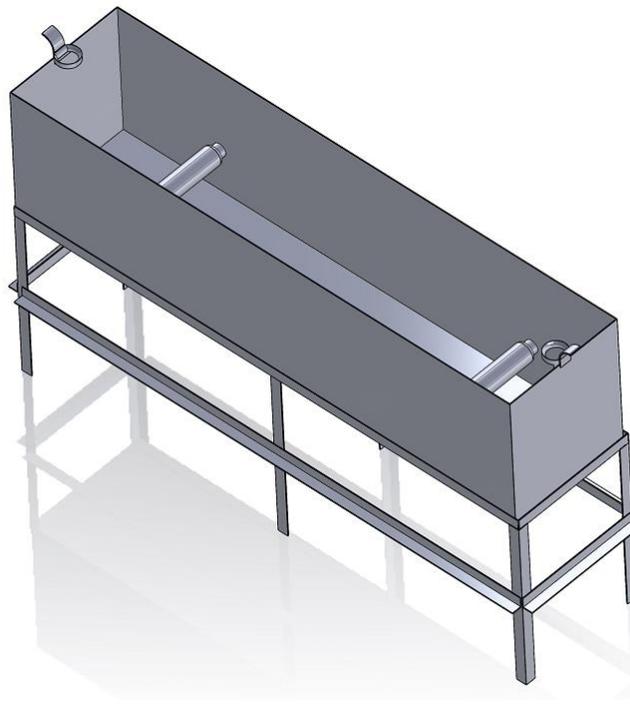


Figura 14. Diseño isométrico del módulo de coagulado: tanque de enfriamiento.



Figura 15. Diseño isométrico del módulo de coagulado: torre de enfriamiento.

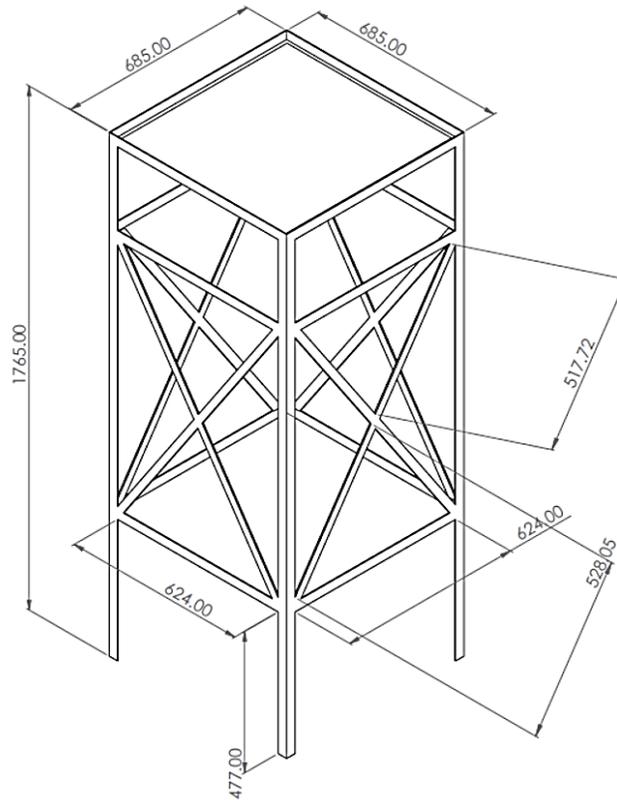


Figura 16. Dibujo técnico del módulo de coagulado: torre de enfriamiento.

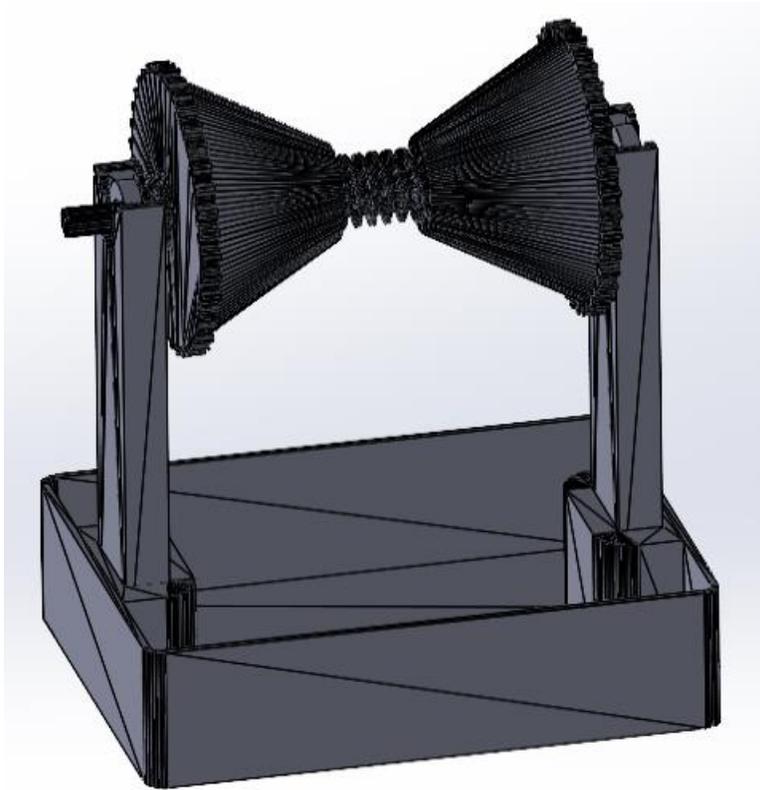


Figura 17. Diseño isométrico del sistema de colección de filamento.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE COAGULACIÓN

Se presentan las estrategias de implementación del módulo de coagulación propuestas: pruebas experimentales bajo metodología DOE de arreglos ortogonales y análisis estadístico por DCA y ANOVA.

4.2.1 Resultados experimentales de extrusión

Aplicando por duplicado el diseño ortogonal $L4(2^3)$ descrito en la Tabla 2, se obtuvieron 8 pruebas en orden aleatorio. Los resultados promedio obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados promedio de las pruebas de extrusión realizadas.

Corrida	1er ciclo experimental		2do ciclo experimental	
	Cantidad de materia prima (kg)	Flujo de extrusión (kg/h)	Cantidad de materia prima (kg)	Flujo de extrusión (kg/h)
1	2.0	0.69	2.0	0.60
2	2.0	0.60	2.0	0.66
3	3.0	0.73	3.0	0.68
4	3.0	0.65	3.0	0.64

Para la caracterización gravimétrica del material extruido se utilizo una balanza granataria Velab VE-2610.

Para el registro de las variables de operación (valores no presentados por motivos de patentado) de temperaturas de extrusión (°C), temperatura ambiental (°C), humedad (%), velocidad de rotación del husillo (rpm), velocidad del viento (km/h), consumos energéticos (kWh), irradiación solar (W/m^2), tiempos se emplearon diversos instrumentos de medición como lo son:

- Cámara termográfica portátil FLIR E5-XT.
- Medidor portátil Fluke IRR1-SOL.
- Anemómetro digital portátil RZ GM816.
- Medidor de potencia digital PZEM-022.
- Tacómetro dual Lutron DT-2236.
- Termómetro digital Steren con sensor de humedad TER-150.

En las siguientes Figuras se muestran diversas fases del proceso de extrusión llevado a cabo bajo las condiciones de operación definidas en el arreglo ortogonal seleccionado.



Figura 18. Material en tolva de alimentación del proceso de la corrida 3-eléctrica.



Figura 19. Aspecto del material extruido a la salida de la extrusora del proceso de la corrida 3-eléctrica SIN el uso de módulo de coagulado.



Figura 20. Aspecto “pata de elefante” del material extruido ya enfriado y resultante del proceso de la corrida 2-hibrida SIN el uso de módulo de coagulado.

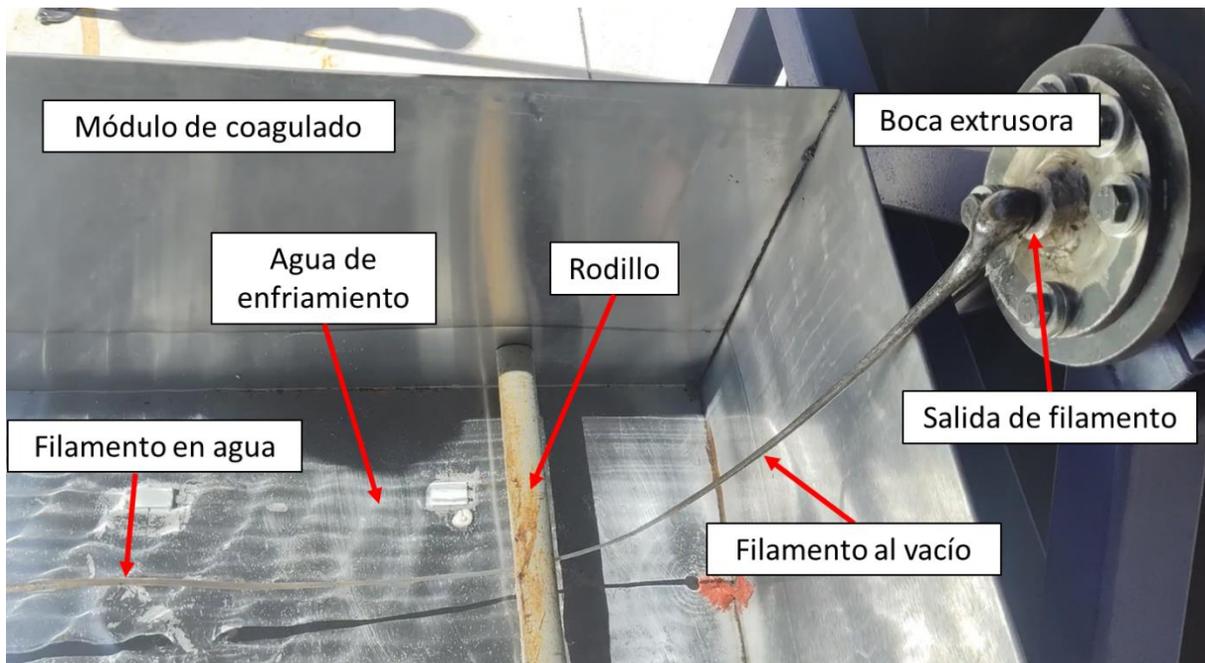


Figura 21. Módulo de coagulado: componentes y aspecto de salida del filamento polimérico de la extrusora CON el uso de módulo de coagulado.

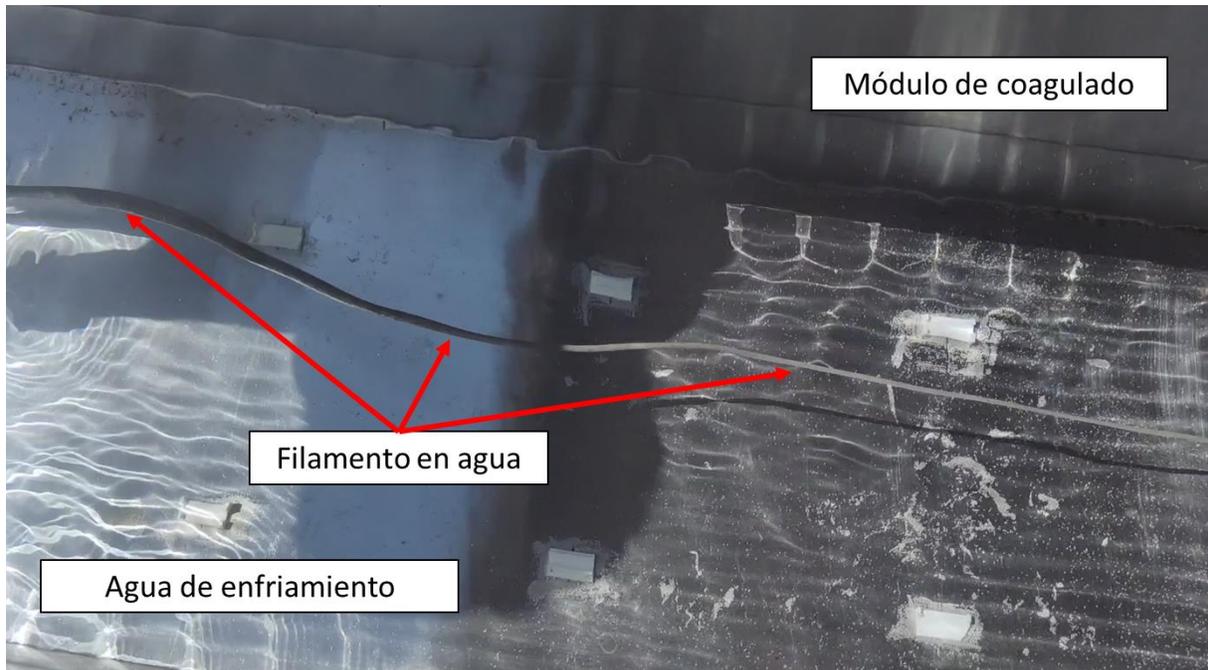


Figura 22. Aspecto del filamento polimérico sumergido en agua de enfriamiento CON el uso de módulo de coagulado.



Figura 23. Recolección manual de filamento de plástico CON el uso del módulo de coagulado.

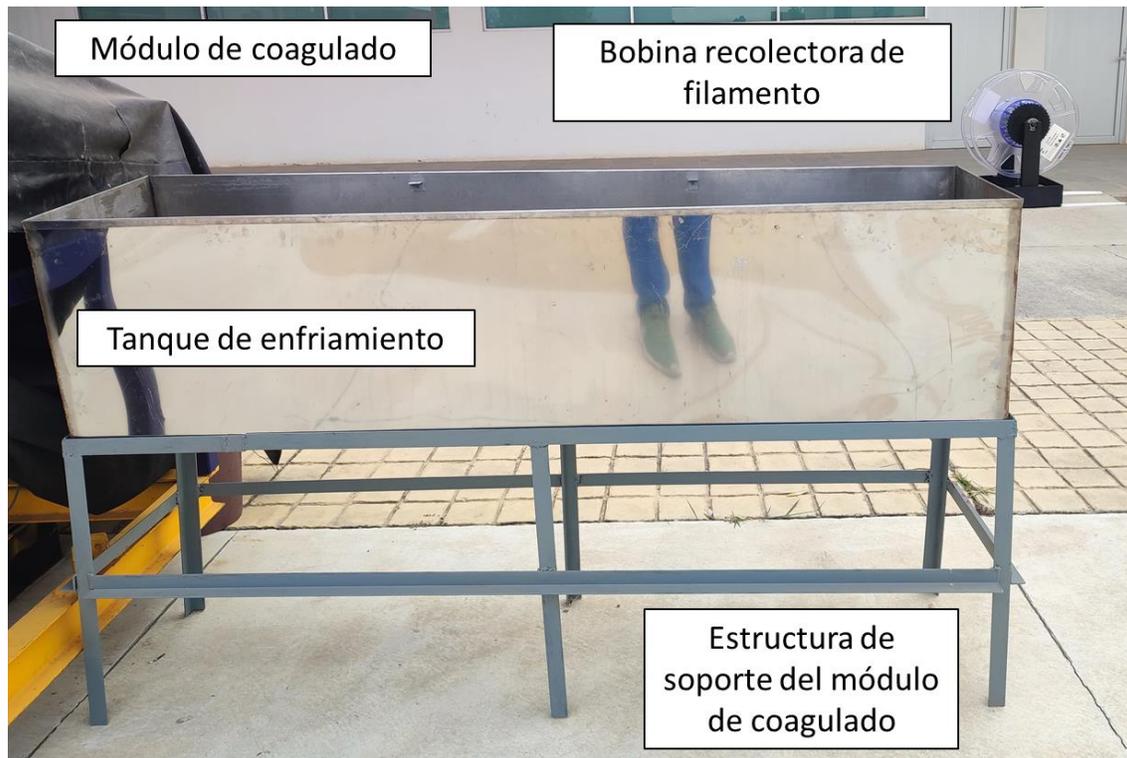


Figura 24. Sistema completo del módulo de coagulado.



Figura 25. Aspecto del filamento de plástico extruido y recolectado CON el uso del módulo de coagulado.



Figura 26. Registro de lecturas de irradiación solar durante del proceso de la corrida 2-hibrida.

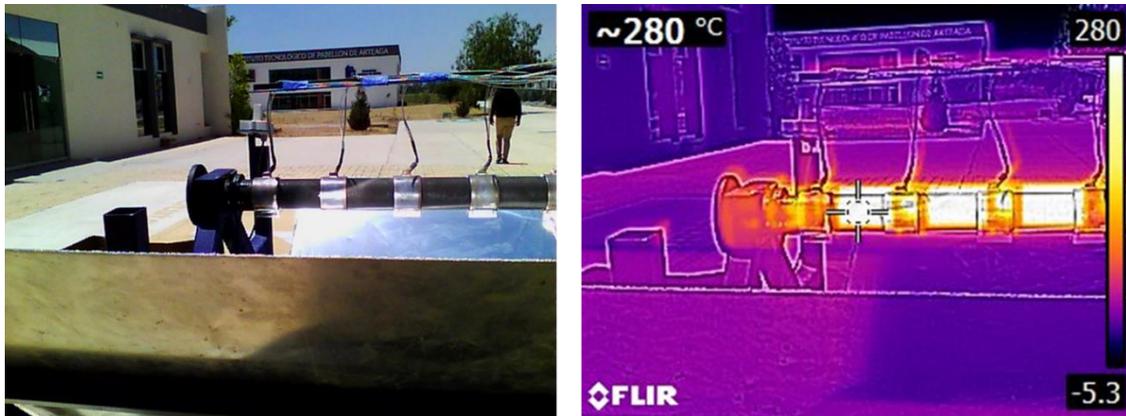


Figura 27. Registro de lecturas de temperatura durante del proceso de la corrida 2-hibrida.

A manera informativa, se presenta a continuación una grafica de tiempo (hora oficial) vs temperatura (°C) de la corrida 2-hibrida (demás graficas de otras corridas no son presentadas por razones de patentado, pero presentan comportamientos similares) en donde se puede apreciar el comportamiento del calentamiento en los 3 puntos del barril (P1, P2, P3) y en donde en particular en esta corrida hubo intervalos de apagado

de resistencias eléctricas y cielo parcialmente nublado, lo que explica la disminución de las temperaturas en el punto P1.

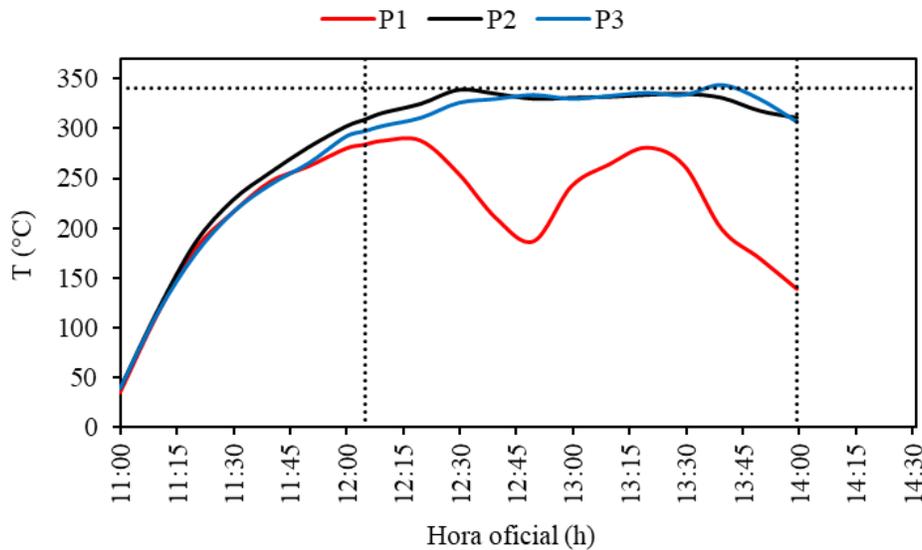


Figura 28. Grafica de extrusión (T vs t) de la corrida 2-hibrida.

4.2.2 Resultados del DCA y ANOVA

Para el análisis estadístico por DCA y ANOVA se estableció como variable de respuesta: kg de material extruido obtenido de cada prueba de extrusión. La estrategia experimental fue aplicar dos veces las cuatro corridas en orden completamente aleatorio (las 8 pruebas en orden aleatorio). En la Tabla 4, se muestran las cantidades (kg) de material extruido obtenido en cada corrida. Al aplicar la metodología DCA, se supone que, además de las corridas, no existe ningún otro factor que influya de manera significativa sobre las variables de respuestas.

Para la comparación de las corridas (tratamientos) se prueban las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \text{al menos una } \mu_i \text{ es distinta}$$

Donde, en caso de aceptar la H_0 se concluye que, la cantidad (kg) de material extruido obtenido en cada corrida, en cuanto a sus medias (μ_i) son estadísticamente

iguales; pero en caso de rechazar H_0 , se concluye que al menos una media es estadísticamente diferente.

En este estudio se considero el modelo estadístico lineal del DCA:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde μ es el parámetro de escala común a todas las corridas experimentales del arreglo ortogonal de estudio; τ_i media global, es un parámetro que mide el efecto de la corrida i ; ε_{ij} es el error atribuible a la medición Y_{ij} .

Se empleo las siguientes formulas para ANOVA para el DCA:

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F₀</i>	Valor- <i>p</i>
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Figura 29. Formulas ANOVA para el DCA de estudio.

Para el análisis estadístico de los resultados promedio de extrusión se establecieron las siguientes:

Análisis estadístico

Para la variable de respuesta de material extruido en cada corrida:

Tabla 4. Tabla ANOVA para el DCA de los kg/h extruidos.

Replica	Tratamiento			
	1	2	3	4
1	0.69	0.60	0.73	0.65
2	0.60	0.66	0.68	0.64

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tratamientos	3	0.006638	0.002213	1.24	0.406
Error	4	0.007150	0.001787		
Total	7	0.013787			

Empleando tablas de distribución F para un nivel de significancia de 0.05, se tiene un valor de F-Tabla = 6.59

Regla de decisión: F-Value = 1.24 < F-Tabla = 6.59, se acepta H_0 .

Conclusión: Por lo que ninguna corrida experimental genera diferencias en la cantidad (kg) de material extruido obtenido. Lo anterior puede interpretarse que la metodología empleada es consistente e indistintamente de las condiciones de operación se tendrán kg/h de capacidad de producción similares.

No aplica realizar pruebas de medias mediante prueba de Tukey para determinar que corridas (en pareja) son los que hacen diferencia.

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 realizar pruebas de obtención de filamentos de plástico extruido con el uso del módulo de coagulado diseñado e implementado en una máquina extrusora híbrida bajo un diseño ortogonal experimental $L4(2^3)$.

Adicionalmente, se realizó un análisis estadístico por DCA y ANOVA para validar la implementación del módulo de coagulado.

El diseño mecánico CAD 3D del módulo de coagulado permitió definir sus dimensiones y funcionamiento previo a su construcción (fuera de alcance) e implementación.

De la implementación del módulo de coagulado por medio de la puesta en operación del módulo se definió la capacidad de extrusión de la máquina extrusora siendo de 0.645 kg/h bajo las condiciones de operación y el diseño experimental establecido.

Del análisis de datos por DCA y ANOVA de los resultados experimentales obtenidos, se determina que ninguna corrida generó diferencias y por tanto NO son significativamente diferentes; por lo que cualquier corrida puede brindar los mejores resultados.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en proyectos de desarrollo tecnológico a nivel planta piloto. Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, diseño, procesos de fabricación, estadística inferencial, control estadístico de la calidad, 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 Industrial con base en las necesidades del proyecto de investigación científica de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique técnicas de dibujo industrial, estadística y fundamentos y taller de investigación.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de investigación a través de la experimentación a nivel laboratorio, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Industrial, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación científica.
6. 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 el desarrollo de la metodología del proyecto.
7. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
8. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
9. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
10. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Reciclaje. (2024.). Gardner Business Media, Inc. Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/temas/reciclaje-de-plasticos>
- [2] AreyourR. (10/11/2020). La extrusión en el reciclaje de residuos plásticos. Areyour. Recuperado de <https://www.areyour.org/es/2020/11/09/la-extrusion-en-el-reciclaje-de-residuos-plasticos/>
- [3] Ecoembes. (12/08/2024). Extrusión de plásticos y medioambiente. Ecoembes Reduce Reutiliza y Recicla. Recuperado de <https://reducereutilizarecicla.org/extrusion-plastico/>
- [4] Pellets de plástico: que son, para qué sirven y cuáles son sus riesgos. (16/07/2024). DKV Seguros. Recuperado de <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/contaminacion/pellets-de-plastico-que-son#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20pellet%20de,para%20uso%20industrial%20y%20m%C3%A9dico.>
- [5] Sierra Saavedra, A. S., and Sánchez Suárez, D. X. (2023). Desarrollo de una máquina extrusora de plástico reciclado para la construcción de perfiles sintéticos (Bachelor's thesis).
- [6] Hernández García, A. (2022). Diseño de la automatización del proceso de extrusión de filamento para impresoras 3D.
- [7] Frigorífico Hesperides (2016). Recuperado de <https://departamentofrigorificohesperides.blogspot.com/2016/05/estrusionen-materiales-plasticos.html>
- [8] Diseño experimental o de experimentos (DOE). (01/04/2024). SafetyCulture. Recuperado de <https://safetyculture.com/es/temas/disenio-de-experimentos/>
- [9] Hernández, A. B., De la Paz-Guillon, M., and García, L. A. (2015). La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad. *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 23(37), 65-83. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/11986>
- [10] Naranjo-Palacios, F., Rios-Lira, A. J., Pantoja-Pacheco, Y. V., and Tapia-Esquivias, M. (2020.) Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados. *Ingeniería, investigación*

y *tecnología*, 21(2), 1-12. Doi:
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n2.011>

- [11] Erazo-Rodríguez, J. D., Martínez-Pérez, R. G., Naranjo-Vargas, E. M., and Albuja-Jácome, J. E. (2024). Metodologías del Diseño Experimental en Procesos Industriales: Un análisis teórico. *Polo del Conocimiento*, 9(7), 2758-2787. Doi: <https://doi.org/10.23857/pc.v9i7.7665>
- [12] Estadística ITM. (s. f.). Diseño completamente al Azar (DCA). Recuperado de <https://estadisticaitm.github.io/dise%C3%B1oazar.html>
- [13] Dena-Aguilar, J. A., Díaz-Ponce, A., Delgado-Flores, J. C., Olvera-González, J. E., Escalante-García, N., and Velasco-Gallardo, V. M. (2023). Design and construction of a solar electric plastic extruder machine based on a parabolic trough collector. *IEEE Access*, 11, 124570-124583. Doi: 10.1109/ACCESS.2023.3328910
- [14] Minitab.com. (2019). Catálogo de diseños de Taguchi. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/catalogue-of-taguchi-designs/>

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 26/agosto/2024
Oficio No. DEPI054/2024

Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

ANGIE JOHANNA ZAMORA LÓPEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. ERNESTO RICARDO CARREÓN GALLARDO**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 201050252, 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 **"Diseño e implementación de un modulo de coagulado de filamentos de plástico obtenidos de una máquina extrusora híbrida horizontal"** durante el periodo de agosto-diciembre 2024, 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 José Alonso Dena Aguilar (asesor externo) y Jorge Fernando Carmona Espinoza (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 se deriva del proyecto de Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, CONAHCYT, "Diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple con calentamiento mayor a 200 °C mediante un sistema automático de concentración solar para su implementación en la industria del reciclaje de plásticos": convocatoria 2022(1)_renovación 2023.

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
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ccp. Archivo.
EZM/jada



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN**



Carretera a la Estación de Rincón Km. 1 C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. 465 958-2482 e-mail: depi_parteaga@tecnm.mx tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 06/diciembre/2024

Circular No. DEPI082/2024

Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

ANGIE JOHANNA ZAMORA LÓPEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) C. ERNESTO RICARDO CARREÓN GALLARDO, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 201050252, concluyó satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado "Diseño e implementación de un modulo de coagulado de filamentos de plástico obtenidos de una máquina extrusora híbrida horizontal" durante el periodo de agosto-diciembre 2024, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de José Alonso Dena Aguilar (asesor externo) y Jorge Fernando Carmona Espinoza (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 se deriva del proyecto de Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, CONAHCYT, "Diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple con calentamiento mayor a 200 °C mediante un sistema automático de concentración solar para su implementación en la industria del reciclaje de plásticos": convocatoria 2022(1)_renovación 2023.

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
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ccp. Archivo
EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km. 1 C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. 465 958-2482 e-mail: depi_parteaga@tecnm.mx tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



2024
Felipe Carrillo
PUERTO