



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:
JIMENA DELGADILLO ESQUIVEL

CARRERA:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***[ANÁLISIS DE DATOS APLICADO A UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE
PLÁSTICOS ESTABLECIDO BAJO UNA METODOLOGÍA DOE]***

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



DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR
Asesor externo

MML. ALEJANDRO PUGA VARGAS
Asesor interno

Diciembre de 2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis maestros que me apoyaron durante toda mi formación, principalmente a aquellos maestros que no solo ponen una calificación, sino que también te brindan su apoyo y saber más allá de las materias.

Agradezco también a mis compañeros María del Carmen Martínez Gómez y Antonio Mireles García por el apoyo y amistad que me brindaron durante todo este periodo.

Quisiera agradecer al Dr. José Alonso Dena Aguilar por la oportunidad de realizar mis residencias profesionales en uno de sus proyectos y por todo su apoyo durante mi estadía en su proyecto.

Agradezco a mis padres Areli Esquivel Rios y Ricardo Delgadillo Martínez quienes han sido mi motivación e inspiración para seguir día a día con los obstáculos presentados y poder alcanzar mis metas, agradezco a mi pareja por acompañarme y apoyarme en todo este proceso y darme seguridad y confianza en mí.

Quisiera agradecer a mi hermana Daniela Delgadillo Esquivel quien es una persona super importante en mi vida, ya que ha estado en cada paso y momento de mi carrera y vida apoyándome incondicionalmente

RESUMEN

“ANÁLISIS DE DATOS APLICADO A UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS ESTABLECIDO BAJO UNA METODOLOGÍA DOE”

Por: **JIMENA DELGADILLO ESQUIVEL**

En este estudio se aplica la metodología de análisis de datos a través de una investigación cuantitativa mediante la puesta en operación de una máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada para –a través de un experimento de un solo factor– determinar la capacidad de producción de la máquina extrusora híbrida horizontal bajo un arreglo ortogonal $L4(2^3)$ donde se desea comparar cuatro condiciones de operación (corridas).

En particular se aplica un diseño completamente al azar y análisis de varianza. Para el arreglo ortogonal se considero como variables de operación (factores) la cantidad de materia prima (kg), la modalidad de operación (eléctrica o híbrida) y la velocidad de rotación del husillo (rpm); todos ellos con 2 niveles. Bajo las condiciones de operación establecidas se determino que la capacidad de extrusión de la máquina extrusora es de 0.645 kg/h

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 (kg) de material extruido obtenido. Por lo tanto, la metodología empleada es consistente e indistintamente de las condiciones de operación se tendrán kg/h de capacidad de producción similares.

Dirigido por:

Dr. José Alonso Dena Aguilar

MML. Alejandro Puga Vargas

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.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Alcances y limitaciones.....	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Proceso de extrusión: Generalidades.....	6
2.2 Maquina extrusora: componentes y funcionamiento.....	7
2.3 Extrusión de plásticos.....	8
2.4 Arreglos ortogonales Taguchi.....	9
2.5 Diseño completamente al azar (DCA) y análisis de varianza (ANOVA)..	10
III. DESARROLLO	12
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	12
3.1.1 Condiciones de operación de estudio.....	12
3.1.2 Metodología de estudio.....	14
3.1.3 DCA y ANOVA de estudio.....	17
3.2 Cronograma de actividades.....	17
V. RESULTADOS	18
4.1 Resultados experimentales de extrusión.....	18
4.2 Resultados del DCA y ANOVA.....	25

	Pág.
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	29
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	30
Anexo 1. Lista de chequeo de preparación del equipo para pruebas de extrusión.	32
Anexo 2. Formato de registro de variables de operación.....	33
Anexo 3. 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. Factores y niveles experimentales empleados en el arreglo $L4(2^3)$ de estudio.....	12
Tabla 2. Resultados promedio de las pruebas de extrusión realizadas.....	18
Tabla 3. 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. Esquema de las partes de un extrusor de tornillo simple.....	6
Figura 3. Extrusora industrial.....	7
Figura 4. Diseño genérico de una máquina extrusora.....	9
Figura 5. Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados.....	10
Figura 6. Variabilidad en método DCA.....	11
Figura 7. Máquina extrusora híbrida horizontal de estudio.....	13
Figura 8. Aspecto del plástico de trabajo colocado en la tolva de alimentación...	13
Figura 9. Cronograma de actividades general.....	17
Figura 10. Material en tolva de alimentación del proceso de la corrida 3-eléctrica.....	19
Figura 11. Aspecto del material extruido a la salida de la extrusora del proceso de la corrida 3-eléctrica.....	20
Figura 12. Registro de lecturas de temperatura durante del proceso de la corrida 2- híbrida.....	20
Figura 13. Registro de lecturas de irradiación solar durante del proceso de la corrida 2- híbrida.....	21

	Pág.
Figura 14. Aspecto “pata de elefante” del material extruido ya enfriado y resultante del proceso de la corrida 2-hibrida.....	21
Figura 15. Aspecto de la limpieza del husillo cuando es retirado de la máquina extrusora para mantenimiento.....	22
Figura 16. Temperatura del husillo recién retirado de la máquina extrusora y puesto a enfriamiento por convección natural.....	22
Figura 17. Aspecto de material de extrusión que se queda impregnado en las paredes internas del barril.....	23
Figura 18. Aspecto de material de extrusión aun en forma de perlas que se fugan por las aberturas entre el cuello de la tolva y la garganta de ingreso del barril.....	23
Figura 19. Aspecto de material de extrusión aglomerado que se queda impregnado en el cuello de la tolva de alimentación y en la entrada de la boca de acceso del barril.....	24
Figura 20. Grafica de extrusión (T vs t) de la corrida 2-hibrida.....	24
Figura 21. Formulas ANOVA para el DCA de estudio.....	26

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 plásticos empleando una máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada.

En este trabajo se aplica la metodología de análisis de datos a través de una investigación cuantitativa de un experimento de un solo factor bajo un arreglo ortogonal $L4(2^3)$ y un diseño completamente al azar y análisis de varianza para definir la capacidad de producción de la máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada.

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.

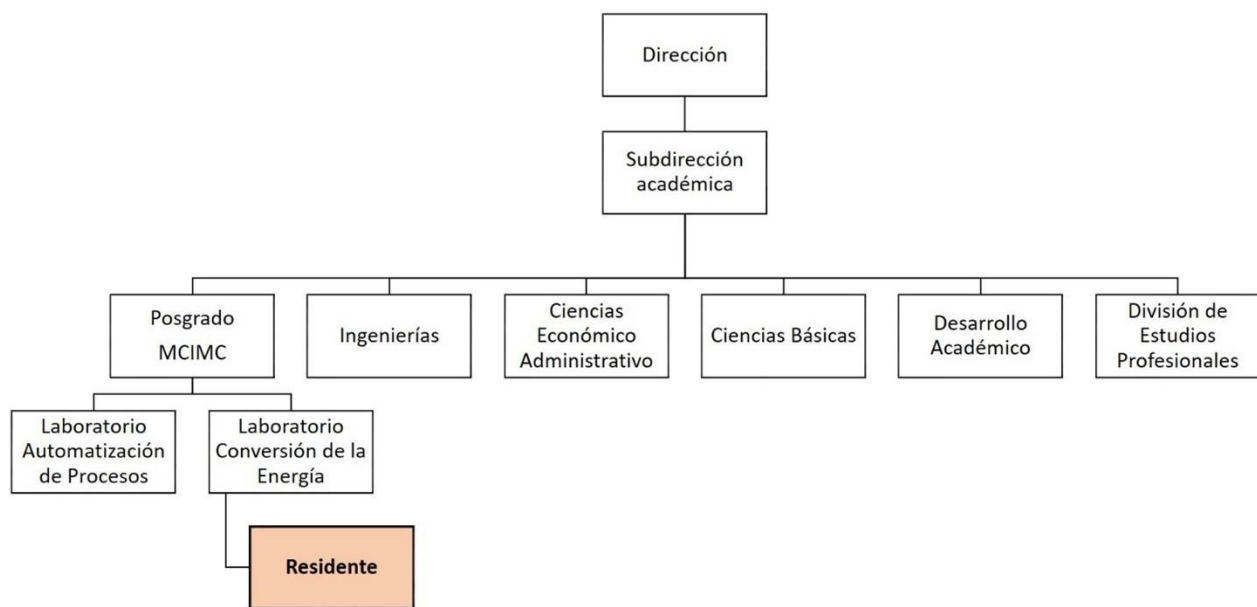


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

Dentro del Laboratorio de Conversión de la Energía se llevan a cabo proyectos de desarrollo tecnológico consistentes en la extrusión de plásticos empleando máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada. Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Conocer la capacidad de extrusión de la máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada.
2. Aplicar técnicas de análisis estadístico y diseño de experimentos para determinar los factores que impactan el proceso de extrusión realizado en la máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada.

Lo anterior permitirá contar con una metodología base para probar demás condiciones de operación y tener una base de datos robusta de las capacidades de producción de la máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada (trabajo futuro).

1.4 Justificación

El aprovechamiento de los plásticos de desechos permite coadyuvar al problema de disposición final de estos contaminantes donde por ejemplo en México se producen cada año 9 mil millones de botellas de PET y solo el 58% se ha logrado recuperar para reciclaje. Dentro de este contexto, el reciclaje de plásticos de desecho por pirólisis es una alternativa de solución. Se cuenta con una máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada por lo que se deben realizar pruebas de puesta en operación de la extrusora para determinar las condiciones de operación mas idóneas del proceso establecido bajo una metodología DOE. Para lo anterior, se debe establecer un análisis de datos que permita caracterizar la funcionalidad de la máquina extrusora de trabajo. El alcance del proyecto es definir un conjunto variables de operación cuantitativas, poner la máquina extrusora en funcionamiento bajo estos parámetros y un determinado diseño de experimentos y analizar estadísticamente los datos del proceso.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Aplicar un análisis de datos a un proceso de extrusión de plásticos mediante técnicas estadísticas para determinar las condiciones de operación mas idóneas del proceso establecido bajo una metodología DOE.

1.5.2 Objetivos específicos

- Comprender el proceso de extrusión de la máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada de trabajo mediante una revisión exhaustiva de la literatura para elegir condiciones de operación (factores y niveles) y la variable de respuesta idónea.
- Definir un diseño experimental acorde al proceso de extrusión de estudio mediante la aplicación de la metodología DOE para establecer la matriz experimental.
- Realiza el plan de experimentación definido por la metodología DOE mediante la puesta en operación de la máquina extrusora de trabajo para aplicar técnicas estadísticas a los resultados obtenidos.
- Aplica técnicas estadísticas a los resultados obtenidos mediante graficas de dispersión, de control o estadística descriptiva para el análisis de datos del proceso.

1.6 Alcances y limitaciones

- Proyecto de investigación a nivel planta piloto.
- Esta fuera de alcance la optimización de la experimentación del diseño de experimentos establecido.
- Ninguna actividad de reingeniería para optimizar el diseño experimental fue realizada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE EXTRUSIÓN: GENERALIDADES

Alrededor de un 60% de los plásticos se procesan por extrusión. El procedimiento de extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, a pasar de forma continua un plástico o material fundido a través de una “matriz” o “boquilla”. A su salida el material conformado es recogido por un sistema de arrastre, con velocidad regulable, que le proporciona las dimensiones finales mientras se enfría y adquiere la necesaria consistencia. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter los polímeros a extrusión, se utilizaron máquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se usan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido a lo largo de la camisa de la máquina. La extrusión es un proceso para la producción de forma continua de productos de sección transversal constante. Los productos típicos que se obtienen por extrusión son: tubos, film, láminas, planchas, fibras, cintas, barras, varillas, revestimiento de alambres, perfiles, otros. Los componentes esenciales de una línea de extrusión son un extrusor, matriz o boquilla y conjunto de equipos que maneja el material extruido para asegurar que enfría adecuadamente y con la forma deseada [1].

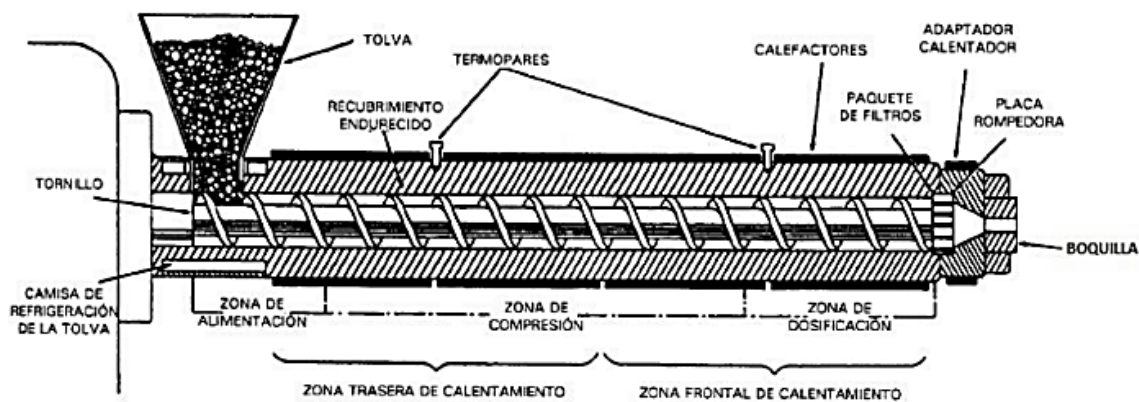


Figura 2. Esquema de las partes de un extrusor de tornillo simple [1].

2.2 MÁQUINA EXTRUSORA: COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO

Los equipos de extrusión cumplen diferentes funciones, dependiendo del fin especificado para su operación. En general, las principales funciones de una extrusora son [2]:

- Recibir y almacenar el polímero.
- Transportar el material sólido.
- Calentar y comprimir el polímero.
- Homogenizar.
- Generar la presión necesaria para la obtención del producto final.
- Extruir el semielaborado.

El material previamente molido o aglutinado es puesto en una tolva, una vez que todas las variables estén en su punto de funcionamiento se hace arrancar automáticamente al motor, que, por medio de una caja reductora, le proporcionara la velocidad y el par necesarios hacia el husillo, el cual gira dentro de un cilindro de calefacción. La salida del plástico se realiza a través de un agujero que le da al plástico una determinada forma llamada perfil. Al salir de la boquilla, este perfil se puede enfriar o aplicarlo sin enfriar a otros procesos de moldeo [2].



Figura 3. Extrusora industrial [3].

Componentes convencionales de una máquina extrusora [2]:

- Tolva: La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor.
- Barril o Cañón: Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo.
- Husillo: Gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industrial plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión.
- El Motor: El motor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla.
- Boquilla: La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extruido. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes.
- Alabes o Filetes o Paleta Pistón: Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que éstos tengan determinarán el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir del equipo.

2.3 EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

La extrusión de polímeros es un proceso industrial, basado en el mismo principio de la extrusión general, sin embargo, la ingeniería de polímeros a desarrollado parámetros específicos para plásticos, de manera que se estudia este proceso aparte de la extrusión de metales u otros materiales. El polímero fundido (o en estado anulado) es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en

una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la maquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. Las extrusoras más comunes utilizan un solo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también dos y forma canales en los huecos entre hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo de toda la longitud del husillo en el cañón [2].

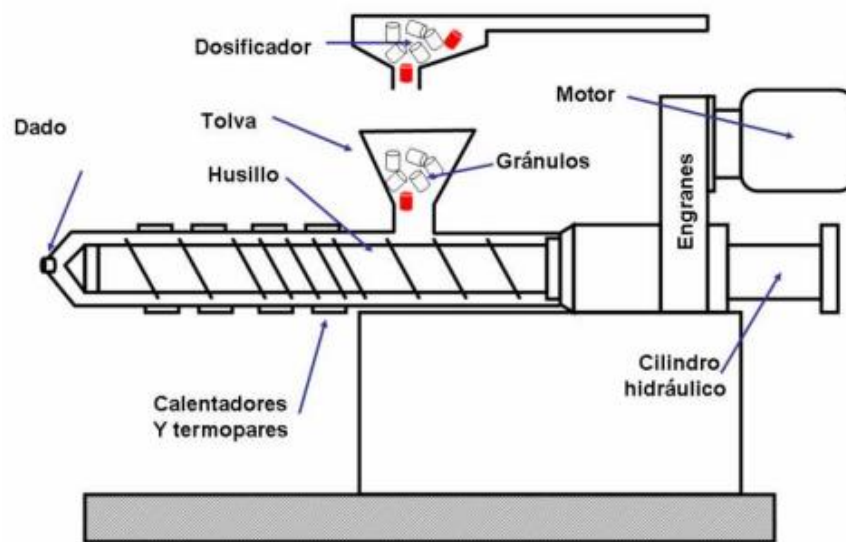


Figura 4. Diseño genérico de una máquina extrusora [2].

2.4 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 [4].

Factores de control			Factores de ruido				
			z ₃	-1	1	1	-1
			z ₂	-1	1	-1	1
			z ₁	-1	-1	1	1
x ₁	x ₂	x ₃					
-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	
1	1	-1	y ₄₁	y ₄₂	y ₄₃	y ₄₄	

Figura 5. Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados [5].

2.5 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 [6].

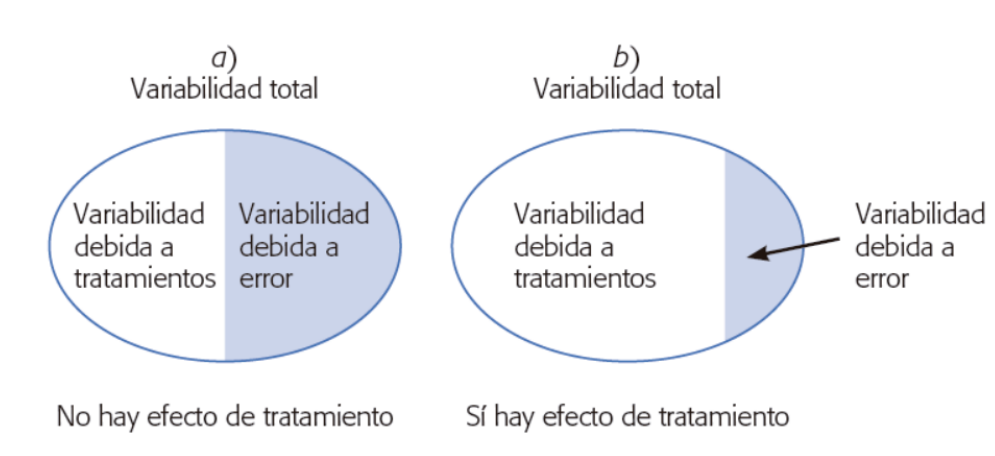


Figura 6. Variabilidad en método DCA [7].

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Condiciones de operación de estudio

La máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada ha sido desarrollada en estudios previos por [8], ver Figura 7. Bajo su arquitectura de ingeniería se definió un arreglo ortogonal $L4(2^3)$ [9] 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 plástico extruido bruto (plástico sin ningún postratamiento), ver Tabla 1.

Tabla 1. 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.

C = velocidad de rotación del husillo (rpm).

La máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada cuenta con un sistema de calentamiento híbrido a base de un colector solar de canal parabólico con seguimiento solar automático que concentra los rayos solares sobre el barril para alcanzar temperaturas preliminares de trabajo; así mismo cuenta con un conjunto de 6 resistencias calentadoras tipo banda que proporcionan energía eléctrica en forma de calor para completar las temperaturas de trabajo requeridas según el tipo de plástico a extruir. El modo de operación ELÉCTRICA, significa que el calentamiento del barril y el husillo para lograr fundir el plástico a extruir se realiza únicamente con el uso de las resistencias calentadoras. El modo de operación HÍBRIDA, significa que el calentamiento del barril y

el husillo para lograr fundir el plástico a extruir se realiza con el empleo simultaneo del colector con seguimiento solar y de las resistencias calentadoras.



Figura 7. Máquina extrusora híbrida horizontal de estudio.

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.



Figura 8. Aspecto del plástico de trabajo colocado en la tolva de alimentación.

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.

Las pruebas en modalidad eléctrica se realizaron durante días parcialmente nublados. Las pruebas en modalidad híbrida se realizaron durante días parcialmente soleados. Durante el mes de pruebas, las condiciones de humedad oscilaron entre 40-60%, la cuales se observaron que provocaron deficiencias operativas y/o requería mas tiempo de operación. Todas las pruebas se realizaron sin la presencia de precipitaciones pluviales durante el tiempo de operación.

3.1.2 Metodología de estudio

En cualquier modalidad de operación, se empleó el siguiente procedimiento:

1. Aplicar la lista de chequeo con 60 minutos de anticipación para acondicionar el equipo previo al proceso de extrusión. Incluye preparar las resistencias o el colector con seguimiento solar en la posición inicial de trabajo y en donde se evita que el barril y el husillo reciban directamente los rayos solares antes de la hora inicio de extrusión (colocación de carpa) o se tenga un efecto invernadero sobre de ellos (retirar lona de protección).

En el anexo 1, se presenta un listado de chequeo de las condiciones de operación a revisar previo y durante cada extrusión.

2. 10 minutos antes de la hora de inicio oficial de extrusión se toman todas las lecturas de los parámetros de estudio.

En el anexo 2, se muestra el formato de registro de los parámetros de operación.

3. A la hora de inicio oficial de extrusión se aplica la concentración de rayos solares sobre el barril y, en su caso, de manera simultanea, se encienden las resistencias calentadoras eléctricas según la modalidad de trabajo hasta que se observa una estabilidad térmica de la temperatura superficial del barril superior a los 290 °C. Para ello se va monitoreando la temperatura en 3 puntos equidistantes del barril.

En esta etapa ningún material de trabajo aun es alimentado al sistema y tampoco es puesta en funcionamiento la rotación del husillo. Lo anterior debido a que generalmente una operación de extrusión es precedida de otra anterior y en donde no es operativamente factible realizar la limpieza del husillo después de cada extrusión ya que implica retirar mecánicamente el tornillo del sistema a temperaturas superiores a los 200 °C, esperar 24 h para su enfriamiento por convección natural y manualmente (por martillo y cincel con hasta 3 h de duración) retirar el plástico alojado en los alabes del husillo. Motivo por el cual, se deja el husillo dentro del barril al termino de cada extrusión y los gramos respectivos son diferenciados de la siguiente operación.

En caso de no realizar el calentamiento de estabilidad térmica y se pone en rotación el husillo (con o sin materia prima en la tolva de alimentación) se tendría un atascamiento de giro muy grave que causaría daños mayores al sistema de transmisión de potencia empleado.

En promedio se ha contabilizado que 146.5 g de plástico se queda alojado en las ranuras del tornillo.

Cada 10 minutos se toman las lecturas de operación según el formato de trabajo (ver anexo 2) hasta alcanzar la estabilidad térmica definida.

4. Una vez que se alcanza la estabilidad térmica definida, se pone en funcionamiento la rotación del husillo realizándola de manera gradual hasta llegar a las revoluciones por minuto definidos. Lo anterior debido a que se tiene material

alojado en los alabes del husillo de una extrusión anterior y es necesario primeramente aflojar estos residuos con el calentamiento de estabilidad térmica y una rotación gradual controlada.

Simultáneamente se coloca el material de trabajo en la tolva de alimentación (primera perla).

Cada 10 minutos se toman las lecturas de operación según el formato de trabajo (ver anexo 2) hasta agotar el material de la tolva (ultima perla) y hasta no observar salida alguna de material por la boca extrusora (ultimo gramo). Dentro de los datos que se registran se incluye la salida del primer gramo plástico de la boca extrusora en aspecto de color oscuro (material de extrusión anterior) y de color blanco (material de extrusión presente).

Todo el material extruido es recolectado y una vez enfriado se caracteriza gravimétricamente. Ningún post tratamiento es realizado al material obtenido motivo por el cual el plástico extruido es recolectado en forma de una masa única de un aspecto visual en forma de “pata de elefante”.

Por la naturaleza del proceso y ante la necesidad de contar con un sistema de enfriamiento en la zona del cuello de la tolva (reingeniería fuera del alcance del presente trabajo) se presentan aglomerados en dicha zona, así como también perdidas de operación de fugas de perlas que no ingresan al barril entre las aberturas de diseño existentes en la unión del cuello de la tolva y la boca de entrada del barril. Estas perdidas son diferenciadas de la caracterización gravimétrica final.

Durante todo el proceso de extrusión se puede aplicar periodos de apagado de las resistencias calentadoras según el aglomerado (masa de materia prima en forma de cúmulos de perlas) que se va presentando durante el proceso. Contar con un proceso con demasiados aglomerados significa que habrá taponamientos en el

ingreso de la materia prima o (en una fase mas grave) atascamiento de la rotación del husillo. Razón por la que se debe controlar manualmente el encendido y apagado de ciertas resistencias calentadoras (principalmente el par de resistencias adjuntas al cuello de la tolva), así como ir removiendo el aglomerado resultante. El control de encendido y apagado de las resistencias eléctricas es cuantificado para un análisis energético de consumos (análisis fuera del alcance de este presente trabajo).

5. Agotado el material de trabajo y obtenido el ultimo gramo de salida de extrusión, se apaga el sistema (rotación en cero, apagado de resistencias, bloque de rayos solares), se da un tiempo de 60 min de enfriamiento por convección natural y se procede a proteger el equipo (colocación de lona).

Se realiza el registro de la caracterización gravimétrica aplicable (ver Anexo 2).

3.1.3 DCA y ANOVA de estudio

Para realizar los análisis estadísticos correspondientes, se utilizó el software (Minitab) considerando la metodología DCA y ANOVA reportada por [10].

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										
Pruebas experimentales										
Análisis de datos										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

Figura 9. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

Por cuestiones de patentado, se reservan los datos mas prioritarios obtenidos durante el presente proyecto de residencia profesional, los cuales son preliminares, pero sirven de base para poder establecer demás diseños experimentales para probar demás condiciones experimentales como trabajo futuro.

4.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE EXTRUSIÓN

Aplicando por duplicado el diseño ortogonal L4(2³) descrito en la Tabla 1, se obtuvieron 8 pruebas en orden aleatorio. Los resultados promedio obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. 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, aglomerado y perdidas de operación se utilizo una balanza granataria Velab VE-2610 con capacidad máxima de 2610 g de pesado y una balanza portátil de precisión OHAUS Scout 220 g x 0.01 g.

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/m²), 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 10. Material en tolva de alimentación del proceso de la corrida 3-eléctrica.



Figura 11. Aspecto del material extruido a la salida de la extrusora del proceso de la corrida 3-eléctrica.

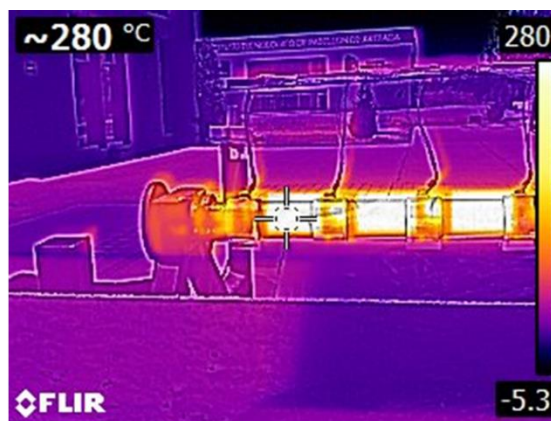


Figura 12. Registro de lecturas de temperatura durante el proceso de la corrida 2-híbrida.



Figura 13. Registro de lecturas de irradiación solar durante el proceso de la corrida 2-hibrida.



Figura 14. Aspecto “pata de elefante” del material extruido ya enfriado y resultante del proceso de la corrida 2-hibrida.



Figura 15. Aspecto de la limpieza del husillo cuando es retirado de la máquina extrusora para mantenimiento. El material es removido de los alabes del husillo y su pesaje es diferenciado de la prueba inmediata siguiente de extrusión.



Figura 16. Temperatura del husillo recién retirado de la máquina extrusora y puesto a enfriamiento por convección natural.



Figura 17. Aspecto de material de extrusión que se queda impregnado en las paredes internas del barril. El material no puede ser removido y su pesaje es diferenciado de la prueba inmediata siguiente de extrusión.



Figura 18. Aspecto de material de extrusión aun en forma de perlas que se fugan por las aberturas entre el cuello de la tolva y la garganta de ingreso del barril. El material puede ser recolectado y su pesaje es caracterizado dentro de la prueba presente.



Figura 19. Aspecto de material de extrusión aglomerado que se queda impregnado en el cuello de la tolva de alimentación y en la entrada de la boca de acceso del barril. El material puede ser removido y su pesaje es caracterizado dentro de la prueba presente.

A manera informativa, se presenta a continuación una grafica de tiempo (hora oficial) vs temperatura ($^{\circ}\text{C}$) 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.

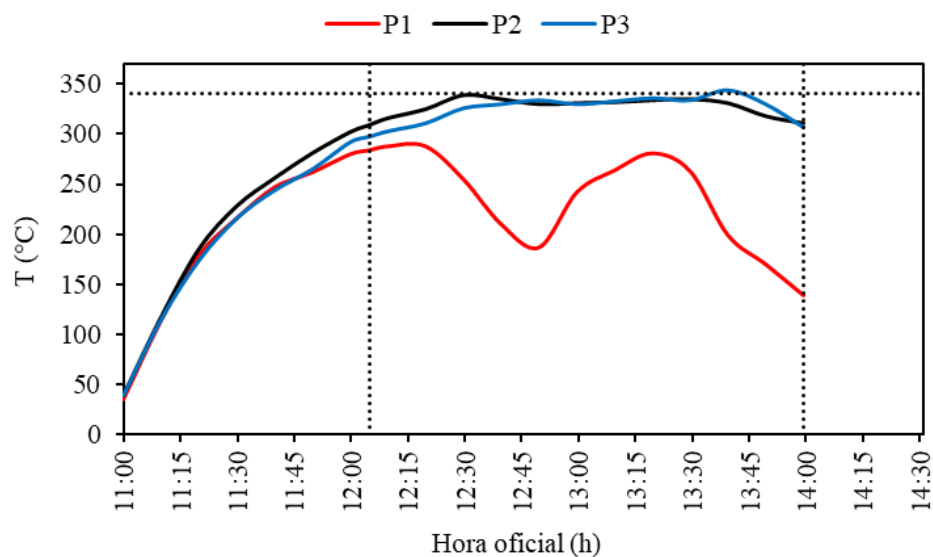


Figura 20. Grafica de extrusión (T vs t) de la corrida 2-hibrida.

En todas las corridas, el material extruido resultante presento inicialmente un color oscuro que corresponde al material sobrante alojado de la extrusión inmediata anterior y posteriormente adquiere un color claro que corresponde al nuevo material de trabajo. Como no se aplico ningún tratamiento posterior al material extruido entonces se obtuvo en todas las pruebas un a masa única de aspecto tipo “pata de elefante”. Como trabajo a futuro este material de tipo “pata de elefante” deberá evitarse mediante el uso de demás módulos de coagulado, secado, estirado y bobinado como trabajo a futuro.

Siendo importante resaltar que durante las pruebas de extrusión se detectaron las siguientes áreas de mejora (no aplicables en el presente trabajo por estar fuera del alcance del mismo):

- Fallas operativas del sistema de transmisión de potencia por engranaje y cadena: se aplicaron técnicas de reingeniería en taller externo especializado (no presentados y fuera del alcance del proyecto) que obligo a detener las pruebas temporalmente.
- Fallas operativas del proceso como lo son:
 - Instalar un rodillo loco a la cadena de la transmisión;
 - Subsanar con soldadura las aberturas de fugas de material entre el cuello de la tolva y la boca de ingreso del barril;
 - Instalar un sistema de enfriamiento en el cuello de la tolva;
 - Clasificar el rango de temperaturas idóneo de encendido y apagado de resistencias para categorizar los consumos eléctricos del sistema;
 - Fabricar una nueva carcasa del sensor solar.

4.2 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 3, 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 los 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>	<i>Valor-p</i>
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$N - 1$			

Figura 21. Formulas ANOVA para el DCA de estudio [11].

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 3. 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: $F\text{-Value} = 1.24 < F\text{-Tabla} = 6.59$, 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 extrusión en una máquina extrusora híbrida horizontal prefabricada bajo un diseño ortogonal experimental $L4(2^3)$ en donde se definieron como variables de operación: la cantidad de materia prima (kg), la modalidad de operación (eléctrica o híbrida) y la velocidad de rotación del husillo (rpm). Donde en promedio, la capacidad de extrusión de la máquina extrusora resulto 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. Para este estudio esta fuera de alcance analizar los datos bajo otro criterio de decisión o diseño experimental.

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 prototipo. Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, 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 desarrollo tecnológico de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique técnicas de procesos de fabricación, estadística inferencial y control estadístico de la calidad.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de tecnología a través de la mejora de procesos, 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 desarrollo tecnológico.
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 la operación del equipo 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] Moya-Verdú, G. (2016). *Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico* [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de València]. <http://hdl.handle.net/10251/72723>
- [2] Gómez-Gómez, J. J., and Gutiérrez-Bedoya, J. E. (2007). *Diseño de una extrusora para plástico* [Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/145b2ecf-d956-4b4e-b2f5-5406d77c76fe/content>
- [3] Feed-Mills, R. (27/06/2024). *¿Qué es una máquina extrusora?*. Rosal Instalaciones Agroindustriales. Recuperado de <https://rosal-feedmills.com/que-es-una-maquina-extrusora/>
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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>
- [7] Estadística ITM. (s. f.). Diseño completamente al Azar (DCA). Recuperado de <https://estadisticaitm.github.io/dise%C3%B1oazar.html>
- [8] 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

- [9] 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/>
- [10] Gutiérrez-Pulido, H, & De la Vara-Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2ª edición). McGraw-Hill Interamericana.

ANEXO 1

Lista de chequeo de preparación del equipo para pruebas de extrusión

Check List para extrusora					
	L	M	M	J	V
Quitar lona grande					
Quitar lona de parabola					
Ajuste inicial parabola					
Conexiones 220V (Manufactura)					
Conexion 110V naranja					
Enchufe PLC					
Enchufe seguidor					
Sensor solar Posicion y cable					
Colocar carpa					
Pesar polimero					
Divisor de tolva					
Areas de fuga					
Caja de engranes (cadena/goteras)					
Boca estrusora puesta					
Resetear medidor					
Colocar caja para salida de material					

ANEXO 2

Formato de registro de variables de operación

PRUEBAS DE EXTRUSIÓN 2024

Fecha:			No. De corrida (Diseño experimental Taguchi):			
Kg Polímero:		Vel. Husillo (rpm)		Frecuencia(Hz):		Modalidad: Eléctrica () Híbrida ()
Hora inicio encendido resistencias:			Hora inicio seguimiento solar:			
Hora inicio encendido motor:			Hora de alimentación material a tolva:			
Hora de primer salida de material:			Hora de agotamiento de material en tolva:			
Hora de agotamiento de salida de material del barril:			Kg material extruido :			
Perdida de operación (Kg):			Material en Husillo (kg):		Material en barril y otros	

[illegible]

PRUEBAS DE EXTRUSIÓN 2024

[illegible]

ANEXO 3

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, 09/agosto/2024
Oficio No. DEPI042/2024
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. JIMENA DELGADILLO ESQUIVEL**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial Mixta, con número de control A191050667, 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 datos aplicado a un proceso de extrusión de plásticos establecido bajo una metodología DOE"** 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 Alejandro Puga Vargas (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

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



ANEXO 4

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, 14/diciembre/2024
Circular No. DEPI083/2024
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. JIMENA DELGADILLO ESQUIVEL, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial Mixta, con número de control A191050667, concluyó satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado "Análisis de datos aplicado a un proceso de extrusión de plásticos establecido bajo una metodología DOE" 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 Alejandro Puga Vargas (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

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



2024
Felipe Carrillo
PUERTO