



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:
LUIS MANUEL RAMÍREZ VÁZQUEZ

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 2023

AGRADECIMIENTOS

Estimado Director José Ernesto Olvera González:

Es un honor dirigirme a usted para expresar mi sincero agradecimiento por la oportunidad invaluable de completar mis residencias en el Instituto Tecnológico de Pabellon de Arteaga. El recorrido ha sido extraordinario, y no puedo pasar por alto la oportunidad de agradecer a quienes han sido parte fundamental de este proceso.

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud hacia mis asesores, Alejandro Puga Vargas y José Alonso Dena Aguilar. Su guía experta y dedicación han sido una fuente constante de inspiración. Cada consejo, corrección y orientación han contribuido significativamente a mi crecimiento profesional. Aprecio profundamente la paciencia y el tiempo que han invertido en mi formación. Este periodo no solo ha sido educativo, sino también motivador gracias a su apoyo.

A mi familia, quiero extenderles mi más sincero agradecimiento. Su apoyo incondicional y comprensión han sido pilares fundamentales que han sostenido mi camino durante estas residencias. Las palabras no son suficientes para expresar mi gratitud por su sacrificio y respaldo emocional. Su aliento constante ha sido mi mayor fortaleza y motivación. Este logro no habría sido posible sin el apoyo de mis seres queridos y, por supuesto, sin el respaldo de la institución y su equipo. Aprecio la oportunidad brindada y el ambiente propicio para el aprendizaje y la aplicación de mis conocimientos.

Este periodo de residencias ha sido una etapa formativa e inolvidable, y me siento privilegiado de haber tenido la oportunidad de aprender y crecer en un entorno tan enriquecedor. Nuevamente, agradezco sinceramente la oportunidad brindada y el apoyo continuo de todas las personas involucradas en este proceso. Estoy emocionado por aplicar los conocimientos adquiridos y contribuir de manera significativa en mi futura carrera profesional.

Atentamente

Luis Manuel Ramírez Vázquez

RESUMEN

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

Por: **LUIS MANUEL RAMÍREZ VÁZQUEZ**

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 de plásticos prefabricada para –a través de un experimento de un solo factor– determinar la capacidad de producción de la extrusora bajo un arreglo ortogonal L4(2³) 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 (g), la modalidad de operación (híbrida o eléctrica) y la velocidad de giro del husillo (rpm); todos ellos con 2 niveles. Bajo las condiciones de operación establecidas se determino que la capacidad de la máquina extrusora híbrida oscila entre 0.6 y 1.43 g/min y que entre el 29 y 36% del material se logra extruir (material que sale por la boca extrusora) donde el resto de material se queda hospedado dentro de los alabes del husillo. Del análisis de datos por DCA y ANOVA de los resultados experimentales obtenidos, se determina que cualquier corrida (y por ende cualquier variable de operación) SI genera diferencias y SI son significativamente diferentes. El presente trabajo es producto del proyecto de EPM, modalidad 1, “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”: (1) convocatoria 2021-ID 1086950, (2) convocatoria 2022(1)-ID 2708283_continuidad y (3) convocatoria 2022(1)_renovación 2023.

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.....	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 Extrusión de plásticos.....	6
2.2 Maquinas extrusoras horizontales.....	7
2.3 Análisis de datos e investigación cuantitativa.....	8
2.4 Diseño de experimentos.....	10
2.5 Arreglos ortogonales de taguchi.....	12
2.6 Diseño completamente al azar (DCA) y análisis de varianza (Anova)....	13
III. DESARROLLO	16
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	16
3.1.1 Condiciones de operación de estudio.....	16
3.1.2 DCA y ANOVA de estudio.....	17
3.2 Cronograma de actividades.....	17
V. RESULTADOS	18
4.1 Resultados del arreglo ortogonal.....	18
4.2 Resultados del DCA Y ANOVA.....	24

	Pág.
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	30
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	31
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	33
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.....	13
Tabla 2. Arreglo L4(2 ³).....	13
Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleados en el arreglo L4(2 ³) de estudio.....	16
Tabla 4. Resultados promedio de las pruebas de extrusión realizadas.....	18
Tabla 5. Tabla ANOVA para el DCA de los g/min extruidos.....	25
Tabla 6. Tabla ANOVA para el DCA de los % de material extruidos.....	27

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	3
Figura 2. Proceso de la extrusión en plástico.....	6
Figura 3. Partes del husillo.....	7
Figura 4. Maquina extrusora.....	8
Figura 5. Análisis de datos.....	9
Figura 6. Investigación cuantitativa en experimentos.....	10
Figura 7. Tabla de resultados de diseño de experimentos.....	10
Figura 8. Análisis de diseño de experimentos.....	11
Figura 9. Ejemplo Diseño Ortogonal.....	12
Figura 10. Hipótesis que se trabajan en DCA.....	14
Figura 11. Fórmulas de Calculo.....	15
Figura 12. Máquina extrusora hibrida de estudio.....	17
Figura 13. Cronograma de actividades general.....	17
Figura 14. Aspecto de las perlas de polietileno a base de resina de baja densidad empleadas.....	18

	Pág.
Figura 15. Aspecto de las perlas de polietileno en la tolva de la extrusora.....	19
Figura 16. Aspecto del material extruido a la salida de la boca extrusora de la máquina: corrida 4.....	19
Figura 17. Caracterización gravimétrica del material hospedado en los alabes del husillo: corrida 3.....	20
Figura 18. Material retirado del husillo resultante de una extrusión: corrida 2.....	20
Figura 19. Aspecto del husillo ya libre de material extruido.....	21
Figura 20. Material extruido alojado en las paredes del barril de la extrusora: corrida 4.....	21
Figura 21. Material extruido a la salida de la boca extrusora: corrida 1.....	22
Figura 22. Material extruido a la salida de la boca extrusora: corrida 3.....	22
Figura 23. Desgaste de la cuña de ajuste del sprocket de la transmisión de la máquina.....	23
Figura 24. Aspecto de las resistencias eléctricas con fallas operativas empleadas en este trabajo.....	23
Figura 25. Aspecto de las nuevas resistencias eléctricas gestionadas en este trabajo.....	23
Figura 26. Formulas ANOVA para el DCA de estudio.....	25

	Pág.
Figura 27. Gráfico Tukey de estadístico 1.....	26
Figura 28. Gráfico Tukey de estadístico 2.....	28

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

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

Uno de estos proyectos se refiere al desarrollo de una máquina extrusora híbrida de plásticos.

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 extrusora.

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.

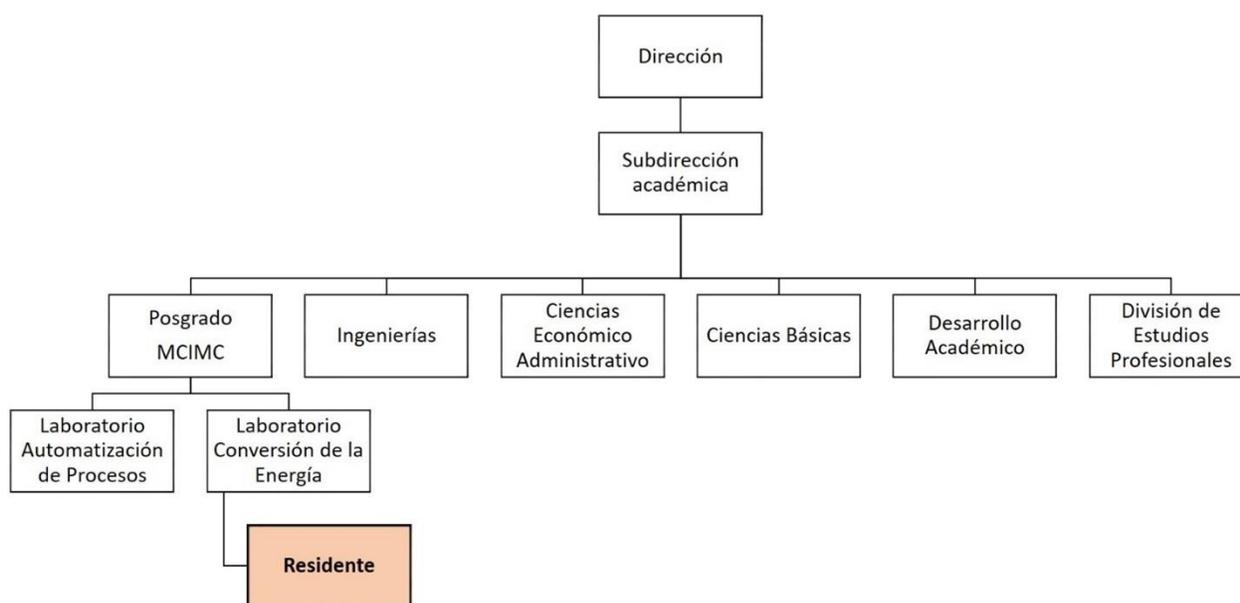


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

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 de reciclaje empleando

una máquina extrusora híbrida de plásticos. Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Conocer la capacidad de extrusión de la máquina extrusora híbrida 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 de estudio.

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 extrusora (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 (SEMARNAT, 2018) y solo el 58% se ha logrado recuperar para reciclaje. Dentro de este contexto, el reciclaje de plásticos de desecho por extrusión es una alternativa de solución.

Se cuenta con una máquina extrusora horizontal híbrida por lo que se deben realizar pruebas de puesta en operación de la extrusora para determinar las condiciones de operación más 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 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 más idóneas del proceso establecido bajo una metodología DOE.

1.5.2 Objetivos específicos

- Comprender el proceso de extrusión de la máquina extrusora híbrida 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 gráficas de dispersión, de control o estadística descriptiva para el análisis de datos del proceso.

1.6 Alcances y limitaciones

- Proyecto de investigación a nivel laboratorio.
- 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 EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

La extrusión en plástico es un proceso industrial utilizado para fundir y moldear el plástico para obtener la forma deseada de cierto polímero para su aplicación final. Utilizando esta técnica, se pueden obtener productos de una calidad excelente como películas, bolsas de plástico... Como también tuberías, mangueras y más. En la máquina extrusora, los polímeros pasan a través de un embudo que abastece constantemente al cilindro, el cual está a una temperatura elevada. En el interior se encuentra un husillo, el cual contiene espirales que permiten que el material gire y sea empujado a lo largo del cilindro generando presión y elevando la temperatura permitiendo la plastificación del polímero. La mayor parte de la energía necesaria para plastificar el polímero es proporcionada por el motor, permitiendo que el husillo gire continuamente. Después de este proceso, el material sale del cabezal y se encuentra con la placa rompedora y el dado. El dado tiene una boquilla con unos orificios predeterminados para darle la forma final al polímero. Dependiendo de la forma de la boquilla, el plástico tomará una forma u otra. Por ejemplo, si la boquilla tiene forma anular, se obtendrán tubos, si la boquilla tiene agujeros pequeños, se obtendrán filamentos, y si la boquilla es una rendija larga, se tendrá lámina o película plana [1].

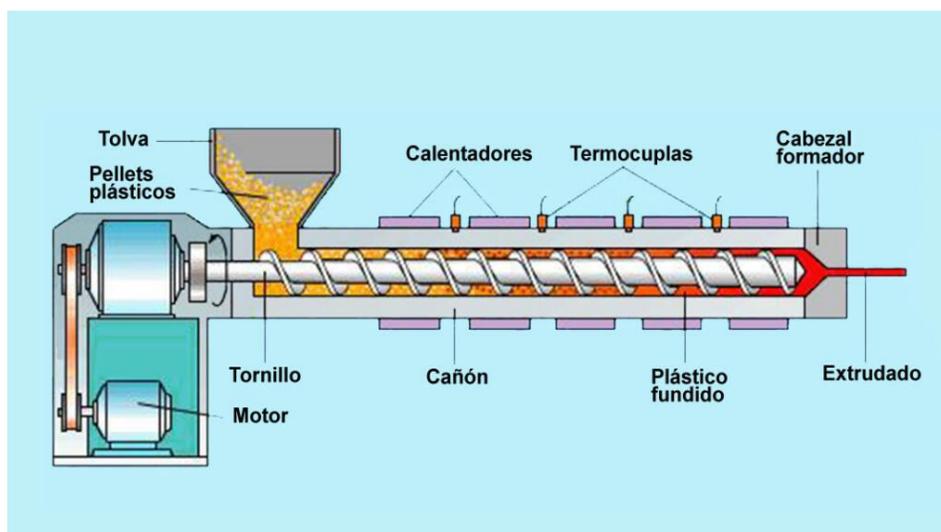


Figura 2. Proceso de la extrusión en plástico [1].

El husillo es el componente de mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión en plástico, así que el diseño de este variará según la naturaleza del material, ya que los polímeros se funden cada uno a una temperatura diferente [1].

El husillo se divide en tres partes:

1. Transporte o alimentación: Es donde se alimenta la resina o plásticos a través de la tolva.
2. Compresión o transición: Aquí se realiza la fusión del material y se mezclan y/o funden los componentes.
3. Dosificación: Donde se presenta el bombeo y salida del material que pasará por la placa rompedora y el dado.

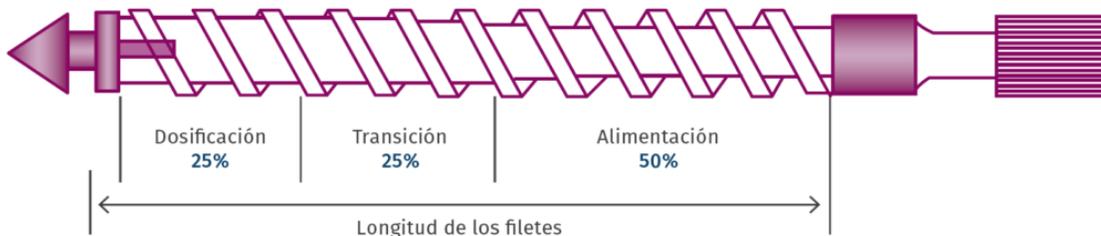


Figura 3. Partes del husillo [1].

2.2 MAQUINAS EXTRUSORAS HORIZONTALES

La máquina extrusora es la encargada de la extrusión de polímeros mediante la acción del prensado, fusión, moldeado, presión y empuje de los materiales. El resultado es un molde nuevo que tendrá la forma deseada según la forma y diseño del husillo utilizado en la máquina. La extrusora permite obtener el molde de manera rápida y continúa, agilizando el proceso industrial de reciclado y aprovechando al máximo la materia prima. A través de un embudo (tolva), la máquina recibe los gránulos plásticos que caen al cañón central. La elevación de la temperatura permite que se puedan fundir fácilmente y permitir su modelado. El husillo es la pieza encargada de rempujar el material por el cilindro, presionándolo para darle forma hasta conseguir el objeto deseado. Existen dos tipos de máquinas extrusoras según el número de husillos. Los husillos son un tipo de tornillo de gran diámetro y longitud

de diferentes formas o diseños, capaces de dar forma al material termoplástico cuando alcanza altas temperaturas [2].



Figura 4. Máquina extrusora [2].

2.3 ANÁLISIS DE DATOS E INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

El análisis de datos es un estudio que usa información en su estado natural, la analiza y extrae ideas útiles para la toma apropiada de decisiones dentro de una empresa. Podemos comparar al análisis de datos con un rompecabezas: las piezas serían la información que al inicio se encuentran desordenadas, pero una vez armado, podemos interpretar de qué trata. De esta misma manera, las empresas utilizan este método para encontrar patrones o información relevante que les sea útil a la hora de tomar decisiones informadas. Estas decisiones pueden estar orientadas según la necesidad: reducir costos, desarrollar productos innovadores, predecir el comportamiento de los consumidores, analizar la eficacia de campañas comerciales, retener clientes, etc. El análisis de datos y las técnicas utilizadas difieren en relación con la naturaleza de los datos a analizar: cualitativos y cuantitativos. Los datos

cualitativos son generalmente palabras que brindan información sobre algún comportamiento, tienen el carácter subjetivo y para su recolección se utilizan métodos de observación. Sus resultados se expresan agrupando la información por categorías o temas. Por otro lado, los datos cuantitativos son numéricos y pueden medirse, son objetivos y universales. Los resultados del análisis de datos cuantitativos se expresan mediante estadísticas o gráficos [3].



Figura 5. Análisis de datos [3].

La investigación cuantitativa es un conjunto de métodos de recopilación e interpretación de datos que se utiliza para estudiar fenómenos naturales de manera empírica. Se basa principalmente en la estadística y las matemáticas, utilizando estas herramientas y otras similares para crear hipótesis y modelos teóricos sobre aquello que se está investigando. Este tipo de investigación es muy utilizada en campos tan diferentes como la psicología, la economía, la sociología, el marketing, la salud o la demografía. Por otro lado, las investigaciones de las ciencias puras como la física o las matemáticas también son consideradas como cuantitativas por algunos expertos, aunque sus características son ligeramente diferentes [4].

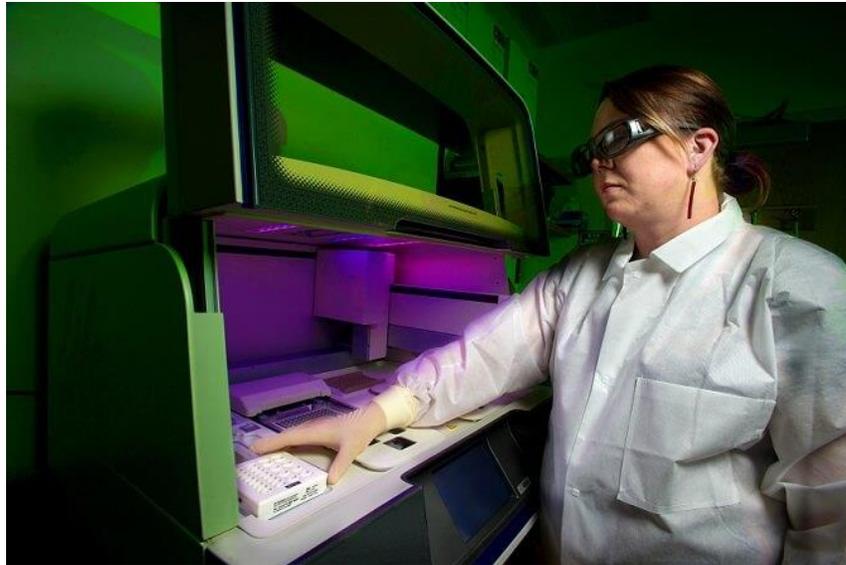


Figura 6. Investigación cuantitativa en experimentos [4].

2.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos, conocido como DOE, es una herramienta estadística que permite recolectar a través de la ejecución de distintas pruebas mínimas, información útil que una vez procesada y analizada nos brindará un panorama claro de la situación en la que se encontrará y desarrollará un proyecto, con la finalidad de poder hacer los ajustes o correcciones necesarias previo a su lanzamiento. Al ser una herramienta de análisis y calidad, deberá contar con una organización previa adecuada. La idea es no desperdiciar tiempos y recursos, sino utilizarlos en aquellos que nos brindara datos interesantes para realizar las estadísticas adecuadas [5].



Figura 7. Tabla de resultados de diseño de experimentos [6].

Citando un ejemplo donde se aplica un diseño de experimentos: imaginemos que debemos lanzar un producto nuevo a nuestros clientes en el cual estuvimos trabajando hace un tiempo. Si bien en un inicio de su preparación se había organizado la presentación de manera presencial y serían en un evento destacado, la pandemia, nos permite realizarlo a través de un zoom o videoconferencia. Una manera de realizar un experimento de diseño que, por ejemplo, nos permite evaluar cual es la mejor forma de convocatoria, sería elegir dentro de nuestra cartera de clientes, a algunos pocos e invitarlos a través de distintos medios. A algunos, podremos enviarles un flyer publicitario por correo electrónico, a otros a través de Instagram, o LinkedIn, a otros incluso a través de una carta en formato papel.

Los factores que podemos evaluar son: rapidez en la recepción; impacto y feed-back; medio de comunicación más favorable para nuestro público y posibles complicaciones en la recepción y/o confirmación.

De esta manera, podremos evaluar: nivel de respuesta; compromiso de nuestra audiencia y situaciones como notificaciones, correos no deseados.

Con aquellos primeros datos, podremos evaluar cuál será la mejor manera de invitación a nuestra presentación [5].



Figura 8. Análisis de diseño de experimentos [5].

2.5 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI

Los diseños de Taguchi son diseños ortogonales que se especializan en estimar efectos principales e interacciones de control por ruido, dejando en segundo plano las interacciones de control por control. Únicamente arreglos ortogonales de Taguchi de dos niveles se consideraron para esta investigación. La prueba de la tabla ortogonal se aplica a problemas donde el dominio de entrada es relativamente pequeño, pero demasiado grande para posibilitar pruebas exhaustivas. El método de prueba de la tabla ortogonal nos permite encontrar errores asociados con fallos localizados. El enfoque Taguchi hace énfasis en la apropiada selección de niveles de factores de control con el objeto de minimizar la variabilidad transmitida por los factores de ruido y de esta manera generar un producto o proceso robusto [7].

Factores controlables							Factores de ruido				Media	Desviación estándar	Razón señal/ruido
A	B	C	D	E	F	G	K	L	M		\bar{X}	S	$-10 \log_{10}(S^2)$
1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	25.25	8.61	-18.71
1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	37.50	16.76	-24.49
1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	21.75	9.81	-19.83
1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	24.50	9.98	-19.98
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	28.50	4.43	-12.93
2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	36.75	9.21	-19.29
2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	22.75	4.42	-12.92
2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	30.25	7.93	-17.99

Figura 9. Ejemplo Diseño Ortogonal [8].

El método de Taguchi ha desarrollado una serie de arreglos para experimentos con factores a dos niveles, los más utilizados y difundidos según el número de factores a analizar son relacionados en la Tabla 1 [9].

Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.

No. de factores	Arreglo a utilizar	No. de condiciones a probar
Entre 1 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Las columnas de los arreglos son balanceadas y ortogonales. Esto significa que, en cada par de columnas, todas las combinaciones de factores ocurren el mismo número de veces. Los diseños ortogonales permiten estimar el efecto de cada factor sobre la respuesta independientemente del resto de los factores [10].

La notación L(corridas) (niveles ^ factores) indica lo siguiente:

- L(corridas) = número de corridas
- (niveles ^ factores) = número de niveles para cada factor ^ número de factores

En la Tabla 2 se presenta un arreglo L4(2³) que significa que el diseño tiene 4 corridas, 3 factores con 2 niveles.

Tabla 2. Arreglo L4(2³).

Corrida	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

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

El método ANOVA con un factor de clasificación permite comparar los niveles del factor estudiado que participan en el diseño experimental. Por ejemplo, si en el experimento participan distintos operadores, la comparación entre ellos permite verificar cuál consigue mejores resultados. En muchas aplicaciones del ANOVA la comparación de los niveles del factor estudiado es prioritaria. Es obvio que, al hacer tales

comparaciones, existe un interés y un objetivo claro. Por ejemplo, una comparación de cuatro instrumentos de medida se hace con el fin de estudiar si alguno da más error que los restantes; en este caso, la variable de interés es el error de indicación de cada instrumento después de haber sido calibrados con un patrón. El método ANOVA con un factor de clasificación también llamado Diseño Completamente al Azar (DCA) es el más simple de los diseños experimentales para comparar distintas poblaciones y evaluar su variabilidad, dado que solamente considera la variación entre poblaciones y el error aleatorio. Es muy importante que no existan otras fuentes de variabilidad distintas a las que se han considerado en el estudio ya que esta circunstancia invalidaría los resultados [11].

En muchas aplicaciones del ANOVA la comparación de los niveles del factor es prioritaria:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \\ H_a: \mu_i &\neq \mu_j \end{aligned}$$

Figura 10. Hipótesis que se trabajan en DCA [12].

En la industria es frecuente hacer pruebas con la intención de resolver un problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis); por ejemplo, hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso, probar varias temperaturas en una máquina hasta encontrar la que da el mejor resultado o crear un nuevo material con la intención de lograr mejoras o eliminar algún problema. Sin embargo, es común que estas pruebas o experimentos se hagan sobre la marcha, con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia y a la intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a los interrogantes planteados. Algo similar ocurre con el análisis de los datos experimentales, donde más que hacer un análisis riguroso de toda la información obtenida y tomar en cuenta la variación, se realiza un análisis informal, “intuitivo”. Es tal el poder de la experimentación que, en ocasiones, se logran mejoras a pesar de que el experimento se hizo con base en el ensayo y error. Sin embargo, en situaciones de cierta complejidad no es suficiente aplicar este tipo de experimentación, por lo que es mejor diseñar experimentos de forma

planificada que garanticen la obtención de respuestas a los interrogantes planteados en un lapso corto de tiempo y utilizando pocos recursos [11].

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y} \dots)^2 = n \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_i - \bar{Y} \dots)^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

A **B** **C**

Figura 11. Fórmulas de Calculo [12].

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Condiciones de operación de estudio

La máquina extrusora híbrida prefabricada ha sido desarrollada en estudios previos (no presentados), ver Figura 12. Bajo su arquitectura de ingeniería se definió un arreglo ortogonal L4(2³) de las variables de operación de trabajo para llevar a cabo pruebas de extrusión y obtener datos experimentales de cantidad de material extruido (%) y capacidad de producción de la extrusora (g/min), ver Tabla 3.

Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleados en el arreglo L4(2³) de estudio.

Corrida	A	B	C
1	500	Híbrida	15
2	500	Eléctrica	20
3	1000	Híbrida	20
4	1000	Eléctrica	15

Donde:

A = cantidad de materia prima (g).

B = modo de operación.

C = velocidad de rotación del husillo (rpm).

Como materia prima de estudio se emplearon perlas de polietileno a base de resina de baja densidad con un punto de fusión entre 180-220 °C. Todas las pruebas de extrusión se realizaron en tiempo fijo de 240 min donde al concluir este tiempo se detenía el proceso y se caracterizaba gravimétricamente los materiales extruidos y sin extruir.

Para las pruebas eléctricas se emplearon 5 resistencias eléctricas de 500W 220V cada una conectadas en paralelo y distribuidas equitativamente a los largo del barril de la extrusora. Para las pruebas híbridas, se empleo energía solar concentrada y las propias resistencias eléctricas, ambas condiciones operando simultáneamente; además las

pruebas híbridas se realizaron durante días soleados de los meses de octubre y noviembre 2023.



Figura 12. Máquina extrusora híbrida de estudio.

3.1.2 DCA y ANOVA de estudio

Para realizar los análisis estadísticos correspondientes, se utilizó el software (Minitab) considerando la metodología DCA y ANOVA reportada por [13].

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 13. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DEL ARREGLO ORTOGONAL

Aplicando dos veces 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 4.

Tabla 4. Resultados promedio de las pruebas de extrusión realizadas.

Corrida	1er ciclo experimental			2do ciclo experimental		
	Cantidad extruida (g)	g/min	% extrusión	Cantidad extruida (g)	g/min	% extrusión
1	148.60	0.62	34.84	153.00	0.64	35.89
2	171.00	0.71	36.23	175.20	0.73	37.32
3	342.00	1.43	34.20	348.80	1.47	35.23
4	297.20	1.24	29.72	301.60	1.28	30.61

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 14. Aspecto de las perlas de polietileno a base de resina de baja densidad empleadas.



Figura 15. Aspecto de las perlas de polietileno en la tolva de la extrusora.



Figura 16. Aspecto del material extruido a la salida de la boca extrusora de la máquina: corrida 4.



Figura 17. Caracterización gravimétrica del material hospedado en los alabes del husillo: corrida 3.



Figura 18. Material retirado del husillo resultante de una extrusión: corrida 2.



Figura 19. Aspecto del husillo ya libre de material extruido.



Figura 20. Material extruido alojado en las paredes del barril de la extrusora: corrida 4.



Figura 21. Material extruido a la salida de la boca extrusora: corrida 1.



Figura 22. Material extruido a la salida de la boca extrusora: corrida 3.

Siendo importante resaltar que durante las pruebas de extrusión se detectaron las siguientes áreas de mejora:

- Fallas operativas del sistema de transmisión por cadena y engranaje, la cuales fueron resueltas en este trabajo (acciones de reingeniería realizadas por el residente, pero no presentadas en este estudio) y que representaron retrasos en las pruebas de extrusión y siendo uno de los motivos del porque únicamente 2 veces se repitió el diseño ortogonal experimental.
- Se detecto una disminución operativa de la capacidad térmica de las resistencias eléctricas (tiempo de vida útil) por lo que se gestiono la adquisición de nuevas resistencias y por los tiempos de fabricación y adquisición provoco que solo 2 veces se repitiera el diseño ortogonal experimental establecido.



Figura 23. Desgaste de la cuña de ajuste del sprocket de la transmisión de la máquina.



Figura 24. Aspecto de las resistencias eléctricas con fallas operativas empleadas en este trabajo.



Figura 25. Aspecto de las nuevas resistencias eléctricas gestionadas en este trabajo.

4.2 RESULTADOS DEL DCA Y ANOVA

Para el análisis estadístico por DCA y ANOVA se establecieron dos variables de respuesta: (1) g/min de material extruido y (2) el porcentaje de material extruido. En ambos casos se considera como “material extruido”, aquella materia que salió por la boca extrusora y en donde se descarta el material hospedado en los alabes del husillo. Cada variable de respuesta fue analizada estadísticamente por separado.

En el primer caso, el interés era comparar las 4 corridas del arreglo ortogonal en cuanto a la cantidad (g/min) de material extruido obtenida en cada corrida; en el segundo caso era comparar las 4 corridas del arreglo ortogonal en cuanto al porcentaje de material extruido obtenido en cada corrida.

La estrategia experimental fue aplicar dos veces las cuatro corridas en orden completamente aleatorio (las 8 pruebas en orden aleatorio). En la Tabla 5, se muestran las cantidades (g/min) de material extruido obtenidas en cada corrida. En la Tabla 6, se muestran los porcentaje 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, (a) la cantidad (g/min) de material extruido obtenida en cada corrida o (b) el porcentaje 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 empleó las siguientes fórmulas 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 26. Fórmulas ANOVA para el DCA de estudio.

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

ANÁLISIS ESTADÍSTICO 1

Para la variable de respuesta de la cantidad (g/min) de material extruido obtenida en cada corrida:

Tabla 5. Tabla ANOVA para el DCA de los g/min extruidos.

Replica	Tratamiento			
	1	2	3	4
1	0.62	0.71	1.43	1.24
2	0.64	0.73	1.47	1.28

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Corridas	3	0.969000	0.323000	646.00	0.000
Error	4	0.002000	0.000500		
Total	7	0.971000			

Empleando tablas de distribución F para un nivel de significancia de 0.05, se tiene un valor de F-Tabla = 6.49

Regla de decisión: F-Value = 646.00 > F-Tabla = 6.49, se rechaza H_0 .

Conclusión: Por lo que al menos una corrida experimental SI genera diferencias en la cantidad (g/min) de material extruido obtenida.

Aplicando pruebas de medias mediante prueba de Tukey para determinar que corridas (en pareja) son los que hacen diferencia:

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
3	2	1.4500	A
4	2	1.2600	B
2	2	0.7200	C
1	2	0.6300	C

Means that do not share a letter are significantly different.

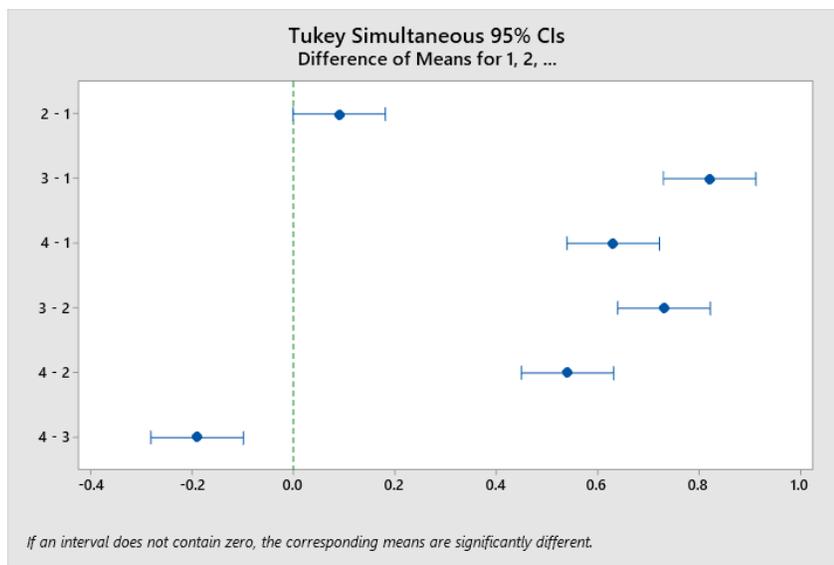


Figura 27. Grafico Tukey de estadístico 1.

Regla de decisión: Las 4 medias (de cada corrida) no comparten ninguna letra, por lo que las 4 son significativamente diferentes, es decir, que cualquier corrida influye en la variable de respuesta, por lo que se debe establecer otro criterio para poder definir cual seria la mejor corrida que brinde los mejores resultados. Para este estudio esta fuera de alcance analizar los datos bajo otro criterio de decisión.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO 2

Para la variable de respuesta del porcentaje de material extruido obtenido en cada corrida:

Tabla 6. Tabla ANOVA para el DCA de los % de material extruidos.

Replica	Tratamiento			
	1	2	3	4
1	34.84	36.23	34.20	29.72
2	35.89	37.32	35.23	30.61

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Corridas	3	49.044	16.3481	31.56	0.003
Error	4	2.072	0.5179		
Total	7	51.116			

Empleando tablas de distribución F para un nivel de significancia de 0.05, se tiene un valor de F-Tabla = 6.49

Regla de decisión: F-Value = 31.56 > F-Tabla = 6.49, se rechaza H_0 .

Conclusión: Por lo que al menos una corrida experimental SI genera diferencias en el porcentaje de material extruido obtenido en cada corrida.

Aplicando pruebas de medias mediante prueba de Tukey para determinar que corridas (en pareja) son los que hacen diferencia:

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
2	2	36.775	A
1	2	35.365	A
3	2	34.715	A
4	2	30.165	B

Means that do not share a letter are significantly different.

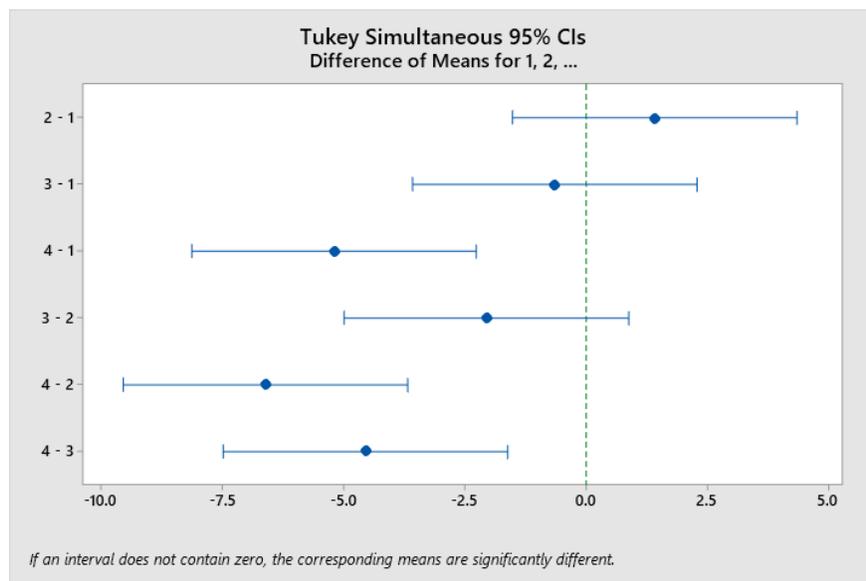


Figura 28. Grafico Tukey de estadístico 2.

Regla de decisión: Las 4 medias (de cada corrida) no comparten ninguna letra, por lo que las 4 son significativamente diferentes, es decir, que cualquier corrida influye en la variable de respuesta, por lo que se debe establecer otro criterio para poder definir cual seria la mejor corrida que brinde los mejores resultados. Para este estudio esta fuera de alcance analizar los datos bajo otro criterio de decisión.

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 prefabricada bajo un diseño ortogonal experimental $L4(2^3)$ en donde se definieron como variables de operación: la cantidad de materia prima (g), la modalidad de operación (híbrida o eléctrica) y la velocidad de giro del husillo (rpm). Donde en promedio se obtuvieron capacidades de extrusión entre 0.6 y 1.43 g/min y porcentajes de extrusión entre el 29 y 36% del material que se logró extruir (material que sale por la boca extrusora) y donde el resto de material se queda hospedado dentro de los alabes del husillo. Del análisis de datos por DCA y ANOVA de los resultados experimentales obtenidos, se determina que cualquier corrida (y por ende cualquier variable de operación) SI genera diferencias y SI son significativamente diferentes; por lo que se debe establecer otro criterio para poder definir cual sería la mejor corrida que brinde los mejores resultados. Para este estudio esta fuera de alcance analizar los datos bajo otro criterio de decisión.

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] Clavexx. (12 de Julio de 2022). Obtenido de Clavexx: <https://clavexxi.es/extrusion-plastico/>
- [2] TecnoBioMetric. (18 de enero de 2019). Obtenido de TecnoBioMetric: <https://www.tecnobiometric.com/maquinas-extrusoras-de-plastico-que-son-y-para-que-sirven/>
- [3] Cantarero, A. (1 de junio de 2023). Ebac. Obtenido de Ebac: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-analisis-de-datos>
- [4] Puerta, A. R. (4 de marzo de 2020). Lifeder. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-cuantitativa/>
- [5] Noriega, D. (6 de enero de 2021). diegonoriega.co. Obtenido de diegonoriega.co: <https://diegonoriega.co/experimentos/>
- [6] CEOLEVEL. (12 de marzo de 2015). Obtenido de CEOLEVEL: <https://www.ceolevel.com/doe-design-of-experiments>
- [7] ConsejosSabios. (4 de marzo de 2021). Obtenido de ConsejosSabios: <https://consejossabios.com.mx/que-es-un-arreglo-ortogonal-de-taguchi/>
- [8] Patrana, V. P. (19 de mayo de 2020). You tube . Obtenido de You tube: <https://www.youtube.com/watch?v=MAJYdBw2jNI>
- [9] Pentón-Saucedo, A. E. & d.-Castillo-Serpa, A. (2012). Aplicación de la Tabla Ortogonal en el diseño de los casos de prueba de Software. *Revista Avanzada Científica*, 15(2), p12.
- [10] 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/>
- [11] TCM. (11 de octubre de 2019). Obtenido de TCM: <https://www.tcmetrologia.com/blog/el-metodo-anova-en-el-diseno-de-experimentos/>
- [12] Blogceta. (s.f.). Obtenido de Blogceta: <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/estabio/disenio-completamente-al-azar-dca/>

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

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, 15/agosto/2023
Oficio No. DEPI002/2023
Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

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

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(la) **C. LUIS MANUEL RAMÍREZ VÁZQUEZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 181050261, 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 período de agosto-diciembre 2023, 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 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 2

Carta de terminación 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, 8/diciembre/2023
Oficio No. DEPI031/2023
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

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

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el **C. LUIS MANUEL RAMÍREZ VÁZQUEZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 181050261, concluyo 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 2023, 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 Alejandro Puga Vargas (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

El presente proyecto de Residencia Profesional es producto del proyecto "Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, "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": (1) convocatoria 2021-ID 1086950, (2) convocatoria 2022(1)-ID 2708283_continuidad y (3) convocatoria 2022(1)_renovación 2023.

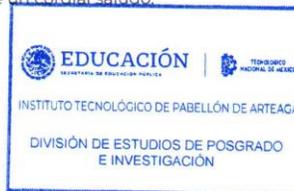
Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

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 | pabellon.tecnm.mx

