



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MEXICO®**

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingenierías

PROYECTO DE TITULACIÓN

*[MANUFACTURA DE UN REACTOR DE PIROLISIS DE 100 L DE
CAPACIDAD CON UNA ARQUITECTURA REFRACTARIA EXTERNA
INTEGRADA]*

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

SERGIO ALEJANDRO RINCON HUIZAR

ASESOR:

[DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR]

Noviembre del 2022



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a todos mis maestros por la dedicación y apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera y que gracias a ellos y a mi esfuerzo culminó mi carrera.

Tengo la fortuna de tener a mis padres y agradezco el apoyo que me han brindado, ya que ellos son parte fundamental en mi vida agradezco que día a día me motivaron para terminar lo que un día inicié les doy las gracias por creer y confiar en mí.

Agradezco a mis compañeros los cuales me brindaron su apoyo cuando lo necesite y me motivaron a seguir adelante.

Agradezco el apoyo incondicional del Doctor José Alonso Dena Aguilar, ya que fue un pilar de apoyo.

Agradezco a mi compañera Erika Nelly Ramírez Rodríguez por la amistad que me ha brindado durante varios años por animarme a continuar con mi carrera, por ser un ejemplo de superación agradezco que fue un apoyo moral y humano.

RESUMEN

“MANUFACTURA DE UN REACTOR DE PIROLISIS DE 100 L DE CAPACIDAD CON UNA ARQUITECTURA REFRACTARIA EXTERNA INTEGRADA”

Por: **SERGIO ALEJANDRO RINCÓN HUIZAR**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1300 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, desarrollo tecnológico, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere al estudio de la obtención de combustibles líquidos a partir de la pirolisis de plásticos de desechos mediante el diseño y construcción de un reactor pirolítico automatizado hecho a la medida para su posible uso dentro de la industria del reciclaje de plásticos.

Un reactor pirolítico es un dispositivo en el cual se lleva a cabo la degradación de la materia por acción de la temperatura hasta convertirla en residuos pirolíticos (gases de pirolisis, líquidos pirolíticos y residuos tipo tinta). Sin embargo, la eficacia y eficiencia de un procedimiento de pirolisis es dependiente de las características técnicas del reactor y de las condiciones de operación establecidas (tipo de material, tiempo, temperaturas de operación, capacidad del sistema de condensación, entre otros).

Por tanto, en este trabajo se propone una metodología de manufactura de un reactor de media capacidad con un sistema de calentamiento integrado a una arquitectura refractaria. En este trabajo se emplearon técnicas de manufactura avanzada, diseño CAD 3D e integración de una arquitectura refractaria con una resistencia eléctrica industrial como sistema de calentamiento.

La propuesta de solución consistió en diseñar y construir un reactor de pirolisis de 100 L de capacidad montado en una estructura de soporte móvil con la capacidad de otorgar grados de inclinación para facilitar las operaciones de descarga. Mediante un diseño experimental ortogonal se validó la funcionalidad del equipo. A partir de residuos plásticos del sector automotriz se logró llegar a la carbonización del material y a obtener combustible condensado a temperatura ambiente (residuo y combustible no cuantificados).

El título del presente estudio se ha actualizado acorde a los alcances y logros obtenidos.

Este trabajo es parte de un proyecto global del diseño y construcción de un reactor pirolítico a nivel prototipo.

El presente trabajo es producto del (1) proyecto “Reactor pirolítico automatizado hecho a la medida para la obtención de biocombustible y su aplicación en la industria del reciclaje de plásticos” de la Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación para Estudiantes 2021 del Tecnológico Nacional de México, (2) proyecto 025-FEIT-2021 de la Convocatoria del Fondo Estatal de Innovación Tecnológica 2021 del Instituto para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes y (3) programa para el Desarrollo Profesional Docente, tipo Superior mediante el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos, ITPA-CA-1, proyecto “Diseño, implementación y control de sistemas mecatrónicos de registro y monitoreo de variables de operación en prototipos de aplicación en la industria del reciclaje de plásticos: trituración, extrusión y pirolisis”.

Dirigido por:

MES. Edgar Zacarías Moreno

Dr. José Alonso Dena Aguilar

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.....	2
1.3 Problema(s) a resolver.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 Alcances y limitaciones.....	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 PROCEDIMIENTO DE PIRÓLISIS.....	7
2.2 REACTOR PIROLÍTICO: COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO..	9
2.3 PIRÓLISIS DE PLÁSTICOS.....	10
2.4 DISEÑOS CAD 3D.....	12
2.5 TÉCNICAS DE MANUFACTURA AVANZADA CNC, SOLDADURA, CORTE Y ABRASIÓN.....	12
2.6 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI.....	13
III. DESARROLLO	15
3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	15
3.1.1 Diseños mecánicos CAD 3D	15
3.1.2 Técnicas de manufactura empleadas.....	15
3.1.3 Diagrama de pareto.....	16
3.1.4 Diagrama Causa-Efecto.....	16
3.1.5 Planillas de inspección.....	17
3.1.6 Poka Yoke.....	17
3.1.7 Kaizen.....	18
3.1.8 Diagrama de flujo.....	18

3.1.9 Histograma.....	18
3.1.10Diseño experimental de estudio.....	20
3.2 Cronograma de actividades.....	21
	Pág.
IV. RESULTADOS.....	22
4.1 DISEÑOS 3D.....	22
4.2 MANUFACTURA DEL EQUIPO	26
4.3 PUESTA EN OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	31
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	39
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	40
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	42
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	4
Figura 2. Proceso básico de pirólisis.....	8
Figura 3. Componentes básicos de un reactor pirolítico.....	9
Figura 4. Diagrama de tipos de reciclado de residuos de plástico.....	10
Figura 5. Proceso de pirolisis de plástico.....	11
Figura 6. La manufactura como un proceso térmico.....	12
Figura 7. Diseño Final del reactor.....	15
Figura 8. Diagrama de pareto.....	16
Figura 9. Causa – Efecto.....	16
Figura 10. Planillas de inspección.....	17
Figura 11. Poka – Yoke.....	17
Figura 12. Diagrama de flujo.....	18
Figura 13. Histograma.....	18
Figura 14. Máquina de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.....	19
Figura 15. Torno CNC DMTG CKE 6150Z.....	19

Figura 16. Máquina de soldadura de Micro alambre.....	20
Figura 17. Factores y niveles experimentales	20
Figura 18. Factores y niveles experimentales empleadas en un arreglo L4(2 ³)....	20
Figura 19 . Cronograma de actividades general.....	21
Figura 20. Diseño CAD. Reactor para pirólisis.....	22
Figura 21. Diseño CAD. Mesa Principal.....	22
Figura 22. Dseño CAD. Tubo de salida para condensador.....	23
Figura 23. Diseño CAD. Porta-reactor.....	23
Figura 24 . Diseño CAD. Resistencia electrica 220 V.....	24
Figura 25. Diseño CAD. Ladrillo refractario de alta temperatura.....	24
Figura 26. Diseño CAD. Horno de ladrillo refractario para reactor.....	25
Figura 27. Diseño CAD. Aro de soporte para tapa.....	25
Figura 28. Diseño CAD. Tapadera de reactor.....	26
Figura 29. Estableciendo medidas para corte	26
Figura 30. Corte de PTR de 2x2.....	27
Figura 31. Soldadura para soporte de reactor	27

	Pág.
Figura 32. Soldadura para base de soporte	27
Figura 33. Soldadura de tapas de PTR del soporte	28
Figura 34. Soldadura de soporte para tapa.....	28
Figura 35. Pulido de soldadura.....	28
Figura 36. Pulido de soporte de porta-reactor.....	29
Figura 37. Pulido del lado inferior de la mesa principal.....	29
Figura 38. Taladrado de soporte para chumacera	29
Figura 39. Acondicionamiento de reactor.....	30
Figura 40. Limpieza de reactor.....	30
Figura 41. Montaje de cama refractaria: aislante cerámico inferior.....	30
Figura 42. Pesado del material–desecho automotriz.....	31
Figura 43. Colocación del material para realizar la prueba.....	31
Figura 44. Llenado del reactor con material.....	32
Figura 45. Reactor en funcionamiento.....	32
Figura 46. Recolectado de material obtenido.....	32

	Pág.
Figura 47. Carbón obtenido del material.....	33
Figura 48. Corrida 1 con uso de aislante térmico de fibra de vidrio.....	33
Figura 49. Material Carbonizado en corrida 1.....	34
Figura 50. Condensación de combustible en la tapa superior.....	34
Figura 51. Recolecta de la condensación de combustible en la tapa superior.....	34
Figura 52. Condensación de combustible.....	35
Figura 53. Corrida 2 Sin uso de aislante térmico de fibra de vidrio.....	35
Figura 54. Material carbonizado en corrida 2.....	36
Figura 55. Material no carbonizado.....	36
Figura 56. Muestra de material no carbonizado.....	37
Figura 57. Material carbonizado en corrida 4.....	37

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 estudio de la obtención de combustibles líquidos a partir de la pirolisis de plásticos de desechos mediante el diseño y construcción de un reactor pirolítico automatizado hecho a la medida para su posible uso dentro de la industria del reciclaje de plásticos.

Un reactor pirolítico es un dispositivo en el cual se lleva a cabo la degradación de la materia por acción de la temperatura hasta convertirla en residuos pirolíticos (gases de pirolisis, líquidos pirolíticos y residuos tipo tinta). Sin embargo, la eficacia y eficiencia de un procedimiento de pirolisis es dependiente de las características técnicas del reactor y de las condiciones de operación establecidas (tipo de material, tiempo, temperaturas de operación, capacidad del sistema de condensación, entre otros).

Considerando lo anterior, en este trabajo se propone una metodología de manufactura de un reactor de 100 L de capacidad con una resistencia eléctrica industrial alojada a un horno refractario. En este trabajo se emplearon técnicas de manufactura avanzada, diseño CAD 3D e integración de una arquitectura refractaria con una resistencia eléctrica industrial como sistema de calentamiento.

El título del presente estudio se ha actualizado acorde a los alcances y logros obtenidos.

Este trabajo es parte de un proyecto global del diseño y construcción de un reactor pirolítico a nivel prototipo.

El presente trabajo es producto del (1) proyecto “Reactor pirolítico automatizado hecho a la medida para la obtención de biocombustible y su aplicación en la industria del reciclaje de plásticos” de la Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación para Estudiantes 2021 del Tecnológico Nacional de México, (2) proyecto 025-FEIT-2021 de la Convocatoria del Fondo Estatal de Innovación Tecnológica 2021 del Instituto para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes y (3) programa para el Desarrollo Profesional Docente, tipo Superior mediante el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos, ITPA-CA-1, proyecto “Diseño, implementación y control de sistemas mecatrónicos de registro y monitoreo de variables de operación en prototipos de aplicación en la industria del reciclaje de plásticos: trituración, extrusión y pirolisis”.

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 diseño y construcción de un reactor de pirolisis con sistema de calentamiento y arquitectura refractaria.

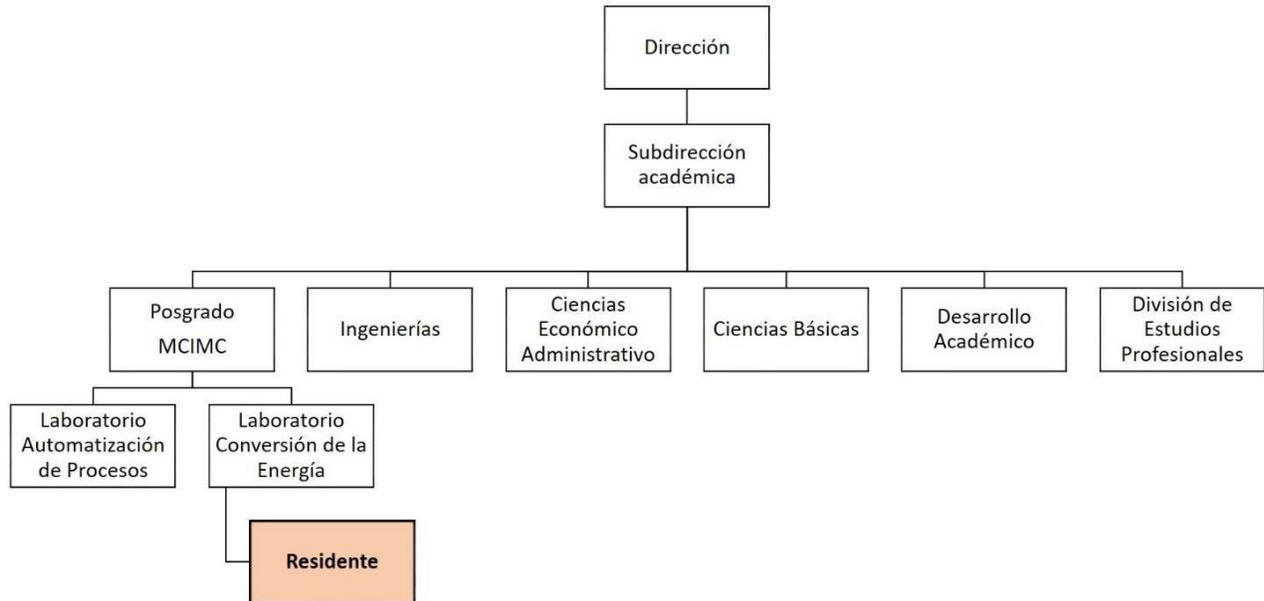


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

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

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

1. Manufactura de un reactor de pirolisis:
 - Acondicionamiento de un recipiente cilíndrico de recicle como reactor de pirolisis.
 - Manufactura de una estructura de soporte móvil.
 - Puesta en operación del reactor pirolítico de trabajo.
2. Sistema de calentamiento y estructura refractaria:
 - Integración de una resistencia eléctrica industrial.
 - Integración de un horno refractario.

1.4 Justificación

Los plásticos de un solo uso ocasionan efectos negativos al ambiente. Dentro de los métodos de reciclaje encontramos la pirolisis como una técnica capaz de otorgarles un valor agregado a los desechos plásticos al transformarlos en aceites pirolíticos, carbones activados o residuos tipo tinta con propiedades energéticas. Un reactor de pirolisis, puede ser una opción para las PyMes y MiPyMes dedicadas a la industria del reciclaje como una alternativa para dar valor agregado a sus actividades a través de la tecnología propuesta. Por tanto, el presente estudio puede ser parte de la cadena de valor de los plásticos de un solo uso para obtener combustibles líquidos.

El alcance del proyecto es la manufactura de un reactor pirolítico de 100 L de capacidad e integrar al mismo (1) un sistema de calentamiento por medio de una resistencia eléctrica industrial y (2) una arquitectura refractaria para mejorar el proceso de degradación térmica al evitar pérdidas considerables de transferencia de calor.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Manufactura un reactor de pirolisis de 100 L de capacidad con un sistema de calentamiento y arquitectura refractaria integrada mediante el uso de técnicas de diseño CAD 3D y manufactura avanzada para llevar a cabo reacciones pirolíticas de plásticos de desecho.

1.5.2 Objetivos específicos

- Elaborar los diseños mecánicos CAD 3D del equipo mediante software de diseño especializado para mostrar la integración de los elementos propuestos.
- Construir el equipo de pirolisis mediante técnicas de manufactura avanzada para la obtención del reactor pirolítico.
- Integrar un sistema de calentamiento mediante una resistencia eléctrica industrial para llevar a cabo pruebas experimentales.
- Integrar una arquitectura refractaria mediante ladrillos refractarios para llevar a cabo pruebas experimentales.
- Realizar pruebas preliminares de la puesta en práctica del reactor mediante un arreglo de Taguchi para validar la eficiencia en la operación del reactor pirolítico obtenido.

1.6 Alcances y limitaciones

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

Se llevan a cabo pruebas preliminares de funcionamiento del equipo con materiales plásticos de desecho automotriz.

No se contempla la inclusión de un sistema de condensación adjunto.

Esta fuera de alcance del proyecto la aplicación de cualquier técnica de diseño de productos o de calidad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCEDIMIENTO DE PIRÓLISIS

La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión. Los residuos líquidos y gaseosos pueden aprovecharse mediante combustión a través de un ciclo de vapor para la producción de energía eléctrica. El residuo sólido puede utilizarse como combustible en instalaciones industriales, como, por ejemplo, en plantas cementeras. Las características básicas de dicho proceso son las siguientes [1]:

- El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.
- Las temperaturas de trabajo son inferiores a las de la gasificación, oscilando entre 300°C y 800°C.
- Como resultado del proceso se obtiene:
 1. Gas, cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con los ya existentes en los residuos. Este gas es muy similar al gas de síntesis obtenido en la gasificación, pero hay una mayor presencia de alquitranes, ceras, etc. en detrimento de gases, debido a que la pirólisis trabaja a temperaturas inferiores a la gasificación.
 2. Residuo líquido, compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, ceras formados al condensar a temperatura ambiente.
 3. Residuo sólido, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.

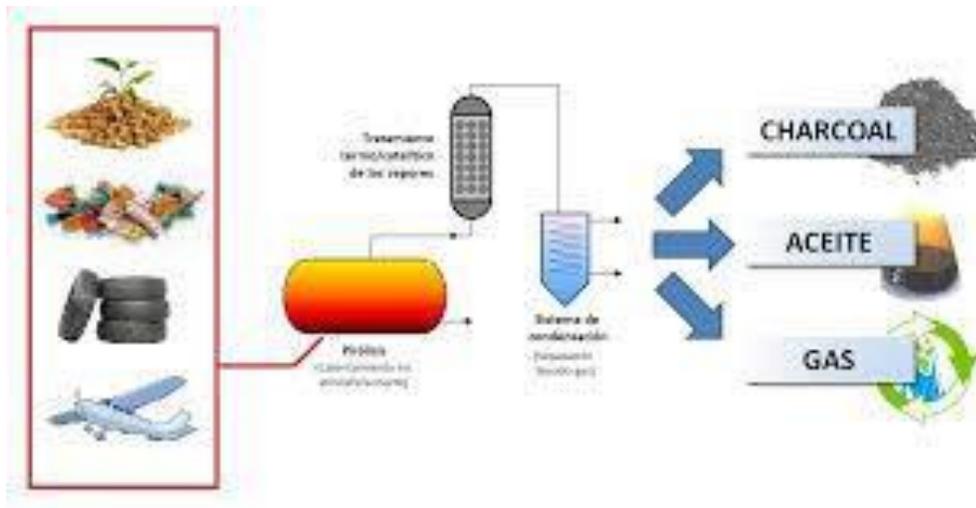


Figura 2. Proceso básico de pirólisis [2].

La pirólisis se lleva a cabo habitualmente a temperaturas de entre 400 °C y 800 °C. A estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis. Las proporciones relativas de los elementos producidos dependen de la composición de los residuos, de la temperatura y del tiempo que ésta se aplique. Una corta exposición a altas temperaturas recibe el nombre de pirólisis rápida, y maximiza el producto líquido. Si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, predominarán las cenizas sólidas. El calor requerido para la pirólisis es generado por combustibles tradicionales (gas natural, petróleo, etc.), o mediante el uso de electricidad para crear plasmas de altas temperaturas. Otra de las no tan modernas técnicas de tratamiento pirolítico es la “gasificación”, definida como la transformación de una sustancia sólida o líquida en una mezcla gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor. La oxidación parcial se consigue normalmente restringiendo el nivel de oxígeno (o aire) en la cámara de postcombustión (pirólisis). El proceso se optimiza para generar la máxima cantidad de productos gaseosos de descomposición, normalmente monóxido de carbono, hidrógeno, metano, agua, nitrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos superiores [3].

2.2 REACTOR PIROLÍTICO: COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO

La pirólisis del plástico es un procedimiento de destilación que permite transformar residuos plásticos en carburante. Los residuos son calentados a más de 400 °C en un depósito (reactor) donde se transforma en gas. Según las temperaturas de condensación (refrigeración) de este gas, se obtiene diferentes tipos de carburantes: (1) entre 390 y 170 °C, el gas condensado produce gasóleo (diésel), (2) entre 210 y 20 °C, el gas condensado produce gasolina y (3) por debajo de los 20 °C queda gas residual incondensable que pueda servir para alimentar el calor del procedimiento. Empleando polipropileno (PP) se obtiene gasolina y empleando polietileno de alta (PEAD) y baja densidad (PEBD) se obtiene diésel [4].

Un reactor de pirólisis es un recipiente donde se coloca el material y se calienta, la llama o fuente de calor no está en contacto con el material. A la cámara donde se introdujo el plástico se le retira el oxígeno para evitar reacciones de combustión o quema. Cuando el plástico alcanza su temperatura de evaporación, el gas fluye del recipiente hacia un condensador, en el cual se van recuperando por condensación los diferentes compuestos o combustibles que se pueden obtener y los cuales son recolectados ya en forma líquida. Si a estos últimos combustibles líquidos se someten a calentamientos con temperaturas mayores se pueden obtener mas gas combustible y líquidos como queroseno, gasolina o diésel [5].

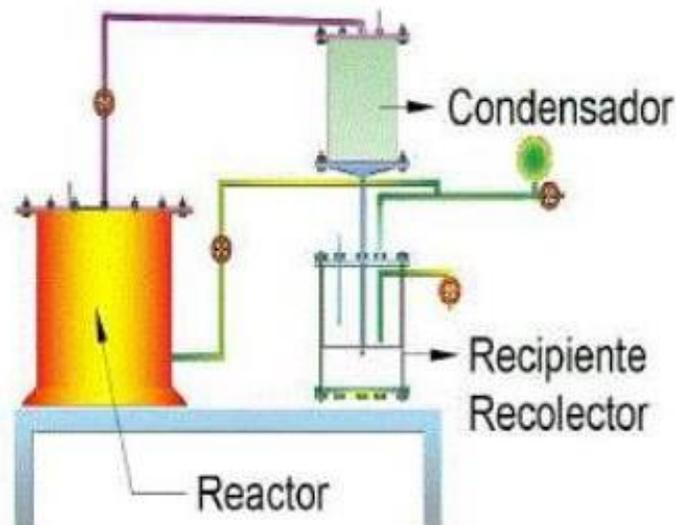


Figura 3. Componentes básicos de un reactor pirolítico [5].

2.3 PIROLISIS DE PLÁSTICOS

La pirólisis es una técnica de reciclaje en la que se da la descomposición térmica de los polímeros en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo, normalmente a temperaturas entre 300 y 900 °C. Dependiendo de la temperatura a la cual se dé la pirólisis y otras condiciones de operación del proceso (como presión, flujos o carga de materia prima, velocidad de calentamiento, tiempo de exposición, etc.), pueden obtenerse mezclas de productos sólidos, líquidos y/o gaseosos en diferente proporción y con diferente composición. Normalmente los productos sólidos se clasifican como cenizas y corresponden mayoritariamente a materiales inertes. Los productos gaseosos pueden clasificarse como gas de síntesis (syngas) y contienen los gases no condensables, como H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, CO, CO₂, entre otros. Por último, el producto líquido suele clasificarse como biocombustible (o combustible sintético) y consiste en una mezcla de olefinas, fenoles y compuestos aromáticos [6].

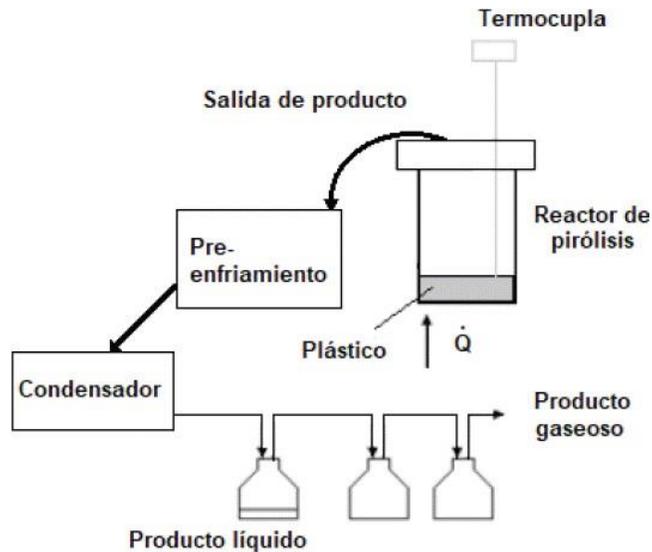


Figura 4. Diagrama del proceso de pirólisis [6].

El reciclaje es un factor de gran importancia porque permite ahorrar energía, evita la explotación de los recursos naturales, reduce la contaminación, permite alargar la vida útil de los vertederos y un largo, etc. De esta forma, el reciclaje contribuye a eliminar los residuos generados, a ahorrar en los procesos industriales y a reducir la explotación de los recursos naturales. Existen diversos tipos de métodos de reciclaje,

siendo uno de ellos el reciclaje energético, este tipo de proceso se utiliza en materiales cuyo fin es el aprovechamiento energético y cuyos residuos no pueden ser clasificados y recuperados; un ejemplo de este reciclaje es la pirólisis. Dentro de este campo, el reciclaje de plástico se puede realizar por pirólisis [7].

En el caso de los plásticos, la pirólisis es la ruptura térmica de una resina (despolimerización) en ausencia total o parcial de aire, acompañada de la generación simultánea de aceites y gases de pirólisis adecuados para la utilización química o la generación de energía. La pirólisis convierte los polímeros en un líquido. El calentamiento de plásticos como el polimetil-metacrilato (PMMA), el poliestireno (PS) y homopolímeros del acetal en ausencia de oxígeno produce monómeros de muy alto rendimiento. Estos monómeros pueden ser aislados, purificados y reutilizados para hacer nuevos polímeros [8].

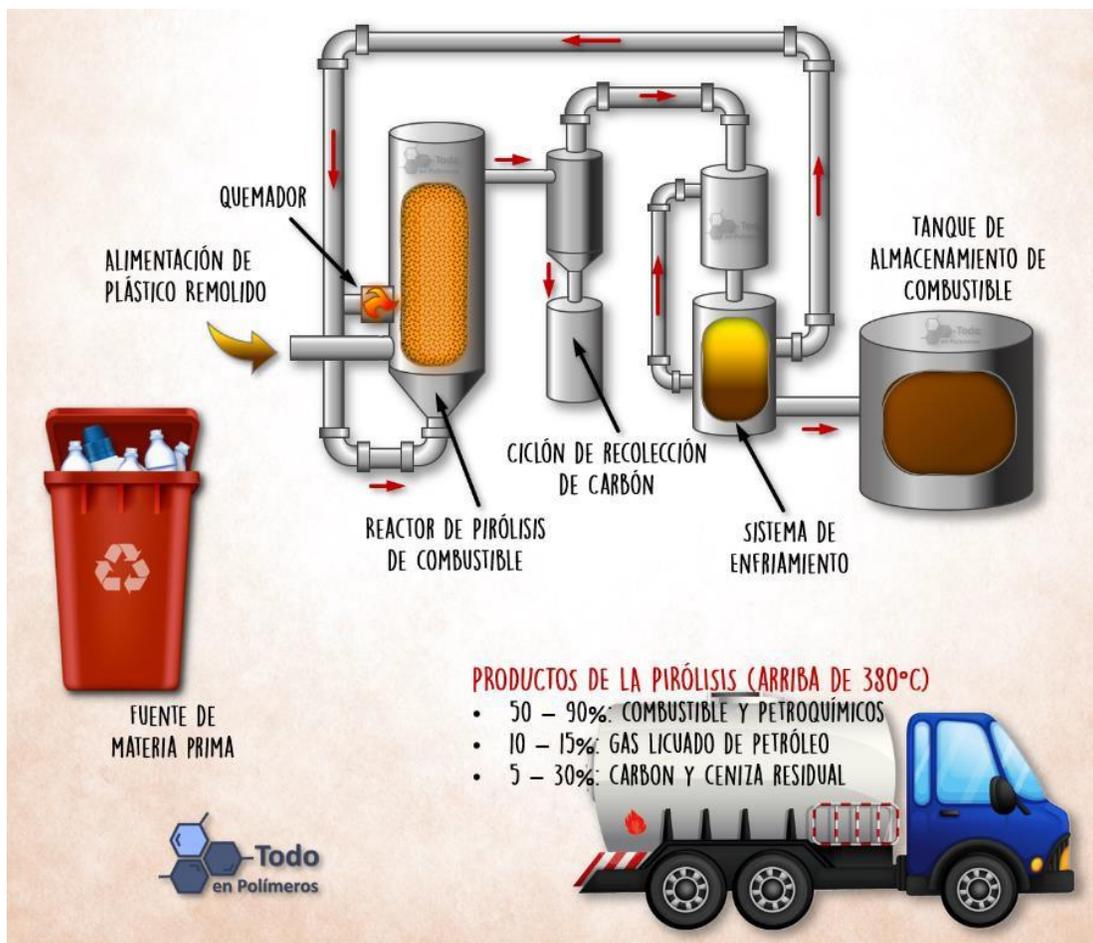


Figura 5. Proceso de pirólisis de plásticos [8].

2.4 DISEÑOS CAD 3D: APLICACIONES

CAD en 3D, o diseño tridimensional asistido por computadora, es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado. Usado por arquitectos, ingenieros y muchos profesionales más, el software de diseño CAD en 3D representa y visualiza con precisión los objetos mediante una colección de puntos en tres dimensiones en la computadora [9].

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

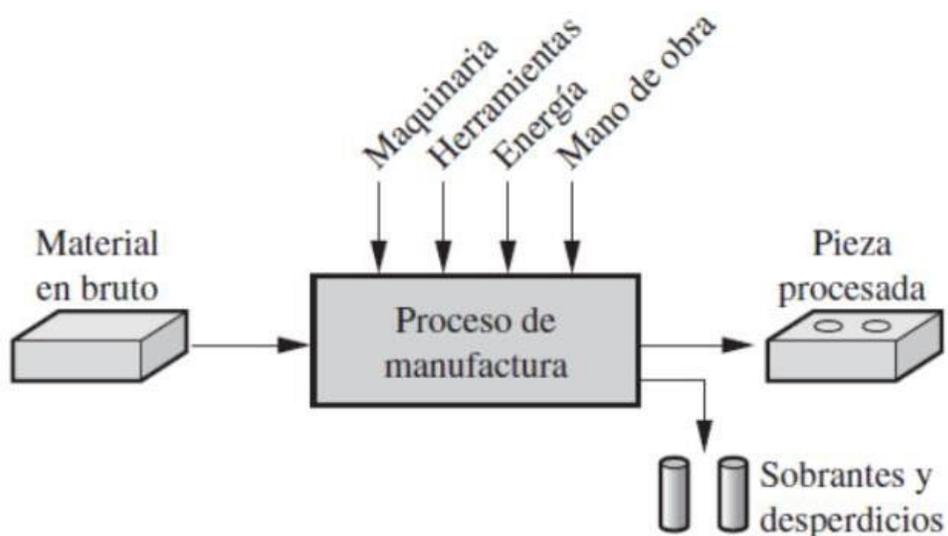
La manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos; la manufactura también incluye el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. Casi siempre, la manufactura se ejecuta como una secuencia de operaciones. Cada una de éstas lleva al material más cerca del estado final que se desea [10].

El proceso de maquinado CNC es utilizado para el mecanizado de contornos y superficies de alta precisión que no se logran con máquinas convencionales como fresadora y torno, y en que, de ser posible, toma un tiempo excesivo, recurso muy escaso en este tipo de trabajos. Las aplicaciones ideales para este proceso son cuando el producto presenta radios y contornos complejos que necesitan maquinado en 3 o más ejes simultáneamente y que son cantidades considerables como para ser económicamente aceptables por maquinado convencional. Estas ventajas aunadas a la rapidez en la ejecución de los trabajos redundan en costos de mercado muy competitivos, especialmente en lotes de trabajo grandes o volúmenes altos [11].

La soldadura se refiere a la unión o fusión de piezas mediante el uso de calor y/o compresión para que las piezas formen un continuo. La fuente de calor en la soldadura suele ser una llama de arco producida por la electricidad de la fuente de potencia de soldadura. La fusión de las piezas puede ocurrir únicamente en base al calor producido por el arco para que las piezas de soldadura se fundan entre sí. Generalmente se funde un metal de relleno en la costura de soldadura, ya sea usando un alimentador de alambre

a través de la pistola de soldar (soldadura MIG/MAG) o usando un electrodo de soldadura de alimentación manual. En esta situación, el metal de relleno debe tener aproximadamente el mismo punto de fusión que el material soldado [12].

Las herramientas de corte y abrasión, sin duda han contribuido enormemente a facilitar diversas tareas tanto industriales como domésticas. Taladradoras, fresadoras, radiales, tornos son algunos ejemplos de estas herramientas. El uso de una u otra, así como el instrumento de corte a emplear vendrá determinado por el material a cortar, su volumen y el tipo de corte. Las herramientas de abrasión son instrumentos que a base de ejercer fricción sobre un material más blando terminan desgastándolo. El material a trabajar es el que nos dictará qué tipo de herramientas se deben utilizar [13].



].

Figura 6. La manufactura como un proceso térmico [10].

2.6 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI

El método Taguchi es una herramienta diseñada para controlar y mejorar la calidad de los productos. Utiliza la estadística para establecer unos límites de control que garantizan un mínimo de calidad en los productos y desechar aquellos que no cumplan con ella. Taguchi es un método que se diferencia del método tradicional. En el método tradicional se establece un intervalo de tolerancia que permite diferenciar entre calidad y pérdida de calidad. Así, cuando el producto se situaba dentro de la franja de tolerancia

(recuadro azul), se consideraba que no sufría ningún tipo de pérdida de calidad. Sin embargo, Taguchi plantea una pérdida de calidad gradual. De igual forma que el método tradicional, se establecen unos límites de especificación que no podían ser superados. Asimismo, como podemos observar en el gráfico, la calidad óptima se sitúa en punto en el que la pérdida esperada $E[L] = 0$. Conforme se aleja la función en dirección a los límites superiores e inferiores, se produce una pérdida de calidad. Taguchi se basa en una modificación de las matrices ortogonales de $n \times n$. El resultado obtenido fueron los arreglos o matrices ortogonales en las cuales se determina qué y cuántos experimentos se deben llevar a cabo para conocer el producto de mayor calidad. En la matriz ortogonal, cada columna hace referencia a los diferentes factores que intervienen en el experimento. Por el contrario, cada fila tiene relación con cada uno de los experimentos propuestos [14].

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1 Diseños CAD 3D

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

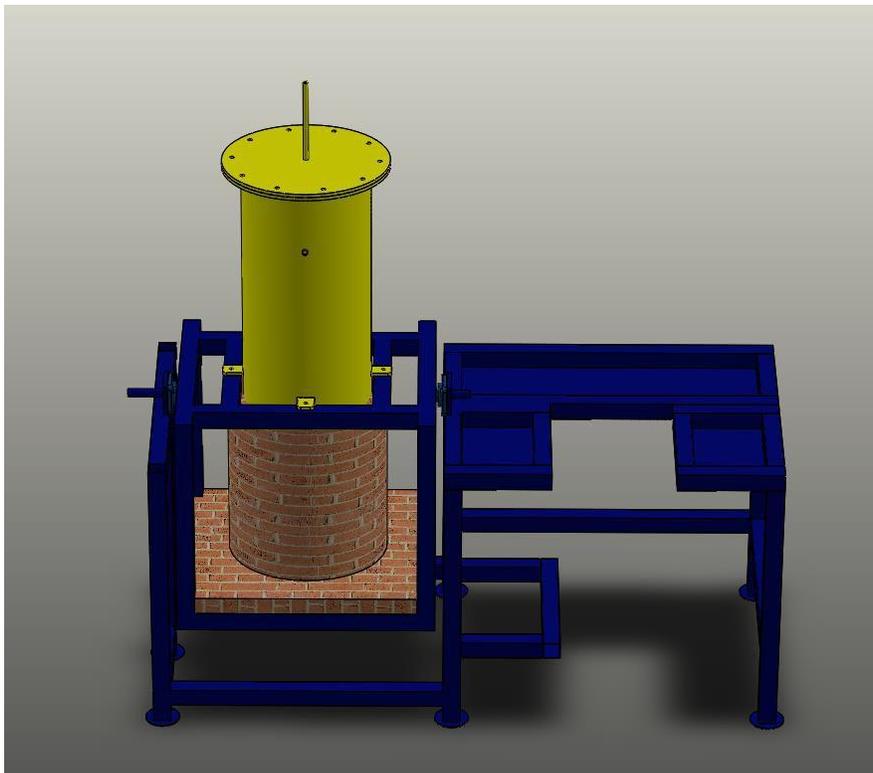


Figura 7. Diseño final del reactor.

3.1.2 Técnicas y equipos de manufactura empleados

La manufactura del equipo pirolizado se llevó a cabo empleando máquinas de manufactura CNC especializadas y ejecutando operaciones manuales usando técnicas convencionales de corte, cizallado, perforación, desbaste, entre otros. Utilizando algunas herramientas de ingeniería

3.1.3 DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una variación del histograma tradicional, puesto que en el Pareto se ordenan los datos por su frecuencia de mayor a menor. El principio de Pareto, también conocido como la regla 80 -20 enunció en su momento que el 20% de la población, poseía el 80% de la riqueza.

El objetivo entonces de un diagrama de Pareto es el de evidenciar prioridades, puesto que en la práctica suele ser difícil controlar todas las posibles inconformidades de calidad de un producto o servicios.



Figura 8. Diagrama de Pareto

3.1.4 DIAGRAMAS DE CAUSA – EFECTO

La variabilidad de una característica de calidad es un efecto o consecuencia de múltiples causas, por ello, al observar alguna inconformidad con alguna característica de calidad de un producto o servicio, es sumamente importante detallar las posibles causas de la inconsistencia.

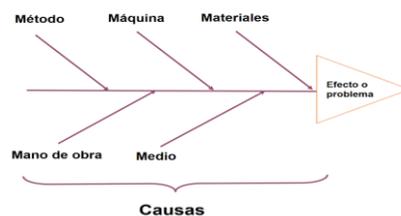


Figura 9. Causa -Efecto

3.1.5 PLANILLAS DE INSPECCIÓN

Las planillas de inspección son una herramienta de recolección y registro de información. La principal ventaja de éstas es que dependiendo de su diseño sirven tanto para registrar resultados, como para observar tendencias y dispersiones, lo cual hace que no sea necesario concluir con la recolección de los datos para disponer de información de tipo estadístico.

El diseño de una planilla de inspección precisa de un análisis estadístico previo, ya que en ella se preestablece una escala para que en lugar de registrar números se hagan marcaciones simples.



Figura 10. Planillas de inspección

3.1.6 POKA – YOKE

prueba de errores. Lo que se busca con esta forma de diseñar los procesos es eliminar o evitar equivocaciones, ya sean de origen humano o automatizado. Este sistema se puede implantar también para facilitar la detección de errores.

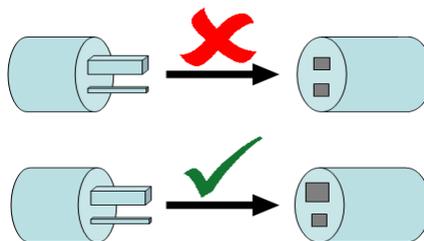


Figura 11. Poka – Yoke

3.1.7 KAIZEN

El Kaizen sirve para detectar y solucionar los problemas en todas las áreas de la organización y tiene como prioridad revisar y optimizar todos los procesos que se realizan en la misma.

3.1.8 DIAGRAMAS DE FLUJO

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de la secuencia de etapas, operaciones, movimientos, esperas, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso. Su importancia consiste en la simplificación de un análisis preliminar del proceso y las operaciones que tienen lugar al estudiar características de calidad.



Figura 12. Diagrama de flujo

3.1.9 HISTOGRAMAS

Un histograma o diagrama de barras es un gráfico que muestra la frecuencia de cada uno de los resultados cuando se efectúan mediciones sucesivas.

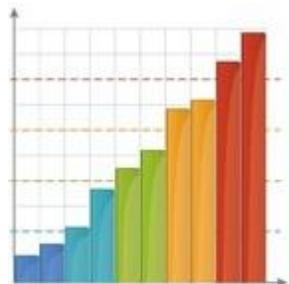


Figura 13. Histograma

Para la manufactura del equipo, se emplearon máquinas como

- Cortadora de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.
- Torno CNC DMTG CKE 6150Z.
- Máquina soldadora de Micro alambre marca LINCOLN ELECTRIC.



Figura 14 . Maquina de plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.



Figura 15. Torno CNC DMTG CKE 6150Z.



Figura 16. Maquina de soldadura de Micro alambre.

3.1.10 Diseño experimental de estudio

Se seleccionó un arreglo ortogonal de Taguchi L4(2³) para realizar pruebas a nuestro equipo.

Factor (variable de operación)	Nivel 1	Nivel 2	Observaciones
Cantidad de material de prueba (kg)	4	8	Material triturado
Tiempo de operación (h)	3	4	Al termino del tiempo de operación, dejar enfriar sistema y retirar residuos (almacenar)
Uso de aislante térmico de fibra de vidrio	Si	No	

Figura 17. Factores y niveles experimentales.

Se realizaron las siguientes corridas con la finalidad de destacar resultados de carbonizacion

Corrida	1	2	3
1	4	3	Si
2	4	4	No
3	8	3	No
4	8	4	Si

Figura 18. Factores y niveles experimentales empleadas en un arreglo L4(2³).

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	1-15	16-31	1-15	16-28	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30
Revisión bibliográfica												
Diseños mecánicos												
Manufactura												
Pruebas experimentales												
Asesorías												
Evaluación y seguimiento de asesorías												
Evaluación de reporte												
Informe semestral												
Elaboración reporte técnico (productos entregables)												

Figura 19. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

4.1 DISEÑOS 3D

Se presentan los diseños del equipo obtenidos en SolidWorks.

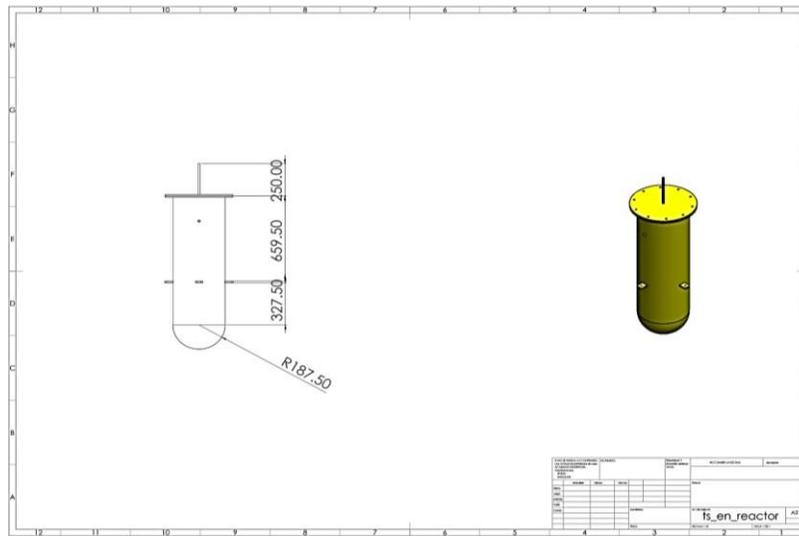


Figura 20 . Diseño CAD. Reactor para pirólisis.

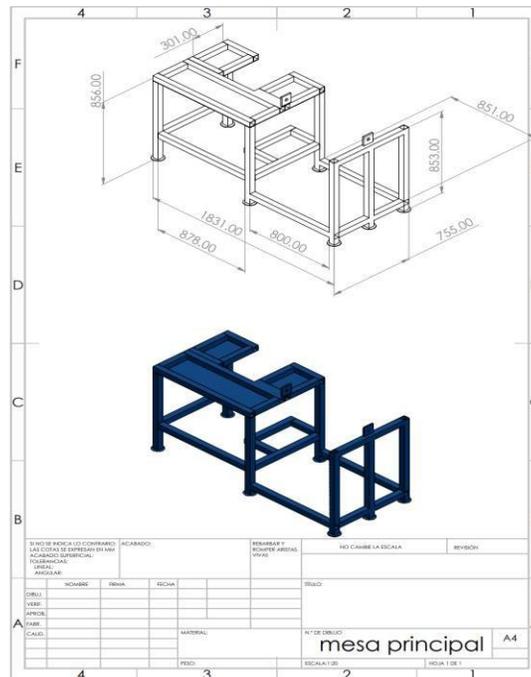


Figura 21. Diseño CAD. Mesa principal.

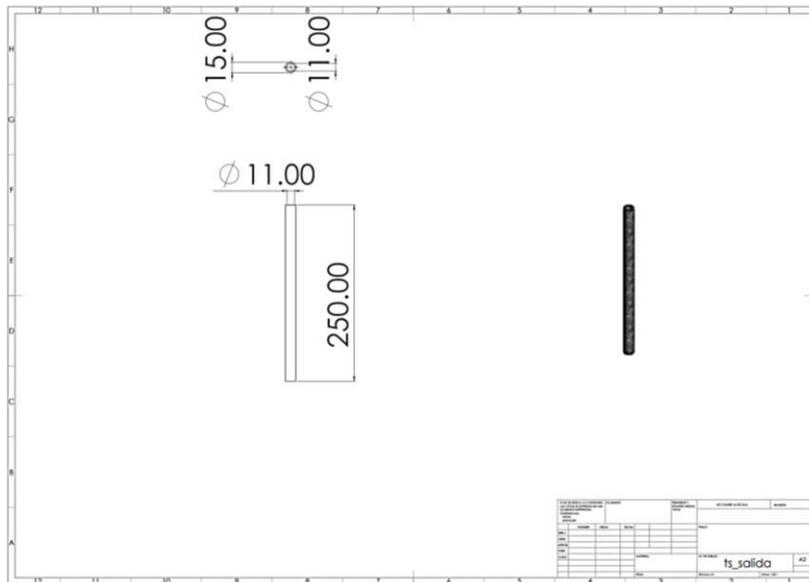


Figura 22. Dseño CAD. Tubo de salida para condensador.

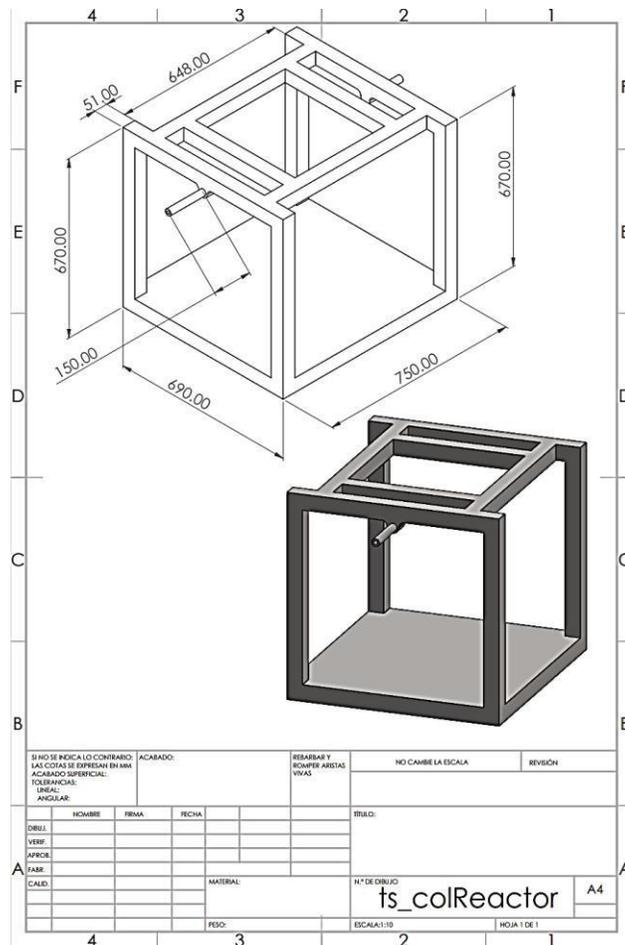


Figura 23. Diseño CAD. Porta-reactor.

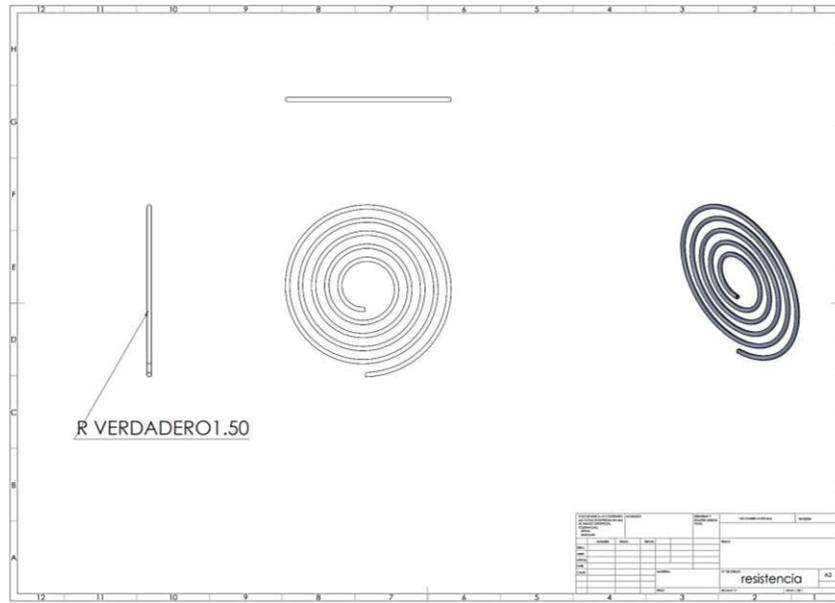


Figura 24. Diseño CAD. Resistencia electrica 220 V.

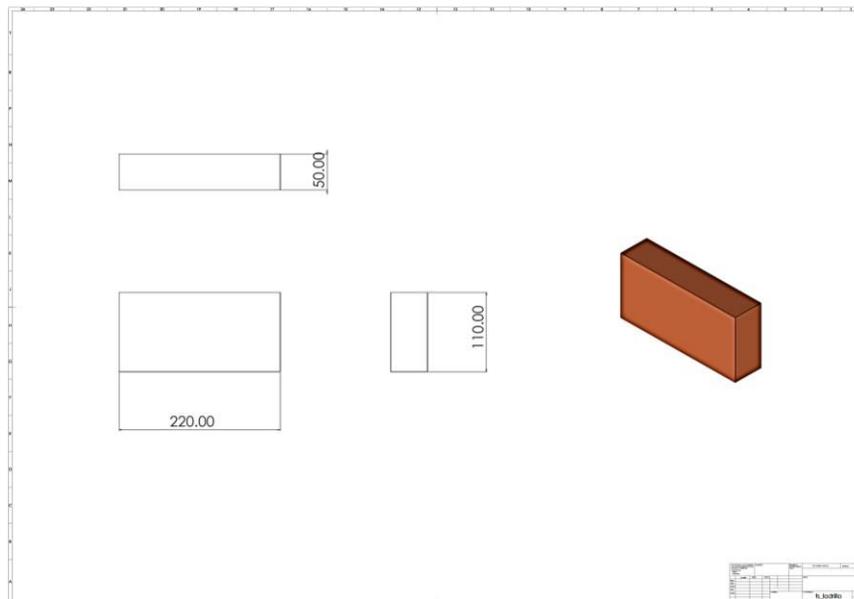


Figura 25. Diseño CAD. Ladrillo refractario de alta temperatura.

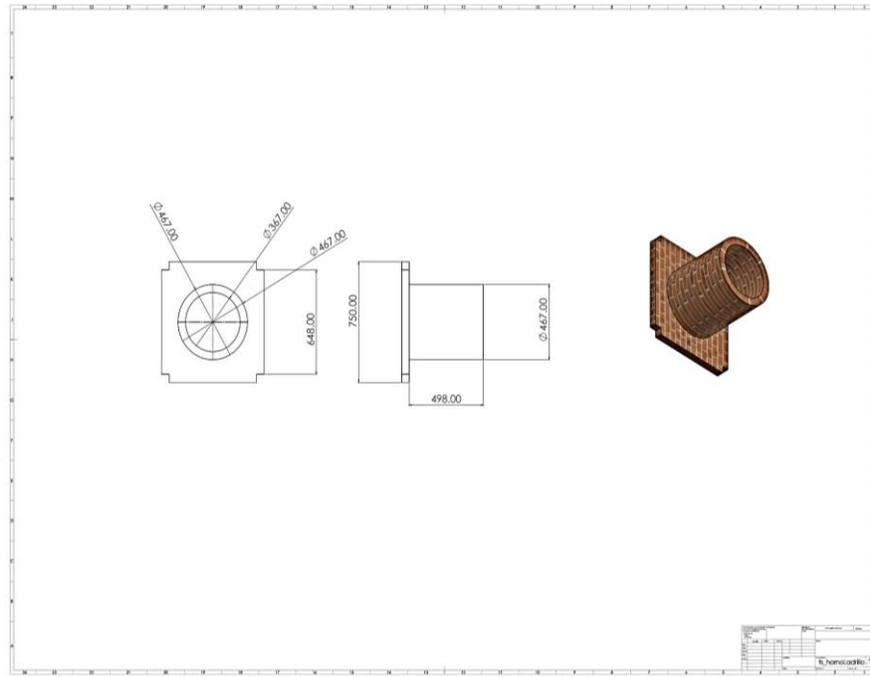


Figura 26. Diseño CAD. Horno de ladrillo refractario para reactor.

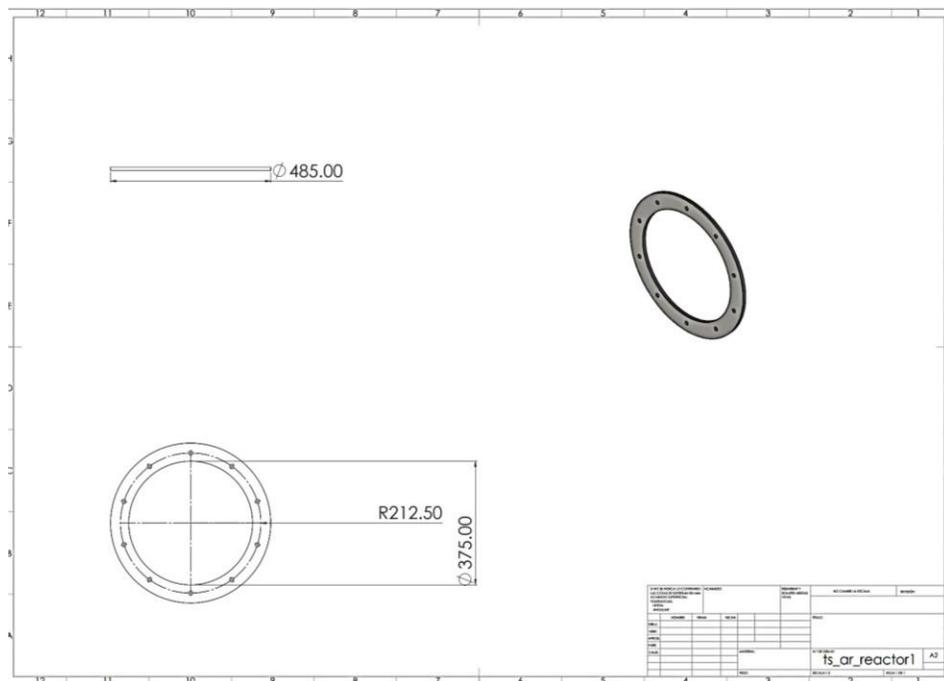


Figura 27. Diseño CAD. Aro de soporte para tapa.

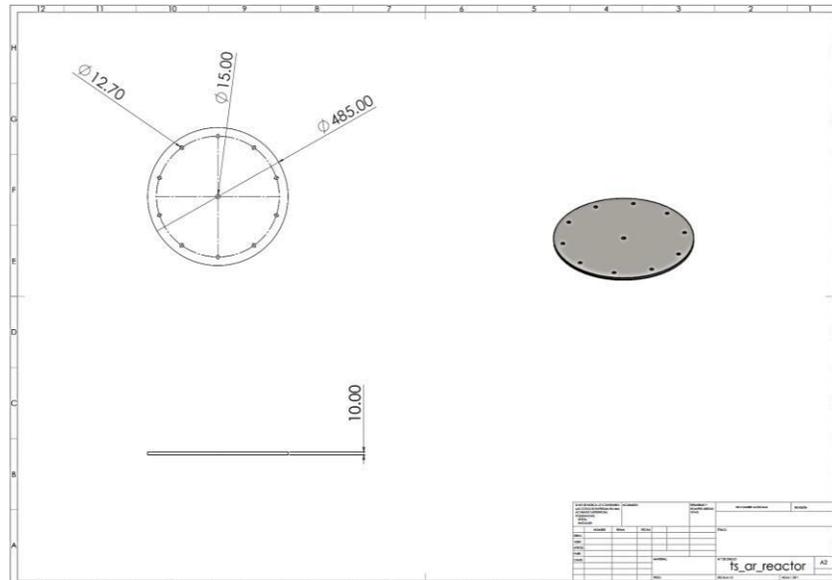


Figura 28. Diseño CAD. Tapadera de reactor.

4.2 MANUFACTURA DEL EQUIPO

Se presentan etapas de la manufactura del reactor.



Figura 29. Estableciendo medidas para corte.

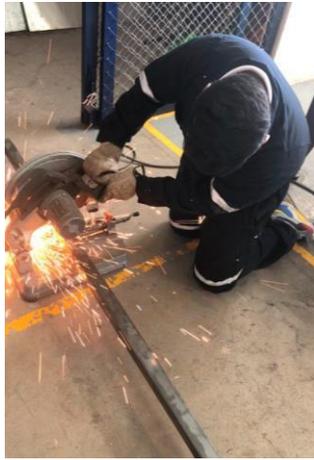


Figura 30. Corte de PTR de 2x2.



Figura 31. Soldadura para soporte de reactor.



Figura 32. Soldadura para base de soporte.



Figura 33. Soldadura de tapas de PTR del soporte.

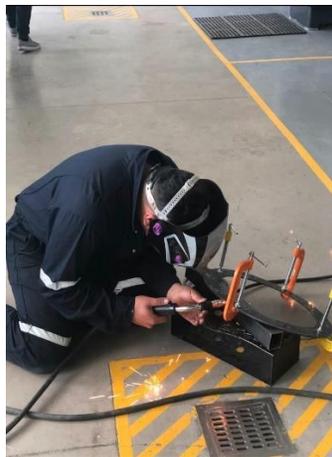


Figura 34. Soldadura de soporte para tapa.



Figura 35. Pulido de soldadura.



Figura 36. Pulido de soporte de porta reactor.

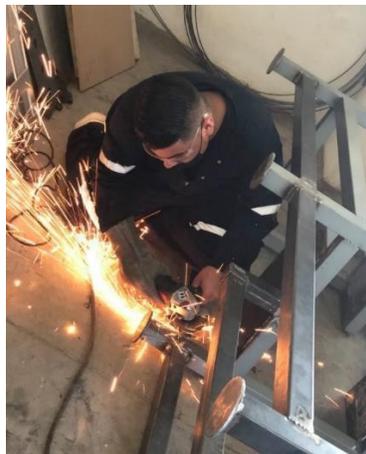


Figura 37. Pulido del lado inferior de la mesa principal.



Figura 38. Taladrado de soporte para chumacera.



Figura 39. Acondicionamiento de reactor.



Figura 40. Limpieza de reactor.



Figura 41. Montaje de cama refractaria: aislante cerámico inferior.

4.3 PUESTA EN OPERACIÓN DEL EQUIPO

Se realizaron pruebas de pirolisis empleando materiales de desecho automotriz triturado. Se empleó el diseño de Taguchi L4(23) seleccionado.



Figura 42. Pesado del material–desecho automotriz.



Figura 43. Colocación del material para realizar la prueba.



Figura 44. Llenado del reactor con material.



Figura 45. Reactor en funcionamiento.



Figura 46. Recolectado de material obtenido.



Figura 47. Carbón obtenido del material.

4.4 RESULTADOS DE CORRIDAS

Corrida 1

Se realizó una corrida de 4 kilos de material triturado a un tiempo de 3 horas, al finalizar la corrida se destacó que el material fue carbonizado a su 100 % se observó que hubo una mínima cantidad de condensación de combustible en la tapa superior.



Figura 48. Corrida 1 con uso de aislante térmico de fibra de vidrio.



Figura 49. Material carbonizado en corrida 1.



Figura 50. Condensación de combustible en la tapa superior.



Figura 51. Recolecta de la condensación de combustible en la tapa superior.



Figura 52. Condensación de combustible.

Corrida 2

Se realizó una corrida de 4 kilos de material triturado a un tiempo de 3 horas, al finalizar la corrida se destacó que el material fue carbonizado a su 100 % se observó que hubo una mínima cantidad de condensación de combustible en la tapa superior. A diferencia de la corrida 1 en esta corrida fue retirado el aislante térmico de fibra de vidrio.



Figura 53. Corrida 2 sin uso de aislante térmico de fibra de vidrio.



Figura 54. Material carbonizado en corrida 2.

Corrida 3

Se realizó una corrida de 8 kilos de material triturado a un tiempo de 3 horas, al finalizar la corrida se destacó que el material no fue carbonizado a su 100 % se observó que el material quedó en un término tipo chapopote la corrida no tuvo éxito.



Figura 55. Material no carbonizado.



Figura 56. Muestra de material no carbonizado.

Corrida 4

Se tenía una corrida de 8 kilos con 4 horas, pero una vez realizada la corrida 3 se destacó que no sería un tiempo suficiente para que el material se carbonizara entonces se aumentó a un tiempo de 7 horas al finalizar dicho tiempo el material fue carbonizado a su 100 % y se observó que también hubo condensación de combustible en la tapa superior.



Figura 57. Material carbonizado en corrida 4.

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 construir un reactor de pirólisis de 100 L de capacidad con una estructura de soporte que permitió el montaje del reactor. También se logró integrar una estructura de soporte al prototipo junto con un sistema de calentamiento a base de una resistencia eléctrica industrial. De igual manera, se integró al equipo una arquitectura refractaria a base de ladrillo refractario para coadyuvar a mejorar el comportamiento del equipo durante las pruebas preliminares de pirólisis. Mediante un diseño experimental ortogonal se validó la funcionalidad del equipo. A partir de residuos plásticos del sector automotriz se logró llegar a la carbonización del material y a obtener combustible condensado a temperatura ambiente (residuo y combustible no cuantificados).

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, uso de software de diseño especializado, técnicas de maquinado y manufactura, propiedades de los materiales, 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 métodos de diseño 3D y maquinado incluidos en la metodología de operación requerida.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de tecnología, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería 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.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. (s. f.). Valorización energética/tratamientos térmicos: pirólisis. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx>
- (2) Insignia. (19 nov 2018). Pirólisis. Recuperado de <https://elinsignia.com/2018/11/19/pirolisis-2/>
- (3) Pirólisis, una técnica de tratamiento térmico no tradicional. Recuperado de <https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/1463/Pirolisis.pdf>
- (4) Low-Tech Lab. (s. f.). Pirólisis de plásticos. Recuperado de https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Pyrolyseur_de_plastique/es
- (5) Fernández, H. (s. f.). ¿Qué tipos de máquinas se utilizan para la pirólisis de plásticos?. Recuperado de <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-tipo-de-maquinas-se-utilizan-para-la-pirolisis-de-plasticos>
- (6) Amar-Gil, S., Ardila-Arias, A. N. & Barrera-Zapata, R. (2019). Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos. Ingeniería y Desarrollo, 37(2). doi: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.2.1285>
- (7) La trinchera reciclados. (s. f.). Tipos de reciclaje y en que consisten. Recuperado de <https://recicladoslatrinchera.com/tipos-de-reciclaje-y-en-que-consisten/>
- (8) Todo en polímeros. (14 ago 2020). La pirólisis como fuente de materia prima. Recuperado de <https://todoenpolimeros.com/2020/08/14/la-pirolisis-como-fuente-de-materia-prima/>
- (9) AUTODESK. (s. f.). ¿Qué es el software de diseño CAD en 3D?. Recuperado de <https://www.autodesk.mx/solutions/3d-cad-software>
- (10) Correa-Tique. (2016). Diseño y construcción de un prototipo de un equipo de corte tipo torno para la fabricación de soportes tipo buje para vehículos (LUV y MAZDA) en caucho reutilizado para la empresa cauchos bosa (proyecto de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- (11) Collado acero. (s. f.). Maquinado CNC. Recuperado de <https://www.collado.com.mx/Views/Procesos/Fabricacion/Maquinado%20CNC#:~:t>

ext=El%20proceso%20de%20maquinado%20CNC,en%20este%20tipo%20de%20trabajos

- (12) Kemppi. (s. f.). ¿Qué es la soldadura?. Recuperado de <https://www.kemppi.com/es-ES/asistencia/fundamentos-de-soldadura/que-es-la-soldadura/ui>
- (13) Teminsa. (s. f.). Herramientas de corte y abrasión: tipos y usos. Recuperado de <https://www.teminsa.com/blog/349-herramientas-de-corte-y-abrasion-tipos-y-usos>
- (14) Ludeña, J. A. (s. f.). Método Taguchi. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/metodo-taguchi.html>
- (15) López, B. S. (2019, octubre 28). Las siete herramientas de la Calidad. *Ingeniería Industrial Online*. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/las-siete-herramientas-de-la-calidad/amp/>
- (16) *POKA YOKE – Diseño a prueba de errores*. (s/f). Pdcahome.com. Recuperado el 16 de noviembre de 2022, de <https://www.pdcahome.com/poka-yoke/>

ANEXO 1

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



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

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 20/enero/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-019/2022
Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

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

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(ia) **C. SERGIO ALEJANDRO RINCÓN HUIZAR**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control T71050269, ha sido aceptado(a) para realizar en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Diseño y manufactura de un reactor de pirolisis de 100 L de capacidad con sistema de condensación integrado"** durante el periodo de enero-junio 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Edgar Zacarías Moreno (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

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

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica
"Tierra Siempre Fértil"*

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

ccp. Archivo

EZM/jada



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



ANEXO 2

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



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

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 5/junio/2022
No. de Oficio: SDA/MCIMC-033/2022
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

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

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el(l)a **C. SERGIO ALEJANDRO RINCÓN HUIZAR**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 171050269, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Manufactura de un reactor de pirolisis de 100 L de capacidad con una arquitectura refractaria externa integrada"** durante el periodo de enero-julio 2022, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Edgar Zacarías Moreno (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel. El presente proyecto de Residencia Profesional es parte del proyecto de 025-FEIT-2021 y fortalecimiento de cuerpos académicos ITPA-CA-1.

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

ATENTAMENTE

Excellencia en Educación Tecnológica
"Siempre Siempre Faltó"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

ccp, Archivo

EZM/jada



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

