

**[Ago-Dic,
2019]**



Ana Verónica Martínez Díaz

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR
RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA**

**[DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA
MECATRÓNICO PARA EL CONTROL DE
VARIABLES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR
PIROLÍTICO DE BAJO VOLUMEN]**

MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA S DE RL DE CV

**ING. JOSE GUADALUPE MORENO
PAREDES**
Asesor externo

**DR. JOSÉ ALONSO DENA
AGUILAR**
Asesor interno

Diciembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por el apoyo que me brindaron a lo largo de la carrera, tanto económico como emocional, a mi tía la Lic. Avelina Díaz Alemán que ya no se encuentra conmigo pero que siempre me apoyó incondicionalmente para lograr esta meta de mi vida, a mis hermanos y mi tía la Lic. Ma. Del Rosario Díaz Alemán.

También a mi amiga la Ing. Claudia Berenice Silva Vera, por la demostración tan valiosa de la palabra amistad, por apoyarme en los buenos y peores momentos de mi vida, a mis amigos, los ingenieros Juan Carlos Delgado Flores, Dalí Esaú Ramírez Muñoz, Juan Manuel Aguiñaga Martínez y Manuel David Fonseca Sánchez, los cuales hicieron muy amena mi estancia en la universidad y quienes en la última etapa nunca me dejaron sola.

Gracias al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por formarme como profesionista responsable y reforzarme los valores y principios que me fueron inculcados.

A mi asesor de proyecto el Dr. José Alonso Dena Aguilar, por el tiempo brindado en cada asesoría y por último y no menos significativo, a mi compañero el Ing. Rolando Moises Hinojosa Meza por su paciencia y dedicación al explicarme conceptos y herramientas clave para la elaboración de este proyecto.

RESUMEN

“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL DE VARIABLES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR PIROLÍTICO DE BAJO VOLUMEN”

Por: **ANA VERÓNICA MARTÍNEZ DÍAZ**

MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA S DE RL DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de tecnología para la reutilización de recursos y su aprovechamiento como hidrocarburos. Sus oficinas y talleres se localizan en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes. Una de sus metas es el desarrollo e innovación de tecnología para el aprovechamiento de los plásticos de desecho al transformarlos en combustibles a través de procesos de pirolisis. Lo anterior a través del diseño y construcción de reactores pirolíticos automatizados que permitan medir las variables de operación durante la etapa de degradar los plásticos en gases condensables constituidos principalmente de hidrocarburos. Por ejemplo, se ha reportado que de plásticos de polietileno se ha podido recuperar el etileno o se han podido recuperar combustibles líquidos para su uso en el sector agrícola. Comúnmente no se reporta el tipo de control de operación que realizan. Este tipo de tecnología puede coadyuvar a mitigar la gran cantidad de plásticos de desecho que se encuentran presentes en el ambiente sin ningún control de disposición final. Se estima que desde 1950 se han producido más de 8,000 millones de toneladas de plástico de cualquier tipo y solo el 9% han sido reciclado, 12% incinerados y el 79% simplemente se han desechado o abandonado en lugares como bosques, ríos, playas, mares provocando contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Dentro de este panorama, la empresa establece como meta recuperar combustibles de hidrocarburos a partir de plásticos de desecho mediante un proceso de pirolisis. Hoy en día, la tecnología de reactores pirolíticos disponible se sustenta en diseños patentables capaces de procesar (en algunos casos) hasta 10,000 toneladas por año. Sin embargo, no consideran sistemas de control y automatización mecatrónicos para

las operaciones unitarias o las variables del proceso. Lo que representa un área de oportunidad de innovación en el desarrollo de este tipo de tecnología.

Actualmente la empresa cuenta con un dispositivo pirolítico batch de bajo volumen de 20 L de capacidad hecho a la medida donde han obtenido combustibles (sin refinar) a partir de la termoconversión de los plásticos de desecho. No obstante, no tiene integrado ningún sistema de control y automatización para el control de variables de operación como la temperatura, tiempo, presión y consumo eléctrico para lograr establecer estudios de optimización y rentabilidad. Por tanto, se propone integrar un sistema de control y automatización al reactor pirolítico hecho a la medida existente para la medición y optimización de las variables de operación, específicamente temperatura de operación.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para (i) proponer una reingeniería del reactor actual para actualizar su sistema de sujeción y cierre hermético y su estructura de soporte, y, (ii) diseñar y construir un sistema mecatrónico para el control de la temperatura de operación a través de la incorporación al cuerpo del reactor de un sensor termopar con interfaz mediante Arduino. La propuesta de solución consistió en satisfacer los requerimientos de diseño de la empresa para realizar la reingeniería del reactor actual y poder programar el sensor de tipo termopar a integrar al reactor pirolítico.

Esta fuera de alcance del proyecto la validación de las mejoras propuestas al equipo.

Dirigido por:

Ing. José Guadalupe Paredes Moreno

Dr. José Alonso Dena Aguilar

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente.....	3
1.2 Problema(s) a resolver.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Justificación.....	5
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Plásticos.....	7
2.1.1 Origen del plástico.....	7
2.1.2 Usos del plástico.....	7
2.1.3. Tipos de plástico.....	8
2.2 PET.....	12
2.2.1 Reciclaje del PET.....	13
2.3 Pirólisis.....	14
2.3.1 Etapas del proceso de pirólisis.....	14
2.3.2 Factores que influyen en la pirólisis.....	15
2.3.3 Ventajas e inconvenientes.....	17
2.3.4 Tipos de pirólisis.....	17
2.3.5 Productos procedentes de la pirólisis.....	19
2.4 Reactores de pirólisis.....	22
2.4.1 Tipos de reactores.....	22
2.5 Contaminación por plásticos.....	24
2.6 Sensores de temperatura.....	25
2.7 Solid Works.....	27
2.8 Arduino.....	28

2.8.1 Interfaz arduino: alimentación, pines, entradas y salidas.....	29
2.9 Resistencias calefactoras.....	31
III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	33
3.1 Diseño del reactor pirolítico hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería).....	33
3.2 Sistema de control de sensor de temperatura.....	37
3.3 Cronograma de actividades.....	37
IV. RESULTADOS.....	38
4.1 Diseño del reactor pirolítico hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería).....	38
4.2 Sistema de control.....	44
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	48
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	49
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	51
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencias.....	3
Figura 2. PET reciclable.....	8
Figura 3. PEAD de primer uso.....	9
Figura 4. PVC de aplicaciones para conducción de fluidos.....	9
Figura 5. PEBD para empaque.....	10
Figura 6. PP para empaques.....	11
Figura 7. PS para la industria alimentaria.....	12
Figura 8. Estructura química del PET.....	12
Figura 9. Proceso del PET.....	13
Figura 10. Esquema del montaje para el proceso de pirólisis.....	14
Figura 11. Pirólisis acuosa.....	18
Figura 12. Horno de pirólisis al vacío.....	18
Figura 13. Modelo para la gasificación del Coque del petróleo.....	19
Figura 14. Shampoo de Alquitrán.....	21
Figura 15. Horno de Coque.....	21
Figura 16. Reactor Batch.....	22
Figura 17. Reactor semibatch.....	23
Figura 18. Contaminación en mares y océanos por plásticos.....	25
Figura 19. Termistor NTC.....	26
Figura 20. RTD PT100 sensor de temperatura.....	26
Figura 21. Termopar tipo K.....	27
Figura 22. Imagen de Arduino UNO.....	29
Figura 23. Captura de pantalla del IDE de Arduino.....	29
Figura 24. Resistencia tipo hornilla.....	32
Figura 25. Quema de plásticos en el reactor.....	34
Figura 26. Pruebas de temperatura del reactor.....	34
Figura 27. Resistencia interna de calentamiento.....	35
Figura 28. Vista lateral del reactor hecho a la medida.....	38
Figura 29. Vista frontal del reactor hecho a la medida.....	39

Figura 30. Vista superior del reactor hecho a la medida.....	39
Figura 31. Vista explosionada del reactor hecho a la medida.....	40
Figura 32. Vistas principales del reactor con acotaciones.....	41
Figura 33. Seguro de cierre hermético.....	42
Figura 34. Configuraciones de sellado.....	42
Figura 35. Base del reactor.....	43
Figura 36. Disco protector de resistencia.....	43
Figura 37. Ruedas de la base del reactor.....	44
Figura 38. Conexión del circuito para el módulo del termopar.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cambios y rangos de temperatura.....	16
Tabla 2. Fracciones-Intervalos de destilación del alquitrán.....	20

I. INTRODUCCIÓN

MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA S DE RL DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de tecnología para la reutilización de recursos y su aprovechamiento como hidrocarburos. Sus oficinas y talleres se localizan en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes. Una de sus metas es el desarrollo e innovación de tecnología para el aprovechamiento de los plásticos de desecho al transformarlos en combustibles a través de procesos de pirolisis. Por ejemplo, se ha reportado que de plásticos de polietileno se ha podido recuperar el etileno o se han podido recuperar combustibles líquidos para su uso en el sector agrícola. Comúnmente no se reporta el tipo de control de operación que realizan. Hoy en día, la tecnología de reactores pirolíticos disponible se sustenta en diseños patentables capaces de procesar (en algunos casos) hasta 10,000 toneladas por año. Sin embargo, no consideran sistemas de control y automatización mecatrónicos para las operaciones unitarias o las variables del proceso. Lo que representa un área de oportunidad de innovación en el desarrollo de este tipo de tecnología.

Como parte de su área de innovación y desarrollo tecnológico la empresa se propone implementar acciones para diseñar y construir reactores pirolíticos automatizados que permitan medir las variables de operación durante la etapa de degradar los plásticos en gases condensables principalmente de hidrocarburos. Actualmente la empresa cuenta con experiencia en la creación de un reactor pirolítico batch de 20 L de capacidad donde han obtenidos combustibles (sin refinar) pero el equipo no tiene ningún sistema mecatrónico de control y automatización.

En este contexto, los plásticos son materiales sintéticos o semisintéticos que se emplean para una amplia gama de aplicaciones industriales, de construcción o de consumo por su relativo bajo costo de producción. Principalmente son productos derivados del petróleo y debido a sus propiedades físicas se pueden conformar en diferentes formas como laminas, tubos, placas, botellas, cajas, entre otros. Sin embargo, sus características de resistencia a la degradación los hacen altamente contaminantes. Desde 1950 se han producido más de 8,000 millones de toneladas de plásticos (de un solo uso) de cualquier tipo donde el 9% son reciclados, el 12% han sido incinerados y el

79% simplemente se han desechado en lugares como bosques, mares, ríos, lagos o playas provocando contaminación de suelos y cuerpos de agua. Por lo que se considera que existe amplia disponibilidad de materia prima de fácil acceso y de relativo bajo costo de logística y cadenas de suministro que permitiría a mediano plazo ser un proyecto sustentable ecológica y económicamente.

Por otro lado, la pirolisis es una reacción química donde se descompone químicamente la materia causada a través de la acción de calentamiento a altas temperaturas ($> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta degradarla y obtener un producto sólido (p. ej. material carbonizado) o productos gaseosos (llamados gases pirolíticos) como el hidrógeno, metano, dióxido de carbono o hidrocarburos. Aunque también se obtienen residuos tipo tinta (residuos externos). Un reactor pirolítico es un equipo que permite llevar a cabo una reacción de pirolisis de materia. Generalmente un reactor pirolítico comprende de: una cámara pirolítica prevista de un tambor externo y un tambor interno, un sistema de calentamiento, un sistema de alimentación, un puerto de salida de gases de pirolisis, un sistema de condensación de gases y colector de combustible y residuos.

En base a lo anterior, el objetivo del presente proyecto es poder integrar al reactor ya disponible un sistema mecatrónico de control de la temperatura de operación mediante la incorporación al cuerpo del reactor de un sensor termopar controlado por Arduino. El proyecto se realiza dentro de las instalaciones del laboratorio de conversión de la energía del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, bajo convenio de colaboración tecnológica.

En particular, se aplicarán técnicas y metodologías de la Mecatrónica para (i) proponer una reingeniería del reactor actual para actualizar su sistema de sujeción y cierre hermético y su estructura de soporte, y, (ii) diseñar y construir un sistema mecatrónico para el control de la temperatura de operación a través de la incorporación al cuerpo del reactor de un sensor termopar con interfaz mediante Arduino.

La presente propuesta de solución permite satisfacer los requerimientos de diseño de la empresa para realizar la reingeniería del reactor actual y poder programar el sensor de tipo termopar a integrar al reactor pirolítico. Esta fuera de alcance del proyecto la validación de las mejoras propuestas al equipo.

Este trabajo es parte de un proyecto global de creación de un sistema de pirolisis automatizado. Por lo que este estudio se complementa con otro reporte similar de diseño y construcción de un condensador pirolítico realizado en el Instituto colaborador que servirá de base para establecer demás trabajo a futuro propio de la empresa y fuera del alcance del presente proyecto.

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

El ramo económico de la empresa es del sector privado orientado a servicios profesionales, científicos y técnicos propiamente servicios de ingeniería.

Su política de misión es:

Desarrollar tecnología para la reutilización de recursos y su aprovechamiento como hidrocarburos.

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, construcción y puesta en operación del sistema mecatrónico y la reingeniería pertinente sobre el reactor batch ya disponible.

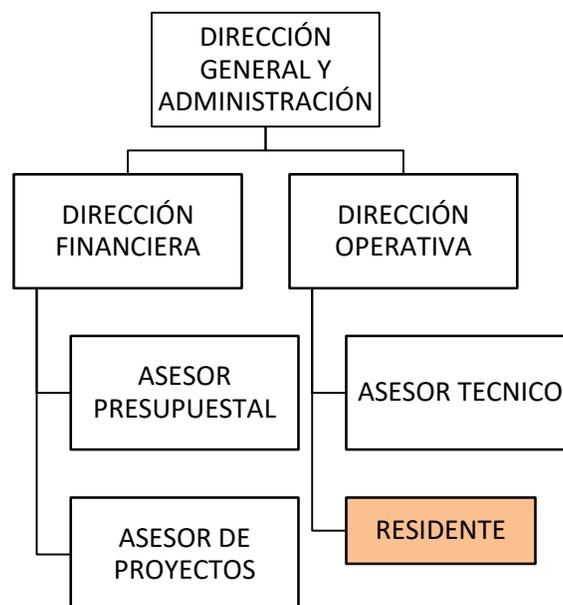


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.2 Problema(s) a resolver

Cada año unos 8 millones de toneladas de plástico llegan al océano al no lograr ser dispuestos en lugares apropiados para su confinamiento. Ante esta problemática se ha estudiado diversas formas de poder transformar estos residuos en sustancias que puedan ser empleadas como combustible o materia prima, siendo la pirolisis una alternativa para poder tratar estos materiales de desecho debido a que gracias a este proceso se puede obtener productos petrolíferos. Si bien es un proceso que ofrece numerosas ventajas ambientales y sociales aún debe ser desarrollado y comprobado científicamente para llegar a ser un proceso rentable porque la tecnología hoy existente aun representa elevados costes.

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

1.- Sistema mecatrónico de control y automatización

- Sistema de sensores para medición de temperatura.
- Lenguaje de control por medio de Arduino.

2.- Reingeniería al reactor batch disponible

- Sistema de sujeción de portabilidad de equipo.
- Mecanismo de cierre hermético.
- Estructura de soporte.
- Sistema de calentamiento a base de resistencia eléctrica industrial.
- Adaptabilidad de tambor interno.
- Sistema de retiro de residuos.
- Caja de control e interfaz de sistema mecatrónico.

El sistema mecatrónico asegura que se tengan controles sobre la operación del reactor para lograr establecer estudios de optimización y rentabilidad de este tipo de tecnologías.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema mecatrónico mediante la integración de un sensor termopar en un reactor pirolítico de bajo volumen hecho a la medida para controlar la variable de operación de temperatura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama del reactor pirolítico, actual y con reingeniería, hecho a la medida mediante software de diseño Solid Works para definir dimensiones, componentes y funcionamiento del sistema con los elementos integrados para el control de las variables de operación.
- Integrar y programar los elementos mecatrónicos mediante la colocación de sensor termopar para controlar la temperatura del reactor.

1.4 Justificación

Para el año 2020, se estima que la producción mundial de plásticos sea alrededor de 500 millones de toneladas, siendo la mayoría envases de un solo uso como los fabricados por polietileno, tereftalato de polietileno (PET), polipropileno y cloruro de polivinilo. En particular, ECOCE A. C., señala que en México se tiran alrededor de 20,000 millones de botellas de plástico al año. En la actualidad, y, en particular, en México se generan alrededor de 722,000 toneladas anuales de botellas de plástico elaboradas con PET y aunque en México se logra recuperar el 58% del PET de desecho, aun se requiere establecer demás mecanismos de aprovechamiento de recuperación o de recicle de estos materiales, como por ejemplo, la exploración de nuevas tecnologías que permitan incrementar el porcentaje de recuperación de PET y que consecuentemente sean un medio de obtención de otros productos de alto valor agregado como lo puede ser la recuperación de hidrocarburos en forma de combustible (p. ej. diésel o queroseno).

Dentro de este panorama, el proceso de pirolisis permite degradar materiales plásticos, mediante una operación de termoconversión, y transformarlos en productos petrolíferos que pueden ser empleados como combustibles. Para esto se emplean

reactores pirolíticos que permitan lograr temperaturas superiores a los 300 °C para descomponer los plásticos.

Sin embargo, la tecnología hoy en día existente aún requiere de estudios técnicos y científicos para hacer rentable este proceso. Aunado a lo anterior, la mayoría de los reactores disponibles en el mercado carecen de un sistema de automatización que permita la medición y optimización de las variables de operación.

En este contexto, la empresa ha desarrollado un reactor batch de 20 L de capacidad donde ha logrado obtener combustibles sin refinar, pero siendo este sistema hecho a la medida y carente de un sistema mecatrónico de control de variables como temperatura, presión, tiempo o corriente eléctrica de consumo.

En este proyecto se contempla, realizar reingeniería al reactor actual a su sistema de sujeción y cierre hermético y su estructura de soporte, así como integrar un sistema de control y automatización al reactor pirolítico hecho a la medida existente para la medición de temperatura. Esta fuera de alcance del proyecto la validación de las mejoras propuestas al equipo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son una amplia gama de materiales sintéticos o semisintéticos orgánicos que se utilizan para una inmensa cantidad de aplicaciones de uso cotidiano. Siendo el petróleo una de las materias primas de mayor uso para producir plásticos. Un material plástico tiene la capacidad de poderse moldear gracias a sus propiedades de maleabilidad o plasticidad lo que permite fundirlo, prensarlo o extrusionarlo para obtener diferentes formas, como láminas, fibras, placas, tubos, botellas, cajas, entre otros.¹

2.1.1 ORIGEN DEL PLÁSTICO

Para la fabricación del plástico se consideran de manera general cuatro etapas:²

1. Las materias primas. Se fabrican a partir de resinas vegetales y derivados del petróleo.
2. La síntesis del polímero. Se usa la polimerización mediante condensación y adición.
3. Los aditivos. Se le agregan compuestos para mejorar su resistencia y estabilidad.
4. El diseño y acabado. Se caracteriza por: tiempo, temperatura y deformación.

2.1.2 USOS DEL PLÁSTICO

El plástico es un material inmensamente versátil, ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales y de consumo. La relativamente baja densidad de casi todos los tipos de plásticos aporta a los productos de plástico el beneficio de la ligereza. Y, aunque la mayoría tienen unas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico excelentes, se pueden fabricar plásticos que sean conductores de electricidad si es preciso. Son resistentes a la corrosión de muchas sustancias que atacan a otros materiales, por lo que son duraderos e idóneos para usarlos en aplicaciones muy exigentes. Algunos son transparentes, por lo que sirven como dispositivos ópticos. Se pueden moldear fácilmente para obtener formas complejas y permiten la integración de otros materiales para formar productos ideales para una amplia gama de funciones. Además, si las propiedades físicas de un plástico determinado no cumplen plenamente los requisitos, se puede modificar su

equilibrio de propiedades con relleno, colores, agentes espumantes, retardantes de llama, plastificantes, etc., para satisfacer la demanda de una aplicación específica.³

2.1.3 TIPOS DE PLÁSTICO⁴

Se mencionan algunos tipos de plásticos comúnmente empleados en la industria.

PET (Tereftalato de Polietileno)

Se produce a través del Ácido Tereftálico y el Etilenglicol por policondensación. Existen dos tipos: grado textil y botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.

Entre sus principales ventajas están: Barrera a los gases, transparente, irrompible, liviano, impermeable, no tóxico, inerte (al contenido).



Figura 2. PET reciclable.

PEAD (Polietileno de Alta Intensidad)

Es un termoplástico fabricado a partir del Etileno (elaborado a partir del Etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diferentes maneras: inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo.

Entre sus principales ventajas están: Resistente a las bajas temperaturas, irrompible, liviano, impermeable, inerte (al contenido), no tóxico.



Figura 3. PEAD de primer uso.

PVC (Policloruro de Vinilo)

Se produce a partir de dos materias primas naturales: 43% gas y 57% sal común. Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos a totalmente flexibles. Se transforma por inyección, extrusión o soplado.

Entre sus principales ventajas están: Ignífugo, resistente a la intemperie, transparente, no tóxico, inerte (al contenido), impermeable, irrompible.



Figura 4. PVC de aplicaciones para conducción de fluidos.

PEBD (Polietileno de Baja Intensidad)

Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD, es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: inyección, extrusión, soplado y rotomoldeo. Su transparencia, flexibilidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.

Entre sus principales ventajas están: Ignífugo, resistente a la intemperie, transparente, no tóxico, inerte (al contenido), impermeable, económico.



Figura 5. PEBD para empaque.

PP (Polipropileno)

Es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando Etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y el de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería, El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.

Entre sus principales ventajas están: Inerte (al contenido), resistente a la temperatura (hasta 135°), barrera a los aromas, impermeable, irrompible, brillante, liviano, transparente en películas, no tóxico.



Figura 6. PP para empaques.

PS (Poliestireno)

PS Cristal: es un polímero de estireno monómero derivado del petróleo, cristalino y de alto brillo. PS Alto Impacto: es un polímero de estireno monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto, ver Figura 7. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de inyección, extrusión, termoformado y soplado.

Entre sus principales ventajas están: Brilloso, ignífugo, liviano, irrompible, impermeable, inerte y no tóxico, transparente, fácil de limpiar.



Figura 7. PS para la industria alimentaria.

2.2 PET

El polietileno tereftalato (PET, PETE), es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas. En la Figura 8 se presenta la fórmula química del PET. Se observa que posee un anillo en su estructura.

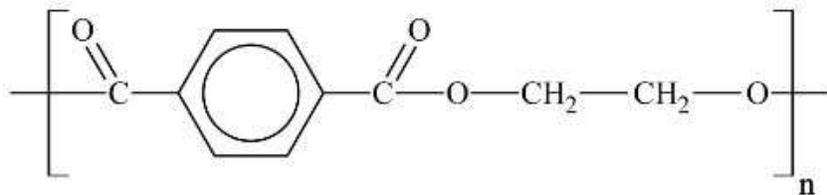


Figura 8. Estructura química del PET.

Industrialmente el PET puede ser procesado por soplado, inyección, extrusión para ser apto para producir frascos, botellas, películas, láminas, planchas y piezas. Físicamente es de transparencia y brillo con efecto lupa con excelentes propiedades mecánicas altamente reciclable y muy liviano. Siendo un material muy susceptible a procesos de pirolisis. Es un compuesto que presenta buena resistencia a grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Aunque presenta poca resistencia a solventes halogenados, aromáticos y cetonas de bajo peso molecular.⁶

2.2.1 RECICLAJE DE PET

Como se ha mencionado con anterioridad los envases PET pueden ser continuamente reciclados mediante distintos procesos de recogida, selección y procesamiento. Distintos métodos de limpieza y extrusión además de la descontaminación a 280°C logran que gran parte de los envases PET sean reciclados reincorporándose a la cadena de producción y disminuyendo así su impacto

medioambiental siendo el producto número 1 en el reciclado. En la Figura 9 se presenta el ciclo de reciclaje del PET.⁷



Figura 9. Proceso del PET.

2.3 PIRÓLISIS

La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión. Un ejemplo de pirólisis es la destrucción de PET mediante la degradación de sus cadenas para liberar gases condensables de combustibles. Se puede considerar que la pirólisis comienza en torno a los 250 °C, llegando a ser prácticamente completa en torno a los 500°C o más, aunque esto está en función del tiempo de residencia del residuo en el

reactor. A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios útiles en función de la tecnología de tratamiento que se utilice, por ejemplo, combustibles.⁸ En la Figura 10 se muestra un proceso típico de pirólisis. A partir de biomasa y mediante pirólisis se obtienen gases condensables de combustibles, en este caso, alquitrán.

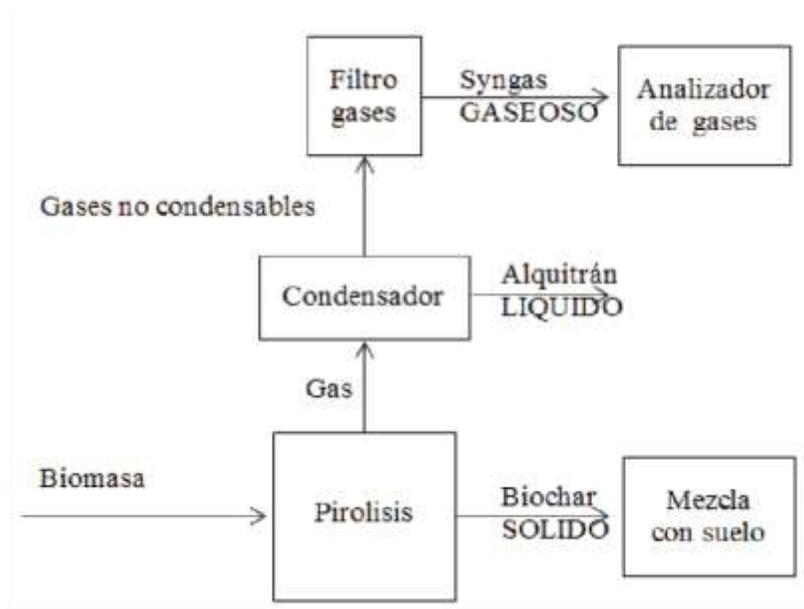


Figura 10. Esquema del montaje para el proceso de pirólisis.

2.3.1 ETAPAS DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

El proceso consta de 3 etapas claramente diferenciadas. En su primera etapa se produce una descomposición lenta con producción de pequeñas cantidades de agua, óxidos de carbono, hidrógeno y metano. Esto es consecuencia de la ruptura de enlaces debido a alta temperatura a la que se lleva el proceso y consecuencia también de la liberación de gases retenidos en el carbón. En la segunda etapa se conoce como descomposición térmica activa. La temperatura aumenta y se produce una fragmentación más profunda de la molécula de carbón con la formación de hidrocarburos condensables y alquitranes. Esta etapa comienza alrededor de los 360 °C y finaliza cuando se han alcanzado temperaturas alrededor de los 560 °C aproximadamente. La última etapa, que transcurre a temperaturas superiores a los 600 °C, se caracteriza por la eliminación gradual de hidrógeno y otros heteroátomos.

2.3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PIRÓLISIS

Durante el proceso, la cantidad de componentes tanto gaseosos como líquidos puede variar desde un 25 a un 70% en peso aproximadamente. Esta cantidad depende de una serie de factores y variables que se mencionan a continuación:

Temperatura y velocidad de calentamiento

El carbón sufre una gran variedad de cambios tanto físicos como químicos cuando se incrementa la temperatura desde el ambiente hasta el final de la última fase, 1000 °C aproximadamente. Si la temperatura de reacción es demasiado baja, las reacciones de descomposición no se producirán con la extensión debida y la obtención de gases y alquitranes será incompleta y, por tanto, el rendimiento en estos productos será bajo. A temperaturas de reacción altas, se producirán rupturas térmicas de los alquitranes y será por tanto pequeño el rendimiento en líquidos.

Así pues, existe una temperatura idónea a la cual se produce el máximo rendimiento. En la Tabla 1 se muestra los cambios y reacciones que se llevan a cabo durante un proceso de pirolisis según rangos de temperatura:

Tipo de carbón

El tipo de carbón influye fuertemente en el comportamiento de la pirólisis. Los carbones de bajo rango (lignitos) contienen oxígeno que durante el proceso de pirólisis se desprenden como agua y óxidos de carbono. Los carbones con alto rango (bituminosos) contienen una menor cantidad de oxígeno y, por tanto, producen un menor volumen de agua y de óxidos de carbono que hidrocarburos gaseosos cuando se pirolizan.

Tabla 1. Cambios y rangos de temperatura.

Temperatura	Cambios
100 °C	Se libera el agua fisisorbida
100 – 250 °C	Descarboxilación térmica de carbones de bajo rango
200 – 400 °C	Pérdida de especies de bajo peso molecular
375 – 700 °C	Destrucción térmica de la estructura del carbón. Formación de metano y otros alcanos, aromáticos y compuestos con nitrógeno.
1000 °C	La pirólisis se completa.

Tipo de reactor

El tipo de reactor es otro de los parámetros más influyentes en el proceso. Su importancia se basa en aspectos claves como los tiempos de residencia y la transferencia de calor, influyendo en los mecanismos que pueden controlar la velocidad de pirólisis. En reactores de lecho fijo, la etapa controlante de la velocidad es la transferencia de calor. Esto supone una limitación en la velocidad de calentamiento y un tiempo de residencia elevado. Los reactores de lecho fluidizado se adaptan mejor a los procesos continuos. En ellos la transferencia de calor a las partículas de carbón es muy rápida y pueden alcanzarse altas velocidades de calentamiento.

Presión

La pirólisis en atmósfera inerte a presión reducida aumenta el rendimiento en alquitranes.

Tamaño de la partícula

Influye sobre los mecanismos de transferencia de calor. A mayor tamaño de la partícula, menor velocidad de reacción y menor rendimiento en gases y líquidos.

2.3.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA PIROLISIS

Las ventajas de la pirólisis son las siguientes: Se genera una fracción líquida fácil de manejar, transportar y almacenar, reducción de emisiones a la atmósfera al ser un proceso cerrado, admite como combustible (alimentación) material residual de otros procesos, no genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la combustión, todos los productos o subproductos generados pueden ser reutilizados (transforma muchos procesos lineales en cíclicos), el proceso es autosuficiente con respecto a la energía.⁹

Los inconvenientes se presentan a continuación: Requiere una alta inversión para la instalación, la alimentación requiere pretratamiento para que se introduzca material homogéneo y con humedad adecuada que no afecte al rendimiento, el residuo carbonoso (char) tiene un PCI bajo y debe ser gestionado, los hidrocarburos líquidos deben ser sometidos a un proceso de refinado, menor rendimiento de los combustibles derivados de la biomasa respecto de los combustibles fósiles, la reducción de volumen en la pirólisis es menor a la que se obtiene por combustión directa, costos altos de los hornos pirolíticos, requiere operaciones de mantenimiento para las cenizas.

2.3.4 TIPOS DE PIROLISIS

Existen dos diferentes tipos de pirólisis dependiendo de las condiciones físicas en las que se realice:

Pirólisis acuosa: este término es utilizado cuando se necesita denominar la termólisis que se da en presencia de agua, como por ejemplo como el craqueo por vapor de agua del petróleo o la despolimerización térmica de los residuos orgánicos en crudo pesado. En la Figura 11 se presenta un equipo donde se puede llevar a cabo una pirolisis acuosa.

HYDROUS PYROLYSIS EXPERIMENTAL SETUP

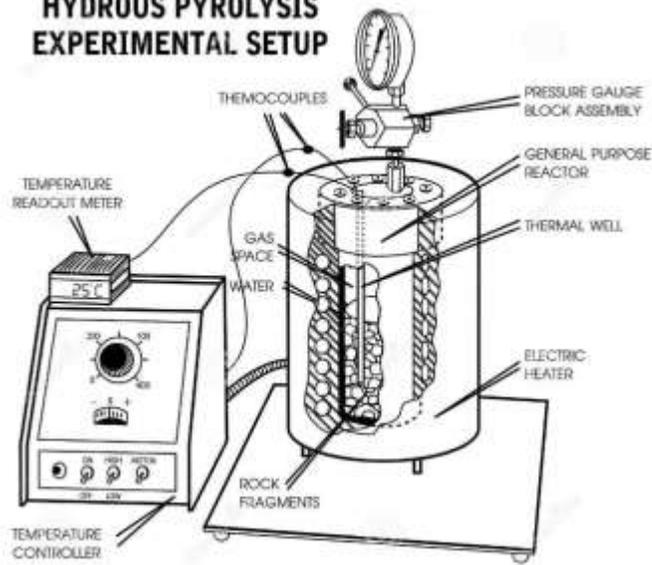


Figura 11. Pirólisis acuosa.

Pirólisis al vacío: este tipo de pirólisis al vacío implica que el material orgánico se caliente en el vacío para lograr reducir el punto de ebullición y evitar reacciones químicas desfavorables.¹⁰ En la Figura 12 se presenta un horno de pirólisis al vacío.



Figura 12. Horno de pirólisis al vacío.

2.3.5 PRODUCTOS PROCEDENTES DE LA PIRÓLISIS

Gas de Coquería

Dicho gas contiene hidrógeno en cantidades mayores cuanto más elevada es la temperatura a la que se produce la carbonización. Este gas se emplea como combustible y, en casos de alta riqueza en hidrógeno, tiene la posibilidad de ser empleado en procesos de hidrotratamiento. Este gas, antes de su uso, debe de realizarse un pretratamiento para la eliminación de amoniaco, sulfuro de hidrógeno y agua, así como ciertas cantidades de hidrocarburos. En la Figura 13 se presenta un proceso de gasificación del coque.

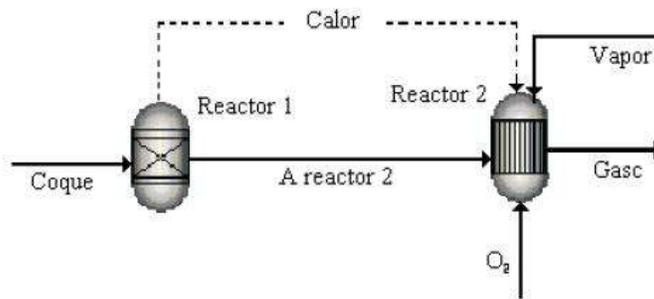


Figura 13. Modelo para la gasificación del Coque del petróleo.

Alquitrán de Hulla

El alquitrán es sometido a una destilación primaria que tiene como objetivo la obtención de una brea con un punto de ablandamiento adecuado y la producción de una serie de fracciones más ligeras. En la Tabla 2 se muestran los intervalos de destilación de este compuesto.

Tabla 2. Fracciones-Intervalos de destilación del alquitrán.

Fracción	Rango de ebullición	Porcentaje en peso
Aceite ligero	Hasta 190 °C	0,5 -1,0
Aceite de Naftaleno	190 – 230 °C	10 – 15
Aceite de creosota	230 – 290 °C	4 – 6
Aceite ligero de antraceno	260 – 310 °C	20 – 25
Aceite pesado de antraceno	Más de 300 °C	20 – 25
Brea	Residuo	50 - 60

El aceite ligero está compuesto por hidrocarburos aromáticos mononucleares, hidrocarburos insaturados y cierta cantidad de compuestos parafínicos. El naftaleno es el compuesto individual más abundante en el alquitrán de hulla y se recoge concentrado en la fracción conocida como aceite de naftaleno. El aceite de creosota contiene fundamentalmente naftalenos y ácidos y bases de elevado peso molecular. No se somete a etapas de purificación, se emplea como tal para preservar maderas de construcción o en la composición del alquitrán para la construcción de carreteras. Las fracciones de aceite de antraceno contienen hasta un 8% de ácidos de alto punto de ebullición y bases aromáticas. Los residuos pesados, conocidos como brea, tienen una gran importancia ya que constituyen más de la mitad del alquitrán bruto. Su aplicación es fundamentalmente para la producción combustible por mezcla con aceite de creosota que compite con el fuelóleo, debido a su menor contenido en azufre. En la Figura 14 se presenta un producto comercial derivado de alquitrán.



Figura 14. Shampoo de Alquitrán.

Coque

Es el producto más importante de la pirolisis. Se usa como materia prima que alimenta a los altos hornos para la producción de acero. Es un carbón poroso y muy reactivo. Un horno de coque es una serie de cajas prismáticas adosadas unas a otras que trabajan en semicontinuo. El carbón se sitúa en cajas alternativas. Entre ellas, se sitúan quemadores donde se quema el gas producido en la pirolisis. El gas proporciona el calor necesario para el proceso. El carbón se carga y se deja un tiempo durante el cual se produce la pirolisis. Una vez producido el coque, se descarga y se vuelve a cargar. Los gases y los líquidos se extraen por arriba, condensando los líquidos.¹¹ En la Figura 15 se puede observar una imagen del frontal de una batería de horno de coque:



Figura 15. Horno de Coque

2.4. REACTORES DE PIROLISIS

Existen una gran variedad de trabajos sobre pirólisis tanto térmica como catalítica donde se emplean diferentes tipos de reactores. Resulta que la caracterización de cada uno depende de muchos factores, entre ellos, el tiempo de residencia, el tipo de contacto entre la muestra a degradar (directo - indirecto), el catalizador o las cinéticas de reacción, incidiendo en mayor o menor medida sobre los resultados obtenidos lo cual complica sustancialmente realizar un contraste objetivo con los resultados de cada investigación.¹²

2.4.1 TIPOS DE REACTORES

REACTOR BATCH

El reactor tipo Batch es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con un agitador que homogeneiza la mezcla. Es esencialmente un tanque en el que se ha permitido que ocurra una reacción. En la Figura 16 se presenta una imagen de un reactor batch convencional.



Figura 16. Reactor Batch.

Un solo recipiente puede realizar una secuencia de diversas operaciones sin la necesidad de romper la contención. Esto es particularmente útil cuando se procesan tóxicos o componentes altamente potentes. A pesar de que estos reactores son muy usados en procesos industriales y aplicaciones de control de contaminación, para el tratamiento de aguas residuales son poco prácticos pues se necesita tener entrada y salida de agua para que se puedan tratar volúmenes de agua residual considerables.¹³

REACTOR SEMIBATCH

Los reactores semibatch funcionan de una manera similar a los reactores batch, ya que tienen lugar en un solo tanque agitado con equipos similares. Se modifican para permitir la adición de reactivos y/o la eliminación de producto a tiempo. Un reactor semibatch permite el llenado parcial de reactivos con la flexibilidad de agregar más a medida que el tiempo avanza. En la Figura 17 se presenta un esquema de un reactor semibatch. En la parte inferior se tiene una salida de productos.

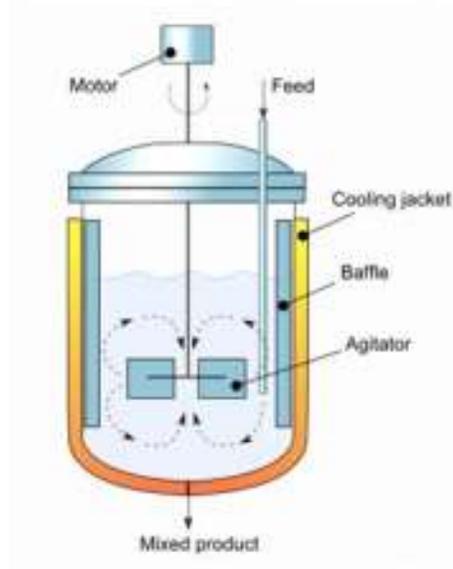


Figura 17. Reactor semibatch.

Este tipo de reactores permite controlar las concentraciones y con ello mejorar la selectividad del sistema de reacciones, facilita el control de la temperatura, evita la toxicidad de sustratos y elimina el producto, permite aumentar la conversión y la selectividad. Sin embargo, la producción se ve limitada por la naturaleza cíclica, el coste de operación puede ser elevado y el diseño y el análisis de operación es complicado por ser estado no estacionario.¹⁴

2.5 CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS

El plástico es omnipresente. Podemos encontrarlo en los envases de los productos, incluso como ingrediente en los cosméticos, en el textil de la ropa, en materiales de construcción, juguetes y en multitud de utensilios y objetos. Existen muchos tipos de plásticos, aunque el mercado está dominado por cuatro tipos principales: Polietileno (PE) en forma de bolsas de plástico y contenedores, el PET en forma de botellas y envases, el Polipropileno (PP) integrado en electrodomésticos y componentes de vehículos, y, Cloruro de polivinilo (PVC) en forma de tuberías y accesorios de conexión como válvulas. La mayor parte de estos plásticos se emplean de un solo uso y al cumplir su objetivo o degradarse son desechados. Sin embargo, la disposición final no es la adecuada y por ende los plásticos son un gran problema medio ambiental pues se considera que:

- 8 millones de toneladas de basura al año llegan a los mares y océanos
- Se estima que en 2020 el ritmo de producción de plásticos habrá aumentado un 900% con respecto a niveles de 1980. Esto supone más de 500 millones de toneladas anuales y la mitad de este incremento se producirá tan solo en la última década.
- Cada día se abandonan 30 millones de latas y botellas en España.
- China es el principal productor de plásticos seguido de Europa, Norte América y Asia (excluyendo ya a China).
- Dentro de Europa, más de dos tercios de la demanda de plásticos se concentran en cinco países: Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%).¹⁵

En la Figura 18 se aprecia el problema ambiental que causan los plásticos.



Figura 18. Contaminación en mares y océanos por plásticos.

Ante este panorama hoy en día se plantean soluciones para reducir el uso y el impacto que los plásticos. Siendo una alternativa el reciclaje de los plásticos de desecho a través de un proceso de pirolisis que permite reducir la masa de disposición final y recuperar las materias primas con los que fueron creados en forma de gases condensables en líquidos de combustibles.

2.6 SENSORES DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares. El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

Termistor

El termistor está basado en que el comportamiento de la resistencia de los semiconductores es variable en función de la temperatura. Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia. El principal problema de los termistores es que no son lineales según la temperatura por lo que es

necesario aplicar fórmulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula y son complicados de calibrar. En la Figura 19 se presenta la estructura típica de un termistor.



Figura 19. Termistor NTC.

RTD (Resistance Temperature Detector)

Un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura. En la Figura 20 se presenta la estructura típica de un termistor.



Figura 20. RTD PT100 sensor de temperatura.

Termopar

El termopar, también llamado termocupla y que recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico. Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica. El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, conoceremos la temperatura. Los termopares tienen un amplio rango de medida, son económicos y están muy extendidos en la industria. El principal inconveniente estriba en su precisión, que es pequeña en comparación con sensores de temperatura RTD o termistores.¹⁶

En la Figura 21 se presenta la estructura típica de un termistor.

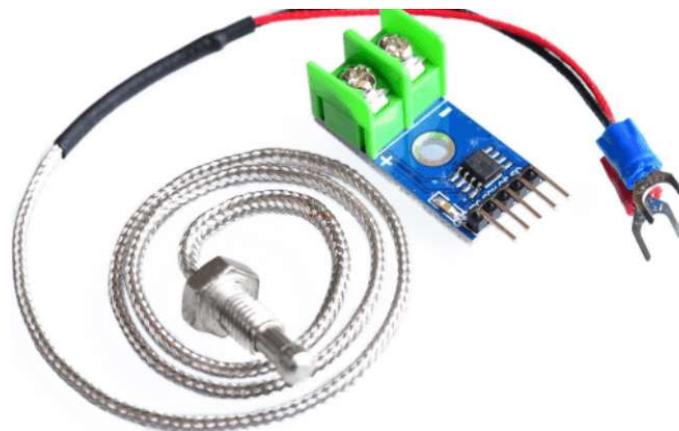


Figura 21. *Termopar tipo K.*

2.7 SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de diseño mecánico en 3D con el que se puede crear geometría 3D usando sólidos paramétricos. Se enfoca al diseño de productos, diseños mecánicos, ensambles, entre otras aplicaciones.¹⁷ SolidWorks puede ser empleado para desarrollar soluciones para la industria de los plásticos pues permite simular y analizar por elementos finitos debido a que el software incluye un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable. Es una herramienta de diseño

3D de fácil empleo con gran campo de utilización en diseño mecánico, sistemas mecatrónico, cinemática, ensamble de robótica, diseño automotriz y aeroespacial, biomecánica, diseño de dispositivos médicos.

Entre otras aplicaciones se puede diseñar piezas mecánicas en 3D, evaluar ensambles de varias piezas y producir dibujos de fabricación. Permite una comunicación de los datos de diseño en su sistema de administración PDM y llevar un control de las versiones de dibujos. Al diseñar se puede evaluar el impacto ambiental del diseño, simular virtualmente las condiciones y análisis del diseño en situaciones reales y optimizar su desempeño. El programa está basado en un motor de modelado de sólidos y también contiene comandos de creación, edición de superficies complejas, además es asociativo entre los modelos 3D y sus dibujos.¹⁸

Puede tener amplias aplicaciones en el diseño de reactores pirolíticos.

2.8 ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida. Por ejemplo, con Arduino se puede activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea, entre otras aplicaciones. Para su operación, se programa en lenguaje de programación Arduino las instrucciones de control de los dispositivos.¹⁹

Hay muchas variedades de placas Arduino que pueden usarse para diferentes propósitos, pero todos con la característica común de emplearse con el hardware y software de control de procesos de baja escala. En la Figura 22 se presenta un microcontrolador Arduino UNO, el cual es el más común y empleado para pequeños proyectos.²⁰ En la Figura 23, se observa una captura de pantalla del IDE de programación de Arduino.

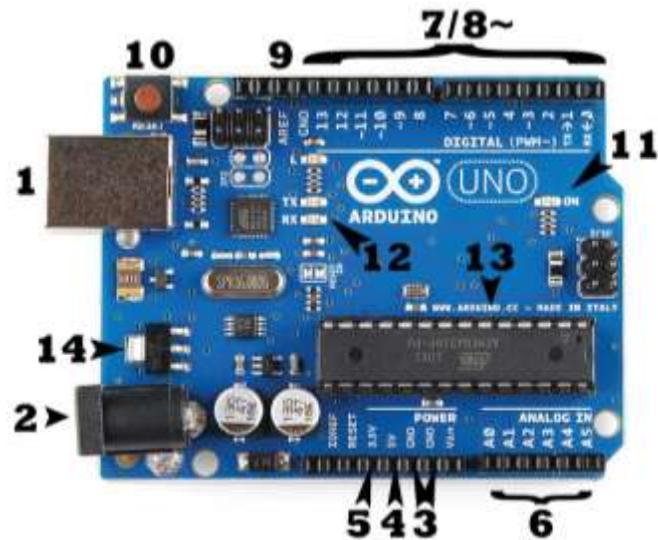


Figura 22. Imagen de un Arduino UNO.

```

Blink
Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
This example code is in the public domain.

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);            // wait for a second
}

```

Figura 23. Captura de pantalla del IDE de Arduino.

2.8.1 INTERFAZ ARDUINO: ALIMENTACIÓN, PINES, ENTRADAS Y SALIDAS²¹

El Arduino UNO puede alimentarse desde un cable USB que proviene de su computadora o una fuente de alimentación de pared. En la imagen de la Figura 22 se puede ver la conexión USB que está etiquetada con un número (1) y el conector de barril también está etiquetado con el mismo número.

Los pines del Arduino son los lugares donde conecta los cables para construir un circuito. El Arduino tiene varios tipos diferentes de pines, cada uno de los cuales está etiquetado en la placa y se utiliza para diferentes funciones:

- **GND (3):** abreviatura de 'Ground'. Hay varios pines GND en el Arduino, cualquiera de los cuales puede usarse para conectar a tierra su circuito.
- **5V (4) y 3.3V (5):** Como puede suponer, el pin de 5V suministra 5 voltios de potencia, y el pin de 3.3V suministra 3.3 voltios de potencia. La mayoría de los componentes simples utilizados con el Arduino funcionan felizmente con 5 o 3,3 voltios.
- **Analógico (6):** el área de pines debajo de la etiqueta 'Analog In' (A0 a A5 en UNO) son pines Analog In. Estos pines pueden leer la señal de un sensor analógico (como un sensor de temperatura) y convertirla en un valor digital que podamos leer.
- **Digital (7):** frente a los pines analógicos se encuentran los pines digitales (0 a 13 en UNO). Estos pines se pueden usar tanto para la entrada digital (como decir si se presiona un botón) como para la salida digital (como alimentar un LED).
- **PWM (8):** es posible que haya notado la tilde (~) junto a algunos de los pines digitales (3, 5, 6, 9, 10 y 11 en la UNO). Estos pines actúan como pines digitales normales, pero también se pueden usar para algo llamado Modulación de ancho de pulso (PWM).
- **AREF (9):** significa referencia analógica. La mayoría de las veces puedes dejar este pin solo. A veces se utiliza para establecer un voltaje de referencia externo (entre 0 y 5 voltios) como límite superior para los pines de entrada analógica.

TX es corto para transmitir, RX es corto para recibir. Estas marcas aparecen bastante en la electrónica para indicar los pines responsables de la comunicación en serie. En nuestro caso, hay dos lugares en el Arduino UNO donde aparecen TX y RX: una por los pines digitales 0 y 1, y una segunda vez al lado de los LED indicadores TX y RX. En la Figura 22 estos componentes están etiquetados con el número (12). Estos LED nos darán algunas buenas indicaciones visuales cada vez que nuestro Arduino esté recibiendo o transmitiendo datos (como cuando estamos cargando un nuevo programa

en la placa). También en la Figura 22 se observa el regulador de voltaje etiquetado con número (14) y permite controlar la cantidad de voltaje que se deja entrar en la placa Arduino.

2.9 RESISTENCIAS CALEFACTORAS²²

Las resistencias calefactoras son dispositivos hechos con diferentes tipos de materiales, por lo general alguna clase de alambre o filamento y una base, que tienen la capacidad de recibir un flujo de corriente eléctrica y generar calor a partir de esta corriente.

Los usos de estos dispositivos dependen de su área de aplicación por su sencillo principio de aplicación de aplicar corriente eléctrica a un material conductor, este material transforma la energía en calor. Las resistencias calefactoras pueden ser fabricadas en diferentes materiales, con diferentes formas, tipos y tamaños, dependiendo del uso que se les vaya a dar.

El primer tipo son las resistencias tipo banda, calefactores hechos a partir de un alambre plano que está enredado o entramado alrededor de una mica o cerámica y este tejido está cubierto por una lámina de acero inoxidable, la estructura final es rolada de manera que quede en forma de aro. Este dispositivo, por su forma, suele ser utilizado para calentar estructuras cilíndricas, como tubos o recipientes, por medio de conducción. Este tipo de calefactores a su vez se divide en dos tipos: de mica y de núcleo cerámico. El calefactor de mica es el más común; el de núcleo cerámico tiene mayor potencia y capacidad, pero es más caro.

También están las resistencias tipo tubular, conformadas por un alambre hecho de una aleación de cromo y níquel. Este filamento tiene forma de una espiral y está compactada con óxido de magnesio y recubierta por un tubo de acero inoxidable (aunque se puede utilizar otro tipo de material). La estructura completa suele ser doblada para darle diferentes formas, dependiendo del uso que se le vaya a dar. Este tipo de resistencias calefactoras tiene diferentes niveles de potencia basados en el nivel de voltaje aplicado, y suele ser utilizado para calentar agua, aire, aceites térmicos y diferentes productos químicos.

También hay resistencias tipo cartucho, llamadas así por su forma, pues son calefactores que están formados por un tubo de alambre, aleación también de cromo y níquel, que tiene las terminales en un solo lado del tubo, mientras el otro lado está sellado. Estas resistencias también se dividen en dos subtipos: de baja y de alta concentración. En el primer tipo la bobina de alambre descansa en una pieza de cerámica con orificios y está limitada a la cantidad de alambre que estos soporten; en el segundo tipo la resistencia está compactada con óxido de magnesio, lo que provoca que se pueda agregar más alambre y por tanto sea más potente. Este tipo de calefactores son utilizados comúnmente para el calentamiento de líquidos y moldes plásticos.

Otro tipo son las resistencias de radiación, calefactores que pueden calentar sin la necesidad de entrar en contacto con el objeto. Las más comunes están formadas por un cuerpo de cuarzo o de cerámica con una bobina de alambre incrustada, aunque algunas en vez de bobina tienen una luz infrarroja que emite el calor. Su uso más común es el secado de algún material como pintura, barniz, plástico, vidrio, etcétera.

Uno de los tipos de resistencias calefactoras más comunes y sobre todo más utilizadas en la vida cotidiana son las resistencias desnudas. Éstas son sólo el alambre calefactor, por lo general en su forma de espiral, unidos a un enchufe y suelen ser utilizadas para calentar aire o incrustadas en hornos o parrillas para calentar o cocinar alimentos. Su gran ventaja es que su respuesta es muy rápida; su gran desventaja es que su vida útil es corta.

En la Figura 24 se presenta un esquema de una resistencia tipo hornilla.



Figura 24. Resistencia tipo hornilla.

III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Diseño del reactor pirolítico hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería)

Mediante software de diseño Solid Works se elaboró el diseño del reactor pirolítico actual y modificado con elementos mecatrónicos integrados previa a su reingeniería para validar dimensiones, materiales y funcionamiento. Para la elaboración del diseño en Solid Works se procedió primeramente a tomar las medidas y hacer un bosquejo para luego pasar el diseño al software.

Diseño actual

Este reactor cuenta con una resistencia eléctrica en forma de hornilla, capaz de alcanzar temperaturas de hasta 500° C, dando como resultado el proceso de fundido de los plásticos, dicha resistencia, no tiene alguna protección que impida el contacto directo de los plásticos quemados con ella, decrementando su eficiencia y deteriorando el tiempo de vida útil. Cuenta con cierres manuales y a presión, los elementos que permitían este ajuste eran 6 barras cilíndricas de acero inoxidable de 12.85 mm de diámetro y 20 y 15 cm de largo, unidas de 2 en 2 por un resorte, ajustándose a presión con ayuda de unas pinzas, este método era peligroso, ya que, al tener tanta presión dentro del recipiente, si no se manejaba con cuidado, existía la posibilidad de un accidente al botar las piezas por dicha presión. También lleva un manómetro analógico que nos muestra la presión dentro del recipiente a lo largo del proceso, como va aumentando proporcionalmente con la temperatura y como decremента de igual manera.

Al momento de dar corriente a la resistencia esta comienza a elevar la temperatura y calentar los residuos que contiene el reactor, al tener la temperatura adecuada, los plásticos se funden y por ende emiten un gas, que viaja a través de un tubo pasando a ser afectado por un condensador que enfría dichos gases, pasándolos a un estado líquido.

En base a las condiciones del reactor actual se propusieron en diseño Solid Works acciones de reingeniería para mejorar el equipo pirolítico.

En las Figuras 25 a la 27 se presentan esquemas del reactor en su manipulación para conocer su principio de funcionamiento y toma de medidas.



Figura 25. Puesta en operación del reactor actual.



Figura 26. Toma de medidas de reactor actual.



Figura 27. Tipo de resistencia eléctrica de tipo espiral del reactor actual.

Diseño mejorado (reingeniería)

Conforme requerimientos de la empresa se proponen las siguientes mejoras de reingeniería al reactor actual:

1. *Estructura de soporte para el cuerpo del reactor.*

El reactor actual carece de una base como tal, pues solo cuenta con 3 varillas de soporte que toleran el peso del reactor provocando que la parte inferior este en contacto directo con el suelo y con demás factores externos que intervienen en el proceso como la temperatura ambiente y la humedad del suelo.

Como mejora de reingeniería, se propone una base que mantendrá a una altura determinada el cuerpo del reactor y proporcionará una mejor estabilidad.

2. *Disco protector para la resistencia eléctrica.*

En el reactor actual y durante el proceso de pirolisis de los plásticos la resistencia eléctrica de tipo espiral que contiene entra en todo momento en contacto con el material por lo que se disminuye su eficacia y eficiencia de operación que se considera conlleva a un consumo energético mayor a lo requerido.

Como mejora de reingeniería, se propone un disco de aluminio desmontable dentro del cuerpo del reactor que logre aislar la resistencia eléctrica para que no

entre en contacto con el material a pirolizar. Esta mejora permitirá que la resistencia trabaje de manera adecuada y sin riesgos de sobrecarga eléctrica.

3. *Sistema de cierre hermético de resistencia a la presión.*

El reactor actual cuenta con un sistema de cierre hecho a la medida a base de sujeción por resorte. Este sistema es de difícil ensamble y desmontaje y además no asegura el cierre hermético requerido para evitar la salida no deseada de gases pirolíticos.

Como mejora de reingeniería, se propone un nuevo sistema de cierre hermético similar al de las autoclaves o esterilizadores mediante un mecanismo de bloqueo de seguridad a base seguros en forma de manijas externas de tipo pernos de ajuste fabricadas en acero. Mediante este sistema se evitará que los gases pirolíticos tengan salidas no deseadas. El sistema de cierre se desarrollará en el taller de manufactura empleando fresadora y torno CNC.

4. *Sistema de transporte y movilidad de equipo.*

El reactor actual no cuenta con ningún sistema de sujeción que permita el traslado del mismo bajo condiciones de seguridad para el usuario. Una vez puesto en operación el reactor no se puede trasladar manualmente por las temperaturas de operación que alcanza la carcasa del cuerpo del reactor.

Como mejora de reingeniería, se propone la instalación de ruedas locas con seguro. Las ruedas se integran a la estructura de soporte para lograr movilizar el reactor de un lugar a otro sin complicación alguna. El sistema de seguro de las propias ruedas garantiza ningún desplazamiento del equipo durante su funcionamiento.

Todas las mejoras de reingeniería propuestas se mostrarán a través de diseños creado en software Solid Works.

3.2 Sistema de control de sensor de temperatura.

Se diseñó y construyó el diagrama electrónico y el sistema embebido en Arduino para el sistema de control de la temperatura del equipo. Se elaboró el código de programación aplicable. Para este sistema de control se utilizó un sensor de temperatura Termopar tipo K, el cual fue programado en el software Arduino, acompañado del microcontrolador que le da la señal y previo a su adaptación en el reactor se hicieron varias pruebas, realizando las conexiones adecuadas en un protoboard, auxiliándose con cables para la conexión, una pantalla lcd que nos permitiera ver la temperatura obtenida, una laptop para dar comunicación al circuito y al microcontrolador y una fuente de poder.

3.3 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
Diseño del reactor pirolítico actual y con reingeniería										
Diseño y construcción del sistema de control										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

IV. RESULTADOS

4.1 Diseño del reactor pirolítico hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería).

En la figura 28 podemos observar una vista lateral del reactor diseñado en SolidWorks de la cual se aprecia los elementos que permiten el cierre del mismo.



Figura 28. Vista lateral del reactor hecho a la medida.

A continuación, se muestra la vista frontal del sistema en la cual se observa el manómetro y la válvula de escape de los gases, ver Figura 29.



Figura 29. Vista frontal del reactor hecho a la medida.

La Figura 30 muestra la vista superior del reactor, en dicha imagen podemos visualizar el conducto por el cual viajan los gases para el proceso de condensado.

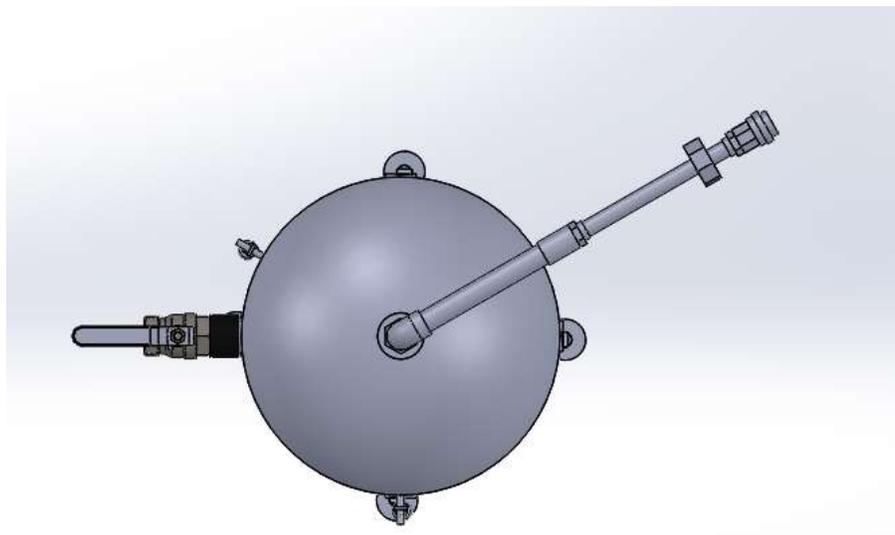


Figura 30. Vista superior del reactor hecho a la medida.

En la Figura 31 se muestra una vista explosionada de todas las piezas que componen al reactor antes de ser ensambladas y las principales vistas del mismo.

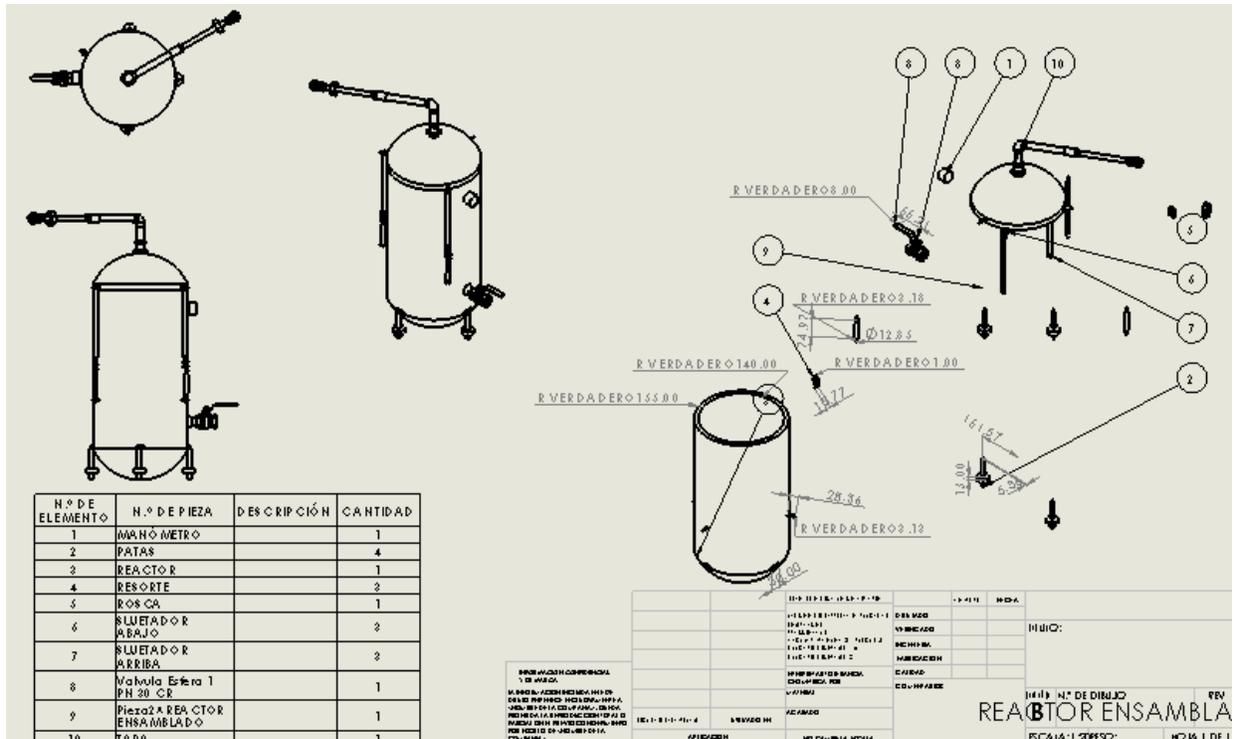


Figura 31. Vista explosionada del reactor hecho a la medida.

La Figura 32 muestra las vistas principales y más importantes en cualquier dibujo, además de que se muestran las acotaciones (medidas respectivas del diseño) de cada parte.

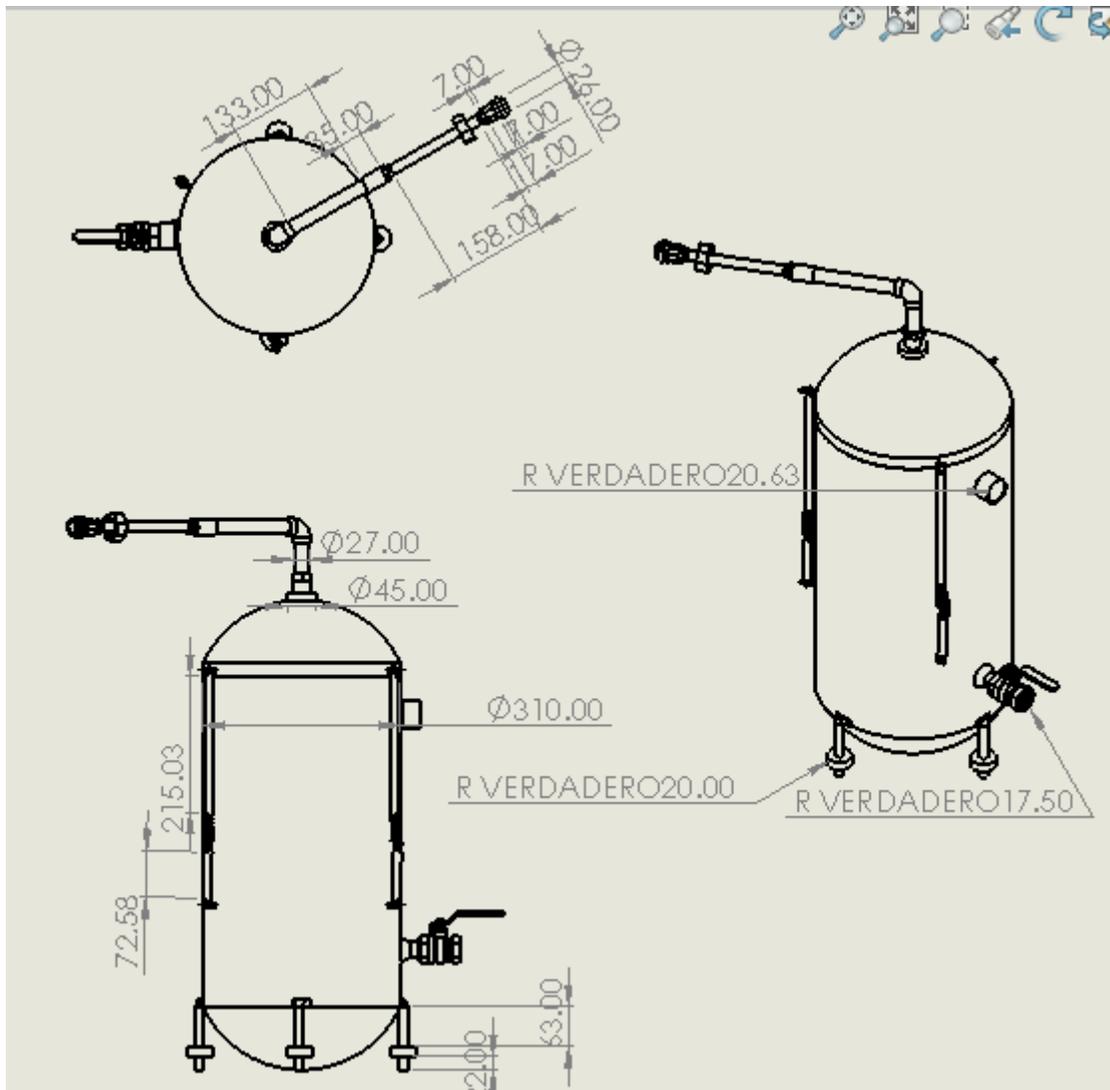


Figura 32. Vistas principales del reactor con acotaciones.

La Figura 33 presenta el seguro del cierre para el reactor, la parte del tornillo se ensambla con los elementos de sellado y la tuerca es la parte final de este proceso. El seguro se ensambla al tornillo y los sujetadores en la parte cubierta obteniendo así un proceso, pero efectivo.



Figura 33. Seguro de cierre hermético.

La Figura 34 contiene ajustes metálicos similares a un cierre hermético, evitando con esto un escape de presión y hacer eficiente el tiempo en que la temperatura se mantenga dentro del recipiente, aprovechando al máximo el volumen del mismo.



Figura 34. Configuraciones de sellado.

En la Figura 35 se puede observar la base del reactor, evitando que entre en contacto directo con la superficie del piso, evitando que los factores ambientales influyan en el proceso interno.



Figura 35. Base del reactor.

La Figura 36 representa el diseño en SolidWorks de un disco de aluminio con acabado de anodizado, modificó las propiedades de este material, parecido al acero inoxidable, ofreciendo así una oposición del flujo de los plásticos quemados al contacto directo con la resistencia, alargando su tiempo de vida y eficiente el proceso.

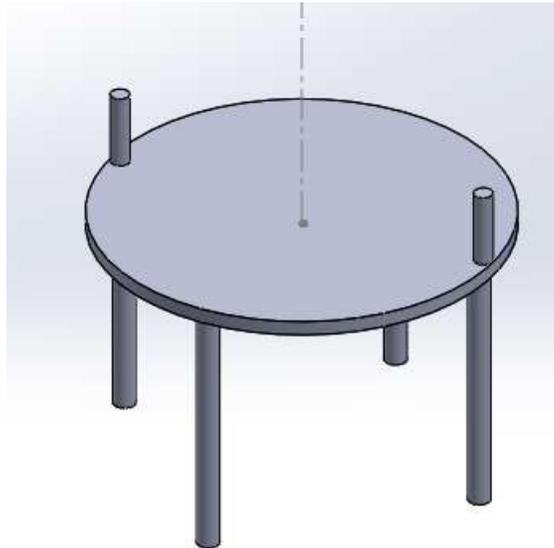


Figura 36. Disco protector de resistencia.

En la Figura 37 se observa el diseño de las ruedas para facilitar el traslado del reactor sin consecuencias para el usuario.

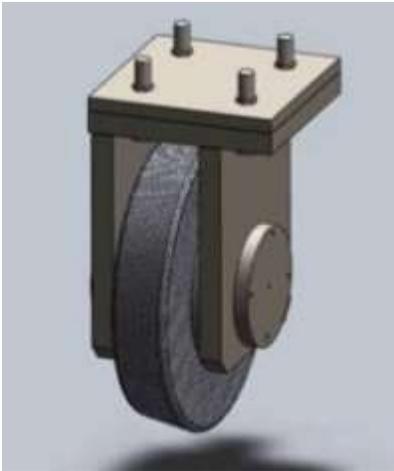


Figura 37. Ruedas de la base del reactor.

4.2 Sistema de control.

El código a continuación permite realizar un termómetro con pantalla LCD utilizando un termopar como sensor. Por si mismo este programa puede ser muy útil para visualizar la temperatura de algún proceso comercial o industrial.

```
#include "LiquidCrystal.h"
#include "max6675.h"

// CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN
// CON EL MAX6675
#define CONFIG_TCGND_PIN    8 // ALIMENTACION GND
#define CONFIG_TCVCC_PIN    9 // ALIMENTACION VCC
#define CONFIG_TCSCCK_PIN   10 // SPI SCK
#define CONFIG_TCCS_PIN     11 // SPI CS
#define CONFIG_TCDO_PIN     12 // SPI MISO

// CONSTRUCTOR PARA LA PANTALLA LCD 16X2
// AQUI SE CONFIGURAN LOS PINES PARA LA COMUNICACION CON LA
// PANTALLA
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCSCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN,
CONFIG_TCDO_PIN);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);
```

```

// IMPRIMR MENSAJE INICIAL A LA TERMINAL
Serial.println(F("-----"));
Serial.println(F("    TUTORIAL TERMOPAR CON ARDUINO Y
MAX6675    "));
Serial.println(F("    http://www.geekfactory.mx    "));
Serial.println(F("-----"));

// USAR PINES DE ARDUINO PARA ALIMENTAR EL MODULO MAX6675
pinMode(CONFIG_TCVCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite(CONFIG_TCVCC_PIN,
HIGH);
pinMode(CONFIG_TCGND_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(CONFIG_TCGND_PIN, LOW);

// INDICAMOS QUE TENEMOS CONECTADA UNA PANTALLA DE 16X2
// IMPRIMIR MENSAJE INICIAL EN PANTALLA
lcd.begin(16, 2);
lcd.clear();
lcd.print(F("TERMOPAR ARDUINO"));
lcd.setCursor( 0, 1 );
lcd.print(F(" CON MAX6675  "));

// ESPERAR UN SEGUNDO
delay(1000);
}

void loop() {
// LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
double t = thermocouple.readCelsius();

// PRIMERO LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA
TEMPERATURA
lcd.clear();
lcd.print(F("->TEMPERATURA<-"));
lcd.setCursor( 3, 1 );
lcd.print(t);

// IMPRIMIR LA TEMPERATURA EN LA TERMINAL SERIAL
Serial.print("C = ");
Serial.println(t);

// ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
delay(1000);
}

```

El siguiente diagrama de la Figura 38 muestra cómo llevar a cabo la conexión de un módulo de MAX6675 con el Arduino. Cabe recordar que existen varios tipos de módulos en el mercado y debemos prestar atención para no equivocarnos en la posición de las señales.

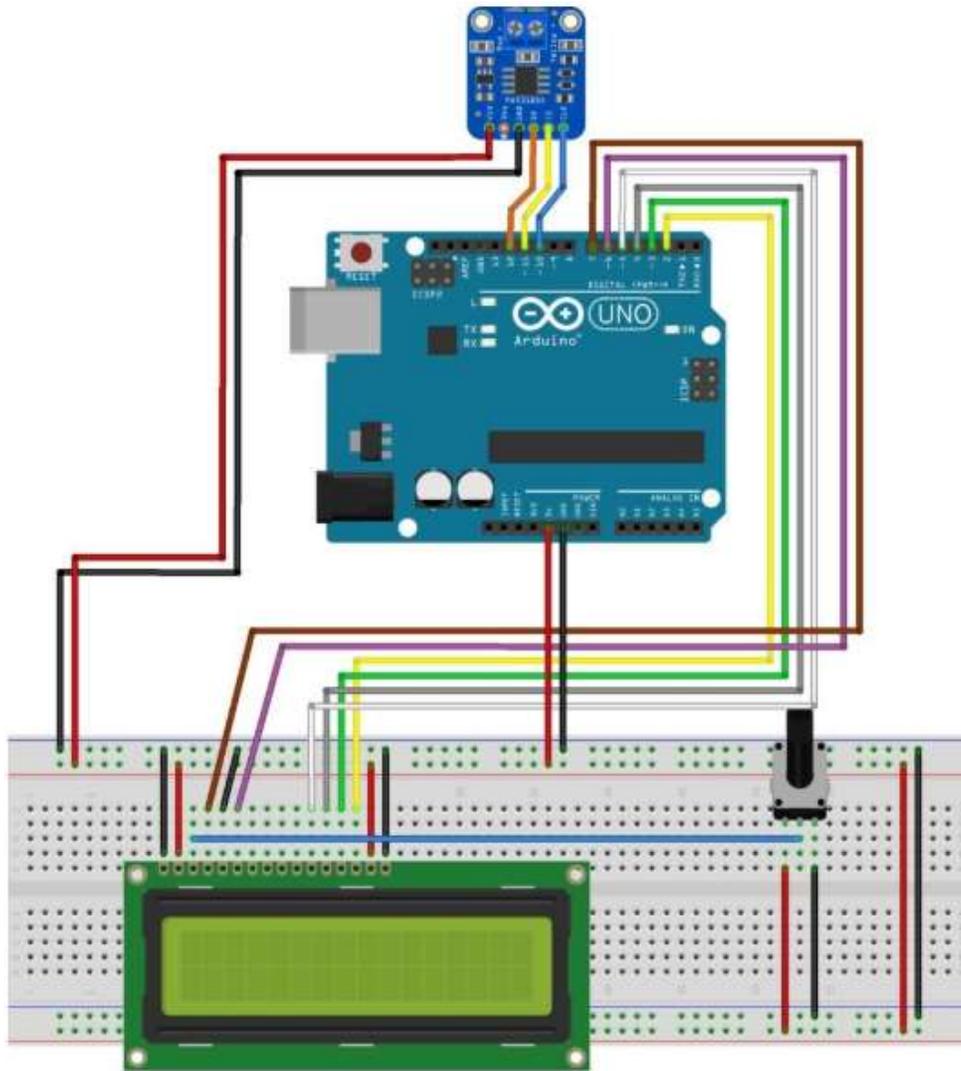


Figura 38. Conexión del circuito para el módulo del termopar.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar el objetivo planteado de poder integrar a un reactor hecho a la medida un sistema mecatrónico de control de la temperatura de operación mediante la incorporación al cuerpo del reactor de un sensor termopar tipo K controlado por Arduino. Así mismo proponer una reingeniería del reactor actual para actualizar su sistema de sujeción y cierre hermético y su estructura de soporte.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica dentro de la Industria en situaciones reales.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, programación, control, resistencia de los materiales, química, análisis de fluidos, 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 en la industria. 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 la empresa fue una de las mejores experiencias profesionales donde aprendí lo importante que es llevar establecer soluciones rentables para la industria y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Implementé métodos innovadores de solución de problemas, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
2. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
3. Coadyuve a cumplir los retos de la empresa en torno a proyectos de tecnología patentable.
4. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de construcción del proyecto.
5. Diseñé e innové estructuras de procesos, con base en las necesidades de la empresa para incrementar sus niveles de productividad.
6. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos y modelado de sistemas en los procesos de la organización, para la mejora continua atendiendo estándares de calidad.
7. Implementé planes y programas de seguridad industrial para el fortalecimiento del entorno del proceso.
8. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la empresa, para optimizar los procesos y la eficaz toma de decisiones.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar modelos, sistemas, procesos y productos en las diferentes dimensiones de la organización.
10. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas en la industria con una visión estratégica.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Ambientum. (29 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/contaminacion-plastico.asp>
- [2] 20 arapac. (30 de Enero de 2015). Obtenido de <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/>
- [3] 3D CAD PORTAL. (2019). Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>
- [4] adrormacion. (2017). Obtenido de Soluciones eLearning : https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html
- [5] AGROWASTE. (2013). Obtenido de <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>
- [6] CAIP. (2019). Obtenido de Camara Argentina de la Industria Plastica: <https://www.caip.org.ar/tipos-de-plasticos/>
- [7] ELECTRICBOY . (18 de Noviembre de 2018). Obtenido de <https://electricboy290892360.wordpress.com/2018/11/16/que-es-arduinopor-quecomo-usarlo/>
- [8] Euston96. (2019). Obtenido de <https://www.euston96.com/pirolisis/#Tipos>
- [9] Facultad de Ciencias Químicas Universidad Veracruzana . (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-reactor-tipo-batch>
- [10] Geek Factory. (28 de Sep de 2018). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/alimentar-el-arduino-la-guia-definitiva/>
- [11] Geek Factory28. (s.f.). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/alimentar-el-arduino-la-guia-definitiva/>
- [12] INGENIERIA QUIMICA. (29 de Mayo de 2014). Obtenido de <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/362-productos-procedentes-de-la-pirolisis>

- [13] INGENIERÍA QUÍMICA. (26 de Mayo de 2014). Obtenido de <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/361-pirolisis>
- [14] JM Industrial. (21 de Marzo de 2016). Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/6-resistencias-calefactoras.html>
- [15] Obando, G. (2015). Obtenido de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2590/1/informe%20final%20trabajo%20investigacion%20Gabriel_Obando_2016.pdf
- [16] Plastics Europe . (2019). Obtenido de Productores de Materias Plasticas: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>
- [17] Plastics Europe. (2019). Obtenido de Productores de Materias Plasticas: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- [18] PolimerTecnico. (06 de Abril de 2016). Obtenido de Empresa de Metacrilato, Policarbonato y Material Plástico: <https://www.polimertecnic.com/origen-del-plastico/>
- [19] QuimiNet. (05 de Nov de 2005). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-del-pet-2806.htm>
- [20] REACTORESQUÍMICOS. (s.f.). Obtenido de <https://reactorquimico.wordpress.com/reactores-homogeneos-ideales-isotermicos/reactor-homogeneo-batch-y-semibatch/>
- [21] Sensor de temperatura. (s.f.). Obtenido de <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>
- [22] Textos Cientificos . (04 de Sep de 2005). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>
- [23] Yubal. (03 de Agosto de 2018). XacataBasics. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

ANEXO 1

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

MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA
S. DE R. L. DE C.V.

Aguascalientes, Ags., a 19 de agosto de 2019

Asunto: Carta de aceptación de
Residencias profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA

PRESENTE

Por medio de la presente se notifica que la C. ANA VERÓNICA MARTÍNEZ DÍAZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050131, ha sido aceptada para realizar en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y desarrollo de un sistema mecatrónico para el control de variables de operación de un reactor pirólítico de bajo volumen" durante el periodo de agosto a diciembre de 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión del Ing. José Guadalupe Moreno Paredes, Director operativo de la empresa, quien funge como asesor externo.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

ATENTAMENTE



LIC. ARTURO BERZAÍN MORENO DONDIEGO
REPRESENTANTE LEGAL

C.p. Archivo.

Calle Geodesia No. 144, Fracc. Natura, Aguascalientes, Ags., México.
Cel. 449 165 8867. email: berzaxx@gmail.com

ANEXO 2

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

MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA
S. DE R. L. DE C.V.

Aguascalientes, Aqs., a 6 de diciembre de 2019

Asunto: Carta de conclusión de
Residencias profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA

PRESENTE

Por medio de la presente se notifica que la C. ANA VERÓNICA MARTÍNEZ DÍAZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050131, concluyó satisfactoriamente en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y desarrollo de un sistema mecatrónico para el control de variables de operación de un reactor pirolítico de bajo volumen" durante el periodo de agosto a diciembre de 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión del Ing. José Guadalupe Moreno Paredes, Director operativo de la empresa, quien funge como asesor externo.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

ATENTAMENTE



LIC. ARTURO BERZAÍN MORENO DONDIEGO
REPRESENTANTE LEGAL

C.p. Archivo.

Calle Geodesia No. 144, Fracc. Natura, Aguascalientes, Aqs., México.
Cel. 449 165 8867. email: berzaxx@gmail.com