

**[Ago-Dic,
2019]**



Manuel David Fonseca Sánchez

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

**[DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
CONDENSACIÓN AUTOMATIZADO DE GASES
PIROLÍTICOS 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

Primeramente, agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día con día.

De igual manera agradezco a mi asesor de proyecto de residencia profesional, Dr. José Alonso Dena Aguilar por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, aso como haberme dado toda la paciencia y tiempo necesario para guiarme durante todo el desarrollo práctico y teórico del proyecto dentro de la Tesis.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi asesor externo de la empresa MICRO REFINERÍA ECOLÓGICA S DE RL DE CV, Ing. José Guadalupe Moreno Paredes por haberme aceptado que realice mis prácticas profesionales y posterior titulación por Tesis.

Para finalizar, agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante cada semestre en el Instituto, sin dejar atrás al Ing. Julio Acevedo Martínez quien fue una de las personas quien más me ayudo y me impulso a seguir mejorando cada vez más, gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

RESUMEN

“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONDENSACIÓN AUTOMATIZADO DE GASES PIROLÍTICOS DE UN REACTOR PIROLÍTICO DE BAJO VOLUMEN”

Por: **MANUEL DAVID FONSECA SÁNCHEZ**

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 que incluya un sistema automatizado de condensación de gases pirolíticos, es decir, un sistema efectivo de enfriamiento, separación y condensación de un líquido tipo combustible sin refinar.

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, como lo es un sistema de enfriamiento de gases de pirolisis. 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.

Este equipo tiene integrado un sistema de condensación hecho a la medida, el cual ha sido fabricado con materiales de baja calidad lo que no permite condensar totalmente los gases pirolíticos debido a que opera con un sistema de enfriamiento mediante hielo a granel que ofrece temperaturas de condensación (alrededor del serpentín de conducción de gases) entre 0 y 4 °C durante breves lapsos de tiempos. Lo anterior provoca que el sistema de condensación no pueda ser regulado durante su operación.

Por tanto, se propone crear un sistema de condensación bajo el principio de funcionamiento del efecto Peltier monitoreado por un sistema embebido de temperatura para lograr alcanzar temperaturas de enfriamiento por debajo de los 0 °C.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para (i) diseñar un nuevo sistema de condensación donde se integre un mecanismo de enfriamiento por efecto Peltier controlado por sensores de temperatura con interfaz en Arduino y (ii) diseñar un nuevo condensador que permita integrar el mecanismo de celdas Peltier propuesto.

La propuesta de solución consistió en crear un mecanismo en serie de celdas Peltier para enfriamiento de un fluido que sustituya el hielo a granel además de medir los rangos de temperatura alcanzados con el conjunto de celdas Peltier considerado.

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..... | 6 |
| II. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1 Plásticos..... | 8 |
| 2.1.1 Termoplásticos..... | 8 |
| 2.1.2 Polietileno Tereftalato (PET)..... | 8 |
| 2.2 CONDENSACIÓN..... | 9 |
| 2.2.1 Principios básicos de la condensación..... | 9 |
| 2.2.2 Condensador..... | 10 |
| 2.2.3 Sistema de refrigeración para condensador..... | 10 |
| 2.3 PIRÓLISIS..... | 11 |
| 2.3.1 Pirolisis..... | 11 |
| 2.3.2 Tipos de pirolisis..... | 13 |
| 2.4 Reactores de pirolisis..... | 14 |
| 2.5 Contaminación por plásticos..... | 19 |
| 2.6 Sensores de temperatura..... | 20 |
| 2.7 SOLIDWORKS..... | 22 |
| 2.8 Condensación de gases..... | 23 |
| 2.8.1 Tipos de condensación..... | 24 |
| 2.8.2 Tipos de condensadores..... | 26 |
| 2.8.3 Transferencia de calor..... | 26 |
| 2.8.4 Torres de enfriamiento..... | 27 |

| | Pag. |
|--|-----------|
| 2.9 Efecto Peltier..... | 29 |
| 2.9.1 La Termoelectricidad..... | 30 |
| 2.9.2 Efectos presentes en la célula de efecto Peltier..... | 30 |
| 2.9.3 Ventajas e inconvenientes de la célula de efecto Peltier..... | 32 |
| 2.10 Intercambiadores de calor..... | 33 |
| 2.11 ARDUINO..... | 35 |
| 2.11.1 Interfaz Arduino: alimentación, pines, entradas y salidas..... | 36 |
| | |
| III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES | |
| REALIZADAS..... | 38 |
| 3.1 Diseño del condensador hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería) | 38 |
| 3.2 Construcción de condensador con reingeniería..... | 40 |
| 3.3 Construcción de sistema de condensación Peltier..... | 40 |
| 3.4 Sistema de control..... | 41 |
| 3.5 Cronograma de actividades..... | 41 |
| | |
| IV. RESULTADOS..... | 42 |
| 4.1 Diseño del condensador hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería)..... | 42 |
| 4.2 Construcción de condensador con reingeniería y sistema de condensación Peltier..... | 54 |
| 4.3 Sistema de control..... | 54 |
| | |
| V. CONCLUSIONES..... | 57 |
| | |
| VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS..... | 58 |
| | |
| VII. FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional..... | 61 |
| Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional..... | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia..... | 4 |
| Figura 2. Productos utilizando Termoplásticos..... | 8 |
| Figura 3. Estructura química del PET..... | 9 |
| Figura 4. Condensación de gases..... | 10 |
| Figura 5. Condensador de gases y fluidos..... | 10 |
| Figura 6. Esquema de los principales termoquímicos..... | 11 |
| Figura 7. Esquema de un proceso de pirolisis..... | 13 |
| Figura 8. Diagrama esquemático de tanque agitado. | 15 |
| Figura 9. Reactor de lecho fluidizado..... | 16 |
| Figura 10. Horno reactor de pirolisis..... | 17 |
| Figura 11. Esquema del proceso BFB..... | 18 |
| Figura 12. Reactor de tornillo de cono rotatorio..... | 18 |
| Figura 13. Esquema de reactor de tornillo..... | 19 |
| Figura 14. Desechos de platicos PET..... | 20 |
| Figura 15. Termopares..... | 21 |

| | Pag. |
|---|------|
| Figura 16. Termopar tipo K..... | 22 |
| Figura 17. Esquema del termopar..... | 22 |
| Figura 18. Diseño en Solid Works..... | 23 |
| Figura 19. Transferencia con cambio de fase..... | 25 |
| Figura 20. Conducción a través de una superficie cilíndrica..... | 27 |
| Figura 21. Proceso dentro de las torres de enfriamiento..... | 29 |
| Figura 22. Celda Peltier..... | 30 |
| Figura 23. Esquema de termopar..... | 31 |
| Figura 24. Esquema del efecto Peltier..... | 32 |
| Figura 25. Disposiciones de las corrientes..... | 33 |
| Figura 26. Clasificación de los intercambiadores..... | 34 |
| Figura 27. Intercambiador de serpentín..... | 34 |
| Figura 28. Imagen de un Arduino UNO | 35 |
| Figura 29. Captura de pantalla del IDE de Arduino..... | 36 |
| Figura 30. <i>Condensador actual hecho a la medida</i> | 42 |

| | Pag. |
|---|------|
| Figura 31. Condensador actual acoplado a reactor pirolítico..... | 42 |
| Figura 32. Condensador actual: interior – serpentín con hielo a granel..... | 43 |
| Figura 33. Condensador actual: salida lateral de gases no condensables..... | 43 |
| Figura 34. Condensador actual: salida inferior de combustibles líquidos..... | 44 |
| Figura 35. Diseños del condensador original: vista general | 45 |
| Figura 36. Dimensiones condensador original: vista lateral | 46 |
| Figura 37. Accesorios de extracción de gases condensados..... | 46 |
| Figura 38. Serpentín de gases y tapa superior de condensador..... | 47 |
| Figura 39. Accesorios de conexión del reactor hacia el condensador..... | 47 |
| <i>Figura 40. Diseño del interior del condensador con reingeniería.....</i> | 47 |
| Figura 41. Diseño de bomba de agua..... | 49 |
| Figura 42. Sistema Peltier..... | 49 |
| Figura 43. Arreglo de tubería de cobre tipo parrilla. Para inferior sistema Peltier..... | 50 |
| Figura 44. Conexión del sistema de enfriamiento con el condensador..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 45. sistema de circulacion de fluido de gases y liquidos | 51 |
| Figura 46. Diseño del sistema completo | 52 |
| Figura 47. Sistema de condensación por sistema de enfriamiento con fluido | 53 |
| Figura 48. Diagrama electrónico | 55 |
| | 49 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|------|
| | Pág. |
| Tabla 1. Tipos de procesos de pirolisis..... | 12 |
| Tabla 2. Comparación de rendimiento de las funciones obtenidas en función del tiempo del proceso termoquímico..... | 14 |

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, como lo es un sistema de enfriamiento de gases de pirolisis. 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 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.

Este equipo tiene integrado un sistema de condensación hecho a la medida, el cual ha sido fabricado con materiales de baja calidad lo que no permite condensar totalmente los gases pirolíticos debido a que opera con un sistema de enfriamiento mediante hielo a granel que ofrece temperaturas de condensación (alrededor del serpentín de conducción de gases) entre 0 y 4 °C durante breves lapsos de tiempos. Lo anterior provoca que el sistema de condensación no pueda ser regulado durante su operación. Aunado a lo anterior, y, en particular, el condensador existente no tiene

integrado ningún sistema de control y automatización para el control de la temperatura de condensación.

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 láminas, 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 hidrogeno, 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. Particularmente, el sistema de condensación permite transformar los gases de pirolisis en líquidos de combustibles.

En base a lo anterior, el objetivo del presente proyecto es crear un sistema de condensación bajo el principio de funcionamiento del efecto Peltier monitoreado por un sistema embebido de temperatura para lograr alcanzar temperaturas de enfriamiento por debajo de los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para (i) diseñar un nuevo sistema de condensación donde se integre un mecanismo de enfriamiento por efecto Peltier controlado por sensores de temperatura con interfaz en Arduino y (ii) diseñar un nuevo condensador que permita integrar el mecanismo de celdas Peltier propuesto.

La propuesta de solución consistió en crear un mecanismo en serie de celdas Peltier para enfriamiento de un fluido que sustituya el hielo a granel además de medir los rangos de temperatura alcanzados con el conjunto de celdas Peltier considerado. Esta propuesta permite satisfacer los requerimientos de diseño de la empresa para realizar la reingeniería al sistema de condensación. Esta fuera del alcance del proyecto la validación de la propuesta.

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 reactor 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.

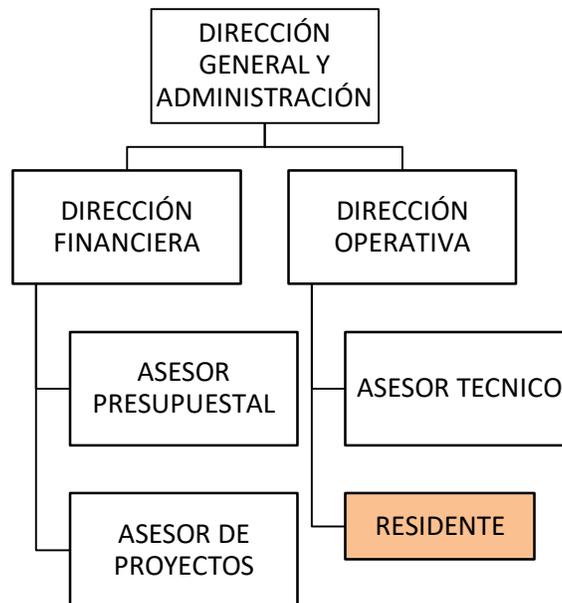


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

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. Específicamente el sistema de condensado de gases de pirolisis debe ser monitoreado para poder validar la eficiencia del proceso total que permitan optimizar el equipo.

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 condensador disponible

- Sistema de enfriamiento a base de efecto Peltier.
- Caja de control e interfaz de sistema mecatrónico.

El sistema mecatrónico asegura que se tengan controles sobre la operación del condensador 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 de condensación automatizado de gases pirolíticos mediante la integración de un arreglo de celdas Peltier en un reactor pirolítico de bajo volumen hecho a la medida para optimizar el rendimiento de los productos líquidos condensables.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama del condensador 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 temperatura.
- Integrar y programar los elementos mecatrónicos mediante la colocación de una cama de celdas Peltier en serie y sensor de medición de temperatura de condensación.

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, y considerando el sistema de condensación, 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 del sistema de enfriamiento.

En este contexto, la empresa ha desarrollado un reactor batch de 20 L de capacidad donde ha integrado un sistema simple de condensación y 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, flujos y nivel de fluidos.

En este proyecto se contempla, integrar un sistema de control y automatización al sistema de enfriamiento del reactor pirolítico hecho a la medida existente para la medición

y optimización de las variables de operación. Esta fuera de alcance del proyecto la validación de las mejoras propuestas al equipo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PLÁSTICOS

2.1.1 Termoplásticos

Los termoplásticos son polímeros lineales, que pueden estar ramificados o no. Puesto que no se encuentran entrecruzados son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundir y son, por tanto, reciclables. Si los comparamos con los demás tipos de plásticos, los termoplásticos se fabrican y emplean en cantidades muy grandes y entre ellos los más frecuentes son PE, PP, PS y PVC, ver Figura 2.



Figura 2. Productos utilizando Termoplásticos

2.1.2 Polietileno Tereftalato (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 3 se presenta la fórmula química del PET. Se observa que posee un anillo en su estructura.¹

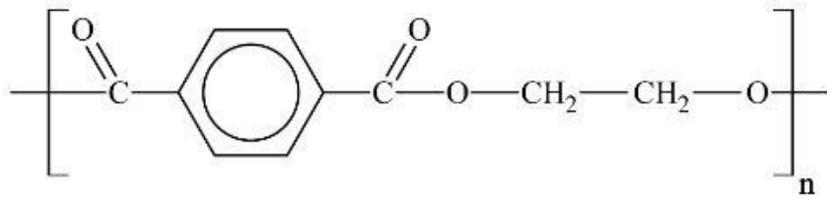


Figura 3. Estructura química del PET.

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.²

2.2 CONDENSACIÓN

2.2.1 Principios básicos de la condensación

Se denomina condensación al proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de energía llamada "calor latente". El paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura. La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía. Así, el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético. La técnica de condensación fuerza que los gases de combustión condensen y, de esta forma, se aproveche la energía latente en el vapor de agua para convertirla así en calor sensible, ver Figura 4.³

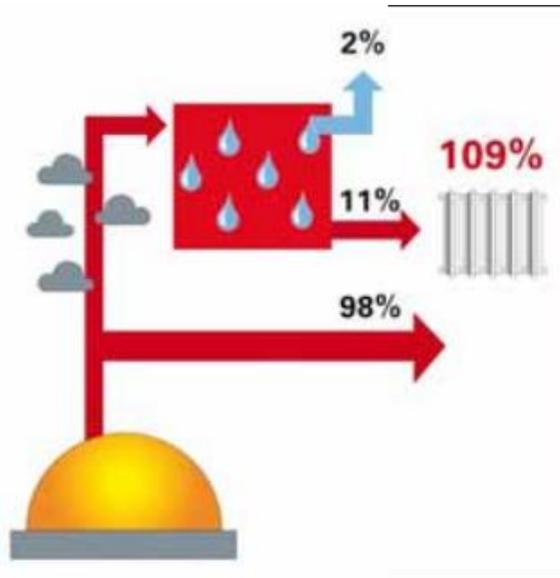


Figura 4. Condensación de gases.

2.2.2 Condensador.

Es un intercambiador de carcasa y tubos dispuesto horizontalmente, construido en acero inoxidable y refrigerado con agua que circula por el interior de los tubos, ver Figura 5.

2.2.3 Sistema de refrigeración para condensador

Compuesto por una bomba dosificadora de membrana, un depósito de agua para regular su temperatura y su respectivo circuito de recirculación.⁴

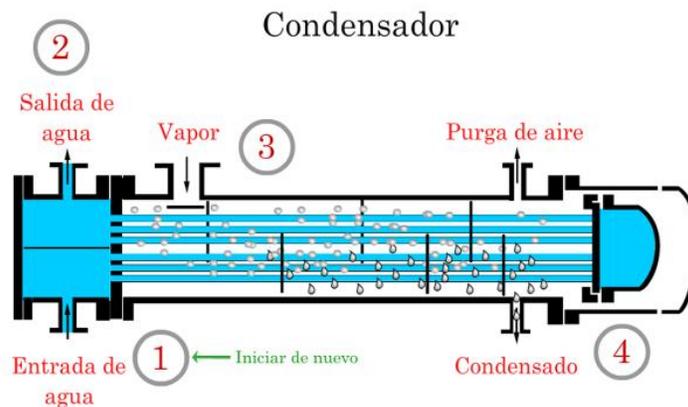


Figura 5. Condensador de gases y fluidos.

2.3 PIRÓLISIS

2.3.1 Pirólisis

Es la conversión termoquímica de la biomasa en tres productos (ruta clásica): líquido (bioaceites), gas (biogás) y residuo carbonoso (biocarbón), por calentamiento de la biomasa, (alrededor de 500 °C), en ausencia de aire. Hay diferentes tipos de pirólisis en función de la velocidad de calentamiento y el tiempo de residencia de la biomasa en los reactores.⁶ En la Figura 6 se muestran los procesos termoquímicos existentes y donde se incluye el proceso de pirólisis.

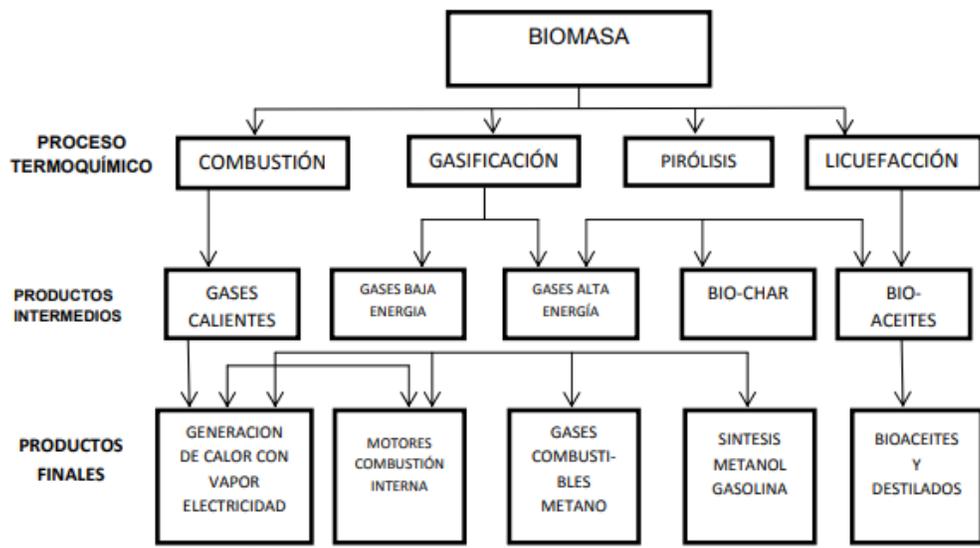


Figura 6. Esquema de los principales termoquímicos.

La pirólisis es un proceso termoquímico que convierte la materia orgánica en combustible útiles, con un alto rendimiento, mediante calentamiento a temperatura moderadamente alta (350-650°C) y en ausencia de oxígeno. Por su capacidad de tratamiento, es el método más eficaz para competir con las fuentes de combustibles no renovables. Desde un punto de vista químico, la pirólisis es un proceso complejo. Generalmente, se lleva a cabo a través de una serie de reacciones en las que influyen muchos factores: la estructura y composición de la materia prima, la tecnología utilizada, la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la velocidad de enfriamiento y la temperatura del proceso. En la Tabla 1 se muestran los distintos tipos de procesos de

pirólisis que se clasifican atendiendo a la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia y la temperatura final en: carbonización, pirólisis convencional, pirólisis rápida, pirólisis flash de gases y líquidos, pirólisis ultra rápida, pirólisis a vacío, hidro-pirólisis y metano pirolisis.⁵

Tabla 1. Tipos de procesos de pirolisis.

| PROCESO | TIEMPO DE RESIDENCIA | VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO | TEMPERATURA (°C) | PRODUCTOS |
|------------------|----------------------|----------------------------|------------------|------------------------|
| CARBONIZACIÓN | Días | Muy lenta | 400 | Bio-char |
| CONVENCIONAL | 5-30 min | Lenta | 600 | Gas, líquido y biochar |
| RÁPIDA | 0,5-5 SEG | Muy rápida | 650 | Bioaceites |
| FLASH (LÍQUIDOS) | < 1 seg | Rápida | < 650 | Bioaceites |
| FLASH (GAS) | < 1 seg | Rápida | < 650 | Químicos y gas |
| ULTRARÁPIDA | < 0,5 seg | Muy rápida | 1000 | Químicos y gas |
| VACIO | 2-30 seg | Media | 400 | Bioaceites |
| HIDROPIRÓLISIS | < 10 seg | Rápida | < 500 | Bioaceites |
| METANOPIRÓLISIS | < 10 seg | Rápida | > 700 | Químicos |

En otras palabras, la pirolisis es la conversión de una muestra en otra sustancia por medio del calor únicamente. Este proceso puede conducir a moléculas de menor masa debido a la función térmica o puede resultar en un aumento del peso molecular por medio de reacciones intermoleculares, dependiendo de las condiciones elegidas. En la Figura 7 se presenta un esquema de un proceso de pirolisis convencional.

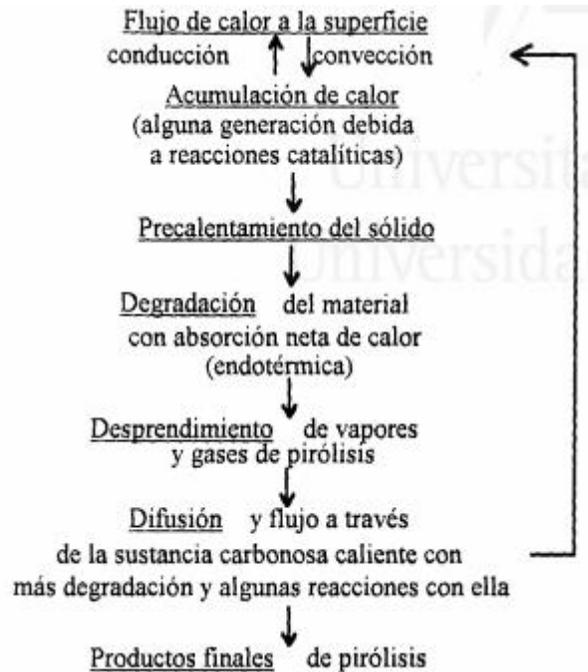


Figura 7. Esquema de un proceso de pirólisis

2.3.2 Tipos de pirólisis.

Pirólisis convencional

La pirólisis convencional tiene lugar a con una velocidad de calentamiento lenta, alcanzando una temperatura máxima entre 500-600°C. En estas condiciones, se obtienen tres productos: sólidos, líquidos y gases, en proporciones significativas.

Pirólisis rápida

Es el proceso por el cual el material se calienta rápidamente en ausencia de oxígeno y a temperaturas altas (650°C). Se utiliza sobre todo para la producción de bioaceites ya que los rendimientos en peso de esta fracción son muy superiores a los que se obtienen en la pirólisis convencional.

Flash pirólisis o pirólisis ultrarrápida

Cuando la temperatura del proceso es más elevada (1000 °C) y los tiempos de residencias son aún más cortos, la pirólisis se denomina ultrarrápida. En este caso, el mayor rendimiento corresponde a los gases. Sin embargo, el flash pirólisis es una vía

prometedora en lo que respecta a la producción de bioaceites. La conversión de la biomasa en aceite crudo puede tener un rendimiento de hasta el 70 %. Los aceites pueden ser usados en turbinas y motores, aunque existen problemas en su uso debido a las propiedades físicoquímicas intrínsecas de los aceites; una baja estabilidad térmica, corrosividad y bajo poder calorífico. En los procesos de flash pirólisis, las condiciones de operación se pueden variar, para favorecer la producción de gas (flash-gas) o de líquidos (flash-líquidos). La Tabla 3 compara los rendimientos típicos de las fracciones obtenidas en los diferentes tipos de pirolisis.⁶

Tabla 3. Comparación de rendimiento de las funciones obtenidas en función del tiempo del proceso termoquímico.

| PROCESO | RENDIMIENTOS (%) | | |
|------------------------|------------------|------|-----|
| | LIQUIDOS | CHAR | GAS |
| PIRÓLISIS RÁPIDA | 75 | 12 | 13 |
| PIRÓLISIS CONVENCIONAL | 50 | 20 | 30 |
| CARBONIZACIÓN | 30 | 35 | 35 |
| GASIFICACIÓN | 5 | 10 | 85 |

2.4 REACTORES DE PIROLISIS

2.4.1 Tipos de reactores de pirólisis

Reactor de tanque agitado

Está provisto de un sistema de agitación en el interior, cuyo objetivo es conseguir un craqueo uniforme del material introducido. Este tipo de reactor es utilizado para la degradación térmica de polietileno de alta y baja densidad. En la degradación de LDPE (polietileno de baja densidad), se emplean temperaturas de calefacción comprendidas entre 360 y 420°C, y se obtiene un producto blanco sólido (ceras) que poseen un alto contenido de olefinas. En la Figura 8 se muestra un esquema de un reactor de tanque agitado. Estos tipos de tanques son de costo elevado, requieren un mantenimiento constante, su capacidad total disminuye debido al agitador y requieren un mayor aislamiento.

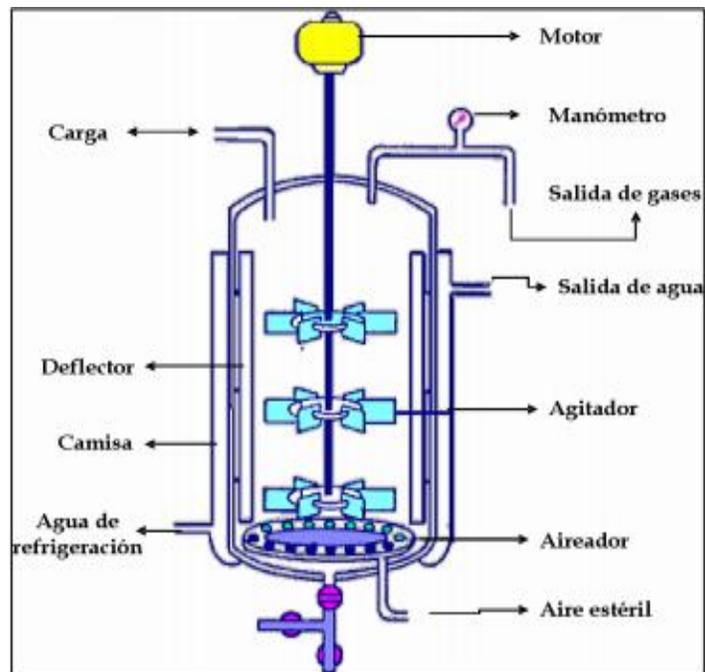


Figura 8. Diagrama esquemático de tanque agitado.

Reactor de lecho fluidizado

Este tipo de reactor es muy utilizado en los procesos de degradación, debido a sus buenas características de transferencia de calor y de materia, que provocan una aceleración de la reacción involucrada en el proceso. En la Figura 9 se observa el esquema de un reactor de lecho fluidizado. Las condiciones de operación y las dimensiones de estos reactores son muy diversas, pudiendo trabajar de forma continua o discontinua, presentan características similares a los reactores utilizados a gran escala, alteran la atmósfera de reacción para llevar a cabo una pirólisis oxidativa. El costo de este tipo de reactor es elevado.

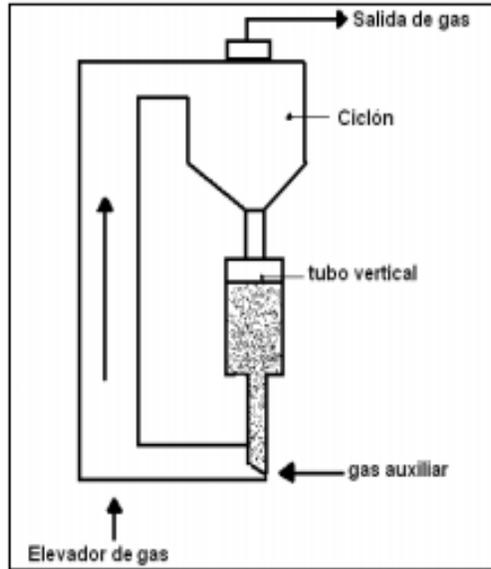


Figura 9. Reactor de lecho fluidizado.

Horno reactor

La materia prima utilizada en el horno reactor se aprovecha mejor que con el empleo de métodos tanto técnicos como artesanales, obteniéndose así productos de alto grado de carbono fijo y poca humedad. Además, con este tipo de horno el control del proceso es más sencillo.⁷ Este sistema se basa en el calentamiento de la materia prima a pirolizar a través de una recámara, que por lo general son cilíndricas y de metal, teniendo como principio la transferencia de calor por parte de un agente externo (quemador), ver Figura 10. Estos tipos de horno mantiene la materia prima dentro de un recipiente cerrado, permitiendo un mejor control en la salida de gases durante el proceso de pirólisis, requiere de menos supervisión del proceso a diferencia de otros sistemas, se puede aprovechar todo el carbón obtenido en el proceso, son fáciles de transportar, su costo no es elevado, y su mantenimiento es mínimo.⁸

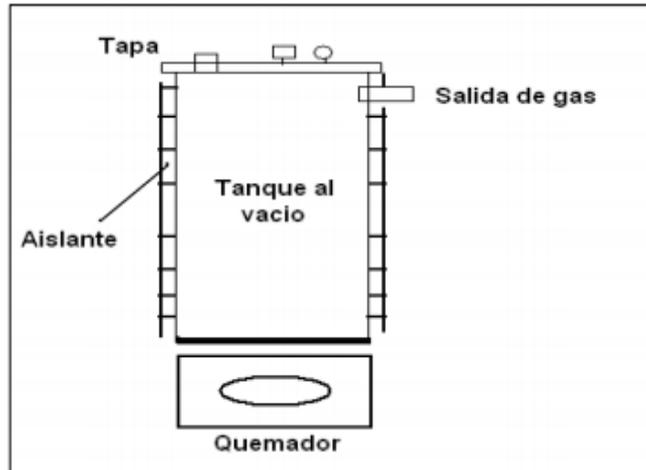


Figura 10. Horno reactor de pirólisis.

Reactores de lecho burbujeante (BFB)

Los reactores de lecho burbujeante o por sus siglas en inglés BFB son comúnmente usados para la producción de AP debido al alto rendimiento en la producción de 31 combustibles. Usualmente, la materia prima es alimentada a un reactor vertical que contiene una cama de arena caliente. Un flujo de un gas inerte es usado para fluidizar la arena, simultáneamente el gas cumple la función de homogenizar la mezcla para mejorar las condiciones de transferencia de calor y facilitar las reacciones que ocurren en el proceso. Diferentes métodos de calentamiento son utilizados en el proceso de pirólisis, generalmente, se hace uso de resistencias o incluso de los productos obtenidos. En la Figura 11 se muestra un reactor BFB.

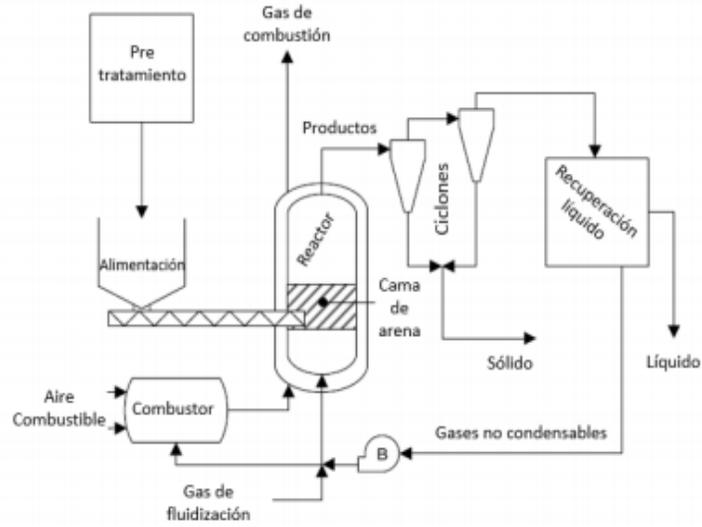


Figura 11. Esquema del proceso BFB.

Reactores de cono rotatorio

El reactor de cono rotatorio está compuesto por un recipiente de reacción vertical donde una cama de materia prima permanece bien mezclada debido al gas de fluidización. La materia prima es mezclada usando un cono rotatorio con un sólido como medio de calentamiento. Un esquema del sistema de cono rotatorio es ilustrado en la Figura 12.

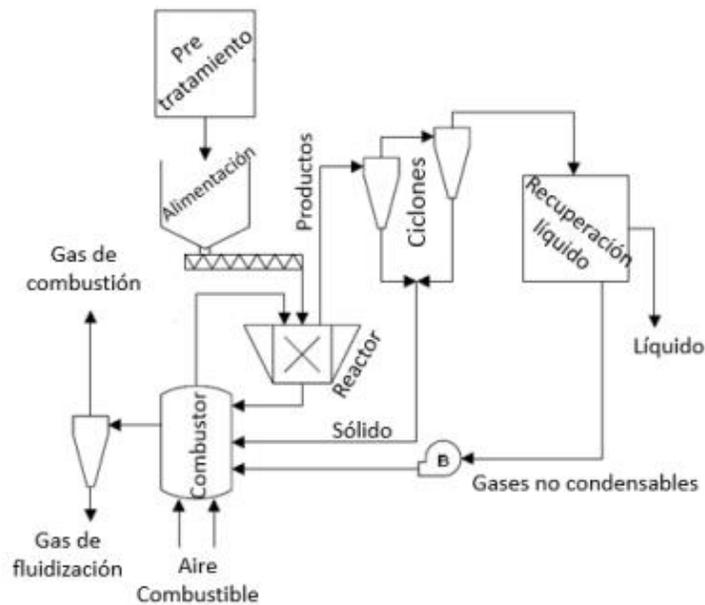


Figura 12. Reactor de tornillo de cono rotatorio.

Reactor de tornillo sin fin

Al igual que el sistema de cono rotatorio en el reactor de tornillo sin fin se hace la mezcla de la materia prima con un sólido que permite el calentamiento de la muestra. La principal característica de este tipo de reactor es la ausencia de un gas de fluidización. El proceso es llevado a cabo en un recipiente horizontal donde es ubicado el tornillo sin fin. En la Figura 13 es mostrado un reactor con doble tornillo.⁹

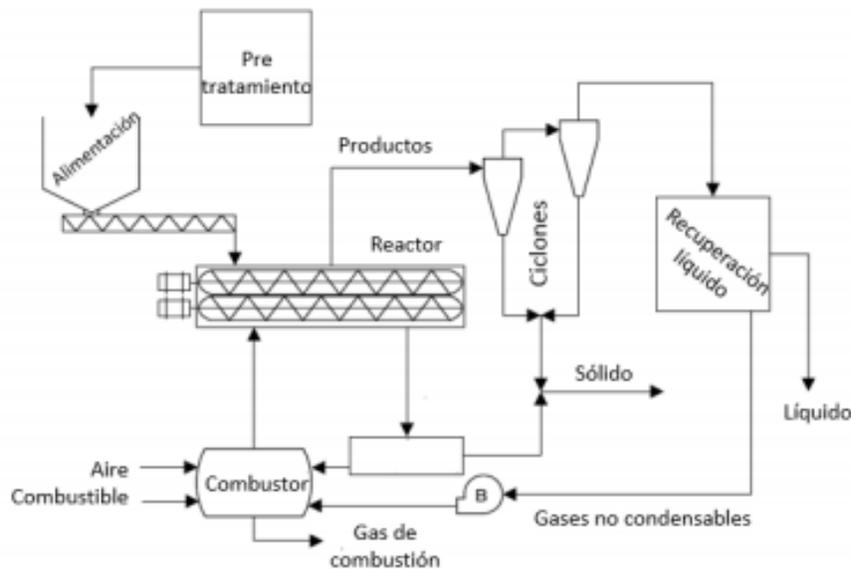


Figura 13. Esquema de reactor de tornillo.

2.5 CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS

Las ventajas del plástico en cuanto a su resistencia a los procesos de degradación físicos y químicos se convierten en un problema cuando el producto pierde su valor de uso. Así, el residuo persiste en el ambiente, impactando visualmente, como así también agrediendo a los ecosistemas debido a que se queman, se entierran o se arrojan a la vera de algún camino.¹⁰ En la Figura 14 se observa un vertedero de plásticos de desecho.

La palabra plástico se refiere a ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos. En general, son derivados del petróleo, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales. Algunas de las propiedades de estos compuestos que los han hecho tan

ampliamente usados son: la facilidad con que pueden ser trabajados o moldeados, su impermeabilidad, su baja densidad (pesan poco con relación a su volumen), su baja conductividad eléctrica, su resistencia a la corrosión y a la intemperie, su resistencia a diversos factores químicos y biológicos y, en buena medida, su bajo costo. Sin embargo, algunas de estas propiedades, que son favorables desde el punto de vista de las aplicaciones que los plásticos pueden tener, han resultado inconvenientes para el manejo de los desechos que se generan con el uso creciente de estos materiales.



Figura 14. Desechos de plásticos PET.

2.6 SENSORES DE TEMPERATURA

Uno de los tipos de sensores disponibles son los de tipo termopar que permiten medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. Las aleaciones de termopar están comúnmente disponibles como alambre. En la Figura 15 se muestran las formas físicas de termopares.

Los termopares están disponibles en diferentes combinaciones de metales o calibraciones para adaptarse a diferentes aplicaciones. Los tres más comunes son las calibraciones tipo J, K y T, de los cuales el termopar tipo K es el más popular debido a su amplio rango de temperaturas y bajo costo.



Figura 15. Termopares.

El termopar tipo K tiene un conductor positivo de níquel-cromo y un conductor negativo de níquel-aluminio. Existen calibraciones tipo R, S, B, G, C y D para alta temperatura que ofrecen un rendimiento de hasta 2320 ° C. Estos están hechos de metales preciosos (platino / rodio y tungsteno / renio) y por lo tanto son relativamente caros. Debido a que los termopares miden en rangos de temperatura muy amplios y son relativamente resistentes, los termopares se utilizan muy a menudo en la industria. Los siguientes criterios son utilizados en la selección de un termopar. En la Figura 16 se muestra un termopar tipo K. Estos tipos de termopares poseen determinado rango de temperatura, tienen alta resistencia química, resisten abrasión y vibración y son de fácil instalación y adaptación a equipos.¹¹ En la Figura 17 se muestra el principio de funcionamiento de un termopar tipo K, donde el calentamiento de la junta de medición provoca una tensión de eléctrica de proporciones similares a la temperatura. Al contar con dos tipos de electrodos de diferentes materiales se genera una diferencia de temperatura entre un punto frío y un punto caliente.¹²



Figura 16. Termopar tipo K.

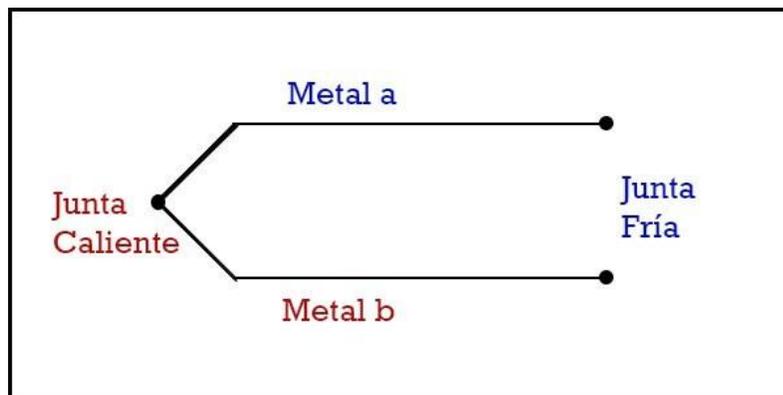


Figura 17. Esquema del termopar.

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.¹³ 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.¹⁴ En la Figura 18 se muestra el IDE de Solid Works. Puede tener amplias aplicaciones en el diseño de reactores pirolíticos.

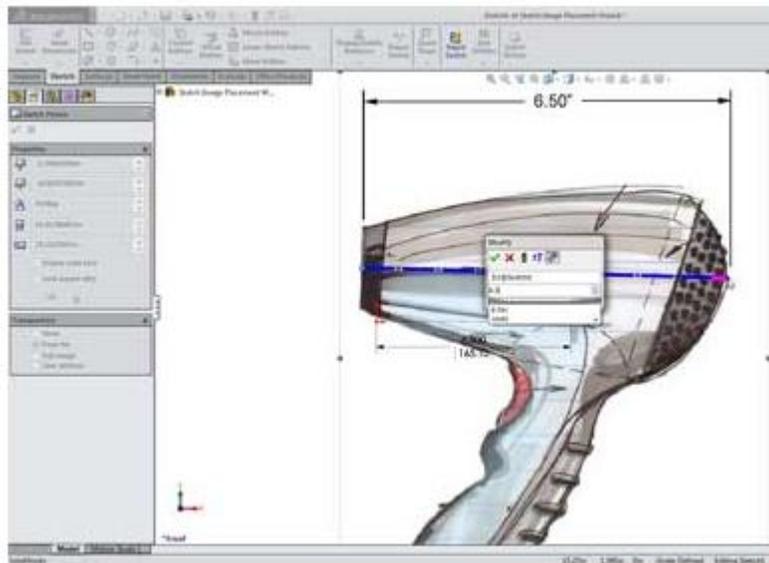


Figura 18. Diseño en Solid Works.

2.8 CONDENSACIÓN DE GASES

Se denomina condensación al proceso físico que consiste en el paso de una sustancia del estado gaseoso a estado líquido. Es el proceso inverso a la ebullición. Aunque el paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se llama condensación al tránsito que se produce a presiones cercanas a la ambiental. Cuando se usa una sobre presión elevada para forzar esta

transición, el proceso se denomina licuefacción. La condensación es un proceso regido con los factores en competición de energía y entropía. Entre otras características podemos mencionar:

- La condensación se produce al bajar la temperatura (por ejemplo, con el rocío en la madrugada), esto es, al primar el factor energético frente al entrópico.
- La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía. Esto tiene parte de la responsabilidad de la sensación de temperatura mayor en un ambiente muy cálido y muy húmedo: la humedad que condensa en nuestra piel nos está transmitiendo un calor adicional. Adicionalmente, esta humedad hace inútil el proceso natural de refrigeración por sudor y evaporación. Cuando el aire está saturado y la temperatura desciende se produce el fenómeno llamado condensación.

2.8.1 Tipos de condensación

Condensación en película

Generalmente los vapores de sustancias orgánicas al condensarse mojan las superficies metálicas formando sobre ellas una película de espesor variable de ahí que a esta operación se la denomine condensación en película. En este tipo de condensación se ha comprobado que el espesor de la película depende de la forma de la superficie, de la velocidad de condensación del vapor y, por último, de las condiciones dinámicas de la película, es decir, del grado de turbulencia. En vista de la gran complejidad que presenta el mecanismo de la condensación de vapores sobre superficies ha sido preciso introducir las siguientes suposiciones: que el vapor se condensa uniformemente en película sobre toda la superficie; que la película se mueve en régimen laminar y, finalmente, que la diferencia de temperaturas entre el vapor y la superficie es constante. Para condensar vapores sobrecalentados es preciso enfriarlo hasta su temperatura de condensación, en esta primera fase, el mecanismo es idéntico al enfriamiento de un fluido que circula por el interior o exterior de un tubo, y su coeficiente de convección es relativamente pequeño, de 200 Kcal. / h, en la segunda fase, la condensación propiamente dicha, el calor cedido viene regulado por la diferencia de temperatura entre el vapor saturado y la superficie.

Cuando el grado de sobrecalentamiento es pequeño comparado con el calor latente, el problema se simplifica, y se utiliza – con buenos resultados – el mismo coeficiente que si se tratase de vapor saturado, la caída de temperatura que se toma es también con gran aproximación, la que corresponde al segundo proceso, es decir la diferencia entre vapor saturado y la superficie.

Condensación en gotas

Este tipo de condensación se produce cuando el líquido no moja a las superficies, las gotas formadas se deslizan por la superficie y se separan de ella. El ángulo de contacto formado por la superficie y el líquido es característico de las sustancias, por lo general todas las sustancias orgánicas forman película continua y lo mismo le sucede al agua, excepto cuando la superficie está cubierta de un ácido graso u otra sustancia que no se moje. Por lo tanto, todos los conocimientos que se tienen de este mecanismo proceden del estudio de un solo caso en particular: la condensación del vapor de agua sobre superficies impregnadas con alguna sustancia orgánica, por ejemplo, un ácido graso, que modifique el ángulo de contacto entre el líquido y la superficie, ver Figura 19.

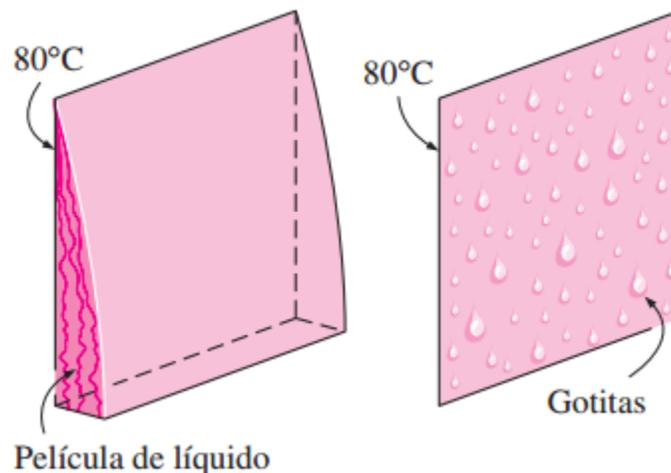


Figura 19. Transferencia con cambio de fase.

2.8.2 Tipos de condensadores

El condensador es un recipiente cerrado dentro del cual se ponen en contacto el vapor por condensar y el agua de enfriamiento. Se distinguen diversos tipos de condensadores:

- *Por la forma de extraer el aire:*

- a) Condensadores de aire húmedo, de los que se extraen juntos el aire mezclado con el agua.
- b) Condensadores de aire seco, de los que se extraen separadamente el agua y el aire.

- *Por la forma de extraer el agua:*

- a) Condensadores cortos de extracción por bomba.
- b) Condensadores largos o barométricos, en los que, el agua escurre por gravedad.

- *Por la forma de circulación del aire.*

- a) Condensadores de corriente paralela, en los que el agua y el aire circulan en la misma dirección.
- b) Condensadores de contracorriente, en los que el agua y el aire circulan en dirección opuesta. Un condensador de contracorriente es evidentemente de aire seco.¹⁵

2.8.3 Transferencia de calor

Se define a la transferencia de calor como la energía calórica en movimiento, debido a un gradiente de temperatura existente en un cuerpo o cuerpos. Existen diferentes tipos de transferencia de calor, los mismos que son denominados modos. Según la forma en la que el calor sea transmitido existen tres principales modos: conducción, convección y radiación. Específicamente el proceso de conducción se produce cuando existe un gradiente de temperatura en un sólido o en un fluido estacionario. En una pared plana el flujo de calor es constante y fluye desde el fluido

caliente hacia el de menor temperatura.¹⁶ En la Figura 20 se observa el principio de funcionamiento de transferencia de calor por conducción.

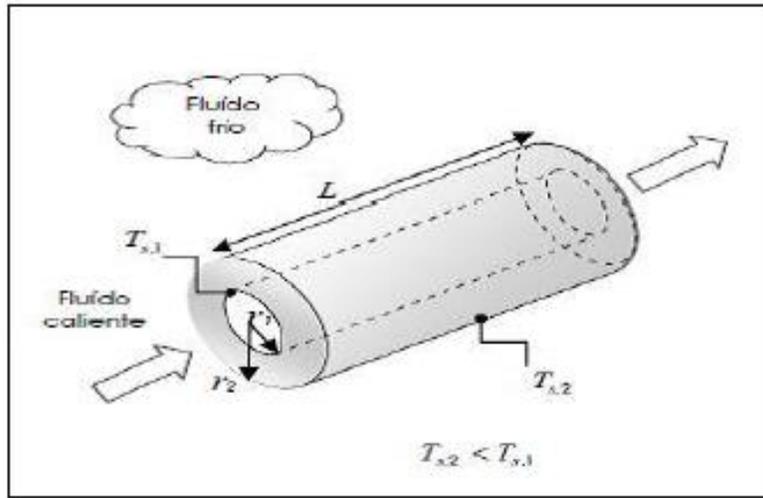


Figura 20. Conducción a través de una superficie cilíndrica.

2.8.4 Torres de enfriamiento

El principio de funcionamiento de una torre de enfriamiento puede ser empleado para diseñar un condensador de bajo volumen. En donde un serpentín conductor de un fluido caliente puede entrar en contacto por su pared externa con un fluido frío y consecuentemente y a lo largo del serpentín poder producirse la condensación del fluido contenido en el serpentín a través de elementos que crean una gran superficie y favorecen el fenómeno de transporte de materia y energía:

- Ventilador
- Es el encargado de extraer la cantidad de masa de aire caliente desde el interior de torre hacia el exterior.
- Bomba de circulación.
- Genera circulación del fluido en el interior de la torre con la finalidad de ejercer un intercambio de temperatura.
- Relleno.

- Son los encargados de disipar el calor latente que viaja desde la parte superior hasta la inferior de la torre, según el diseño de estos elementos el calor se disipara por un intervalo de tiempo.
- Rociadores.
- Es el encargado de fluir el agua en el interior de la torre, según su diseño mecánico se optimizará los recursos de enfriamiento de la torre.
- Calentador Es el encargado de generar calor al fluido para que el proceso termodinámico de transferencia de calos comience a actuar en el equipo.
- Estructura.
- Es la armadura central del equipo donde debe presentar una rigidez para soportar el peso de todos los elementos que conforman el equipo, usualmente se la construye con planchas metálicas de toll para exigir resistencia mecánica al momento de funcionar.
- Medidor de caudal.
- Es el encargado de medir la cantidad de caudal que ingresa y sale de la torre en un cierto intervalo de tiempo.
- Sensores de temperatura que miden la temperatura de ingreso y salida hacia la torre y que registra los gradientes de temperatura.

En la Figura 21 se presenta un esquema de una torre de enfriamiento.

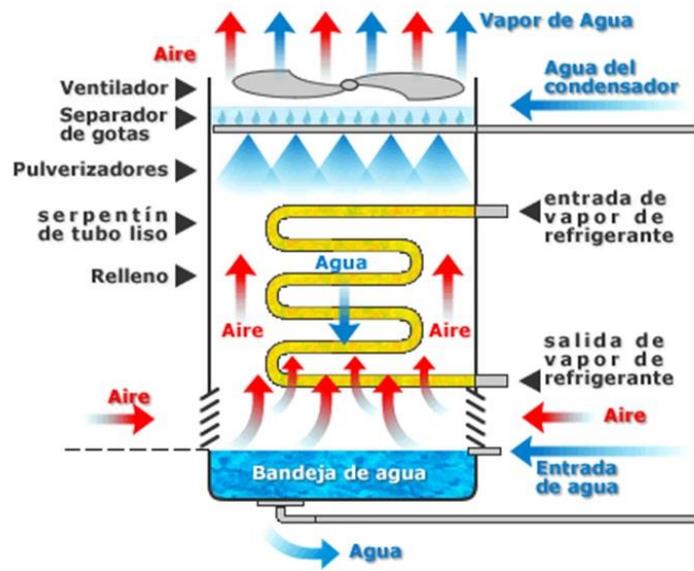


Figura 21. Proceso dentro de las torres de enfriamiento.

2.9 EFECTO PELTIER

El efecto Peltier es una propiedad termoeléctrica descubierta en 1834 por Jean Peltier, trece años después del descubrimiento del mismo fenómeno, de forma independiente, por Thomas Johann Seebeck. El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos «uniones Peltier». La corriente propicia una transferencia de calor de una unión a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta.

Una célula Peltier es un dispositivo semiconductor que se usa para refrigerar. Cuando se conecta a una diferencia de potencial, cada una de las caras tiene una temperatura diferente, ver Figura 22. Uno de estos dispositivos nos permitirá medir el cambio de temperatura del gas que hay dentro un recipiente cerrado cuando se ilumina con una radiación IR de onda corta: si las placas están a diferente temperatura se genera una pequeña diferencia de potencial, que mediremos con un voltímetro. Per tanto, lo que se mida con la célula Peltier es proporcional a la temperatura de la placa encarada al interior del recipiente. Si ambas placas están a igual temperatura, la diferencia de potencial es cero.¹⁷

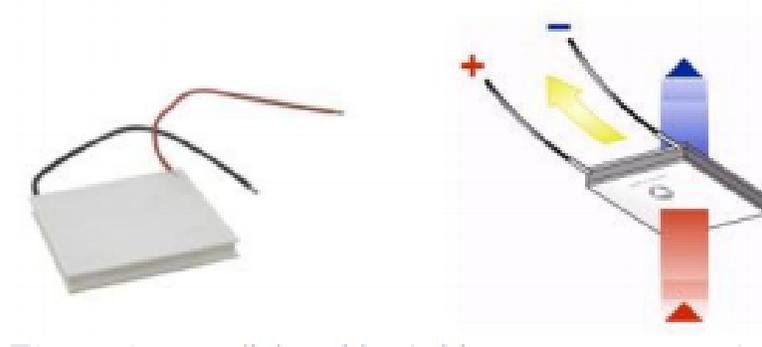


Figura 22. Celda Peltier.

2.9.1 La Termoelectricidad

La Termoelectricidad es la rama de la Termodinámica donde se estudian los fenómenos en los que están presentes el calor y la electricidad. También es el fenómeno físico por el cual se convierten diferencias de temperatura en diferencias de tensión y viceversa. La conversión de diferenciales de tensión a diferenciales de temperatura se puede realizar de tres formas distintas:

- Mediante el efecto Peltier-Seebeck.
- Por emisión termoiónica.
- A través de magnetohidrodinámica.

En este proyecto la conversión de energía eléctrica en energía térmica se realizará mediante el efecto Peltier.

2.9.2 Efectos presentes en la célula de efecto Peltier

La conversión de energía por efecto termoeléctrico (en el sentido calor → electricidad o electricidad → calor) se basa en los efectos Seebeck y Peltier, aunque en la célula aparecen tres efectos:

- Efecto Seebeck.
- Efecto Peltier.
- Efecto Joule.

Efecto Seebeck

El primer efecto termoeléctrico fue descubierto por el físico Thomas Johann Seebeck en 1821. El efecto Seebeck es la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. La aplicación del efecto Seebeck es la medida de temperatura mediante termopares. Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” y el otro denominado “punto frío” o unión fría o de referencia, ver Figura 23.

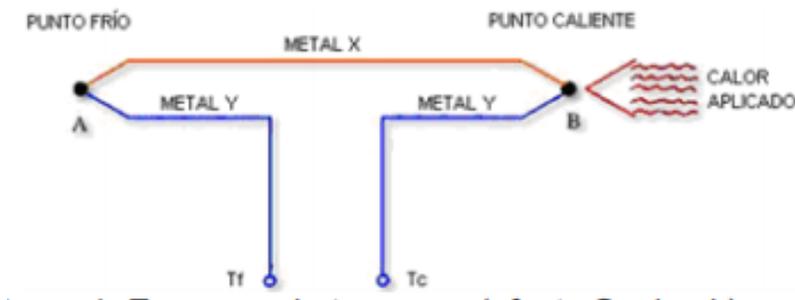


Figura 23. Esquema de termopar.

Efecto Peltier

En 1834, el físico francés Jean-Charles Peltier descubrió el segundo efecto termoeléctrico: en la unión de dos metales diferentes sometidos a una corriente eléctrica aparece una diferencia de temperaturas. Jean Peltier descubrió el efecto que se considera opuesto al efecto Seebeck, al que también se bautizó con el nombre de su apellido: el efecto Peltier, ver Figura 24. La dirección de la transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente. Al invertir la polaridad se cambia la dirección de la transferencia y, como consecuencia, la unión donde se desprendía calor lo absorberá y donde se absorbía lo desprenderá.

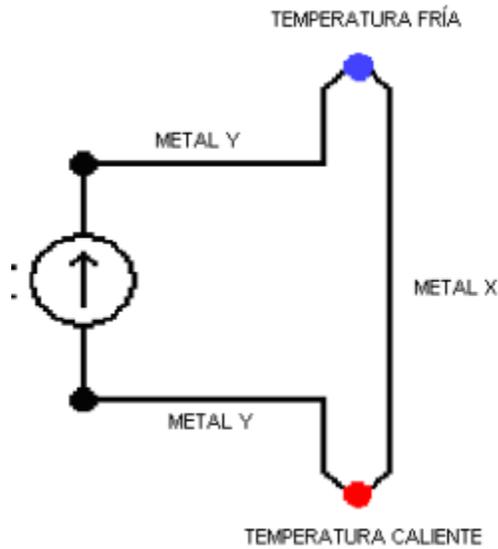


Figura 24. Esquema del efecto Peltier.

Efecto Joule

El efecto Joule descubierto por James Prescott Joule en 1852 afirma que la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica depende del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que esta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente.

2.9.3 Ventajas e inconvenientes de la célula de efecto Peltier

Ventajas

- Tienen un funcionamiento sencillo.
- Su coste no es elevado.
- No emiten contaminantes.
- No requieren mantenimiento.
- Son potentes en cuanto al enfriamiento.
- Funcionan en diversos entornos.
- Es un dispositivo de refrigeración que no necesita ni gas ni partes móviles como otros.

Inconvenientes

- Tienen un consumo en amperios elevado.
- La cara caliente necesita disipación para funcionar correctamente.
- Al tener dimensiones reducidas da una potencia frigorífica de pocos vatios.
- Baja eficiencia. ¹⁸

2.10 INTERCAMBIADORES DE CALOR

En la Figura 25 se presenta el esquema de un intercambiador de calor. Un intercambiador de calor ver se puede describir de un modo muy elemental como un equipo, en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse, con el objeto de enfriar una de ellas o calentar la otra o ambas cosas a la vez.

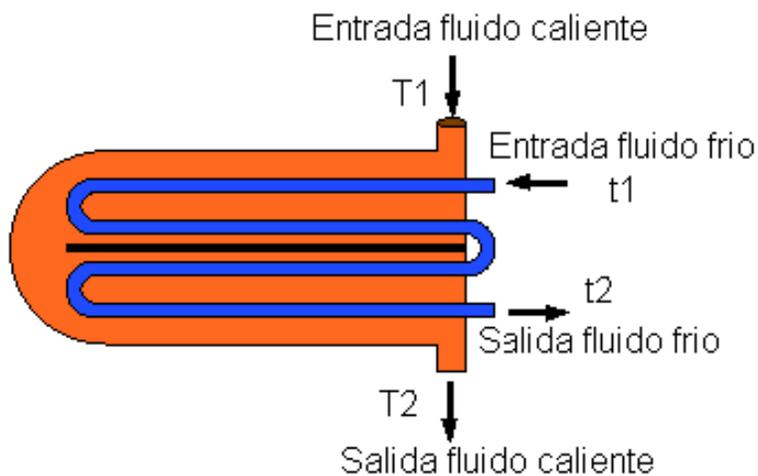


Figura 25. Disposiciones de las corrientes.

De acuerdo al tipo de superficie se pueden clasificar los intercambiadores de superficie plana, de tubos y compactos, ver Figura 26.

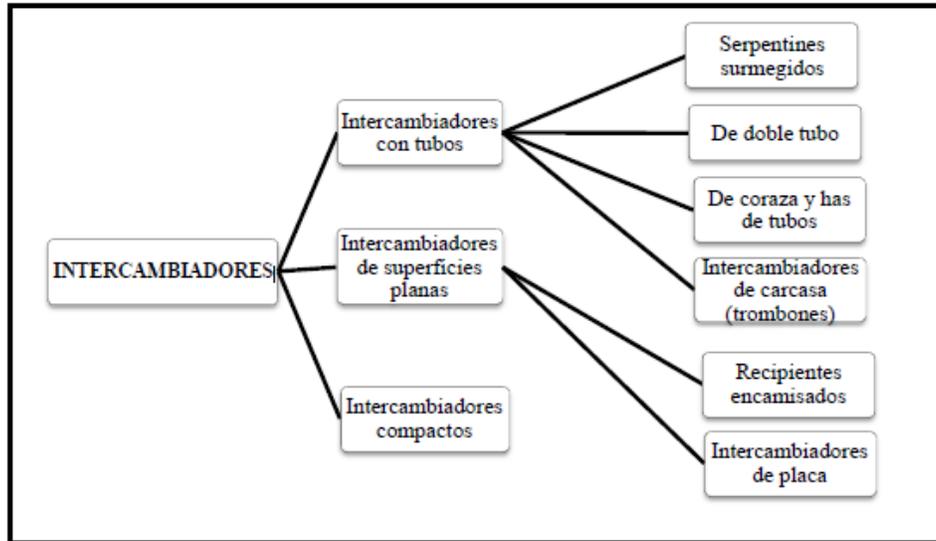


Figura 26. Clasificación de los intercambiadores.

También se pueden clasificar los intercambiadores por el tipo de serpentín que emplean. Un intercambiador de serpentín ver consiste en un recipiente donde va sumergido un serpentín que es un tubo que puede ser de acero al carbón, acero inoxidable o cobre, este tubo se encuentra generalmente doblado, curvado o en espiral para tratar de aprovechar al máximo el espacio y que exista una máxima superficie de transferencia de calor, ver Figura 27. Usualmente se emplea tubería lisa de cobre de 3/4-2".

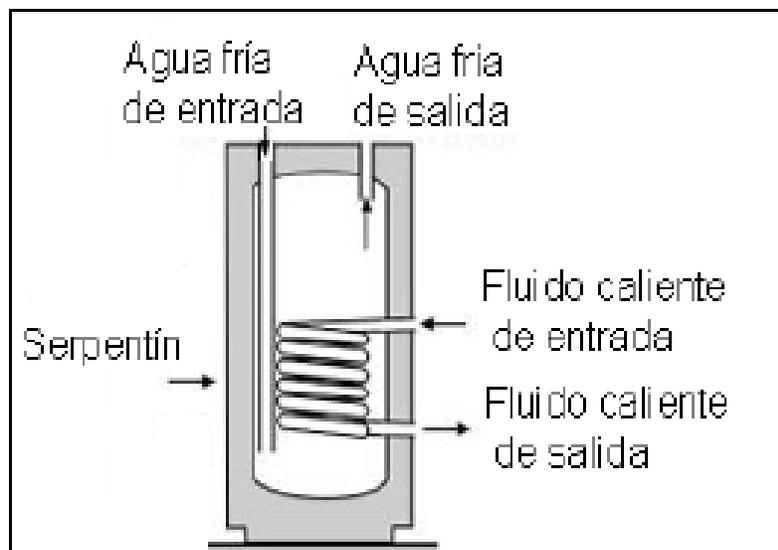


Figura 27. Intercambiador de serpentín.

2.11 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 28 se presenta un microcontrolador Arduino UNO, el cual es el más común y empleado para pequeños proyectos.²⁰ En la Figura 29, se observa una captura de pantalla del IDE de programación de Arduino.

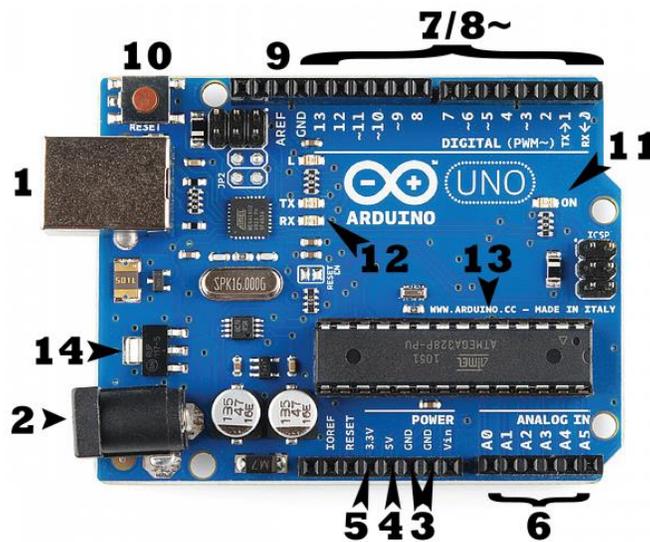
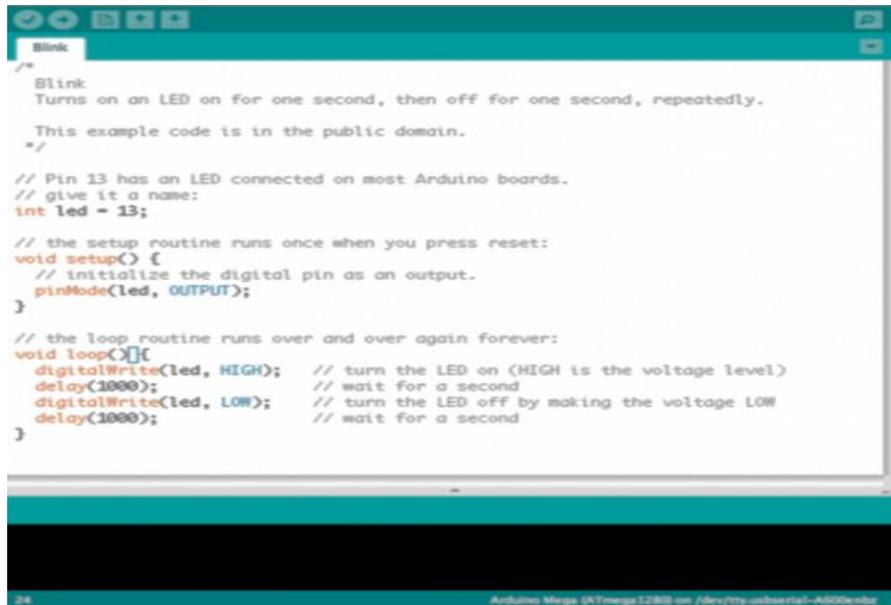


Figura 28. Imagen de un Arduino UNO.



```
/*
 * 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 29. Captura de pantalla del IDE de Arduino.

2.11.1 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 28 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 28 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 28 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.²¹

III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

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

Mediante software de diseño Solid Works se elaboró el diseño del condensador 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

El condensador actual hecho a la medida tiene las siguientes características y dimensiones:

- *Cuerpo del condensador.*

Fabricado con tubo hidráulico comercial de PVC (policloruro de vinilo) de 2" x 40 cm de altura. En su parte inferior sellado con una tapa de inserción de la misma medida (uso de cemento de PVC). En la parte superior con una tapa de inserción de la misma medida removible (no se usa cemento de PVC – se mantiene acoplada al cuerpo principal bajo presión).

- *Serpentín.*

Ubicado dentro del cuerpo del condensador y fabricado bajo métodos de rolado con tubo de cobre flexible de $\frac{3}{8}$ " comercial. En la parte superior (entrada-inicio) el serpentín tiene un reductor tipo niple de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ ". En la parte inferior (salida-fin) tiene una adaptación para válvula de salida de la misma medida.

- *Colector.*

En la parte inferior tiene adaptado (mediante adhesivo industrial) un contenedor de botella de PET presentación de 2 L comercial. La botella PET se empleó por su terminado característico en cono y por la facilidad de adaptación de válvulas de salida.

- *Entradas/salidas.*

Una entrada de gases condensables a través de tubería galvanizada de ½". Conexión adaptada al inicio del serpentín del condensador.

Una salida lateral de gases no condensados que sirve como válvula de seguridad para liberar el gas pirolítico que no se logró condensar.

Una salida de combustible líquido (obtenido de la condensación de los gases pirolíticos) en la parte inferior (boca de la botella de PET). Obtención de combustible sin refinar.

- *Sistema de enfriamiento.*

Realizado a través de hielo a granel que se coloca dentro del cuerpo del reactor y donde se logran temperaturas de enfriamiento entre 0 y 4 °C durante un breve periodo de tiempo.

Sobre el cuerpo del condensador y en su parte interna se presentan las siguientes funciones:

1. En el cuerpo del condensador se instala (internamente) el serpentín de tal manera que la punta superior del serpentín se adapta a la tubería de entrada de gases de pirolisis y la punta inferior del serpentín salga del cuerpo del condensador a través de la adaptación de un orificio de salida de diámetro justo para la salida del tubo de cobre flexible.

Esta punta de salida es de corte libre y queda en suspensión dentro del colector de PET.

2. En la salida del serpentín se tiene salida de líquidos de combustible condensados y aun gases que no se logran condensar. Dentro del espacio del colector se tiene una fase gaseosa, la cual se purga a través de la salida lateral, y una fase líquida, que son los productos de combustible deseados.

Diseño mejorado (reingeniería)

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

a) *Cuerpo del condensador.*

Bajo las mismas dimensiones del condensador actual se sustituye el material de PVC por material de lámina galvanizada prevista de tapas removibles (superior) y fija (inferior-empleando soldadura y con el orificio de salida requerido).

b) *Serpentín.*

Se fabrica un nuevo serpentín mediante rolado empleando equipos de manufactura especializados para mejor acabado de curvas.

c) *Refrigerante de enfriamiento.*

Se sustituye el hielo a granel por un refrigerante frío. El refrigerante frío será obtenido por un sistema Peltier fluyendo desde un depósito adjunto mediante circulación forzada (bomba) hacia el condensador. El refrigerante frío entra en contacto con el serpentín para propiciar el efecto de condensación de los gases que fluyen en el interior del mismo.

d) *Sistema Peltier.*

Se diseña y construye una cama de celdas Peltier que suministrarán una refrigeración termoeléctrica al refrigerante.

Todas las mejoras de reingeniería propuestas se mostrarán a través de diseños creados en software Solid Works. El sistema de mejora es un sistema de circuito cerrado.

3.2 Construcción de condensador con reingeniería

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar el arreglo del sistema de enfriamiento como modelo de utilidad patentable, no se presenta información a detalle de la construcción del condensador con reingeniería. Solamente se presentarán diseños en general del arreglo Peltier propuesto.

3.3 Construcción de sistema de condensación Peltier

Dispositivos de celdas Peltier en serie son construidos para el sistema de refrigeración gracias al efecto de refrigeración termoeléctrica que se propone aprovechar para sustituir el uso de hielo a granel. El principio de condensación es bajo un sistema de circulación forzada cerrado. El refrigerante estará en contacto directo con las paredes

externas del serpentín permitiendo cubrir una mayor área de contacto superficial y mejorando el porcentaje de condensación obtenido.

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar el arreglo del sistema de enfriamiento como modelo de utilidad patentable, no se presenta información a detalle de la construcción del sistema Peltier propuesto. Solamente se presentarán diseños en general del arreglo Peltier propuesto.

3.4 Sistema de control

El sistema de control se basa en aplicaciones mecatrónicas en dispositivos Peltier (celda, disipador de calor, ventilador) los cuales deben contener un diseño y construcciones electrónico programable, en este caso está constituido por un microcontrolador de placa Arduino uno, el cual se basará en manipular el encendido y apagado de los ventiladores que al mismo tiempo enfriaran los disipadores de calor, estos enfriaran la cara caliente de la celda Peltier. Con ayuda de la temperatura medida con los sensores termopar podremos regular la constancia de refrigeración. Se colocó una pequeña bomba de agua que nos permitirá el fluido forzado para circular el anticongelante por el serpentín que se encuentra en los disipadores de calor, para su posterior enfriamiento en el serpentín de gases producidos por el reactor.

3.5 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 condensador actual y reingeniería | | | | | | | | | | |
| Diseño del sistema Peltier | | | | | | | | | | |
| Construcción del sistema de control Peltier | | | | | | | | | | |
| Asesorías | | | | | | | | | | |
| Evaluación y seguimiento de asesorías | | | | | | | | | | |
| Evaluación de reporte | | | | | | | | | | |
| Informe semestral | | | | | | | | | | |
| Elaboración reporte técnico (productos entregables) | | | | | | | | | | |

IV. RESULTADOS

4.1 Diseño del condensador hecho a la medida (actual) y modificado (reingeniería)

De la Figura 30 a la 34 se presenta el aspecto físico del condensador actual. Los materiales empleados y partes que lo componen se describen en la sección 3.1.



Figura 30. Condensador actual hecho a la medida.



Figura 31. Condensador actual acoplado a reactor pirólítico.



Figura 32. Condensador actual: interior – serpentín con hielo a granel.



Figura 33. Condensador actual: salida lateral de gases no condensables.



Figura 34. Condensador actual: salida inferior de combustibles líquidos.

A continuación, y como marco de referencia, se presenta varias vistas del diseño del condensador actual.

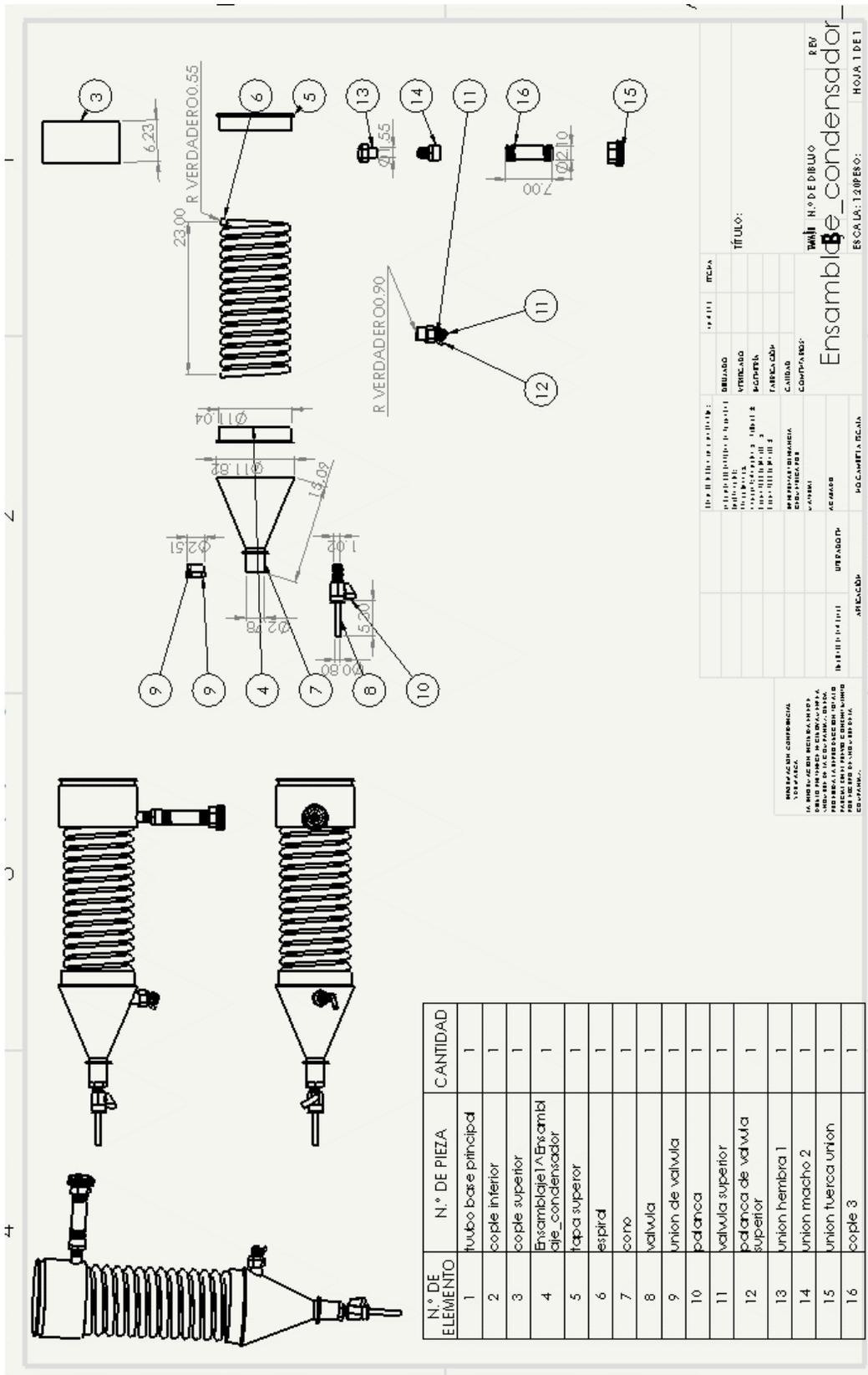


Figura 35. Diseños del condensador original: vista general.

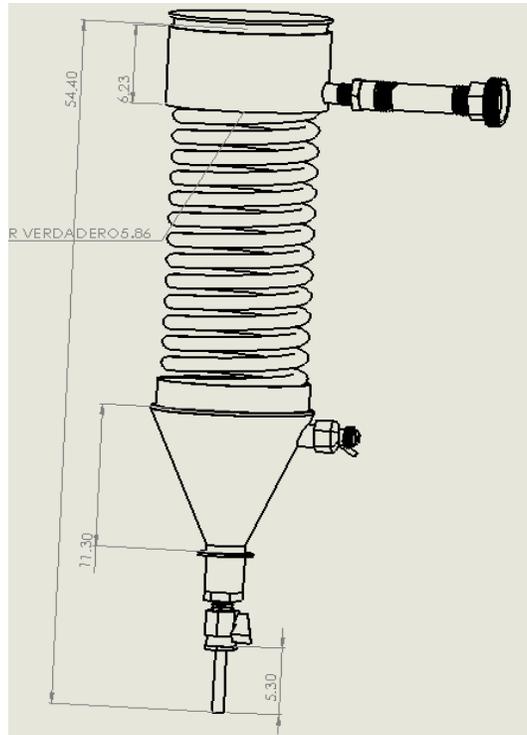


Figura 36. Dimensiones condensador original: vista lateral.

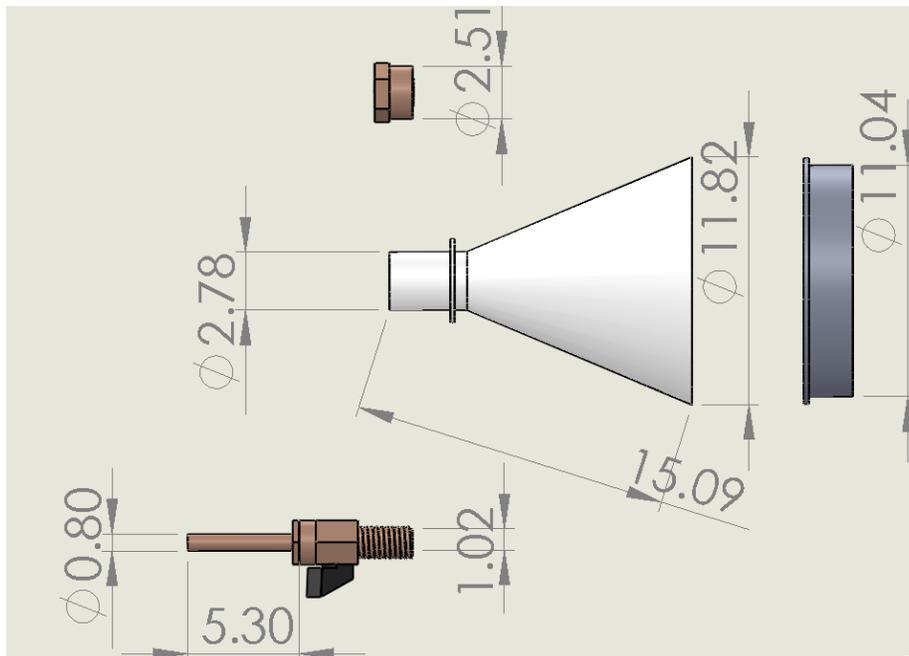


Figura 37. Accesorios de extracción de gases condensados

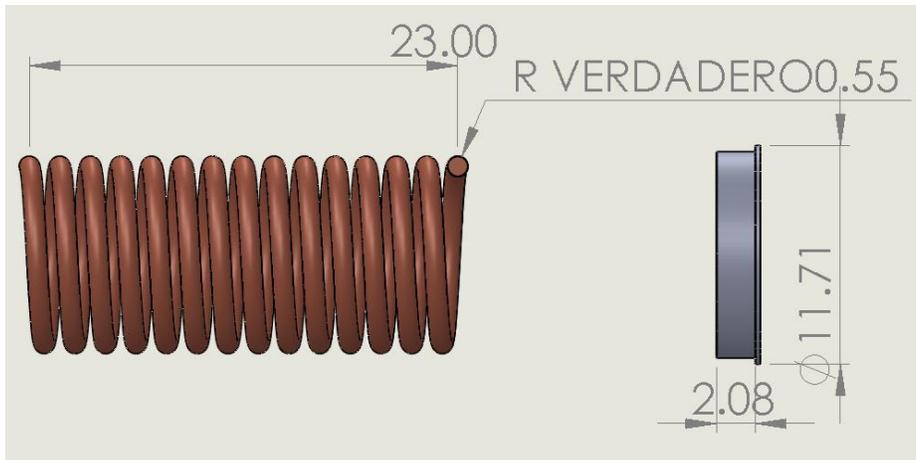


Figura 38. Serpentín de gases y tapa superior de condensador.

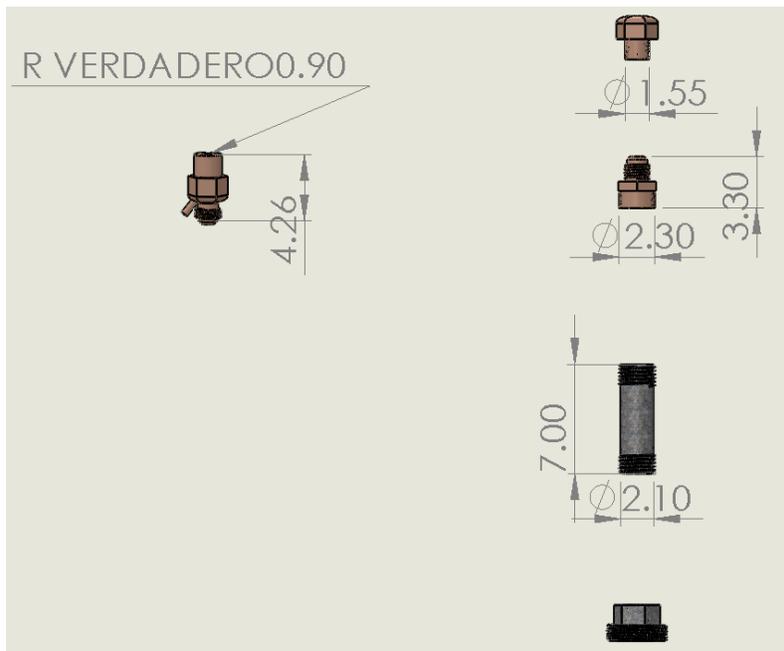


Figura 39. Accesorios de conexión del reactor hacia el condensador.

Enseguida se presentan los diseños propuestos para la reingeniería del sistema de condensación mejorado bajo principios de funcionamiento Peltier.

Se propone que el refrigerante entre en contacto con las paredes externas del serpentín. Se considera que aumentara eficazmente la funcionalidad del sistema ya que anteriormente se utilizaba hielo a granel donde rápidamente se derretían por las

temperaturas del serpentín y los gases en su interior. Se considera que con las celdas Peltier se tendrá una temperatura más baja de operación de condensación. En la Figura 40 se presenta un corte del interior del condensador con reingeniería.

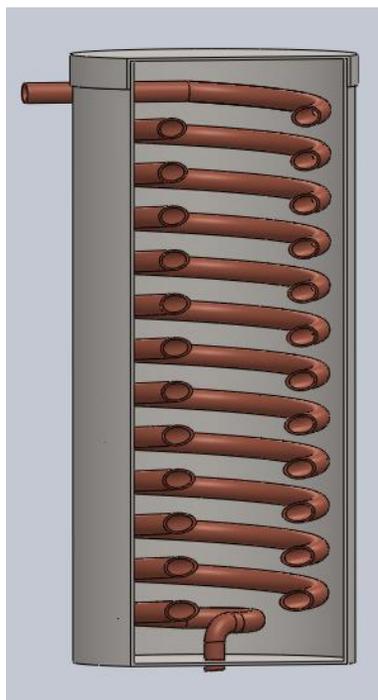


Figura 40. *Diseño del interior del condensador con reingeniería.*

La parte superior tiene la entrada de gases que está conectada al reactor pirolítico. El serpentín estará sumergido en el refrigerante frío, ayudando a no aumentar la temperatura considerablemente.

Se emplea un actuador tipo bomba para circular el refrigerante frío desde su depósito de almacenamiento hasta el condensador, ver Figura 41.

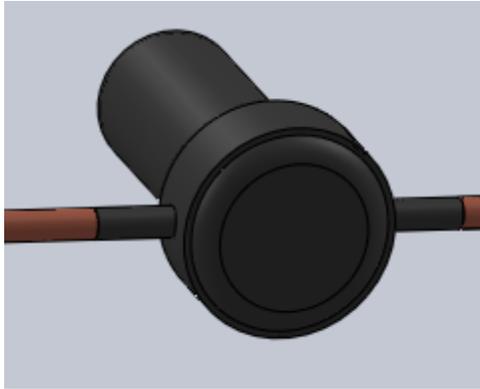


Figura 41. Diseño de bomba de agua.

La parte fundamental para la condensación, es la parte de refrigeración, en la Figura 42 se muestran los componentes del kit Peltier propuesto. Se observan ventiladores, los cuales estarán en constante enfriamiento por medio de la cara caliente de la celda Peltier. De acuerdo a la orientación de la imagen la cara inferior de las celdas serán las que nos brindarán las bajas temperaturas, mismas que aprovecharemos para el enfriamiento del fluido refrigerante. Las celdas nos brindan una temperatura regular de -6°C , suficiente para satisfacer con mejor rendimiento el enfriamiento del serpentín dentro del condensador.

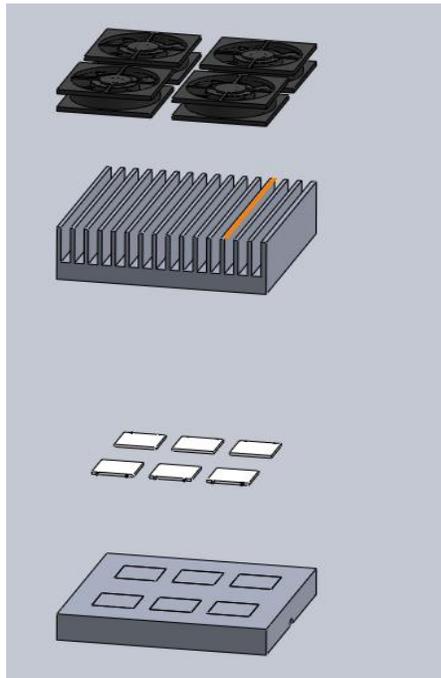


Figura 42. Sistema Peltier.

Es importante mencionar la manera en cómo se realiza la transferencia térmica de frío desde el dissipador de calor hacia el fluido de circulación. El dissipador inferior tendrá un maquinado tipo parrilla para adaptar tubos distribuidores de cobre, ver Figura 43. Con ayuda del dissipador de material de aluminio se favorecerá enfriar al cobre que esta acoplado, ensamblado y aislado térmicamente en forma de termo para conservar el frío lo más que se pueda.

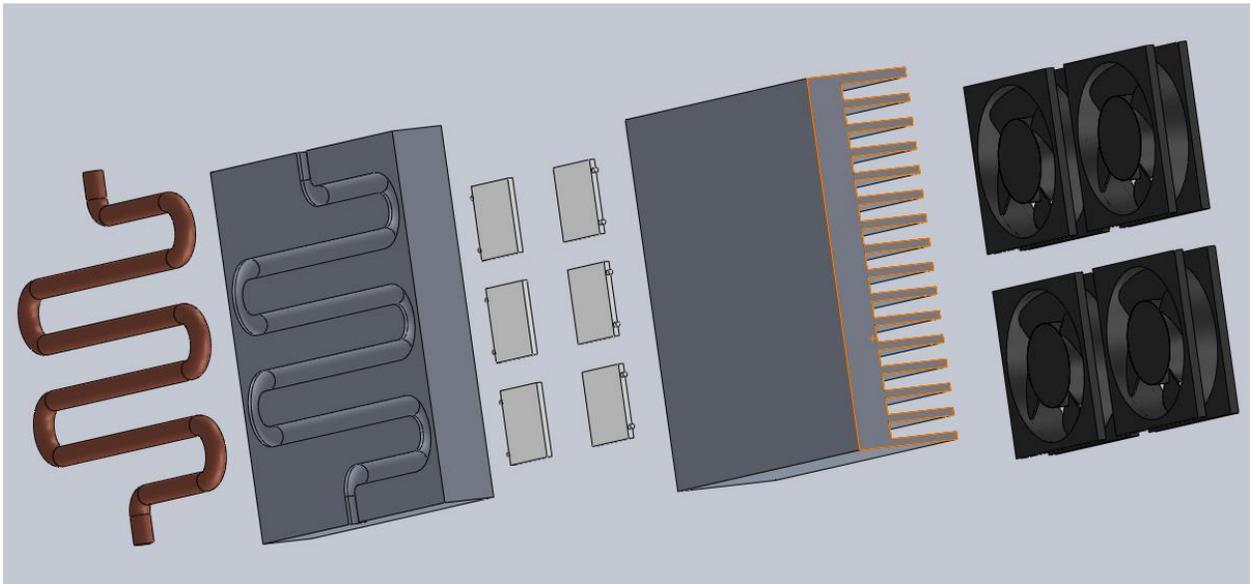


Figura 43. Arreglo de tubería de cobre tipo parrilla. Para inferior sistema Peltier.

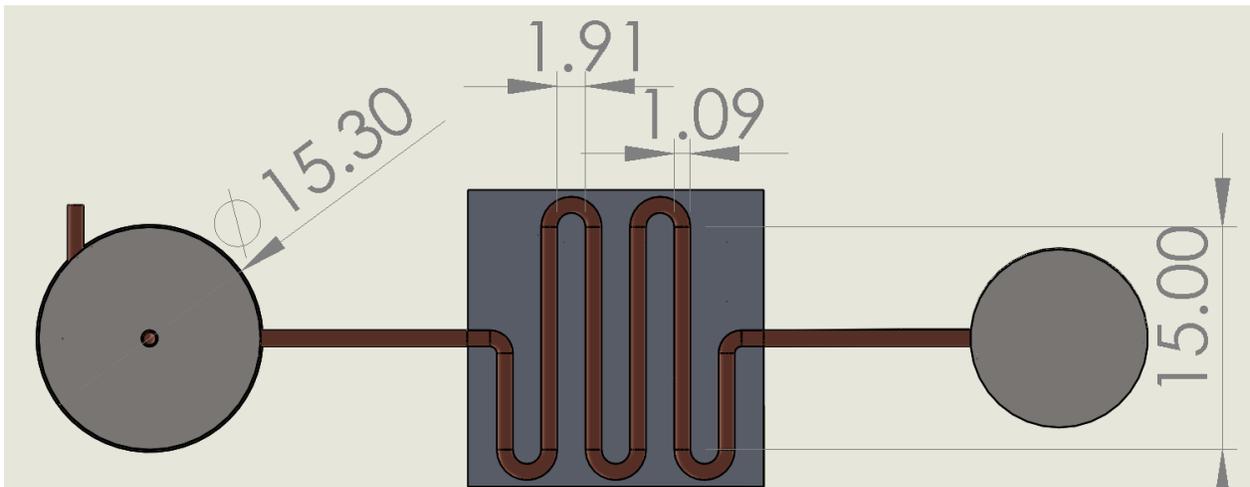


Figura 44. Conexión del sistema de enfriamiento con el condensador.

En la Figura 45, se muestra como se tiene el ensamble interno de todo el sistema. En la primera parte se puede apreciar el funcionamiento del condensador: entran los gases haciendo flujo por todo el serpentín de arriba hacia abajo para que al momento de hacer el efecto de condensación los fluidos obtenidos bajen por gravedad al área de recolección. En la parte del circuito hidráulico se puede observar que el refrigerante frío no entra en contacto con los gases, solo teniendo contacto únicamente por las extremidades del material metálico, se tiene el ciclo de circulación para la refrigeración.

El refrigerante frío se encuentra en el depósito, circula hacia el serpentín que se encuentra en el área de enfriamiento peltier, después de eso entra al cilindro para acondicionar la temperatura en el condensador, y por último pasa por la bomba para su regreso al cilindro de almacenamiento de anticongelante.

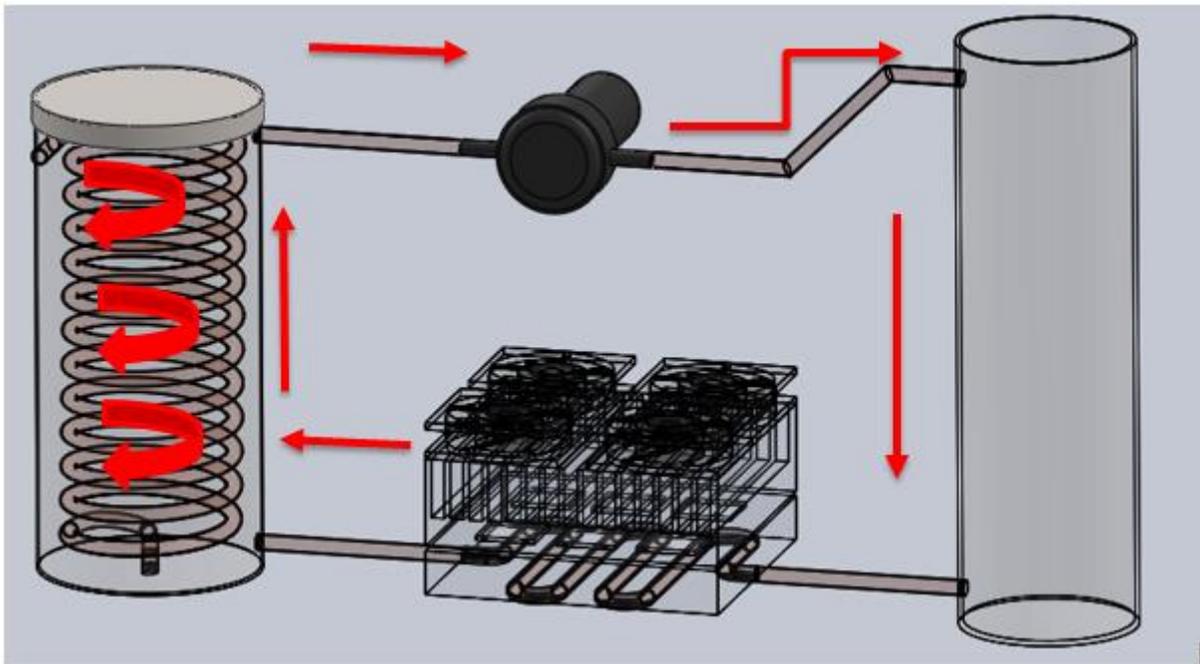


Figura 45. sistema de circulación de fluido de gases y líquidos.

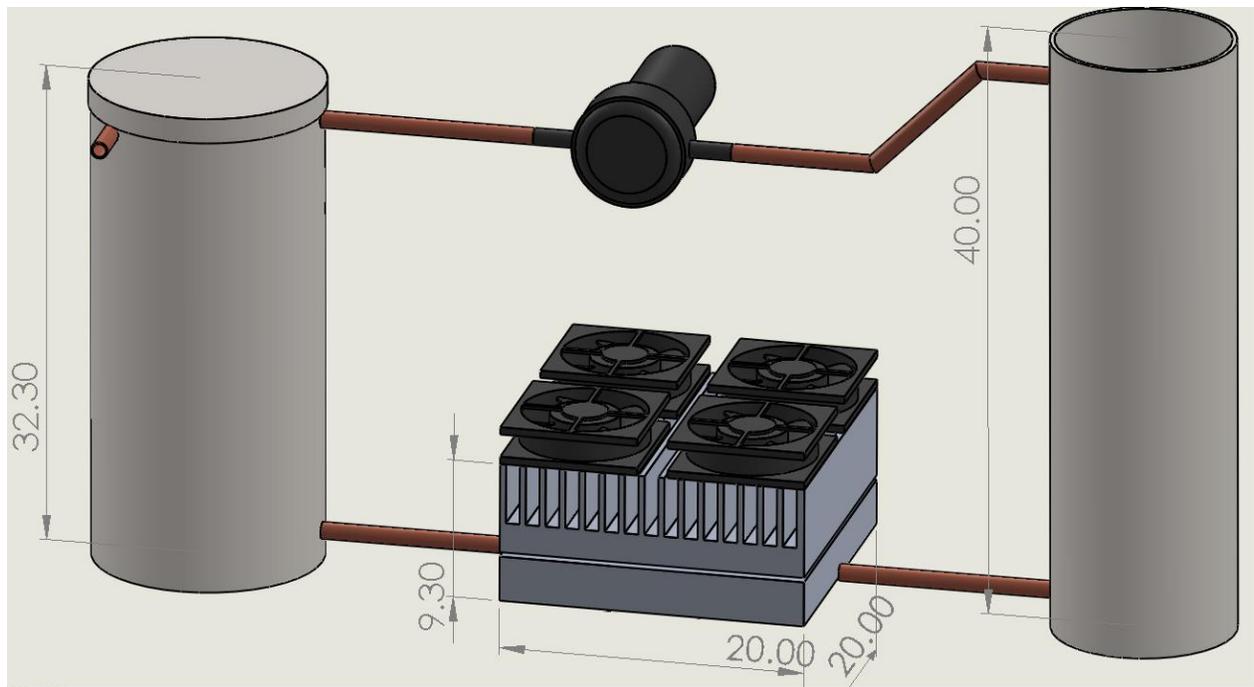


Figura 46. Diseño del sistema completo.

3.2 Construcción de condensador con reingeniería y sistema de condensación Peltier

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar el arreglo del sistema de enfriamiento como modelo de utilidad patentable, no se presenta información a detalle de la construcción del condensador con reingeniería. Solamente se presentarán diseños en general del arreglo Peltier propuesto.

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar el arreglo del sistema de enfriamiento como modelo de utilidad patentable, no se presenta información a detalle de la construcción del sistema Peltier propuesto. Solamente se presentarán diseños en general del arreglo Peltier propuesto.

3.3 Sistema de control

El control permitirá mantener una comunicación para establecer un rango de temperatura, encendido y apagado del sistema completo con las conexiones pertinentes para energizar el circuito. En la Figura 48 se presenta el diagrama electrónico propuesto. Con este diagrama se controla la temperatura, el encendido y apagado del ventilador junto con la celda Peltier (hace el efecto de un termostato), para mantener un control de temperatura en el serpentín del anticongelante.

Se propone establecer un sistema de control para monitorear el funcionamiento del sistema Peltier para lograr alcanzar temperaturas por debajo de los 0 °C (intervalo deseado entre los -6°C a 4°C).

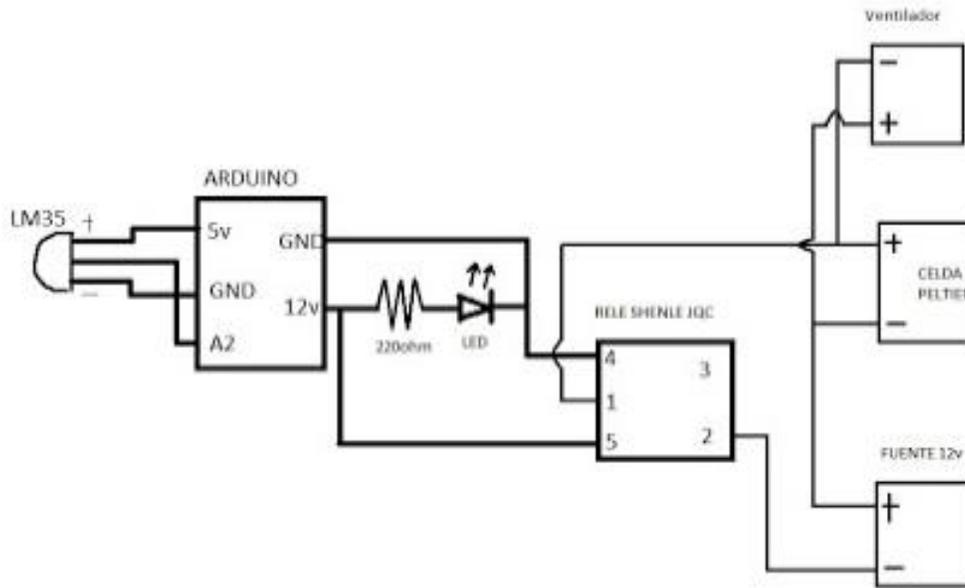


Figura 48. Diagrama electrónico

Código

En esta sección se declara las variables correspondientes que se emplearán, así como también las entradas y salidas del Arduino que permitirán el control de los actuadores y el sensor de temperatura. El código permite el control del termostato dentro de los rangos térmicos que sean requeridos, así lograr una automatización sin la necesidad de estar comprobando a cada momento si el equipo está funcionando correctamente.

```

int Set_P=23 ;
float Rango=1 ;
float Temp;
int pintemperatura = 2 ;
float Lim_inf = Set_P - Rango ;
float Lim_sup = Set_P + Rango ;
int senal_celda;
void setup (void)
{

```

```

Serial.begin (9600);
pinMode(12,OUTPUT);
}
void loop ()
{
Temp=(5.0*analogRead(pintemperatura)*100.0/1024.0);
  if (Temp<Lim_inf)
  {
    digitalWrite(12,HIGH);
  }
  if (Temp>Lim_sup)
  {
    digitalWrite(12,LOW);
  }
  else if (Lim_inf < Temp < Lim_sup)
  {
    digitalWrite (pintemperatura,senal_celda);
  }
  Serial.print("Temperatura(Celsius)=");Serial.println(Temp);
  delay (1000);
}

```

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 desarrollar un diseño del sistema de condensación con reingeniería donde se automatiza y controla el caudal y temperatura de condensación. Lo anterior para lograr obtener combustible líquido a partir de la pirolisis de plástico de desecho.

Para el proceso de enfriamiento del refrigerante de estudio, se diseñó y construyó un dispositivo en serie de celdas Peltier.

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. 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 en la industria 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. 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) URIEN PINEDO, A. N. D. R. E. A. (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirolisis de biomasa residual.
- (2) VALENCIA, C. A. A. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECICLADORA DE PLASTICOS* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA).
- (3) Ardila Pérez, C. R. (2013). Estudio experimental de la condensación de vapor de agua en presencia de gases incondensables.
- (4) Hachi Quintana, J. G., & Rodríguez Mejía, J. D. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de Polietileno Tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil* (Bachelor's thesis).
- (5) Arbeláez, J. I. M., Janna, F. C., Gutiérrez, C. A. G., Rentería, C. F. V., Velasco, J. O., Blanco, L. A., ... & Chaparro, J. A. S. (2013). *Pirólisis rápida de biomasa*. Universidad Nacional de Colombia.
- (6) Tene, B., Arturo, G., & Córdova Balcázar, B. E. (2014). *Diseño y construcción de un reactor de pirólisis de combustión lenta con una capacidad de 10 kg a escala de laboratorio para el tratamiento de los residuos sólidos biodegradables* (Bachelor's thesis).
- (7) Hachi Quintana, J. G., & Rodríguez Mejía, J. D. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de Polietileno Tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil* (Bachelor's thesis).
- (9) Hernandez, O. A. B., Quiroz, E. T., & Prieto, E. M. (2017). Simulación de un sistema de control de temperatura en un reactor de pirólisis de residuos plásticos urbanos. *Ingenium*, 18(36), 110-127.
- (10) Mamani Rado, O., & Apaza Abarca, V. E. (2018). Adecuación e Implementación de un Reactor Pirolítico a partir de una Extrusora de Plásticos, para la degradación del Polietileno de Baja Densidad (PEBD).
- (11) <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>
- (12) <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-temperatura-termopar/>
- (13) <https://www.bombas-de-agua.info/12v/>

- (14) https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html
- (15) Galán, J. M. J. (2017). *Diseño y desarrollo de un sistema automático de toma de muestras ambientales de gases y olores mediante condensación criogénica* (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante).
- (16) Tene, B., Arturo, G., & Córdova Balcázar, B. E. (2014). *Diseño y construcción de un reactor de pirólisis de combustión lenta con una capacidad de 10 kg a escala de laboratorio para el tratamiento de los residuos sólidos biodegradables* (Bachelor's thesis).
- (17) Sandoval, A. P., Espinosa, E., & Barahona, J. L. (2007). Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor. *Reporte técnico, Universidad Tecnológica de la Mixteca*. Tomado de: <http://www.utm.mx/~mtello/Extensos/extenso020709.pdf>.
- (18) Sacristán Gómez, A. (2011). *Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier* (Bachelor's thesis).
- (19) <http://www.3dcadportal.com/solid-works.html>
- (20) <https://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>
- (21) Herrador, R. E. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. Universidad de Córdoba, 13.

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 el C. MANUEL DAVID FONSECA SÁNCHEZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con numero de control 151050134, ha sido aceptado para realizar en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y desarrollo de un sistema de condensación automatizado de gases pirolíticos 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.



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, Ags., 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 el C. MANUEL DAVID FONSECA SÁNCHEZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050134, concluyó satisfactoriamente en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y desarrollo de un sistema de condensación automatizado de gases pirolíticos 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.

