

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA DESCOMPOSICIÓN Y
DEGRADACIÓN TÉRMICA DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS

EDINSON LIZARAZO SANCHEZ
NIXSON ALBERTO MORALES MEJIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA DESCOMPOSICIÓN Y
DEGRADACIÓN TÉRMICA DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS

EDINSON LIZARAZO SANCHEZ
NIXSON ALBERTO MORALES MEJIA

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Mecánico

Director:

YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
PhD en Ingeniería Mecánica

Codirector:

RAÚL ANDRÉS SERRANO BAYONA
M.sc en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

A mi madre Betsabé Sánchez, la mejor madre que cualquier ser humano puede tener, quien siempre me tuvo paciencia, confianza y fe.

A mi padre Jairo Lizarazo, mi héroe, quien me ha enseñado el valor de la risa, quien me enseñó a siempre ser fuerte.

A mi hermana Sandra Milena Lizarazo, quien fue mi inspiración y mi ejemplo para ser un profesional

A mi sobrinita Valentina Lizarazo, quien es mi motivación para seguir mejorando

A mi gran amigo Ferney Orlando Gutiérrez, quien con sus ocurrencias hizo de mi estancia en la carrera más amena.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. MARCO TEORICO	14
2.1 DESCOMPOSICION TERMICA.....	14
2.2 BIOMASA.....	15
2.3 PROCESOS TERMOQUIMICOS.....	20
2.3.1 Torrefacción.	20
2.3.2 Gasificación.	21
2.3.3 Pirólisis.....	22
2.3.3.1 Pirólisis lenta.....	24
2.3.3.2 Pirolisis intermedia.....	25
2.3.3.3 Pirólisis rápida.....	25
2.3.3.4 Pirólisis flash.....	26
2.3.3.5 Pirólisis ultra rápida.....	26
2.3.3.6 Pirólisis en presencia de un medio (Hidropirólisis).....	27
2.3.3.7 Lecho.	27
2.3.4 Cromatografía.	28
2.3.5 Poder calorífico.	29
2.3.5.1 Poder calorífico inferior.	29
2.3.5.2 Poder calorífico superior.	29
2.3.6 Termogravimetría.....	29
3. METODOLOGIA	31
3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA	31
3.1.1 Soporte	31

3.1.2 Horno	32
3.1.3 Canastilla	33
3.1.4 Tubo del reactor	36
3.1.5 Empaque de bronce.....	37
3.1.6 Unión de tubing.....	37
3.1.7 Tubo refrigerante o condensador	38
3.1.8 Envase	38
3.2 UNION DEL REACTOR	39
3.2.1 Brazaletes de seguridad	40
3.2.2 Acople al reactor	41
3.3 MONTAJE PRINCIPAL.....	41
4. DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBAS	43
4.1 LLENADO DEL REACTOR.....	43
4.2 PROCESO DE CONEXIÓN.....	43
4.3 PRUEBA DE FUGAS	44
4.4 CONFIGURACION DEL HORNO	44
4.5 INICIO DE LA PRUEBA	44
4.6 ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA	47
4.7 PESAJE Y RECOLECCION DEL BIOACEITE Y BIOCARBON.....	47
5. RESULTADOS.....	49
6. CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Soporte del sistema	31
Figura 2. Horno de tubo de múltiples posiciones.	32
Figura 3. Perfil térmico del horno	33
Figura 4. Canastilla	35
Figura 5. Tubo del reactor.....	36
Figura 6. Empaque de bronce.....	37
Figura 7. Unión tubing.....	37
Figura 8. Tubo refrigerante o condensador.....	38
Figura 9. Envase contenedor	38
Figura 10. . Unión del reactor.....	39
Figura 11. Acople del reactor	40
Figura 12. Brazalete de seguridad.	40
Figura 13. Brazalete de seguridad	41
Figura 14. Banco de descomposicion y degradacion termica	42
Figura 15. Inicio de formación de bioaceite	46
Figura 16. Muestra de bioaceite en el frasco ámbar	48
Figura 17. Calor específico (muestra 500 °C).....	51
Figura 18. Calor específico (muestra 475 °C).....	52
Figura 19. TGA peso vs temperatura.....	53

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resultado de las pruebas experimentales	49
Cuadro 2. Resultados calor específico.	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manual de operación y mantenimiento.....	57
Anexo B. Costo por prueba.....	60
Anexo C Bitácora de pruebas	61
Anexo D Toma de temperaturas del horno	62
Anexo E. Planos	63

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA DESCOMPOSICIÓN Y DEGRADACIÓN TÉRMICA DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS*

AUTOR: EDINSON LIZARAZO SANCHEZ, NIXSON ALBERTO MORALES MEJIA**

PALABRAS CLAVE: PIROLISIS, BIOMASA, BIOACEITE, LECHO FIJO.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto tiene como fin el diseño y construcción de un banco para descomposición y degradación térmica para buscar alternativas y fomentar el estudio hacia nuevas fuentes de energías biodegradables, se diseñó una canastilla dependiendo del perfil térmico del horno, por este motivo se seleccionó el método de pirolisis por lecho fijo, se utilizó como biomasa la cascarilla de arroz, la biomasa previamente pesada se introduce en la canastilla, y se hace pasar a través del sistema nitrógeno, cuando el horno alcanza la temperatura deseada, se obtienen tres productos, bioaceite, biocarbón y gases no condensables, para el bioaceite, los gases son arrastrados por el nitrógeno por el condensador donde se hace pasar también alrededor del serpentín agua como refrigerante esto con el fin de condensar los gases y producir el bioaceite el cual queda depositado en un envase, los mejores rendimientos de bioaceite se obtuvieron a una temperatura de 500°C, con un flujo de gas de 150 ml/min y tamaño de la partícula de 2 mm y un tiempo de reacción de 60 minutos, los mejores rendimientos de biochar fueron a 600°C y un tiempo de reacción de 100 minutos, y el mejor rendimiento del biogás se dio a una temperatura de 550 °C y un tiempo de reacción de 100 minutos.

*Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD en Ingeniería Mecánica. Codirector: Raúl Andrés Serrano Bayona Magister en Ingeniería Mecánica.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BENCH FOR DECOMPOSITION AND THERMAL DEGRADATION OF SOLID FUELS*

AUTHOR: EDINSON LIZARAZO SANCHEZ, NIXSON ALBERTO MORALES MEJIA **

KEY WORDS: PYROLYSIS, BIOMASS, BIO-OIL, FIXED-BED

DESCRIPTION:

The purpose of this project is the design and construction of a bank for thermal decomposition and degradation to seek alternatives and promote the study of new sources of biodegradable energies, a basket was designed depending on the thermal profile of the furnace, for this reason the method of Fixed-bed pyrolysis, the rice husk was used as biomass, the previously weighed biomass is introduced into the basket, and is passed through the nitrogen system, when the oven reaches the desired temperature, three products are obtained: bio-oil, bio-carbon and non-condensable gases, for bio-oil, the gases are dragged by the nitrogen through the condenser where water is also passed around the coil as a refrigerant in order to condense the gases and produce the bio-oil which is deposited in a container, the best bio-oil yields were obtained at a temperature of 500C, with a gas flow of 150ml / min and a particle size of 2 mm and a reaction time of 60 minutes, the best biochar yields were at 600 c and a reaction time of 100 minutes, the best biogas yield was at a temperature of 550 c and a reaction time of 100 minutes.

* Degree work

** Faculty of physical-mechanical engineering. School of mechanical engineering. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD mechanical engineering. Co-director: Raul Andres Serrano Bayona M.sc mechanical engineering.

INTRODUCCIÓN

Existe una problemática frente al manejo de los diferentes tipos de residuos tales como los residuos agrícolas, forestales, industriales, ganaderos, urbanos, acuosos, los cuales por medio de procesos ya sean mecánicos, termoquímicos o biológicos, permiten la obtención de biogás, biodiesel, bioalcohol, biocarbón que permite generar energía más amigable con el medio ambiente, debido a que, reduce el consumo de combustibles fósiles y disminuye el efecto invernadero.

También existe la gran dependencia del consumo de los hidrocarburos, los cuales a largo plazo desaparecerán, por lo tanto, existe la necesidad de encontrar una nueva forma de energía para reemplazarlos, es aquí donde la biomasa al ser tratada por pirolisis se convierte en tres compuestos (gas, biocarbón, bioaceites) que pueden ayudar a solucionar este problema especialmente los bioaceites.

Colombia posee un gran potencial debido a la gran cantidad y diversidad de biomasa que posee, un ejemplo es la biomasa agrícola de la cual en el año 2020 Colombia produjo 457000 toneladas solamente de cascarilla de arroz.

En Colombia la ley 1715 de 2014 por ejemplo no permite vender a la red eléctrica bioenergía debido a que no genera un suministro continuo, esto es debido a que no existe una empresa que se le permita generar este tipo de energía ya que expresan que la ley no es clara y además piden una gran cantidad de requisitos que hace muy difícil a una empresa trabajar.

Esto impide de cierta manera un fomento de energías alternativas o que permitan buscar un reemplazo a las ya existentes.

El diseño y la construcción de una máquina para realizar pirólisis a la biomasa es relevante cuando se hace necesario buscar otras fuentes de energías renovables más amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, surge la necesidad de innovar e investigar los diferentes productos que puede proporcionar la biomasa, además el seleccionar un método más eficaz para la obtención de los bioaceites para garantizar una mayor productividad.

Por esto también es necesario generar interés en este tema en los estudiantes, en especial los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander mediante un banco de laboratorio que permita el estudio de los diferentes tipos de biomasa sometidos al proceso termoquímico llamado pirólisis.

Esto con el fin de fomentar la investigación e incentivar a los estudiantes para seguir trabajando con las energías renovables, esta máquina permitirá generar nuevas investigaciones y prácticas para los estudiantes para que la carrera de Ingeniería Mecánica se vuelva durante el pregrado más práctica.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un equipo a escala de laboratorio para evaluar la descomposición y degradación térmica de combustibles sólidos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un banco de pruebas para analizar la descomposición y degradación térmica que tenga en cuenta los siguientes parámetros: masa (100 gr), temperatura (150 – 950) °C, flujo de gas de 100 (ml/min).
- Construir un banco de pruebas para el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander.
- Determinar los productos generados mediante balance de masa (aceites, gas, carbones) después de procesar el combustible sólido y la calidad de los aceites obtenidos a través de cromatografía de líquidos.
- Implementar un manual de uso y un manual de mantenimiento para el banco de pruebas.
- Realizar un análisis técnico-económico del costo por prueba.

2. MARCO TEORICO

2.1 DESCOMPOSICION TERMICA

La descomposición térmica o también llamada termólisis es un proceso químico en la que un compuesto al someterla a altas temperaturas se separa en mínimo dos compuestos diferentes, un ejemplo común es el agua cuando es sometida a temperaturas de 2500°C se rompen sus enlaces convirtiéndose en átomos de hidrógeno y oxígeno.

También existe la degradación térmica la cual consiste en someter las sustancias a altas temperaturas, para producir monómeros, gases, aceites, esta degradación se puede dar por medio de procesos tales como la torrefacción, pirolisis, hidrogenación, gasificación.

Normalmente en estos procesos se utiliza un producto llamado biomasa el cual es materia orgánica originada ya sea en un proceso biológico o por intervención humana, para ser utilizados como fuente de energía, una de las ventajas de utilizar la biomasa es que es considerada como una fuente de energía limpia. Existe una gran variedad de procesos (torrefacción, pirólisis, gasificación) para realizar degradación y descomposición térmica de la biomasa, los cuales tienen como fin principal el de separar principalmente en tres componentes la biomasa (gases condensables, cenizas, gases no condensables), la proporción en que son obtenidos estos tres componentes depende del tipo de proceso que es aplicado a la biomasa.

2.2 BIOMASA

Las características de la biomasa pueden ser de gran influencia en el rendimiento en un sistema de conversión de esta, ya sea en un proceso de gasificación, torrefacción, combustión o el de pirólisis. Por ejemplo, la alta permeabilidad presente en la biomasa permite a los gases de pirólisis queden atrapados en los poros, lo cual, incrementa el tiempo de residencia en la zona de reacción y el craqueo secundario que produce el biocarbón. El biocarbón que es el residuo carbonoso generado producto de la pirolisis, este se encuentra principalmente formado por ceniza, oxígeno, carbono e hidrogeno, también, aunque en menor cantidad nitrógeno y azufre.

La biomasa es en sí mismo cualquier material orgánico derivado de animales o plantas, esta a su vez no es necesariamente solida en todos los casos y las grasas o aceites son un ejemplo de ello, también se puede encontrar biomasa en forma líquida, sólida o gaseosa, esta última derivada de la descomposición del material orgánico que no se encuentra aún fosilizado y que además es biodegradable.

La importancia que tiene el tamaño de la biomasa(diámetro de la partícula) radica en que cuando se tiene un tamaño grande en la partícula esto provoca una baja transferencia de calor de la biomasa con respecto a las paredes del reactor, en parte debido a que el tiempo que le toma a la biomasa calentarse uniformemente es largo, generando con esto más reacciones secundarias y biochar, lo cual sería contraproducente para los fines de este proyecto, por otra parte cuando el tamaño de biomasa(diámetro de la partícula) es pequeño, se obtiene un calentamiento mucho más uniforme y en un tiempo más corto, de esta manera la transferencia de calor aumenta, disminuyendo a la vez la resistencia de los gases generados dentro del reactor al salir del mismo, al mismo tiempo se evitan las reacciones secundarias incrementando de esta manera en rendimiento de la fracción líquida

(biomasa) obtenida de la biomasa, por lo cual se busca usar un tamaño de biomasa lo más pequeño posible (2 mm), dicho tamaño de la partícula es posible gracias al uso del molino de martillos presente en el laboratorio de combustión de la universidad Industrial de Santander.

El tiempo de residencia de la biomasa dentro del reactor es otro de los factores más importantes en el proceso de pirólisis, ya que cuando estos tiempos de resistencia son muy altos lo que se hace es favorecer el craqueo secundario dentro del reactor lo cual se presenta como algo contraproducente ya que esto genera una mayor producción de gas de síntesis y de biocarbón, por el contrario cuando los tiempos de residencia de los vapores dentro del reactor son pequeños(10-30s) se ve favorecida de gran medida la producción del bioaceite, en esta variable a controlar de gran importancia cumple un papel muy importante el flujo de Nitrógeno que pasa por el reactor, ya que además de crear una atmósfera inerte, a su vez cumple la función de gas de arrastre el cual se encarga de llevar los gases que se generan al interior del reactor a la trampa de alquitranes, además, cuando estos flujos de Nitrógeno son altos se minimizan las reacciones secundarias, es ahí cuando el flujo de Nitrógeno a través del reactor cobra gran importancia. Por lo cual para fines del proyecto es importante encontrar un tiempo de residencia y un flujo de Nitrógeno adecuado el cual permita obtener una cantidad de gases condensables óptima, esto se verá reflejado en la cantidad de bioaceites obtenidos.

Por otra parte, el dióxido de carbono liberado por la biomasa no se adhiere a él ya preexistente en la tierra, debido a que dicho dióxido de carbono ha sido absorbida por la biomasa en su respectivo proceso de fotosíntesis en el pasado reciente eliminando el dióxido de carbono de la atmósfera, el cual liberan nuevamente cuando pasan por algún proceso de combustión, por lo tanto, el aporte al calentamiento global debido a sus emisiones de dióxido de carbono es neutro, debido a que equilibra la cantidad de dióxido de carbono generado, con las

cantidades de dióxido de carbono que ha sido retirado de la atmósfera consiguiendo así emisiones netas iguales a cero, generando así lo que se conoce como el ciclo neutro del carbono.

Las fuentes principales de las cuales es obtenida la biomasa son las plantas(botánica), animales(biológica) en descomposición o una combinación de ambas, en las cuales solo se incluyen especies biológicas vivas o que recientemente han muerto que pueden ser usados como combustibles o materia prima química, esta biomasa no incluye a aquella que ha estado en descomposición durante un extenso periodo de tiempo y debido a un proceso biológico que tomó lugar durante dicho tiempo han sido transformada en combustible fósil como el carbón o el petróleo.

En Colombia las fuentes de biomasa residual más importantes del país se encuentran conformada por el sector agrícola, pecuario y los residuos urbanos. El sector agrícola con los residuos agroindustriales y los provenientes de cosecha, la biomasa de este sector se encuentra conformada por los subproductos generados durante la transformación de las cosechas, en el sector pecuario con el estiércol avícola, porcino y bovino. Por último, el de los residuos urbanos como los encontrados en centros de abastos y residuos de podas.

Por otra parte debido a la gran producción a nivel mundial de residuos agrícolas tales como la caña de azúcar, el bagazo, la cascarilla de café, las cortezas de los árboles, la paja y la cascarilla de arroz, convierte a este tipo de residuos como una opción muy considerable como sustituto del combustible fósil.

Conocer la composición de los residuos sólidos es de gran importancia al momento de seleccionar el proceso a realizar en esta para su aprovechamiento energético, por lo cual para realizar dicha caracterización de la biomasa se requiere conocer los parámetros mostrados a continuación:

- Análisis último: Se tiene en cuenta la materia orgánica y se determina el porcentaje en peso de carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno presente en la biomasa analizada.
- Análisis próximo: Se evalúa el contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo de la biomasa analizada en base seca.
- Análisis estructural: Se determina la humedad, densidad aparente y densidad real de la biomasa.
- Composición física: Se cuantifica el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en la biomasa.

Los niveles de humedad en los residuos agrícolas tienden a ser bastante bajos comparados con el combustible fósil, en muchos casos el contenido de humedad en la biomasa se ve determinado por los procesos previos a los cuales la biomasa ha sido expuesta, el alto contenido de humedad puede llevar a una mala ignición, se reduce la temperatura afectando la calidad del proceso de combustión. Los niveles de ceniza presente en la biomasa se encuentran generalmente entre un rango bajo y aceptable de entre (15-25%), sin embargo, para la biomasa que presenta niveles de ceniza más altos como la cascarilla de arroz (18-25%), es necesario considerar incorporar un equipo para la remoción de ceniza que se acumule en el flujo de gas del equipo. Uno de los problemas más particulares que tiende a ocurrir con la ceniza durante algún proceso de combustión de la biomasa es la presencia de una baja temperatura de fusión en la misma, esto debido a los altos contenidos presentes en la biomasa de óxido de potasio o incluso la corrosión en las superficies de transferencia de calor.

Los residuos agrícolas en comparación con los carbones suelen tener grandes contenidos de materia volátil, esto lo que indica es que estos residuos son más fáciles de quemar, aunque también se espera que el proceso de combustión sea rápido y difícil de controlar, los altos contenidos de materia volátil afectan a su vez el proceso de combustión en general. Esto implica que los principios de operación

ejecutados para un proceso de combustión para carbón no deben ser aplicados al momento de tratar biomasa proveniente de residuos agrícolas, además, es de suma importancia alcanzar una combustión completa de los volátiles para así asegurar una eficiencia de combustión más alta y al mismo tiempo reducir las emisiones de dióxido de carbono e hidrocarburos.

Por tal motivo es necesario ahondar en las características de la cascarilla de arroz, uno de los residuos agrícolas ya mencionados y el por qué en la escogencia de este último como biomasa a analizar en el proceso de pirolisis que será efectuado.

La cascarilla de arroz es el principal residuo vegetal que se produce en la industria arrocera, este residuo recubre el grano de arroz. La cascarilla se compone principalmente de minerales, fibra y celulosa, además, debido a la constitución físico-química (alto contenido de sílice) de la cascarilla es bastante complejo la biodegradación de este desecho vegetal, por otra parte, considerando que la cascarilla de arroz que se produce en las plantas arroceras representa alrededor del 20% en peso de la producción total, a su vez esta cuenta con un bajo peso específico a granel (100 Kg/m³) lo cual se traduce en costos elevados de transporte de la misma e impacto medioambiental.

El arroz es uno de los productos de consumo principal en la canasta familiar y su vez es de gran producción en diferentes ciudades del país, estas razones facilitan el uso de la cascarilla de arroz como biomasa debido a su facilidad de conseguir. Según el DANE el segundo semestre del 2020 la estimación total nacional para el área sembrada en arroz fue de 201.993 hectáreas. Esto corresponde a 15.291 hectáreas más que el total nacional de área sembrada en el segundo semestre de 2019 correspondiente a 186.703 hectáreas, indicando una variación positiva de 8.2%. El constante crecimiento de producción de arroz en el país presenta una gran posibilidad de uso de la cascarilla de arroz como biomasa para diferentes

procesos incluido el de pirólisis. Su tamaño además de su fácil molienda la hace una opción viable en el proyecto teniendo en cuenta el tamaño del reactor en que esta biomasa es introducida.

2.3 PROCESOS TERMOQUIMICOS

A continuación, se ahondará en los distintos tipos de procesos usados para la degradación y descomposición térmica de los residuos sólidos (torrefacción, pirólisis y gasificación).

2.3.1 Torrefacción. El proceso de torrefacción es constantemente considerado como un proceso de pretratamiento de la biomasa, debido a que este proceso es muy usado con el fin de preparar la biomasa para un uso futuro, en vez de usar esta última en su forma natural, la torrefacción en sí es un proceso que consiste en calentar lentamente la biomasa en un rango de temperaturas entre (200°C - 300°C) en ausencia de oxígeno, con esto se liberan compuestos volátiles al tiempo que se descompone la hemicelulosa presente en la misma. De esta manera el producto obtenido será más estable y fácil de triturar que la biomasa inicial, siendo a su vez menos propenso a la degradación biológica cuando se es almacenado. La biomasa que ha sido torrefactada suele usarse de diversas maneras en la industria como potencial materia prima para la industria química, combustible convencional en los gasificadores, combustible convencional en los sistemas de calefacción residenciales o descentralizados. Uno de los principales objetivos de la torrefacción es el de incrementar el contenido de carbono presente en la biomasa mientras al mismo tiempo se reduce la presencia de hidrogeno y oxígeno en la misma. Este objetivo es similar al de la carbonización, pero con una diferencia no menor y esta es que la carbonización no retiene la cantidad de energía de la biomasa en su etapa inicial, lo cual proporciona un bajo rendimiento energético.

Trabajar por encima del valor máximo de temperatura de 300 °C, resulta en un gran problema debido a la alta pérdida de lignina en la biomasa, por otra parte, se genera carbonización y una extensiva desvolatilización de los polímeros, ambas situaciones son indeseables dentro del proceso de torrefacción, ya que en gran medida lo que se busca principalmente en la torrefacción es hacer que la biomasa pierda su naturaleza fibrosa de modo tal que esta última se pueda triturar con facilidad, mientras al mismo tiempo sea posible formar pellets sin el uso de aglutinante alguno.

2.3.2 Gasificación. La gasificación es un proceso térmico generalmente a temperaturas mayores a 1000 °C, el cual busca convertir un sólido carbonoso, líquido o incluso combustible gaseoso en productos gaseosos los cuales tengan un poder calorífico considerable(utilizable), con el fin de utilizarlos en la producción de ciertos productos químicos de valor agregado o gas combustible (que contiene monóxido de carbono e hidrógeno). En el proceso de gasificación se obtiene energía debido al empaquetamiento de enlaces químicos en los gases producidos, mientras en la combustión se rompen dichos enlaces con el fin de liberar energía, en general en la gasificación se agrega hidrógeno y se separa o elimina en carbono de la materia prima de hidrocarburos para de esa manera producir gases con una mayor proporción de carbono-hidrógeno, un proceso de gasificación típico presenta los siguientes pasos.

- Secado.
- Descomposición térmica o pirólisis.
- Combustión parcial de algunos gases.
- Gasificación de los productos descompuestos.

Los productos generados debido a la descomposición térmica reaccionan entre ellos, así como con el medio gasificador para formar el producto final de la gasificación, aunque anteriormente no se menciona la combustión como uno de

los pasos típicos en el proceso de gasificación, esta toma lugar durante todo el proceso.

Posteriormente los gases obtenidos de este proceso pasan a ser quemados en motores de combustión interna, equipos de producción de calor o turbinas. Este proceso se cumple en una cámara cerrada a presiones apenas debajo de una atmósfera.

2.3.3 Pirólisis. La pirólisis es un proceso endotérmico el cual consiste en la degradación o descomposición térmica de la biomasa de forma irreversible, entre un rango de temperaturas entre (400 °C – 600 °C), con tiempos de reacción estimados en el rango de (60 - 140) minutos, en un ambiente inerte (ausencia de oxígeno), debido a dicha degradación térmica se generan tres componentes: gases no condensables (el cual se usa como gas combustible), cenizas y gases condensables (el cual se puede convertir en bioaceites).

Existen diferentes tipos de pirólisis que reciben nombre principalmente debido al tiempo de residencia del nitrógeno en la muestra, según esto los tipos de pirólisis pueden ser lenta (carbonización), intermedia, rápida, flash, ultrarrápida y en presencia de un medio(hidropirólisis).

La pirólisis se ha vuelto un proceso muy llamativo ya que permite la descomposición de la biomasa en tres productos que son los gases no condensables, bioaceites y biocarbón.

Desde el punto de vista químico, la biomasa es compleja y está constituida por tres componentes principales, celulosa, hemicelulosa y lignina. La descomposición térmica rompe los enlaces de estas moléculas liberando su energía y obteniéndose productos finales de alto valor añadido que pueden ser utilizados con fines energéticos. No obstante, el empleo de la biomasa, como

materia prima para la producción de biocombustibles, exige reducir la complejidad de los biopolímeros que la componen y transformarlos en moléculas más simples.

Los bioaceites se obtienen por enfriamiento y condensación de los vapores producidos durante el proceso de pirólisis. Dependiendo de las condiciones en las que se opera en este proceso se puede cambiar la cantidad de productos generados, siendo la temperatura el factor más importante que influye en el rendimiento y en las características fisicoquímicas. Un aumento en la temperatura produce un mayor rendimiento en la fracción gaseosa.

El bioaceite generado tiene ciertas características fundamentales como su olor ahumado y su color marrón, en este aceite. El bioaceite posee un gran potencial como alternativa de los combustibles convencionales derivados del petróleo debido a su alto poder calorífico de dependiendo de la biomasa puede ser de 16 a 93 (MJ/kg). Es indispensable resaltar la composición química del bioaceite ya que se encuentra compuesta principalmente de agua y otros compuestos orgánicos como azúcares, alcoholes, aldehídos, cetonas, entre otros, la distribución en que estos componentes en el bioaceite dependen en parte de factores mencionados como el tipo de pirólisis que se realiza y los valores dados a las diferentes variables (tiempo de residencia, flujo, temperatura de reacción, entre otras).

El uso directo de estos líquidos como combustibles no es posible debido a sus inherentes características fisicoquímicas, como lo son un alto contenido en agua, elevada acidez y viscosidad. Debido a esto, se hace necesario el procesamiento de los ácidos piroleñosos para facilitar su uso como combustible.

La temperatura en el proceso de pirólisis se presenta como una de las variables de mayor importancia debido a que con esta se proporciona el calor necesario para descomponer y degradar térmicamente la biomasa, según los valores de temperaturas usados se puede alterar la proporción en los cuales los

componentes se pueden obtener, para temperaturas del proceso bajas (<300 °C) se ve favorecido la formación de biocarbón, para las temperaturas del proceso un poco más elevadas (>550 °C) la fracción líquida es decir el bioaceite se ve favorecida, lo cual significa la obtención de componentes más ligeros aumentando así el rendimiento final del gas de síntesis y el del bioaceite.

Cabe resaltar las diversas ventajas del proceso de pirólisis tales como las emisiones nulas de óxido de azufre, como el bioaceite generado proviene de la materia orgánica genera un balance nulo de dióxido de carbono al igual que neutralidad en el carbón vegetal, se posibilita el uso de cualquier tipo de biomasa en este proceso mientras que a su vez existe la posibilidad de hacer de dicho proceso uno autosostenible, por otra parte este proceso favorece el aumento de la densidad energética de la biomasa, las ventajas mencionadas son algunas de las muchas por las cuales los productos generados mediante el uso de estos procesos de degradación térmica se posicionan con un gran sustituto de los combustibles convencionales; esto se ve reflejado en la gran cantidad de aplicaciones que se le puede dar al bioaceite generado con pirólisis

2.3.3.1 Pirólisis lenta. La pirólisis lenta también conocida como carbonización es un proceso en el cual el objetivo principal es la producción de carbón vegetal, es la forma de pirólisis más antigua, en esta, la biomasa se calienta lentamente en ausencia de oxígeno a una temperatura relativamente baja (~400 °C), este proceso toma lugar sobre un extenso periodo de tiempo, esto con fin último de maximizar la formación de carbón vegetal. La carbonización permite así, durante el tiempo que dura este proceso convertir el vapor condensable en char y gases no condensables. Antiguamente este tipo de procesos se llevaban a cabo en los hornos de colmena en los cuales se apilaban troncos y el horno se cerraba con una pared de arcilla, en dichos hornos cierta cantidad de oxígeno entraba para hacer parte de la combustión parcial de la madera, entretanto la llama en la parte inferior del horno provee el calor necesario para que la carbonización suceda.

La pirólisis lenta se caracteriza principalmente por tener tiempos de residencia prolongados, velocidad de calentamiento lenta y una temperatura del proceso no muy alta, este tipo de pirosis es usada principalmente con la finalidad de obtener carbón o biochar, esto sucede debido a que los gases generados dentro del reactor no tienen la posibilidad de escapar tan rápido de esta zona de calentamiento, esto implica que los gases reaccionaran más veces dentro del reactor, disminuyendo así los rendimientos de bioaceite.

2.3.3.2 Pirólisis intermedia. En la pirólisis intermedia los tiempos de residencia de 10 a 30 segundos y tiempos de reacción manejados entre el rango de valores de 30 - 120 minutos, con una temperatura de reacción de alrededor de 500 °C, con rendimientos moderados tanto de bioaceite (38-55 % p/p) como de biocarbón (33-38 % p/p). En la pirólisis intermedia se aprecia una disminución en el rendimiento del carbón y de los gases producidos con respecto a la pirólisis lenta, esto debido a la disminución de las reacciones secundarias.

En la pirosis intermedia se busca trabajar en un rango de temperaturas moderado en lo posible por encima de 500 °C y unos tiempos de residencia moderados, acá la producción de los gases no condensables y del biochar se reduce producto de una existencia menor de reacciones secundarias dentro del reactor.

2.3.3.3 Pirólisis rápida. En este tipo de pirólisis el objetivo principal es maximizar la producción de bioaceite, la biomasa se calienta tan rápido que alcanza el pico de temperatura en el que la pirólisis ocurre justo antes de que la biomasa se descomponga. El rango de temperaturas está entre 1000 °C – 10000 °C, aunque el valor máximo de temperatura debe estar por debajo de 650 °C para que el objetivo principal de este tipo de pirólisis se cumpla, sin embargo, dicho valor máximo de temperatura puede ser aún mayor si lo que se desea maximizar es la producción de gas. Con el fin de maximizar la cantidad de bioaceite obtenido es necesario tener en cuenta aspectos tales como una tasa de calentamiento alta,

tiempos de residencia de los gases en el reactor menores a tres segundos, enfriamiento rápido de los gases y trabajar con un rango de temperaturas entre 425 °C – 600 °C.

En el caso de la pirólisis rápida los tiempos de residencia son muy cortos y velocidades de calentamiento altas, tanto así que la descomposición térmica de la biomasa ocurre casi de manera instantánea, los rangos de temperaturas usados son relativamente mayores a los usados en los dos casos anteriores, esto es debido en gran medida a que según las temperaturas que se usen se puede llegar a mayores rendimientos ya sea en la producción de la fracción líquida (450 °C - 650 °C) o de gas de síntesis (por encima de 750 °C).

2.3.3.4 Pirólisis flash. En la pirólisis flash como su nombre lo indica se caracteriza principalmente por la velocidad a la cual salen los gases condensables y no condensables del pirolizador es casi instantánea. En este tipo de pirólisis el rango manejado en la temperatura de calentamiento es levemente menor en comparación con la pirólisis rápida (450 °C – 600°C), la condensación de los gases mencionados genera lo que se conoce como bioaceite, este proceso incrementa el rendimiento del líquido obtenido (70% - 75%), reduciendo al mismo tiempo el biocarbón producido.

2.3.3.5 Pirólisis ultra rápida. La velocidad de calentamiento de la biomasa en este proceso es extremadamente rápida, mayor a la de la pirólisis rápida. Debido a que la temperatura en el reactor es aproximadamente 650 °C, se obtienen rendimientos líquidos muy altos de hasta el 90%, sin embargo, si lo que se busca es conseguir una alta producción de gas debe manejarse una temperatura de alrededor de 1000 °C. Un aspecto fundamental de la pirólisis ultrarrápida es que el tiempo de residencia debe ser uniforme, corto y controlado con precisión.

2.3.3.6 Pirólisis en presencia de un medio (Hidropirólisis). La hidropirólisis es un proceso en el cual a diferencia de la pirólisis convencional en la cual se lleva a cabo en un ambiente con ausencia de oxígeno, por otra parte, en esta variante de pirólisis la descomposición térmica ocurre en una atmosfera con hidrógeno a alta presión. En la hidropirólisis el bioaceite obtenido con hidropirólisis en comparación al de la pirólisis convencional posee menos oxígeno, esto da cabida a una mayor obtención de volátiles.

Los componentes producidos y la proporción en que estos últimos se generan es debido en parte a una variedad de factores de gran importancia como lo son el tiempo de residencia de la biomasa en el reactor, el tamaño de la biomasa, la temperatura del proceso.

2.3.3.7 Lecho. Un lecho es básicamente una capa de material que se coloca sobre una superficie y un lecho se conoce como fijo cuando dicha capa de material permanece siempre en el lugar en que se quema, ya sea porque esta muestra permanece siempre en la posición en la que el proceso de combustión ocurre o porque al lugar donde se quema la muestra se le es suministrada biomasa constantemente. Los reactores de lecho fijo básicamente se usan para generar reacciones catalizadas en sólidos. Estos reactores el régimen de flujo se ve afectada por la temperatura, la densidad del gas, la caída de presión, aunque no es tan grande se ve afectada por la densidad del gas presente dentro del reactor.

Un lecho fluidizado se busca que la capa de material se comporte de cierta manera como un fluido, es este tipo de lecho genera erosión en las paredes en la que es contenido, en este tipo de lecho se puede garantizar una temperatura constante a comparación del lecho fijo.

2.3.4 Cromatografía. Es un proceso químico muy común, en el cual lo que se busca separar una mezcla, en los componentes individuales que le conforman mediante una fase estacionaria y una móvil. La fase estacionaria consta de materia sólida y un líquido y la fase móvil de un líquido o un gas, la cromatografía usa distintos procedimientos (en papel, capa fina, columna y de gases), según el campo de aplicación tiene sus ventajas y desventajas. Uno de los principales usos de este procedimiento se da en la producción, donde la cromatografía es empleada para la limpieza y en el aislamiento de sustancias, también es muy usado para la separación de muestras en compuestos homogéneos.

La cromatografía consta de dos categorías la cromatografía de líquidos y la cromatografía de gases. En la cromatografía de líquidos se encuentra la cromatografía en papel, en capa fina y en columna, por otra parte, en la cromatografía de gases se encuentra la cromatografía de gas líquido y la de gas sólido.

En la cromatografía de líquidos, en la cromatografía en papel la fase estacionaria consta de una cinta de papel que es introducida en un recipiente de cristal la cual contiene como fase móvil un líquido, este método se usa en el análisis de mezclas.

La cromatografía en capa fina, aunque es similar a la anteriormente mencionada tiene como característica diferenciadora la forma en que se compone la fase estacionaria, ya que se compone de materia pulverizada como celulosa, gel de sílice o alúmina la cual se sitúa sobre unas placas de vidrio, el rápido tiempo de ejecución de esta muestra y su alta muestra de comprobación son sus grandes ventajas. La cromatografía en columna es muy usada en la limpieza de preparados y en esta su fase estacionaria es normalmente alúmina pulverizada o gel de sílice, esta se introduce en un tubo de vidrio el cual es rellenado con un

disolvente el cual actúa como fase móvil, esto produce la separación sucesiva de los componentes de la mezcla.

En la cromatografía de gases, específicamente en la de gas líquido el cual es el más usado se introduce el material portador que puede llegar ser aceite de silicona el cual se introduce en un tubo espiral, dicho gas fluye junto al gas portador que puede ser nitrógeno, helio o argón normalmente, a través del espiral el cual al final de este, se encuentra incorporado un detector de conductividad térmica el cual mide las oscilaciones de temperaturas que se presenta, con lo cual se posibilita la determinación de los componentes de la mezcla.

2.3.5 Poder calorífico. El poder calorífico es la cantidad de calor entregada por un combustible en un kilogramo o metro cúbico al oxidarse por completo, es decir, la cantidad de energía que se desprende de un combustible debido a la combustión.

2.3.5.1 Poder calorífico inferior. El poder calorífico inferior (PCI) es el calor que proviene de la combustión completa del combustible sin aprovechar la energía de condensación del agua, esto debido a que no se genera un cambio de fase, sino que es expulsado en forma de vapor.

2.3.5.2 Poder calorífico superior. El poder calorífico superior (PCS) en comparación con el PCI si aprovecha la energía de condensación del agua y debido a esto, con la misma cantidad de combustible es posible generar más calor. Para un óptimo aprovechamiento del poder calorífico superior es necesario hacer uso de calderas de condensación las cuales están diseñadas específicamente para ello.

2.3.6 Termogravimetría. Existen diferentes métodos térmicos con los que se pueden analizar los productos obtenidos por medio de la pirólisis, estos métodos

involucran calentamiento de la muestra y medidas de los cambios en algunas de las propiedades físicas.

Los análisis térmicos engloban diferentes técnicas la cuales se basan principalmente en la medida de la relación entre temperatura y una propiedad específica de la materia, entre estas diferentes técnicas se pueden encontrar el análisis termomecánico; basada en la variación de las propiedades mecánicas, calorimetría diferencial de barrido, análisis térmico diferencial; basada en la variación de calor y por último en análisis de termogravimetría (TGA) la cual se basa básicamente en la variación del peso de la muestra analizada.

La termogravimetría es una técnica en la cual la muestra obtenida es medida mediante una balanza con el fin de observar su variación respecto al tiempo o la temperatura, en una atmosfera especificada (aire o nitrógeno), en esta técnica todo se ve representado en un termograma, es decir una gráfica de peso Vs temperatura, además se mide la pérdida de peso de un material sometido a una temperatura con el fin de obtener la composición del material, más específicamente el porcentaje de pérdida de peso debido a la descomposición, pérdida de disolvente, deshidratación. También es posible determinar la descarboxilación, el porcentaje de aditivos, la pirólisis y la estabilidad térmica.

3. METODOLOGIA

3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1.1 Soporte

Figura 1 Soporte del sistema

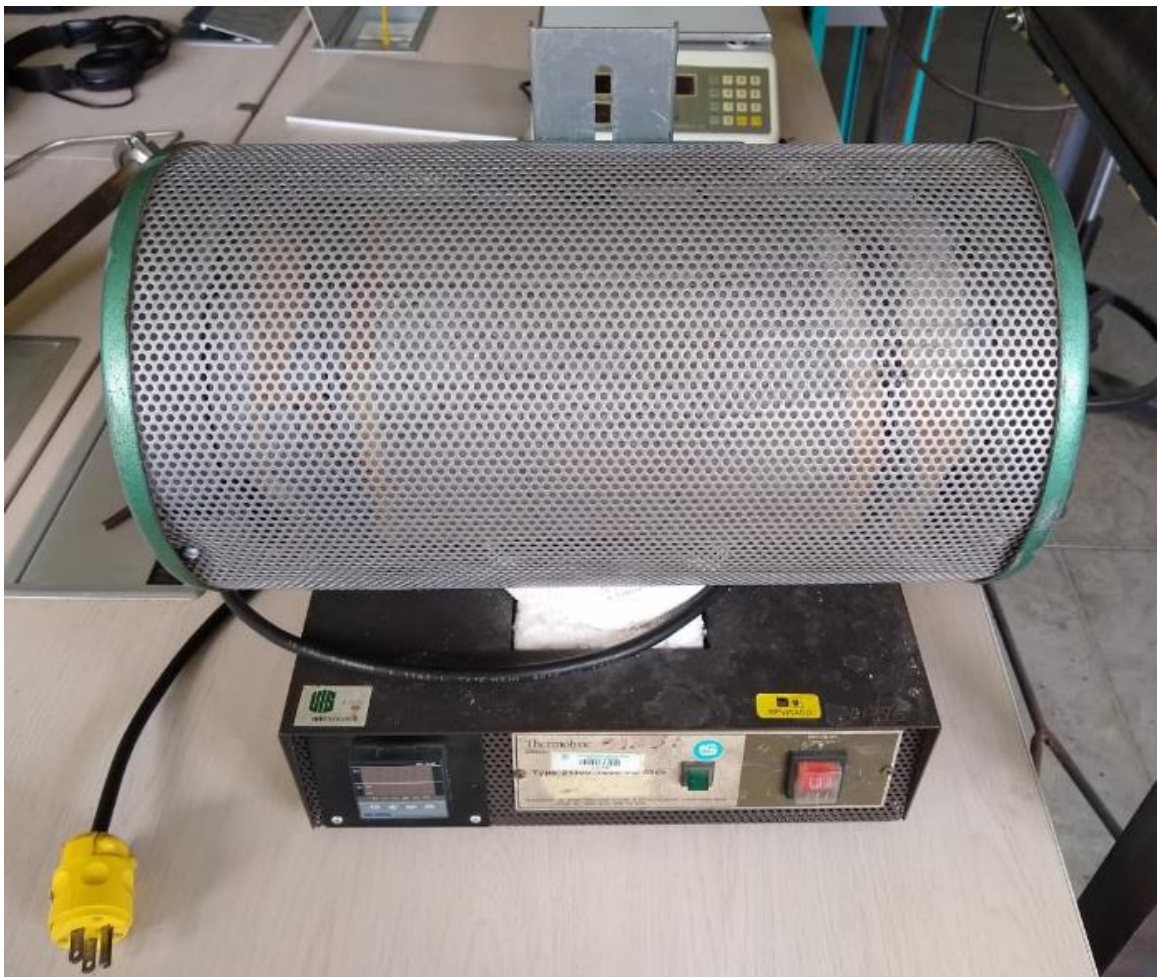


Fuente: Elaboracion propia.

Se diseñó un soporte para mantener los diferentes componentes del sistema de forma vertical, dado que de esta forma se puede maximar el rendimiento del aceite debido a que la gravedad permite que el bioaceite en su mayoría no quede adherido a los tubos y mangueras del sistema.

3.1.2 Horno

Figura 2. Horno de tubo de múltiples posiciones.



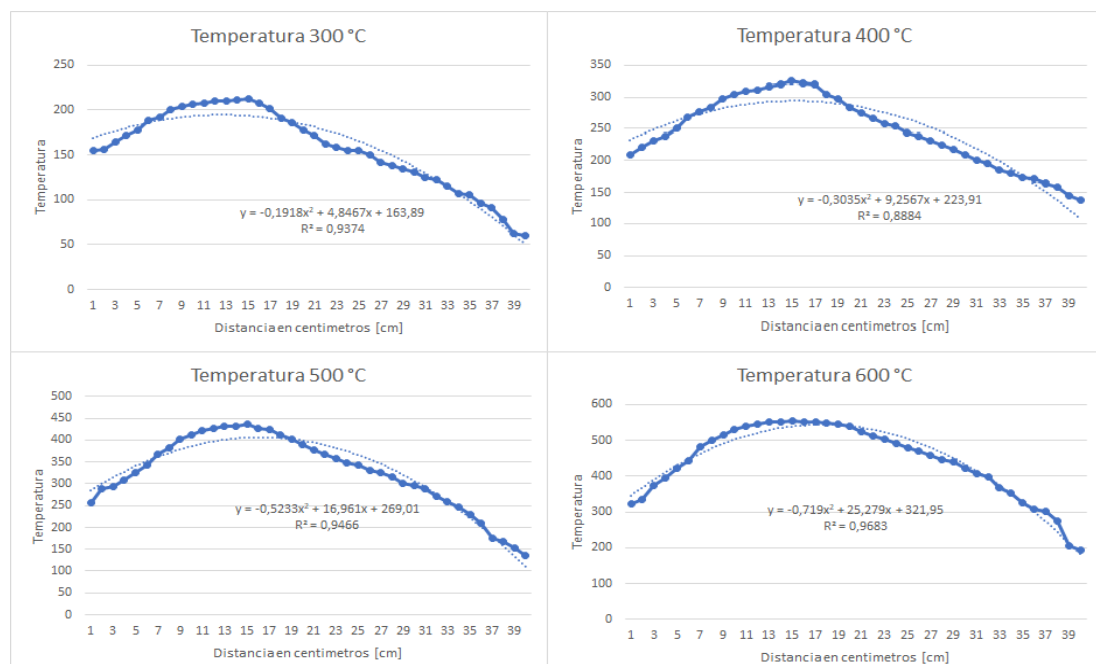
Fuente: Elaboracion propia.

Como se observa en la figura se usó un horno de tubo de múltiples posiciones de referencia Thermolyne Corporation modelo F21125, para conocer mejor el

comportamiento del horno se realizó un perfil térmico el cual consta en tomar la mediciones centímetro a centímetro, con un termopar que permite medir temperaturas hasta 700 °C, este proceso se realiza 2 veces dentro del horno con el fin de constatar la distribución de temperaturas dentro del mismo para cualquier valor de temperatura que se otorgue a través del controlador del horno, esto es de gran importancia ya que permite comprender las temperaturas que se alcanzan en cada punto del horno y también en que parte del mismo se presentan las temperaturas más altas, dichas temperaturas naturalmente estarán alrededor de la resistencia eléctrica en la parte interna del horno.

3.1.3 Canastilla

Figura 3. Perfil térmico del horno



Fuente: Elaboracion propia.

Ubicar adecuadamente el lugar donde las temperaturas más altas se encuentran, gracias al perfil térmico, permite tomar una importante decisión en el diseño del reactor el cual tendrá su ubicación en la parte interna del horno y la canastilla de

la parte interna del mismo en la cual se almacenará la muestra, la ubicación de dicha canastilla debe coincidir con la de las temperaturas más altas con el fin de aprovechar de una mejor manera las temperaturas más elevadas que el horno provee a diferentes temperaturas.

Como se observa en la figura el perfil térmico se realizó configurando las temperaturas del horno a 300°C, 400°C, 500°C y 600°C, esto con el fin de obtener un comportamiento más acertado del horno, a las diferentes temperaturas configuradas, el horno posee el mismo comportamiento y se enfatiza en las distancias comprendidas entre los 7 y 22 cm donde se encuentra las temperaturas más considerables para realizar el proceso de pirolisis, dando esto a una canastilla de 15 cm de largo.

Como se puede observar en la siguiente figura, una vez realizado el perfil térmico, se decidió ubicar la canastilla a 7 cm de la parte superior del horno (en esta parte no inciden temperaturas considerables), con una longitud de 15 cm, a lo largo de dicha longitud inciden las temperaturas más altas en el horno debido a la ubicación de la resistencia, por lo cual se toma este punto como la ubicación principal de la canastilla. Además, se decidió añadirle un soporte de 5 cms de diámetro que a su vez sirve de unión entre la canastilla y el tubo del reactor.

Figura 4. Canastilla



Fuente: Elaboracion propia.

3.1.4 Tubo del reactor

Figura 5. Tubo del reactor.



Fuente: Elaboracion propia.

El tubo del reactor hecho en acero 316, el cual soporta temperaturas de trabajo continuo de 920°C y trabajos intermitentes de 870°C, se diseñó de 50,5 cms de largo y un acople de 5 cms de diámetro en la parte superior, que sirve también como soporte sobre la armadura del horno.

3.1.5 Empaque de bronce

Figura 6. Empaque de bronce



Fuente: Elaboracion propia.

En la imagen anterior se observa el empaque de bronce de 5 cms de diámetro con el fin de evitar fugas en el acople entre el tubo del reactor y la canastilla.

3.1.6 Unión de tubing

Figura 7. Unión tubing



Fuente: Elaboracion propia.

Esta unión permite acoplar el tubo refrigerante o condensador con el tubo del reactor, además permite conectar un manómetro $\frac{1}{2}$ " de 0-60 Psi el cual indica la presión necesaria para las pruebas, la unión está hecha con tubing $\frac{1}{4}$ "x0,035 de espesor en acero inoxidable 316L y una unión TEE de $\frac{1}{4}$ " OD x $\frac{1}{4}$ " OD x $\frac{1}{4}$ " OD.

3.1.7 Tubo refrigerante o condensador

Figura 8. Tubo refrigerante o condensador



Fuente: Elaboracion propia.

El tubo refrigerante o condensador permite el paso de los gases por el serpentín al mismo tiempo que permite por los orificios laterales el ingreso del refrigerante en este caso el agua para condensar los gases. El condensador se ubica entre la unión de tubing y el envase.

3.1.8 Envase

Figura 9. Envase contenedor



Fuente: Elaboracion propia.

El envase de 100 ml permite contener el bioaceite que se produce mientras se enfrían los gases condensables producidos por la pirolisis.

3.2 UNION DEL REACTOR

Figura 10. Unión del reactor



Fuente: Elaboracion propia.

Como se muestra en la figura se observa los tres componentes del reactor, la canastilla, el empaque y el tubo del reactor, primero se ubica el empaque en la parte superior del tubo del reactor, luego se introduce la canastilla dentro del tubo del reactor.

Figura 11. Acople del reactor



Fuente: Elaboracion propia.

Como se evidencia en la figura, así quedaría el acople de los tres componentes del reactor.

3.2.1 Brazaletes de seguridad

Figura 12. Brazaletes de seguridad.

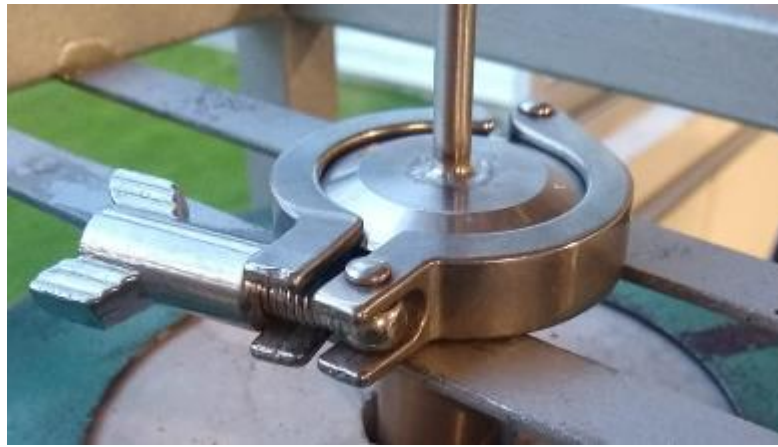


Fuente: Elaboracion propia.

El brazaletes de seguridad permite una mejor unión entre la canastilla y el tubo del reactor, el brazaletes se ubica en los acoples de 5 cm que tienen la canastilla y el tubo del reactor en la parte superior.

3.2.2 Acople al reactor

Figura 13. Brazaletes de seguridad



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura, esto permite una mejor conexión en el reactor de este modo se previene movimientos bruscos que puedan afectar la prueba, además de ayudar en la prevención de fugas.

3.3 MONTAJE PRINCIPAL

Se puede observar en la siguiente figura como quedaria montado el banco de degradación y descomposición termica en su totalidad.

Figura 14. Banco de descomposicion y degradacion termica



Fuente: Elaboracion propia.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRUEBAS

4.1 LLENADO DEL REACTOR

La canastilla se lleno con muestras de 7 gramos de cascarilla de arroz pesada previamente en la balanza de precisión Pioneer oahuss presente en el laboratorio de combustión del edificio de Ingeniería Mecánica, luego se procede a introducir la canastilla dentro del tubo del reactor junto con el empaque de bronce.

Luego se envuelve el acople entre la canastilla, el tubo y el empaque con teflón para evitar fugas y posteriormente se acopla el brazaete de seguridad para una mayor fijación en el acople.

4.2 PROCESO DE CONEXIÓN

La unión tubing se acopla a la parte inferior del reactor, luego se conecta el condensador y el manómetro, al condensador se le acoplan una manguera siliconada en la parte inferior la cual se une al envase donde caerá el bioaceite, posteriormente se une una manguera para la entrada del refrigerante, y otra mas para la salida del refrigerante, en este caso se utilizo agua como refrigerante.

Posteriormente al envase se acopla la manguera de salida de gases no condensables al ambiente.

Se acopla al tubo de la canastilla la manguera que da a la pipeta de nitrógeno, por medio del regulador de baja presión conectado a la pipeta se establece una presión de salida de 1 bar.

4.3 PRUEBA DE FUGAS

Se procede a dar paso libre al nitrógeno a través del sistema para dejar libre el sistema de oxígeno, luego se procede a colocar un tapón a la salida de la manguera de los gases no condensables durante 15 minutos, revisando si la presión mostrada en el manómetro no desciende más del 10%, se procede a realizar la prueba.

4.4 CONFIGURACION DEL HORNO

Se procede a configurar el horno, con la temperatura deseada a un velocidad de calentamiento de 15 (°C/min), además se configura el tiempo de reacción y el tiempo de enfriamiento del horno también a una velocidad de 15 (°C/min).

4.5 INICIO DE LA PRUEBA

Para iniciar la prueba se procede a retirar el tapón de la manguera de los gases no condensables y se activa el horno, a través de la biomasa almacenada dentro del reactor pasa constantemente un flujo de nitrógeno(N₂), el cual se encarga de crear la atmosfera inerte, la presión a la cual dicho gas se encuentra esta entre (1 bar – 2 bar), con un flujo constante controlado por un rotámetro, el trayecto que toma el nitrógeno va desde la parte superior del reactor, pasando a través de la biomasa arrastrando a su vez junto con el los gases y vapores que se generan debido a la pirólisis, hasta llegar a la parte baja del reactor en la cual se encuentra un tubo refrigerante o condensador , por el cual los gases pasan a través del serpentín del condensador, mientras una corriente de agua a un flujo de 1,3 (l/min) entra al tubo refrigerante rodeando el serpentín para condensar los gases,

al condensar los gases se produce el bioaceite el cual por gravedad cae al envase ubicado en la parte baja del condensador.

El tiempo de residencia es un factor de gran importancia en este proceso, tiempo el cual puede obtenerse mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$\tau = \left(\frac{At * h}{Q} \right) * \left(1 - \frac{\rho_{aparente}}{\rho_{real}} \right)$$

Donde:

- T = Tiempo de residencia (s).
- At = Área transversal del reactor (cm²).
- h = Altura del reactor (cm).
- Q = Flujo de nitrógeno (ml/s).
- P = Densidad aparente y densidad real (g/m³).

Cabe resaltar la importancia de hacer todas las pruebas por duplicado, además, la reproducibilidad de las pruebas al igual que los respectivos cierres en los balances de masa se verifican con la siguiente ecuación.

$$Bc = L + C + G$$

Donde:

- Bc = Biomasa cargada en el reactor.
- L= Líquido condensado.
- C = Carbón remanente del proceso de pirólisis.
- G = Gas producido.

Figura 15. Inicio de formación de bioaceite



Fuente: Elaboracion propia.

Como se observa en la figura mientras los gases pases a través del sistema, se observa como el condensador se empieza a tornar de un color marrón, esto es indicio de que los gases se están condensando y por lo tanto se está produciendo bioaceite, al igual que en el envase los gases también se condensan formando así el bioaceite el cual posee un color marrón.

El efluente líquido obtenido al final del respectivo proceso de pirólisis se compone básicamente de bioaceite y una parte de agua, la fase del bioaceite se puede separar del agua mediante el uso de solventes, evaporación y por último decantación, en un proceso que se conoce como cromatografía de capa fina.

4.6 ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA

Como se estableció anteriormente la velocidad de enfriamiento, se espera a que el horno llegue a una temperatura de 60 °C, esto con el fin de evitar daños en el sistema, posteriormente se cierra el flujo del nitrógeno y se procede a desconectar cada componente para su posterior pesaje y limpieza.

4.7 PESAJE Y RECOLECCION DEL BIOACEITE Y BIOCARBON

Se procede a pesar la unión de tubing, debido a que también en este componente quedan residuos de bioaceite los cuales son importantes al momento de realizar el balance de masa, al igual que el condensador se procede a su pesaje ya que queda bioaceite adherido al serpentín que cobra importancia al momento del cierre de balance de masa, al igual que el envase se pesa y se recolecta el bioaceite por medio de una jeringa y se pasa a un frasco ámbar.

Como se muestra en la figura el frasco ámbar conserva mejor el bioaceite debido a que no permite la entrada de luz por tanto evita una posible evaporación del bioaceite que afecte la calidad de este, o una posible alteración en su estructura.

Figura 16. Muestra de bioaceite en el frasco ámbar



Fuente: Elaboracion propia.

Luego se continua con el pesaje del biocarbón en cual se encuentra dentro la canastilla, primero se extiende sobre una superficie plana papel aluminio de modo que no se desperdicie el biocarbón al momento de girar la canastilla para vaciarla, luego se forma una especie de embudo con el papel aluminio y se pasa el biocarbón a una caja de Petri y se procede a su pesaje, esto es muy necesario para realizar el cierre de balance de masa, y con esto hallar los rendimientos sólidos, líquidos y de gas producto de la pirolisis.

5. RESULTADOS

Las pruebas se realizaron siguiendo el manual de operación (anexo A), se desarrollaron 9 pruebas en las cuales se utilizó como biomasa la cascarilla de arroz presente en el laboratorio de combustión de Ingeniería Mecánica, se tomaron diferentes temperatura del horno (475 °C,500 °C,550 °C,600 °C) y el tiempo de reacción (60 min,80 min,100 min), los otros factores de incidencia en el proceso de pirólisis a llevar a cabo se mantuvieron constantes, estos factores son el caudal de agua que pasa por el condensador de vidrio (1.3 l/min), tamaño de partícula (2 mm), tiempo de residencia del gas dentro de la canastilla (30 seg), flujo de nitrógeno que pasa a través de la muestra presente en el reactor (150 ml/min) y una presión de 1 bar a través de todo el sistema. El uso de dichos valores constante y variables arrojaron como resultado los siguientes valores una vez fue realizado el proceso de pirólisis a la muestra dentro del reactor

Cuadro 1. Resultado de las pruebas experimentales

PRUEBA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	RENDIMIENTO LÍQUIDO (%p)	RENDIMIENTO SÓLIDO (%p)	RENDIMIENTO GAS (%p)	CIERRE BALANCE DE MASA (%P)
1	475	60	23,0567	19,0025	57,9151	99,9743
2	475	80	18,855	17,132	64,0128	99,9998
3	500	60	47,7578	26,5623	25,6568	99,9769
4	500	80	27,9038	24,9546	47,1338	99,9922
5	500	100	16,379	20,155	63,4655	99,9995
6	550	60	26,6871	24,9371	48,3757	99,9999
7	550	80	18,1174	19,0765	62,8022	99,9961
8	550	100	17,8611	15,8129	66,3095	99,9835
9	600	100	28,7805	41,861	29,3575	99,999

Fuente: Elaboracion propia.

Como se observa en la figura el banco de degradación y descomposición térmica de residuos sólidos responde a las diferentes condiciones presentadas dando lugar a los tres productos, dando como resultado a mayor tiempo de reacción un

mayor porcentaje del rendimiento de gas, y a menor tiempo de reacción un mejor rendimiento líquido y sólido.

CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

Esta es una técnica que tiene como finalidad evaluar el efecto de la temperatura con respecto a la variación de la capacidad calorífica de la muestra analizada, es decir, la muestra utilizada es sometida a calor con el fin de observar los cambios producidos en su capacidad calorífica a medida que su flujo de calor cambia.

Una de las grandes ventajas del proceso de calorimetría diferencial de barrido es la rapidez con que se pueden detectar la transición de las muestras analizadas (cambios de fase, grado de pureza).

La capacidad calorífica también conocida como calor específico (CP), es la energía necesaria para que un kilogramo de una sustancia eleve su temperatura 1 °C y sus unidades son (J/Kg*K).

Se realizó el análisis de poder calorífico inferior en un equipo de calorimetría de barrido diferencial, modelo DSC Q10, con equipo de enfriamiento marca TA INSTRUMENTS, programa TA análisis para el tratamiento de los datos, PAN holders de 0,5 (cm) con capacidad máxima de 30 (mg) en una atmosfera de nitrógeno 50 (ml/min), el elemento Indio se usó como estándar de calibración con la condiciones de programación térmica aquí señaladas, iniciando en 30°C@10°C/min hasta 100°C para determinación de PCI, llegando hasta 300°C para espectro general de la muestra. Se tomó una cantidad representativa de la muestra para llevar a cabo dicho procedimiento.

Posteriormente se obtuvieron lo siguiente valores de calor específico en las muestras analizadas, provenientes del equipo de calorimetría de barrido

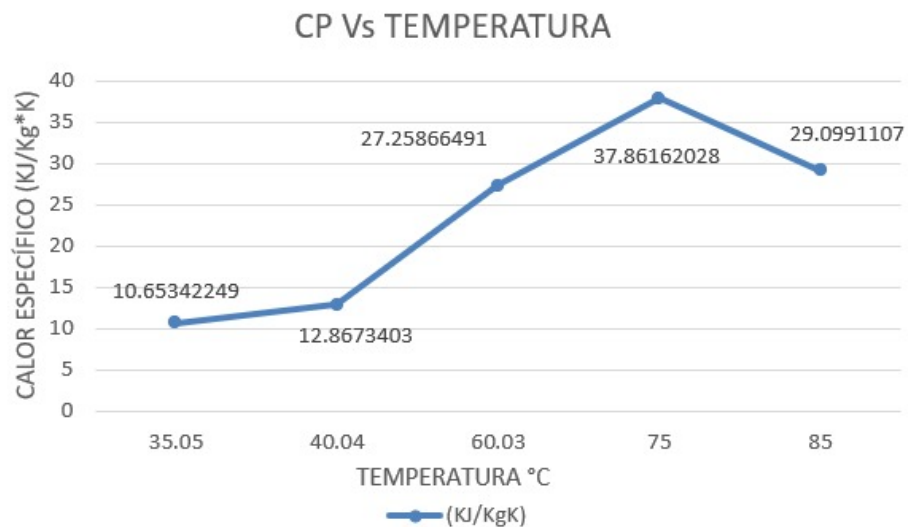
diferencial y bajo las condiciones mencionadas con anterioridad. Los datos fueron registrados en la siguiente tabla, además de los gráficos en los cuales se ejemplifica el comportamiento del calor específico de dos de las muestras de cascarilla de arroz obtenida del proceso previo de pirólisis. Una de las muestras, producto de la pirólisis con temperatura y tiempo de reacción de 500 (°C) y 60 (min) respectivamente, y la otra con temperatura de 475 (°C) y 60 (min).

Cuadro 2. Resultados calor específico.

	CASCARILLA BIOOIL 500°C 60 min		CASCARILLA BIOOIL 475°C 60 min	
Temperatura °C	Cp (J/KgK)	(KJ/KgK)	Cp (J/KgK)	(KJ/KgK)
35.05	10653.4225	10.65342249	9987.93728	9.98793728
40.04	12867.3403	12.8673403	12190.2804	12.1902804
60.03	27258.6649	27.25866491	25603.6887	25.6036887
75	37861.6203	37.86162028	39219.5666	39.2195666
85	29099.1107	29.0991107	36561.832	36.561832

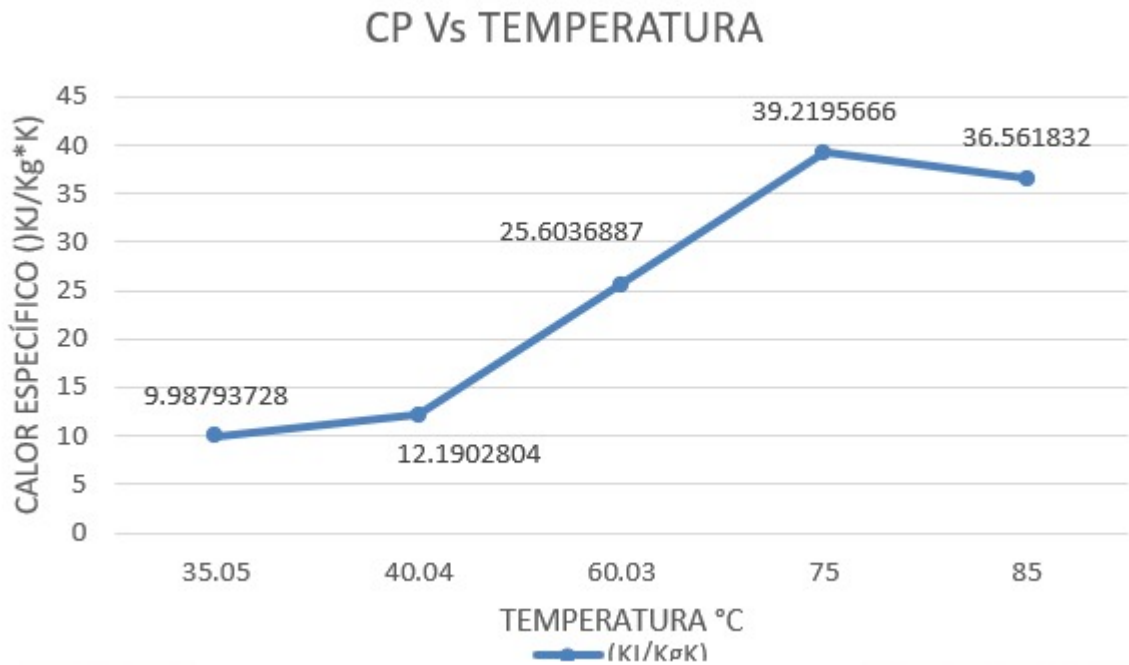
Fuente: Elaboracion propia.

Figura 17. Calor específico (muestra 500 °C).



Fuente: Elaboracion propia.

Figura 18. Calor específico (muestra 475 °C).

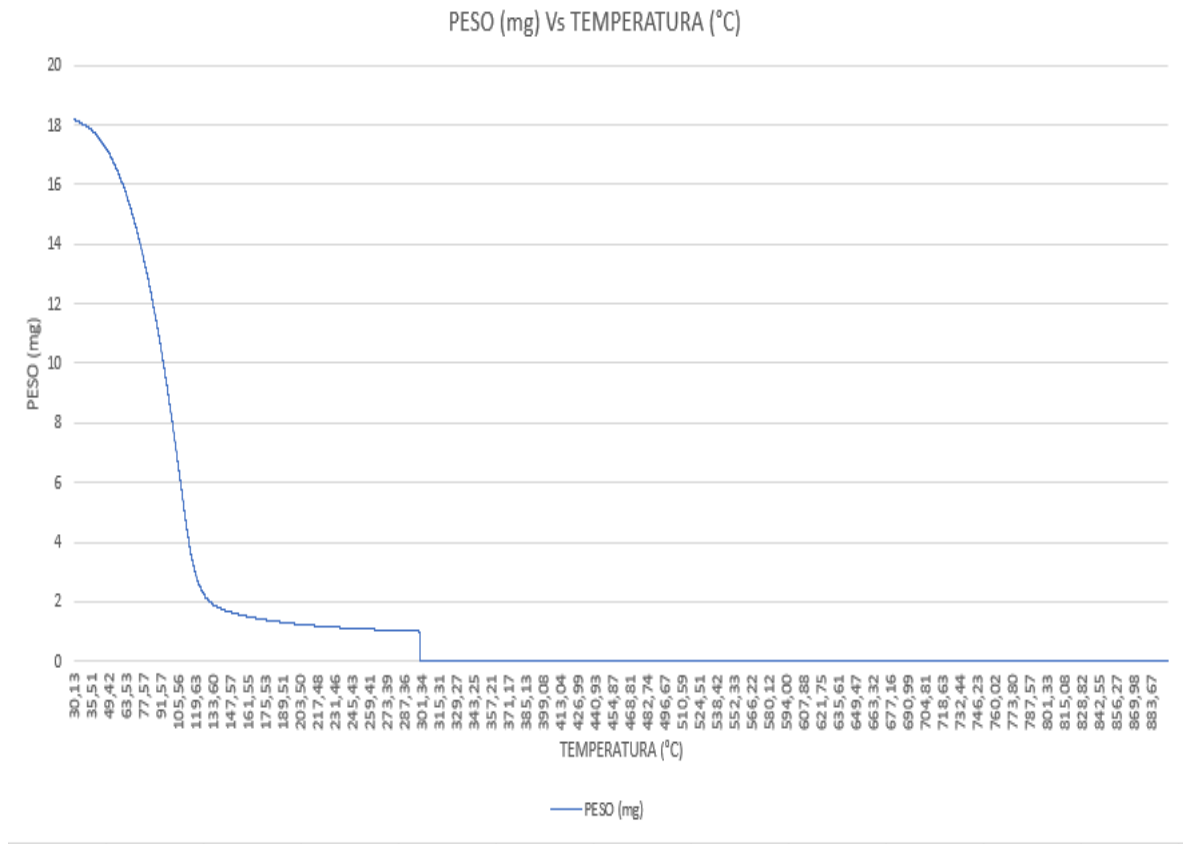


Fuente: Elaboracion propia.

Se observa en ambos casos que el calor específico otorgado por la cascarilla de arroz crece progresivamente con respecto al aumento de la temperatura hasta alcanzar el valor máximo de calor específico una vez llega a la temperatura de 75 (°C), valor a partir del cual el valor del poder calorífico inferior comienza a disminuir.

Se llevo a cabo una prueba de termogravimetría a la muestra de bioaceite de cascarilla de arroz obtenida en el proceso de pirolisis a 500 (°C) y 60 (min) en atmosfera de nitrógeno a 50 (ml/min), en el equipo de TGA modelo 5500 Discovery, marca TA instrumens, 159 Lukens Drive, DE 19725, con un rango de temperatura que va desde la temperatura ambiente hasta 1100 (°C) y una sensibilidad de 0.01 (mg), en la cual se manejó una rampa de calentamiento desde 20 (°C) hasta 800 (°C), obteniendo los resultados mostrados en la gráfica.

Figura 19. TGA peso vs temperatura.



Fuente: Elaboracion propia.

Como se observa en la anterior figura los datos obtenidos, se ve representada la pérdida de masa en el bio-aceite obtenido de la cual no quedan residuos ya que, como se aprecia en la gráfica la muestra se degrada totalmente cuando alcanza la temperatura de 301.34 °C , además, se logra apreciar el hecho de que la muestra analizada empieza su descomposición principal de manera temprana, más específicamente entre el rango de temperaturas comprendido entre 35.51 °C y 133.60 °C , también se observa que la temperatura pico de descomposición de 80 °C, dicho valor de temperatura es en el cual se genera la velocidad de descomposición máxima del material.

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó un banco de pruebas de capacidad máxima de 7 gramos debido a la distribución de las temperaturas del horno, y un flujo de 150 (ml/min) para un mayor arrastre del bioaceite y los gases producto de la pirolisis.
- Se construyó un banco de pruebas funcional para el laboratorio de combustión de la escuela de Ingeniería Mecánica.
- Se determinaron los productos generados y su correspondiente balance de masa, esto permitió conocer las mejores condiciones para cada producto de la pirolisis de acuerdo con la teoría.
- A mayor tiempo de reacción mayor es el rendimiento del gas, mientras el rendimiento líquido y sólido disminuyen.

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ GIL, Pedro José. Optimización del proceso de producción de bio-oil a partir de bagazo de caña de azúcar por pirolisis intermedia. Bucaramanga. 2012.50p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

APARICIO ARIZA, Adriana Alexandra y CABANA OLIVEROS, Uriel David. Modelo matemático predictivo del rendimiento de biooil en el proceso de pirolisis en lecho fluidizado y lecho fijo de biomasa residual agrícola. Bucaramanga. 2013.78p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

BAYONA MENESES, Dante Johan. Diseño e implementación de un sistema de control de presión y de flujo para un reactor a unidad piloto de pirolisis de lecho fijo a escala de laboratorio. Bucaramanga. 2017.55p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

BELTRAN BARRERA, Ángel Gabriel y ROJAS REYES, Iván Rodrigo. Diseño y montaje de un reactor de pirolisis a escala de laboratorio para el tratamiento de biomasa vegetal residual procedente de plazas de mercado de Bucaramanga. Bucaramanga. 2014.68p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

CALDERON, María Fernanda y TORRES ALBARRACIN, Astrid Lorena. Diseño y puesta en marcha del montaje de una planta piloto a escala de laboratorio para producción de Bio-oil a partir de biomasa mediante pirolisis Bucaramanga. 2012.81p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

MONCADA DIAZ, Silvia Juliana. Análisis de la producción de aceite y char por pirolisis intermedia del caucho proveniente de llantas usadas. Bucaramanga. 2013.63p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

PEÑA SALAS, Wilmar Fernando y RUEDA MONTAÑEZ, Julieth Marcela. Estudio de la viabilidad técnica para la producción de biocombustibles a partir de pirolisis acuosa de residuos agrícolas. Bucaramanga. 2015.70p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

SANCHEZ RODRIGUEZ, Yenny Milena y VILLAMIZAR RINCON, Diego Fernando. Estudio experimental de la pirolisis intermedia de caucho de llanta usada para producción de combustibles sólidos.2014. 89p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

VECINO MANTILLA, Juan Sebastián. Desarrollo de un método extractivo de la fracción fenólica presente en el Bio-oil producido por pirolisis intermedia. Bucaramanga. 2014.137p.Trabajo de grado como requisito para optar por el título Magister en Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

ANEXOS

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento

Montaje del sistema

Los siguientes pasos muestran el proceso para realizar la prueba.

- Pesar la cantidad de biomasa que se requiera utilizar, se recomienda pesar la muestra en la balanza de precisión marca Pionner Oahus de capacidad máxima de 220 gramos.
- Colocar la biomasa en la canastilla del reactor por medio de un embudo para evitar pérdidas.
- Introducir la canastilla dentro del reactor colocando entre ellos el empaque de bronce para evitar fugas del gas, se recomienda envolver el empaque de bronce en teflón para una mayor seguridad y evitar fugas.
- Conectar el reactor al sistema de alimentación de gas.
- Conectar la unión Tubing en la parte inferior del reactor a la cual se conecta el manómetro y el condensador.
- Unir la manguera siliconada de 20 cm entre el condensador y el envase en el cual se depositará el bioaceite.
- Acoplar la manguera siliconada de 60 cm para la entrada del agua y para la salida del agua la manguera de 20 cm en el condensador.
- Introducir la manguera de salida de gases en el envase del Bioaceite.

Prueba de fugas

Después de realizado el montaje del sistema se procede a dejar pasar por todo el sistema nitrógeno a presión de un bar, luego se pone un tapón a la salida de los gases, durante 15 minutos, tiempo en el cual en las uniones del sistema se aplica

una mezcla de agua-jabón, esto con el fin de saber en dónde se pueden presentar fugas, si en el manómetro no se presenta una caída de presión mayor al 10% se procede al inicio de la prueba, de lo contrario es necesario revisar todas las conexiones con el fin de saber dónde se encuentra la fuga.

INICIO DE LA PRUEBA

- Despresurizar el sistema quitando el tapón de la salida de los gases.
- Establecer el set point del horno a las condiciones de operación requeridas, así mismo establecer el set point de 15 °C.
- Comenzar a dar paso al refrigerante a través del condensador.
- Encender el horno.

DESMONTAJE

EL desmontaje del sistema se puede realizar cuando el horno indique una temperatura entre un rango de 60 °C a 80 °C, con el fin de evitar algún daño en el horno.

- Cerrar el flujo de nitrógeno.
- Retirar el envase donde se deposita el bioaceite y posteriormente se realiza el pesaje de este.
- Remover las mangueras que permiten el paso del refrigerante al condensador.
- Retirar el condensador junto con la manguera que da al envase para su pesaje ya que en estos elementos se queda un porcentaje de bioaceite y debe ser tenido en cuenta en el balance de masa.
- Retirar el manómetro.

- Desacoplar la unión T para su pesaje ya que también un porcentaje de bioaceite se queda entre la tubería y debe ser tenido en cuenta en el balance de masa.
- Desmontar la canastilla del reactor y vaciar el bio-carbón en papel aluminio para su posterior pesaje, como recomendación, dar pequeños golpes a la canastilla para asegurar que todo el bio-carbón sea vaciado en el papel aluminio.

LIMPIEZA

Para realizar la limpieza de los componentes, excepto la canastilla del reactor, se utilizó etanol industrial al 95% y el uso de una jeringa para una mejor limpieza dentro de los componentes, Se recomienda utilizar un tapabocas al momento de la limpieza debido a que el etanol industrial presenta un fuerte olor que puede producir mareo o dolor de cabeza en algunos casos.

Se llena la jeringa con el etanol industrial y se pasa a través de cada componente hasta que el etanol al salir del componente deje de presentar un color marrón, esto es indicativo de que el componente está limpio.

Posteriormente se procede a conectar todo el sistema de nuevo y se da el paso de nitrógeno para un mejor secado del etanol restante dentro de los componentes.

Anexo B. Costo por prueba

DURACION POR PRUEBA 5 HORAS(300 MIN)		FLUJO 150ML/MIN	costo del banco: 3590000
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO (\$)
GAS NITROGENO	45000 ml	0,02	900
HORNO	6.5 kw	596	3874
ALCOHOL	500 ml	8	4000
MANO DE OBRA	5 horas	3785	18925
DEPRECIACION DEL BANCO	2%	3590000	71800
		SUBTOTAL	99499
MANTENIMIENTO	10%	99499	9949
GANANCIA	50%	99499	49749
		SUBTOTAL	159197
IVA	19%	159197	30247
		Total	189444

Fuente: Elaboracion propia.

Anexo C Bitácora de pruebas

PRUEBA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE REACCIÓN (min)	TAMAÑO DE PARTICULA (mm)	FLUJO (ml/min)	RENDIMIENTO LÍQUIDO (%p)	RENDIMIENTO SÓLIDO (%p)	RENDIMIENTO GAS (%p)	CIERRE BALANCE DE MASA (%p)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
TIPO DE BIOMASA					PRESIÓN EN EL SISTEMA			

Fuente: Elaboracion propia.

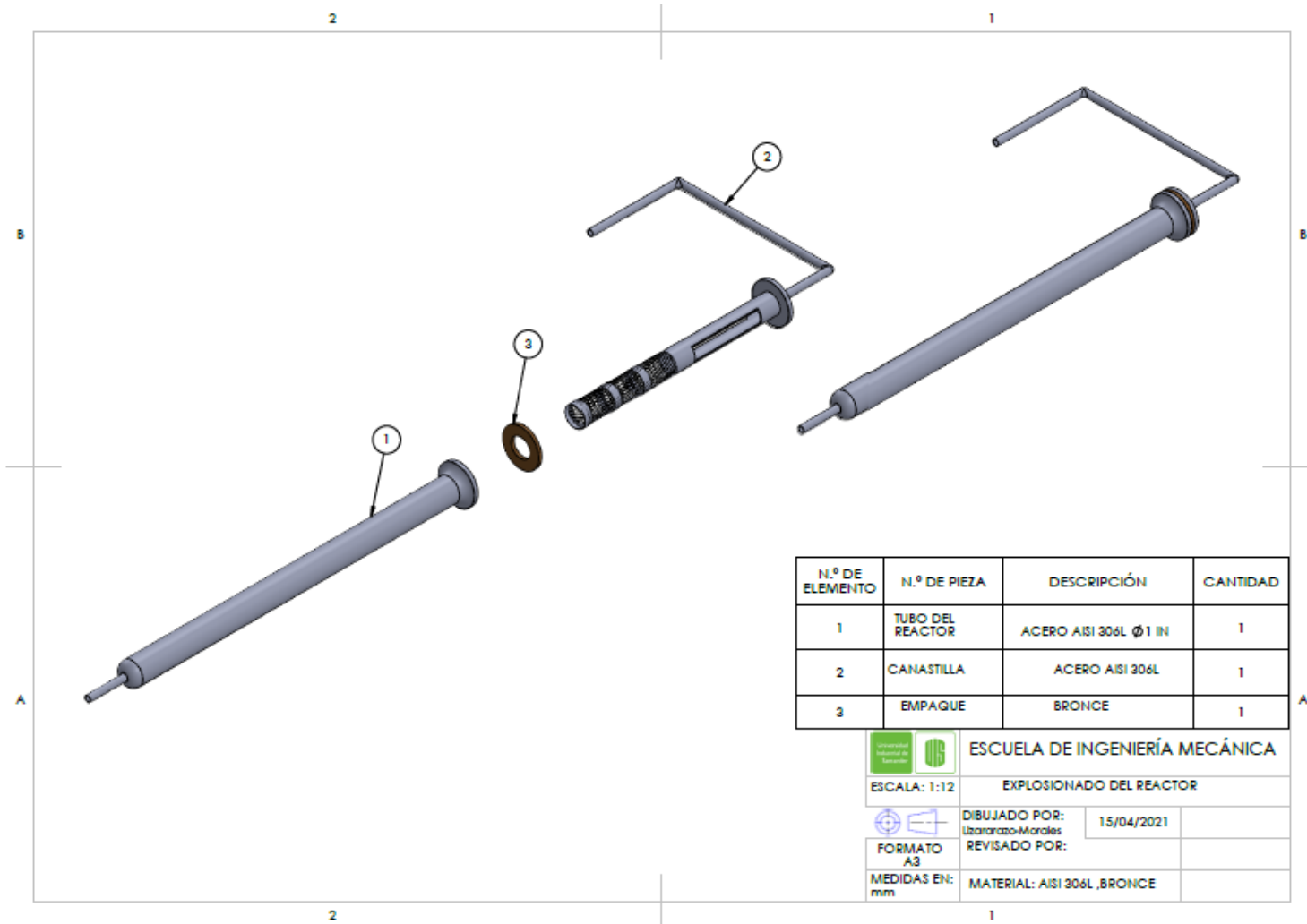
Anexo D Toma de temperaturas del horno

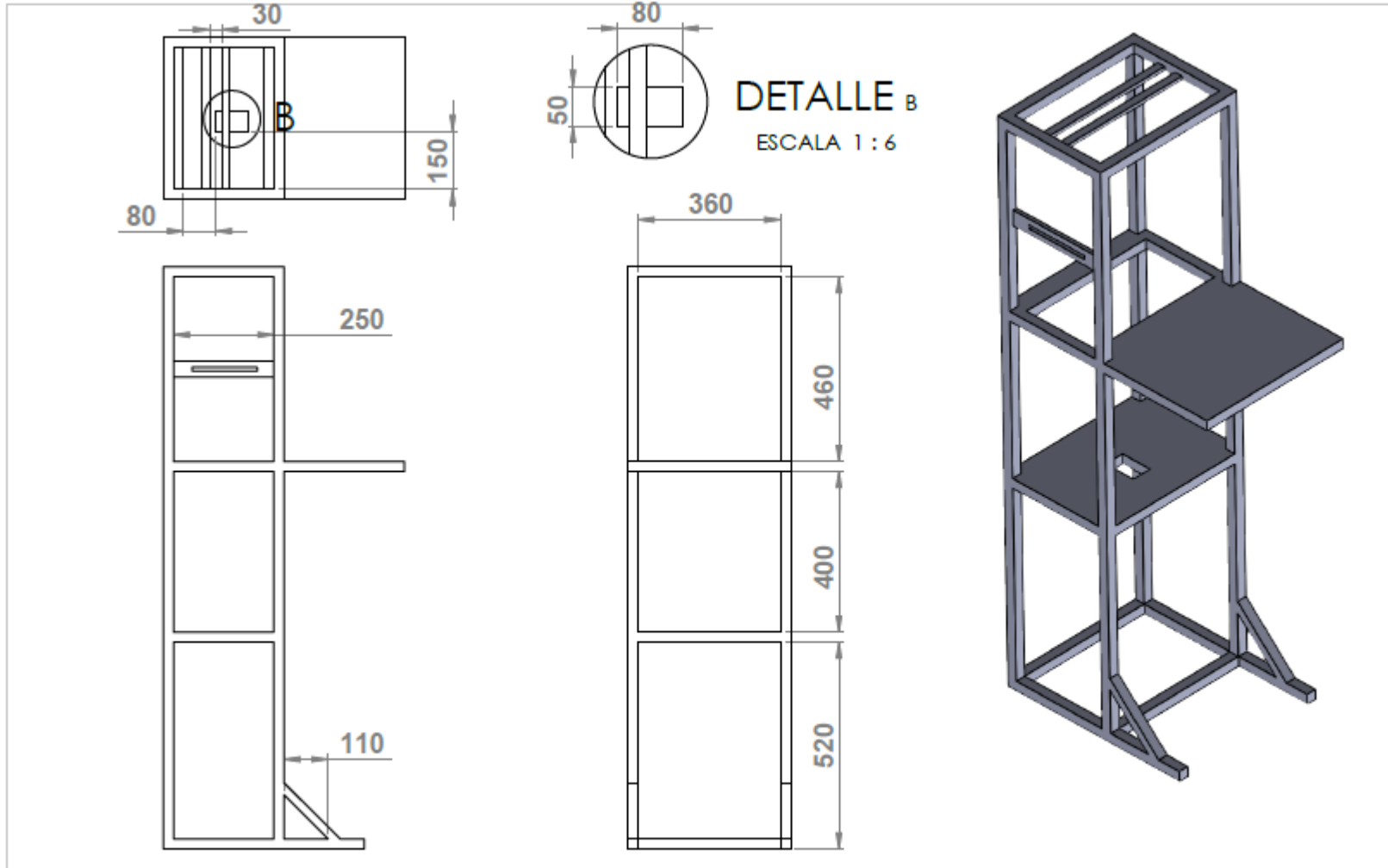
DATOS DEL PREFIL TÉRMICO.

300			400			500			600		
1	2	PROM	1	2	PROM	1	2	PROM	1	2	PROM
154.3	154.1	154.2	208.1	208.4	208.25	256.8	257	256.9	322.7	323	322.85
156.6	156.2	156.4	221.5	221.6	221.55	287.9	287.6	287.75	335	334.8	334.9
164.4	164.3	164.35	232	232.2	232.1	293.8	293.6	293.7	373.3	373.6	373.45
171.4	171.1	171.25	234.5	243.6	239.05	307.4	307.2	307.3	396.3	396.7	396.5
177.8	177.4	177.6	250.7	250.9	250.8	325.9	326.9	326.4	423.3	423.8	423.55
188	188.2	188.1	267.5	267.8	267.65	343	342.7	342.85	444.3	444.7	444.5
192.5	192.1	192.3	276.8	277	276.9	366.4	366.6	366.5	481.1	481.3	481.2
200.1	200	200.05	283.7	283.9	283.8	382.2	383	382.6	500.7	501	500.85
203.4	203.5	203.45	297	297.3	297.15	403.3	403.1	403.2	515	514.7	514.85
206.3	206.4	206.35	304.7	304.9	304.8	413.2	413.5	413.35	529.4	529.6	529.5
207.7	207.3	207.5	309.8	310	309.9	420.9	421.3	421.1	540.2	540.6	540.4
209.6	209.2	209.4	312.4	312.5	312.45	426.2	426.4	426.3	544.9	545.4	545.15
210	210.3	210.15	317.3	317.6	317.45	431	431.3	431.15	551.6	551.8	551.7
210.4	210.9	210.65	321	320.7	320.85	432.7	432.9	432.8	552	552.3	552.15
211.6	211.9	211.75	325.3	325.5	325.4	436.5	437	436.75	555	554.6	554.8
207.3	207.7	207.5	322.1	322.7	322.4	427.6	427.3	427.45	553	553.3	553.15
201.5	201.1	201.3	320.5	320.2	320.35	425.5	425	425.25	551	550.7	550.85
190.2	190.5	190.35	303.9	304.2	304.05	413.4	413	413.2	549	549.2	549.1
185.2	185.5	185.35	294.9	299.7	297.3	402.4	402.7	402.55	547.4	546.8	547.1
177.7	177.3	177.5	283.1	283.4	283.25	388.9	389.3	389.1	539.5	539.2	539.35
171.3	171.4	171.35	275	274.7	274.85	377	377.3	377.15	525.6	526	525.8
161.9	161.4	161.65	266.3	266.6	266.45	368.2	367.9	368.05	513	513.4	513.2
158.3	158.6	158.45	258.4	258.1	258.25	357	356.7	356.85	502	502.5	502.25
154.6	154.7	154.65	254.5	254.1	254.3	349.3	349	349.15	491.7	492	491.85
154	154.4	154.2	244.5	244.3	244.4	343.2	343.5	343.35	479.7	479.2	479.45
150.2	150.6	150.4	239.7	239.3	239.5	330	330.2	330.1	470.6	470.2	470.4
141.4	141.7	141.55	232.5	232.6	232.55	324.9	324.4	324.65	457.7	458	457.85
137.7	137.3	137.5	225.4	225.6	225.5	314.6	315	314.8	445.8	445.6	445.7
134.5	134.8	134.65	217.7	217.3	217.5	301	301.3	301.15	439	439.3	439.15
130.7	130.3	130.5	208.7	208.3	208.5	296	295.6	295.8	423.8	423.5	423.65
125.4	125.1	125.25	200.6	200.3	200.45	289.4	288.7	289.05	406.9	406.5	406.7
122.6	122.2	122.4	194.3	194.6	194.45	271.6	271.2	271.4	397.7	398.2	397.95
115.5	115.1	115.3	185.8	185.3	185.55	259.4	259	259.2	369.4	369.8	369.6
106.2	106.6	106.4	180	179.6	179.8	247	247.3	247.15	353.6	353.3	353.45
105.3	105.6	105.45	172	171.5	171.75	228.9	228.6	228.75	325.5	324	324.75
96.8	96.3	96.55	170.3	171.5	170.9	210.7	210.3	210.5	308	308.6	308.3
91.1	91.6	91.35	164.3	164.1	164.2	174.8	174.3	174.55	300	300.8	300.4
78.1	78.3	78.2	159.3	158.7	159	167.6	167.3	167.45	275	275.5	275.25
62.1	62.4	62.25	144.9	145.2	145.05	153.4	152.8	153.1	204	204.3	204.15
60	60.2	60.1	138.3	137.9	138.1	135.6	135.3	135.45	192	192.3	192.15

Fuente: Elaboracion propia.

Anexo E. Planos



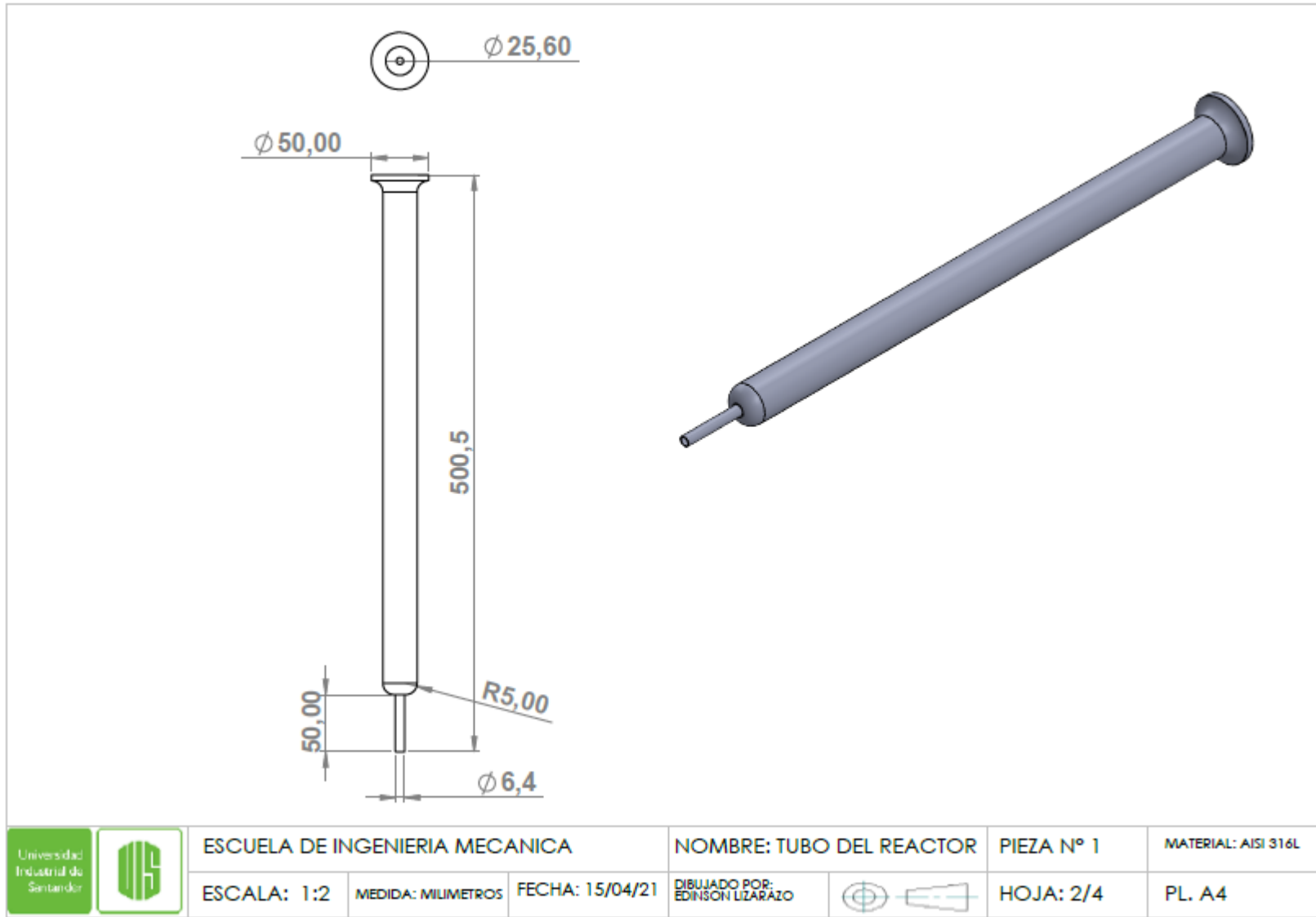


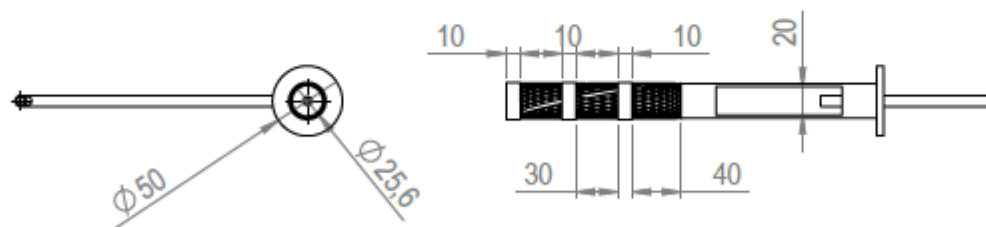
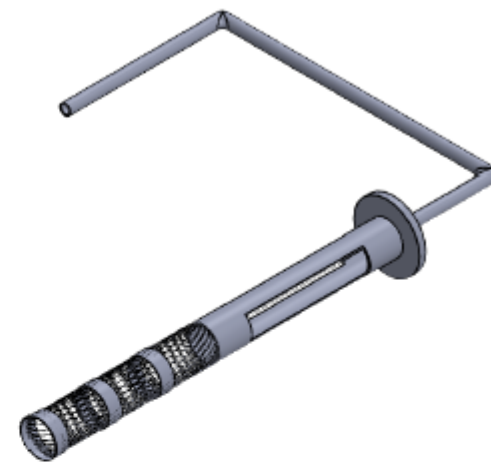
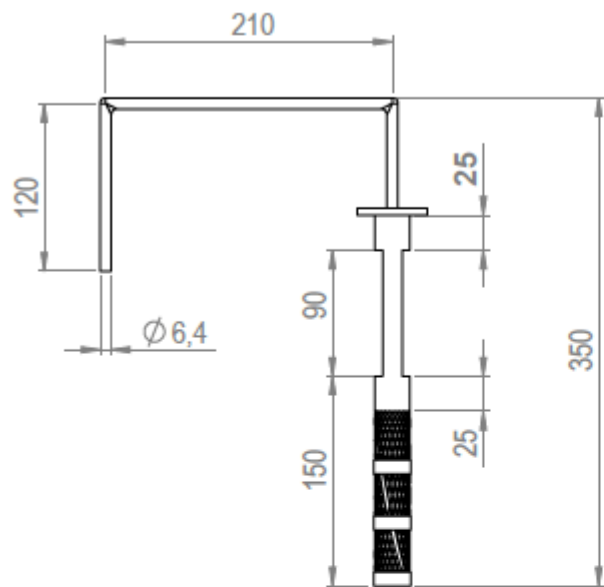
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		
ESCALA: 1:2	MEDIDAS: Milimetro	FECHA: 15/04/21




NOMBRE: SOPORTE	
DIBUJADO POR: EDINSON UZARAZO	

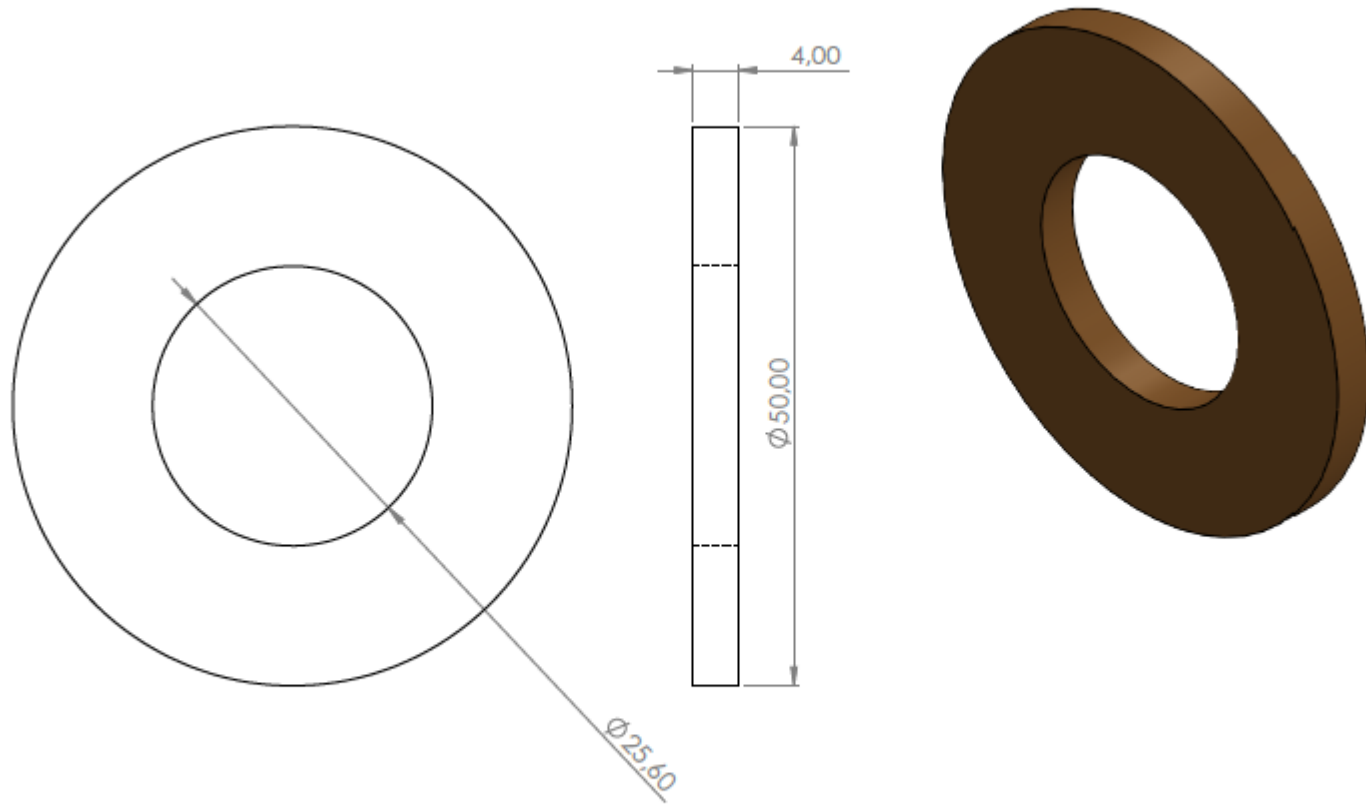
PIEZA Nº 1
HOJA: 1




MATERIAL: HIERRO
PL. A4





		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE: CANASTILLA		PIEZA N° 2	MATERIAL: AISI 316L
		ESCALA: 1:2	MEDIDAS: METROS	FECHA: 15/04/21	DIBUJADO POR: EDINSON UZARAZO		HOJA: 3/4



		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE: EMPAQUE		PIEZA N° 4	MATERIAL: BRONCE
		ESCALA: 1:2	MEDIDA: MILIMETROS	FECHA: 15/04/21	DIBUJADO POR: EDINSON UZARAZO		HOJA: 4/4