

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE COMBUSTIBLES SUSTITUTOS PARA LA CALDERA
ACUOTUBULAR UBICADA EN EL CEPIIS (CENTRO DE PROCESOS E
INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE) DE LA FUNDACIÓN
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

JUAN DIEGO NARVÁEZ ORTIZ

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
BOGOTÁ D.C**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. febrero de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario general

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Departamento de Ingeniería Energías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 Contexto histórico de las calderas generadoras	12
3.2 Calderas generadoras	13
3.3 Energía térmica: contexto histórico, consumo y desafíos	15
3.4 Normatividad para el control y uso de calderas generadoras	17
3.5 Calidad del aire	18
3.6 Combustibles utilizados en la caldera tipo pirotubular automática vertical de un paso ubicada en el CEPIIS	21
3.7 Funcionamiento caldera pirotubular CEPIIS	21
4. COMBUSTIBLES DIFERENTES AL DIÉSEL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIRO TUBULAR	24
4.1 Combustible derivado de neumáticos (TDF o tire derived fuel)	24
4.2 Proceso de pirólisis lenta para la obtención de aceite pirolítico	26
4.3 Proceso de destilación del aceite pirolítico para la obtención del TDF	28
4.4 Destilación simple	29
5. COMBUSTIBLE DERIVADO DE PLANTA INVASORA	34
5.1 Jacinto de agua/Buchón de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	34
5.2 Proceso de fermentación del jacinto de agua	40

6. MARCO CONCEPTUAL	48
6.1 Combustibles fósiles	48
6.2 Diésel	48
6.3 Destilación simple	48
6.4 Destilación fraccionada	48
6.5 Volatilidad	48
6.6 Gas propano	49
6.7 Tire derived fuel (TDF)	49
6.8 Bioetanol	49
6.9 Pirólisis lenta	49
6.10 Caldera pirotubular	49
6.11 Energía térmica	50
6.12 Eficiencia	50
6.13 Jacinto de agua	50
6.14 Fermentación	50
6.15 Viscosidad	50
6.16 Densidad	50
6.17 Quemador	50
7. METODOLOGÍA	51
8. CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	56
ANEXOS	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Tipos de calderas</i>	14
Figura 2 <i>Comparativa de consumo de energía en Colombia entre 1973 y 2018</i>	16
Figura 3 <i>Contaminación en el aire</i>	17
Figura 4 <i>Mapa de calidad de aire en Bogotá en la localidad de La Candelaria</i>	19
Figura 5 <i>Caldera pirotubular</i>	22
Figura 6 <i>Representación de la pirólisis</i>	27
Figura 7 <i>Proceso de destilación</i>	29
Figura 8 <i>Destilación laboratorio de química U. América</i>	30
Figura 9 <i>Extracción de combustible por medio de la destilación</i>	31
Figura 10 <i>Muestras obtenidas de la destilación</i>	31
Figura 11 <i>Muestras obtenidas de la destilación</i>	32
Figura 12 <i>Jacinto de agua o buchón de agua</i>	34
Figura 13 <i>Buchón de agua lago Victoria, África</i>	35
Figura 14 <i>Jacinto de agua trabajado en el laboratorio</i>	36
Figura 15 <i>Medición y separación de tallos y hojas</i>	37
Figura 16 <i>Tallos del Jacinto de agua picados</i>	38
Figura 17 <i>Mezcla del Jacinto de agua y agua desionizada</i>	38
Figura 18 <i>Almacenamiento de mezcla</i>	39
Figura 19 <i>Mezcla de cáscara de piña con jacinto de agua y agua desionizada</i>	40
Figura 20 <i>Separación del líquido mediante una malla</i>	42
Figura 21 <i>Medición constante de temperatura entre 78°C y 85°C</i>	43
Figura 22 <i>Destilación</i>	44
Figura 23 <i>Primera gota de etanol extraída del jacinto de agua</i>	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Índices de la calidad del aire</i>	20
Tabla 2 <i>Límites máximos de operación de la caldera</i>	23
Tabla 3 <i>Tablas de reactivos</i>	46
Tabla 4 <i>Tabla comparativa</i>	53

RESUMEN

Una caldera pirotubular es un tipo de caldera utilizada para generar grandes cantidades de vapor mediante la transferencia de calor desde el proceso de combustión a través de tubos inmersos en agua. Su diseño se caracteriza por tener tubos de fuego (tubos de humo donde pasa el gas de la combustión) dispuestos dentro de la cámara de combustión. Este tipo de calderas pueden utilizar diferentes tipos de combustible como gas natural, gasóleo, biomasa, carbón, entre otros. En el caso de la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS (Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible) utiliza el Diésel, siendo este el más común en este tipo de maquinaria, pero que también es uno de los que más contaminación genera por lo que es necesario buscar nuevas opciones de combustibles líquidos que puedan sustituir o mezclarse de manera eficaz al Diésel sin afectar de manera directa al funcionamiento de la caldera y de esta manera reducir la contaminación generada por la máquina.

Palabras clave

Caldera pirotubular, Combustibles, Contaminación, Energías limpias, medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del presente proyecto se realizará un estudio con el fin de encontrar los posibles combustibles líquidos usados para sustitución o mezcla con el diésel, para la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS (Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible) de la Fundación Universidad de América. Además, se realizará una descripción y caracterización del funcionamiento y eficiencia de la caldera para su respectiva sustitución.

Con base en lo anterior, se estudiará el funcionamiento y manejo de las calderas, y sus mecanismos, haciendo énfasis en las calderas pirotubulares, así como los combustibles que permiten su funcionamiento, realizando un análisis de aquellos cuyas propiedades reducen el impacto ambiental generado por la caldera, esto con el fin de encontrar una mezcla o un combustible sustituto al diésel que sea capaz de optimizar su funcionamiento.

A partir del análisis previamente mencionado, se logrará demostrar cómo la implementación de tecnologías limpias, como la obtención de combustibles líquidos sustitutos al diésel a partir de fuentes distintas a los hidrocarburos, puede favorecer a la reducción del impacto ambiental comúnmente generado por la puesta en funcionamiento de la caldera pirotubular.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Validar los posibles combustibles líquidos sustitutos, o mezclas que permitan un adecuado funcionamiento de la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS (Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible) de la Fundación Universidad de América.

2.2 Objetivos específicos

- Describir y caracterizar el funcionamiento y eficiencia de la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS.
- Recolectar la información de los posibles combustibles líquidos sustitutos o mezclas que puedan ser utilizados en la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS.
- Realizar un análisis de las características del combustible en funcionamiento y sus posibles sustitutos o mezclas en la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS.
- Presentar una conclusión en la que se realice una individualización del combustible sustituto, o mezclas más idóneas para la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS, a partir de su capacidad de mantener o mejorar su funcionamiento y reducir el impacto ambiental derivado de su utilización, y, de igual forma, se propongan recomendaciones para el manejo adecuado del combustible sustituto o mezclas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Contexto histórico de las calderas generadoras

Las calderas generadoras de vapor fueron creadas a finales de 1700 y comienzos de 1800, con el desarrollo de la caldera tipo tetra, cuya función es la de hervir agua y producir vapor, pero no fue hasta 1867, con el desarrollo de la caldera de convección, que comenzó la industria de generación de vapor.[1]

Los creadores de la caldera generadora de vapor, George Babcock y Steven Wilcox, fueron los primeros en patentar el diseño en el que se usaban tubos dentro de una estructura donde sus paredes eran de ladrillo refractario para la generación de vapor en 1867, lo que conllevó a la creación de la empresa Babcock & Wilcox Company en la ciudad de Nueva York en 1891. En aquella época las calderas eran pequeñas, su combustible era el carbón en trozos, se encendían a mano y funcionaban con una tasa de entrada de calor muy baja. No obstante, sin importar su tamaño, las paredes de ladrillo refractario que formaban el interior del mecanismo eran indispensables, pues contribuían al proceso de combustión e irradiación de calor de nuevo hacia el área de la caldera.

En 1891 la compañía Stirling Boiler Company incursionó en la industria de las calderas, al punto de desarrollar su octavo diseño de caldera Stirling, denominado “tipo H” debido a la octava letra del alfabeto. Dicha caldera era más grande en comparación con la caldera de los inventores Babcock & Wilcox y usaba tres tambores para que su flujo de agua y vapor pudiera circular por toda la caldera.

En 1907, Stirling Boiler Company se hizo socio de Babcock & Wilcox Company, por lo que decidieron cambiar el nombre de la caldera “tipo H” a “Stirling tipo H”, la cual fue la más solicitada y vendida en aquella época por su capacidad de producción de hasta 50,000 libras de vapor por hora.

No obstante, esta sociedad no fue la única que decidió incursionar en el mercado de la fabricación de calderas. A finales del siglo XIX, Grieve Grate Company y American Stoker Company decidieron iniciar a fabricar calderas con un diseño muy similar al de paredes de ladrillo refractario; la diferencia radicaba en que ambas compañías utilizaron una rejilla móvil o de tipo tornillo en la parte inferior de la caldera para poder facilitar el transporte

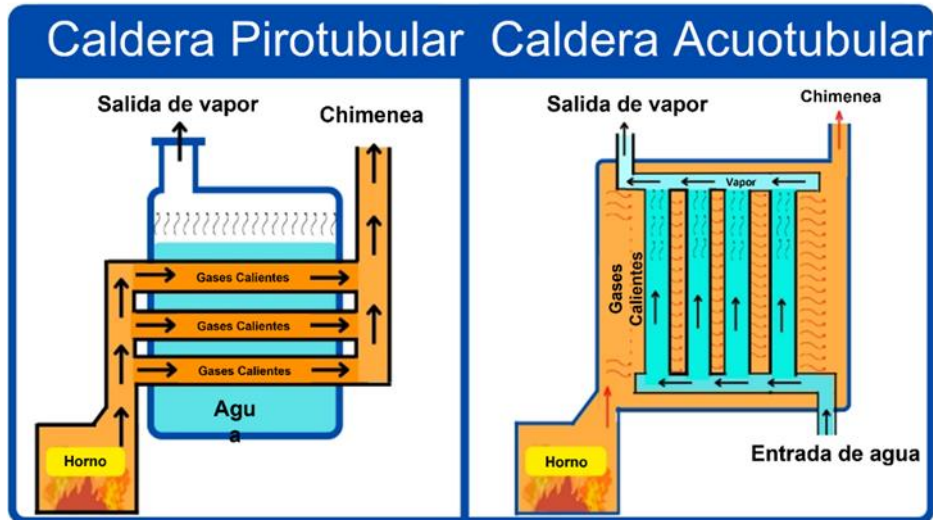
del combustible (carbón en trozos) por el interior de la caldera, logrando con ello que el combustible, en la medida en que se movía por el interior de la máquina, hacía combustión y la ceniza o el combustible sin quemar caía en una tolva. Tiempo después, estas dos empresas se unieron y crearon Combustion Engineering Company en 1912. La nueva Combustion Engineering Company ofreció su versión de las calderas Grieve y American Stoker y la llamó “Caldera Stoker Tipo E”. [4]

3.2 Calderas generadoras

Conceptualmente, una caldera se puede definir como una máquina cuya principal función consiste en la generación de vapor a partir de un proceso de transferencia de calor constante, en donde el agua en su estado líquido al calentarse se convierte en vapor. Existen dos tipos de calderas: (i) acuotubulares que son aquellas en las que el agua circula por el interior de los tubos y los humos de combustión por el exterior de estos y (ii) las pirotubulares que son aquellas en las que los humos de combustión circulan por el interior de los tubos y el agua por el exterior [2], como se evidencia a continuación en la figura 1:

Figura 1

Tipos de calderas



Nota. La figura representa los dos tipos de caldera. Tomado de: V. Industrial. "Calderas pirotubulares y acuotubulares | VYC Industrial". VYC Industrial. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: [Acceso: ago.10/2023]

Las máquinas se componen de tubos que al exponerse a altas temperaturas permiten que el agua en su estado líquido cambie su fase, convirtiéndose en vapor que después es aprovechado y utilizado como energía térmica. Alrededor de dichos tubos, cubriendo en su totalidad las paredes de la cámara de combustión, se colocan materiales como ladrillo, refractario, aislamiento y/o revestimiento, que le permiten adquirir una resistencia al calor adecuada para su proceso. La cantidad y el tamaño de los tubos, el tipo de combustible y las dimensiones físicas generales de la caldera varían según su diseño y la industria a la que está destinada.

Adicionalmente, la caldera además de contar con los tubos que se encargan del transporte del agua y vapor, se compone de otros elementos que hacen parte fundamental del trabajo realizado por dicha máquina, permitiéndole cumplir los requisitos de vapor y calor diseñados. De igual forma, se aprecian los sopladores de hollín, que son los encargados de mantener la unidad libre de cenizas y/o polvo cuando se inyecta vapor de agua o aire al mecanismo; los quemadores, encargados de la quema del combustible

utilizado (petróleo, gasolina, diésel, carbón, biomasa, gas, entre otros); los economizadores, que se encargan de la recuperación del calor del gas de salida; y precalentamiento de agua utilizada para la producción de vapor, todos estos le permiten a la máquina generadora de vapor desarrollar eficientemente su capacidad energética y térmica. [3]

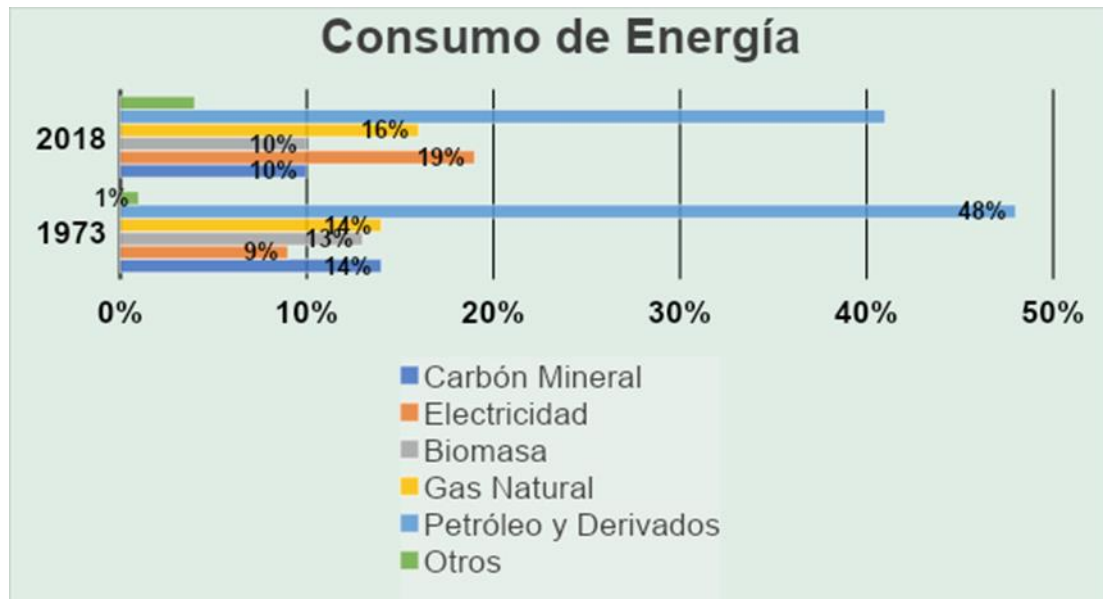
3.3 Energía térmica: contexto histórico, consumo y desafíos

La energía térmica es una de las más antiguas e importantes en la historia de la humanidad, ya que su génesis se remonta a la invención de las primeras herramientas, hace casi 3 millones de años, hasta el descubrimiento de los metales, hacia el 4000 a. C, donde se crea a partir del funcionamiento de máquinas de vapor cuyo objetivo principal fue la generación de vapor mediante un proceso de evaporación del agua para diferentes aplicaciones y usos como la generación de electricidad. En la medida en que su utilidad fue expandiéndose, se encontraron nuevos usos como la esterilización de los instrumentos en el área de la salud por medio de autoclaves o el calentamiento de fluidos como petróleos pesados con la finalidad de obtener una mayor fluidez en su paso por tuberías, permitiendo con esto que la energía térmica sea una de las más utilizadas en la actualidad.

Según estudios realizados por la Organización Latinoamericana de Energía[5], se estima que la energía térmica en el año 2018 tuvo un consumo final de energía de aproximadamente 9,938 millones de toneladas equivalentes de petróleo, teniendo como principales consumidores a los países que conforman la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y China, quienes representan alrededor del 59% del consumo mundial en contraste con América Latina y el Caribe que tienen una representación de solamente un 4.6%. [5]

Figura 2

Comparativa de consumo de energía en Colombia entre 1973 y 2018



Nota. Comparativa de consumo de energía en Colombia. Tomado de: Organización Latinoamericana de Energía. OLADE. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://shorturl.at/fivwz> [Acceso: ago 20, 2023]

Ahora bien, es preciso anotar que en lo que respecta a la capacidad de las calderas de realizar un adecuado calentamiento de fluidos y con ello lograr la generación de energía, es evidente la respectiva necesidad de contar con combustibles de alto poder calorífico que garanticen el funcionamiento adecuado de la máquina. No obstante, generalmente cuando se emplean este tipo de combustibles, se genera como consecuencia una emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo cual representa uno de los desafíos principales en el desarrollo del proyecto en cuestión. Al respecto, es pertinente evidenciar las consecuencias derivadas de la liberación de este tipo de gases en la atmósfera, pues según un estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) se evidenció que para el año 2015, en vista de la pésima calidad del aire, se generaron alrededor de 8,100 muertes en el territorio colombiano, lo cual conllevó a un gasto asociado a dichas muertes de alrededor de 12 billones de pesos, cifra que representó el 1.5% del PIB del país [6]. La figura 3, ilustra el proceso a través del cual se liberan las inmisiones en el ambiente:

Figura 3

Contaminación en el aire



Nota. La figura representa cómo se genera la contaminación en el aire. Tomado de: SIAC. "Aire - IDEAM". IDEAM - IDEAM. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/aire> [Acceso: nov 21,2023]

3.4 Normatividad para el control y uso de calderas generadoras

Para efectos de continuar con la caracterización de las calderas generadoras, resulta de gran importancia presentar el contexto normativo que se encarga de regular y controlar su funcionamiento en el territorio colombiano. Al respecto, el decreto 1076 de 2015, en el título 5 [7], se encarga de regular lo relacionado con el reglamento de protección y control de la calidad del aire, desarrollando conceptos de gran relevancia en el marco del funcionamiento de máquinas como las calderas, entre ellos, el de contaminación atmosférica, entendido como el cúmulo y/o acumulación de elementos nocivos para la salud que se pueden encontrar en diferentes estados (sólido, líquido o gas), culpables de impacto desfavorable al medio ambiente. Así mismo, en dicho cuerpo normativo se presentan algunas restricciones en cuanto al uso de combustibles contaminantes, la prohibición de uso de crudos pesados, entre otras disposiciones tendientes a reducir el impacto ambiental generado por la utilización de máquinas como las calderas en el territorio colombiano.

Continuando con la normatividad disponible y vigente, se encuentra el Decreto 948 de 1995. En aquella disposición, en el capítulo 2, artículo 19 [12], se establece que el uso de combustibles donde se tengan contaminantes mayores a los establecidos en los estándares no podrán ser usados en calderas y hornos, ya sean de uso comercial o industrial, al igual que la generación de energía en vehículos de combustión interna o termoeléctricas, por lo que se pretende evaluar las diferentes opciones disponibles para la sustitución del combustible empleado en esta caldera, para darle un uso adecuado disminuyendo el impacto ambiental sin que se vea afectada la eficiencia, durabilidad y trabajo requerido. [12]

Ante este limitado panorama legal, se puede concluir que el Gobierno Nacional, liderado por el presidente de la República, tiene la obligación de poner en marcha todas y cada una de las medidas que estime necesarias y que cuenten con un respaldo normativo en virtud de lo establecido en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política para efectos de regular en una mayor medida lo relacionado con el sector ambiente. [8]

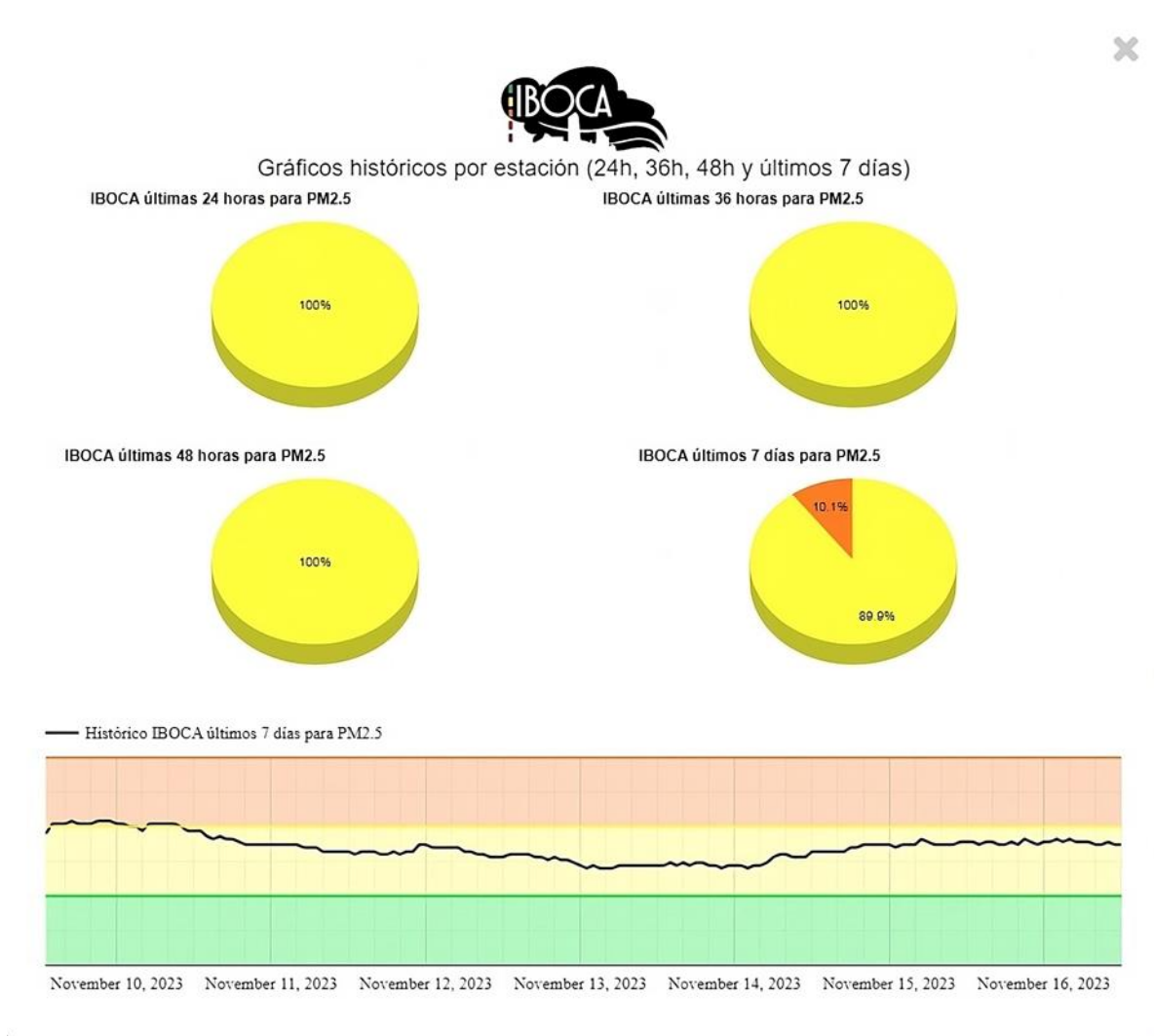
3.5 Calidad del aire

Ahora bien, en lo que se refiere al espacio atmosférico que se pretende intervenir con el presente proyecto, resulta de gran relevancia presentar un diagnóstico de la calidad del aire de la localidad de la Candelaria al ser allí donde se encuentra ubicada la Fundación Universidad de América, y de igual manera, la caldera tipo pirotubular ubicada en el CEPIIS.

Al respecto, se realizó un estudio de la calidad del aire teniendo como referencia los días 10 de noviembre al 16 de noviembre del 2023, a partir del cual se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la figura 4 [10]:

Figura 4

Mapa de calidad de aire en Bogotá en la localidad de La Candelaria



Nota. Representación del índice de la calidad del aire en Bogotá, exactamente en la localidad de Candelaria. Tomado de: índice Bogotano de Calidad de Aire. “Mapa de calidad del aire de Bogotá”. Secretaría Distrital de Ambiente. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://iboca.ambien.tebogota.gov.co/mapa/>

En dicha oportunidad, se evidenció que el Índice de Calidad del Aire (ICA) es Moderada teniendo una calificación de 51-100 [11], por lo que personas que cuenten con padecimientos pulmonares deben guardar reposo y limitarse a tener esfuerzos físicos excesivos en dicha localidad, al igual que no estar al aire libre por tiempos prolongados como se explica en la Tabla 1:

Tabla 1

Índices de la calidad del aire

Atributos del IBOCA				(5) Intervalos de concentración para cada contaminante y tiempo de exposición del IBOCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁽³⁾					
(1) Intervalos de valores adimensionales ⁽¹⁾	(2) Color	(3) Estado de calidad del aire	(4) Estado de actuación y respuesta	PM 10 (24h)	PM 2.5 (24h)	CO (8h)	SO2 (1h)	NO2 (1h)	O3 (8h)
0 - 50	Verde	Favorable	Prevención	0-54	0-12	0-5094	0-92	0-100	0-106
51 - 100	Amarillo	Moderada	Prevención ⁽²⁾	55-154	12.1-35.4	5095-10818	93-197	101-188	107-137
101 - 150	Naranja	Regular	Alerta Fase 1	155-254	35.5-55.4	10819-14253	198-485	189-677	138-167
151 - 200	Rojo	Mala	Alerta Fase 2	255-354	55.5-150.4	14254-17688	486-796	678-1220	168-206
201 -300	Morado	Peligrosa	Emergencia ⁽³⁾	355-604	150.5-250.4	17689-34861	797-1582	1221-2349	207-392
301 -500				425-604	250.5-500.4	34862-57703	1583-2681	2350-3853	-----

Nota. Esta tabla muestra cómo se clasifican los intervalos de concentración de los contaminantes en el aire. Tomado de: IBOCA. “¿Qué es el IBOCA?” Secretaría Distrital de Ambiente. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://iboca.ambientebogota.gov.co/publicaciones/175/que-es-el-iboca/> [Acceso: sep 04/2023].

Como bien se menciona anteriormente, en el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), se encuentra situada una caldera tipo piro-tubular automática vertical de un paso a partir de la cual se basa el presente proyecto, cuyos componentes y características resultan importantes para efectos de estudiar la viabilidad de sustituir el combustible utilizado para su funcionamiento, sin que ello implique un menoscabo en su eficiencia y, de igual forma, que permita minimizar el impacto ambiental que genera hoy en día.

La caldera tipo piro-tubular ubicada en el CEPIIS cuenta con un quemador dual de diésel y gas propano, cuyas características en su calidad de combustibles para la máquina objeto de estudio son:

3.6 Combustibles utilizados en la caldera tipo pirotubular automática vertical de un paso ubicada en el CEPIIS

En primer lugar, es preciso mencionar que en la actualidad uno de los combustibles utilizados para el funcionamiento adecuado de la caldera tipo pirotubular automática vertical de un paso ubicada en el CEPIIS es el combustible diésel el cual se crea a partir del petróleo crudo. Para su obtención, se debe ejecutar un proceso de refinación del petróleo crudo, cuya apariencia es viscosa, oscura y espesa, para así obtener combustible diésel, el cual es mucho más liviano [13].

Por su parte, en lo que respecta a las propiedades del combustible diésel, se tiene que su poder calorífico es de aproximadamente 45,5 MJ/kg, ligeramente inferior al de la gasolina, que es de 45,8 MJ/kg. Sin embargo, el combustible diésel es más denso que la gasolina y contiene alrededor de un 15% más de energía en volumen (aproximadamente 36,9 MJ/litro frente a 33,7 MJ/litro). Teniendo en cuenta la diferencia en la densidad energética, la eficiencia global del diésel sigue siendo aproximadamente un 20% mayor que la gasolina, a pesar de que el diésel es más pesado. [14]

Por otro lado, el gas propano como segundo combustible utilizado para el correcto funcionamiento de la caldera, cuenta con un proceso de obtención que comienza con la perforación de pozos petroleros para extraer una mezcla de hidrocarburos de petróleo y gas a una trampa de gas. A partir de allí, se separa la corriente en gas húmedo, que contiene gases licuados de petróleo, gasolina y gas natural, y petróleo crudo que al ser tan pesado se sitúa en el fondo de la trampa. Luego, el gas húmedo pasa a un tanque de almacenamiento para su posterior refinación. Mediante una serie de procesos químicos, se puede extraer una cantidad pequeña pero útil de propano del petróleo crudo. Puede utilizarse para producir etileno o como combustible para refinerías y así se puede obtener dicho gas con un poder calorífico de 46.4 MJ/kg. [15]

3.7 Funcionamiento caldera pirotubular CEPIIS

Ahora bien, en lo que se refiere al funcionamiento de la caldera pirotubular (Figura 5), es dable señalar que esta máquina cuenta con una capacidad de aproximadamente 20 caballos de fuerza de caldera (BHP), al igual que cuenta con instrumentación Honeywell y McDonnell & Miller, marca Tecnik, y es capaz de generar vapor a 100°C de 690

libras/hora, con un consumo de diésel de 6GPH y de gas 20 m³/h, en donde se tiene una presión de diseño de 10.34bar y de operación de 8.62bar. Su eficiencia está entre 81-82%, con sistema de refrigeración por agua y un quemador dual tiro forzado on-off. En la tabla 2 se muestran las variables de la caldera con su información correspondiente.

Figura 5

Caldera pirotubular



Nota. Caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS de la Universidad de América.

Tabla 2*Límites máximos de operación de la caldera*

VARIABLE	LÍMITE MÁXIMO DE OPERACIÓN
Presión de prueba hidrostática	281.25 bar
Dureza del agua	700 ppm
pH	10.5-11.5
Sólidos disueltos acumulados	3500 ppm
Ruido	80 dB
Temperatura de salida de gases	250°C
Temperatura de agua de alimentación	95°C
Purgas diarias	2
Temperatura de calentamiento de la caldera	193,5°C

Nota. Esta tabla muestra con qué variables opera la caldera ubicada en el CEPIIS de la Universidad de América. Tomado de: J.C. García, “propuesta de desarrollo de un manual de operación para el centro de servicios industriales del centro de procesos e innovación para la industria sostenible de la universidad de américa”, Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2022.

4. COMBUSTIBLES DIFERENTES AL DIÉSEL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIRO TUBULAR

Teniendo en cuenta las variables de la caldera del CEPIIS, se hallaron diferentes combustibles líquidos para sustitución o mezcla con el diésel, permitiendo un mejor rendimiento de la máquina y una menor contaminación.

En vista de ello, se consideraron diferentes muestras, las cuales se explican a continuación:

4.1 Combustible derivado de neumáticos (TDF o tire derived fuel)

La crisis energética y la degradación ambiental son los principales desafíos en la actualidad, consecuencia del aumento de la población y la industrialización rápida. Los neumáticos usados son uno de los tipos de desechos más comunes y significativos en todo el mundo, y su producción sigue en aumento debido al crecimiento del parque automotor en países desarrollados y en países en vías de desarrollo. Sin embargo, la degradación natural de los neumáticos usados en el entorno natural es un proceso que puede llevar muchos años, y los métodos tradicionales de eliminación, como el vertedero, la reutilización y la incineración, pueden generar graves riesgos, especialmente para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es imperativo gestionar adecuadamente los neumáticos usados sin causar un impacto ambiental tan significativo. [15]

El combustible derivado de neumáticos (TDF) fue el primer mercado para neumáticos de desecho. Desde 1979 hasta 1992, el TDF fue el principal mercado de neumáticos. A partir de 1992, los neumáticos desechados se utilizaron como materia prima para el caucho molido y los neumáticos procesados se utilizaron en aplicaciones de ingeniería civil. Con base en más de 15 años de experiencia y más de 80 instalaciones individuales, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) reconoce que el uso de combustibles derivados de neumáticos es una alternativa viable al uso de combustibles fósiles para evitar que los neumáticos se almacenen o se eliminen en vertederos y que es necesario contar con mercados diversos para manejar los aproximadamente 290 millones de neumáticos de desecho que se generan anualmente. [16]

En 1990, se utilizaron en TDF 25 millones de neumáticos (lo que representa aproximadamente el 11% del número total de neumáticos de desecho generados). Esto representó el 98% del mercado de neumáticos de desecho. [17]

Desde 1992, el número de neumáticos utilizados como TDF ha aumentado, pero el porcentaje del número total de neumáticos o de materia prima destinada para la obtención de TDF ha disminuido. [17]

En 2003, se utilizaron 127 millones de neumáticos como TDF, pero representaron sólo el 44% de los neumáticos de desecho que se destinaron al mercado desde que se desarrollaron otros mercados. [18]

Existen varios beneficios al utilizar neumáticos como combustible:

- El uso de combustible derivado de neumáticos (TDF) reduce la cantidad de combustibles fósiles que de otro modo se consumirían.
- Los neumáticos producen la misma cantidad de energía que el petróleo y un 25% más de energía que el carbón.
- Los residuos de cenizas del TDF pueden tener menos metales pesados que algunos carbones.
- El desvío de llantas de los vertederos reserva la capacidad de los vertederos para otros desechos municipales y ayuda a prevenir la acumulación de llantas de desecho. Las pilas de llantas de desecho plantean riesgos porque proporcionan un hábitat para vectores de enfermedades (como mosquitos y roedores) y porque pueden incendiarse, creando grandes cantidades de humo tóxico y líquidos peligrosos que pueden contaminar el aire, el agua y el suelo.
- Algunas agencias estatales sugieren que los hornos de cemento agreguen TDF a su combustible de carbón para disminuir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).
- El TDF ofrece la ventaja potencial de disminuir las emisiones de óxidos de azufre (SOx) cuando se utiliza para reemplazar el carbón con alto contenido de azufre en aplicaciones de hornos de cemento.

- En las aplicaciones de hornos de cemento, las cenizas resultantes de la combustión del TDF y del carbón, se convierten en un componente integral del producto, eliminando el vertido de cenizas en los vertederos.

La creciente demanda constante de combustible sigue acelerando el fin de recursos no renovables como el petróleo crudo y el carbón. El empleo de estos combustibles fósiles en la generación de electricidad y energía, contribuye significativamente a una gran huella de carbono global en comparación con fuentes de energía más limpias y renovables, como el biogás, el gas natural y el biodiesel. A nivel mundial, se investigan opciones de energía renovable y proyectos de conversión de residuos en energía, sin embargo, la mayoría de estos esfuerzos resultan ineficaces y dañinos para el medio ambiente.

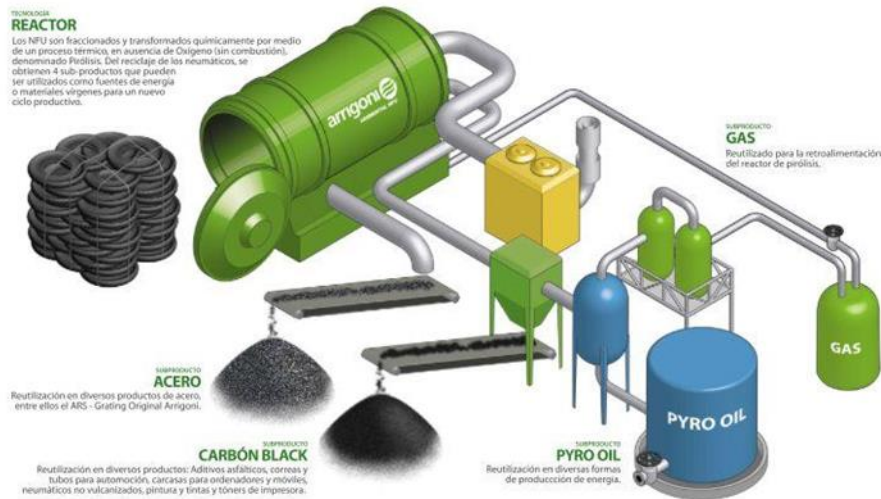
Esta situación ejerce una presión considerable sobre los países en desarrollo para encontrar formas rentables de utilizar combustibles alternativos sostenibles y reducir su dependencia de los combustibles fósiles. La creación de soluciones económicas y sostenibles para obtener combustibles a partir de desechos o fuentes renovables con el fin de complementar los combustibles tradicionales sigue siendo un desafío. Uno de los enfoques consiste en producir combustibles alternativos de bajo costo mediante la pirólisis lento de neumáticos y productos de caucho, para luego mezclarlos con combustibles comerciales disponibles. [19]

4.2 Proceso de pirólisis lenta para la obtención de aceite pirolítico

La pirólisis lenta de neumáticos de desecho (Figura 6), ha recibido una atención cada vez mayor debido a las altas densidades de energía de los productos líquidos pirolíticos. El aceite pirolítico recuperado, entendido como una mezcla de parafinas, olefinas y compuestos aromáticos, es un líquido de color marrón oscuro, que suele tener una gravedad específica de entre 0,90 y 98 kg/l, un contenido de azufre de entre 1 y 1,5%, viscosidad de 6,6 mm²/s a 40°C, cuyo poder calorífico del aceite pirolítico para neumáticos es de 41 a 44 MJ/kg, que es similar al del diésel y la gasolina. [20]

Figura 6

Representación de la pirólisis



Nota. Representación de la pirólisis. Tomado de: País Circular. “Pirólisis, una alternativa para el reciclaje de neumáticos en el marco de la Ley REP - País Circular”. País Circular. Accedido el 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.paiscircular.cl/empresa-e-innovacion/pirolisis-una-alternativa-para-el-reciclaje-de-neumaticos-en-el-marco-de-la-ley-rep/>

El aceite pirolítico es una fuente para la producción de productos bioquímicos, compuestos renovables, el cual requiere tratamiento para así garantizar la estabilidad y compatibilidad con los combustibles líquidos existentes a base del petróleo, como en este caso, el diésel. [21]

Debido a que el aceite de pirólisis se compone de los neumáticos desechados, generalmente no es estable en el tiempo. Aunque algunos bioaceites se han almacenado con éxito durante varios años en condiciones normales, cambian lentamente con el tiempo, especialmente con un aumento gradual de la viscosidad. El envejecimiento se debe a reacciones de condensación de los ingredientes activos, que también pueden provocar una separación de fases del aceite. Además, el líquido de pirólisis no puede evaporarse completamente cuando se recupera de los gases residuales de la pirólisis. Si el líquido se calienta a 100°C o más, reaccionará rápidamente y eventualmente

producirá un residuo sólido que es aproximadamente el 50% del peso del líquido original y algunos destilados que contienen compuestos orgánicos volátiles y agua. [22]

4.3 Proceso de destilación del aceite pirolítico para la obtención del TDF

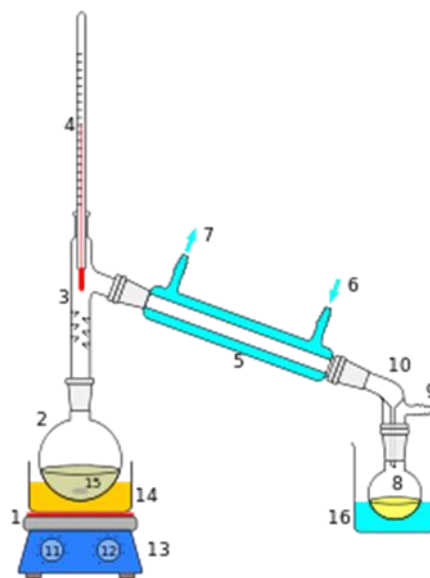
Una vez obtenido el aceite pirolítico, se da inicio al proceso de destilación de aquella sustancia con la finalidad de obtener el TDF, el cual será el combustible alternativo que reemplace o complemente el combustible diésel y que será objetivo de análisis.

La destilación se refiere a la ebullición selectiva y posterior condensación de un componente en una mezcla líquida. El procedimiento consiste en la separación que se utiliza para eliminar el componente que no se necesita y concentrar el otro con el cual está mezclado para obtener elementos “casi” puros de la mezcla, por medio del aprovechamiento de la diferencia en los puntos de ebullición de la mezcla líquida forzando a uno de ellos a pasar a un estado gaseoso y así hacer su respectiva separación, teniendo una viscosidad 2,7 mm²/s a 40°C [23]

Es importante destacar que la destilación se considera como un proceso de separación física. A continuación, se proporciona una ilustración que describe la configuración del laboratorio que generalmente se utiliza para ejecutar este proceso, que se muestra en la figura 7.

Figura 7

Proceso de destilación



Nota. Representación de la destilación. Tomado de: Admin. "Distillation - Definition, Detailed Process, Types, Uses". BYJUS. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://byjus.com/chemistry/distillation/>

La destilación que se realiza a pequeña escala en los laboratorios, suele utilizar lotes de la mezcla en estado líquido, a diferencia de los procesos de destilación industrial son generalmente continuos y requieren mantener una composición constante de la mezcla, en este caso se realizó una destilación simple. [24]

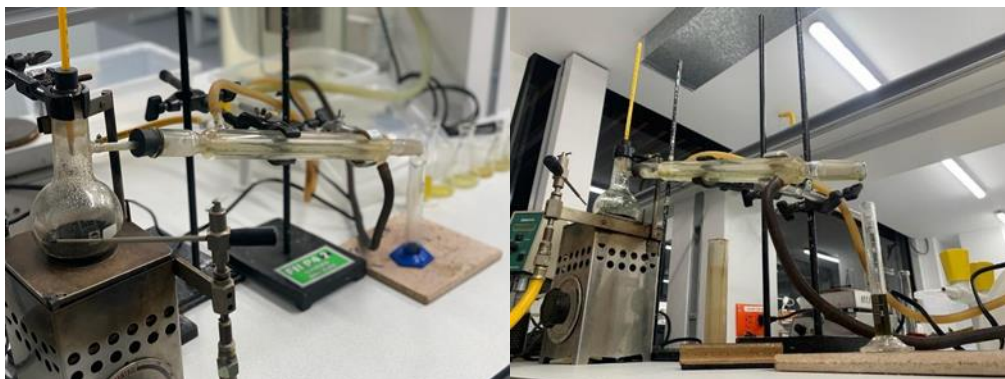
4.4 Destilación simple

La destilación simple implica calentar la mezcla líquida hasta el punto de ebullición e inmediatamente condensar los vapores resultantes. Este método sólo es eficaz para mezclas en las que los puntos de ebullición de los líquidos son considerablemente diferentes (una diferencia mínima de 25°C). [25]

En el laboratorio de química de la Universidad de América se hizo el proceso de destilación de pequeña escala con el aceite pirolítico de los neumáticos desechados obtenidos por la institución (figura 8), en donde los resultados obtenidos se representan por medio de una curva de destilación que se muestra en la tabla 3.

Figura 8

Destilación laboratorio de química U. América



Nota. Proceso de destilación.

En dicha oportunidad, se realizó el montaje de los instrumentos para dar inicio al proceso de destilación, tomando trece muestras de 4ml, donde inicialmente se usó un volumen de 83ml de aceite pirolítico extraído de las llantas, en donde a una temperatura de 84°C se pudo extraer la primera gota del combustible como se muestra en la figura 9.

Figura 9

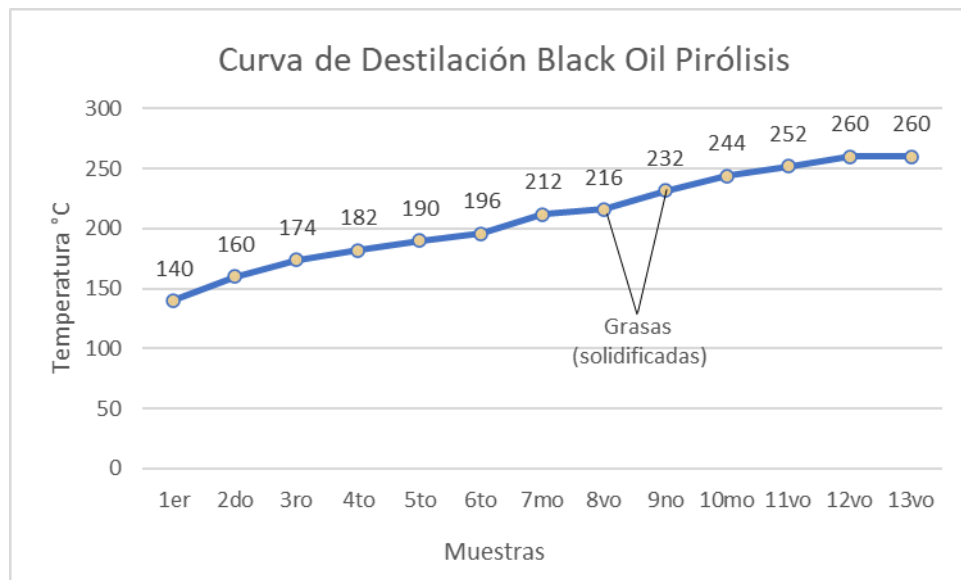
Extracción de combustible por medio de la destilación



Nota. Resultado primera gota de TDF en el proceso de destilación a 84°C.

Figura 10

Muestras obtenidas de la destilación



Nota. Curva de Destilación TDF

Las muestras obtenidas fueron expuestas a un rango de temperatura entre los 84°C hasta los 260°C. En dicha oportunidad, se evidenció cómo las muestras No. 8 y No. 9 adoptaron una fase sólida y las demás mantuvieron su estado líquido, de manera que se concluyó que las muestras que cambiaron su fase, pueden ser utilizadas como grasas para la lubricación de equipos y no como TDF.

Ahora bien, frente a la apariencia de las muestras analizadas, en la figura 11 se pueden observar

Figura 11

Muestras obtenidas de la destilación



Nota. Resultados de la destilación para la obtención del TDF.

Se obtuvieron parafinas en combustible, producción de solventes (hidrocarburos livianos), y al ver la variedad de colores, se puede afirmar que entre más claro el color, el combustible es más puro.

A partir del análisis realizado, se puede concluir que con la mezcla del TDF y el Diésel en una proporción de 30% a 70%, respectivamente se puede lograr un adecuado funcionamiento de la caldera pirotubular. Sin embargo, en lo que se refiere al impacto ambiental generado con ocasión al funcionamiento de la máquina, no se advierte una disminución en cuanto a su contaminación, lo cual convierte a este combustible de mezcla en una opción incapaz de reducir la cantidad de emisiones que afectan la

atmósfera y que se derivan de la utilización de la caldera. Además, el fabricante de la caldera pirotubular señaló que no se puede emplear una mayor proporción de TDF en la mezcla utilizada, pues de hacerlo se generaría una mayor cantidad de GEI generando una afectación al medio ambiente y a la salud humana.

5. COMBUSTIBLE DERIVADO DE PLANTA INVASORA

5.1 Jacinto de agua/Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)

El jacinto de agua o buchón de agua, es una planta acuática y perdurable que flota libremente, originaria de las regiones tropicales de América del Sur y ahora presente en todos los continentes excepto la Antártida (Figura 12). El jacinto de agua crece en todo tipo de ambientes de agua dulce. Esta planta varía en tamaño desde unos pocos centímetros hasta más de tres pies de altura. Tienen vistosas flores de color lavanda y las hojas son redondeadas y coriáceas, adheridas a tallos esponjosos y a veces inflados. [26]

Figura 12

Jacinto de agua o buchón de agua



Nota. Jacinto de agua o buchón de agua. Tomado de: B. Ruiz. “Cómo cuidar un jacinto de agua en casa - guía práctica”. www.mundodeportivo.com/uncomo. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/hogar/articulo/como-cuidar-un-jacinto-de-agua-en-casa-48532.html>

El jacinto de agua puede cubrir completamente lagos y humedales, superando a las especies acuáticas nativas, reduciendo los niveles de oxígeno de los peces y creando un hábitat ideal para los mosquitos portadores de enfermedades. Las grandes

infestaciones de jacinto de agua pueden impedir el transporte fluvial, la pesca, dañar puentes y obstruir represas. El lago Victoria, África [26] (Figura 13) y las vías fluviales de Papua, Nueva Guinea son excelentes ejemplos de poblaciones masivas que han limitado el transporte y la pesca, y han aumentado la incidencia de enfermedades. [29]

Figura 13

Buchón de agua lago Victoria, África



Nota. Buchón de agua, planta invasora. Tomado de: Banco Mundial. “Restablecer los medios de subsistencia para revitalizar el lago Victoria”. World Bank. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/02/29/reviving-lake-victoria-by-restoring-livelihoods>

En Colombia, la *Eichhornia crassipes*, conocida como el jacinto de agua, tiene orígenes amazónicos, en donde se encuentra catalogada y en la lista de las 100 plantas invasoras más peligrosas del mundo, por lo que, en el país, esta planta es de alto riesgo. No solamente se encuentra en la Amazonía, si no que ya se puede encontrar en diversas partes del país como en el municipio de Tuta, Paipa, Puerto Boyacá, entre otros.

En el país se han creado distintas estrategias para su respectivo control de propagación, entre ellas, la extracción del vegetal de la cuenca, ya sea manualmente o por medio de cosechadoras, dependiendo de su extensión, donde se transporta a un lugar apto para su almacenamiento, lejos del agua para proceder a su respectiva eliminación.

No obstante, hoy en día se le ha dado otra oportunidad a esta planta para no solo eliminarla y acabar con su propagación, si no para poder aprovecharla como fuente de energía, debido a que por medio de ésta se pueden producir alcoholes y etanol, a través de un proceso de obtención (figura 14), limpieza y medidas para mezcla, para su respectiva fermentación, destilación y obtención de alcoholes que después serán utilizados como combustible alternativo, el cual será mezclado con el diésel para la caldera del CEPIIS.

Dicha alternativa fue llevada a cabo en el laboratorio de la empresa “Ingeniería Medio Ambiental Ltda.”, ubicada en Bogotá, en donde se logró realizar el proceso que se explica a continuación:

Figura 14

Jacinto de agua trabajado en el laboratorio



Nota. Jacinto de agua obtenido de la laguna de Fúquene y/o represa del Muña.

Inicialmente, se utilizaron 2kg de esta planta obtenida de la laguna de Fúquene, ubicada entre Cundinamarca y Boyacá (80 km de Bogotá) y/o represa del Muña, ubicada entre Sibaté y Soacha. Luego de realizar una limpieza de la planta, se procedió a la separación de tallos y hojas (Figura 15).

Figura 15

Medición y separación de tallos y hojas



Nota. Separación de tallos y hojas del Jacinto de agua.

Después, se realizó un proceso de secado, debido a que, al ser una planta acuática, aproximadamente el 90% de su composición es agua. Para dicho proceso, se tomó toda la planta y se inició el procedimiento de secado al sol, el cual puede tardar entre 7 a 15 días [33], en este caso, este proceso tomó 7 días. Una vez finalizado, se pica la planta en trozos pequeños y se separan para después pesarlos en aproximadamente 100 gramos de tallos y hojas (por separado) y 400 ml de agua desionizada, que, al no tener cloro, no hace interferencia con la mezcla y el alcohol generada en la misma, como se muestra en la figura 16. Posteriormente, se inició con un proceso de licuado (figura 17) y con ayuda de un macerador, se procedió a hacer la mezcla para envasar y dejar reposar en sombra por 72 horas aproximadamente.

Figura 16

Tallos del Jacinto de agua picados



Nota. Tallos del Jacinto de agua picados.

Figura 17

Mezcla del Jacinto de agua y agua desionizada



Nota. Mezcla del Jacinto de agua y agua desionizada (sin cloro).

En esta parte del proceso, después de su respectiva mezcla de 100 gr de jacinto y 400 ml de agua desionizada, como se mencionó anteriormente, se deja lo más líquido posible extrayendo así todos los jugos de la planta, para luego almacenarlos en frascos debidamente marcados como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Almacenamiento de mezcla



Nota. Se almacena la mezcla y se caracteriza, en la derecha están los tallos y en la izquierda las hojas.

Luego del almacenamiento, se dejó por 72 horas aproximadamente en sombra para su descomposición y así poder mezclarlo con una enzima que permite su fermentación, que, en este caso, fue la cáscara de piña dadas sus propiedades (Figura 19), que debido a sus azúcares es muy buena para hacer dicho proceso.

Figura 19

Mezcla de cáscara de piña con jacinto de agua y agua desionizada



Nota. Mezcla de cáscara de piña con jacinto de agua y agua desionizada después de 72 horas en sombra almacenada.

Se emplearon 100 gr de piña aproximadamente para llevar a cabo la mezcla, para que así la piña pudiera liberar sus azúcares y contribuir en el proceso de fermentación de la mezcla final, para posteriormente, por medio de un destilado, proceder con la extracción de los alcoholes y generar el bioetanol.

5.2 Proceso de fermentación del jacinto de agua

Los combustibles fósiles contribuyen en gran medida al cambio climático y, a medida que aumenta la demanda de producción de energía, las fuentes alternativas (por ejemplo, las energías renovables) se vuelven más atractivas. Los biocombustibles como el bioetanol reducen la dependencia de los combustibles fósiles y pueden ser compatibles con la flota existente de motores de combustión interna. La incorporación de biocombustibles puede reducir las emisiones de dióxido de carbono de la flota de motores de combustión interna (ICE). El bioetanol normalmente se produce mediante fermentación microbiana de azúcares fermentables, como la glucosa, hasta obtener etanol. Las materias primas

tradicionales (como, por ejemplo, las materias primas de primera generación) incluyen cereales, caña de azúcar, cáscara de piña y remolacha azucarera. [30]

La fermentación es un proceso en el que los azúcares se transforman en un nuevo producto mediante reacciones químicas llevadas a cabo por microorganismos. Desde la antigüedad, los humanos han aprovechado el proceso de fermentación natural para desarrollar muchos productos, incluidos alimentos, medicinas y combustibles. Desde la antigüedad, la fermentación se ha utilizado como herramienta principalmente para la conservación de alimentos. Alrededor del año 5000 a. C., los sumerios y egipcios produjeron muchos alimentos mediante fermentación, como pan, vino y cerveza. No tenían el conocimiento para explicar exactamente cómo se elaboraban esos productos ni por qué ocurría la fermentación. Por lo tanto, comúnmente veían la fermentación como un milagro proporcionado por sus dioses. [31]

En el siglo XIX, el científico Louis Pasteur indicó que la fermentación se produce debido a la presencia de microorganismos. Organismos que no se pueden ver a simple vista, por lo que requieren un microscopio. Los microorganismos, incluidas las bacterias y las levaduras, son pequeñas células vivas que no podemos ver a simple vista. Pasteur también descubrió que diferentes bacterias realizan diferentes tipos de fermentación. [32]

Una vez explicado el proceso de fermentación, se lleva a la práctica este proceso para continuar con la extracción del combustible objeto de desarrollo. Pasada una semana en el proceso de fermentación de la planta, se separan los sólidos por medio de una malla y se extrae únicamente el líquido para luego dar inicio al proceso de destilación, separando los alcoholes del agua, como se muestra a continuación en la figura 20.

Figura 20

Separación del líquido mediante una malla



Nota. Extracción de jugos después de una (1) semana de fermentación.

A partir de este proceso, se logra extraer 200 ml de líquido de las hojas y 300 ml de los tallos debido a la cantidad de composición que tienen estas dos partes de la planta. Luego de la extracción de los jugos, se procede a desechar los residuos sólidos restantes y así continuar con el proceso de destilación, para su respectiva separación de alcohol generado y el agua, por lo que se hace el respectivo montaje como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

*Medición constante de temperatura
entre 78°C y 85°C*



Nota. Inicio de ebullición del etanol

Como bien es sabido, el alcohol (etanol) hierve a una temperatura de 78°C aproximadamente, lo que es 22°C por debajo del punto de ebullición del agua. Debido a esto, se estableció una temperatura inicial de la estufa en 200°C para que el líquido se calentara gradualmente hasta los 78°C y a partir de ese momento se supervisó con un termómetro láser que el líquido no sobrepasara los 85°C, para así conseguir una mayor pureza de etanol.

Luego se da inicio al proceso de destilación, como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Destilación



Nota. Montaje e inicio de destilación de los jugos extraídos de la fermentación del Jacinto de agua, tanto para las hojas como para los tallos.

Después del calentamiento constante y su respectiva supervisión, sin superar la temperatura de ebullición antes mencionada, se puede observar que después de 40 minutos aproximadamente se extrae la primera gota de etanol del jacinto de agua, tanto de tallos como de hojas, como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Primera gota de etanol extraída del jacinto de agua



Nota. Extracción de etanol por medio de la destilación

Se espera tomar muestras de 3 ml aproximadamente, para determinar el volumen y conocer el porcentaje de etanol presente en la mezcla, con la tabla 3.

Debido a que las muestras están combinadas con agua, se hacen los cálculos para las muestras de tallos y hojas, teniendo los siguientes resultados.

$$\frac{MasAprobeta\ con\ 3mL - MasAprobeta\ vacia}{3mL} = \frac{26,7305\ gr - 24,0545\ gr}{3mL} = \underline{0,892}$$

Se hizo el ejercicio tanto para tallos como para hojas y se evidenció que da el mismo resultado 0.892, por lo que para saber el valor del % de etanol basados en esa respuesta, se procede a buscar en las tablas de reactivos Merk como se muestra a continuación.

El diésel, al ser un combustible fósil, se obtiene a partir del petróleo, por el proceso de destilación fraccionada. Éste combustible se puede conseguir a un bajo costo y con una alta densidad energética, con un poder calorífico de 45,5 MJ/kg, pero genera en gran medida emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos, los cuales conllevan a un problema ambiental y de salud tanto para personas como animales.

El TDF, es un tipo de combustible alternativo, en donde a partir de la trituración y el tratamiento térmico de los neumáticos usados, se puede generar una fuente de energía. La densidad energética que tiene este combustible es similar que la del diésel, con aproximadamente 41 a 44 MJ/kg, la única diferencia en que es más nociva, teniendo mayor emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y metales pesados.

Por otro lado, el bioetanol del jacinto de agua es una alternativa sustentable, ya que, al ser una planta invasora, se puede encontrar en abundancia, se sabe que es producido a partir de la fermentación de los azúcares contenidos en el tallo y hojas de esta planta, que crece en zonas húmedas (lagos, ríos, humedales y embalses trópicos).

Por lo que en comparación al diésel y al TDF, el jacinto de agua como combustible alternativo tiene una menor densidad energética de aproximadamente 37,27 MJ/kg, pero, una menor emisión de gases de efecto invernadero, por lo que puede representar una mayor seguridad en caso de derrames.

6. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección, se diligenciarán todas las definiciones relevantes que se pueden encontrar en este trabajo de investigación, definidas de la siguiente manera:

6.1 Combustibles fósiles

Son fuentes de energía no renovables, como el carbón, los productos del carbón, el gas natural, el gas derivado, el petróleo crudo, los productos derivados del petróleo y los residuos no renovables. Los combustibles fósiles también se pueden hacer mediante procesos industriales a partir de otros combustibles fósiles (por ejemplo, en la refinería de petróleo, el petróleo crudo se transforma en gasolina de motor). [35]

6.2 Diésel

Combustible líquido utilizado para diferentes máquinas como, motores de combustión, calderas, generadores, etc. Normalmente obtenido a partir de fracciones de petróleo crudo que son menos volátiles que las fracciones utilizadas en la gasolina. [36]

6.3 Destilación simple

Proceso que consiste en la separación de mezclas homogéneas basadas en la diferencia de volatilidades de la mezcla líquida hirviendo. En donde uno de sus componentes se evapora mediante la aplicación de calor y posteriormente enfriándose inmediatamente con agua que se encuentra en un condensador. Este método solo se puede utilizar para separar mezclas donde los componentes difieren ampliamente en el punto de ebullición (aproximadamente 25°C). [37]

6.4 Destilación fraccionada

Es un método utilizado para purificar o separar disolventes, productos químicos, productos naturales, petróleo, biodiésel, petróleo crudo y otros materiales. [38]

6.5 Volatilidad

Es la facilidad con que una sustancia se evapora, convirtiéndose en un gas o vapor, es decir, sustancia que se evapora fácilmente a temperaturas normales y/o una que tiene una presión de vapor medible. [39]

6.6 Gas propano

También conocido como gas licuado de petróleo o GLP, es un gas normalmente comprimido y almacenado como líquido. No es tóxico, incoloro y prácticamente inodoro; se añade un olor de identificación para que pueda ser detectado. Dicho gas se utiliza comúnmente como combustible de motores como carretillas elevadoras, autobuses, calderas; sin embargo, sus aplicaciones están creciendo rápidamente debido a los nuevos desarrollos tecnológicos y sostenibilidad. [40]

6.7 Tire derived fuel (TDF)

Tipo de combustible utilizado como fuente complementaria, para los combustibles tradicionales como el carbón, la madera, el gas natural, diésel y gasolina, utilizado en fábricas de papel, plantas de energía, hornos de cemento y calderas de generación de energía. [41]

6.8 Bioetanol

Tipo de alcohol que se obtiene de diferentes tipos de plantas ricas en celulosa, como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, cáscara de piña o algunos granos como el maíz, con ayuda de la fermentación. [42]

6.9 Pirólisis lenta

Es el calentamiento lento del material orgánico en ausencia de oxígeno. En lugar de quemar, los volátiles del material orgánico se evaporan en parte, y queda un producto. La pirólisis lenta, también se llama carbonización, y enfatiza el carbón sólido como producto principal, en lugar de la pirólisis rápida que enfatiza el producto líquido. [43]

6.10 Caldera pirotubular

Las calderas funcionan calentando el agua dentro de un recipiente utilizando gas, petróleo o carbón. Esta agua caliente, ya sea convertida en vapor o mantenida en forma líquida dependiendo del tipo de caldera que tenga, se envía a través de un sistema de radiadores colocados en toda una casa para proporcionar calefacción interior [43], en otras palabras, una caldera es un recipiente cerrado en el que el agua se calienta para producir vapor o agua caliente. El vapor o el agua caliente se utiliza para una variedad de propósitos, incluyendo la calefacción de edificios, la generación de electricidad y los equipos de esterilización. [44]

6.11 Energía térmica

Se refiere a la energía contenida en un sistema que es responsable de su temperatura. El calor es el flujo de energía térmica. [45]

6.12 Eficiencia

Comparación de la producción de energía con la entrada de energía en un sistema determinado. [46]

6.13 Jacinto de agua

Planta invasora de agua dulce flotante que puede medir hasta 2 m por encima del agua y 1 m por debajo, que cuenta con tallos de hojas huecas y expandidas y rizoides que se arrastran bajo el agua. [47]

6.14 Fermentación

Se define como un proceso de cambio químico de los sólidos o líquidos, por medio de la levadura o los microorganismos, que puede hacer que produzca burbujas o calor, o que convierta los azúcares en alcohol. [48]

6.15 Viscosidad

Es el parámetro para medir el grosor o la delgadez de cualquier fluido dado. [49]

6.16 Densidad

Es la medida de los espacios entre dos partículas en un fluido determinado. [50]

6.17 Quemador

Componente de la caldera que se encarga de mezclar el combustible con el aire para que inicie el proceso de combustión y darle funcionamiento a la máquina. [51]

7. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos en el presente proyecto, se analizaron tanto las materias primas como los combustibles y sus propiedades para efectos de conocer el combustible que pudiera sustituir al diésel y que, de igual forma, permitiera un adecuado funcionamiento de la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS y una reducción en su impacto ambiental.

Inicialmente, se tuvieron en cuenta diferentes factores para la selección de las materias primas a partir de las cuales se obtuvieron los combustibles líquidos diferentes al diésel, que fueron objeto de análisis en el presente proyecto de investigación. Entre dichos factores, se destacan: (i) la gran contaminación derivada de los derechos de neumáticos, así como su capacidad de ser reutilizados para distintos fines, entre ellos, la obtención de un combustible alternativo a través de un proceso denominado “pirólisis lenta”, conocido como TDF (Tire Derived Fuel) y (ii) la facilidad con la que cuenta la planta denominada “Jacinto de agua” para su recolección y procesamiento para la obtención de bioetanol.

Una vez encontradas las razones para iniciar con el estudio de las materias primas, se procedió con la realización de un análisis soportado en datos experimentales realizados en los laboratorios de la universidad, con su respectiva documentación bibliográfica que lo respalda en cuanto a los procesos de obtención, propiedades de los combustibles y las mezclas que se pueden realizar con los productos obtenidos, todo con la finalidad de ser utilizados en la caldera pirotubular del CEPIIS de la Universidad de América.

Posteriormente, a partir de la información disponible en las bases de datos brindadas por parte de la universidad, las especificaciones contenidas en la plaqueta de la caldera, los estudios realizados por diferentes empresas que ya han trabajado con estos combustibles así como la información obtenida a partir de los estudios propios realizados en los laboratorios de la universidad; se logró evidenciar la adaptabilidad y funcionamiento del equipo con el combustible sustituto o mezclas, teniendo en cuenta para dicha finalidad algunas variables de operación tales como: (i) la presión de prueba hidrostática; (ii) la dureza del agua; (iii) el pH; (iv) los sólidos disueltos acumulados; (v) el

ruido de la caldera; (vi) la temperatura de salida de gases y la temperatura de agua de alimentación; (vii) las purgas diarias y (viii) la temperatura de calentamiento de la caldera.

De igual forma, se tuvieron en cuenta otras características de los combustibles, como la densidad energética, su almacenamiento y manejo, su viscosidad, densidades y su disponibilidad local e impacto ambiental.

Al respecto, desde el punto de vista práctico, se realizó el siguiente procedimiento a partir de las variables previamente anotadas:

En el laboratorio de la Universidad de América se realizó la recolección, transporte, almacenamiento y obtención de los combustibles alternativos a tratar para la caldera pirotubular del CEPIIS. El procedimiento se compone de los siguientes pasos:

1. Recolectar la planta Jacinto de agua y los neumáticos desechados.
2. Transportar la materia prima desde el sitio de recolección al laboratorio de la Universidad de América.
3. Triturar por partes el neumático.
4. Ejecutar el proceso de pirólisis lenta con las partes trituradas.
5. Ejecutar el procedimiento de fermentación del jacinto de agua.
6. Realizar la destilación de los productos derivados de ambos procesos para la obtención de los combustibles a evaluar, es decir, para la obtención del TDF y del bioetanol, respectivamente.
7. Realizar un análisis de las diferentes muestras recolectadas para efectos de conocer sus propiedades, haciendo especial énfasis en el porcentaje de agua y etanol presente en el Bioetanol para determinar su pureza.

Por último, a partir de los resultados obtenidos como consecuencia del estudio de los combustibles, se logró demostrar que efectivamente el bioetanol resulta ser un combustible alternativo que garantiza un funcionamiento eficiente de la caldera pirotubular y que su impacto en el medio ambiente es mucho menor a comparación del diésel.

8. CONCLUSIONES

En definitiva, a partir del funcionamiento de la caldera, su disponibilidad, los combustibles que permiten su funcionamiento y el tiempo de uso en el CEPIIS la Universidad de América, de conformidad con los estudios previamente desarrollados, sus características diferenciales son las que se muestran a continuación en la Tabla 4:

Tabla 4

Tabla comparativa

Característica	Tire Derives Fuel (TDF)	Bioetanol - Jacinto de Agua	Diésel
Densidad Energética	41 a 44 MJ/kg	37,27 MJ/kg	45,5 MJ/kg
Almacenamiento	Se debe almacenar lejos de la humedad, de la luz del sol directamente, y lejos de fuentes inflamables.	Se debe almacenar en espacios secos y frescos, lejos de fuentes de ignición, y no ser expuesto a la luz del sol.	Se debe almacenar en espacios ventilados, evitando el exceso de humos que se puedan presentar alrededor, en un lugar seco y alejado de la luz del sol, evitando altas temperaturas.
Viscosidad	2,7 mm ² /s a 40°C	1,74 mm ² /s a 40°C	3,60 mm ² /s a 40°C
Densidad	0,91 g/cm ³	0,796 g/cm ³	0,84 g/cm ³
Disponibilidad Local	Acuerdos y campañas con la secretaría distrital de ambiente de Bogotá, que se encarga de la	Laguna de Fúquene, ubicada en entre Cundinamarca y Boyacá (80 km de Bogotá) y/o represa	Estaciones de Servicio

	recolección y disposición para su aprovechamiento.	del Muña, ubicada entre Sibaté y Soacha	
Impacto Ambiental	CO₂ : 3.1 kg por litro quemado NO_x : 18-22g por litro	CO₂ : 1.2kg por litro quemado NO_x : 5-8g por litro	CO₂ : 2.8 kg por litro quemado NO_x : 15-20g por litro

Nota. Tabla comparativa de los combustibles tratados

Teniendo en cuenta el proceso de atomización del quemador, el componente está diseñado para viscosidades de hasta 4,5 mm²/s a 40°C, de conformidad con las recomendaciones brindadas por el fabricante. En vista de ello, se propuso la realización de mezclas del TDF junto con el combustible diésel, en una proporción de 30% y 70% respectivamente, para el correcto funcionamiento de la caldera sin perder su eficiencia y efectividad. No obstante, aunque la mezcla del TDF destilado y el combustible diésel permiten un correcto funcionamiento de la máquina, dada la compatibilidad de sus poderes caloríficos y la permanencia de la mezcla dentro de los límites de viscosidad, se ha comprobado que el TDF produce una mayor cantidad de GEI, por lo que su utilización resulta perjudicial para la búsqueda y obtención de una adecuada transición energética en el país.

Por su parte, el bioetanol derivado del jacinto de agua, teniendo en cuenta el proceso de atomización del quemador según el fabricante, se propuso la realización de mezclas del bioetanol y del combustible diésel, en una proporción de un 10% y 90% respectivamente, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de la caldera sin perder significativamente la eficiencia y efectividad de la misma.

Con base en la Tabla 5, el diésel y el TDF son combustibles que generan emisiones tanto de NO_x como de CO₂ significativas que afectan al medio ambiente, por lo tanto, en su calidad de combustibles no representan una buena opción para el uso de la caldera.

Por otro lado, en lo que respecta al bioetanol obtenido del proceso de fermentación y destilación derivado de la planta Jacinto de agua, se logra apreciar no

solo un adecuado funcionamiento de la caldera pirotubular ubicada en el CEPIIS de la Universidad de América, sino también una reducción de GEI en un 79% frente al TDF y un 46% frente al diésel.

Por último, no se puede tener una mezcla de TDF y bioetanol que supla el diésel, debido a que, por diferencia de viscosidades, tendría que ser mayor la proporción de los combustibles, lo que generaría una mayor demanda del combustible y una reestructuración en el diseño de la caldera.

REFERENCIAS

- [1] Insulation. “The History of the Steam-Generating Boiler and Industry - Insulation Outlook Magazine”. Insulation Outlook Magazine. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://insulation.org/io/articles/the-history-of-the-steam-generating-boiler-and-industry/>
- [2] V. Industrial. “Calderas pirotubulares y acuotubulares | VYC Industrial”. VYC Industrial. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://vycindustrial.com/calderas-de-vapor-pirotubulares-y-acuotubulares/#:~:text=Calderas%20de%20vapor%20acuotubulares:%20son,el%20agua%20por%20el%20exterior.>
- [3] HVAC. “Calderas Acuotubulares Versus Calderas Pirotubulares - Equipos - HVAC/R & Solar”. HVAC/R & Solar. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://hvac-eng.com/es/calderas-acuotubulares-versus-pirotubulares/>
- [4] H2O TEK. “Breve historia de las calderas o boilers industriales - Boiler.mx | H2O TEK”. Boiler.mx | H2O TEK. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://boiler.mx/breve-historia-de-las-calderas/>
- [5] Organización Latinoamericana de Energía. OLADE. Accedido el 1 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/06/Situacion-del-consumo-energetico-a-nivel-mundial-y-para-America-Latina-y-el-Caribe-ALC-y-sus-perspectivas.pdf>
- [6] SIAC. “Aire - IDEAM”. IDEAM - IDEAM. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/aire>
- [7] MinAmbiente. “Contaminación atmosférica - ministerio de ambiente y desarrollo sostenible”. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/#:~:text=Conforme%20con%20lo%20establecido%20en,o%20gaseoso,%20causantes%20de%20efectos>

- [8] Alcaldía Mayor de Bogotá. “Decreto 2612 de 2022 nivel nacional”. Inicio | Sede Electrónica - Secretaria General. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=132357#:~:text=Que,%20de%20conformidad%20con%20el%20numeral%2011%20del%20artículo%20189,cumplida%20ejecución%20de%20las%20leyes.>
- [9] Min Minas. “Borrador de resolución 2018”. Mintrabajo. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/proyecto+de+resolucion+por+la+cual+se+expide+el+reglamento+tecnico+de+calderas.pdf/1a7449ce-9575-7c61-2173-499a99f3ad4a>
- [10] Índice Bogotano de Calidad de Aire. “Mapa de calidad del aire de Bogotá”. Secretaría Distrital de Ambiente. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<http://iboca.ambientebogota.gov.co/mapa/>
- [11] IBOCA. “¿Qué es el IBOCA?” Secretaría Distrital de Ambiente. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<http://iboca.ambientebogota.gov.co/publicaciones/175/que-es-el-iboca/>
- [12] Min Amiente. “Decreto 948 de 1995”. IDEAM - IDEAM. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527621/Decreto+948+de+1995.pdf/670a0603-4d1f-454f-941e-08e6ba70666d>
- [13] Kendrick Oil. “How is diesel fuel made from crude oil? – kendrick oil”. Kendrick Oil – Kendrick Oil. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<https://kendrickoil.com/how-is-diesel-fuel-made-from-crude-oil/>
- [14] País Circular. “Pirólisis, una alternativa para el reciclaje de neumáticos en el marco de la Ley REP - País Circular”. País Circular. Accedido el 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.paiscircular.cl/empresa-e-innovacion/pirolisis-una-alternativa-para-el-reciclaje-de-neumaticos-en-el-marco-de-la-ley-rep/>

- [15] “Tire Derived Fuel”. Scrap Tire News. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://scraptirenews.com/information-center/tdf/>
- [16] “Tire Derived Aggregate | Liberty Tire Recycling Products”. Liberty Tire. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://libertytire.com/Products/Commercial-Products/TireDerived-Fuel/>
- [17] U.S Environmental Protection Agency. “Frequent Questions on Tire Derived Fuel | Scrap Tires | US EPA”. Archives | US EPA. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://archive.epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/web/html/faq-tdf.html>
- [18] “Learn More About TDF and Why It's Useful”. Eco Green Equipment | Tire Shredders. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://ecogreenequipment.com/why-tdf-is-not-as-bad-as-you-think/>
- [19] “Tire-Derived Fuel”. Tire-Derived Fuel. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://tirederivedfuels.com/>
- [20] USDA. “What is Pyrolysis? : USDA ARS”. ARS Home: USDA ARS. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/wyndmoor-pa/eastern-regional-research-center/docs/biomass-pyrolysis-research-1/what-is-pyrolysis/>
- [21] EIA BIOENERGY. “Bio-oil - Task 34”. Task 34 - Direct Thermochemical Liquefaction. Accedido el 10 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://task34.ieabioenergy.com/bio-oil/>
- [22] DOING. “What are the characteristics and applications of pyrolysis oil?” pyrolysis plant. Accedido el 10 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.recyclingpyrolysisplant.com/FAQ/pyrolysis_plant/pyrolysis-oil-applications-68.html
- [23] Admin. “Distillation - Definition, Detailed Process, Types, Uses”. BYJUS. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://byjus.com/chemistry/distillation/>

- [24] A. M. H. P. D. "Understand How Distillation Works". ThoughtCo. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.thoughtco.com/what-is-distillation-601964>
- [25] Royal Society of Chemistry. "Ontology". The Royal Society of Chemistry. Accedido el 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.rsc.org/publishing/journals/prospect/ontology.asp?id=CMO:0001538#:~:text=Definition:%20A%20method%20of%20separating,cold%20water%20in%20a%20condenser.>
- [26] University of Florida. "Center for Aquatic and Invasive Plants | University of Florida, IFAS". Center for Aquatic and Invasive Plants | University of Florida, IFAS. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/eichhornia-crassipes/>
- [27] Banco Mundial. "Restablecer los medios de subsistencia para revitalizar el lago Victoria". World Bank. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/02/29/reviving-lake-victoria-by-restoring-livelihoods>
- [28] B. Ruiz. "Cómo cuidar un jacinto de agua en casa - guía práctica". www.mundodeportivo.com/uncomo. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/hogar/articulo/como-cuidar-un-jacinto-de-agua-en-casa-48532.html>
- [29] T. J. Stohlgren et al., "Globalization effects on common plant species", *Encycl. Biodivers.* (Second Ed., Volume 3, ISBN 9780123847201, 2013).
- [30] Tse, T. J., Wiens, D. J., & Reaney, M. J. (2021, 18 de noviembre). Production of Bioethanol—A Review of Factors Affecting Ethanol Yield. MDPI. <https://www.mdpi.com/2311-5637/7/4/268>
- [31] Admin. (2017, 20 de noviembre). What Is Fermentation? - Definition, Types, Anaerobic Respiration. BYJUS. <https://byjus.com/biology/fermentation-anaerobic-respiration/>

- [32] Bertran Prieto, P. (s.f.). » Pasteur: la microbiología moderna. AEAC Asociación Española para el Avance de la Ciencia. <https://aeac.science/actividad/pasteur/>
- [33] F. Monzón, M. D. Rovira y O. Osegueda. “APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DEL JACINTO DE AGUA (EICHORNIA CRASSIPES) Y ESTUDIO DEL USO POTENCIAL DE LAS MICROALGAS DEL SITIO RAMSAR EMBALSE CERRÓN GRANDE”. Repositorio Institucional UCA: Página de inicio. Accedido el 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/2704/1/34-investigacion-uca-cerron-grande-jacinto-agua.pdf>
- [34] S. Duarte. “Pirolisis convencional de neumáticos en desuso para la producción de combustibles líquidos”. SciELO - Scientific Electronic Library Online. Accedido el 5 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522016000200025
- [35] Eurostat. “Glossary:Fossil fuel - statistics explained”. Language selection | European Commission. Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Fossil_fuel#:~:text=Fossil%20fuel%20is%20a%20generic,%20millions%20of%20years%20ago\).](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Fossil_fuel#:~:text=Fossil%20fuel%20is%20a%20generic,%20millions%20of%20years%20ago).)
- [36] The Editors of Encyclopaedia Britannica. “Diesel fuel | definition, efficiency, & pollution”. Encyclopedia Britannica. Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.britannica.com/technology/diesel-fuel>
- [37] Royal Society of Chemistry. “Ontology”. The Royal Society of Chemistry. Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.rsc.org/publishing/journals/prospect/ontology.asp?id=CMO:0001538#:~:text=Definition:%20A%20method%20of%20separating,cold%20water%20in%20a%20condenser>
- [38] B/r Instrument. “Fractional distillation equipment | B/R instrument”. BR Instrument. Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://brinstrument.com/fractional-distillation/fractional->

distillation?gclid=EAlalQobChMI9ZSt_eSjgwMVKHFMCh2qvAtYEAAYASAAEgJ8Df
D_BwE

[39] “The MSDS HyperGlossary: Volatility”. Transferring you to the ILPI home page...
Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible:
<http://www.ilpi.com/msds/ref/volatility.html>

[40] “What is propane gas?” Propane. Accedido el 31 de diciembre de 2023. [En línea].
Disponible:<https://propane.com/about-propane/what-is-propane-gas/#:~:text=About%20Propane%20Gas,so%20it%20can%20be%20detected>

[41] B. Tire Recycling. “Tire-Derived fuel | BDS tire recycling”. BDS Tire Recycling, Inc. |
BDS Tire Recycling. Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible:
<https://www.bdstirerecycling.com/tire-derived-fuel/>

[42] Repsol. “What is bioethanol and what is it used for? | Repsol”. REPSOL. Accedido el
2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/sustainable-mobility/bioethanol/index.cshtml>

[43] Byju’s. “Slow pyrolysis - PyroWiki”. Welcome to PyroWiki - PyroWiki. Accedido el 2
de enero de 2024. [En línea]. Disponible:
http://pyrowiki.pyroknown.eu/index.php/Slow_pyrolysis

[44] Wade. “How does a boiler system work?” Wade Heating, Cooling & Geothermal.
Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible:
<https://always70wade.com/b/what-is-a-boiler-how-does-it-work#:~:text=Boilers%20operate%20by%20heating%20water,order%20to%20provide%20indoor%20heating>

[45] Thermodyne. “What is boiler ? | working and application | thermodyne boilers”.
Industrial Steam Boiler Manufacturer in India | Thermodyne Boilers. Accedido el 2 de
enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.thermodyneboilers.com/what-is-boiler/>

[46] “What is thermal energy? (article) | Khan Academy”. Khan Academy. Accedido el 2
de enero de 2024. [En línea]. Disponible:

<https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-thermal-energy#:~:text=Thermal%20energy%20refers%20to%20the,the%201st%20law%20of%20thermodynamics>

[47] “Efficiency - energy education”. Energy Education. Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Efficiency>

[48] BioNet. “Factsheet - eichhornia crassipes (water hyacinth)”. Keys and Facts Sheets. Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: [https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Eichhornia_crassipes_\(Water_Hyacinth\).htm#:~:text=Description,or%20in%20longing%20hanging%20strands](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Eichhornia_crassipes_(Water_Hyacinth).htm#:~:text=Description,or%20in%20longing%20hanging%20strands)

[49] Cambridge. “Fermentation”. Cambridge Dictionary | English Dictionary, Translations & Thesaurus. Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/fermentation>

[50] Admin. “Relation between viscosity and density - at BYJU’S”. BYJUS. Accedido el 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://byjus.com/physics/relation-between-viscosity-and-density/#:~:text=In%20fluid%20dynamics,%20viscosity%20is,relation%20between%20viscosity%20and%20density.>

[51] “Quemadores | Cointra”. Cointra. Accedido el 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.cointra.es/blog-que-es-un-quemador-y-para-que-sirve/#:~:text=EL%20QUEMADOR%20ES%20UNO%20DE,llama%20que%20inicia%20la%20combustión.>

ANEXOS

ANEXO 1

RECOMEDACIONES

Se recomienda tomar como combustibles líquidos la mezcla de diésel y bioetanol, en las proporciones previamente señaladas dado que se puede reducir la emisión de GEI sin interferir en el correcto funcionamiento de la caldera, eficiencia o pérdidas de la mezcla de los combustibles líquidos.

No es recomendable sustituir por completo el combustible diésel a la hora de la puesta en funcionamiento de la caldera, pues en caso de eliminar la presencia de este combustible, se puede incurrir en factores adicionales como sobrecostos, disposición de material y una mayor quema del bioetanol debido a su evaporación rápida, afectando la eficiencia de la máquina. Adicionalmente, el uso de la caldera es de tipo educativo, por lo que es ajeno a prácticas industriales, es decir, su uso es muy limitado y no es constante.

Para depender de un solo combustible líquido como el TDF o el bioetanol, es necesario hacer un cambio del quemador que permita la correcta combustión, con base en la información brindada por el fabricante.

Para hacer un cambio en el quemador sin verse afectado el rendimiento de la caldera, es necesario seguir rigurosamente la información establecida por los fabricantes Teknik Ltda., esto con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo y sin pérdidas del combustible líquido a utilizar, ya sea el TDF o el bioetanol derivado del Jacinto de agua.