



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL AUMENTO DEL  
PODER CALORÍFICO DE UN BIOCOMBUSTIBLE MEDIANTE  
LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN”**

**Trabajo de Titulación:**

Tipo: **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: CATHERINE ELIZABETH GUANO CARREÑO**

**CHRISTIAN DANIEL MORALES CASTILLO**

**DIRECTOR: Ing. OTTO FERNANDO BALSECA SAMPEDRO**

Riobamba – Ecuador

2020

**©2020, Catherine Elizabeth Guano Carreño**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**©2020, Christian Daniel Morales Castillo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Catherine Elizabeth Guano Carreño, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de enero de 2020



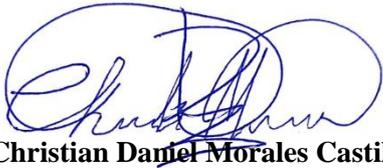
**Catherine Elizabeth Guano Carreño**

**060406692-8**

Yo, Christian Daniel Morales Castillo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de enero de 2020



**Christian Daniel Morales Castillo**

**060387353-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo: Proyecto Investigativo, “**DETERMINACION DE LA FACTIBILIDAD DEL AUMENTO DEL PODER CALORÍFICO DE UN BIOCOMBUSTIBLE MEDIANTE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN**”, realizado por la señorita **CATHERINE ELIZABETH GUANO CARREÑO** y el señor **CHRISTIAN DANIEL MORALES CASTILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DE TRIBUNAL</b>		2020-01-30 _____
Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2020-01-30 _____
Dr. Jorge Efrén Silva Yumi <b>MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2020-01-30 _____

## **DEDICATORIA**

A mis padres Marco y Martha por ser los pilares fundamentales de mi vida, a mis hermanos por el apoyo incondicional y a mi hijo Christopher por ser mi inspiración y motivación para haber alcanzado este logro académico personal.

Christian

Dedico este logro a mi madre Marilú, en recompensa a su esfuerzo y paciencia., a mi padre por su motivación y a mis abuelos Miguel y Blanca por su acogida y apoyo total.

Catherine

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la ESPOCH, a la Escuela De Ingeniería Mecánica, a ese grupo de amigos que siempre estuvieron presentes, y a todas aquellas personas que directa o indirectamente formaron parte de este proceso de titulación.

Christian

Agradezco a mis padres, tíos, profesores y amigos que con su apoyo incondicional aportaron su granito de arena para que pueda alcanzar esta meta.

Catherine

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
LISTA DE ABREVIACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY/ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Composición, propiedades y proceso de obtención de biodiesel aceites usados ...</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. Biodiesel.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2. Biodiesel BX .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.3. Poder Calorífico en biocombustibles .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.4. Máquina prototipo para la producción de biodiesel existente en la ESPOCH .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.5. Propiedades de los reactivos utilizados para la obtención del biodiesel .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.5.1. Metanol.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.5.2. Sosa Cáustica.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.6. Proceso para la obtención del biodiesel a base de aceite vegetal .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Nanopartículas .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Definición de Nanopartículas .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Nanopartículas en combustibles .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3. Nanopartículas en biocombustibles .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.4. Nanopartículas de Alofán: composición y proceso de síntesis química .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4.1. Alofán.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4.2. Nanopartículas de Alofán .....</b>	<b>7</b>

1.2.4.3.	<i>Proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán</i> .....	8
1.3.	<b>Normas para la realización de ensayos con biodiesel en el laboratorio</b> .....	9
1.3.1.	<i>Norma ASTM D 240-02 para medición de poder calorífico de un biodiesel</i> .....	9
1.3.1.1.	<i>Objetivo de la Norma ASTM D240-02</i> .....	9
1.3.1.2.	<i>Alcance de la Norma ASTM D240-02</i> .....	9
1.3.2.	<i>Norma ASTM D93 para determinación del Punto de Inflamación</i> .....	9
1.3.3.	<i>Norma ASTM D1298-99 para medición de Gravedad API de diésel y biodiesel</i> .....	9
1.3.4.	<i>Ensayo para la medición de niveles de contaminación</i> .....	9
1.3.4.1.	<i>Contaminación por CO</i> .....	10
1.3.4.2.	<i>Contaminación por NO</i> .....	10
1.3.4.3.	<i>Contaminación por NO<sub>2</sub></i> .....	11
1.3.4.4.	<i>Contaminación por NO<sub>x</sub></i> .....	11
1.3.4.5.	<i>Contaminación por partículas sólidas productos de la combustión</i> .....	11
1.4.	<b>Contaminación producida por los gases productos de la combustión</b> .....	12
1.4.1.	<i>Contaminación de los biocombustibles</i> .....	12
1.4.2.	<i>Efectos de las nanopartículas en los gases producto de la combustión</i> .....	12
1.4.3.	<i>Toxicidad de los nanoaditivos</i> .....	12
<b>CAPITULO II</b>		
2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	14
2.1.	<b>Proceso de obtención de biodiesel a base de aceites usados de cocina</b> .....	14
2.1.1.	<i>Materiales y equipos utilizados en proceso de obtención de biodiesel</i> .....	14
2.1.2.	<i>Proceso de obtención de biodiesel a base de aceite usado de cocina</i> .....	16
2.2.	<b>Síntesis de Nanopartículas de Alofán</b> .....	18
2.2.1.	<i>Materiales, Reactivos y Equipos</i> .....	18
2.2.2.	<i>Proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán</i> .....	21
2.3.	<b>Proceso de medición de Poder Calorífico de biodiesel a base de aceites usados</b> ...24	
2.4.	<b>Determinación de Gravedad API por el método del hidrómetro de biodiesel</b> .....25	
2.4.1.	<i>Proceso para determinar Gravedad API utilizando hidrómetro de vidrio</i> .....	26
2.5.	<b>Determinación de Punto de Inflamación en el equipo Pensky-Martens</b> .....	27

2.5.1.	<i>Proceso para determinación de Punto de Inflamación en equipo Pensky Martens</i>	28
2.6.	<b>Determinación de los niveles de contaminación en equipo Testo 340</b>	30
2.6.1.	<i>Proceso para determinación de niveles de contaminación en equipo Testo 340</i>	32
2.7.	<b>Proceso de aplicación de biodiesel en quemador industrial para fundición</b>	34
2.7.1.	<i>Proceso para utilización de biodiesel en quemador industrial</i>	35

### **CAPITULO III**

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	38
3.1.	<b>Aumento del Poder Calorífico con 50 ppm y 100 ppm de Alofán en biodiesel</b>	38
3.2.	<b>Ensayos de Gravedad API aplicados en muestras de biocombustible</b>	39
3.3.	<b>Ensayos Punto de Inflamación en biodiesel con nanopartículas de Alofán</b>	41
3.4.	<b>Ensayos de contaminación en combustión aplicados en muestras de biodiesel</b>	42
3.4.1.	<i>Análisis de resultados nivel de emisión de CO en ensayo de contaminación</i>	42
3.4.2.	<i>Análisis de resultados nivel de emisión de NOx en ensayo de contaminación</i>	43
3.5.	<b>Análisis de resultados en aplicación de biodiesel en un quemador industrial</b>	44
	<b>CONCLUSIONES</b>	46
	<b>RECOMENDACIONES</b>	47

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Propiedades físicas del Metanol .....	3
<b>Tabla 2-1:</b> Propiedades físicas de la Sosa Cáustica .....	4
<b>Tabla 3-1:</b> Niveles de emisiones vehiculares .....	10
<b>Tabla 4-2:</b> Materiales y Equipos utilizados para obtención de biodiesel .....	14
<b>Tabla 5-2:</b> Materiales y Reactivos utilizados para la síntesis de nanopartículas de Alofán.....	18
<b>Tabla 6-2:</b> Equipos utilizados para la síntesis de nanopartículas de Alofán .....	20
<b>Tabla 7-2:</b> Materiales y Equipos utilizados en determinación de Gravedad API en biodiesel ..	25
<b>Tabla 8-2:</b> Materiales y Equipos para determinar Punto de Inflamación en un biodiesel.....	27
<b>Tabla 9-2:</b> Materiales y Equipos para niveles de contaminación en combustión del biodiesel .	31
<b>Tabla 10-2:</b> Materiales y Equipos para proceso de aplicación de biodiesel.....	34
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados de ensayos de Gravedad API .....	39
<b>Tabla 12-3:</b> Resultados de ensayos de Punto de Inflamación .....	41
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados de ensayos de niveles de contaminación en combustión.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Proceso de obtención de biodiesel .....	5
<b>Figura 2-1:</b> Morfología de la nanopartícula de Alofán. ....	7
<b>Figura 3-1:</b> Esquema del proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán .....	8
<b>Figura 4-1:</b> Órganos contaminados por nanomateriales. ....	13
<b>Figura 5-2:</b> Esquema del prototipo de producción de biodiesel.....	16
<b>Figura 6-2:</b> Llaves de paso de los tanques I y II. ....	17
<b>Figura 7-2:</b> Separación biodiesel-glicerina. ....	17
<b>Figura 8-2:</b> Suspensión de Alofán .....	22
<b>Figura 9-2:</b> Muestra alofán .....	22
<b>Figura 10-2:</b> Muestra Alofán en.....	23
<b>Figura 11-2:</b> Alofán en gel.....	23
<b>Figura 12-2:</b> Nanopartículas de Alofán en polvo.....	24
<b>Figura 13-2:</b> Probeta con biodiesel e .....	26
<b>Figura 14-2:</b> Medición escala de.....	27
<b>Figura 15-2:</b> Equipo Pensky Martens .....	29
<b>Figura 16-2:</b> Encendido llama.....	29
<b>Figura 17-2:</b> Aplicación llama .....	30
<b>Figura 18-2:</b> Equipo Testo 340 analizador de combustión. ....	32
<b>Figura 19-2:</b> Selección de combustible.....	32
<b>Figura 20-2:</b> Proceso de combustión .....	33
<b>Figura 21-2:</b> Colocación de sonda .....	33
<b>Figura 22-2:</b> Resultados de medición .....	34
<b>Figura 23-2:</b> Quemador industrial y bomba de combustible. ....	36
<b>Figura 24-2:</b> Encendido e instalación .....	36
<b>Figura 25-2:</b> Abastecimiento de combustible .....	37
<b>Figura 26-2:</b> Quema de combustible.....	37

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Poder Calorífico Bruto Vs Muestras Biodiesel .....	38
<b>Gráfico 2-3:</b> Gravedad API Vs Muestras Biodiesel.....	40
<b>Gráfico 3-3:</b> Niveles de CO en ensayos de contaminación.....	43
<b>Gráfico 4-3:</b> Niveles de CO en ensayos de contaminación.....	44
<b>Gráfico 5-3:</b> Tiempo de combustión de muestras en quemador .....	45

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>B100</b>	Biodiesel Puro
<b>B100/50ppm</b>	Biodiesel Puro con adición de 50ppm de nanopartículas de Alofán
<b>B100/100ppm</b>	Biodiesel Puro con adición de 100 ppm de nanopartículas de Alofán
<b>B20</b>	Mezcla entre 20% biodiesel y 80% Diésel Premium
<b>B30</b>	Mezcla entre 30% biodiesel y 70% Diésel Premium
<b>B20/50ppm</b>	Mezcla entre 20% biodiesel con 50ppm de Alofán y 80% Diésel Premium
<b>B30/50ppm</b>	Mezcla entre 30% biodiesel con 50ppm de Alofán y 70% Diésel Premium
<b>B20/100ppm</b>	Mezcla entre 20% biodiesel con 100ppm de Alofán y 80% Diésel Premium
<b>B30/100ppm</b>	Mezcla entre 30% biodiesel con 100ppm de Alofán y 70% Diésel Premium

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Informe de Resultados Poder Calorífico en Biodiesel Puro

**Anexo B:** Informe de Resultados Poder Calorífico en biodiesel con adición de 50ppm de Alofán

**Anexo C:** Informe de Resultados Poder Calorífico en biodiesel con adición de 100ppm de Alofán

**Anexo D:** Informe de Resultados Determinación Gravedad API en un biodiesel

**Anexo E:** Informe de Resultados Determinación del Punto de Inflamación en un biodiesel

**Anexo F:** Informe de Resultados Análisis de Combustión en un biodiesel

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la factibilidad del aumento del Poder Calorífico de un biodiesel mediante la adición de nanopartículas de Alofán, a partir de aceite usado de cocina en un prototipo disponible en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH. Para la ejecución del trabajo se realizó la producción de biodiesel por transesterificación y la síntesis de las nanopartículas de Alofán por método de precipitación controlado. El ensayo de Poder Calorífico se realizó bajo la Norma ASTM D-240 obteniendo 37,9543 [MJ/kg] en B100, 38,979 [MJ/kg] para B100/50ppm y 38,7077 [MJ/kg] para B100/100ppm. La emisión de gases contaminantes se cuantificó utilizando el equipo Testo 340 mostrando la cantidad de CO de 80 ppm en Diésel Premium, 20 ppm en B100 y 28 ppm en B30/50ppm, y la cantidad de NOx de 3,2 ppm en Diésel Premium, 2,1 en B100 y 1,6 ppm en B30/50ppm. Además, se determinó que la mezcla adecuada para utilizar es B30/50ppm, ya que es un combustible liviano (35 °API), es 2% más seguro, y reduce en 65% las emisiones de CO y en 50% las emisiones de NOx a la atmósfera en comparación al Diésel Premium. Para futuras producciones de biodiesel en el prototipo se recomienda contemplar los parámetros de cantidad (litros) y velocidad (rpm) adecuados para obtener mejores resultados en el proceso de transesterificación.

**Palabras clave:** <BIODIESEL>, <PODER CALORÍFICO>, <NANOPARTÍCULAS>, <ALOFÁN>, <DIÉSEL PREMIUM>, <COMBUSTIBLE RENOVABLE>



## SUMMARY/ABSTRACT

This degree work main aim was to determine the factibility from a rise on the Calorific Value of a biodiesel through allophane nanoparticles addition , from used cooking oil in an available prototype at the ESPOCH within Mechanical and Industrial Engineering School. For the research performance, a biodiesel production was carried out by transesterification and synthesis of allophane nanoparticles by controlled precipitation method. The Calorific Value test was performed under ASTM D-240 Standard obtaining 37.9543 [MJ / kg] in B100, 38.979 [MJ / kg] for B100 / 50ppm and 38.7077 [MJ / kg] for B100 / 100ppm. The emission of polluting gases was quantified using the Testo 340 equipment showing the amount of CO of 80 ppm in Premium Diesel, 20 ppm in B100 and 28 ppm in B30 / 50ppm, and the amount of NOx of 3.2 ppm in Premium Diesel, 2.1 in B100 and 1.6 ppm in B30 / 50ppm. In addition, it was determined that the appropriate mixture to use is B30 / 50ppm, since it is a light fuel (35 ° API), is 2% safer, and reduces CO emissions by 65% and NOx emissions by 50% to the atmosphere compared to Premium Diesel. For future biodiesel productions, in this prototype is recommended to consider the appropriate quantity (liters) and speed (rpm) parameters to obtain better results in the transesterification process.

**Keywords:** <BOIDIESEL>, <CALORIFIC POWER>, <NANOPARTICULAS>, <ALOFÁN>, <PREMIUM DIESEL>, <RENEWABLE FUEL>



## **INTRODUCCIÓN**

Los combustibles más comunes consumidos en el mundo son la gasolina y el diésel, los cuales se derivan del petróleo y al combustionar producen grandes emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> a la atmósfera, por tal motivo se propone reemplazarlos con biodiesel a base de aceites vegetales, siendo estos de gran interés investigativo en la actualidad.

A lo largo de los últimos años se han utilizado partículas metálicas para mejorar la eficiencia del biodiesel, estas partículas pueden estar comprendidas en la escala de nanómetros, micrómetros y milímetros, siendo el tamaño causante de distintos efectos secundarios, por ejemplo, en el caso de micropartículas provocan una combustión lenta y en algunos de los casos las partículas no llegan a combustionarse completamente. (Jones et al., 2011)

Debido a la existencia de un prototipo para la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina, de una capacidad de 5 litros, en la Escuela de Ingeniería Mecánica en la ESPOCH, del cual se obtuvo un valor de Poder Calorífico relativamente bajo para ser utilizado en aplicaciones industriales, en este trabajo se pretende determinar si es factible el aumento del poder calorífico mediante la adición de nanopartículas de Alofán a distintas concentraciones.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar la factibilidad del aumento del Poder Calorífico de un biocombustible mediante la adición de nanopartículas de Alofán.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar el Poder Calorífico del biodiesel mejorado en función a la variación de la concentración de nanopartículas de Alofán.
- Realizar pruebas en una aplicación industrial a diésel, utilizando biodiesel con nanopartículas de Alofán.
- Comparar niveles de contaminación ambiental al combustionar distintas muestras de biodiesel con nanopartículas de Alofán.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo comprende el proceso de obtención del biodiesel a base de aceites usados de cocina, se detalla el proceso de obtención de nanopartículas sintéticas de Alofán, como las características de los ensayos aplicados en el biodiesel (Poder Calorífico, Punto de Inflamación, Grados API y niveles de contaminación).

### 1.1. Composición, propiedades y proceso de obtención de biodiesel a base de aceites usados de cocina.

#### 1.1.1. *Biodiesel*

Un biodiesel es un biocombustible, compuesto de mezclas de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadenas de carbono medias y largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales. Siendo su denominación: “B” para referirnos a un biodiesel común. (Merizalde y Lascano, 2013)

#### 1.1.2. *Biodiesel BX*

Según Merizalde y Lascano (2013), para denominar una mezcla entre Diésel Premium y biodiesel, se utilizará “X” para indicar el porcentaje de biodiesel en la mezcla, por ejemplo: B10 indica que la mezcla contiene 10% biodiesel y el 90% restante es Diésel Premium. En nuestro trabajo utilizaremos B100, B20 y B30; para la realización de los distintos ensayos, y comparaciones entre si.

#### 1.1.3. *Poder Calorífico en biocombustibles*

Poder Calorífico es el porcentaje de energía desprendida en el proceso de combustión, referente a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un [kg] o [m<sup>3</sup>] de combustible al oxidarse completamente. (Avalos y Velastegui, 2017)

El Poder Calorífico se mide por unidad de masa ([Kcal/kg]; [Kcal/m<sup>3</sup>]; [BTU/lb]; [BTU/pie<sup>3</sup>]) en un combustible, es importante porque es directamente proporcional a la eficiencia del trabajo en máquinas y motores.

En un estudio acerca de Poder Calorífico de un biodiesel obtenido a partir de aceite de higuera usado en comparación con el diésel normal tiene una reducción del 17.5% lo que marca una gran diferencia e incentiva a la búsqueda de aditivos que compensen este déficit.(Benavides et al., 2007)

#### **1.1.4. Máquina prototipo para la producción de biodiesel existente en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH**

El prototipo disponible en la Escuela de Ingeniería Mecánica tiene una capacidad de producción de 5 litros de biodiesel por el método de transesterificación, requiere una fuente de alimentación eléctrica de 110 V para que se pueda conectar en cualquier lugar, está construido con acero inoxidable ASTM 304 debido a que está en contacto con sustancias corrosivas, de acuerdo a su diseño tiene facilidad de mantenimiento, está compuesto por tres tanques reservorios cada uno con su respectivo sistema de agitación (motor y paletas de agitación), los denominaremos como tanques I,II y III; los mismos que son controlados por una programación electrónica.

En la repotenciación del equipo se reguló la velocidad de agitación de los motores a 600 rpm para evitar salpicaduras de fluidos, si en producciones futuras se desea experimentar bajo otras condiciones se sugiere controlar la velocidad de agitación regulando la posición de los dimmer existentes para cada motor en la caja de control de prototipo.

#### **1.1.5. Propiedades de los reactivos utilizados para la obtención del biodiesel**

##### **1.1.5.1. Metanol**

Es un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

**Tabla 1-1: Propiedades físicas del Metanol**

<b>Propiedades Físicas del Metanol</b>	
Densidad	791,8 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Viscosidad	0,59 [mPa.s] a 20 °C
Punto de ebullición	64,65°C (337,8°K)
Punto de fusión	-97,15°C (176°K)
Masa molecular	32,04 [uma]
Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro

**Fuente:** (Avalos y Velastegui, 2017)

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

### 1.1.5.2. Sosa Cáustica

La Sosa Cáustica (NaOH), es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Es una sustancia manufacturada. Es un reactivo muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como solución de 50% de pureza. (Avalos y Velastegui, 2017)

**Tabla 2-1:** Propiedades físicas de la Sosa Cáustica

Propiedades Físicas de la Sosa Cáustica	
Densidad	2100 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Punto de ebullición	1389,85°C (1663°K)
Punto de fusión	322,85°C (596°K)
Masa molecular	40 uma
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Blanco

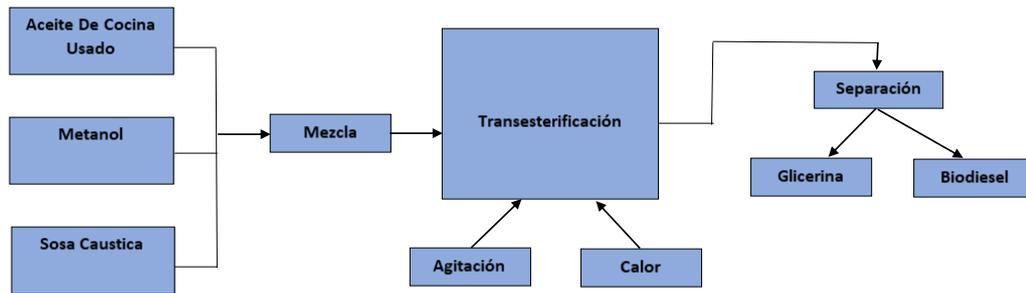
**Fuente:** (Avalos y Velastegui, 2017)

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

### 1.1.6. *Proceso para la obtención del biodiesel a base de aceite vegetal (transesterificación)*

El biodiesel se obtiene mediante la reacción de transesterificación que consiste en reemplazar el Glicerol por un alcohol simple, este proceso permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de Glicerina en la molécula. Para lograr la reacción se requieren temperaturas entre 40°C y 60°C, así como la presencia de un catalizador. (Arbeláez y Castillo, 2018)

La transesterificación se produce combinando un 80 % de aceite vegetal, 20 % de Metanol y 3,6 gramos de Sosa Cáustica (catalizador). Estos elementos deben ser mezclados una hora y dejar reposar durante 8 horas. Luego que la reacción se haya completado y los nuevos productos hayan decantado se obtendrá biodiesel y glicerina. El biodiesel es de color ámbar y fluye como agua; la glicerina de color marrón, teniendo una consistencia gelatinosa queda en el fondo pudiendo ser retirado por bombeo o drenado. (Avalos y Velastegui, 2017)



**Figura 1-1.** Proceso de obtención de biodiesel

Fuente: (Arbeláez y Castillo, 2018)

Realizado por: Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

## 1.2. Nanopartículas

### 1.2.1. Definición de Nanopartículas

Nanopartícula, nanopolvo o nanocrystal, es aquella partícula microscópica que posee dimensiones mayores a 1 nanómetro pero menores a 100 nanómetros. Se pueden presentar en distintas formas morfológicas como: fibras, hojas, tubos, esferas, etc. (Martínez y Vargas, 2019: p.4)

Las nanopartículas son tema de investigación y avance tecnológico que tiene como finalidad dar mejora a productos ya elaborados, se utilizan en diversas áreas como la medicina, la electrónica, la industria textil, la cosmética, en el sector automovilístico, en aislamientos térmicos e incluso en la alimentación, etc.(Prats et al.,2016)

### 1.2.2. Nanopartículas en combustibles

Los nano aditivos han tenido mucho auge en la investigación para poder resaltar los aspectos positivos de estas adiciones. Como resultado de investigaciones previas se sabe que al adicionar nanopartículas de aluminio (n-Al) en concentraciones de 0,01% y 0,5% en volumen sin importar la forma y/o el tamaño al combustible diésel se produce una mejora en la capacidad de ignición en comparación al combustible solo. Se dice también que la velocidad de combustión aumenta con partículas más pequeñas de (n-Al) y depende de la presión y temperatura. (Jones et al., 2011)

Según Benavides (2017) si se adicionan nanoaditivos al combustible de una fuente de combustión, se consigue una reducción de las emisiones gaseosas producto de la combustión y también para reducir el consumo del combustible. Esto ocurre siempre y cuando la combustión sea completa.

Mezclar un nanoaditivo en un combustible presenta dificultad debido a la presencia de agua en el combustible que dificulta la dispersión de las nanopartículas y no permiten que estas cumplan su función de manera eficiente. (Benavides, 2017)

Los aditivos normales y los nanoaditivos funcionan de manera diferente, el nanoaditivo activa la combustión total del hidrocarburo porque actúa directamente sobre la reacción de combustión,

los datos indican que la reducción del consumo de combustible puede llegar hasta un 18% con una eficiencia de 0,9 indicando un mejor rendimiento del motor de combustión. Por otra parte, está el lado ambiental, en donde se obtienen reducciones de gases contaminantes productos de la combustión. Si las nanopartículas están desvinculadas de sustancias nocivas o tóxicas no provocan ninguna desventaja, se pueden añadir a la fuente de combustible y mezclar mediante agitación manual o mecánica. (Benavides, 2017)

Otro punto a favor de los nanoaditivos es que también reducen la tasa de corrosión y la propagación de sedimentos; también se ha comprobado que la adición de nanoaditivos en el combustible no modifica el comportamiento mecánico del motor y tampoco provoca impactos negativos en el mismo. (Benavides, 2017)

En cuanto a nanopartículas de alúmina en específico, los estudios realizados, comprobaron el aumento del rendimiento de un motor de 77,9% normal a 86,3% con adición de nanopartículas; además de la reducción de gases contaminantes en la atmósfera en un 8%. (Basha y Anand, 2011; citados en Benavides, 2017).

El funcionamiento de las nanopartículas es de manera física, son agregados físicos que no reaccionan químicamente en la mezcla, sino que las nano esferas están presentes en el combustible; cambian la estructura atómica del combustible, pero mantienen su formación molecular y la termodinámica intactas. La función de las nanoesferas recubiertas por una coraza de alta resistencia es actuar como bombas que estallan debido a la alta temperatura de combustión que se produce en la cámara de combustión. (Benavides, 2017).

### ***1.2.3. Nanopartículas en biocombustibles***

En la actualidad, los biocombustibles obtenidos a través de aceites vegetales, son considerados una alternativa al uso de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, pero debido a que la eficiencia de sus propiedades es muy baja, se realizan estudios de adición de nanopartículas de diferentes elementos químicos para mejorarlas.

Para determinar la concentración de nanopartículas en el biocombustible, se toman la información de Balseca y Naranjo (2018) que indica una adición de 25 ppm, 50 ppm y 100 ppm de nanopartículas de óxido de alúmina en biodiesel para medición de poder calorífico y niveles de emisión de contaminantes.

Dado que el Alofán es un aluminosilicato, en esta investigación se utiliza la adición de 50 ppm y 100ppm de concentración de nanopartículas de Alofán en el biodiesel a base de aceites usados de cocina para la realización de ensayos correspondientes y evaluación de propiedades.

Un estudio realizado referente al trabajo y eficiencia de motores que trabajan con mezclas de biocombustibles, combustibles y nanoaditivos mostraron resultados con una mejora en

comparación de los combustibles sin adición de nanopartículas. (Sundaresan et al., 2015; citados en Benavidez, 2017)

#### **1.2.4. Nanopartículas de Alofán: composición y proceso de síntesis química**

##### **1.2.4.1. Alofán**

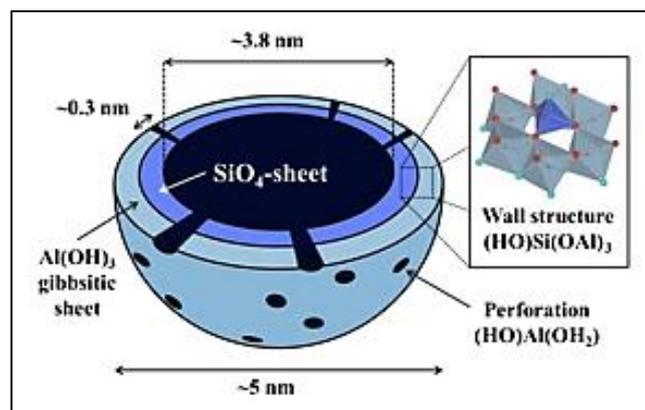
El Alofán es un mineral natural, por lo general encontrado en suelos volcánicos presente entre un (35-40) % aproximadamente con pH aproximadamente de 5. Es un aluminosilicato hidratado amorfo, compuesto por partículas esféricas huecas con diámetros de 3,5[nm] a 5[nm], con una composición química que da una relación Si/Al típicamente de 0,5 a 1. (Iyoda et al., 2012)

Se piensa que las paredes de las partículas están compuestas por dos hojas: una placa octaédrica de Aluminio y una placa tetraédrica de Silicio con poros abiertos accesibles. Siendo un mineral con características absorbentes, el Alofán contiene impurezas indeseables como partículas de arena, limo y arcillas, los cuales son muy difíciles de separarlos por lo que se hace complicada su utilización en forma natural. (Iyoda et al., 2012)

##### **1.2.4.2. Nanopartículas de Alofán**

Una nanopartícula de Alofán tiene forma esférica porosa, su diámetro externo varía entre (3,5 y 5) [nm], el radio interior de (1 a 2) [nm], con espesores comprendidos entre (0,7 y 1) [nm], el diámetro de los poros tiene un rango de (0,3 y 0,4) [nm], con un área superficial entre (400 a 900) [ $m^2/g$ ]. De acuerdo al predominio del Al o Si en la partícula de Alofán su composición cambia y se pueden encontrar en la naturaleza Alofán rico en silicio (Al/Si = 1) y rico en aluminio (Al/Si = 2). (Cayambe y Castañeda, 2019)

En la figura 2-1 se observa la morfología de una nanopartícula de Alofán, sus componentes y microestructura.



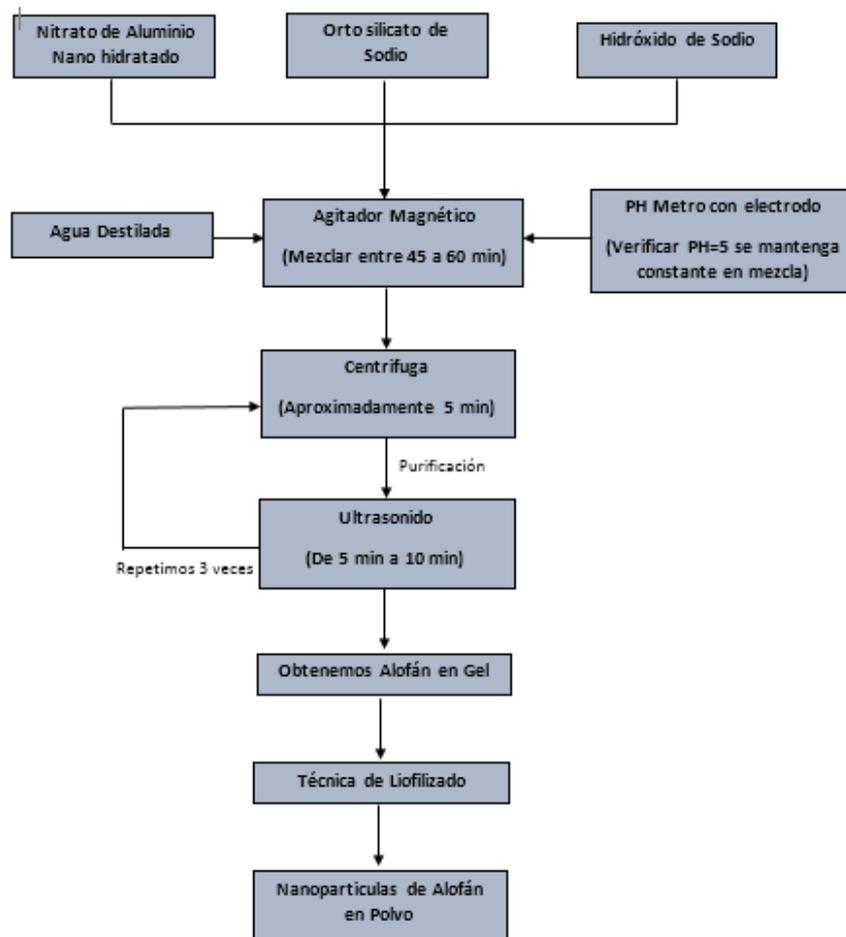
**Figura 2-1.** Morfología de la nanopartícula de Alofán.

Fuente: (Iyoda et al., 2012)

Las nanopartículas de Alofán se encuentran en suelos volcánicos, para obtener estas partículas de un andosol se procede de la siguiente manera: eliminación de la materia orgánica, y óxidos de hierro en el orden respectivo, para luego proceder a separar las fracciones nanométricas. Otra forma de obtener alofán es mediante la síntesis por métodos de obtención de nanopartículas. (Cayambe y Castañeda, 2019).

#### 1.2.4.3. Proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán

El proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán consiste en mezclar Nitrato de Aluminio, Hidróxido de Sodio y Ortosilicato de Sodio mediante agitación manteniendo el pH constante. Luego introducimos la muestra en una máquina centrífuga en donde obtenemos un gel de alofán, el mismo que debe ser lavado hasta que no se detecte la presencia de  $\text{NO}_3$  mediante baño de ultrasonido, por último, para obtener el polvo de nanopartículas de alofán, se aplica la técnica de liofilizado. (Silva, 2016)



**Figura 3-1.** Proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán

**Fuente:** (Silva, 2016)

### **1.3. Normas para la realización de ensayos con biodiesel en el laboratorio**

En esta sección se detallan las normas utilizadas para la evaluación de propiedades como Poder Calorífico, Punto de Inflamación, Gravedad API y medición de niveles de contaminación.

#### ***1.3.1. Norma ASTM D 240-02 para medición de poder calorífico de un biodiesel***

##### ***1.3.1.1. Objetivo de la Norma ASTM D240-02***

Esta norma tiene por objeto la determinación del Poder Calorífico de combustibles líquidos.

##### ***1.3.1.2. Alcance de la Norma ASTM D240-02***

Este método de prueba cubre la determinación del calor de la combustión de combustibles hidrocarburos líquidos con niveles de volatilidad que van desde la de destilados ligeros hasta la de los combustibles residuales. Este método se aplica a combustibles como Gasolinas, Kerosenes, aceites combustibles 1 y 2, diésel combustible 1-D y 2-D y combustibles para turbinas de gas 0-GT, 1-GT y 2-GT. (ASTMD240-02, 2007)

#### ***1.3.2. Norma ASTM D93-02a para determinación del Punto de Inflamación de un combustible***

Este método de ensayo establece el procedimiento para la determinación del Punto de Inflamación de los productos del petróleo como Diésel Oil, Kerosene, combustibles de avión, lubricantes en un rango de temperatura de 40 °C a 360°C, por medio del equipo manual Pensky – Martens copa cerrada. El Punto de Inflamación se utiliza en las reglamentaciones de envío y seguridad para definir materiales inflamables y combustibles. (ASTMD93, 2002)

#### ***1.3.3. Norma ASTM D1298-99 para medición de Gravedad API de diésel y biodiesel***

Este método de ensayo establece el procedimiento para determinar la gravedad API en el laboratorio del petróleo crudo, productos del petróleo, mezclas de derivados y no derivados del petróleo que sean líquidos y tengan una presión de vapor de 101.33 KPa (14.7 psi) o menos. (ASTMD1298, 1999)

#### ***1.3.4. Ensayo para la medición de niveles de contaminación***

Este ensayo tiene como finalidad cuantificar los gases producto de la combustión, se lo realiza en el equipo Testo 350, del que se obtienen las mediciones directamente en la pantalla digital del mismo, los gases a analizar en este equipo son: O<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, y velocidad de consumo de combustible. El principio de funcionamiento de este equipo se basa en sensores individuales para cada uno de los componentes a medir, a través de una sonda que se acerca al escape de los

gases productos de la combustión, el aire contaminado va marcando las concentraciones de cada uno de los gases mencionados anteriormente.

En Ecuador se establecen los límites de emisiones vehiculares para transporte liviano y pesado, los mismos que no deben ser superiores a los tabulados a continuación:

**Tabla 3-1:** Niveles de emisiones vehiculares

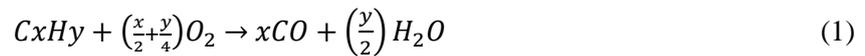
Categoría	Peso bruto del vehículo [Kg]	Peso del vehículo cargado [Kg]	CO [g/Kg]	HC [g/Kg]	NOx [g/Kg]	Partículas [g/Kg]
Vehículos livianos	Todos	Todos	2,1	0,25	0,62	0,12
Vehículos medianos	3860	1700	6,2	0,5	0,75	0,16
		>1700 < 3860	6,2	0,5	1,1	0,28
Vehículos pesados **	> 3860	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10**

Fuente: (INEN, 2002)

A continuación, se describen las consecuencias de cada uno de los gases contaminantes productos de la combustión del diésel en la salud y la afectación al medio ambiente.

#### 1.3.4.1. Contaminación por CO

El O<sub>2</sub> se origina como resultado de una combustión incompleta, no llega a convertirse en CO<sub>2</sub> por falta de oxidación del combustible. (Valencia, 2013). A continuación, la reacción química:



#### 1.3.4.2. Contaminación por NO

El NO o monóxido de nitrógeno es un compuesto incoloro. (Crana, 2015). Es responsable de la lluvia ácida debido que al mezclarse con agua produce ácido nítrico, se produce por las altas temperaturas de la combustión en los gases de escape. (Balarezo, 2013). A continuación, la reacción química:



El NO contamina directamente la atmósfera provocando el efecto invernadero que es el causante del calentamiento global y destrucción de la capa de ozono. Es el Monóxido de Nitrógeno el gas más abundante de los óxidos de nitrógeno que se emiten a la atmósfera como producto de la combustión. (Crana, 2015).

#### 1.3.4.3. Contaminación por $NO_2$

El Dióxido de Nitrógeno es un compuesto muy tóxico, no es inflamable, se mezcla con el agua y su color es rojizo. Se considera un agente oxidante de alta potencia que actúa como comburente. Su solubilidad en el agua permite la formación de ácidos nítricos o ácidos nitrosos que son los principales causantes de la lluvia ácida, y en cuanto a la salud según estudios epidemiológicos se sabe que la exposición a este gas puede provocar afectaciones en las vías respiratorias y pulmones dependiendo del tiempo de exposición los cambios en la estructura y funcionalidad de los pulmones es irreversible, sobre todo en aquellas personas con problemas de asma. (Crana, 2015)

Reacciones de formación del ácido nítrico y nitroso



#### 1.3.4.4. Contaminación por $NO_x$

Los  $NO_x$  son un grupo de gases que se forman a partir de la reacción del  $NO_2$  y  $NO$ ; es una sustancia amarillenta que se produce debido a las altas temperaturas de la combustión, a la quema de rastrojos, incendios forestales, erupciones volcánicas se encuentra también en las plantas de generación eléctrica, pero la principal fuente de emisión de este gas son los motores de combustión interna del sector automovilístico. (Montalt, 2018)

Las afectaciones a la salud provocadas por este gas son: corrosión en la piel provocando enrojecimiento e irritación, y corrosión en el tracto respiratorio, a pesar de que esto se produce cuando se inhala gran cantidad de este gas en períodos de tiempo muy cortos, por lo general las personas se cubren y/o evitan inhalar este humo; al contrario del aire que no puede evitar contaminarse con este, que es el que provoca el conocido smog causante de la destrucción de la capa de ozono.

#### 1.3.4.5. Contaminación por partículas sólidas productos de la combustión

Existen dos tamaños referenciales de las partículas sólidas producto de la combustión de diésel, PM 10 (concentración másica de partículas menores a 10 micras en  $[\mu g/m^3]$ ) y PM 2,5 (concentración másica de partículas menores que 2,5 micras, en  $[\mu g/m^3]$ ). Las principales afectaciones que provocan estas partículas están relacionadas con enfermedades de las vías respiratorias, las tasas de mortalidad más graves por enfermedades de vías respiratorias están enlazadas con partículas PM 10; además de ello estos tipos de partículas están enlazados con carcinogenicidad y mutagenicidad. (Rojas, 2004)

Según Rojas (2014) en biodiesel y mezclas BX aumenta el porcentaje de partículas sólidas de 3% a 20% (biodiesel a partir de aceite de soja) además de que en la mezcla BX aumenta en cantidad la producción de partículas ultrafinas.

#### **1.4. Contaminación producida por los gases productos de la combustión**

##### ***1.4.1. Contaminación de los biocombustibles***

El uso de biodiesel puede mejorar los niveles de emisión de ciertos contaminantes y degradar los de otros, para poder cuantificar el efecto del biodiesel se debe analizar factores como la materia prima (en este caso aceite vegetal), el ciclo de conducción y la tecnología de la máquina en donde se ha de utilizar es biodiesel.

##### ***1.4.2. Efectos de las nanopartículas en los gases producto de la combustión***

Un estudio realizado establece que al añadir nanopartículas de alúmina y ácido oleico en concentraciones de 10 y 20 ppm a las mezclas de combustibles se obtuvo una reducción de 11% y 25% en SO<sub>2</sub> y material particulado, sin cambio significativo en cuanto a CO<sub>2</sub> y un aumento de NO<sub>2</sub> desde 2.1 [g/KWh] a 3.1 [g/KWh]. (Peñaloza et al., 2017)

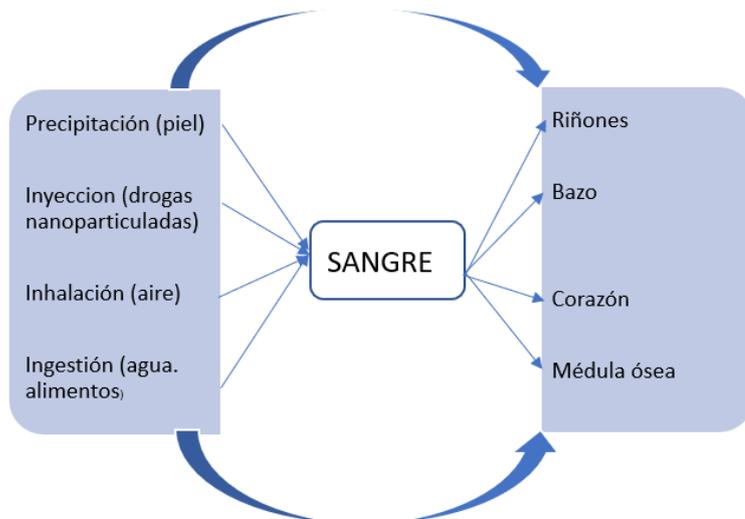
##### ***1.4.3. Toxicidad de los nanoaditivos***

Las nanopartículas se han convertido en productos comerciales debido a su eficacia como aditivos de los combustibles y su desmedida producción ha levantado el interés de los investigadores en el análisis de los riesgos que se corren al momento de manejar nanopartículas, y determinar cuáles de estas pueden ser de peligro para la salud humana o el medio ambiente. (Heras et al., 2014)

Para procesar nanopartículas y evaluar el comportamiento de estas en el ambiente y/o en el cuerpo humano, se han determinado cuatro factores fundamentales que son: la composición química de las nanopartículas, el tamaño, la morfología y la actividad superficial. (Heras et al., 2014)

Se debe analizar el contacto que tendrán las nanopartículas con el medio ambiente y las personas alrededor de las máquinas o motores de combustión, y por lo tanto, las posibles afectaciones que causan las nanopartículas en la salud de quienes se exponen a esta situación ya que estas pueden atravesar el cuerpo humano por diferentes medios de acuerdo a la situación como estén expuestos (vías respiratorias por inhalación; vía tracto intestinal a través de agua contaminada). (Heras et al., 2014)

A continuación, se muestra según Heras et al., (2014) una relación de los órganos que se pueden ver afectados por nanopartículas y las vías de contacto:



**Figura 4-1.** Órganos contaminados por nanomateriales.

**Fuente:** (Heras, y otros, 2014)

Las nanopartículas y su toxicidad no son determinantes a ciencia cierta debido al reciente uso de los mismos y por lo tanto no se han esclarecido las consecuencias a largo plazo, además de que la mayoría de investigaciones de nanotoxicidad son realizadas en animales, cabe recalcar que en el caso de la combustión con nanoaditivos al estar los gases productos de la combustión (Heras et al., 2014)

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detallan los procesos de obtención de biodiesel a base de aceites usados de cocina, síntesis de nanopartículas de Alofán, medición de Poder Calorífico en biodiesel, ensayo de Gravedad API, ensayo de Punto de Inflamación copa cerrada, así como también se determinó los niveles de contaminación producto de la combustión.

#### 2.1. Proceso de obtención de biodiesel a base de aceites usados de cocina

Para la obtención de biodiesel a base de aceites usados de cocina se utilizó una máquina de 5 litros de capacidad disponible en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH que aplica el proceso de transesterificación.

##### 2.1.1. *Materiales y equipos utilizados en proceso de obtención de biodiesel*

Los equipos y materiales utilizados en el proceso de obtención de biodiesel se describen en la Tabla 4-2 a continuación:

**Tabla 4-2:** Materiales y Equipos utilizados para obtención de biodiesel

Material y/o Equipo	Ilustración	Especificaciones
<b>Maquina prototipo para producción de biodiesel</b>		Máquina de acero inoxidable, en la cual utilizamos 5lt de aceite usado de cocina, 1lt de Metanol y 3,6gr de Sosa Cáustica para obtención de biodiesel y glicerina por proceso de transesterificación.

Continúa

Continúa

<p><b>Metanol (Ácido Metílico)</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Alcohol Metílico 99,9° G.L</li><li>▪ Estado de agregación: Líquido</li><li>▪ Apariencia: Incoloro</li></ul>
<p><b>Aceite Vegetal Comestible</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aceite vegetal comestible, para la producción de biodiesel se utilizó 5 litros de aceite usado para freír dos veces y filtrado para evitar el uso de impurezas en el proceso.</li></ul>
<p><b>Sosa Caustica</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formula: NaOH</li><li>▪ Densidad: 2100 [Kg/m<sup>3</sup>]</li><li>▪ Estado de agregación: Sólido</li><li>▪ Apariencia: Blanco</li></ul>

Continúa

Continúa

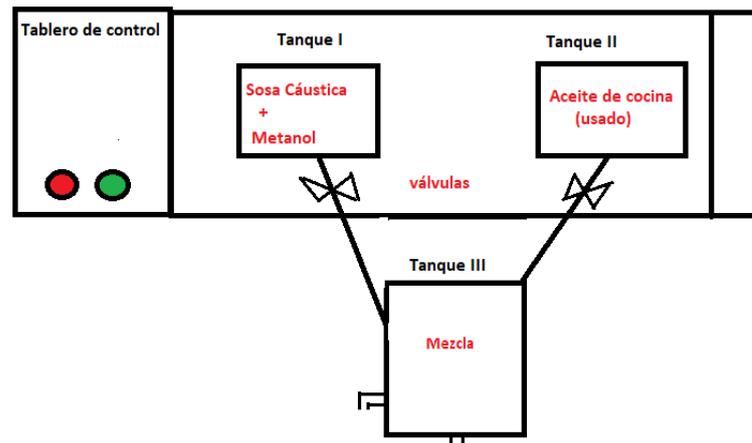
<p><b>Balanza Digital</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Marca: Yingjie</li><li>▪ Capacidad: 500g*0.01g</li><li>▪ Color: Plateada</li><li>▪ Alimentación: 2 baterías AAA</li></ul>
-------------------------------	---	---

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

### 2.1.2. Proceso de obtención de biodiesel a base de aceite usado de cocina

Los pasos a seguir para utilización del equipo y proceso de obtención de biodiesel son los siguientes:

- Medir 5 litros de aceite usado de cocina, 1 litro de Metanol absoluto y 3,6 gramos de Sosa Cáustica.
- Introducir las sustancias químicas y el aceite en el prototipo.



**Figura 5-2.** Esquema del prototipo de producción de biodiesel

Realizado por: Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Poner 1 litro de Metanol y los 3,6 gramos de Sosa Cáustica en el tanque I.
- Colocar los 5 litros de aceite usado en el tanque II.

- Al encender el equipo, automáticamente empezara a girar la paleta del tanque I durante 20 minutos continuos para compactar la mezcla entre el metanol y sosa caustica; transcurridos 20 minutos se detiene.
- Inmediatamente empieza la agitación y calentamiento del aceite usado en el tanque II, el calentamiento es inducido por una resistencia eléctrica que eleva la temperatura del aceite con la finalidad de controlar su viscosidad, esto tarda aproximadamente 5 minutos y se detiene.
- Se abren las llaves de paso de cada cilindro para vaciarlos en el tanque III.



**Figura 6-2.** Llaves de paso de los tanques I y II.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Una vez vacíos los tanques I y II, empezará la mezcla entre aceite, Metanol y Sosa Cáustica en el tanque III, este proceso dura 1 hora y la máquina se apaga automáticamente.
- Se deja reposar la mezcla aproximadamente 10 horas para que se cumpla el proceso de transesterificación y se obtengan 5 litros de biodiesel (color dorado) y 1 litro de glicerina (color marrón) separados por diferencia de densidades.



**Figura 7-2.** Separación biodiesel-glicerina.

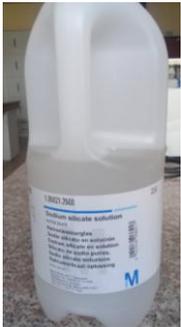
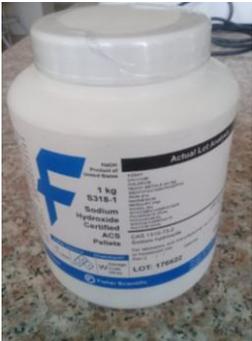
**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

## 2.2. Síntesis de Nanopartículas de Alofán

### 2.2.1. Materiales, Reactivos y Equipos

Los materiales, reactivos y equipos utilizados para el proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán se muestran en la Tabla 5-2 y Tabla 6-2 respectivamente:

**Tabla 5-2:** Materiales y Reactivos utilizados para la síntesis de nanopartículas de Alofán

Material y/o Reactivo	Ilustración	Especificaciones
<b>Nitrato de Aluminio Nona hidratado</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formula: <math>\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}</math></li><li>▪ Densidad: 1,72 <math>[\text{g}/\text{cm}^3]</math></li><li>• Apariencia: Sólido Incoloro</li></ul>
<b>Silicato de Sodio</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formula: <math>\text{Na}_2\text{SiO}_3</math></li><li>▪ Densidad: 2,4 <math>[\text{g}/\text{cm}^3]</math></li><li>• Masa molar: 122,06 <math>[\text{g}/\text{mol}]</math></li></ul>
<b>Hidróxido de Sodio</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formula: <math>\text{NaOH}</math></li><li>▪ Densidad: 2,13 <math>[\text{g}/\text{cm}^3]</math></li><li>▪ pH: 13</li></ul>

Continúa

Continúa

<p><b>Agua Destilada</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formula: <math>H_2O</math></li><li>▪ Densidad: <math>1,4 [g/cm^3]</math></li><li>▪ Masa molar: <math>18,015 [g/mol]</math></li></ul>
<p><b>Balón de 100 ml</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utilizado para mezcla y medición de reactivos químicos.</li><li>▪ Material de laboratorio.</li></ul>
<p><b>Vaso de precipitación de (250 y 500) [ml]</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utilizado para mezcla y medición de reactivos químicos.</li><li>▪ Material de laboratorio</li></ul>
<p><b>Pera y pipeta de 10 [ml]</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utilizado para mezcla y medición de reactivos químicos.</li><li>▪ Material de laboratorio</li></ul>

Continúa

Continúa

<p><b>Contenedor plástico de 45 [ml]</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Utilizado para mezcla y medición de reactivos químicos.</li><li>▪ Utilizado en proceso de baño de ultrasonidos</li></ul>
--	---	--

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

**Tabla 6-2:** Equipos utilizados para la síntesis de nanopartículas de Alofán

<p><b>Balanza Electrónica Analítica</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Marca: Ohaus Corporation</li><li>▪ Precisión: 0,0001[g]</li><li>▪ Capacidad máxima: 220[g]</li></ul>
<p><b>Agitador Magnético</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Marca: Sonica Sweep System</li><li>▪ Rango de temperatura: 5°C a 40°C</li><li>▪ Modelo: 500 [watt]</li></ul>
<p><b>pH metro de mesa con electrodo</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Marca: Deco</li><li>▪ Rango de pH: 0 a 14</li><li>▪ Rango de temperatura: 0°C a 100°C</li></ul>

Continúa

Continúa

<p><b>Centrífuga</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Marca: Orto alresa</li><li>▪ Capacidad rotor máxima: 4 x 100[ml]</li><li>• Velocidad rotación máxima: 3000 rpm</li></ul>
<p><b>Magneto para agitador magnético</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Accesorio utilizado para realizar la mezcla en un agitador magnético</li></ul>

**Elaborado por:** Guano Catherine, Morales Christian, 2019

### **2.2.2. Proceso de síntesis de nanopartículas de Alofán**

El proceso de obtención de polvo de nanopartículas de Alofán detallado por Silva (2016) es el siguiente:

- Pesar 33,76 [g] de Nitrato de Aluminio nonahidratado y 8[g] de Hidróxido de Sodio, luego cada uno se disuelve en 100 [ml] de agua destilada respectivamente en los balones de 100 [ml].
- Medir 17,75 [ml] de Silicato de Sodio y completar la diferencia de agua destilada para obtener una mezcla equivalente a 100 [ml] en balón aforado de 100 [ml].
- Medir 200 [ml] de agua destilada en el vaso de precipitación de 250ml.
- Listas las muestras, en el agitador magnético colocar el vaso de precipitación de 500[ml] e introducir el magneto, agregar los 200 [ml] de agua destilada y los 100[ml] de Silicato de Sodio, encender el agitador e insertar el pH metro el cual debe marcar al inicio un pH de 12.

- Una vez iniciada la agitación, agregar 74,1 [ml] de Nitrato de Aluminio nonahidratado (baja el pH) y 65 [ml] de Hidróxido de Sodio (sube el PH) al mismo tiempo, se debe controlar que se mantenga un pH promedio de 5, el tiempo de agitación está entre (45 - 60) min aproximadamente. Como resultado se obtiene una suspensión de 300 [ml] de Alofán.



**Figura 8-2.** Suspensión de Alofán

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Medir muestras de Alofán de 45[ml] en los contenedores plásticos, los mismos que serán sometidos a la centrifuga durante 15 minutos.



**Figura 9-2.** Muestra alofán líquido para centrifuga.

**Realizado por:** Guano, Catherine;

Morales, Christian; 2019.

- De la máquina centrífuga, se obtiene dos fases de diferentes densidades, en la parte de inferior se obtiene Alofán sintético en gel y en la parte superior agua destilada con Nitrato de Sodio, la cual se debe desechar, para reemplazarla con agua destilada limpia y ser sometida al baño de ultrasonido durante 10 minutos para un proceso de suspensión.



**Figura 10-2.** Muestra Alofán en gel y agua destilada

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Se recomienda someter a centrifuga y baño de ultrasonido de dos a tres veces para obtener mejores resultados).



**Figura 11-2.** Alofán en gel

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Finalmente, para la tener las nanopartículas sintéticas de Alofán en polvo, necesitamos someter el Alofán sintético en gel a un proceso de liofilizado, en el cual el gel es expuesto a presión de vacío y temperatura, para que el agua destilada aun existente sea extraída y lograr

obtener 8[g] aproximadamente de nanopartículas de Alofán en polvo con las cantidades de reactivos ocupadas en el proceso.



**Figura 12-2.** Nanopartículas de Alofán en polvo

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

### **2.3. Proceso de medición de Poder Calorífico de biodiesel a base de aceites usados**

La medición de Poder Calorífico Bruto de una sustancia líquida en general se realiza a través de instrumentos llamados calorímetros, y de acuerdo a las características y propiedades de cada uno se aplican diferentes normas estandarizadas.

Debido a que nosotros tenemos un biodiesel a base de aceites usados, se realizaron ensayos basados en la Norma ASTM D-240, la cual se rige exclusivamente a combustibles, pero debido a que en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no existen este tipo de calorímetros para combustibles, estos se realizaron en la Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador.

El calorímetro quema una cantidad de biodiesel y cuantifican el calor producido a través de energía térmica. Constan de dos cámaras separadas por una pared metálica que impide el contacto entre ambas, en una se ubica 2 litros de agua pura y en la otra 100 ml de biodiesel. En el proceso intervienen también un termómetro, un dispositivo de agitación y dos barras de eléctricas de ignición. (Avalos y Velastegui, 2017: p.123)

Se enviaron tres muestras, 100 [ml] de nuestro biodiesel común, 100 [ml] de biodiesel con 100 ppm de nanopartículas de Alofán sintéticas y 100 [ml] de biodiesel con 50 ppm de nanopartículas de Alofán, obteniendo resultados a los 8 días laborables posteriores al envío, los mismos que se adjuntan en los anexos del documento.

## 2.4. Determinación de Gravedad API por el método del hidrómetro de biodiesel a base de aceites usados

Para la determinación de Gravedad API se aplicó la Norma ASTM D-1298 y NTE INEN 2319, la cual permite hallar con un hidrómetro de vidrio la Gravedad API del petróleo y sus derivados, instrumentos existentes en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los equipos y materiales utilizados para calcular Gravedad API se muestran en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2:** Materiales y Equipos utilizados para determinación de Gravedad API en biodiesel

Material y/o Equipo	Ilustración	Especificaciones
<p>1. Probeta de 500 [ml] y 1000 [ml]</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Material de laboratorio utilizado para mezclas o mediciones de sustancias químicas.</li> </ul>
<p>2. Hidrómetro de vidrio</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Marca: Safetyblue</li> <li>Rango de temperatura: 0°F a 150°F</li> <li>Longitud: 385 [mm]</li> </ul>
<p>3. Muestras de biodiesel común y mezclado con nanopartículas de alofán sintéticas a distintas concentraciones.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Biodiesel a base de aceites usados de cocina, al cual se añadirán nanopartículas de alofán a distintas concentraciones para aplicar el ensayo de Gravedad API.</li> </ul>

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

#### 2.4.1. *Proceso para determinar Gravedad API utilizando un hidrómetro de vidrio con biodiesel*

- Ocupar una probeta de 500 [ml] o 1000 [ml], la cual debe ser colocada en una superficie plana horizontal.
- Es importante verificar que la probeta no contenga agua y esté limpia
- Agregar el biodiesel en la probeta, de tal forma que no se produzca espuma ni agitación que pueda hacer perder ciertas propiedades volátiles de la sustancia.
- Insertar suavemente nuestro termo-hidrómetro apropiado, verificando se encuentre flotando libremente en la probeta. Se recomienda dejarlo en reposo de 3 a 5 minutos.



**Figura 13-2.** Probeta con biodiesel e hidrómetro de vidrio

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Una vez que el termo-hidrómetro se encuentre estable y sin topar las paredes de la probeta, se procede a la lectura de la escala correspondiente al hidrómetro ( $^{\circ}$ API) en la parte superior. Se retira el hidrómetro y se vuelve a introducir para tomar otra lectura, se repite y con los tres valores se halla el promedio.



**Figura 14-2.** Medición escala de temperatura en hidrómetro.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales,

Christian; 2019.

- Inmediatamente, se debe observar también la lectura de temperatura, que se encuentra en la parte inferior del hidrómetro de vidrio, que generalmente se encuentra en °F.
- Registrar los valores de Gravedad API y temperatura observados.
- Estos valores se deben corregir con unas tablas, correspondientes a la corrección de gravedad API observada a gravedad API a 60°F.

### **2.5. Determinación de Punto de Inflamación en el equipo Pensky-Martens Copa Cerrada de biodiesel a base de aceites usados.**

El Punto de Inflamación de nuestro biodiesel se determinó en base a las normas ASTM D-93 y NTE INEN 1493, para el cual se utilizó el equipo manual Pensky-Martens Copa Cerrada disponible en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. En la Tabla 8-2 se especifican los equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo.

**Tabla 8-2:** Materiales y Equipos para determinar Punto de Inflamación en un biodiesel

Material y/o Equipo	Ilustración	Especificaciones
<p style="text-align: center;"><b>Medidor de Punto de Inflamación Pensky Martens</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Marca: Petrotest</li> <li>▪ Rango de temperatura: 40°C a 360°C</li> <li>▪ Velocidad de agitación: 120 a 250 rpm</li> </ul>

Continúa

Continúa

<p><b>Termómetro de Vidrio</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Rango de Temperatura: -20°C a 360°C</li></ul>
<p><b>Muestras de biodiesel común y mezclado con nanopartículas de Alofán sintéticas a distintas concentraciones.</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Biodiesel a base de aceites usados de cocina, al cual se añadirán nanopartículas de alofán a distintas concentraciones para aplicar hallar punto de inflamación.</li></ul>
<p><b>Tanque de Gas (GLP)</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizado como combustible del equipo de punto de inflamación.</li></ul>

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

### **2.5.1. Proceso para determinación de Punto de Inflamación en equipo Pensky Martens Copa Cerrada con biodiesel a base de aceites usados**

- Conectar el equipo tanto a la fuente de alimentación eléctrica como al tanque de gas.
- Se debe verificar que la muestra este en un recipiente cerrado y a temperatura de por lo menos 18°C por debajo del punto de inflamación esperado.

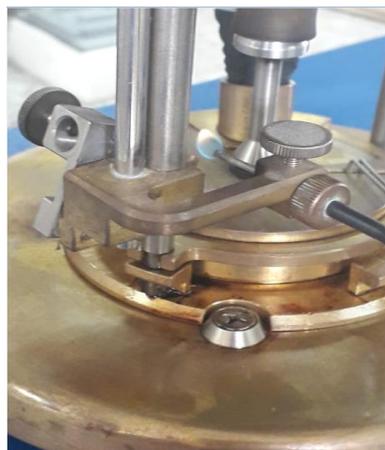
- Llenar la copa de ensayo del equipo con biodiesel hasta la marca interna.
- Colocar la copa en el equipo Pensky Martens e instalar tapa y accesorios correspondientes.
- Insertar el termómetro en el equipo y proceder a encender.



**Figura 15-2.** Equipo Pensky Martens

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Encender el agitador a una velocidad de 90 a 120 rpm.
- Abrir llave de gas y encender llama piloto. Ajustar el diámetro de la llama para la prueba de (3,2 a 4.8) [mm].



**Figura 16-2.** Llama piloto para Punto de inflamación

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Iniciar el calentamiento girando el regulador de voltaje de tal manera que el termómetro muestre un incremento de temperatura de 5°C a 6°C por minuto.
- Cuando el termómetro marque  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$  por debajo del Punto de Inflamación esperado, apagar el agitador.
- Aplicar la llama de prueba dentro de la copa por 0,5 segundos y observar si se inflama para registrar el valor de temperatura, tomar precauciones de seguridad. Toda esta operación debe durar 1 segundo entre bajar y subir la llama de ignición.



**Figura 17-2.** Aplicación llama de prueba

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Si no se produce la inflamación de los vapores, retirar la llama, encender el agitador y que continúe el calentamiento. A partir de este momento y en cada incremento de 1°C, se deberá realizar los pasos indicados anteriormente.

## **2.6. Determinación de los niveles de contaminación en equipo analizador de productos de la combustión Testo 340 de biodiesel a base de aceites usados**

Los niveles de contaminación del biocombustible a base de aceites usados se realizaron con el equipo Testo 340, aplicando el proceso adecuado según la Norma 2014/30/EU, el mismo que se encuentra disponible para su uso en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH.

En la Tabla 9-2 se especifican los equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo.

**Tabla 9-2:** Materiales y Equipos para niveles de contaminación en combustión de un biodiesel

Material y/o Equipo	Ilustración	Especificaciones
<p><b>Analizador de productos de la contaminación Testo 340</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Marca: Testo 340</li> <li>▪ Rango de temperatura de funcionamiento: -5°C a 50°C</li> <li>▪ Peso: 960[g]</li> <li>▪ Alimentación: 3,7v/2,4Ah</li> </ul>
<p><b>Muestras de biodiesel común y mezclado con nanopartículas de Alofán sintéticas a distintas concentraciones.</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biodiesel a base de aceites usados de cocina, al cual se añadirán nanopartículas de Alofán a distintas concentraciones para aplicar hallar niveles de contaminación.</li> </ul>
<p><b>Mechero de alcohol</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Instrumento de laboratorio, utilizado para el proceso de combustión del biodiesel.</li> </ul>

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

**2.6.1. Proceso para determinación de niveles de contaminación en equipo Testo 340 con biodiesel a base de aceites usados.**

- Cargar la batería totalmente antes de utilizar el instrumento.
- Verificar que tanto en la sonda como en los sensores no existan impurezas o suciedad existente antes de utilizar el equipo.



**Figura 18-2.** Equipo Testo 340 analizador de combustión.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Conectar sonda en la parte inferior del equipo visualizador.
- Encender el instrumento y esperar unos 5s hasta que la pantalla visualizadora muestre las opciones de menú para selección de parámetros de medición.
- Seleccionar tipo de combustible a utilizar y parámetros de niveles de contaminación a medir.



**Figura 19-2.** Selección de combustible  
equipo Testo 340

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Llenar el mechero con combustible y encender la mecha para empezar el proceso de combustión



**Figura 20-2.** Proceso de combustión de biodiesel en mechero

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Colocar la sonda de gases de combustión de manera que la punta quede en el centro del flujo de combustión del combustible y mantener estable por unos 5 minutos



**Figura 21-2.** Colocación de sonda en flujo de combustión

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

- Dar clic en la opción resultados y nos aparecerá en el visualizador las mediciones de los distintos parámetros de contaminación producto de la combustión



**Figura 22-2.** Resultados de medición de niveles de contaminación

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

- Tabular los resultados manualmente o de ser el caso se procede a guardarlos en el mismo equipo.
- Apagar el equipo y limpiar la sonda para utilizar el equipo en una medición posterior

### **2.7. Proceso de aplicación de biodiesel a base de aceites usados en quemador para fundición**

Como una aplicación del biodiesel se lo utilizo en un quemador que funciona a base de Diésel Premium para procesos de fundición, el cual se encuentra disponible en el Laboratorio de Fundición de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la ESPOCH.

Los materiales y equipos usados en el proceso se describen en la Tabla 10-2 a continuación:

**Tabla 10-2:** Materiales y Equipos para proceso de aplicación de biodiesel

Material y/o Equipo	Ilustración	Especificaciones
<p><b>Quemador industrial para procesos de fundición</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quemador industrial utilizado para procesos de fundición que funciona con Diésel Premium</li> </ul>

Continúa

Continúa

<p><b>Muestras de biodiesel común y mezclado con nanopartículas de Aloxán sintéticas a distintas concentraciones</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Biodiesel a base de aceites usados que se utilizara como combustible del quemador</li></ul>
<p><b>Horno para proceso de fundición</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Horno de función al cual se aplica como fuente de ignición el quemador.</li></ul>
<p><b>Equipo ventilador para quemador industrial</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Ventilador utilizados para atomizar la salida del combustible y va conectado en la parte superior del quemador.</li></ul>

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

### ***2.7.1. Proceso para utilización de biodiesel en quemador industrial***

- Verificar que el paso de la manguera al quemador no esté taponado y llenar de combustible en la parte de la bomba que funcionara a gravedad.



**Figura 23-2.** Quemador industrial y bomba de combustible.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019.

- Encender el horno previamente y proceder a la instalación del quemador industrial junto con el ventilador en el orificio del horno



**Figura 24-2.** Encendido e instalación de quemador en el horno.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

- Elevar la bomba del quemador una altura considerable y abrir válvula de paso para que el proceso de abastecimiento de combustible al horno empieza a fluir.



**Figura 25-2.** Abastecimiento de combustible al horno.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

- Encender el ventilador del quemador, tomar el tiempo y esperar mientras se consume el combustible en el horno.



**Figura 26-2.** horno de fundición.

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

- Finalizado el combustible de la bomba, apagar el ventilador, retirar el quemador y proceder a tabular los datos de tiempo obtenidos.

## CAPITULO III

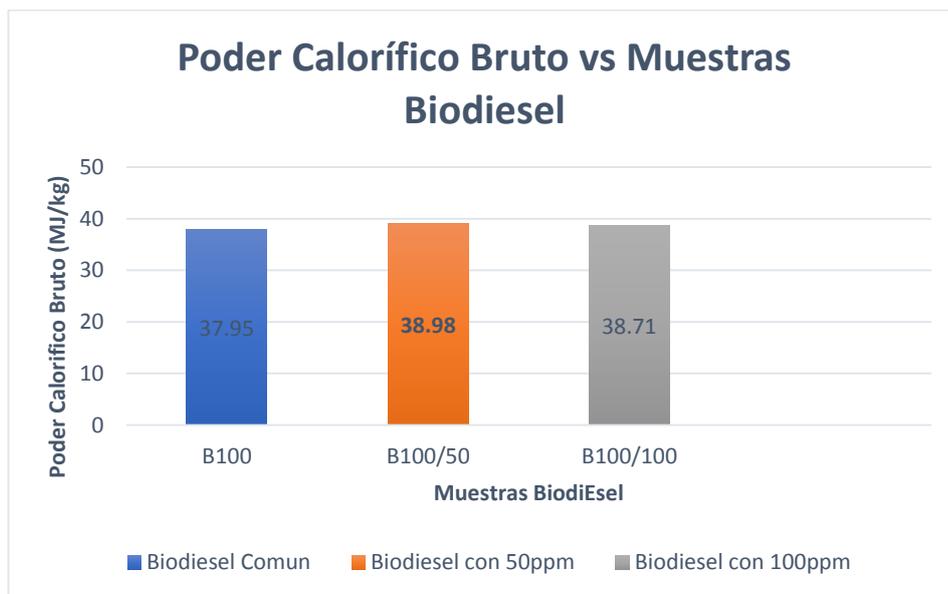
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Factibilidad del aumento del Poder Calorífico de biodiesel a base de aceites usados añadiendo 50 ppm y 100 ppm de nanopartículas de Alofán

Para determinar la factibilidad del aumento de Poder Calorífico de nuestro biodiesel, se añadieron 50 ppm y 100 ppm de nanopartículas de Alofán respectivamente basándonos en estudios realizados en biocombustibles, para posteriormente realizar el ensayo de medición correspondiente.

Debido a que en la ESPOCH no se pueden realizar estos ensayos, se envió 100 [ml] de biodiesel común (B100), 100 [ml] de biodiesel añadido 50 ppm de nanopartículas de Alofán (B100/50ppm) y 100 ml de biodiesel añadido 100ppm de nanopartículas de Alofán (B100/100ppm) a la Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Universidad Central Del Ecuador, para ser analizadas y determinar el Poder Calorífico según la Norma ASTM D-240.

Los resultados obtenidos se encuentran disponibles en los anexos A, B, C respectivamente y se tabularon en el Gráfico 1-3 a continuación:



**Gráfico 1-3:** Poder Calorífico Bruto Vs Muestras Biodiesel

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

Como se observa en el Gráfico 1-3, el Poder Calorífico Bruto del biodiesel puro (B100) es de 37,95 [MJ/kg] del biodiesel con 50 ppm de nanopartículas de Alofán (B100/50ppm) es de 38,98 [MJ/kg] y del biodiesel con 100 ppm de nanopartículas de Alofán (B100/100ppm) es de 38,71 [MJ/kg], teniendo un incremento de poder calorífico de 2,8% entre B100 - B100/50ppm y 2% entre B100 y B100/100ppm.

### 3.2. Ensayos de Gravedad API aplicados en muestras de biocombustible.

La Gravedad API es una medida relacionada a la densidad que nos permite determinar qué tan liviano o pesado es combustible derivado del petróleo, por lo que es un factor importante a tener en cuenta al momento de mencionar combustibles en general.

Se realizaron ensayos de Gravedad API tanto con Diésel Premium, biodiesel común B100, biodiesel con nanopartículas de Alofán B100/50ppm y B100/100ppm a distintas concentraciones y mezclas, obteniendo los resultados disponibles en el anexo D y se observan en la Tabla 11-3:

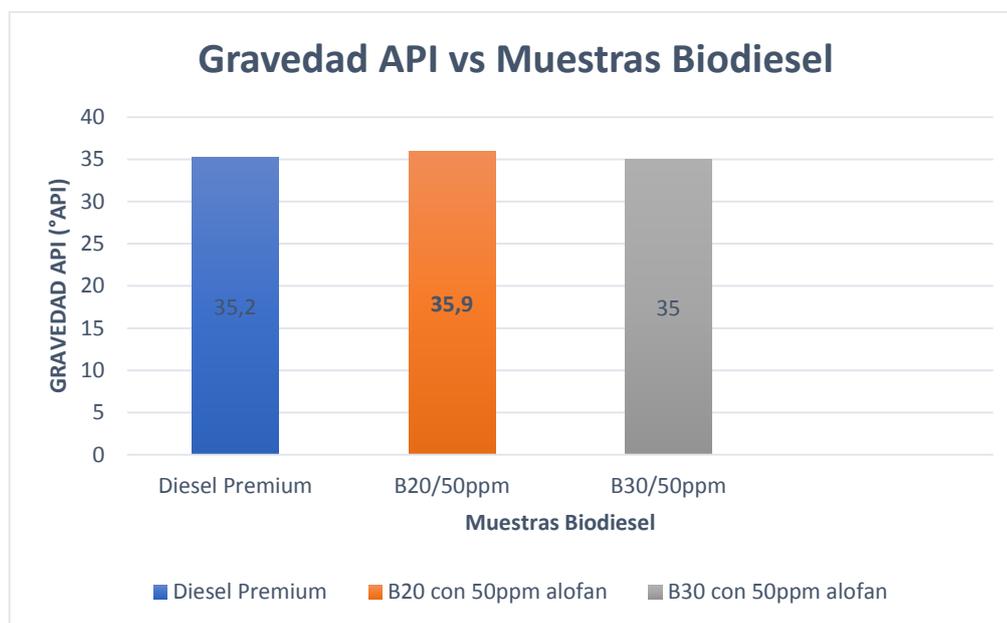
**Tabla 11-3:** Resultados de ensayos de Gravedad API

TIPO DE MUESTRA	GRAVEDAD API (°API)	TEMPERATURA HIDRÓMETRO (°F)	GRAVEDAD API CORREGIDA A 60 °F (°API)
Diésel Premium	36,5	68	35,2
Biodiesel Común (B100)	25,9	70	24,7
Biodiesel con 50ppm alofán (B100/50ppm)	26,1	72	24,9
Biodiesel con 100ppm alofán (B100/100ppm)	25,9	70	24,7
20% Biodiesel / 80% Diésel (B20)	34,9	68	33,6
30% Biodiesel / 70% Diésel (B30)	33,6	70	32,3
20% Biodiesel 50 ppm / 80% Diésel (B20/50ppm)	37,2	68	35,9
30% Biodiesel 50 ppm / 70% Diésel (B30/50ppm)	36,3	70	35,0
20% Biodiesel 100 ppm / 80% Diésel (B20/100ppm)	33,2	70	31,9
30% Biodiesel 100 ppm / 70% Diésel (B30/100ppm)	32,4	68	31,1

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

Como se observa en la Tabla 11-3, la Gravedad API del Diésel Premium es de 35,2°, siendo considerado un combustible liviano, y el biodiesel común B100, B100/50ppm y B100/100ppm con un promedio de 24,8° combustibles intermedios.

Debido a que no se puede utilizar un biocombustible B100 directamente en un motor a diésel por su baja eficiencia, siempre va a ser necesario mezclarlo con Diésel Premium en cierto porcentaje, por lo que en los ensayos también se probaron mezclas de ambos combustibles para determinar cuál es la más adecuada.



**Gráfico 2-3:** Gravedad API Vs Muestras Biodiesel

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

El Gráfico 2-3 nos muestra los valores de Gravedad API de las mediciones más relevantes de mezcla entre Diésel Premium y biodiesel con nanopartículas de Alofán, logrando obtener como valores más cercanos al Diésel de 35,9°API en la muestra B20/50ppm y 35°API en B30/50ppm.

Esto nos permite concluir que las mezclas B30/50ppm y B20/50ppm son las más adecuada para ser utilizadas en la aplicación de motores a combustión que trabajen con diésel debido a que son combustibles livianos y su eficiencia se compararía a la de utilizar 100% diésel en el proceso de combustión.

### 3.3. Ensayos de Punto de Inflamación aplicados en muestras de biocombustible a distintas concentraciones de nanopartículas de Alofán.

El Punto de Inflamación se considera la temperatura a la cual un líquido o combustible empieza a quemarse al ser sometido a una fuente de calor, es decir a una chispa o llama, mientras mayor sea la temperatura a la cual empieza a quemar se considera más seguro el combustible, por lo que es una variable necesaria también a considerar al momento de trabajar con biodiesel y por eso se realizaron los ensayos correspondientes.

Los ensayos de Punto de Inflación realizados tanto a Diésel Premium, biodiesel y mezclas a distintas concentraciones nos dieron los resultados disponibles en el anexo E y que se muestran en la siguiente Tabla 12-3:

**Tabla 12-3:** Resultados de ensayos de Punto de Inflamación

TIPO DE MUESTRA	TEMPERATURA DE INFLAMACION (°C)
Diésel Premium	52
Biodiesel Común (B100)	63
30% Biodiesel / 70% Diésel (B30)	54
30% Biodiesel 50 ppm / 70% Diésel (B30/50ppm)	53
30% Biodiesel 100 ppm / 70% Diésel (B30/100ppm)	51

**Elaborado por:** Guano Catherine, Morales Christian, 2019

Según los resultados obtenidos el B100 sería ideal para ser utilizado ya que aumenta un 25% su Punto de Inflamación en comparación al Diésel Premium, es decir sería 25% más seguro, pero debido a que la eficiencia del B100 es muy baja como para poderlo utilizar directamente, siempre va a ser necesario realizar una mezcla con Diésel Premium.

En cambio, tomando en cuenta los otros resultados, se puede concluir que tanto el B30 como el B30/50ppm serían las mejores alternativas para aplicación industrial, ya que se dispondría de una eficiencia en mezcla muy parecida a la del Diésel Premium y una mejora entre el 2% y 4% de seguridad en lo referente a transportación y almacenamiento, no siendo recomendable el B30/100 debido a que su punto de inflamación se redujo un 2% en comparación al Diésel Premium.

### 3.4. Ensayos de contaminación en combustión aplicados en muestras de biodiesel.

La contaminación producida por motores de combustión es un parámetro importante a tomar en cuenta en la actualidad, debido a los cambios climáticos como el calentamiento global producto de la emisión de gases tóxicos a la atmosfera, por lo que toda propuesta científica que permita reducir porcentualmente algo de contaminación está siendo estudiada constantemente tanto en combustibles fósiles como en biocombustibles a base de producto orgánicos.

Los ensayos planteados tanto en Diésel Premium como en biodiesel común y con nanopartículas de Alofán a distintas concentraciones nos dieron los resultados disponibles en el Anexo F, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 13-3:

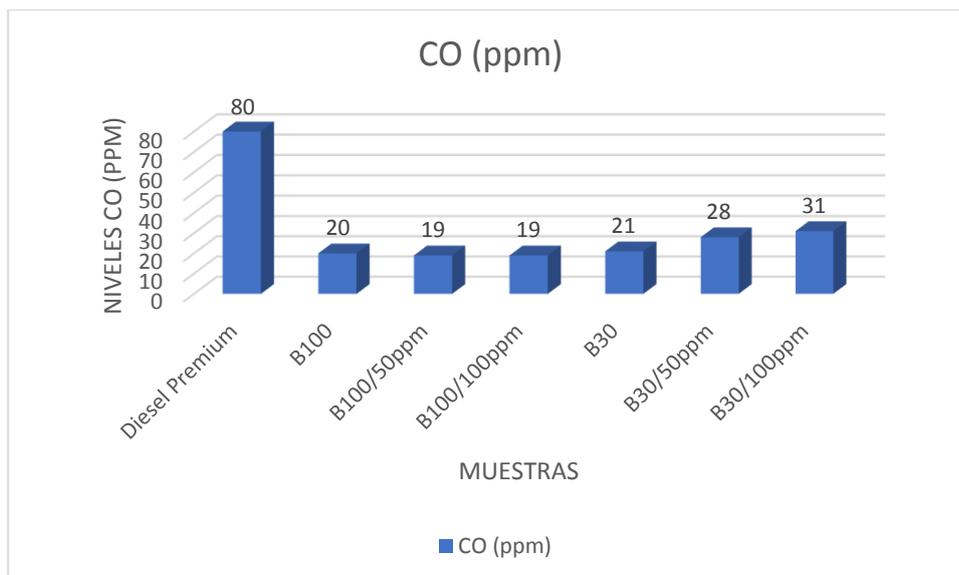
**Tabla 13-3:** Resultados de ensayos de niveles de contaminación en combustión

Tipo de Muestra	O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	Pump (l/min)	Strock (°C)	Tamb (°C)
Diésel Premium	20,72	80	3	3,2	0,2	0,76	125,7	31,3
Biodiesel Común (B100)	20,32	20	2	2,1	0,1	0,76	116,5	23,1
Biodiesel con 50ppm alofán (B100/50)	20,18	19	1	1,9	0,1	0,77	110,3	22,5
Biodiesel con 100ppm alofán (B100/100)	20,24	19	1	2,1	0,1	0,76	112,5	22,7
30% Biodiesel/70% Diésel (B30)	20,58	21	1	1,3	0,3	0,79	66,1	21,3
30% Biodiesel 50 ppm /70% Diésel (B30/50ppm)	20,06	28	1	1,6	0,6	0,77	94,7	21,8
30% Biodiesel 100 ppm /70% Diésel (B30/100ppm)	20,51	31	1	1,4	0,4	0,76	72,8	22,8

Elaborado por: Guano Catherine, Morales Christian, 2019

#### 3.4.1. *Análisis de resultados nivel de emisión de CO en ensayo de contaminación en combustión*

El CO o monóxido de carbono es un gas que puede causar anemia, enfermedades del corazón, enfermedades respiratorias y hasta la muerte por lo que es necesario su análisis, a continuación, analizaremos los resultados obtenidos en los ensayos.



**Gráfico 3-3:** Niveles de CO en ensayos de contaminación

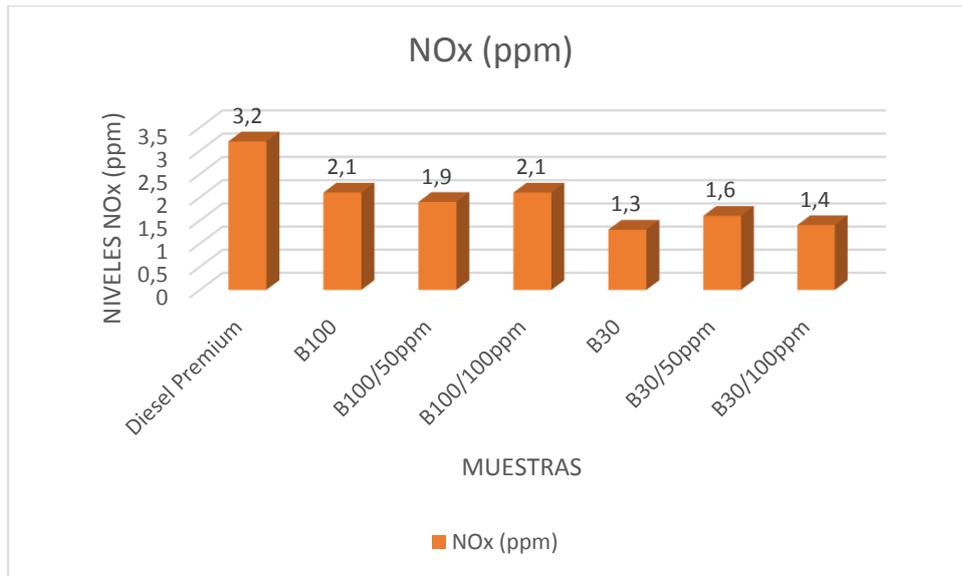
**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

Como se observa en el Gráfico 3-3, se puede apreciar la gran diferencia en emisión de CO al combustionar Diésel Premium y biodiesel o mezclas derivadas de este. Utilizar B100 sería lo ideal ya que reduce un 75% la cantidad de CO en emisiones, pero la eficiencia de un B100 no permite utilizarlo directamente en un motor de combustión.

Tomado en cuenta únicamente el factor contaminante, la mejor alternativa sería el B30, ya que reduce un 73% los niveles de CO en combustión y poseen una eficiencia relativamente cercana a la del Diésel Premium, pero si nos fijamos en parámetros de eficiencia y contaminación, el apropiado sería el B30/50ppm, el cual tiene una reducción de 65% de emisión de CO y posee un 3% mejor rendimiento que un B30 según lo concluido en ensayos anteriores.

#### **3.4.2. Análisis de resultados nivel de emisión de NOx en el ensayo de contaminación en combustión**

El factor NOx u óxidos de nitrógeno, se aplica a las cantidades de unión de NO y NO2 emitidas en un proceso de combustión emitida a la atmosfera, siendo el responsable del agujero en capa de ozono, calentamiento global y problemas climáticos, además de tener efectos corrosivos en los motores.



**Gráfico 4-3:** Niveles de CO en ensayos de contaminación

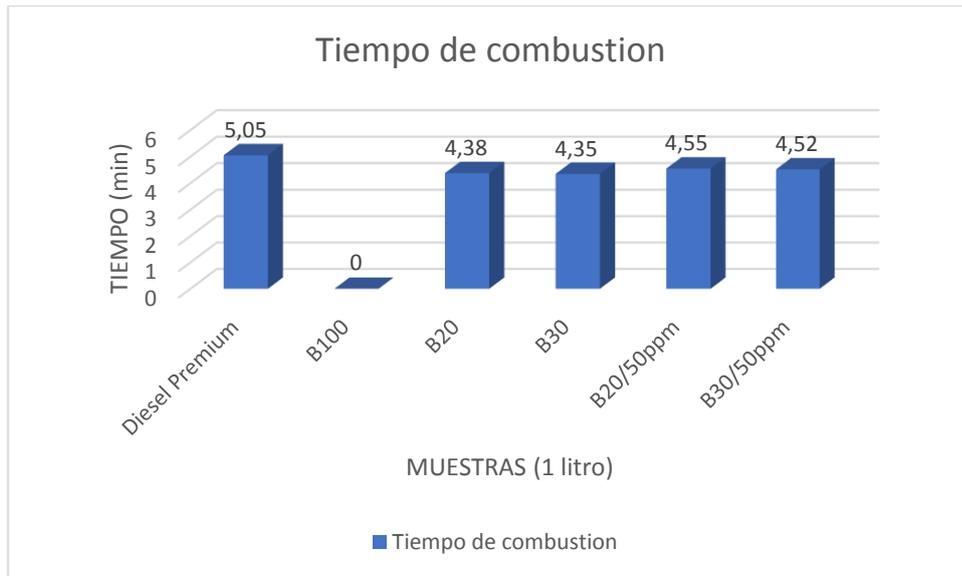
**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

El Grafico 4-3 nos muestra los resultados obtenidos de niveles de NOx emitidos a la atmosfera, siendo el más contaminante el Diésel Premium con 3,2 ppm de emisión y el menos contaminante el biodiesel B30 con 1,2 ppm, siendo el más factible a utilizar en lo referente a contaminación ya que reduce un 60% la contaminación ambiental y el efecto corrosivo en motores.

Respecto a factores contaminación y eficiencia, se podría considerar el biodiesel B30/50ppm, ya que a pesar de reducir solo un 50% la emisión de NOx, nos brinda un 3% mayor eficiencia debido a las nanopartículas de Alofán presentes en el biodiesel.

### **3.5. Análisis de resultados obtenidos en proceso de aplicación de biodiesel en un quemador industrial**

Para probar la eficiencia de nuestro biodiesel se utilizó un quemador industrial para el proceso de fundición, en el cual se realizaron ensayos de cantidad de combustible vs tiempo de consumo, para poder comparar nuestras muestras de biocombustible con Diésel Premium., los mismos que nos brindaron los siguientes resultados:



**Gráfico 5-3:** Tiempo de combustión de muestras en quemador

**Realizado por:** Guano, Catherine; Morales, Christian; 2019

Se ocupó 1 litro de combustible para cada una de las muestras que se observan en el Gráfico 5-3, siendo más eficiente la quema de Diésel Premium con un tiempo de consumo de 5,05 [min/litro] y la menos eficiente el B100 porque nunca se consumió ni siquiera un poco desperdiciándose casi todo su contenido solo por dispersión en el quemador.

Tanto el B20/50ppm como el B30/50ppm son recomendables para ser utilizados en quemadores para procesos de fundición en general, ya que solo hubo una reducción de menos del 10% a la eficiencia del Diésel Premium en la misma cantidad de combustible, lo cual nos permitiría concluir que en la aplicación realizada se obtuvieron resultados satisfactorios.

## CONCLUSIONES

- Los ensayos de Poder Calorífico determinaron un aumento de 1,02 [MJ/kg] al añadir 50ppm de Alofán y 0,75 [MJ/kg] al añadir 100ppm de Alofán en el biodiesel, lo cual determina que si es factible el aumento de Poder Calorífico mediante la adición de nanopartículas de Alofán.
- El Poder Calorífico del B100/50ppm es mayor al B100/100 ppm, lo que plantea que a menor concentración de nanopartículas Alofán en biodiesel mejores serán los resultados de aumento de Poder Calorífico.
- Debido a que un biodiesel no se puede utilizar directamente en una aplicación industrial, mediante los ensayos de Gravedad API y Punto de inflamación se obtuvo que la mezcla más eficiente es la B30/50ppm con 35°API y 54°C respectivamente, considerado como combustible liviano y 2% más seguro en comparación al Diésel Premium.
- El ensayo de niveles de emisiones de combustión indica que el B30/50ppm disminuye un 65% de emisiones de CO y 50% de emisiones de NOx a la atmósfera en comparación al Diésel Premium, siendo una excelente alternativa para utilizar en lo referente a contaminación ambiental.
- Las pruebas en el quemador industrial de muestras de biodiesel con Alofán dieron resultados similares al Diésel Premium, por lo tanto, el biodiesel en mezcla se recomienda aplicar en quemadores de fundición, calderas, bombas agrícolas, generadores eléctricos entre otras aplicaciones.

## RECOMENDACIONES

- Para la producción de biodiesel a base de aceites usados de cocina es necesario filtrar las impurezas existentes en el aceite, utilizar las cantidades y velocidades en mezcla adecuadas, ya que estas interfieren en el proceso de transesterificación.
- El Alofán siempre debe mezclarse en calidad de nanopartículas de polvo, ya que si queremos realizar la mezcla con alofán en gel esta no se compactará por tener presencia de agua destilada, mientras que luego del proceso de liofilizado esta se elimina.
- En la realización de ensayos de Grados API, Punto de Inflamación y niveles de contaminación en un biodiesel, se deben hacer por lo menos tres ensayos para cada muestra disponible y sacar un valor promedio, para que nuestros resultados sean más exactos.
- El biodiesel solo se puede almacenar por un periodo aproximado de 3 a 4 meses, ya que luego de este tiempo tiende a degradarse y evaporarse.
- Tomar las medidas de seguridad adecuadas al momento de realizar ensayos de combustión de biocombustible y combustibles fósiles derivados de petróleo, ya que la constante absorción de emisiones de ciertos gases puede causar enfermedades respiratorias, quemaduras y envenenamientos según la cantidad inhalada.
- Es necesario investigar el tema de la suspensión de nanopartículas, puesto que estas no se mezclan con el combustible después de cierto tiempo de la adición, las nanopartículas tienden a decantarse en el fondo del recipiente.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARBELÁEZ YORY, Francisco,& SANZ DEL CASTILLO, David.** Diseño y construcción de máquina controlada para la producción de biodiesel [En línea] (Trabajo de titulación).(Ingeniería) Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. 2008. [Consulta: 15 Junio 2019]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/64630.pdf>

**ASTM D93.** *Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester, 2002.*

**ASTM D240-02.** *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter, 2007.*

**ASTM D1298.** *Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method, 1999.*

**ÁVALOS GAIBOR, Guido Israel;& VELASTEGUÍ ESCOBAR, Jorge Luis.** Diseño y construcción de un prototipo para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado de cocina, de una capacidad de 5 litros [En línea] (Trabajos de Titulación).(Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 2019-08-23]. Disponible en: <http://bibliotecas.esepoch.edu.ec/Tutoriales/Norma%20ISO%20690.pdf>

**BALSECA, Otto.; & NARANJO, Eugenia.** "Como mejorar el poder calorífico en biocombustibles mediante la adición de nanopartículas". *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* [En línea], 2018. [Consulta: 15 Mayo 2019]. ISSN 2254-7630. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/07/poder-calorifico-biocombustibles.html>

**BASHA, Sandhik; & ANAND, R.** "Role of nanoadditive blended biodiesel emulsion fuel on the working characteristics of a diesel engine". *Journal of Renewable and Sustainable Energy* [En línea], 2011, 3(2), [Consulta: 11 enero 2020]. Disponible en: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3575169>

**BENAVIDES, Alirio; et al.** "El biodiesel de aceite de higuerilla como combustible alternativo para motores diésel". *DYNA* [En línea], 2007, (Colombia) 74(153), [Consulta: 30 marzo 2019]. ISSN 2346-2183. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/951/11642>

**BENAVIDES GUAYARA, David Enrique.** Estudio el efecto de nanoaditivos sobre la eficiencia de combustión del diesel y la eficiencia neta de una fuente de combustión fija [En línea] (Trabajo de titulación).(Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2017.

**CAYAMBE CAYAMBE, Edwin Santiago, & CASTAÑEDA CHÁVEZ, Aide Briceida.** Recuperación de nanopartículas de alofán del refrigerante secundario propilenglicol mediante varios métodos de separación de mezclas (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019.

**CRANA, Fundación.** *Óxidos de nitrógeno* [blog]. [Consulta: 14 Diciembre 2019.]. Disponible en: [http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion\\_3/axidos-nitrageno-nox-no2](http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/axidos-nitrageno-nox-no2)

**HERAS, Mauricio; et al.** "Toxicidad de nanoaditivos aplicados a mezclas de combustibles". *Revista Ciencias e Ingeniería al Día* [En línea], 2014, (Colombia), 9(1), [Consulta: 14 Enero 2020.]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/11227/5207/1/Toxicidad%20de%20nanoaditivos.pdf>

**IYODA, Fumitoshi; et al. 2012.** "Synthesis and adsorption characteristics of hollow spherical allophane nano-particles". *Journal Elsevier* [En línea], 2011, (Japan). [Consulta: 13 Mayo 2019]. Disponible en: [https://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Zairyo/5z50/publications/CLAY\\_111.pdf](https://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Zairyo/5z50/publications/CLAY_111.pdf)

**JONES, Matthew; et al.** "Experimental study of combustion characteristics of nanoscale metal and metal oxide additives in biofuel (ethanol)". *PMC Journals* [En línea], 2011, (United State of America) 6(1), [Consulta: 10 enero 2020]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3211307/>

**MARTÍNEZ QUISHPI, Alex Fernando, & VARGAS ROBAYO, Edwin Alexis.** Evaluación de la capacidad calorífica del propilenglicol mediante la adición de nanopartículas de alofán (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019.

**MERIZALDE, Pedro; & LASCANO, Jose.** "Norma para el manejo y Control del Biodiesel". Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico [En línea], 2013, (Ecuador) [Consulta\_ 10 Abril 2019]. Disponible en: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-Edicio%CC%81n-Especial-43-Res.-ARCH-4.pdf>.

**MONTALT, Grupo.** *Qué son los NOx* [blog]. [Consulta: 18 Octubre 2019]. Disponible en: <https://www.grupomontalt.com/que-son-los-nox/>

**NTE INEN 1 493:2005.** *Productos de petróleo. Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado (Pensky-Martens).*

**NTE INEN 2 207:2002.** *Gestión Ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel.*

**NTE INEN 2 319:2001.** *Productos derivados del petróleo. Determinación de la densidad API.*

**PEÑALOZA, Andrés; et al.** "Predicción y análisis de emisiones de mezclas combustibles diésel/biodiésel modificadas con nanopartículas de alúmina y ácido oleico". *Revista ION* [En línea], 2017, (Colombia), 30(1), [Consulta: 20 Marzo 2019]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/6444>

**PRATS, Adam; et al.** "Oportunidades y retos de los nanomateriales", *Conama* [En línea], 2016, (España), [Consulta: 22 Octubre 2019.]. Disponible en: [http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/13\\_final.pdf](http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/13_final.pdf)

**ROJAS, Nestor.** "Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel". *Revista de Ingeniería* [En línea], 2004, (Colombia), n°20, [Consulta: 15 Febrero 2019]. ISSN 0121-4993. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932004000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932004000200007)

**SILVA YUMI, Jorge Efrén.** Estudio comparativo del potencial de alofán sintético y natural en la captura de contaminantes de origen antropogénico. (Trabajo de titulación).(Doctorado) Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2016.

**VALENCIA BALAREZO, Lyanne Sthepanie.** Caracterización de mezclas diesel - biodiesel orientadas a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles [En línea] (Trabajo de titulación).(Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2459/1/T-UCE-0017-55.pdf>

## **ANEXOS**