



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE**

INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: “ANÁLISIS DE EMISIONES EN MOTORES DIÉSEL
CON EL USO DE BIODIÉSEL PRODUCIDO MEDIANTE
ULTRASONIDO A BASE DE ACEITE RECICLADO DE
COCINA”**

AUTOR: ANGAMARCA ILES EDISON ORLANDO

DIRECTOR: ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSc.

IBARRA – ECUADOR

2019



ACEPTACIÓN DE DIRECTOR

En calidad de director del trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO

Que una vez analizado el plan de trabajo cuyo título es **"Análisis de Emisiones en Motores Diésel con el Uso de Biodiésel Producido Mediante Ultrasonido a Base de Aceite Reciclado de Cocina"**, presentado por el señor Angamarca Iles Edison Orlando con cédula de identidad N° 1003060488, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra a los 18 días del mes de septiembre de 2019.

Atentamente;

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Erik Paúl Hernández Rueda", is written over a horizontal line.

Ing. Hernández Rueda Erik Paúl MSc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

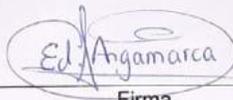
DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	100306048-8		
APELLIDOS Y NOMBRES	Angamarca Iles Edison Orlando		
DIRECCIÓN	Ibarra, San Francisco del Tejar, Av. 4 de octubre		
E-MAIL	eoangamarca@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	06 2 510 781	TELÉFONO MOVIL	0980801801
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO	Análisis de emisiones en motores diésel con el uso de biodiésel producido mediante ultrasonido a base de aceite reciclado de cocina.		
AUTOR	Angamarca Iles Edison Orlando		
FECHA	Ibarra 18 de septiembre de 2019		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Hernández Rueda Erik Paúl. MSc.		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre de 2019.

AUTOR:



Firma

Angamarca Iles Edison Orlando

Nombre completo

1003060488

C.C

DEDICATORIA

La elaboración del presente trabajo de grado va dedicado especialmente a mis padres Sarita y Luis, quienes, gracias a su esfuerzo y sacrificio han sabido guiarme durante todo este trayecto de mi formación, gracias a su confianza, dedicación, apoyo incondicional. Así también va dedicado a mis hermanos, Byron quien ha sido mi más grande motivación, como un ejemplo de perseverancia y dedicación, a mi hermana Ruth quien, gracias a su apoyo incondicional ha estado siempre presente en todo momento, gracias por brindarme su cariño y apoyo en todo momento.

Angamarca Iles Edison Orlando

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional, así como a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, de manera especial a mi director de trabajo de grado Ing. Paúl Hernández MSc, así como también a mis asesores, Ing. Carlos Mafla MSc, e Ing. Ignacio Benavides MSc, quienes, gracias a su colaboración ha sido posible la culminación de este proyecto.

Mis agradecimientos también dirigidos a la Ing. Margarita Torres e Ing. Cesar Morales, gracias a su empatía, tiempo dedicado y participación en el mencionado proyecto de investigación.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos y personas conocidas quienes me han brindado todo su apoyo en la formación de toda esta trayectoria universitaria.

Angamarca Iles Edison Orlando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XX
CAPÍTULO I	1
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación actual.....	2
1.3 Prospectiva.....	3
1.4 Planteamiento del problema.....	3
1.5 Formulación del problema	4
1.6 Delimitación.....	4
1.6.1 Temporal.....	4
1.6.2 Espacial.....	5
1.7 Objetivos	5
1.7.1 Objetivo general	5
1.7.2 Objetivos específicos.....	5
1.8 Alcance	5
1.9 Justificación	7
1.10 Tipos de investigación	8
1.10.1 Investigación experimental.....	8
1.10.2 Investigación transversal	8
1.10.3 Investigación bibliográfica	8
1.11 Métodos investigativos	8

1.11.1	Método inductivo.....	9
1.11.2	Método histórico lógico.....	9
1.12	Marco teórico.....	9
1.13	Diesel premium.....	9
1.14	Biocombustibles.....	10
1.14.1	Biocombustibles de primera generación	10
1.14.2	Biocombustibles de segunda generación	10
1.14.3	Biocombustibles de tercera generación	12
1.15	Biomasa	12
1.16	Biodiésel	13
1.16.1	Ventajas de los biocombustibles	14
1.16.2	Desventajas de los biocombustibles	14
1.17	Parámetros y métodos de pruebas para el estándar del biodiésel	15
1.17.1	Requisitos del biodiésel en ecuador.....	17
1.18	Normativas Euro V - Euro VI.....	17
1.19	Motores encendidos por compresión	19
1.19.1	Motores diésel	19
1.19.2	Cilindrada	19
1.19.3	Relación de compresión y presión de compresión	20
1.19.4	Velocidad del émbolo.....	20
1.19.5	Relación carrera/diámetro.....	21
1.19.6	Procesos de combustión en el motor diésel	21
1.19.7	Número de cetanos	22
1.19.8	Ciclo práctico diésel	22
1.20	Aceite reciclado de cocina	22

1.20.1	Procesos de obtención del biodiésel	23
1.21	Equipo de ultrasonido	25
1.21.1	Utilización de ultrasonido para la producción de biodiésel.....	26
CAPÍTULO II	.....	30
2 MATERIALES Y MÉTODOS	.....	30
2.1	Propósito de la investigación	30
2.2	Proceso metodológico.....	30
2.3	Materiales y equipos	31
2.3.1	Reactivos y sustancias para la obtención del biocombustible	31
2.3.2	Metanol.....	33
2.3.3	Recurso hídrico (agua H₂O).....	35
2.5	Procesos para la obtención del aceite.....	36
2.5.1	Reciclaje de aceite de cocina como residuo	36
2.5.2	Pretratamiento del aceite	37
2.5.3	Características del tipo de tamiz.....	37
2.5.4	Análisis de la tela tamiz con microscopio	38
2.5.5	Proceso de filtrado	41
2.6	Elaboración del biodiésel a base de aceite usado de cocina	42
2.6.1	Biodiésel	42
2.6.2	Proceso de transesterificación.....	43
2.6.3	Evaporación de agua contenido en aceite usado de cocina	44
2.6.4	Equipo de ultrasonido.....	45
2.6.5	Decantación del biodiésel.....	47
2.6.6	Proceso de lavado y evaporación de agua del biodiésel.....	48
2.6.7	Lavado del biodiésel.....	49

2.6.8	Evaporación de agua final del biodiésel	52
2.7	Analizador de gases kane autoplus gas analyser.....	53
2.7.1	Especificaciones técnicas del equipo autoplus gas analyser	54
2.8	Cuenta revoluciones mgt-300 brain bee	55
2.9	Funcionamiento banco motor	56
2.10	Pruebas con biocombustibles diferentes	57
CAPÍTULO III		58
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN		58
3.1	Resultados de las pruebas de biodiésel B10 a base de aceite reciclado de cocina mediante transestratificación en un baño ultrasónico	58
3.2	Tabla de los análisis fisicoquímicos del biodiésel B10 a base de aceite reciclado de cocina mediante transestratificación en un baño ultrasónico	58
3.2.1	Comparación de la densidad a 15 °C del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	61
3.2.2	Comparación del punto de inflamación del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	62
3.2.3	Comparación de sedimento básico y agua (%bsw) del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	63
3.2.4	Comparación de agua por destilación del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	64
3.2.5	Comparación de cenizas sulfatadas del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos...	64

3.2.6	Comparación de la viscosidad cinemática a 40 °C del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	65
3.2.7	Comparación de azufre del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	66
3.2.8	Comparación de carbón conradson (residuo carbonoso) del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	67
3.2.9	Comparación de corrosión a la lámina de cobre (cu) del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	68
3.2.10	Comparación del índice de cetano calculado del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	69
3.2.11	Comparación de la temperatura de destilación al 90 % recuperado del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos	70
3.2.12	Comparación de sodio del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	71
3.2.13	Comparación de potasio del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	72
3.2.14	Comparación de calcio del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	73
3.2.15	Comparación de magnesio del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico con las normas INEN, ASTM, EN y resultados obtenidos.....	74
3.3	Análisis de los datos obtenido utilizando diésel premium.....	74
3.3.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando diésel premium	75
3.3.2	Análisis dióxido de carbono (CO2) utilizando diésel premium.....	76

3.3.3	Análisis de oxígeno (O₂) presente en los gases de escape utilizando diésel premium	77
3.3.4	Análisis de las partículas por millón de óxido de nitrógeno (PPM – NO_x) presente en los gases de escape utilizando diésel premium	78
3.4	Análisis de los datos obtenidos utilizando biodiésel en mezcla B10.....	79
3.4.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando biodiésel en mezcla B10 ..	79
3.4.2	Análisis de dióxido de carbono (CO₂) utilizando biodiésel en mezcla B10..	81
3.4.3	Análisis de oxígeno (O₂) utilizando biodiésel en mezcla B10	82
3.4.4	Análisis de partículas por millón de óxido de nitrógeno (PPM NO_x) utilizando biodiésel en mezcla B10.....	83
3.5	Análisis de todo el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes con diésel premium y biodiésel en mezcla B10 a diferentes regímenes de giro.....	84
3.5.1	Análisis de monóxido de carbono (CO)	84
3.5.2	Análisis de dióxido de carbono (CO₂).....	86
3.5.3	Análisis de oxígeno (O₂) presente en los gases de escape.....	87
3.5.4	Análisis de las partículas por millón de óxido de nitrógeno (PPM – NO_x) presente en los gases de escape	89
3.6	Análisis comparativo de las emisiones de gases contaminantes de biodiésel B10 elaborado con el 90% diésel de distintas ciudades (Quito e Ibarra).....	90
3.6.1	Análisis de monóxido de carbono (CO)	90
3.6.2	Análisis de dióxido de carbono (CO₂).....	92
3.6.3	Análisis de oxígeno (O₂) presente en los gases de escape.....	93
3.6.4	Análisis de las partículas por millón de óxido de nitrógeno (PPM – NO_x) presente en los gases de escape	95
CAPÍTULO IV		98
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		98

4.1	Conclusiones	98
4.2	Recomendaciones	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		101
ANEXOS		108

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.		PÁGINA
1. 1	Tipos de combustibles	11
1. 2	Estándar de calidad del biodiésel	15
1. 3	Límites establecidos por la Norma Euro	18
1. 4	Tipos de catalizadores utilizados en la obtención de biodiésel	24
2. 1	Propiedades del Hidróxido de Sodio (NaOH)	32
2. 2	Especificaciones del Metanol	34
2. 3	Propiedades Físicas del Metanol	35
2. 4	Especificaciones Técnicas de Autoplus GAS ANALYSER	54
3. 1	Resultados biodiésel B10 ARC	59
3. 2	Comparación de la densidad	61
3. 3	Comparación punto de inflamación	62
3. 4	Comparación sedimento básico y agua (%BSW)	63
3. 5	Comparación agua por destilación	64
3. 6	Comparación de cenizas sulfatadas	65
3. 7	Comparación viscosidad cinemática a 40 °C	66
3. 8	Comparación de Azufre	67
3. 9	Comparación de carbón conradson (Residuo Carbonoso)	68
3. 10	Comparación de corrosión a la lámina de cobre Cu	69
3. 11	Comparación índice de cetano calculado	70
3. 12	Comparación de la temperatura de destilación al 90 % recuperado	71
3. 13	Comparación de Sodio	72
3. 14	Comparación de Potasio	72
3. 15	Comparación de Calcio	73
3. 16	Comparación de Magnesio	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁGINA
1. 1	Tipos de Biomasa	12
1. 2	Equipo de Ultrasonido.	26
1. 3	Características de una onda sonora	28
1. 4	Transmisión de onda en dos medios diferentes	28
1. 5	Tipos de ondas Ultrasónicas	29
2. 1	Proceso Metodológico	30
2. 2	Hidróxido de Sodio P.M. 40g/mol	31
2. 3	Metanol 99.8% de Pureza	33
2. 4	Garrafa de aceite usado de cocina	36
2. 5	Tela filtrante compuesta de 88% nylon y 12% elastano	38
2. 6	Determinación del poro de filtrado con un aumento de (4x/0.10)	39
2. 7	Observación del tamiz de cuatro capaz a un aumento de (4x/0.10)	39
2. 8	Sedimentos transcurrido 24 horas luego de la filtración	40
2. 9	Tamices de filtrado en dos primeras etapas 1 y 2	41
2. 10	Tamices de filtrado en dos etapas finales 3 y 4	41
2. 11	Proceso de Transesterificación	43
2. 12	Ecuación general de la reacción de Transesterificación	44
2. 13	Secado del aceite a una temperatura de 100°C	45
2. 14	Equipo de Ultrasonido (Ultrasonic Cleaner)	46
2. 15	Proceso de Transesterificación en baño ultrasónico	47
2. 16	Decantación de Glicerina	48
2. 17	Primer lavado del biodiésel B100	50
2. 18	Segundo lavado del biodiésel B100	51
2. 19	Tercer lavado de biodiésel B100	52
2. 20	AUTOplus GAS ANALYSER	53
2. 21	Contador de revoluciones y medidor de temperatura motor MGT-300	55
2. 22	Banco motor Mitsubishi Canter 3.0 Ciclo Diésel	56
3. 1	Valores promedio de CO a distintas RPM con diésel premium	75
3. 2	Valores promedio de CO ₂ a distintas RPM con diésel premium	76
3. 3	Valores promedio de O ₂ a distintas RPM con diésel premium	77
3. 4	Valores promedio de ppm de NO _x a distintas RPM con diésel premium	78
3. 5	Valores promedio de CO a distintas RPM con Mezcla B10	80
3. 6	Valores promedio de CO ₂ a distintas RPM con Mezcla B10	81
3. 7	Valores promedio de O ₂ a distintas RPM con Mezcla B10	82
3. 8	Valores promedio de ppm de NO _x a distintas RPM con Mezcla B10	83
3. 9	Datos totales obtenidos en comparación de CO	85
3. 10	Datos totales obtenidos en comparación de CO ₂	86
3. 11	Datos totales obtenidos en comparación de O ₂	88
3. 12	Datos totales obtenidos en comparación de ppm NO _x	89
3. 13	Comparativa en emisiones de CO con diferente biodiésel B10	91
3. 14	Comparativa en emisiones de CO ₂ con diferente biodiésel B10	92

3. 15	Comparativa en emisiones de O_2 con diferente biodiésel B10	94
3. 16	Comparativa en emisiones de ppm NOx con diferente biodiésel B10	96

GLOSARIO DE TÉRMINOS

BtL: Biomass to liquid

NaOH: Hidróxido de Sodio

KOH: Hidróxido de Potasio

B10: Mezcla en proporción 90% de diésel comercial y el 10% de biodiésel

I+D: Investigación y Desarrollo

AGL: Ácidos Grasos Libres

SAO: Sustancias que agotan la capa de ozono

NC: Número de Cetano

IC: Índice de cetano calculado.

CH₃OH: Metanol

Biodiésel Q B10: Elaboración de Biodiésel con diésel premium desde la ciudad de Quito

Biodiésel IB B10: Elaboración de Biodiésel con diésel premium de la ciudad de Ibarra

Ppm NOx: Partículas por millón de óxido de nitrógeno

PET: Tereftalato de Polietileno (*Polyethylene Terephthalate*)

UNACEM: Unión andina de cementos

P.M.: Peso molecular

DPEC: Departamento de petróleos, energía y contaminación

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

EN: Normativa Europea

API: Instituto Americano de Petróleo

kHz: Kilohercios

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁGNA
A.I. 1	Requisitos del Diésel Premium en Ecuador NTE INEN	109
A.I. 2	Requisitos Biodiésel B100 NTE INEN 2 482:2009	110
A.I. 3	Requisitos de Biodiésel Norma EN 14214	111
A.I. 4	Requisitos del Biodiésel Norma ASTM	112
A.II. 1	Uso de microscopio para determinar un aproximado del tamaño de poro de la tela tamiz	113
A.II. 2	Observación del tamiz a 1 capa, 3 capaz y 4 capaz respectivamente a un aumento de lente de 4x/0.10	113
A.II. 3	Procesos de filtrado y sedimentación	114
A.II. 4	Proceso evaporación de agua del aceite reciclado de 90°C a 100°C	114
A.II. 5	Concentración de metóxido sódico (200ml Metanol + 5g de NaOH)	115
A.II. 6	Miscelánea de metóxido sódico con aceite reciclado de cocina	115
A.II. 7	Aplicación de frecuencia ultrasónica a 45 kHz constante	116
A.II. 8	Proceso de decantación de glicerina	116
A.II. 9	Primer proceso de lavado con agua a 65°C	117
A.II. 10	Segundo proceso de lavado con agua a 65°C	117
A.II. 11	Tercer proceso de lavado con agua a 65°C	117
A.II. 12	Resultados Fisicoquímicos Biodiésel B10 de ARC	118
A.III. 1	Toma de datos a diferentes rpm	119
A.III. 2	Verificación estado de rpm	119

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se plantea en el desarrollo de un biocombustible utilizando los residuos de aceite de cocina de distintos centros de cocción de comidas a nivel local, esto como una medida sustitutiva en la reducción de la contaminación ambiental por parte del aceite de cocina hacia las fuentes de recursos hídricos, sumideros, así como también el incremento en la contaminación de motores de combustión interna, principalmente de ciclo diésel. Se busca la viabilidad de una producción de biocombustible por medio de éste tipo de biomasa, aplicando un método de transesterificación sometido a un proceso de baño ultrasónico, manteniendo una frecuencia de 45 kHz proporcionado por el equipo, la sustancia a ser tratada permanece dentro de un vaso de precipitación de cristal rodeado de un volumen líquido, permitiendo el traslado de ondas ultrasónicas de alta frecuencia, provocando un fenómeno de cavitación en el compuesto, lo cual mejora el proceso de reacción química y optimizando el tiempo de obtención de biodiésel, se estimó una prueba con 800 ml de aceite de cocina previamente filtrado, pasando por un proceso de evaporación de agua y sedimentación de partículas suspendidas en este, formando una reacción con 200 ml de metóxido sódico, completando la capacidad de un vaso de precipitación de 1000 ml, se utilizó metanol a una pureza de 99,8 % e Hidróxido de Sodio de un P.M 40 g/mol, así también manteniendo una temperatura sobre los 45 °C al final del proceso. Una vez se obtuvo biodiésel B100, previamente lavado con agua a una temperatura 65 °C y la evaporación de partículas de agua y metanol a una temperatura de 75 °C suspendidos en el biodiésel, para un posterior análisis fisicoquímico de la mezcla B10, realizados en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química de Petróleos Energía y Contaminación, obteniendo excelentes parámetros, cumpliendo los estándares establecidos dentro de la normativa ecuatoriana INEN. Las pruebas de análisis de emisiones de gases contaminantes se realizaron en los talleres de la Universidad Técnica del Norte, sector Huertos Familiares a una altitud de 2244,85 ms.n.m., es preciso destacar que el motor en cuestión no cuenta con un proceso catalizador y oxidante de gases de escape, lo cual quiere decir, es una expulsión directa de estos hacia la atmósfera. Los parámetros obtenidos presentan una reducción en la emisión de gases contaminantes, especialmente del óxido de nitrógeno en 17,90 % del nivel total promedio de ppm NO_x y 40,51% de CO.

ABSTRACT

This research brings forth the development of a biofuel using waste cooking oil from different sources where this oil is used at a local level, as an alternative to reduce environmental pollution from cooking oil to water sources and drains and an increase in the pollution of internal combustion engines, especially diesel. The viability of a biofuel production using this type of biomass by a transesterification method subjected to a process of ultrasonic cleaning, maintaining a frequency of 45 kHz provided by the equipment, which searches the substance to be treated which is in a beaker surrounded by a liquid volume. It allows transportation of ultrasonic waves of high frequency, causing cavitation in the substance improving the chemical reaction process and optimizing the time of obtaining biodiesel. A test was estimated with 800 ml of previously filtered cooking oil, through a process of evaporation of water and the sedimentation of suspended particles in this reaction with 200 ml of sodium methoxide, completing the capacity of a beaker of 1000 ml, using methanol at a purity of 99.8% and Sodium hydroxide of a Molecular Weight of 40 g / mol, and maintaining a temperature above 45 °C at the end of the process. Once the B100 was obtained, which was previously washed with water at 65 °C and evaporation of particles of water and methanol at a temperature of 75 °C suspended within the biodiesel for further physicochemical analysis of the B10 mixture, conducted at the "Central del Ecuador" University at the Faculty of Chemical and Petroleum Engineering Energy Pollution, obtaining excellent parameters, meeting the standards set in the Ecuadorian "INEN" regulations. The analysis of polluting emissions tests was performed in the workshops of the "Técnica del Norte" University located in the "Huertos Familiares" neighborhood at an altitude of 2244.85 masl, it should be noted that this engine does not have an oxidizing catalyst and exhaust process, which results in a direct expulsion of these gases into the atmosphere. The obtained parameters show a reduction in greenhouse gas emissions, specifically nitrogen oxide in 17.90% NO_x level average total ppm and 40.51% of CO.

CAPÍTULO I

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTES

La crisis ambiental es uno de los mayores desafíos a los que tiene que responder nuestra sociedad. Para lo cual se encuentran involucrados varios campos móviles y fijos generadores de emisiones contaminantes expuesta hacia la atmósfera, proporcionando una contaminación progresiva en el transcurso del tiempo y espacio, según ha determinado (PNCA, 2013).

La contaminación se produce actualmente debido a las emisiones por parte de fuentes fijas y móviles. Las cuales ocupan motores de combustión interna, como los utilizados en industrias textiles, mismos que pueden ser tipo generadores eléctricos dentro de fábricas, y principalmente de vehículos automotores livianos y pesados (Imbaquingo & Flores, 2015).

La introducción del biocombustible como fuente de energía secundaria para motores de tipo diésel está revolucionando en el uso a diferentes mezclas con diésel comercial.

Aunque el combustible biodiesel-diésel puede sustituir el combustible diésel a un índice de mezcla aceptable de hasta 20%, las propiedades del combustible podrían verse afectadas más allá del límite de la norma del fabricante del motor cuando se mezcla en una proporción de alto volumen. (Mohd Hafisil, y otros, 2017, pág. 499)

Un biocombustible puede ser sustituto de un combustible 100% fósil, en proporciones estadísticas, bajo reglamentos que permitan su manejo sin llegar a modificar componentes internos de un motor en cuestión. Lo cual es viable ambientalmente, satisfaciendo necesidades ecológicas, al tiempo que se aprovecha residuos como parte de una biomasa para la producción de biocarburantes.

De acuerdo con las normativas expedidas por: El Instituto Ecuatoriano de Normalización 2009, (INEN), manifiesta que, “el biodiesel es un combustible compuesto de mezclas ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadenas de carbonos medianas y largas, derivadas de aceites vegetales y animales”. Para lo cual se adjudica como una fuente alternativa en el consumo de biocombustibles facultativos, manteniendo un equilibrio en el consumo.

Rudolf Diésel, Ingeniero Alemán, en su libro titulado “Combustibles Líquidos”. Menciona sobre el uso de biocombustibles en los años 1900 en motores diésel, con la utilización de aceites vegetales, esto representaba distinción de caracterizaciones fisicoquímicas, principal desventaja la viscosidad en el sistema de alimentación, proporcionando sedimentos y obstrucción de cañerías (Ávila Orozco, 2015, pág. 6).

Para lo cual, se han desarrollado varios métodos y alternativas para disminuir la viscosidad de los aceites usados como biomasa en la producción de biocombustibles, métodos como el blendig (dilución o combinado). Así como la micro emulsificación, pirolisis, transesterificación y la utilización de un método ultrasónico, que precisa ser un referente en la optimización del tiempo, en el que se produce el tratamiento de biodiesel (Ávila Orozco, 2015, págs. 7-8).

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

Los altos índices de polución en el aire que se han venido ostentando a lo largo de estos últimos años, ha sido debido al incremento de la población y por consiguiente el acrecentamiento del parque automotor, considerándose como fuentes de desarrollo en el transporte y movilidad. No obstante, esto genera mayores emisiones tanto de vehículos con motores a gasolina, así como también vehículos con motores a diésel, habitualmente en transporte pesado, estos últimos son considerados mayoritariamente contaminantes, en cuanto a emisiones de gases, por la densidad que tienen sus gases, esto se debe a que, en el país aún no se ha mejorado la calidad del combustible diésel, lo cual no permite la introducción de nuevos automotores tipo motores diésel, mismos que cumplan con normas estandarizadas a nivel internacional, estando en pleno auge la normativa Euro VI.

Para mitigar el incremento de emisiones se han creado nuevos centros de revisión técnica vehicular a nivel nacional, para el control de las emisiones, de acuerdo con los niveles permisibles dentro del estado ecuatoriano, dictaminado por (NTE INEN 2207, 2009).

1.3 PROSPECTIVA

El presente estudio de investigación tiene como finalidad realizar un análisis cuantitativo respecto al porcentaje de emisiones contaminantes en motores diésel, haciendo una comparativa entre el uso de Diésel Premium y Biodiesel B10, que se produce teniendo como materia prima, el aceite usado de cocina, previa recolección y manipulación en un pretratamiento de sedimentación y filtración de partículas suspendidas representativas.

El proceso de obtención del biodiesel está bajo un método de baño ultrasónico, con el uso del catalizador correspondiente, lo que se pretende es reducir el tiempo de tratamiento respecto a métodos convencionales, como la transesterificación. Sin embargo, se considera que es posible una reducción en tema de emisiones con el uso de biocombustible a una mezcla B10, es decir 10% de biocombustible y manteniendo el 90% como diésel comercial.

No es recomendable sobrepasar una mezcla B20, debido a que las propiedades fisicoquímicas de los biocombustibles mantienen compuestos que pueden afectar directamente a componentes internos del sistema de inyección de combustible (Mohd Hafisil, y otros, 2017). Esto permite que no sea necesario optar por modificaciones al sistema de alimentación del vehículo, manteniendo mezclas inferiores a B20. Así como también influye de sobremanera el índice de viscosidad, para su correcta inyección dentro de las cámaras internas, y obtener un buen proceso de combustión en un tiempo explícito.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La revolución ecológica debe ser la consolidación del cambio de la matriz productiva y de la matriz energética, como base para la generación de empleo y riqueza, reduciendo las emisiones que contribuyen al cambio climático y garantizando la conservación (SENPLADES, 2017). Aportando al mantenimiento de nuestro patrimonio natural, en beneficio de toda una comunidad y nacionalidad de un pueblo.

La contaminación ambiental se expande en relación con otros aspectos, como la mala práctica en el tratamiento de restos sólidos y líquidos, donde algunos son considerados como materia prima en el desarrollo de combustibles alternativos.

El aceite de frituras, residuo de hogares, centros e instituciones, hotelería, etc., que por sus características fisicoquímicas se evalúan como un alto potencial energético en la producción de biocombustibles, optimizando y tratando de mantener el equilibrio en el uso de recursos naturales, aportando a la disminución del uso de combustibles fósiles.

Al desconocer las propiedades y funciones que presenta esta biomasa, en correlación a la capacidad energética, se desechan por medio de drenajes hacia las alcantarillas. Siendo un líquido que se establece en función de la temperatura, lo cual origina la obstrucción de conductos, que conlleva a inundaciones, determinando un acrecentamiento en la contaminación por residuos (Iman AF, y otros, 2014).

Un litro de aceite usado de cocina aproximadamente contamina hasta 1000 litros de agua, lo que representa la cantidad de agua que toma una persona per cápita. Cuando el aceite entra en contacto con el agua, se forma una película superficial que disminuye el intercambio de oxígeno e incrementa la mortalidad de los seres vivos del ecosistema acuático (Parra, Marín, Jácome, & Sinche, 2018)

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán los resultados que se obtendrán dentro de la utilización de biodiésel a partir del aceite de cocina determinado como residuo, con una mezcla B10 aplicado a un motor diésel Mitsubishi Canter, año 1995, libre de catalizador?

1.6 DELIMITACIÓN

1.6.1 TEMPORAL

El presente proyecto se realizó desde el mes de diciembre del 2018 hasta el mes de septiembre del 2019.

1.6.2 ESPACIAL

El proyecto en mención se desarrolló en los talleres de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, sector Huertos Familiares (Estadio UTN), a una altitud de 2244,85 ms.n.m., perteneciente al campus de la Universidad, bajo las debidas restricciones y políticas de esta.

1.7 OBJETIVOS

La finalidad de esta investigación tiene como finalidad cumplir con todos los objetivos planteados a continuación:

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las emisiones en motores diésel con el uso de biodiésel a base de aceite reciclado de cocina producido mediante ultrasonido.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Producir biodiésel a partir del aceite reciclado de cocina por medio de un proceso ultrasónico.
- Caracterizar los aspectos fisicoquímicos del biodiésel B10.
- Analizar el comportamiento de motores diésel con una mezcla B10.
- Comparar las emisiones de los gases de escape con diésel comercial y biodiésel B10, producido mediante un proceso ultrasónico.

1.8 ALCANCE

La presente investigación se orientará dentro de un análisis cuantitativo sobre emisiones generadas por un motor diésel Mitsubishi Canter, año 1995, libre de catalizador, con un

sistema de inyección mecánico por medio de una bomba lineal, atomizando de este modo el combustible dentro de la cámara de combustión, se utilizará biocombustible a partir del aceite usado de cocina, como materia prima. Se utilizará un método ultrasónico para el procesamiento y obtención del biocombustible, se buscará optimizar el tiempo de producción con respecto al método tradicional, como es el proceso de la transesterificación.

La técnica de ultrasonido que se utilizará en este procedimiento es una de las más amigables con el medio ambiente, al no producir residuos a base de agua, que se alternan para el lavado del biodiesel en un proceso clásico de transesterificación, lo que da origen a aguas residuales altamente contaminantes, determinándose como un proceso poco amigable con el medio ambiente al ser realizado de forma clásica.

Mediante una caracterización de sus propiedades fisicoquímicas, se establecerá la calidad del biocombustible, a una mezcla B10, es decir el 10% de biocombustible y el restante 90% se mantendrá como Diésel Premium, se considerará que no es viable exceder una mezcla del tipo B20 (Mohd Hafisil, y otros, 2017). Esto dependerá del tipo de biomasa a tratar, índices altos de acidez, en este caso se tratará con aceite usado de cocina.

Los nuevos desarrollos tecnológicos mediante los cuales son elaborados los motores diésel, demandan un uso de combustibles con estándares de mejor calidad, de acuerdo a las evoluciones que tienen las Normativas Internacionales, manteniéndose en pleno auge la normativa Euro VI y en pleno desarrollo la normativa Euro VII, por lo tanto se determinará el comportamiento de los motores diésel aplicando biocombustibles, los efectos posibles, favorables o no, para diversos componentes internos en el sistema de inyección electrónica principalmente.

Debido a los elevados índices de contaminación afectando excesivamente calidad del aire, por parte de los motores diésel especialmente, al no contar con un control más riguroso y permitir la circulación de unidades con más de 20 años en servicio, las cuales se establecen en normativas Euro III, se evaluará las emisiones usando biocombustible producido mediante un proceso de baño ultrasónico del aceite usado de cocina, determinado como un residuo.

1.9 JUSTIFICACIÓN

Este estudio se enfoca en la producción, análisis para un motor Diésel Mitsubishi Canter, año 1995, libre de catalizador con inyección mecánica bajo una bomba lineal, perteneciente al talleres de Ingeniería Automotriz, así como el posible consumo de combustibles alternativos, como fuentes de energía para motores diésel, siendo una alternativa en producción de derivados petrolíferos de carácter fósil, lo cual trata de mitigar las emisiones contaminantes expedidas a la atmósfera, que afecta considerablemente a todos los seres vivos.

Por tal motivo este proyecto se generaliza con los lineamientos propuestos dentro de un marco legal y jurídico (SENPLADES, 2017). Así como también manteniendo el enfoque de los lineamientos que proponen La Gobernanza estratégica para el cambio de la Matriz Productiva y Energética del Ecuador, bajo un manejo responsable de recursos naturales, para beneficio colectivo de la sociedad (Sánchez Cano, 2015).

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo, Toda Una Vida, manifiesta en sus objetivos 5.7. que, se garantice el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social (SENPLADES, 2017). Así como también en el objetivo 5.8. Procura fomentar la producción nacional con responsabilidad social y ambiental, potenciando el manejo eficiente de los recursos naturales y el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias (SENPLADES, 2017).

A un régimen internacional, en diferentes países cuentan con automotores de motores tipo diésel con tecnologías Euro V y VI. En Ecuador, la calidad de combustible superior a las 100 partículas por millón de azufre solo permite contar con buses y transporte pesado con tecnologías hasta Euro III, existentes desde hace más de 30 años (El Comercio, 2018).

La polución representa uno de los conflictos ambientales más controversiales, en cuanto a calidad del aire, estratégicamente dentro de las zonas urbanas, donde se enfoca el progreso y crecimiento acelerado de la población y de manera proporcional el parque automotor, así como también un incremento el desarrollo industrial. Para lo cual es fundamental incorporar nuevas políticas y acciones que estén en función de gestionar y ayudar a controlar una mejor calidad del aire (Ambiente, 2013).

1.10 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se ha desarrollado presentando y ejecutando por medio de diferentes tipos, mismo que se cuestionan a continuación.

1.10.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En este tipo de investigación experimental se percibió la realización de pruebas estáticas, para la obtención de gases de escape, determinados a diferentes regímenes de giro, por medio del uso de diésel premium y biodiésel B10 a partir de aceite reciclado de cocina como materia prima, obteniendo como resultados datos representativos.

1.10.2 INVESTIGACIÓN TRANSVERSAL

La investigación transversal está determinada por un lapso determinado de tiempo, así como el espacio, y de manera influyente la demografía del lugar. Para el presente proyecto se ha realizó las pruebas estáticas a un solo horario y a una respectiva altitud sobre el nivel del mar, de manera que se logró relacionar un patrón favorable en la toma de datos.

1.10.3 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica consiste en tomar información textual o parafraseada de trabajos ya realizados con anterioridad, prevaleciendo como uso público, pero que tienen correlación con la presente investigación, de manera que debe tener la información necesaria y relevante para la presente investigación.

1.11 MÉTODOS INVESTIGATIVOS

Esta parte del proceso describe la relación existente de la metodología como un instrumento que enlaza el sujeto con el objeto de la investigación, esto permite llegar un sistema lógico que se percibe de manera científica.

1.11.1 MÉTODO INDUCTIVO

El método inductivo, también conocido como método experimental es un método científico que alcanza todo tipo de resultados empezando por una pequeña idea, por lo que para el presente trabajo de investigación se llegará a las conclusiones con datos relacionados de otras investigaciones presentes por divulgación (Lema Parra, 2019).

1.11.2 MÉTODO HISTÓRICO LÓGICO

Generalmente es un método encargado de un estudio con una secuencia y un orden cronológico, que mantenga correlación con algún tipo de investigación referencial, logrando así alcanzar los objetivos planteados en el proyecto de investigación, haciendo uso adecuado de la información anteriormente mencionada y de esta manera encausar futuras y posibles investigaciones relevantes.

1.12 MARCO TEÓRICO

La visión está enfocada en la industria de Motores Diesel, dedicados a la construcción de vehículos industriales y de transporte de carga pesada generalmente. Sin embargo, las grandes industrias se han visto obligadas a reducir el tamaño de sus motores lo suficiente para vehículos de carácter familiar, así como de tipo turismos y vehículos medianos de carga liviana, los cuales pueden estar disponibles para el hogar y diversas labores que proporcionan un bajo desempeño (Ortiz Mateo, 2011, págs. 28-29).

1.13 DIESEL PREMIUM

El diésel premium es el que se comercializa en el país, generalmente este tipo de diésel se comercializa en ciudades centrales y de mayor afluencia vehicular como Quito, Guayaquil y Cuenca, gracias a una mejor calidad que presenta, esto hace que su demanda se incremente en dichas ciudades principalmente (Echeverría, 2018, pág. 27). Por lo tanto, se ha

determinado que es el mejor producto dentro del país propiciando el mejor rendimiento en los motores actualmente.

1.14 BIOCOMBUSTIBLES

Se designan biocombustibles a los combustibles que son capaces de obtenerse a partir de una biomasa, desde un proceso sostenible y amigable con el medio ambiente, cabe destacar que se denominan por generaciones.

1.14.1 BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN

Se producen por medio de materias primas convencionales, considerando el uso de insumos de carácter alimenticio, para producir combustibles biológicos que en cierta medida pueden afectar directa o indirectamente la cadena alimentaria, encareciendo los costos de diversos productos sustanciosos, lo cual genera una preocupación drástica y dramática dentro de la población (Goñi Delión & Rojas Delgado, 2014, pág. 199).

Así como los métodos productivos y distintas tecnologías que se emplean para prosperar en su eficiencia. Con el uso de aceites vegetales, caña de azúcar y almidón para la producción de biodiesel, bioetanol o biogás (Rauch, Kiennemann, & Sauciuc, 2013, pág. 399).

1.14.2 BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Para que los biocombustibles de segunda generación tengan existencia y correlación con los de primera generación deben existir estos primero, considerando uno de los requisitos más importantes en la producción de cualquier generación y tipo de biocarburante es necesario que este se produzca de manera sostenible, tomando en cuenta el equilibrio en la cadena alimentaria, así como en el cuidado del medio ambiente. Esta segunda generación se centraliza en cultivos no alimentarios para la producción de biodiesel FT, bio-alcoholes, bio-aceite y también biohidrógeno (Rauch, Kiennemann, & Sauciuc, 2013, págs. 399-400).

La Tabla 1 muestra la identificación de los biocombustibles de primera y segunda generación de instancias productivas, así como la conservación y producción, posteriormente aplicando un estado de tecnología para una sucesiva comercialización.

Tabla 1. 1 Tipos de combustibles

	Insumo/feedstock	Proceso de conservación	Principal uso final	Estado de tecnología
Biocombustibles líquidos de primera generación	Bioetanol: cultivos ricos en azúcar o almidón	Fermentación	Motores para el transporte	Comercial
	Biodiésel: oleaginosas, grasas vegetales y animales	Esterificación	Motores para el transporte	Comercial
	Feedstocks de última generación para biodiésel incluyen algas		Motores para el transporte	I+D
Biocombustibles líquidos de segunda generación	Bioetanol lignoceluloso: pastos, residuos forestales y agrícolas	Hidrólisis, Gasificación (ej. Fischer-Tropsch)	Motores para el transporte	I+D o Demostración
	Biodiésel (BtL): cualquier tipo de biomasa	Gasificación (Fischer-Tropsch)	Motores para el transporte. Pero el syngas resultante de la gasificación también sirve como combustible intermedio para aplicaciones térmicas y de generación eléctrica.	No usado comercialmente

Fuente: (Dufey & Stange, 2011, pág. 12).

1.14.3 BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN

La tercera generación se basa en algas o aceites vegetales para la producción de biodiesel (Rauch, Kiennemann, & Sauciuc, 2013, pág. 401).

1.15 BIOMASA

La biomasa se nombra a cualquier material de carácter orgánico, o a su vez proveniente de seres vivos, propios que son utilizados para producir energía alternativa (Pinilla Torres, 2014, pág. 18). Sin embargo, la biomasa no es muy considerada dentro de un aspecto como fuente renovable de energía eléctrica principalmente, a pesar de ello es considerada para otros campos de producción, en este caso aplicación al mercado automotriz, presentando un futuro competente a largo plazo desarrollándose de una manera sostenible, al tiempo que se considera partidaria con el medio ambiente gracias a una disminución en emisiones netas de CO_2 , así como también se considera con un potencial relativamente económico en comparación con los combustibles fósiles, los cuales aumentan su costo progresivamente (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, págs. 44-45).



Residuos
agrícolas y
forestales



Residuos
animales



Residuos de
industrias
alimenticias



Residuos sólidos
urbanos

Figura 1. 1 Tipos de Biomasa

En la Figura 1. 1 es dable distinguir diferentes tipos de biomasa provenientes de residuos sólidos y líquidos que son una fuente de energía renovable, al mismo tiempo que ayuda una conservación más adecuada del medio ambiente y aprovechando para la producción de biocarburantes de forma adecuada y a largo plazo permanentemente.

1.16 BIODIÉSEL

Los recursos naturales que existen sobre la superficie terrestre, tanto renovables como los no renovables han sido utilizados de forma imperceptible, de manera que en el transcurso de los años se ha ido incrementado, causando un desequilibrio ambiental. Sin embargo, se mantiene el consumo de productos derivados, mismos que son aprovechados por la humanidad, incluso desde hace años atrás. Para este argumento, existe la posibilidad del uso de aceites vegetales y grasas animales como materias primas en producción de combustibles alternativos, para iluminación y calefacción, segregando un enfoque sobre la aplicación y funcionamiento en motores de combustión tanto interna y como externamente (Ávila Orozco, 2015, págs. 2-3).

“El biodiesel es un combustible compuesto de mezclas de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos, de cadenas de carbonos medias y largas derivadas de aceites vegetales o grasas animales” (INEN, 2009).

Rudolf Diésel, Ingeniero Alemán, en su libro titulado “Combustibles Líquidos”. Menciona sobre el uso de biocombustibles en los años 1900 en motores diésel, con la utilización de aceites vegetales, esto representaba distinción de caracterizaciones fisicoquímicas, principal desventaja la viscosidad en el sistema de alimentación, proporcionando sedimentos y obstrucción de cañerías (Ávila Orozco, 2015, pág. 6).

La introducción del biocombustible como fuente de energía secundaria para motores de tipo diésel está revolucionando en el uso a diferentes mezclas con diésel comercial.

Aunque el biocarburante puede sustituir el combustible diésel fósil a un índice de mezcla aceptable de hasta 20%, las propiedades del combustible podrían verse afectadas más allá del límite de la norma del fabricante del motor cuando se mezcla

en una proporción relativamente de alto volumen. (Mohd Hafisil, y otros, 2017, pág. 500)

La descomposición de una materia prima mediante una reacción química da lugar a la formación de biodiésel, lo cual consiste en separar de la glicerina los ácidos grasos que lo constituyen, esto se realiza mediante un catalizador, como reactivo común se usa hidróxido de sodio (NaOH), así como también, hidróxido de potasio (KOH). Mediante la unión a una molécula de metanol o de etanol, como alcoholes principales, arrojando un resultado de formación de metóxido de sodio: (CH₃ONa), a toda esta formación se llama transesterificación (LLC, 2017).

1.16.1 VENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

- Los biocombustibles son biodegradables, formando un equilibrio ambiental.
- Estos biocarburantes no poseen una huella neta en la cantidad de CO₂ existente en la atmósfera terrestre (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009, pág. 78).
- Es considerado un líquido solvente que tiene propiedades de limpieza de cañerías, tanques, y sistemas de alimentación, considerando mezclas apropiadas.
- La reutilización de residuos como materias primas prescriben como una base de su elaboración.
- El biocombustible no es tóxico, es biodegradable al contener menores porcentajes de azufre e hidrocarburos, haciendo posible su uso en motores diesel, sin alteraciones en sistemas de alimentación o con modificaciones mínimas, sin llegar a alterar el rendimiento de este (Fonseca, Teleken, Almeida, & Camila da Silva, 2019, pág. 206).

1.16.2 DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

- Los costos de elaboración tienen índices elevados al utilizar reactivos restringidos, además del metanol.
- Mantienen un elevado consumo de agua para la elaboración del biocombustible, en el proceso de lavado de este, así como también de agroquímicos, (reactivos).

- Los conductos de alimentación para el motor tienden a obstruirse, debido a la formación de sedimentos que presenta el líquido al someterse principalmente a bajas temperaturas.
- El uso de biocombustibles en una composición del 100%, presenta corrosión, desgaste de juntas, mangueras y retenedores que conformar parte del sistema de alimentación, elevando el costo de mantenimiento.

1.17 PARÁMETROS Y MÉTODOS DE PRUEBAS PARA EL ESTÁNDAR DEL BIODIÉSEL

La tabla 1.2 presenta los parámetros que permiten un biodiésel sea de calidad, mismos que establece las normativas de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM).

Tabla 1. 2 Estándar de calidad del biodiésel

PARÁMETRO	ESTÁNDAR	MÉTODO DE PRUEBA
Azufre	50 mg / kg (max) 10 mg / kg (max)	ASTM D5453
Ceniza sulfatada	0.020% de masa (max)	ASTM D874
Residuo de carbono (10% de residuo de destilación)	Masa 0.30% (max)	ASTM D4530
Agua y sedimentos	0.050% vol (max)	ASTM D2709
Fósforo	10 mg / kg (max)	EN 14107
Glicerol libre	0.020% de masa (max)	ASTM D6584
Glicerol total	0.250% de masa (max)	ASTM D6584

(Continuación...)

Tabla 1.2 Estándar de calidad del biodiésel (**Continuación...**)

Rieles	5 mg / kg Grupo I (Na, K) 5 mg / kg Grupo II (Ca, Mg)	EN 14538 (Grupo I) EN 14538 (Grupo II)
Contenido de metanol	0.20% (m / m)	EN 14110
Densidad a 15 ° C	860 a 890 kg / m 3	ASTM D1298
Destilación t90	360 ° C (max)	ASTM D1160
Viscosidad	3.5 a 5.0 mm 2 / s a 40 ° C	ASTM D445
Punto de inflamabilidad	120.0 ° C (min)	ASTM D93
Corrosión de la banda de cobre (3 horas a 50 ° C).	Si el biodiesel no contiene más de 10 mg / kg de azufre - Clase 1 (máx.) Si el biodiesel contiene más de 10 mg / kg de azufre - No. 3 (máx.)	EN ISO 2160 o ASTM D130 ASTM D130
Contenido de éster	96.5% (m / m) (min)	EN 14103
Índice de acidez	0.80 mg KOH / g (max)	ASTM D664
Total, contaminación	24 mg / kg (max)	EN 12662
Número de cetano o Número de cetano derivado	51.0 (min)	ASTM D613 ASTM D6890
Número de cetano derivado		ASTM D6890
Estabilidad a la oxidación	6 horas a 110 ° C (min)	EN 15751 o EN 14112

Fuente: (Australian Government, 2003)

1.17.1 REQUISITOS DEL BIODIÉSEL EN ECUADOR

El biodiésel con el paso del tiempo cada vez se está volviendo indefectible para la mitigación de la contaminación hacia la atmósfera, para lo cual las normas INEN han establecido requisitos que deben cumplir para la aceptación dentro del mercado y posterior consumo, para lo cual se representa en la siguiente tabla los valores permisibles de aceptación. Estos parámetros que se exigen se detallan en el Anexo Figura AI. 1.

1.18 NORMATIVAS EURO V - EURO VI

Desde que se ha iniciado la restricción sobre emisiones en motores de combustión interna, como fuentes móviles, el estado europeo establece diferentes reglamentos, para el año 2009 se instaura la normativa Euro V, manteniendo como objetivo la reducción significativa de material particulado (PM), la cual se cataloga en función del tamaño de las partículas y de la calidad del aire, nocivas para todos los seres vivos, este material es emitido por motores de encendido por compresión debido a cantidad excesivas de impureza en el diésel (Peiró Lluca, 2014, pág. 17). Para lo cual los fabricantes de los vehículos incorporan el llamado Filtro de Partículas conocido como (FAP o DPF).

Actualmente rige la normativa Euro VI como base principal para futuros desarrollos, establecida en el año 2014, la misma que tiene como objetivo la reducción exponencial de los gases NO_x , emitidas por automotores diésel principalmente (Peiró Lluca, 2014, pág. 18). Mismos que son los causantes de diversas enfermedades nocivas para los seres vivos, para el cuerpo humano esencialmente.

El estado europeo está estableciendo acaecimientos sobre medidas más estrictas en cuanto a valores límite de emisiones para motores de gasolina y diésel, hasta llegar a la actual Euro V y Euro VI (Sánchez Hernández, 2010, pág. 51).

En la Tabla 1.3 Los límites permitidos para las emisiones en automotores con motores diésel, que establecen la unión europea hasta el año 2014.

Tabla 1. 3 Límites establecidos por la Norma Euro

Límites de emisiones establecidas por cada norma Euro para los turismos					
Norma	Entrada en vigor	CO (g/km)	HTC + NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1**	01/07/1992	2,72 (3,16)	0,97 (1,13)	....	0,14 (0,18)
Euro 2	01/01/1996	1,0	0,7	....	0,08
Euro 2	01/01/1996	1,0	0,9	....	0,10
Euro 3	01/01/2000	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro 4	01/01/2005	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5	01/09/2009	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	01/09/2014	0,50	0,17	0,08	0,005

Fuente: (Sánchez Hernández, 2010)

En pleno auge se encuentran los desarrollos de nuevos combustibles alternativos, que complementen la mitigación de polución hacia la atmosfera, así es el caso de la producción de biodiésel a partir de materias consideradas primas para su desarrollo, como el uso de aceites de carácter vegetal o animal. De modo que existe coacción con el equilibrio de la naturaleza y reducción de contaminantes, si se habla de aceites de uso doméstico, que también presentan gran parte de contaminación, como residuos vertidos a fuentes de agua (ríos, quebradas). Sin embargo, en esta investigación se pretende realizar una producción de biodiésel a partir de aceite reciclado de cocina, con el uso de tecnologías presentes en el medio, como es el uso de una maquina ultrasonido, catalogando una producción más amigable con el medio ambiente y tratando de reducir el tiempo de producción.

1.19 MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESIÓN

1.19.1 MOTORES DIÉSEL

Estos motores son llamados de combustión interna porque tienen la capacidad de realizar su trabajo dentro de una cámara cerrada por medio del desprendimiento de calor producido al quemarse el combustible, llegando a obtenerse elevadas temperaturas que bordean los 800 C considerablemente. En este caso, la presión de los gases de la combustión y el calor generado en su interior, provocan el movimiento de un mecanismo biela-manivela, mismo que se aprovechara como fuente de energía (Cuesta Ferrer, 2004). Este es un principio utilizado desde el siglo XIX, el cual continúa siendo vigente hasta fechas actuales, obviamente y con sentido lógico son mucho más avanzados en cuanto a nuevas tecnologías y desarrollos futuristas.

1.19.1.1 Factores que influyen en el trabajo de los motores

- La cilindrada.
- La relación de compresión. Presión de compresión.
- La velocidad de rotación del motor.
- La velocidad del émbolo.
- La relación carrera/diámetro.

1.19.2 CILINDRADA

Es la influencia que tiene la potencia del motor el volumen de mezcla que se quema en cada cilindro del motor.

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4} \quad [1.1]$$

Donde:

- V = *volumen del cilindro a calcular.*
- d^2 = *diámetro al cuadrado.*
- c = *carrera*

Los sistemas ingleses, así como los sistemas internacionales están constituidos por diferentes unidades de volumen establecidas por cm^3 o dm^3 , donde un dm^3 es lo mismo que un litro, independientemente del fabricante es posible que se lo encuentre en mm^3 , para los cálculos es mejor realizar de acuerdo con la necesidad y desempeño.

1.19.3 RELACIÓN DE COMPRESIÓN Y PRESIÓN DE COMPRESIÓN

“La relación de compresión es el índice que expresa el número de veces que el volumen total del cilindro es mayor que el volumen de la cámara de compresión” (Grupo Editorial CEAC, 2003).

$$R_c = \frac{V+V'}{V'} \quad [1.2]$$

Donde:

- $V = \text{volumen del cilindro (cilindrada)}$.
- $V' = \text{volumen de la camara de compresión}$.

1.19.3.1 Velocidad de rotación del motor

Para mecánica se considera a una revolución o giro a una vuelta completa de algún eje o cigüeñal, que se determina por el número de revoluciones por minuto, es decir la cantidad de vueltas que da un cigüeñal en un minuto, independientemente de las unidades que se vaya a utilizar, para mecánica se utiliza diferentes nomenclaturas, como son: (r/min) como símbolo, y como abreviatura (r.p.m.).

1.19.4 VELOCIDAD DEL ÉMBOLO

La velocidad del émbolo no es uniforme (Grupo Editorial CEAC, 2003, págs. 327-330). Y que cuando este llega al PMS llega a detenerse, invirtiendo su sentido de trabajo, por lo tanto, en ese punto su velocidad es cero, pero a medida que baja va en aumento de velocidad. Donde la velocidad media, para un rango de r.p.m. del motor se determina por medio de:

$$V_m = \frac{V_r * 2 * c}{60} \quad [1.3]$$

Donde:

- $V_m =$ Velocidad media el émbolo, en $[\frac{m}{s}]$
- $V_r =$ Velocidad de rotación del motor, en $\frac{r}{min}$
- $c =$ La carrera expresada en metro.

Considerando que el movimiento completo del émbolo en cada vuelta del cigüeñal, esto incluye dos carreras, una de subida y otra de bajada, lo cual se debe multiplicar por dos.

1.19.5 RELACIÓN CARRERA/DIÁMETRO

Es una de las causas que más influye en el máximo número de r.p.m. que se alcanza en un motor, es la relación existente entre longitud de la carrera y el diámetro de los émbolos (Grupo Editorial CEAC, 2003, págs. 327-330). Por lo tanto, una misma cilindrada unitaria se puede conseguir con un mayor diámetro del cilindro y una carrera más corta o al revés, con una carrera más larga y un diámetro menor.

1.19.6 PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN EL MOTOR DIÉSEL

La presión ejercida mediante diferentes mecanismos, con el fin de elevar la presión dentro de la cámara del cilindro, se debe a que este tipo de motores no necesitan de una chispa para encender su mezcla y provocar trabajo mecánico (Grupo Editorial CEAC, 2003, págs. 327-330). Mientras el émbolo sube se produce la compresión del aire, sin embargo, la relación de compresión para este tipo de motores se comprende entre 16:1 y 23:1, al finalizar la compresión la presión generada finalmente del aire se instaura entre los 40 y los 60 kgf/cm^2 y su temperatura se eleva sobre los 800°C.

1.19.7 NÚMERO DE CETANOS

La disposición con la que se produce la ignición de un gasóleo es mencionada mediante el número de cetano (N.C.). su fórmula $C_{16}H_{34}$ es considerada la de mayor inflamabilidad con un N.C.= 100, mientras que el alfa-metil-naftaleno, de fórmula $C_{11}H_{10}$, siendo de difícil inflamación (Grupo Editorial CEAC, 2003). A lo cual se asigna un N.C.= 0.

1.19.8 CICLO PRÁCTICO DIÉSEL

Al igual que en los motores de gasolina, se debe mejorar el rendimiento volumétrico, permitiendo tiempos de avance y retraso en las válvulas; si bien en estos motores, menos revolucionados, los valores de los avances y retrasos son menores. Coexiste diversas causas por las cuales los motores diesel tienen un bajo número de revoluciones por minuto, especialmente se aplica a motores de transporte pesado, actualmente se extiende a motores de menores cilindradas que un número similar de r.p.m. a los de motores a gasolina, aproximadamente se establece en aproximadamente 7000 r/min.

1.20 ACEITE RECICLADO DE COCINA

El aceite reciclado de cocina al ser un residuo orgánico sirve como base en la producción de biodiesel, dando así una segunda oportunidad a este compuesto, al mismo tiempo que se obtiene una reducción de la contaminación, al ser éste arrojado a vertederos, ríos, logrando un alto índice de contaminación. “De acuerdo con el Ministerio de Ambiente (MAE), cuando se bota el aceite usado de cocina por el fregadero este recorre las tuberías hasta terminar en un río, el cual no permite la oxigenación del agua” (La Hora, 2017), así también impidiendo la entrada de los rayos del sol, de modo que se produce la muerte de la flora y fauna acuática.

De acuerdo con otras estimaciones se indica que el potencial contaminante es de 1 a 10 mil litros, donde un litro de aceites capaz de contaminar diez mil litros de agua, provocando en un riesgo para la salud de los seres vivos.

ARC (Aceite Reciclado de Cocina), se establece como la primera y única corporación en Ecuador que mantiene una licencia de Gestor Ambiental en categoría 2, esta licencia le

permite realizar exportaciones, manteniendo una certificación como uso final del proceso (ARC, 2018). Considerando que el aceite comestible reciclado, mediante un tratamiento adecuado puede proporcionar productos derivados como jabón, glicerina, fertilizantes, y su principal desarrollo en una alternativa como combustible para motores de combustión interna.

1.20.1 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL BIODIÉSEL

La obtención de biodiésel a partir de aceites vegetales, optando por la conversión de estos aceites por medio de procesos de combinación en proporciones molares de alcohol metílico e Hidróxido de Sodio (NaOH) (García , Gandón , & Maqueira, 2013, pág. 2). Esta combinación de reactivos y alcoholes es utilizada en la transesterificación comúnmente. Sin embargo, es posible utilizarlos mediante un proceso de baño ultrasónico, bajando el tiempo de obtención del biocombustible.

El porcentaje de aceites y alcoholes que son empleados, son determinados por medio de relaciones estequiométricas, resultando en el caso del Hidróxido de Sodio, debe ser en mayores proporciones para el uso en el aceite usado, a comparación de un nuevo aceite sin descomposición por aumento de su temperatura (García , Gandón , & Maqueira, 2013, págs. 2-3). Esto no es con el fin de catalizar la muestra en reacción, eventualmente se neutraliza los AGL presentes en el aceite ser sometido a altas temperaturas.

Los catalizadores para la producción de biodiesel pueden ser homogéneos o heterogéneos, según la fase en que se encuentren. Por su capacidad de actuar químicamente pueden clasificarse en: ácidos y básicos (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017, pág. 51).

La Tabla 1.4 muestra los tipos de catalizadores que son posible utilizar para la producción de biocombustibles, en este caso para producir biodiesel principalmente, estos métodos de obtención son realizados clásicamente con la transesterificación.

Tabla 1. 4 Tipos de catalizadores utilizados en la obtención de biodiésel

Tipos de catalizadores	Ejemplo de catalizadores
Ácidos homogéneos	H_2SO_4 , HCL y H_3PO_4 ⁹⁻¹¹
Ácidos heterogéneos	Zeolitas, resinas sulfónicas, SO_4/ZrO_2 , TiO_2 y catalizadores a base de carbono ¹²⁻¹⁶
Básicos homogéneos	KOH y $NaOH$ [17 – 18]
Básicos heterogéneos	MgO , CaO , Na , $NaOH$, Al_2O_2 ¹⁹⁻²¹
Enzimáticos	Lipasas, <i>Candida</i> , <i>Penicillium</i> y <i>Pseudomonas</i> ²²⁻²⁵

Fuente: (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017).

Son considerados catalizadores homogéneos básicos por su formación de velocidades de reacción mayores, en comparación con catalizadores heterogéneos (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017, pág. 52). Sin embargo, estos procesos de separación son considerados muy costosos por lo que tienden a la formación de emulsiones, por lo tanto, requieren del 1 al 6 % en peso del reactivo, para llegar a un buen rendimiento hasta del 98%.

Existe una gran ventaja al utilizar KOH con respecto al $NaOH$ es que la glicerina resultante del proceso es menos tóxica, lo que ha permitido el uso de este subproducto para la producción de fertilizantes artificiales (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017, pág. 52). De acuerdo con las condiciones que se estima sobre la toxicidad en la utilización del $NaOH$, al ser un catalizador básico homogéneo, es el más utilizado en la elaboración de biocombustibles, resultando ser más estable entre el KOH , al obtener un índice alto de pureza.

1.20.1.1 Desgomado del aceite obtenido como residuo

El desgomado se realiza con agua oh de preferencia agua pura (destilada) considerando un alza en el coste de producción, considerado en condiciones no aptas para pasar a un estado de transesterificación directo. Con éste previo proceso se reduce la cantidad de fosfáticos y

fosfolípidos en los aceites de cocina considerados residuos (Campos, Delgado, Esquivel, Samamé, & Sirlupú, 2017, pág. 24).

Como una fase más en el proceso de desgomado se procura estabilizar el aceite, llevándolo hasta una temperatura de 60°C por un intervalo de 15 minutos, logrando evaporar restos de agua suspendidas en medio del aceite, seguidamente se deja en reposo en un recipiente completamente libre de agua, en un tiempo estimado de 24 horas a condiciones ambiente, en un lugar fresco y seco, una vez que se ha cumplido con el proceso está listo para someterse a la transesterificación bajo efectos ultrasónicos.

El aceite previamente sometido a frituras siendo el uso más común que se le da, éste contiene gomas, una gran cantidad de ácidos grasos libres (AGL), y sobre todo la humedad, presencia de agua, que se presentan como un problema y afectan a la producción del biodiésel evitando una buena transesterificación, incluso estando sometido a los efectos ultrasónicos, que resulta ser un nuevo método prometedor en cuestiones de ahorro en energía necesaria y disminución del tiempo en la obtención del producto a partir de la biomasa como materia prima.

1.20.1.2 Lavado con Burbujas

Este método no ha sido muy recomendado, sin embargo, se han obtenido buenos resultados en procesos de lavados, considerando que este proceso conlleva un periodo de tiempo de 12 a 24 horas en la eliminación de jabones presentes en el biodiésel (BiodiSol, 2018).

1.21 EQUIPO DE ULTRASONIDO

Dispositivo por cual un oscilador electrónico emite ondas de una alta frecuencia que son enviadas al transductor, el cual se encuentra en el fondo de la tina (cuba en acero inoxidable), produciendo un efecto de compresión y depresión, mediante una velocidad lo suficientemente alta. Generalmente los equipos de ultrasonidos de limpieza de inyectores trabajan mediante frecuencias que oscilan de entre 24 y 55KHz, lo que da origen a la producción de ondas ultrasónicas, que permiten y originan el proceso llamado cavitación ultrasónica (AutoSoporte, 2014).



Figura 1. 2 Equipo de Ultrasonido.

La Figura 1.2 muestra un equipo de ultrasonido Ultrasonic Cleaner FY100, con una frecuencia aproximada de 45 kHz, mismo que permite realizar muestras de producción de biodiesel a escala de laboratorio, este equipo tiene una capacidad máxima de 1000mL, equipo proporcionado por la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

1.21.1 UTILIZACIÓN DE ULTRASONIDO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Se realizan estudios en procesos de obtención de biocombustibles utilizando medios tecnológicos que proporcionan ayuda en gran medida, son procesos alternos, lo que permite una atracción para el desarrollo de estos procesos que no tienen consecuencias permanentes con el ambiente (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2017, pág. 51). Estos procesos permiten una reducción del consumo energético, así como también la reducción de subproductos consecuentes de las reacciones producidas.

El uso de un sistema de ultrasonido tiene algunas ventajas en la producción de biodiésel en relación con la forma clásica de obtener el producto (Morales, Zurko, Sequeira, & Chamorro, 2015, pág. 120). Considerando que hasta el momento no resulta ser muy viable el proceso de

transesterificación debido a que es un proceso que conlleva tiempos muy extensos de preparación y obtención del producto lo cual no es económicamente rentable a producción industrial.

Es así como se ha ido tratando con tecnologías alternativas, se ha provisto de la implementación de un sistema ultrasónico, irradiando onda de baja frecuencia que cumplen con la función de cavitación de las burbujas formadas (Morales, Zurko, Sequeira, & Chamorro, 2015, pág. 121). Así como también cumplen con el proceso de mezcla, lo cual reduce el tiempo y se obtiene mejores resultados, incrementando el índice de obtención de biocombustible y menos subproductos.

“Las ondas de ultrasonido mejoran la transferencia de masa entre los reactivos no miscibles a través de la cavitación ultrasónica, lo que genera no solo una mayor eficiencia en la reacción y ahorro de tiempo” (Morales, Zurko, Sequeira, & Chamorro, 2015, pág. 122). A pesar de los beneficios descritos con anterioridad, este proceso resulta ser viable económicamente, consumiendo así, sólo un tercio de la energía provista en el proceso clásico.

1.21.1.1 Teorías físicas del Ultrasonidos

El ultrasonido es definido como una serie ondas mecánicas, generalmente mantienen una onda longitudinal, que se originan mediante la vibración de un cuerpo elástico (Cristal Piezoeléctrico), propagándose por mediante un medio material, considerando que la frecuencia supera a la del sonido audible para el humano, superando los 20000 ciclos por segundo o 20 kilohertzios [kHz] (Vargas, Amescua Guerra, Bernal, & Pineda , 2008, pág. 361).

1.21.1.2 Características de una onda de sonido

- **Ciclo:** se sugiere como el movimiento de la onda.
- **Longitud:** es la distancia necesaria para completar un ciclo, generalmente se denomina como λ .
- **Amplitud:** valor máximo en sentido positivo y negativo, alcanzando la onda sonora.
- **Frecuencia:** es el número de ciclos por unidad de tiempo.

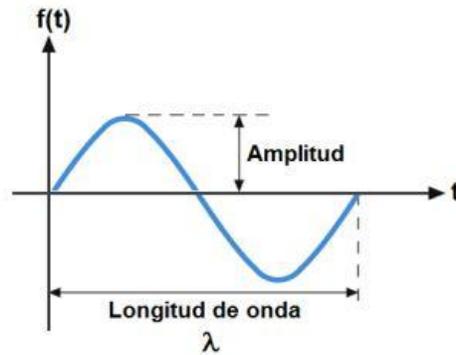


Figura 1. 3 Características de una onda sonora

Fuente: (Olarte C. & Botero A., 2011, pág. 231).

1.21.1.3 Movimiento de Onda

Las ondas de frecuencia ultrasónica son vibraciones mecánicas que viajan a través de un medio que puede ser un sólido, un líquido o, un gas, la propagación de las ondas a través del medio dado, esto es posible efectuarse a una velocidad específica, dirección predecible y, cuando las ondas encuentran un límite con un medio distinto y con diferente impedancia mecánica las ondas se reflejaran o se transmitirán según a reglas ya establecidas (Santos De La Cruz, Cancino Vera, Yenque Dedios, Palomino Pérez, & Ramíres Morales, 2005, pág. 26).

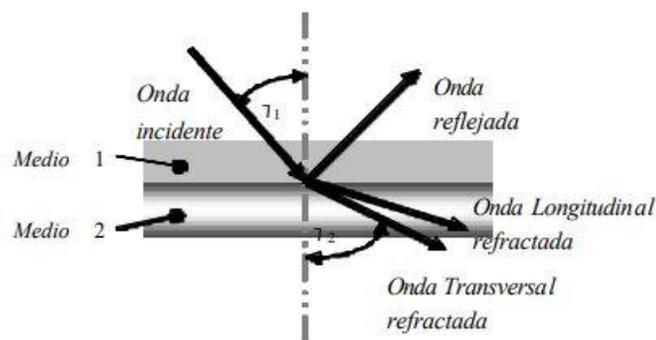


Figura 1. 4 Transmisión de onda en dos medios diferentes

Fuente: (Santos De La Cruz, Cancino Vera, Yenque Dedios, Palomino Pérez, & Ramíres Morales, 2005)

1.21.1.4 Tipos de Ondas y sus Propiedades Básicas

Las ondas ultrasónicas que se transmiten a través de un medio pueden ser descritas basándose en dos factores: el movimiento específico que cada tipo de onda provoca en los elementos del medio, y la capacidad de imprimir un cambio de volumen al material.

La trayectoria que los elementos del material siguen en respuesta al paso de una onda ultrasónica se llama órbita. Si la órbita es paralela a la línea de propagación, la onda es llamada longitudinal. Por otro lado, si la órbita de los elementos del medio es normal a la línea de propagación, la onda es llamada transversal o de corte. Si las ondas pueden viajar dentro de una distancia muy corta de la superficie, son llamadas ondas superficiales o de Rayleigh (Santos De La Cruz, Cancino Vera, Yenque Dedios, Palomino Pérez, & Ramíres Morales, 2005, pág. 27). También existen las ondas de flexión cuyo movimiento de partícula es similar al de las ondas superficiales, pero se diferencian de estas últimas en que las ondas de flexión se propagan más allá de la superficie en el medio.

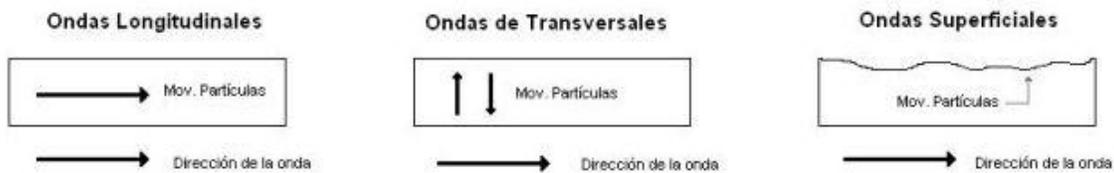


Figura 1. 5 Tipos de ondas Ultrasónicas

Fuente: (Santos De La Cruz, Cancino Vera, Yenque Dedios, Palomino Pérez, & Ramíres Morales, 2005)

1.21.1.5 Velocidad de Propagación

En la propagación de las ondas elásticas ultra sonoras, se encuentran diferentes tipos de velocidades. De mayor interés son: la velocidad de grupo, velocidad de fase y velocidad de señal. Cada uno de estos tipos de velocidades involucra un fenómeno particular, y no deben ser confundidos entre sí, ni con la velocidad de partículas en las ondas cuando las partículas ejecutan sus órbitas.

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

La finalidad de la investigación en el proyecto es demostrar que, la iniciativa de reciclar el aceite usado de cocina, empleado como un residuo y por lo tanto determinado como biomasa para el desarrollo en obtención de biodiesel, fomentando un equilibrio ecológico para el medio ambiente, así como también el uso de combustibles alternativos, como una fuente de energía para motores diésel, para lo cual se realizará una mezcla B10, es decir, 90% será diesel fósil, preferentemente diesel premium, siendo de máxima calidad y el 10% restante de biocombustible generado por medio de un proceso ultrasónico.

2.2 PROCESO METODOLÓGICO

Es fundamental especificar los procesos que serán tomados en cuenta mediante un bosquejo gráfico, que permitirá entender las diferentes fases de este compendio.

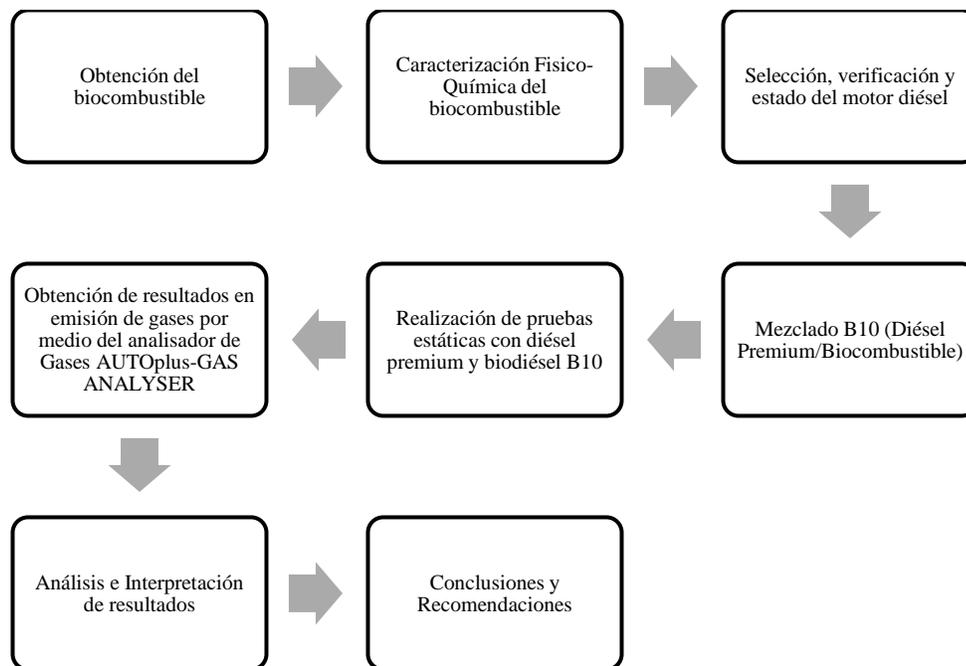


Figura 2. 1 Proceso Metodológico

La primera etapa en este proyecto se realizó la producción de biodiésel bajo efectos de un

baño ultrasónico, con una producción por etapas de acuerdo con la capacidad de una máquina de limpieza de inyectores por ultrasonido, capaz de receptor un suministro hasta 1000ml de mezcla total entre materia prima y reactivos. Seguido de esto se verificó el buen estado del motor destinado a realizar pruebas estáticas correspondientes a un análisis de emisiones de gases de escape, de manera que sea posible obtener datos relevantes. como última etapa se procedió a realizar la mezcla establecida de biodiésel, misma que se consideró una mezcla B10, obteniendo parámetros correspondientes y su posterior realización de pruebas de campo obteniendo una comparativa entre diésel premium y biodiésel B10.

2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Se describen los diferentes materiales y equipos que se han operado en el desarrollo y elaboración del biodiésel en el presente proyecto de investigación, así como también a de las pruebas correspondientes.

2.3.1 REACTIVOS Y SUSTANCIAS PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE

La Figura 2.2 se indica el tipo de catalizador utilizado para la producción de biodiesel, en este caso fue, Hidróxido de Sodio NaOH con un peso molecular P.M. 40g/mol, en estado sólido de tipo de lentejas.



Figura 2. 2 Hidróxido de Sodio P.M. 40g/mol

El estudio experimental realizado con Hidróxido de Sodio (NaOH) representa grandes ventajas para ser evaluado como reactivo en el proceso de obtención de biodiésel, el Hidróxido sódico a presión y temperatura ambiente, se presenta en forma cristalina de color blanco, mantiene un olor característico, al mismo tiempo que absorbe rápidamente el dióxido de carbono CO_2 , así como la humedad presente en el aire, formando carbonato de sodio, así también reacciona con CO con una presión baja de 7-8 atm. Y con temperaturas de entre $200 - 250^{\circ}C$ generando Formiato de Sodio, igualmente en presencia de humedad.

Al someterse a una disolución en base de agua o cuando se neutraliza por medio de algún ácido, este libera una gran cantidad de calor, lo cual puede ser suficiente para que un material combustible que permanezca en contacto con el NaOH haga ignición. Generalmente se utiliza con una solución al 50% en peso o también es comercializado en sólido como perlas, escamas, lentejas u hojuelas. Este reactivo es altamente corrosivo para diferentes metales como el Plomo (Pb), Aluminio (Al), Zinc (Zn), Cobre (Cu), por aludir algunos ejemplos, y aleaciones como bronce y latón. Sin embargo, en presencia de la humedad en el aire, este lo absorbe tan pronto como sea posible.

La Tabla 2.1 indica las características que presenta el hidróxido sódico en estado sólido de tipo lentejas, con el cual se obtuvo mejores resultados en el producto.

Tabla 2. 1 Propiedades del Hidróxido de Sodio (NaOH)

PROPIEDAD	VALOR
Fórmula química	NaOH
Peso molecular	40,0 g/mol
Estado físico	Sólido blanco, delicuescente
Punto de ebullición	1388°C o 2530°F a 760 mmHg de presión
Punto de congelación o fusión	318°C o 604°F
Presión de vapor (mmHg)	0; puro o anhidro
pH	14; solución 5%

2.3.2 METANOL

Es una sustancia con características similares al alcohol de consumo humano, esencialmente es un líquido incoloro, volátil e inflamable en su estado de mayor pureza, siendo un líquido altamente nocivo y venenoso para la salud. Por lo tanto, esta sustancia es capaz de mezclarse en otras diferentes sustancias como en agua, esteres, y otros solventes. Sin embargo, es poco soluble en aceites y grasas de diferentes caracteres.



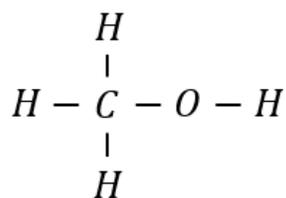
Figura 2. 3 Metanol 99.8% de Pureza

La Figura 2.3. muestra el metanol con una pureza del 99.8% que se ha utilizado en el proceso de obtención de biodiésel, la adquisición de este se realizó bajo los laboratorios Labdin, ciudad de Quito.

Normalmente las impurezas que se encuentran en el alcohol metílico son varias sustancias como: acetona, ácido acético, acetaldehído y agua.

Fórmula Molecular **CH_3OH**

2.3.2.1 Estructura Molecular



[2.1]

2.3.2.2 Especificaciones del Metanol

La tabla 2.2 presenta las especificaciones del alcohol con el cual se llevó a cabo la producción del biodiésel, manteniendo una pureza de 99,8% siendo su estado más puro de concentración. Este producto fue adquirido por los laboratorios Labdin Instruments desde la ciudad de Quito.

Tabla 2. 2 Especificaciones del Metanol

ESPECIFICACIONES	Min/Max	VALORES
Ensayo	Mínimo	99.8%
Color	Máximo	10
Solubilidad en	Agua-Pruebas de paso	----
Acidez	Máximo	0.0003 meq/g
Alcalinidad	Máximo	0.0002 meq/g
Acetaldehído	Máximo	0,001%

Fuente: (LABDIN Instruments, 2019)

2.3.2.3 Propiedades Físicas del Metanol

Las propiedades físicas son las que conforman el compuesto, Metanol, estableciendo como características el peso molecular, punto de ebullición, siendo este el más importante dentro de la producción de biocombustibles, así también el punto de fusión se toma en cuenta los límites de inflamabilidad y el punto de inflamación, al ser productos químicos volátiles, sin descartar un aspecto muy importante como es la temperatura de auto ignición.

Tabla 2. 3 Propiedades Físicas del Metanol

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular (<i>g/mol</i>)	32,04
Punto de Ebullición (°C)	67,4;760 <i>mmHg</i>
Punto de Fusión (°C)	-97,8
Presión de Vapor (<i>mmHg</i>)	92; 20°C 126; 25°C 160; 30°C
Gravedad Específica (<i>Agua = 1</i>)	0,7915; 20/4°C 0,7866; 25°C
Densidad del Vapor (<i>Aire = 1</i>)	1,11
Ph	No Reportado
Solubilidad en Agua	Miscible
Log Kow	-0,67
Límites de inflamabilidad (% <i>Vol</i>)	5,5 - 44
Temperatura de Auto Ignición (°C)	470
Punto de Inflamación (°C)	15,6; copa abierta 12,2; copa cerrada

Fuente: (Caparo, 2014)

2.3.3 RECURSO HÍDRICO (AGUA H_2O)

Fuente principal de sustentabilidad para el consumo humano, su aplicación ocupado gran porcentaje de labores cotidianos, así como aplicaciones industriales, así es el caso en la producción de biocombustibles, tratando de reducir un impacto ambiental en los diferentes

procesos, esto por los desechos que se producen al finalizar los procesos de lavados en la obtención del biocombustible.

De una manera global se establece que el agua destinada a la producción de biocombustibles está estimada en $44km^3$, lo cual es el 2% del total del agua de irrigación. Todo esto, está enfocado en las actuales condiciones de producción, estableciéndose en una cantidad de consumo de 2500 litros de agua, es decir aproximadamente 820 litros de aguas de irrigación, para producir un litro de biocombustible, lo cual se asemeja a la misma cantidad de agua ocupada en el producción de comida suficiente para una persona durante un periodo de un día (UNESCO , 2017).

Normalmente la utilización del agua aplicada para el lavado del biodiésel representa del 20% a 30% del volumen total producido, para cual es primordial hacer una reutilización del agua utilizada inicialmente en el primer lavado para posteriores lavados como primera instancia, reduciendo un consumo excesivo de agua dentro de la producción.

2.4 PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE

2.4.1 RECICLAJE DE ACEITE DE COCINA COMO RESIDUO

El aceite de cocina ya utilizado previamente en cocción de alimentos, es clasificado como un residuo, considerado como biomasa para la elaboración de biodiésel, como una fuente de energía alternativa, al tiempo que se reduce la contaminación hacia la atmósfera, manteniendo un equilibrio ambiental y calidad del aire.



Figura 2. 4 Garrafa de aceite usado de cocina

En la Figura 2.4.se muestra el aceite que ha sido favorecido por medio del Ministerio del Ambiente (MAE), en un importe de 20 litros, previamente filtrado de partículas suspendidas en gran tamaño y dispuesto para el proceso de obtención del biocombustible, para lo cual se enfoca en la utilización de un equipo ultrasónico, optando como un recurso en la disminución del tiempo de obtención del producto en cuestión con referencia a procesos convencionales de transesterificación.

2.4.2 PRETRATAMIENTO DEL ACEITE

Proceso realizado por parte del Ministerio del Ambiente (MAE), generalmente en el filtrado del aceite, pasando éste por un cedazo evitando el paso de partículas suspendidas y posterior sedimentación dentro de un tanque tratando de evacuar la mayor parte de material sólido o restos sedimentables de pequeñas dimensiones, partículas no mayores 0,5cm. Posteriormente es envasado en canecas de 20 litros o a su vez en tanqueros que se encargan de transportar hacia la Unión Andina de Cementos (UNACEM), empresa que ha obtenido una licencia medioambiental que le permite la gestión en el manejo y destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO), con lo cual se logra una disminución de emisiones enviadas a la atmósfera de aproximadamente 27000 toneladas CO_2 (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2018).

2.4.3 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE TAMIZ

El sistema que se utilizó en el filtrado del aceite es un proceso físico, lo que permite la separación de mezclas, en este caso el compuesto de aceite reciclado de cocina, este contiene partículas de carácter sólido suspendidas en el aceite.



Figura 2. 5 Tela filtrante compuesta de 88% nylon y 12% elastano

En la Figura 2.5 se presenta el tipo de tela utilizado en el proceso de filtrado del aceite reciclado de cocina. Se ha considerado el uso de este medio para la filtración debido a las características que presenta el aceite usado, esto en cuanto a sus distintas procedencias de éste. De primera instancia se trató realizar la filtración con papel filtro, mismo que mantiene un proceso de fabricación por medio de fibras de celulosa, siendo una sustancia que está presente en la membrana de células vegetales, a su vez mantiene características semipermeables, lo que permite su uso en distintas sustancias a diferentes temperaturas.

Por lo tanto, al existir dificultad al paso del aceite sobre el papel filtro, se considera una viabilidad con la tela compuesta del 88% nylon, es un polímero sintético, perteneciente al grupo de las poliamidas, lo que permite una alta resistencia a la deformación a causa del peso proporcionado por el aceite, así también contiene 12% elastano como fibra sintética, misma que es conocida gracias a sus propiedades de resistencia y una gran elasticidad.

2.4.4 ANÁLISIS DE LA TELA TAMIZ CON MICROSCOPIO

Se realizó un análisis experimental de la tela utilizado en este proceso de filtrado, mismo que se llevó a cabo en el centro de biología, adscrito al vicerrectorado académico.

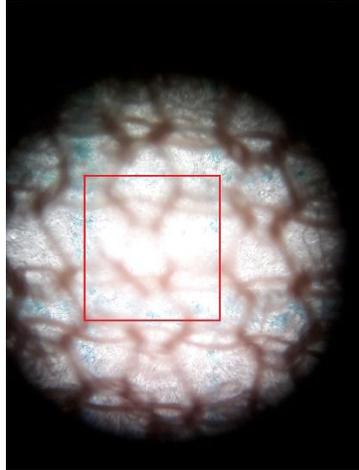


Figura 2. 6 Determinación del poro de filtrado con un aumento de (4x/0.10)

En la Figura 2.6 se puede evidenciar la cantidad de poros que abarca un 1mm^2 , es posible su determinación colocando una hoja de papel milimetrado en la placa de porta objetos, de modo que sea visible con el lente a un aumento de 4x/0.10, es decir que se observó en un aumento de 4 veces su tamaño real, lo que permitió determinar el área del poro de acuerdo a la cantidad de poros contenidos dentro del área de 1mm^2 , la cantidad de poros observados es de cuatro, lo que significa que cada uno de ellos tiene un área de 0.25mm^2 aproximadamente, esta consideración es establecida para un solo tamiz de tela parcialmente estirado.

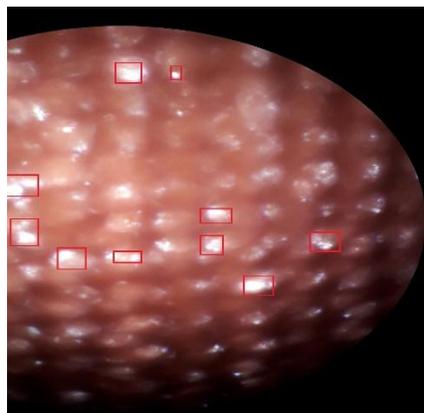


Figura 2. 7 Observación del tamiz de cuatro capas superpuestas a un aumento de (4x/0.10)

La Figura 2.7 muestra tela tamiz usada en la filtración del aceite previo a ser tratado en la producción de biocombustible, por lo tanto, es preciso mencionar que son cuatro capas sobrepuestas de tamiz para obtener el mejor beneficio de filtrado. Sin embargo, en la imagen ampliada a 4 veces su tamaño se observa marcado en cuadros de color rojo orificios que permiten el paso de partículas suspendidas en el aceite, lo que es necesario una vez realizada la filtración bajo estas condiciones, dejar reposar por un tiempo estimado de 24 horas, logrando establecer la sedimentación respectiva en el transcurso de esas horas, la sedimentación presentó una altura de 1.5cm por un diámetro de 25cm, el recipiente tiene una capacidad de 16 litros de aceite reciclado de cocina.



Figura 2. 8 Sedimentos transcurrido 24 horas luego de la filtración

La Figura 2.8 muestra los sedimentos que se obtuvieron una vez transcurrido 24 horas de reposo, al fondo del recipiente se observa partículas luego de la sedimentación, así como la imagen de la derecha muestra la altura que alcanzó esta.

Este proceso ofrece una sedimentación de forma gravitacional, esto determina un aspecto radical en cuanto a economía, haciéndolo una forma más confiable y simplificación dentro de este proceso, con la posibilidad de establecer como un método efectivo para obtener la separación entre un líquido y sólidos suspendidos en el líquido, obteniendo una clarificación de la sustancia en proceso.

2.4.5 PROCESO DE FILTRADO

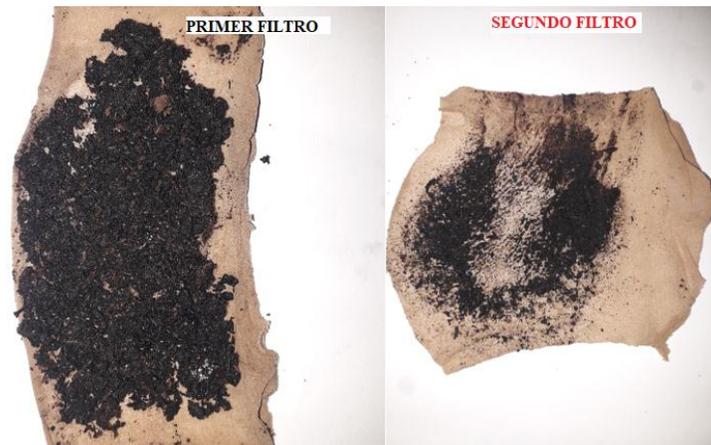


Figura 2. 9 Tamices de filtrado en dos primeras etapas 1 y 2

En la Figura 2.9 es permisible apreciar la diferencia en los procesos de filtrado, tomando en cuenta que se ha realizados dos primeras fases de filtrado, en la primera etapa se observa la mayor detención de partículas suspendidas en el aceite, entre otras impurezas, posteriormente en el segundo filtrado es perceptible la disminución de escoria y residuos particulados con dimensiones sumamente menores en comparación a la primera etapa.

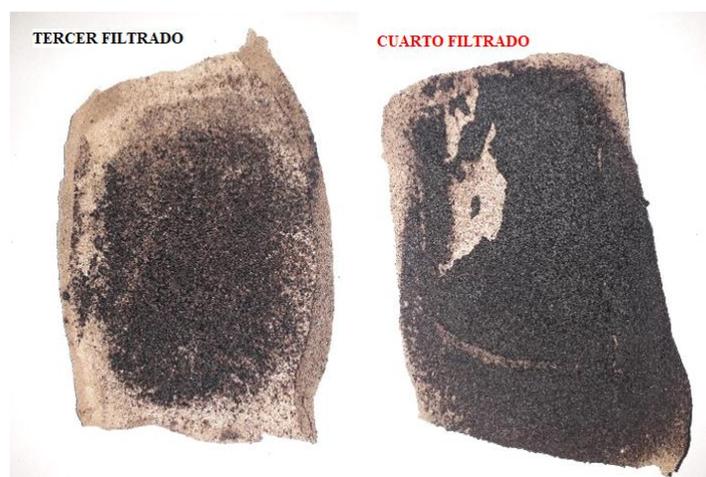


Figura 2. 10 Tamices de filtrado en dos etapas finales 3 y 4

En esta sección la Figura 2.10 es de factible apreciación de las dos últimas etapas de filtrado presentando una disminución de las escorias (carbonillas) que contiene el aceite ante de ser sometido a un proceso de estratificación bajo efectos de un baño ultrasónico, sin embargo, por la densidad y viscosidad a presión y temperatura ambiente que presenta este producto, el proceso de filtrado no es suficientemente 100% en la eliminación de la escoria. Todos estos procesos de filtrado se realizaron utilizando una tela de nylon suficientemente fina para retener dicho material particulado.

Es indispensable que, una vez realizado el previo proceso de filtrado, se someta a una temperatura de 85°C a 100°C de esta manera logrando la evaporación de restos de partículas de agua, obteniendo un aceite totalmente seco para un proceso de transesterificación bajo efectos ultrasónicos, de esta manera resguardando una excelente reacción química con sus respectivos reactivos y solventes.

2.5 ELABORACIÓN DEL BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE USADO DE COCINA

2.5.1 BIODIESEL

Es una sustancia de aspecto renovable en comparación al combustible de carácter fósil, para lo cual se establecen parámetros de contaminación al usarse en los motores diésel, por lo tanto, éste puede ser generado a partir del aceite usado de cocina como biomasa.

Los biocarburantes son medios combustibles que pueden ser aplicados al consumo del 100%, así como también proporcionado en varias mezclas tomando como aditivos los diferentes combustibles convencionales que se comercializan nacionalmente, básicamente se obtiene en su mayoría biocarburantes líquidos como el bioetanol y biodiésel, sin embargo, se deduce biocarburante gaseoso, como el biogás (INESEM, 2017).

2.5.2 PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

La transesterificación se denomina un proceso en el cual los ácidos grasos mantienen una separación de la glicerina, estos se convierten posteriormente en ésteres de glicerol.

Para la obtención del biodiésel a partir del aceite reciclado de cocina, especialmente de los centros de comidas rápidas, son almacenados en centros de acopios de recolección, distribuidos por parte del ministerio del ambiente, lo cual esta biomasa presenta una cantidad considerable de ácidos grasos libres (AGL), con lo cual la cantidad de Hidróxido de Sodio varía sustancialmente aumentando su consumo para realizar una transesterificación correcta, además de la aplicación de un alcohol, en este caso se utilizó Metanol CH_3OH con una pureza del 99.8%, se utilizó este catalizador y alcohol respectivamente por ser considerados los más comerciales y sus costes son sumamente bajos a comparación de otros.

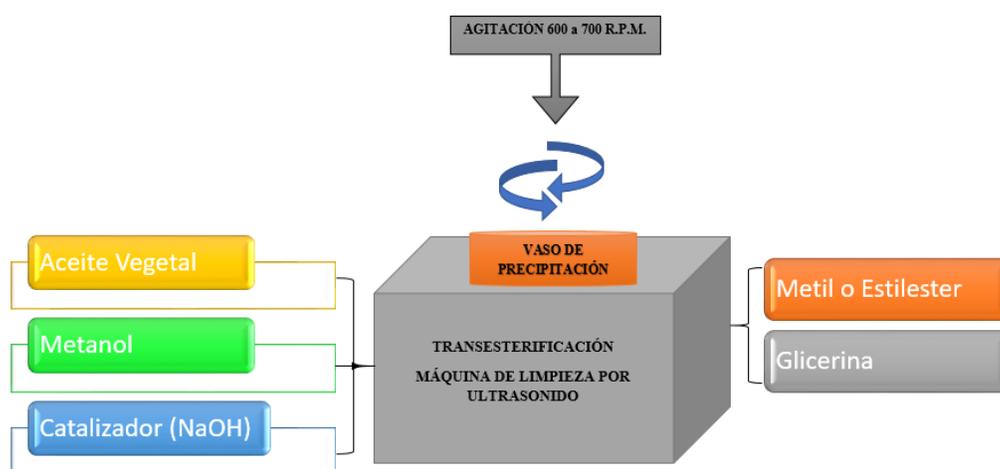


Figura 2. 11 Proceso de Transesterificación

La Figura 2.11 especifica el proceso de transesterificación optando por el método de baño ultrasónico mejorando la mezcla en reacción, proporcionando los efectos de cavitación entre el aceite vegetal usado de cocina, el metanol que mantiene una pureza de 99.8% y un catalizador en este caso NaOH, para lo cual se ha trabajado con Hidróxido en tipo lentejas y perlado, observando una gran diferencia en el biodiésel obtenido.

Químicamente hablando el proceso de transesterificación mantiene tres procesos de reacciones consecutivas, donde el un triglicérido es convertido posteriormente en un diglicérido y a su vez pasa a una etapa de monoglicérido y finalmente se convierte en glicerol. De la partición de estos procesos químicos, se obtiene como principal producto alquilésteres de los ácidos grasos del aceite y del glicerol.

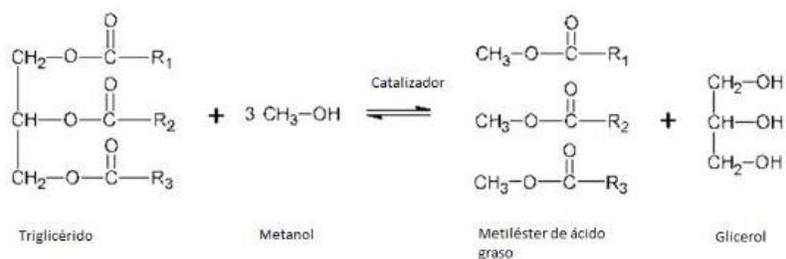


Figura 2. 12 Ecuación general de la reacción de Transesterificación

Fuente: (Campos, Delgado, Esquivel, Samamé, & Sirlupú, 2017)

De acuerdo con la ecuación general de la reacción de transesterificación como indica la Figura 2.12, representa la formación de los ácidos grasos en combinación con los respectivos reactivos utilizados, formando tres etapas principales en reducción desde triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos y finalmente se tiene un proceso donde se determinan los metil o estilester, comúnmente denominado biodiésel en su composición más pura B100.

2.5.3 EVAPORACIÓN DE AGUA CONTENIDO EN ACEITE USADO DE COCINA

En este proceso de secado el aceite usado de cocina fue sometido a una elevada temperatura para eliminar partículas suspendidas de agua en este debido a que este tipo de sustancia está sometida a frituras de productos que contienen porcentajes elevados de agua, así como a su posterior almacenamiento lo que generara humedad y por consiguiente formaciones de agua juntamente con el aceite, por estos motivos es necesario que se someta a un secado.



Figura 2. 13 Secado del aceite a una temperatura de 100°C

En la Figura 2.13 se observa que el aceite está próximo a acercarse a una temperatura de 100°C, donde esta temperatura es considerada como el punto de ebullición del agua, este proceso se llevó a cabo durante un periodo de 8 minutos, donde se observó al aceite ya no presentar síntomas de ebullición, siendo esto una característica de la no presencia de agua en el aceite, por lo tanto, al llegar a este punto las partículas de agua se habrán evaporado por completo, obteniendo un aceite totalmente libre de humedad y apto para seguir con el procedimiento de producción de biodiésel.

2.5.4 EQUIPO DE ULTRASONIDO

La optimización en base a la variable de rendimiento, en la obtención del biodiésel bajo los efectos de la aplicación de ondas ultrasónicas, están siendo considerados en la optimización del tiempo transcurrido, para lo cual se utilizó una máquina de ultrasonido, que generalmente tiene como función principal el lavado de inyectores para motores a gasolina, equipo de activo fijo dentro de los talleres de la Universidad Técnica del Norte.



Figura 2. 14 Equipo de Ultrasonido (Ultrasonic Cleaner)

La Figura 2.14. es una máquina que se utilizó en este proyecto es ULTRASONIC CLEANER FY100, con una frecuencia estable de 45 kHz y una capacidad de 1000mL para la tina de ultrasonido, las muestras a ser procesadas se estiman a escala de laboratorio, tomando en cuenta que se logró realizar muestras de 800 ml, más el peróxido sódico que se complementa en 980mL. Que es lo que permite la capacidad del vaso de precipitación, el cual fue sometido a un baño ultrasónico. Se consideró la realización de 10 procesos con aplicaciones de ondas ultrasónicas para obtener un volumen estimado de 8 litros de biodiésel, posteriormente ser sometido a consumo en un Motor Mitsubishi Canter 3.0 de ciclo diesel con una mezcla B10.

2.5.4.1 Aplicación de un Baño Ultrasónico

Es indispensable mantener una temperatura del aceite en un intervalo aproximado de 45°C a 60°C, sin exceder el límite permisible de temperatura, ya que, si esto pasa, el alcohol empezaría a evaporarse sobre los 65°C, por lo tanto bajo estas restricciones permite obtener una reacción química sin mayores problemas, tomando en cuenta que, las frecuencias ultrasónicas son capaces de aumentar la temperatura de la sustancia, debido a un fenómeno llamado cavitación, haciendo innecesario la adición de calor controlado hacia la mezcla en reacción.



Figura 2. 15 Proceso de Transesterificación en baño ultrasónico

Considerando que las mezclas que se han realizado son a escala de laboratorio, en la Figura 2.15. se muestra que, para acrecentar la eficacia en una reacción óptima se complementa un mezclador eléctrico controlando las revoluciones por minuto mediante un regulador de voltaje (Dimmer). Manteniendo la frecuencia ultrasónica a un tiempo de 45 minutos y agitación permanente con el mismo intervalo de tiempo. Se ha establecido el misceláneo de la sustancia en reacción en un rango de 600 a 700 rpm.

2.5.5 DECANTACIÓN DEL BIODIÉSEL

Consiste en una separación mecánica entre dos sustancias, estas pueden ser entre un sólido de apariencia gruesa en algún un líquido insoluble, en este caso corresponde a la mezcla que ha reaccionado con el metóxido de sodio, formando una parte de glicerina, la cual se establece en el fondo del recipiente por tener una mayor densidad que el biodiésel.

Una vez que se ha realizado el proceso de reacción química de transesterificación bajo efectos ultrasónicos en periodos de tiempo de 45 minutos, manteniendo la agitación permanente en un intervalo de 600 a 700 rpm, de manera que se ha logrado establecer una excelente reacción química en un corto tiempo, se deja en reposo por un intervalo de tiempo de 12 horas, sin

embargo, se recomienda extender el periodo de tiempo lo más posible, para fines académicos prácticos se ha realizado un reposo de 12 horas, logrando extraer la mayor cantidad de glicerina, 110mL por cada 800mL de biodiesel, obteniendo un 11% de glicerina, lo cual se establece en un rango permisible y aceptable de extracción de glicerol.



Figura 2. 16 Decantación de Glicerina

Es necesario estar pendientes sobre la decantación del glicerol durante los primeros 30 a 45 minutos, como se expresa en la Figura 2.16, siendo estos indispensables para una primera extracción de la glicerina, totalmente en estado líquido, una vez a transcurrido un par de horas, este se vuelve totalmente sólida, taponando la salida principal del recipiente, lo que genera dificultades para la extracción del biodiésel.

2.5.6 PROCESO DE LAVADO Y EVAPORACION DE AGUA DEL BIODIÉSEL

Para obtener una óptima y alta calidad del biodiésel es indispensable el método de lavado y secado, para ser utilizado como un medio de combustible y como una fuente de energía

renovable, la separación de los jabones del biocombustible lavándolo con agua, esencialmente en tres procesos, a su vez se opta por más lavados si fuese necesario (BiodiSol, 2018).

2.5.7 LAVADO DEL BIODIÉSEL

Dentro de los procesos de lavado se efectuó tres lavados respectivamente, dentro del primer proceso se realizó con agua potable a una temperatura de 65°C, que es lo más recomendable por su capacidad de ser un solvente para agentes jabonosos restos de la glicerina. Como resultado de restos de la reacción química de NaOH, alcohol y los ácidos grasos libres, de forma que llega a neutralizarse casi por completo. Los tres lavados se llevaron a cabo en intervalos de tiempos representativos, el primer lavado una vez realizada la decantación de la glicerina, se sometió a una permanencia de 3 horas para obtener una excelente separación entre el biodiésel y el producto producido durante el primer lavado, es observable que el líquido se tornó blanquecino debido a restos de glicerina mínimos en el biodiésel. Lo cual hace que esta sustancia no sea reciclable en primera instancia, sin embargo, al ser un resultante inofensivo al medio ambiente es factible realizar su respectivo desecho por medio de cañerías hacia las alcantarillas, esto debido que posee propiedades detergentes no producen taponamientos dentro de estas.

2.5.7.1 Primer lavado del biodiésel

El comienzo del proceso de lavado de biodiésel se realiza para eliminar restos de jabones solubles en agua, así como partículas de metanol suspendidas en el biodiésel. Sin embargo, existen estudios de investigación que sugieren la incorporación de ácido acético en porcentajes inferiores al volumen de agua utilizado en el primer lavado, tratando de esa manera estabilizar el pH del biodiésel.



Figura 2. 17 Primer lavado del biodiésel B100

En la Figura 2.17, a partir de este primer proceso de lavado se recomienda realizar dos lavados adicionales solamente con agua sin la inserción de ácido acético como recomiendan algunas referencias bibliográficas, generalmente dentro de lo que compete al primer lavado del biodiésel, es muy notable que el agua residual mantenga un aspecto blanquecino, lo cual se manifiesta como una recolección de restos de glicerina y NaOH, así como también partículas de metanol suspendidas en el biodiésel.

Para obtener mejores resultados se procedió a una agitación del biodiésel con agua a 65°C durante un tiempo de 3 minutos, esto depende del volumen que se esté tratando, para efectos académicos, se trabajó con 800ml de biodiésel, considerados a escala de laboratorio. El reposo del primer lavado se realizó durante 3 horas, una vez transcurrido este tiempo, se evacuó toda el agua resultante, no es recomendable dejar por más tiempo en reposo debido a que las burbujas suspendidas en el compuesto empiezan a elevarse hacia el biodiésel.

2.5.7.2 Segundo lavado del biodiésel

El proceso de una segunda etapa de lavado una vez transcurrido el tiempo de la primera etapa, se aprecia una gran diferencia de turbulencia en los restos de agua con subproductos.



Figura 2. 18 Segundo lavado del biodiésel B100

En la Figura 2.18 se evalúa el segundo lavado del biodiésel, mismo que presenta una menor turbulencia en el producto residual en una mezcla con el agua, misma que no es posible hacer su reutilización para un primer lavado, esto manifiesta que el proceso del lavado está en buenas condiciones y por lo tanto el biodiesel se encuentra en buenas condiciones. La cantidad de agua a ser utilizada es proporcional al 20% a 30% del volumen total del biodiésel, en este caso se utilizó el 25% del volumen en biodiésel, es decir 200ml de agua a 65°C. Esta temperatura se aplicó a los tres procesos de lavado.

2.5.7.3 Tercer lavado del biodiésel

Finalmente se observa un último lavado del producto biodiésel, es preciso destacar que cada uno de los procesos se realizó con agua a una temperatura de 65°C, como medida de precautelar los recursos hídricos, el agua residual de este último proceso, es posible realizar un primer lavado de un lote.



Figura 2. 19 Tercer lavado de biodiésel B100

La Figura 2.19 incorpora el último lavado del proceso de obtención de biodiésel, en este último lavado que se realizó es totalmente notable como el producto resultante, que es el agua de lavado, está completamente limpia libre de toda sustancia como la glicerina o restos de NaOH suspendidos en el biodiésel, esto permite el reciclaje de agua del último lavado, debido a que no tiene máximas impurezas y es totalmente reutilizable para el primer lavado de un lote siguiente, ya sea a pequeña o gran escala. De esta forma es factible la economización de este recurso hídrico.

2.5.8 EVAPORACIÓN DE AGUA FINAL DEL BODIÉSEL

Luego de un último lavado una vez que se ha retirado todos los restos de jabón, se procedió como siguiente paso al secado respectivo, para lo cual se eleva la temperatura del biocombustible logrando evaporar las partículas de agua y restos de metanol que estén suspendidos en el biodiésel, y el biocombustible deje de borbotar (BiodiSol, 2018). La temperatura a la que llegó durante el proceso de secado del biodiésel fue hasta 75°C logrando evaporar el H_2O y CH_3OH que hayan encontrado suspendidos en el biodiésel obtenido. Posterior a este proceso y de acuerdo con información bibliográfica se recomienda exponerlo

al calor solar, debidamente en un frasco bien sellado, como posible alternativa en el proceso de secado, perfeccionando el proceso de producción de biodiésel en las mejores condiciones posibles, y es recomendable mantenerlo en lugar fresco y seco para su conservación.

Es preciso destacar que todos los procesos detallados con anterioridad están en función del reactivo NaOH tipo lentejas, y como alcohol se usó metanol con una pureza del 99.8%, considerándose el mejor reactivo para este tipo de biomasa, que tiene características de residuo. Esto se justifica gracias a la medición del pH del producto, resultando con un valor aproximado a un pH de 7 casi neutral.

También se ha realizado un lote de biodiésel con NaOH tipo perlas con una concentración del 95% de pureza, y como alcohol metanol en un 99.8% de pureza, este tipo de resultados obtenidos es que este biodiésel resultó ser mucho más ácido, trabajando en las mismas concentraciones de reactivos y aholes.

2.6 ANALIZADOR DE GASES KANE AUTOPLUS GAS ANALYSER

El analizador de gases Kane AUTOplus GAS ANALYSER, mantiene como objetivo analizar y determinar las concentraciones en porcentaje de lo que presentan los gases de escape principalmente en motores de combustión interna, motores diésel, este equipo funcionó gracias a un filtro ubicado en la parte lateral derecha, que sirve como un conjunto separador de condensación.



Figura 2. 20 Autoplus GAS ANALYSER

En la Figura 2.20 se personifica un nuevo analizador que pertenece al grupo de investigación BICER de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte. De igual forma este equipo presenta ciertas características particulares, que son esenciales en el análisis de los gases de escape en motores diésel, como son: $CO - CO_2 - NO_x(ppm) - O_2$. Principales gases contaminantes, se centró en la optimizar la reducción de la composición de gases NO_x . Aplicado a un motor de ciclo diésel, mismo que tiene libre expulsión de gases, lo que se traduce en no ser controlado por medio un catalizador.

2.6.1 Especificaciones técnicas del equipo Autoplus GAS ANALYSER

La Tabla 2.4 muestra las especificaciones técnicas del analizador Autoplus GAS ANALYSER utilizado para el análisis de los gases de escape en un motor Mitsubishi de ciclo diésel año 1995.

Tabla 2. 4 Especificaciones Técnicas de Autoplus GAS ANALYSER

Parámetros	Resolución	Exactitud	Distancia
Monóxido de Carbono	0.01%	+/- 5 % de lectura +/- 0.5 % volumen	0-10 % Fuera de rango 20 %
Oxigeno	0.01%	+/- 5 % de lectura +/- 0.1 % volumen	0-21 % Fuera de rango 48 %
Hidrocarburos	1ppm	+/- 5 % de lectura +/-12ppm volumen	0-5000 ppm Fuera de rango: 10,000 ppm
Dióxido de Carbono	0.1%	+/- 5 % de lectura +/- 0.5 % volumen	0-16 % Fuera de rango: 25%
Óxido Nitroso	1ppm	0-4000ppm +/-4% ó 25ppm; 4000-5000 ppm +/-5%	0-5000ppm

(Continuación...)

Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas de Autoplus GAS ANALYSER (Continuación...)

Temperatura Aceite	1.0°C/F	+2.0°C+0.3% de lectura +3.6°F +0.3% de lectura	0-150°C 32-302°F
RPM	1 rpm	50 rpm	200-6,000 rpm.
Tasa de Flujo		Mínimo 2l/min Normal 2.5l/min	
Lambda AFR Petróleo (LPG)	0.001%-00.01%		0.8-1.2 11.76-17.64 12.48-18.72

2.7 CUENTA REVOLUCIONES MGT-300 BRAIN BEE

Este es un equipo que se lo utiliza para la medición del régimen de giro del motor, el uso es lo suficientemente simple, partiendo desde la conexión hacia la batería directamente, el medidor de temperatura del aceite del motor es indispensable durante todo el tiempo que esté en funcionamiento el motor, mismo que ingresa un termistor por la entrada de la bayoneta, medidor de aceite, así como también fue indispensable posicionar adecuadamente un sensor magnético de detonación complementando al contador de revoluciones.



Figura 2. 21 Contador de revoluciones y medidor de temperatura motor MGT-300

En la Figura 2.21 se precisa la observación del contador de revoluciones MGT-300, en la imagen de la derecha se observa marcando las RPM del motor, mientras que al costado izquierdo se observa la temperatura que también permite obtener el equipo, conjuntamente se complementa con un sensor magnéticos de detonación, que va instalado en una parte de hierro fundido por sus características magnéticas de adherencia. Este quipo utilizado en el proceso de pruebas es la complementación del AUTOplus GAS ANALYSER, los dos equipos trabajan independientemente pero que se complementa al mismo tiempo.

2.8FUNCIONAMIENTO BANCO MOTOR

El funcionamiento del motor ciclo diésel, se ha encontrado en buenas condiciones, considerando que no tiene muchas horas de funcionamiento desde el día que llegó a formar parte de los talleres de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz. Este banco motor fue establecido para que su desarrollo fuese con biocombustibles especialmente, lo que se ha cambiado es el filtro de combustible para cada tipo de biocombustibles, evitando así la mezcla de productos químicos y obtención errónea de los parámetros a ser medidos. Se ha realizado el cambio de aceite respetivo del motor con un aceite de características 15w40.



Figura 2. 22 Banco motor Mitsubishi Canter 3.0 Ciclo Diésel

Se presenta en la Figura 2.22 el banco principal en el análisis de gases de escape con un producto biodiésel, obtenido por medio de un método ultrasónico, la particularidad de este banco motor es que no cuenta con un catalizador que permita la retención y oxidación de ciertos gases, el libre escape de estos hace que sea una máquina óptima para la obtención de parámetros, respecto a mediciones de gases directamente sin catalizador.

2.9 PRUEBAS CON BIOCOMBUSTIBLES DIFERENTES

Para el desarrollo de las respectivas pruebas de gases de escape ha sido necesario el cambio del filtro de combustible, debido a que anteriormente se habían realizado pruebas con otros biocombustibles, de igual forma fue indispensable realizar un purgado de todo el sistema de alimentación, tratando en lo posible de evacuar restos de otros combustibles.

Las pruebas de emisiones se realizaron con dos biocombustibles a base de la misma biomasa, pero que fueron realizados con diferentes reactivos, para observar el comportamiento del motor y determinar los parámetros resultantes de emisión de gases, llegando a observar que, si existía variación entre los dos compuestos, tanto con el reactivo tipo lentejas, así también con el reactivo tipo perlado.

La cantidad de volumen necesario utilizado fue de 3000 ml por muestra de biodiésel, es decir una vez ya conformada la mezcla del B10. Así también se obtuvieron parámetros del combustible diésel premium mismo que es utilizado para las respectivas comparaciones, de manera que sea factible realizar una comparación entre estos biocombustibles. El volumen es proporcional al tiempo de uso que se ha dado para su funcionamiento, de modo que sea necesario para realizar un recorrido completo dentro de todo el sistema de alimentación de combustible.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE BIODIÉSEL B10 A BASE DE ACEITE RECICLADO DE COCINA MEDIANTE TRANSESTRATIFICACIÓN EN UN BAÑO ULTRASÓNICO

Las pruebas se realizaron en la Universidad Central del Ecuador, dentro de la Facultad de Ingeniería Química en el departamento de petróleos, energía y contaminación. Este centro laboratorista cuenta con el Servicio de Acreditación Ecuatoriano en cumplimiento con los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006, siendo requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, de modo que es un equivalente a la norma ISO/IEC 17025:2005 y con los criterios y procedimientos de acreditación del SAE.

3.2 TABLA DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL BIODIÉSEL B10 A BASE DE ACEITE RECICLADO DE COCINA MEDIANTE TRANSESTRATIFICACIÓN EN UN BAÑO ULTRASÓNICO

En la Tabla 3.1 se puede verificar los resultados fisicoquímicos del biodiésel en mezcla B10 a base de aceite reciclado de cocina sometido a una transesterificación en un baño ultrasónico, realizado en la Facultad de Química, por parte del departamento de petróleos y energías renovables de la Universidad Central del Ecuador.

Los análisis realizados se establecen bajos los parámetros del método en las normas ASTM en diferentes métodos de ensayo, de modo que está certificado por el departamento de Servicio Acreditación Ecuatoriano.

Tabla 3. 1 Resultados biodiésel B10 ARC

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Norma INEN	Norma ASTM	Norma EN
Densidad a 15 °C	g/ml kg/m ³	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	0,8521 g/ml 852,1 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D- 93	75,6	120	93	120
Sedimento básico y agua (%BSW)	%V	ASTM D-1796	0,01	0,05	0,050	0,050
Agua por destilación	%V	ASTM D-95	< 0,05	0,05		
Cenizas sulfatadas	%P	ASTM D-874	0,05	0,02	0,020	0,02
Viscosidad cinemática a 40 °C	cSt	PNE/DEPEC/P/ASTM D-445	3,72	3,5 a 5,0	1,9 a 6,0	3,5 a 5,0
Azufre	%P	PNE/DEPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0075	0,10	0,015	0,10
Carbón Conradson (Residuo Carbonoso)	%P	PN/DPEC/P/ASTM D- 189	0,033	0,05	0,050	0,030
Corrosión a la lámina de Cu	Unidad de Corrosión	PN/DPEC/P/ASTM D-130	1a	Clase 3	Clase 3	Clase 1
Índice de cetano calculado	-	REF. ASTM D-287	51	49	47	51,0

(Continuación...)

Tabla 3.1 Resultados biodiésel B10 ARC (Continuación...)

Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	ASTM D-86	352,9	360	360	
Sodio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/APHA 3111 B	1,097		5	
Potasio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	0,492	5	5	5
Calcio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	0,795	5	5	5
Magnesio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	1,097	5	5	5

La tendencia de valores altamente bajos en los parámetros de sodio, potasio, calcio y magnesio son conocidos como un conjunto de elementos armónicos, que están correlacionados directamente proporcional con el índice de cetano calculado, mismo que mantiene un número de 51 cetano, superando los parámetros que disponen las normas internacionales ASTM, EN y la norma INEN ecuatoriana. Por lo general este conjunto de elementos mantienen un rango de 100 mg/kg, por lo tanto, dentro de los parámetros analizados del biodiésel B10 se tiene 3,481 mg/kg, lo cual hace una gran diferencia en comparación con otros análisis realizados en temas de investigación de biocombustibles. Considerando que estos elementos presentes en el biodiésel como varios sólidos abrasivos o una formación de jabones de carácter metálicos solubles, contribuyendo al desgaste prematuro de bombas de inyección de alta presión, componentes internos de inyectores, así como también los cilindros, pistones y rines de compresión, formando una cantidad

considerable de depósitos dentro de la cámara de combustión del motor, mientras que los jabones formados con el biodiésel corresponden al taponamiento de conductos y filtros. Los altos niveles de sodio, potasio, calcio y magnesio provocan obstrucciones al sistema catalizador y reducción de gases de escape generalmente, así como en los filtros de partículas que actualmente con las normativas vigentes se procura una máxima reducción de emisiones contaminantes.

3.2.1 COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD A 15 °C DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de realizar las pruebas correspondientes en el análisis del biodiésel de aceite de reciclado de cocina por medio de un proceso ultrasónico, realizados en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química de Petróleos Energía y Contaminación, la primera valoración es la densidad a 15 °C por el método ASTM D-287. Mientras tanto que las Normas ASTM, INEN y EN presentan como valor mínimo 860 y valor máximo 900, como unidad de medida (kg/m^3), mientras que los resultados obtenidos en las pruebas son de $852,1 \text{ kg}/\text{m}^3$, manteniendo una diferencia de $7,9 \text{ kg}/\text{m}^3$, respecto al mínimo valor. Por lo tanto, el valor obtenido no está validado dentro del rango mínimo requerido en las diferentes normativas tanto nacional como internacionales, aun siendo un valor lo bastante cercano.

Tabla 3. 2 Comparación de la densidad

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Densidad a 15 °C	g/ml kg/m^3	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	0,8521 g/ml 852,1 kg/m^3	860 a 900 kg/m^3	860 a 900 kg/m^3	860 a 900 kg/m^3

La densidad tiene un comportamiento imprescindible volumétricamente hablando de un combustible dentro de conductos e inyectores de motores diésel, por lo tanto, la densidad obtenida en el laboratorio de recursos químicos presenta una proximidad al valor límite que permiten las normativas, donde la masa de combustible inyectado dentro de la cámara de combustión sí depende de la densidad que este mantenga, dando a producirse variaciones en la relación de aire y combustible, mismas que deben ser controladas mediante un sistema de control mecánico o electrónico, siendo parte también de un indicativo de poder calorífico y se utiliza como variable de control en los distintos procesos de producción.

3.2.2 COMPARACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo con los resultados obtenidos del laboratorio sobre el punto de inflamación de un biodiésel bajo normativa nacional INEN es de 93°C, mientras que para las normativas internacionales se debe prevalecer a 120°C. Sin embargo, se obtuvo un punto de inflamación de 75,6°C, lo cual no permite establecer sobre un rango de calidad al biodiésel obtenido de ARC B10, respecto a este punto particularmente considerado clave en el funcionamiento de motores diésel.

Tabla 3. 3 Comparación punto de inflamación

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D- 93	75,6	120	93	120

Producto de estos resultados obtenidos, el comportamiento del motor será bastante notificante al momento del inicio de funcionamiento, resultando un encendido poco estable. Esto se debe a que el punto de inflamación es lo suficientemente bajo, proporcionando auto

detonaciones de carácter espontaneo, debido que existe una diferencia de 17,4°C con respecto a los establecido en la Norma INEN de 93°C.

3.2.3 COMPARACIÓN DE SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW) DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La comparación de los resultados arrojados en los análisis, muestra que el sedimento de agua admisible en las normativas internacionales ASTM, EN y la norma ecuatoriana INEN es del 0,05%V. por lo tanto una vez realizadas las pruebas se obtuvo un resultado de 0,01 %V, cumpliendo con los requisitos de calidad y formar parte de los estándares establecidos.

Tabla 3. 4 Comparación sedimento básico y agua (%BSW)

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Sedimento básico y agua (%BSW)	%V	ASTM D-1796	0,01	0,05	0,050	0,050

El sedimento de agua dentro de un motor y de más componentes de alimentación de combustible, tiene un comportamiento específico en cuanto a los efectos que produce el agua dentro de éste, como es la oxidación de ductos, así como también a las bombas de alta presión, obstruyendo el flujo de este. Por lo tanto, es recomendable el uso de este compuesto de biodiésel al tener escasez de agua.

3.2.4 COMPARACIÓN DE AGUA POR DESTILACIÓN DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Esta comparación de agua por destilación en la norma ecuatoriana mantiene un valor de 0,05 %V, y en comparación con los resultados obtenidos del análisis del biodiésel ARC B10, determinó un valor de 0,05 %V, lo que admite como un parámetro de calidad del producto dentro de estándares nacionales.

Tabla 3. 5 Comparación agua por destilación

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Agua por destilación	% V	ASTM D-95	< 0,05	0,05		

La presencia de agua en el compuesto de un combustible amerita a una pésima calidad lo que lo hace no apta para el funcionamiento de un motor, produciendo una corrosión excesiva en componentes metálicos, principalmente aceros y hierro fundido. Esta normativa es aplicada de manera nacional bajo la norma INEN. La determinación de agua por destilación se utiliza para medir el porcentaje en volumen de agua presente en el biodiésel.

3.2.5 COMPARACIÓN DE CENIZAS SULFATADAS DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La comparación respectiva de las cenizas sulfatadas con respecto a las normar internacionales ASTM, EN, así como las norma ecuatoriana INEN, establecen un máximo de 0,020 %P. sin

embargo, se obtuvo un valor superior de 0,05 %P, esto determina que no está dentro de la calidad permitida tanto nacional como internacionalmente, con una diferencia de 0.030 %P.

Tabla 3. 6 Comparación de cenizas sulfatadas

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Cenizas sulfatadas	%P	ASTM D-874	0,05	0,02	0,020	0,02

Las cenizas sulfatadas presentes en la combustión del biodiésel de ACR B10 obtenido por un medio ultrasónico supera los valores de estándares en las normas establecidas tanto nacional como internacionalmente. De manera que no forman parte de una buena calidad de biocombustible. Afectando directamente en la formación de carbonillas tanto en los inyectores como en los propios pistones y cilindros, provocando daños prematuros y a largo plazo, de forma que disminuye la vida útil del motor.

3.2.6 COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40 °C DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Comparación de la viscosidad cinemática a 40 °C de acuerdo con las normativas internacionales ASTM es de 1,9 a 6,0 cSt., EN presenta un rango equivalente de 3,5 a 5,0 cSt., finalmente la norma ecuatoriana responde de manera similar a la norma europea de 3,5 a 5,0 cSt. Sin embargo, una vez realizadas las pruebas fisicoquímicas del análisis respectivo presenta un valor de 3,72 cSt., valor que se encuentra dentro de los rangos de la norma nacional INEN dando como resultado la aceptación de la calidad respectiva.

Tabla 3. 7 Comparación viscosidad cinemática a 40 °C

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Viscosidad cinemática a 40 °C	cSt	PNE/DEPEC/P/ASTM D-445	3,72	3,5 a 5,0	1,9 a 6,0	3,5 a 5,0

El comportamiento de la viscosidad cinemática dentro del motor diésel es de gran relevancia en cuanto al flujo a fluir, y en su funcionamiento. Cumpliendo con los requisitos de los estándares establecidos de acuerdo con la norma INEN, esto ratifica que el biodiésel fluirá adecuadamente por los conductos correspondientes, sin la formación de sedimentos, cristales u otras formaciones que causen obstrucción del fluido. La viscosidad de un fluido en el ciclo diésel indica su resistencia al flujo, mientras más alta es la viscosidad, mayor es la resistencia al flujo. Donde las unidades utilizadas son (cSt, Stoke, St., mm^2/s .), para velocidad cinemática y (cPoise p), para velocidad dinámica

3.2.7 COMPARACIÓN DE AZUFRE DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de la presencia de azufre en el biodiésel es 0,0075 %P, muy por debajo de lo propuesto por las normativas tanto nacional como internacional, convalidando una diferencia significativa de 0,0925 %P con respecto a la norma INEN, misma que mantiene un máximo de 0,10 %P de concentración en el compuesto de biodiésel. A diferencia de las normas ASTM y EN, mantienen requisitos valorados en 0,15 %P y 0,10 %P respectivamente. Sin embargo, los valores obtenidos en los análisis son muy favorables en la combustión de mencionado biocombustible.

Tabla 3. 8 Comparación de Azufre

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Azufre	%P	PNE/DEPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0075	0,10	0,15	0,10

El comportamiento de azufre contenido en un combustible o biocombustible dentro de un motor de combustión interna es directamente proporcional a la formación de óxidos sulfurados (SO_x), así también con la vida útil del mismo. Mientras mayor sea la concentración del porcentaje de azufre en el compuesto mayores serán los daños propiciados, tanto ambientalmente, así como los daños prematuros dentro de los motores.

La formación de ácido sulfúrico depende del tipo de combustible o biocombustible a ser utilizado, de igual manera depende de la concentración de vapores de agua dentro de la cámara de combustión, para dar origen a su formación. Esta formación tiene incidencia sobre la calidad del aire, y es responsable también de la formación de las lluvias acidas, por lo tanto, el uso de un buen biocombustible disminuye el porcentaje de formación de emisiones nocivamente contaminantes a la atmosfera.

3.2.8 COMPARACIÓN DE CARBÓN CONRADSON (RESIDUO CARBONOSO) DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

El residuo carbonoso del biodiésel de ARC B10 obtenido por un medio ultrasónico, presenta una composición del 0,033 de %P bajo el método ASTM D-189, lo cual respecto a la normativa nacional INEN debe ser de 0,05 de %P, esto permite que se establezca dentro de los rangos permisibles de calidad que exige la normativa ecuatoriana, brindando una calidad respectiva al compuesto de biodiésel de aceite reciclado de cocina sometido a un proceso ultrasónico de obtención. Mientras que la exigencia de la norma EN es prevalecer dentro de

un valor máximo de 0,030 %P, para lo cual no se encuentra dentro de sus límites permisivos establecidos.

Tabla 3. 9 Comparación de carbón conradson (Residuo Carbonoso)

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Carbón Conradson (Residuo Carbonoso)	%P	PN/DPEC/P/ASTM D-189	0,033	0,05	0,050	0,030

La formación de carbón dentro del motor, especialmente en inyectores, camisas y pistones, resulta ser un problema a largo plazo disminuyendo la calidad de vida útil de este. Sin embargo, los resultados obtenidos de la muestra de biodiésel, presenta un valor aceptable por la norma INEN, por lo tanto, no presenta mayores inconvenientes en su funcionamiento como biocombustible óptimo.

3.2.9 COMPARACIÓN DE CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE (CU) DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Este apartado en la comparativa sobre la lámina de cobre presenta un mejor de los resultados, la clasificación que ha sido asignada es de Clase 1a, lo cual está sobre la categoría más baja posible en cuanto a corrosión. Con respecto a las normativas internacionales ASTM y EN, mantienen una máxima clasificación de Clase 3 y Clase 1 respectivamente, así como la norma ecuatoriana INEN con Clase 3, por lo tanto, el biodiésel analizado es de excelente compuesto con respecto a corrosión. La importancia de este resultado es que permite prever la acción

corrosiva del combustible sobre ciertas aleaciones metálicas, las cuales están presentes en la mayoría de los motores de combustión interna.

Tabla 3. 10 Comparación de corrosión a la lámina de cobre Cu

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Corrosión a la lámina de Cu	Unidad de corrosión	PN/DPEC/P/ASTM D-130	1 ^a	Clase 3	Clase 3	Clase 1

El comportamiento del motor sobre el análisis de la lámina de cobre Cu, es posible presagiar que el cobre no reaccionó bajos efectos del biodiésel, resultando así la longevidad de las piezas que estén en contacto directo con el fluido, manteniendo en perfectas condiciones de funcionamiento.

3.2.10 COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO CALCULADO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo con los resultados del índice de cetano calculado del biodiésel, presenta un valor de 51, unidad de cetano. Esto sobrepone a las normas tanto nacionales como internacionales, INEN, ASTM y EN, con valores de 49 para la norma nacional, 47 y 51 respectivamente. Por lo tanto, el biodiésel analizado cumple con el requisito de calidad en el orden del cetanaje calculado de biocombustible.

Tabla 3. 11 Comparación índice de cetano calculado

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Índice de cetano calculado		REF. ASTM D- 287	51	49	47	51,0

El comportamiento de un motor diésel depende del índice de cetano, esto se representa como la calidad del combustible o biocombustible, indicando el tiempo que éste tarda desde que es inyectado en la cámara de combustión hasta llegar al punto que entra en ignición. Por lo tanto, de este concepto se deduce que el cuidado de los motores y las emisiones respectivas que estos producen están directamente relacionados con la calidad del combustible, reduciendo el ruido, la emisión de gases contaminantes y sobre todo el aumento de potencia en el mejor de los casos.

3.2.11 COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90 % RECUPERADO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La comparación de temperatura de destilación al 90% de recuperación del biodiesel B10 de ARC por medio de un proceso ultrasónico presenta un valor de 352,9 °C., logrando cumplir los estándares propuestos por las normativas INEN y ASTM con un máximo valor de 360 °C. Sin embargo, según la norma EN no presenta una clasificación con respecto a una temperatura de destilación en un porcentaje de recuperación, se puede verificar los parámetros en el anexo 1, Figura A.I.3.

Tabla 3. 12 Comparación de la temperatura de destilación al 90 % recuperado

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	ASTM D-86	352,9	360	360	

La destilación es una operación de separar, habitualmente por medio de calor diferentes componentes líquidos de una mezcla aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias sometidas a separación. Es decir, este es un proceso que consiste en calentar el líquido en este caso biodiésel, hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor, seguido de un enfriamiento logrando condensar para realizar una recuperación que en este método es del 90 %, a una temperatura de 352,9 °C.

3.2.12 COMPARACIÓN DE SODIO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados luego del análisis respectivo sobre la cantidad de sodio contenido en el biodiésel son 1,097 mg/kg, con respecto a las normativas internacionales y la norma ecuatoriana INEN, que prevalecen un valor de 5,0 mg/kg. Por lo tanto, el biodiésel de aceite reciclado de cocina tiene un bajo concentrado de sodio en su compuesto, considerando que es una materia prima de varias mezclas de grasas y aceites vegetales. La diferencia entre los resultados obtenidos y los presentados por las normativas es de 3,903 mg/kg, lo que permite estar sobre el estándar de calidad.

Tabla 3. 13 Comparación de Sodio

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Sodio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/APHA 3111 B	1,097	5	5	5

Al tener una concentración de sodio suficientemente baja en el compuesto del biodiésel, permite mejorar el comportamiento del motor, de forma que se alarga la vida útil de este, mejorando la estabilidad de encendido, y evitando la corrosión de ciertos de elementos que permanecen en contacto directo con el biocombustible.

3.2.13 COMPARACIÓN DE POTASIO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La comparativa entre el resultado generado por el laboratorio es 0,492 mg/kg, a diferencia de las normativas internacionales y nacional que exigen un máximo de 5,0 mg/kg, esto radica en una gran diferencia de 4,508 mg/kg, esto hace que supere las expectativas del biodiésel producido en función de un medio ultrasónico.

Tabla 3. 14 Comparación de Potasio

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Potasio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	0,492	5	5	5

La determinación de potasio relativamente bajo con respecto a las normativas especifica que está dentro de la calidad requerida para ser utilizado como un biocombustible. La presencia exagera de potasio dentro del biodiésel generaría una degradación de los componentes en contacto directo con el biocombustible, por lo tanto, se ha logrado un excelente compuesto de biodiésel para ser utilizado en el funcionamiento de motores diésel.

3.2.14 COMPARACIÓN DE CALCIO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La comparación del calcio obtenido luego de los análisis es 0,796 mg/kg, es resultado muy favorable en cuanto a las normativas internacionales ASTM y EN, de la igual manera para la norma nacional INEN es de 5,0 mg/kg respectivamente para cada una de las normas. Estableciendo una diferencia de 4,204 mg/kg, lo que significa que no existe inconvenientes en la utilización de este biocombustible en motores diésel, logrando así, disminuir las emisiones y mejorar la calidad del aire.

Tabla 3. 15 Comparación de Calcio

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Calcio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	0,795	5	5	5

Una vez obtenido una disminución significativa de calcio dentro del biodiésel, esto determina un excelente comportamiento de los elementos móviles por donde circula el biocombustible, en cuanto a desgaste prematuro, prevaleciendo la integridad de estos.

3.2.15 COMPARACIÓN DE MAGNESIO DEL BIODIÉSEL DE ARC B10 OBTENIDO POR UN MEDIO ULTRASÓNICO CON LAS NORMAS INEN, ASTM, EN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de magnesio dentro del biodiésel son de 1,097 mg/kg, con una diferencia de 3,903 mg/kg, con respecto a las normativas internacionales y la norma ecuatoriana que es de 5,0 mg/kg. Este hace que este compuesto de biocombustible este dentro del rango de valores permitidos estableciendo una excelente calidad del compuesto.

Tabla 3. 16 Comparación de Magnesio

Determinación	Unidad	Método	Resultado Obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Magnesio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/APHA 3111 B	1,097	5	5	5

3.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDO UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM

Una vez realizadas las diferentes pruebas de emisión de gases contaminantes de escape, con la utilización de diésel premium a un régimen de giro variable, es preciso considerar que todas las pruebas fueron realizadas bajo la ausencia de un catalizador que realice la acción de reducción y oxidación, emisiones libres y directas al aire. Obteniéndose los datos necesarios para conseguir los resultados de la presente investigación en fechas de 16 de abril de 2019.

3.3.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM

Los siguientes valores fueron obtenidos de las pruebas realizadas en el mes de marzo del presente año.

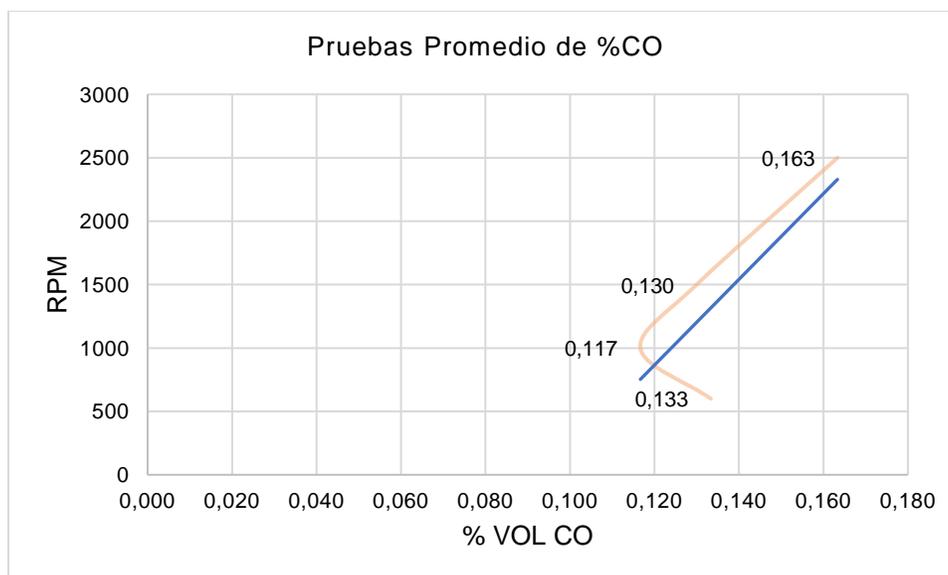


Figura 3. 1 Valores promedio de CO a distintas RPM con diésel premium

La Figura 3.1 representa los valores promedios obtenidos del monóxido de carbono (CO), una vez que se ha realizado tres pruebas repetitivas en intervalos de 5 minutos, volviendo a ralentí el banco motor, obteniendo valores promedios a distintos intervalos de régimen de giro, todas las pruebas se realizaron en un horario prefijado de 09:30 horas a 12:30 horas, estableciendo un día por muestra analizada. Para las condiciones establecidas se obtuvo que un régimen de 600 rpm se obtiene un valor de CO igual a 0.133 % Vol. Sin embargo, para un régimen de giro igual a 1000 rpm se tiene un promedio entre todas las pruebas de CO igual a 0,117 % Vol. Para 1500 rpm se obtiene un valor de 0,130 % Vol. De CO, así como también llegando un régimen más alto como 2500 rpm, arroja un valor de 0,163 % Vol. de CO. La tendencia de crecimiento de CO con diésel premium es lo bastante apreciable, directamente proporcional al régimen de giro. Donde el monóxido de carbono se produce

debido a la ausencia de oxígeno en la mezcla, considerando que ingresa aire dentro de la cámara de combustión, el cual se conforma con un 78% nitrógeno, 21% oxígeno y un 1% de otros gases.

3.3.2 ANÁLISIS DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM

La gráfica siguiente indica los parámetros obtenidos con el resultado de las pruebas de campo para un análisis correspondiente al monóxido de carbono.

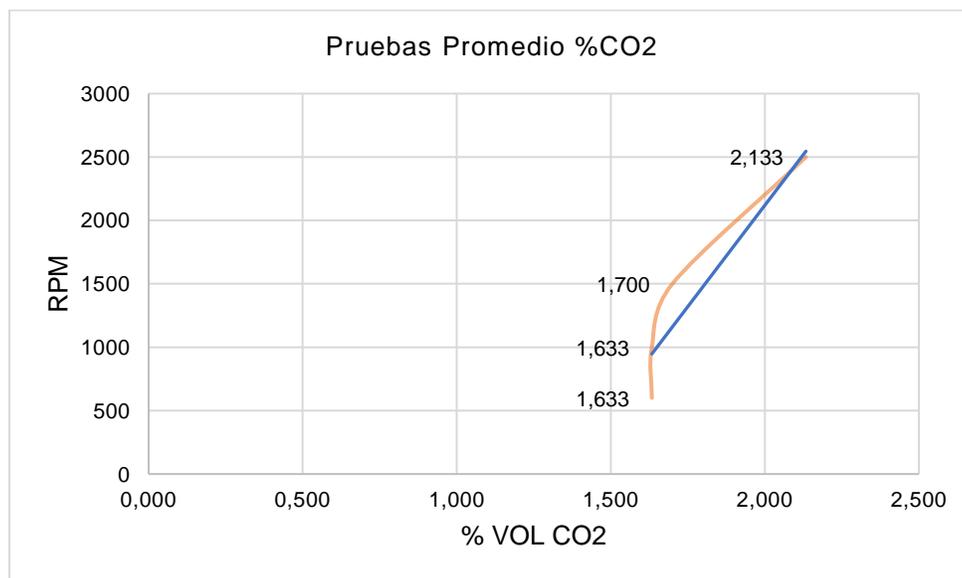


Figura 3. 2 Valores promedio de CO_2 a distintas RPM con diésel premium

La Figura 3.2 presenta los valores obtenidos de dióxido de carbono utilizando diésel premium a diferentes regímenes de giro del motor, se entabla un promedio de tres fases de pruebas realizadas obteniendo valores a ralentí establecido en 600 rpm se obtiene 1,633 % Vol. CO_2 , para un régimen de giro de 1000 rpm se tiene un valor de 1,633 % Vol. CO_2 , como es evidente el dióxido de carbono va en incremento a medida que aumenta paulatinamente el régimen de giro, es así como se obtiene para 1500 rpm un valor de 1,700 % Vol. CO_2 , y

finalmente para 2500 rpm como régimen máximo propuesto se tiene un valor de 2,133 % Vol. CO₂.

Existe un valor similar pasando de un régimen de giro de 600 a 1000 rpm, el CO₂ es estable en un valor en un valor muy considerable, restableciéndose el incremento de éste a 1500rpm, así como a 2500rpm existe un incremento mayor, esto se debe a la vinculación de la presencia de O₂ en la mezcla, esto representa como un índice de una buena combustión presente.

Es imprescindible la consideración que el CO₂ es directamente proporcional con el consumo de combustible, donde el conductor es el factor más influyente en dicha emisión.

3.3.3 ANÁLISIS DE OXÍGENO O₂ PRSENTE EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM

A continuación, se presentan los datos valorados en promedio del oxígeno a diferentes regímenes de giro del banco motor, considerando la altitud a la cual fue sometido el banco motor.

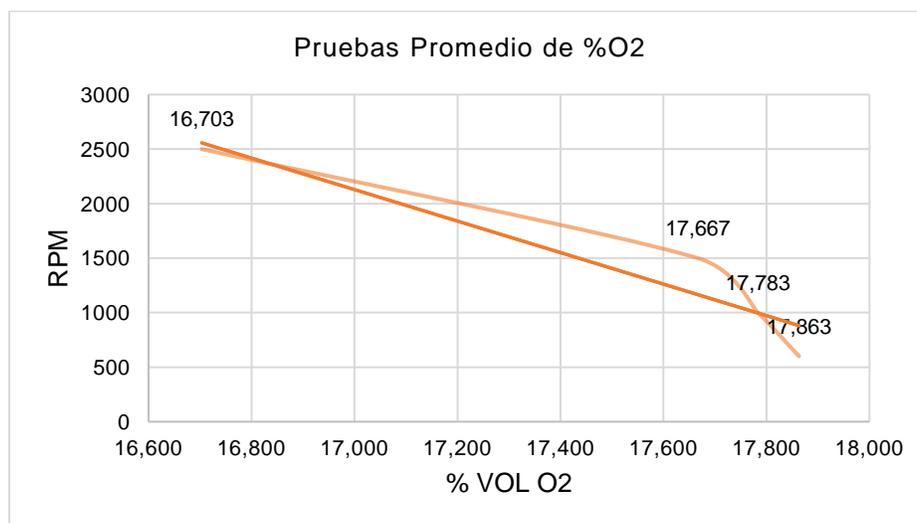


Figura 3. 3 Valores promedio de O₂ a distintas RPM con diésel premium

La Figura 3.3. se presenta los valores promedio de O_2 conforme se mencionó anteriormente todas las pruebas realizadas se basan en distintos regímenes de giro del banco motor, por lo tanto, durante la medición de los gases de escape establecidos en un horario de 09:30 horas a 12:30 horas, así como también sobre una altitud de 2244,85 msnm. Se debe tomar en cuenta que el lugar de ubicación del banco motor mantiene suficiente ventilación y consiguientemente un aire más limpio, sin embargo, los datos a diferentes regímenes de giro comienzan a disminuir paulatinamente, es así como, llegando a 2500 rpm se tiene el 1% en disminución de O_2 . Los valores resultantes de oxígeno están sujetos en comparación con cada uno de los gases contaminantes, ente caso son el monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno principalmente a un mismo régimen de giro y un horario preestablecido.

3.3.4 ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS POR MILLÓN DE ÓXIDO DE NITRÓGENO ($PPM - NO_x$) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM

Los datos obtenidos de partículas por millos de óxido de nitrógeno se presentan en la siguiente tabla, en los mismos horarios y altitud establecidos y los diferentes regímenes de giro del banco motor.

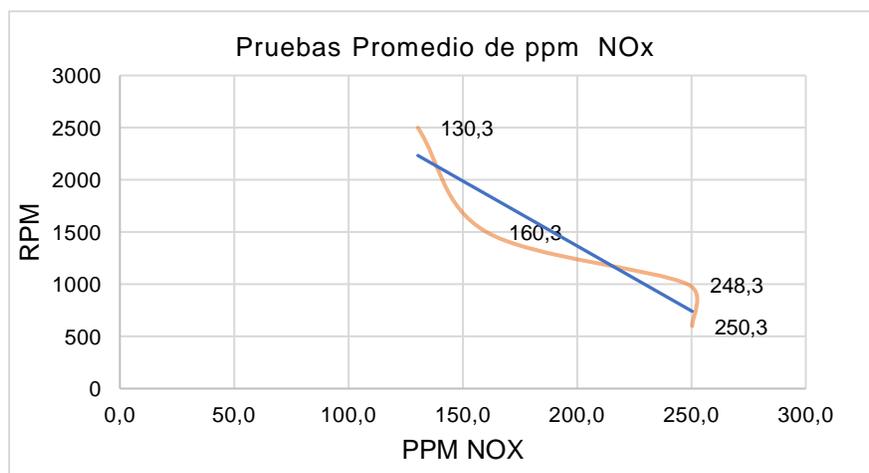


Figura 3. 4 Valores promedio de ppm de NO_x a distintas RPM con diésel premium

Durante la medición de los gases contaminantes de escape, y sobre todo en motores diésel se considera de sobre manera las partículas por millón de óxido de nitrógeno (ppm de NO_x) producidas durante la combustión, siendo este compuesto el contaminante propicio en el aporte de generación de enfermedades cancerígenas de carácter respiratorio. Es así como se obtiene valores promedios sobre la utilización del diésel premium, obteniendo datos a ralenti a 600 rpm un valor de 250, 33 ppm de NO_x . Para un régimen de 1000 rpm de giro se opta por 248, 333 ppm de NO_x , seguidamente a valores más altos de giro del motor, se obtiene menores valores de óxido de nitrógeno, es así como a 1500 rpm se obtiene 160, 333 ppm de NO_x y para un régimen de 2500 rpm se logra una reducción hasta 130, 333 ppm de NO_x .

Estos valores se obtuvieron utilizando diésel premium de la ciudad de Quito, por ser una de las ciudades donde se distribuye un diésel con mayor refinación, de modo que en la ciudad de Ibarra no se cuenta con un diésel más refinado. Lo cual incrementa los gases contaminantes de un motor diésel, mientras la calidad del combustible disminuye, los gases contaminantes de escape son mayormente nocivos.

3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO BIODIÉSEL EN MEZCLA B10

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes de escape utilizando biodiésel en mezcla B10, a diferentes regímenes de giro del banco motor se obtuvo los datos necesarios para la investigación. Es preciso considerar que todas las pruebas fueron realizadas bajo la ausencia de un catalizador que realice la acción de reducción y oxidación, emisiones libres y directas al aire.

3.4.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBNO (CO) UTILIZANDO BIODIÉSEL EN MEZCLA B10

Estos valores se obtuvieron de las pruebas que se realizaron en la fecha del 14 de mayo de 2019, en horarios y altitud semejantes a las pruebas realizadas con diésel premium.

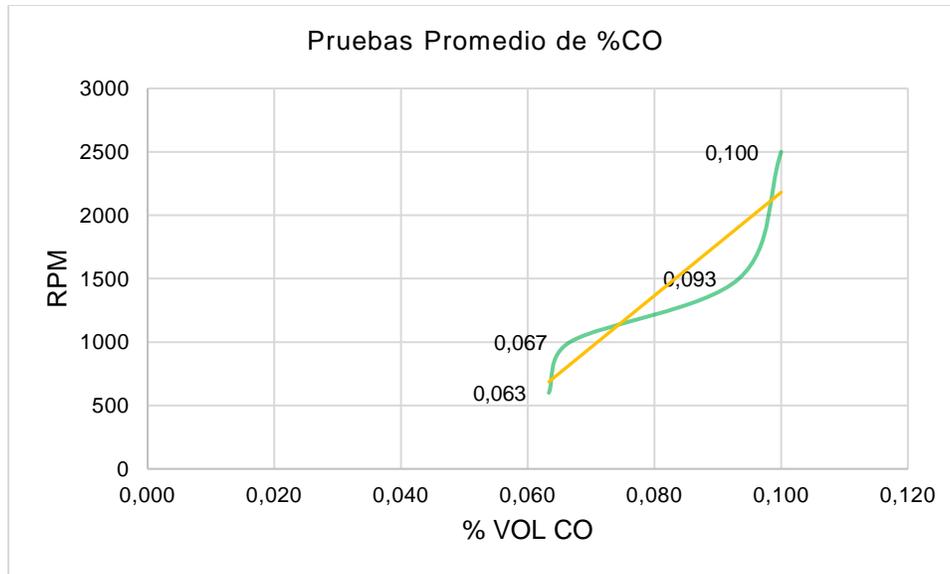


Figura 3. 5 Valores promedio de CO a distintas RPM con Mezcla B10

La Figura 3.5 presenta valores promedio de monóxido de carbono (CO), fueron obtenidos a distintos regímenes de giro del banco motor, utilizando biodiésel B10. Durante el proceso de medición de los gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes, a un proceso de ralentí es decir a 600 rpm se obtiene 0,063 % Vol. CO. Todos los valores son promedios de tres fases de pruebas a los mismo horarios y altitud determinados con anterioridad. Para un régimen de giro de 1000 rpm se establece un valor de 0,067 % Vol. CO, se puede apreciar un incremento mientras se aumenta la carga del motor, así también para 1500 rpm se tiene un dato de 0,093 % Vol. CO, logrando un incremento sobre la carga de motor de 2500 rpm a un valor promedio de 0,100 % Vol. CO. El monóxido de carbono se produce cuando existe una escasa cantidad de oxígeno en el aire introducido en la cámara para su combustión, debido a este factor, mientras mayor es el CO menos cantidad de O_2 .

3.4.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) UTILIZANDO BIODIÉSEL EN MEZCLA B10

Los valores que describe la siguiente curva de análisis, representa el incremento obtenido mediante las pruebas de campo realizadas en un promedio de tres pruebas por cada gas analizado.

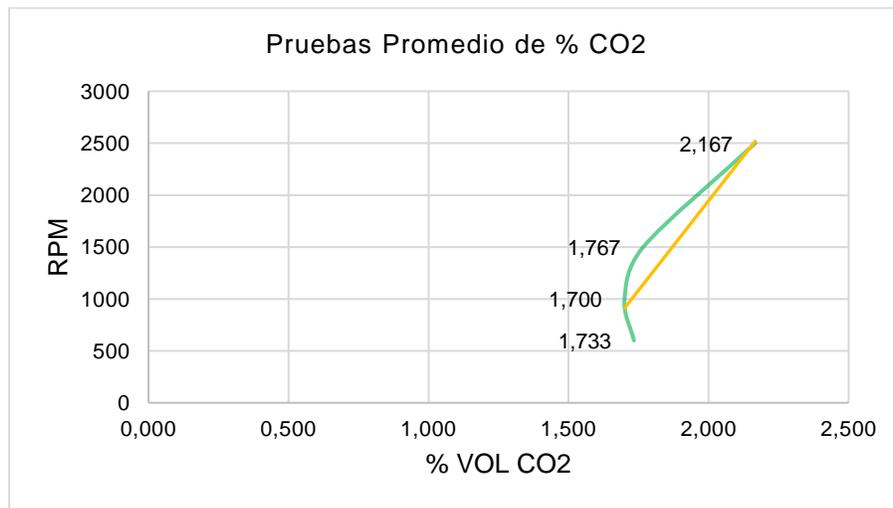


Figura 3. 6 Valores promedio de CO_2 a distintas RPM con Mezcla B10

La Figura 3.6 presenta los valores obtenidos de dióxido de carbono utilizando biodiésel en mezcla B10 a diferentes regímenes de giro del motor, se entabla un promedio de tres fases de pruebas realizadas obteniendo valores a ralentí establecido en 600 rpm se obtiene 1,733 % Vol. CO_2 , pero un régimen de giro de 1000 rpm se tiene un valor de 1,70 % Vol. CO_2 , como es evidente el dióxido de carbono va en incremento a medida que aumenta paulatinamente el régimen de giro, es así como se obtiene para 1500 rpm un valor de 1,767 % Vol. CO_2 , y finalmente para 2500 rpm como régimen máximo propuesto se tiene un valor de 2,167 % Vol. CO_2 .

Existe un valor desproporcional estando a 1000 rpm, el CO_2 disminuye en un valor no muy considerable, restableciéndose el incremento de éste a 1500rpm, así como a 2500rpm existe

un incremento mayor, esto se debe a la vinculación de la presencia de O_2 en la mezcla, esto representa como un índice de una buena combustión presente.

Es imprescindible la consideración que el CO_2 es directamente proporcional con el consumo de combustible, donde el conductor es el factor más influyente en dicha emisión.

3.4.3 ANÁLISIS DE ÓXIGENO (O_2) UTILIZANDO BIODIÉSEL EN MEZCLA B10

Para el análisis del oxígeno (O_2) se tomaron todos los valores promedio de entre las tres fases de pruebas con biodiésel en mezcla B10. A continuación se presenta los parámetros en las cuales se definió las curvas correspondientes.

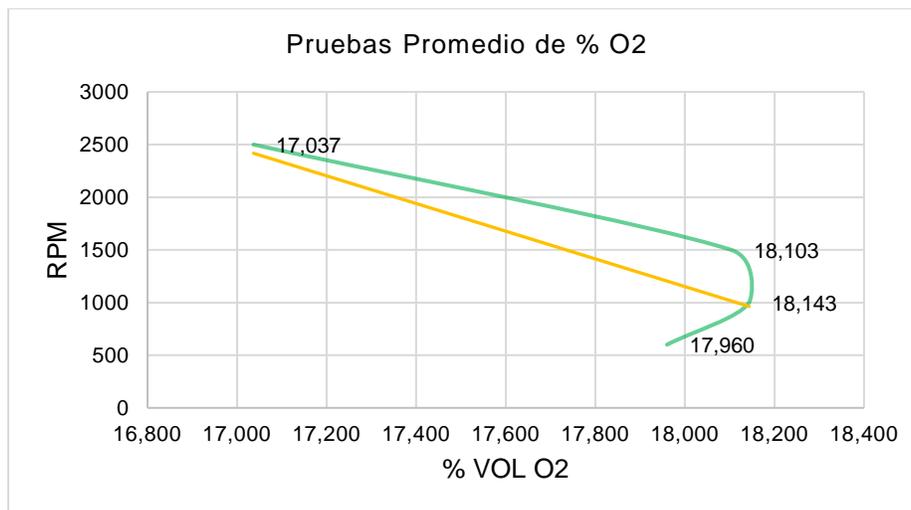


Figura 3. 7 Valores promedio de O_2 a distintas RPM con Mezcla B10

La Figura 3.7. presenta los valores promedio de O_2 conforme se mencionó anteriormente todas las pruebas realizadas se basan en distintos regímenes de giro del banco motor, por lo tanto, durante la medición de los gases de escape establecidos en un horario de 09:30 horas a 12:30 horas, así como también sobre una altitud de 2244,85 msnm. Para un valor a ralentí

de 600 rpm se tiene datos de 17,960 % Vol. O₂, pasando a 1000 rpm se obtiene como valor promedio 18,103 % Vol. O₂, con un valor casi similar en 1500 rpm obteniendo 18,103 % Vol. O₂ y finalmente a 2500 rpm se deduce un promedio de 17,037 % Vol. O₂.

Se debe tomar en cuenta que el lugar de ubicación para el banco motor mantiene suficiente ventilación y consiguientemente un aire más limpio, sin embargo, los datos a diferentes regímenes de giro comienzan a disminuir paulatinamente, es así como, llegando a 2500 rpm se tiene el 1% en disminución de O₂. Los valores resultantes de oxígeno están sujetos en comparación con cada uno de los gases contaminantes, ente caso son el monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno principalmente a un mismo régimen de giro y un horario preestablecido.

3.4.4 ANÁLISIS DE PARTÍCULAS POR MILLÓN DE ÓXIDO DE NITRÓGENO (PPM NO_x) UTILIZANDO BIODIÉSEL EN MEZCLA B10

La gráfica siguiente muestra una curva del comportamiento de los óxidos de nitrógeno utilizando biodiésel elaborado con proceso ultrasónico, como un indicativo se obtuvo excelentes parámetros en función de reducción de emisiones contaminantes.

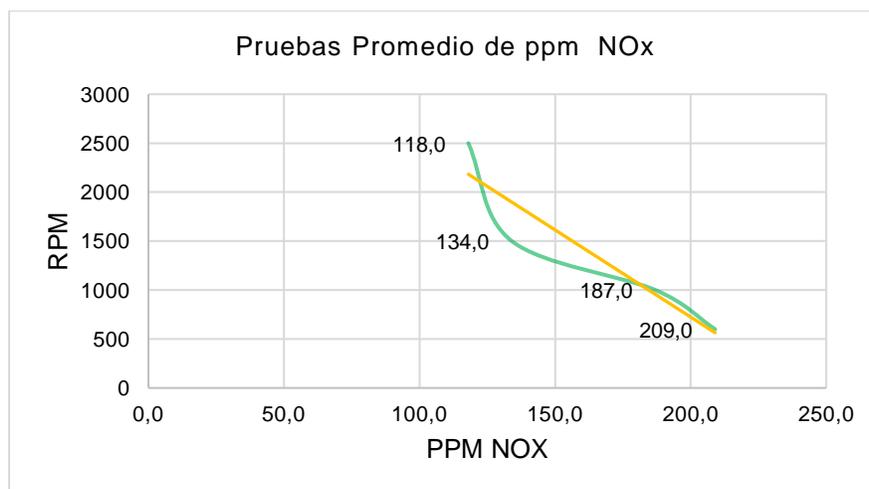


Figura 3. 8 Valores promedio de ppm de NO_x a distintas RPM con Mezcla B10

Durante la medición de los gases contaminantes de escape, y sobre todo en motores diésel se considera de sobre manera las partículas por millón de óxido de nitrógeno (ppm de NO_x) producidas durante la combustión, siendo este compuesto el contaminante propicio en el aporte de generación de enfermedades cancerígenas de carácter respiratorio. Es así como se obtiene valores promedios sobre la utilización de un biocombustible B10, logrando así datos a ralentí a 600 rpm un valor de 209 ppm de NO_x . Para un régimen de 1000 rpm de giro se opta por 187 ppm de NO_x , seguidamente a valores más altos de giro del motor, se obtiene menores valores de óxido de nitrógeno, es así como a 1500 rpm se obtiene 134 ppm de NO_x y para un régimen de 2500 rpm se logra una reducción hasta 118 ppm de NO_x .

Estos valores se obtuvieron utilizando biodiésel en una mezcla no superior al 10%, optando por una mezcla B10, que se considera el 90% de diésel premium y el 10% restante se complementa con biodiésel obtenido de aceite reciclado de cocina y sometido a una transesterificación en un baño ultrasónico durante un tiempo de 45 minutos. Es de carácter considerable destacar que las pruebas realizadas están libres de un catalizador. Si se utilizara un catalizador los resultados van a variar considerablemente en una notable disminución de valores.

3.5 ANÁLISIS DE TODO EL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES CON DIÉSEL PREMIUM Y BIODIÉSEL EN MEZCLA B10 A DIFERENTES REGÍMENES DE GIRO

Los valores que se presentan en este apartado fueron tomados durante las horas establecidas anteriormente utilizando diésel premium y biodiésel en mezcla B10, obtenido del aceite reciclado de cocina, mediante un proceso de baño ultrasónico.

3.5.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Para obtener el análisis proporcional del monóxido de carbono (CO), se tomaron todos los valores y se realizó un promedio de estos a diferentes regímenes de giro del banco motor. A

continuación, se presentan los valores obtenidos de monóxido de carbono con los diferentes combustibles en comparación y diferente estado de régimen.

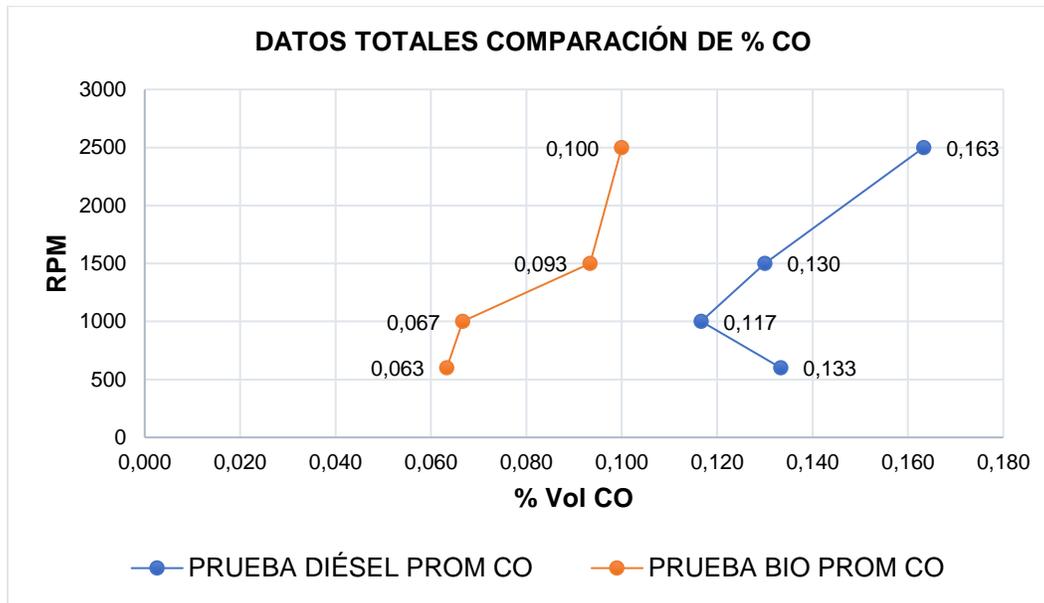


Figura 3. 9 Datos totales obtenidos en comparación de CO

La Figura 3.9 muestra los valores obtenidos de monóxido de carbono utilizando diésel premium y biodiésel en mezcla B10 a diferente régimen de giro. Es así como en el gráfico se evalúa las curvas de los diferentes combustibles utilizados, la primera curva superior de color azul representa el comportamiento que realiza el motor al ser sometido a un funcionamiento con combustible diésel premium, para un régimen a ralentí de 600 rpm se obtiene un valor de 0,133 % Vol. CO y para el mismo régimen utilizando biodiésel en mezcla B10 se obtuvo un valor bastante inferior igual a 0,063 % Vol. CO, al final se tuvo como resultado una disminución del 52,63% del valor total de CO utilizando un compuesto B10 con respecto al diésel premium en estado de ralentí. De igual manera se analiza para un régimen de giro de 1000 rpm obteniendo un valor de 0.117 % Vol. CO, así como también para el mismo régimen de giro utilizando biodiésel se obtuvo un valor de 0,067 % Vol. CO, considerando una disminución del 42,73 % del valor en volumen total de CO. Para un régimen de 1500 rpm se presenta un valor de 0,130 % Vol.CO y para el mismo régimen de giro se tuvo utilizando

biodiésel un valor de 0,093 % Vol.CO, considerando una disminución de 28,46 % del valor total de CO. Finalmente se tiene para un régimen de giro de 2500 rpm 0,163 % Vol. CO y para el mismo régimen de giro aplicando mezcla B10 se tuvo 0,100 % Vol. CO, llegando así a una disminución considerable del 38,65 % en volumen total de CO, por lo tanto se deduce que el uso de biocombustibles se logra reducir de manera considerable los índices de valoración de los gases de escape paulatinamente a diferentes regímenes de giro.

3.5.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

Para el análisis del dióxido de carbono CO_2 se tomaron todos los valores de las tres fases de pruebas realizadas, obteniendo datos promedio a diferentes regímenes de giro con diésel premium y biodiésel en mezcla B10. A continuación, se presentan los valores obtenidos de dióxido de carbono con los diferentes combustibles en comparación y a diferente estado de régimen.

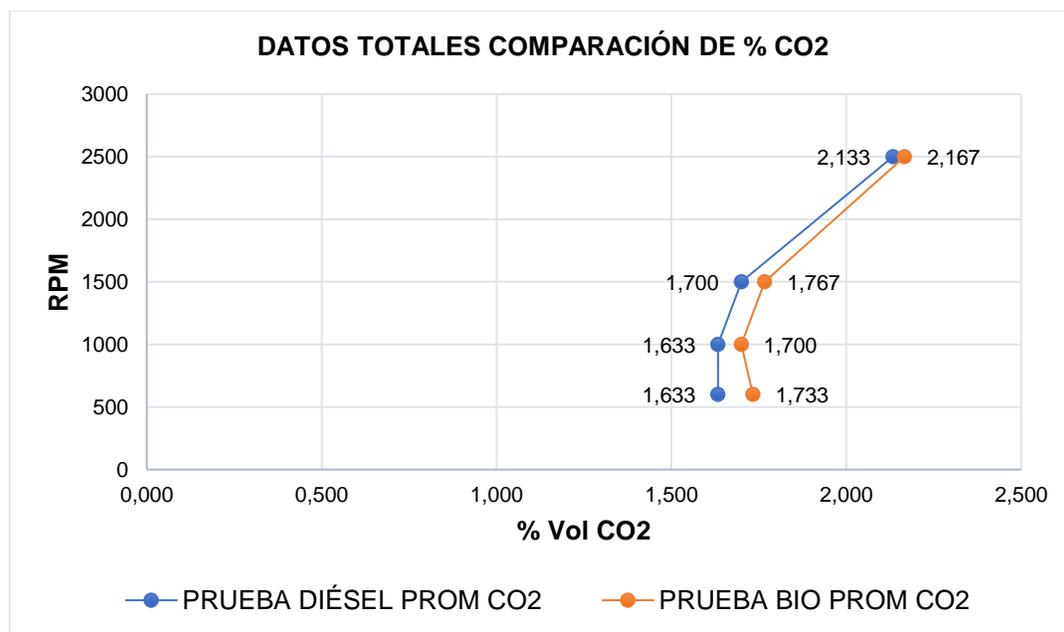


Figura 3. 10 Datos totales obtenidos en comparación de CO_2

La Figura 3.10 muestra los datos obtenidos del dióxido de carbono (CO_2) utilizando diésel premium y un biocombustible en componente de B10 a diferente régimen de giro. Ahora se analiza la gráfica patente, y sobre la cual se evidencia dos curvas representativas del diésel premium y biodiésel B10. Los valores para un régimen de ralentí igual a 600 rpm se tuvo un parámetro igual a 1,633 % Vol. CO_2 y para el mismo régimen de giro se tuvo un valor sobre el primero de 1,733 % Vol. CO_2 , al final se obtuvo un aumento del 6,12 % Vol. de CO_2 , para un régimen de giro de 1000 rpm se tuvo un valor promedio de 1,633 % Vol. CO_2 , similar al primer dato arrojado con diésel premium, y al mismo régimen de giro con biodiésel se tuvo un valor de 1,700 % Vol. CO_2 , al final se obtuvo un aumento del 4,10% del total de CO_2 , lo cual se debe una diferencia de cantidad de oxígeno presente en el aire. Considerando un régimen de giro de 1500 rpm se tuvo un valor promedio de 1,700 % Vol. CO_2 y para el biocombustible en mezcla B10 al mismo régimen de giro se tuvo un valor de 1,767 % Vol. CO_2 , optando por un aumento del 3,94 % del total del analizado. Y para concluir con esta etapa de funcionamiento a un régimen de giro de 2500 rpm se obtuvo un valor 2,133 % Vol. CO_2 , y para el mismo estado de giro se optó por 2,167 % Vol. CO_2 , en promedio del total. El aumento del porcentaje de CO_2 , utilizando biodiésel en mezcla B10 se debe a que el oxígeno está presente en la combustión estando vinculado directamente entre los dos combustibles, considerablemente.

3.5.3 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O_2) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE

Para el análisis del oxígeno (O_2) se tomaron todos los valores promedio de entre las tres fases de pruebas con diésel premium y biodiésel en mezcla B10. A continuación se presenta los parámetros en las cuales se definió las curvas correspondientes.

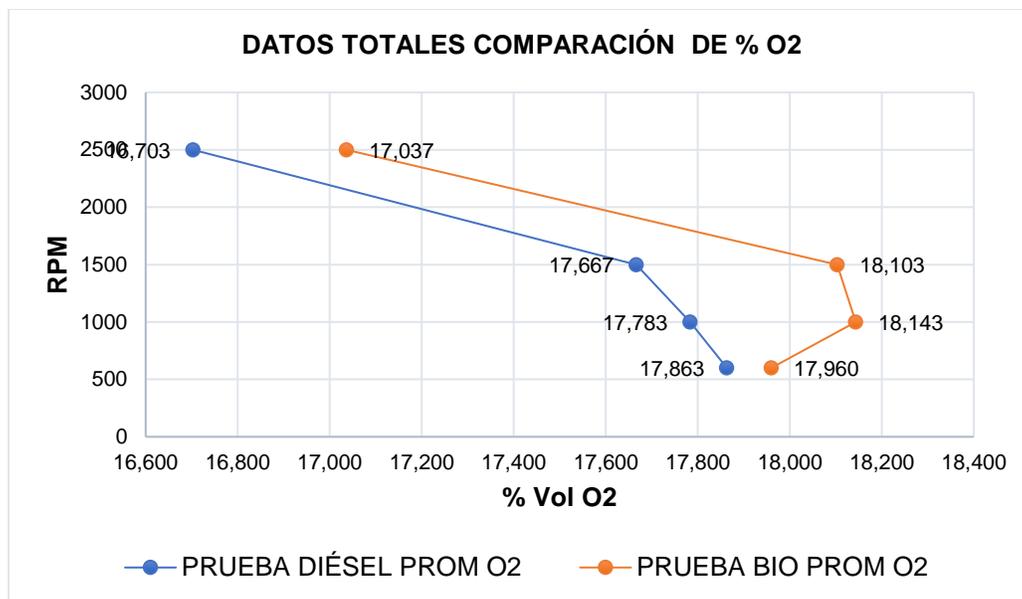


Figura 3. 11 Datos totales obtenidos en comparación de O₂

La Figura 3.11 muestra los datos promedios del análisis del oxígeno a diferentes cargas del motor utilizando diésel premium y mezcla B10 en biocombustibles. Los valores para un régimen de ralenti igual a 600 rpm se tuvo un parámetro igual a 17,863 % Vol. O₂ y para el mismo régimen de giro se tuvo un valor sobre el primero de 17,960 % Vol. O₂, al final se obtuvo un aumento del 0,54 % Vol. de O₂, para un régimen de giro de 1000 rpm se tuvo un valor promedio de 17,783 % Vol. O₂, aumentando un dato arrojado con diésel premium, y al mismo régimen de giro con biodiésel se tuvo un valor de 18,143 % Vol. O₂, al final se obtuvo un aumento del 2,02% del total de O₂, lo cual se debe una diferencia de cantidad de oxígeno presente en el aire. Considerando un régimen de giro de 1500 rpm se tuvo un valor promedio de 18,103 % Vol. O₂ y para el biocombustible en mezcla B10 al mismo régimen de giro se tuvo un valor de 17,667 % Vol. O₂, optando por un aumento del 2,40 % del total del analizado. Y para concluir con esta etapa de funcionamiento a un régimen de giro de 2500 rpm se obtuvo un valor 17,037 % Vol. O₂, y para el mismo estado de giro se optó por 16,703 % Vol. O₂, en promedio del total. El aumento del porcentaje de O₂, utilizando biodiésel en mezcla B10 se debe a que el oxígeno está presente en la combustión estando vinculado directamente entre los dos combustibles.

3.5.4 ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS POR MILLÓN DE ÓXIDO DE NITRÓGENO ($PPM - NO_x$) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE

Los datos obtenidos de partículas por millos de óxido de nitrógeno se presentan en la siguiente tabla, en los mismos horarios y altitud establecidos y los diferentes regímenes de giro del banco motor.

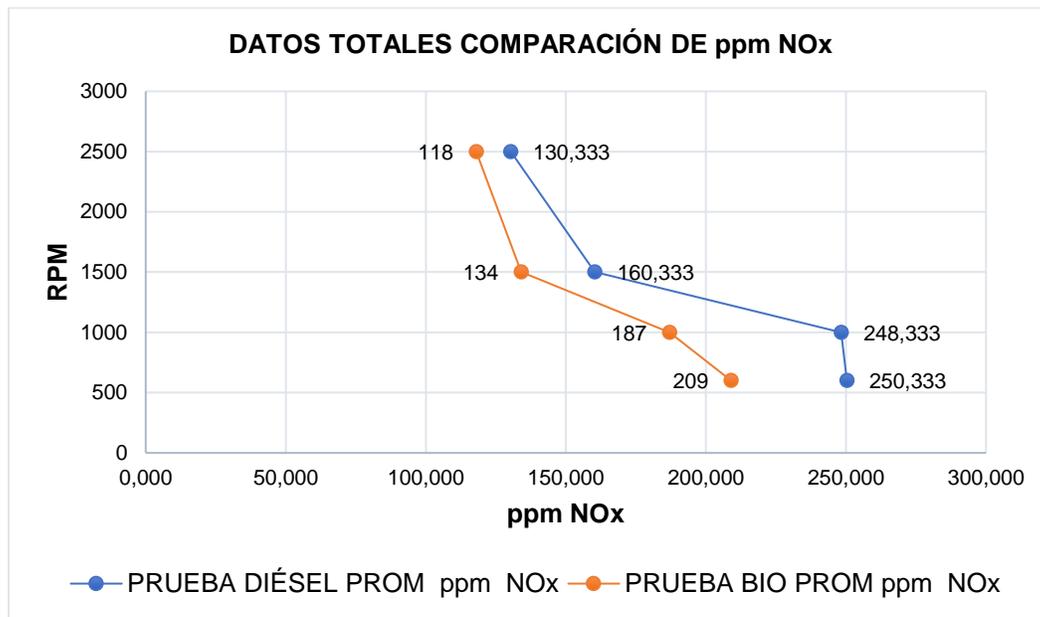


Figura 3. 12 Datos totales obtenidos en comparación de ppm NO_x

Este de uno de los gases de escape más considerado y sobre todo analizado en motores diésel, en este caso se analiza el porcentaje de fiabilidad en la adaptación del biodiésel como combustible para motores de trabajo pesado. Para el primer análisis utilizando diésel premium se tuvo un valor promedio de 250,33 ppm NO_x y al mismo régimen de giro utilizando mezcla B10 se tuvo un valor de 209 ppm NO_x , existiendo una disminución del 16,51% del nivel total de ppm NO_x , lo cual resulta una disminución bastante significativa. Para los regímenes de 1000 rpm tanto para diésel premium, así como para biodiésel en mezcla B10, se tuvo valores de 248,33 ppm NO_x y 187 ppm NO_x respectivamente, presentando una disminución del 24,69 % del nivel total de ppm NO_x . Para un régimen de 1500 rpm se tuvo

un valor igual a 160,33 ppm NO_X y para el mismo régimen de giro utilizando biodiésel en mezcla B10 se tuvo un valor de 134 ppm NO_X , al final se tiene una disminución del 16,42 % del nivel total de ppm NO_X . Finalmente con un régimen preestablecido de 2500 rpm, tanto para diésel premium y biodiésel en mezcla B10, se tuvo los valores igual a 130,33 ppm NO_X y 118 ppm NO_X , dando una disminución del 9,46 % del nivel total de ppm NO_X .

3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE BIODIÉSEL B10 ELABORADO CON EL 90% DIÉSEL DE DISTINTAS CIUDADES (QUITO E IBARRA)

Los valores que son presentados en este ítem representan el análisis realizado una vez realizadas las pruebas de campo correspondientes. De primera instancia se ha realizado una comparativa únicamente con biodiésel elaborado con el 90% de diésel premium, mismo que se obtuvo desde la ciudad de Quito, adjudicando valores relativamente menores con respecto al combustible diésel que se distribuye en mencionada ciudad. Sin embargo, se ha realizado bajo las mismas circunstancias pruebas de campo con biodiésel elaborado con igual porcentaje de diésel, pero en este apartado se ha realizado con el diésel premium local, distribuido dentro de la ciudad de Ibarra, obteniendo una diferencia de parámetros no muy distantes, en cuanto a los gases contaminantes como; monóxido de carbono, dióxido de carbono, el oxígeno no es un gas contaminante, sin embargo, es un indicador guía del proceso de combustión interna. Donde se encontró la mayor diferencia posible en cuanto a parámetros de partículas por millón de óxido nitroso presentes en la emisión de gases, mismas que serán analizadas posteriormente.

3.6.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El análisis del monóxido de carbono se representa dentro de los parámetros obtenidos realizando las diferentes pruebas correspondientes, se verifica una comparativa entre dos biocombustibles de similar porcentaje, con la diferencia en calidad del diésel utilizado en el proceso de elaboración.

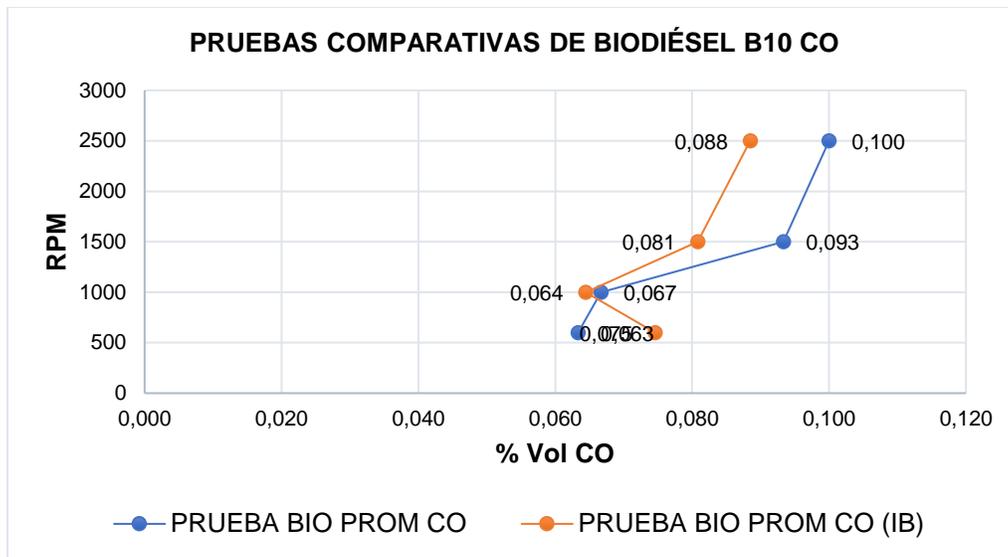


Figura 3. 13 Comparativa en emisiones de CO con diferente biodiésel B10

La Figura 3.13 representa una comparativa de la emisión de CO, utilizando biocombustibles elaborados con diferente calidad de biodiésel, en función del diésel usado para su causa. El diésel como el 90% en composición del biocombustible. Los valores representados están realizados a diferentes regímenes de giro; es decir que para el análisis con Biodiésel Q B10 (Biodiésel elaborado con diésel premium desde la ciudad de Quito) a un régimen de giro de 600 rpm se obtuvo 0,063 % Vol. CO, para el mismo régimen de giro con Biodiésel IB B10 (Biodiésel elaborado con diésel premium local de la ciudad de Ibarra), se obtuvo 0,075 % Vol. CO, por lo cual existe una diferencia de acrecentamiento de 19,04 % del valor total de CO utilizando un compuesto B10 con diferente calidad de diésel abastecido en las diferentes ciudades. De manera similar se analiza para un régimen de giro a 1000 rpm con Biodiésel Q B10 obteniendo 0,067 % Vol. CO, para el mismo régimen de giro con Biodiésel IB B10 se obtiene 0,064 % Vol. CO, adoptando una diferencia porcentual de 4,47 % Vol.CO del valor total de CO. De modo que para un régimen de 1500 rpm se obtuvo 0,093 % Vol. CO con Biodiésel Q B10, e igualmente para el mismo régimen se obtuvo 0,081 % Vol. CO con Biodiésel IB B10, manteniendo una diferencia de 12,90 % del volumen total de CO. Finalmente a 2500 rpm está presidido por 0,100 % Vol. CO, así como también para el mismo régimen se obtiene 0,088 % Vol. CO, con una diferencia de 12% en volumen total de CO, llegando así a una conclusión. De modo que la diferencia entre estos parámetros no supera el

20 % Vol. CO, de modo que el uso de biodiésel tiene algunas ventajas dependiendo de la calidad de productos utilizados dentro del mercado laboral.

3.6.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

Para el análisis del dióxido de carbono CO_2 se tomaron todos los valores de las tres fases de pruebas realizadas con anterioridad, obteniendo datos promedio a diferentes regímenes de giro con Biodiésel Q B10 y Biodiésel IB B10. A continuación, se presentan los valores obtenidos de dióxido de carbono con los diferentes Biocombustibles en comparación y a diferente estado de régimen.

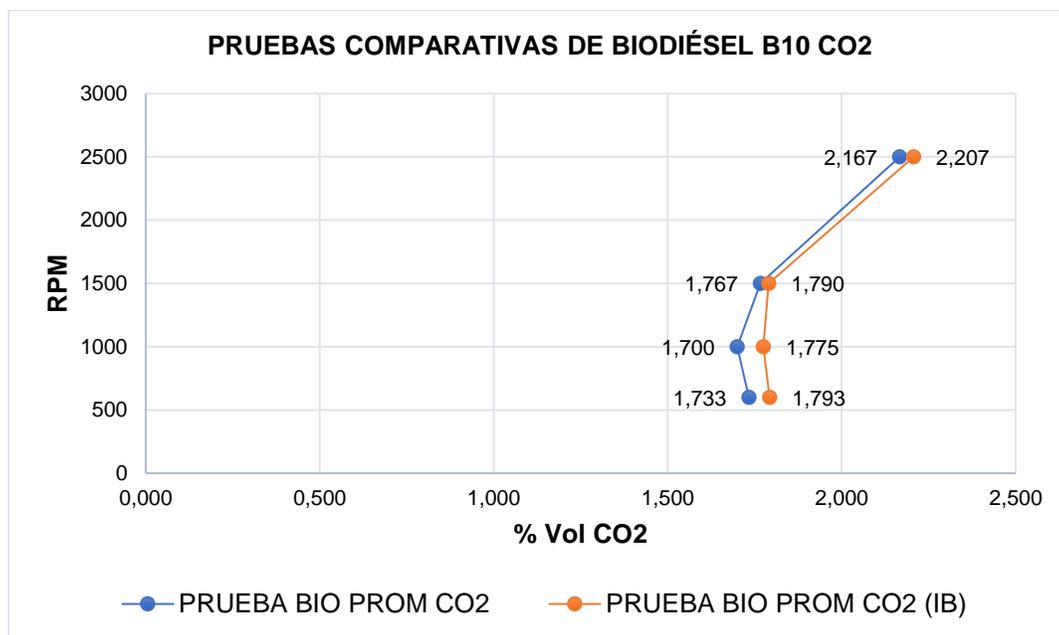


Figura 3. 14 Comparativa en emisiones de CO_2 con diferente biodiésel B10

La Figura 3.14 indica los datos obtenidos de dióxido de carbono (CO_2) utilizando dos diferentes tipos de Biodiésel B10 a diferente régimen de giro. Ahora se analiza la gráfica patente, y sobre la cual se evidencia dos curvas representativas del diésel. Los tipos de biocombustibles ya se han detallado con anterioridad, por lo tanto, a un giro de 600 rpm se

obtuvo 1,733 % Vol. CO₂, mientras que al régimen de giro se obtuvo 1,793 % Vol. CO₂, obteniendo una diferencia mínima de 3,46 % en volumen total de CO₂. Mientras que a 1000 rpm se obtuvo 1,700 % Vol. CO₂, y con el mismo régimen de giro para el Biodiésel IB B10 se obtuvieron valores de 1,775 % Vol. CO₂, manteniendo una diferencia de 4,41 % del total analizado. Para un régimen de giro a 1500 rpm se tuvo 1,767 % Vol. CO₂, así como para el régimen similar de giro se obtuvo 1,790 % Vol. CO₂, con una diferencia de 1,30 % del total analizado. Finalmente, a un régimen de 2500 rpm con biodiésel Q B10 se tuvo parámetros de 2.167 % Vol. CO₂, así como para el mismo régimen de giro con biodiésel IB B10, marcando una restringida diferencia de valores 2,207 % del volumen total del análisis. Por lo tanto, se manifiesta dentro de este apartado el CO₂, con una diferencia de 1,84 % Vol. CO₂. La cual no supera una magnitud porcentual igual al 5% del volumen total. Según los datos obtenidos el biodiésel IB B10, mantienen rangos casi similares a diferentes regímenes de giro, a mayores porcentajes de CO₂, usado como un indicador guía de un proceso de combustión interna.

3.6.3 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O₂) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE

Para el análisis del oxígeno (O₂) se tomaron todos los valores promedio de entre las tres fases con biodiésel B10 a diferente calidad de diésel premium.

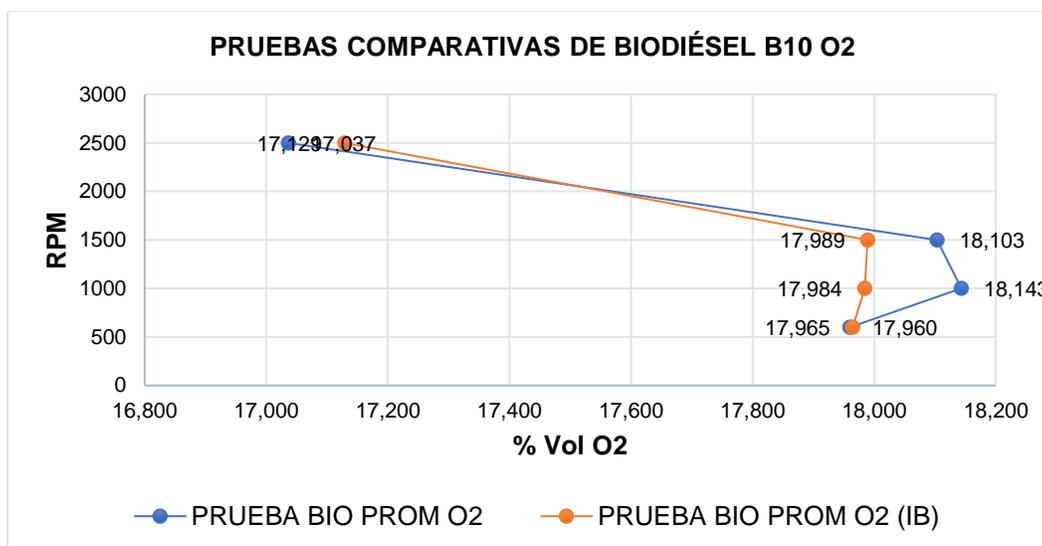


Figura 3. 15 Comparativa en emisiones de O₂ con diferente biodiésel B10

La Figura 3.15 se representa el porcentaje de concentración del oxígeno en la emisión de gases contaminantes de acuerdo con los resultados promedios a diferentes cargas del motor, con uso de Biodiésel Q B10 y Biodiésel IB B10, elaborados con diferente calidad de diésel. Los valores obtenidos a un régimen de 600 rpm con Biodiésel Q B10 es de 17,96 % Vol. O₂ y para el mismo régimen de giro se obtuvo un valor de 17,96 % Vol. O₂, para lo cual no existe mayor diferencia, los dos biocombustibles presentan similar valor inicial a ralentí, sin embargo, los valores difieren relativamente en función de las rpm del motor, para un régimen de 1000 rpm se obtuvo 18,14 % O₂, con el primer biocombustible analizado, seguidamente al mismo régimen de giro se estimó un valor de 17,98 % Vol. O₂, con una diferencia del 0,88% Vol. O₂, mientras se eleva el régimen de giro a 1500 rpm se obtiene un valor de 18,10 % Vol. O₂, y para el mismo régimen de giro con Biodiésel IB B10 se obtuvo un parámetro de 17,99 % Vol. O₂, con una diferencia de 0,61 % Vol. O₂, finalmente se analizó a 2500 rpm obteniendo un valor promedio de 17,03 % Vol. O₂, para un mismo régimen de giro con Biodiésel IB B10, se obtuvo un valor promedio de 17,13 % Vol. O₂, prevaleciendo una diferencia 0,58 % Vol. O₂, lo cual significa que no existe una gran diferencia en cuanto al análisis de los disímiles biocombustibles con diferente calidad de diésel en su elaboración.

3.6.4 ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS POR MILLÓN DE ÓXIDO DE NITRÓGENO ($PPM - NO_x$) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE

Los datos obtenidos de partículas por millos de óxido de nitrógeno se presentan en la siguiente tabla, en los mismos horarios y altitud establecidos a diferentes regímenes de giro del banco motor.

La diferencia en este punto de emisiones en comparación con las anteriores radica especialmente en la emisión de óxido de nitrógeno, sin descartar las anteriormente analizadas como el oxígeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Independientemente en motores diésel existe una gran diferencia en cuanto al ciclo de combustión, por lo tanto, en estos motores se maneja relaciones de compresión lo suficientemente elevadas, produciendo así mayores concentraciones de temperatura, sobrepasando los 550°C. Lo fuente de oxígeno que utilizan los motores es el aire, de donde el 78% de su compuesto está formado por nitrógeno, 21 % oxígeno y tan solo el 1% contienen gases diferentes. Esto permite una formación de óxidos de nitrógeno juntamente con las elevadas temperaturas a la cual está sometido el motor, a pesar de que el gas nitrógeno es lo suficientemente inerte. La emisión libre es altamente contaminante, esto provoca problemas respiratorios en las personas, sí las concentraciones son muy elevadas. Sin embargo, existe un favoritismo por parte de los motores diésel sobre la emisión de óxidos de nitrógeno por medio de un sistema adicional, la sobrealimentación, aumentando más aire de lo necesario dentro de la cámara del motor, con el fin de disminuir al máximo la emisión de partículas solidas

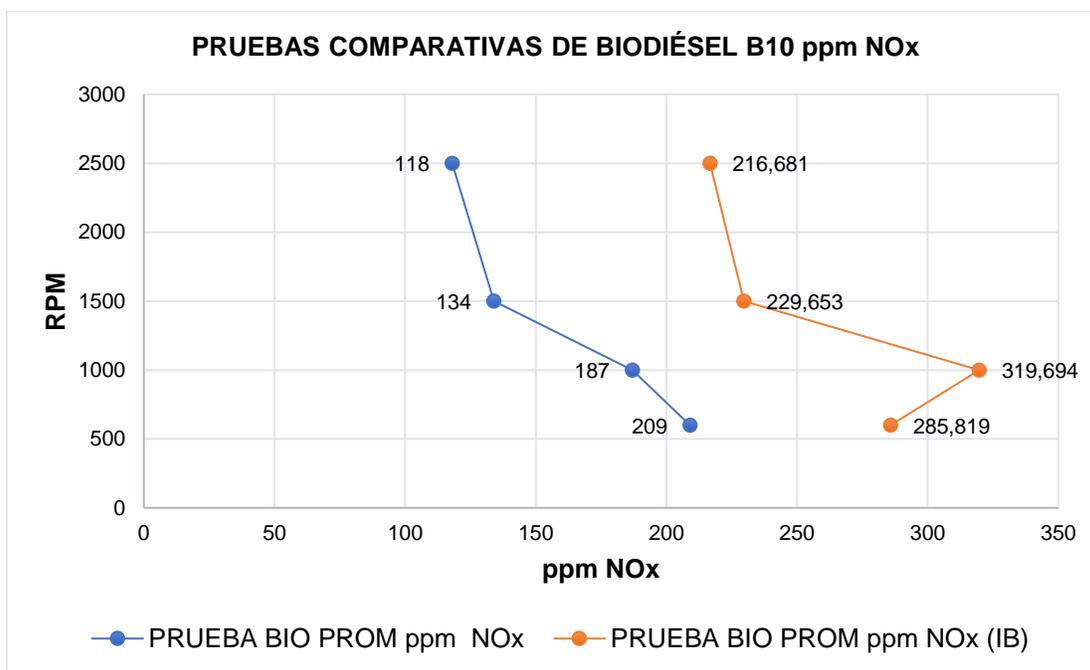


Figura 3. 16 Comparativa en emisiones de ppm NO_x con diferente biodiésel B10

La Figura 3.16 muestra una controversia en emisiones de óxido de nitrógeno con los diferentes biocombustibles elaborados con diésel de distinta calidad, analizados a diferentes regímenes de funcionamiento del motor, los mejores resultados se obtuvieron con el Biodiésel Q B10 elaborado con diésel desde la ciudad de Quito, mientras que los resultados que indica la curva de la derecha son parámetros de funcionamiento con Biodiésel IB B10, elaborado con diésel premium local de la ciudad de Ibarra. Lo cual es posible evidenciar la diferencia existente entre los combustibles antes mencionados.

Para el primer análisis con el uso de Biodiésel Q B10 se tuvo un valor promedio de 209 ppm NO_x y al mismo régimen de giro usando Biodiésel IB B10 se tuvo un valor de 285,82 ppm NO_x, a un régimen de 600 rpm, existiendo una disminución del 36,75% del nivel total de ppm NO_x, lo cual resulta un incremento bastante significativo. Para los regímenes de 1000 rpm tanto, para Biodiésel Q B10, así como para Biodiésel IB B10, se tuvo valores de 187 ppm NO_x y 319,69 ppm NO_x respectivamente, presentando un acrecentamiento de 70,95 % del nivel total de ppm NO_x, representando un punto crítico a un régimen inicial de funcionamiento. Para un régimen de 1500 rpm se tuvo un valor igual a 134 ppm NO_x y para el mismo régimen de giro utilizando Biodiésel IB B10 se tuvo un valor de 229,65 ppm NO_x,

al final se tiene un incremento del 71,38 % del nivel total de ppm NO_x . Finalmente, con un régimen preestablecido a 2500 rpm, tanto para Biodiésel Q B10 y Biodiésel IB B10, se tuvo los valores igual a 118 ppm NO_x y 216,68 ppm NO_x , resultando un incremento del 83,62 % del nivel total de ppm NO_x . El total del incremento es establece en un 62,33% de total de emisiones de ppm NO_x ., usando Biodiésel IB B10 elaborado con el 90% de diésel premium local de la ciudad de Ibarra, lo cual determina que el uso de un combustible fósil para la elaboración de un biocombustible incide de sobremanera en la calidad de este.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo con el proceso de elaboración del biodiésel a partir de aceite reciclado de cocina mediante un proceso de baño ultrasónico, el rendimiento de producción es reflejado en función del tiempo necesario para la obtención, es así que se llega a disminuir en un 25% en relación con el proceso clásico de transesterificación, así como los reactivos utilizados, determinando que una buena calidad de biodiésel se obtiene con Hidróxido de Sodio (NaOH) del tipo lentejas ($40g/mol$) como catalizador, en particular para esta materia prima, mejorando la refinación y acides del producto.
- Se consiguió una disminución del tiempo en el proceso de transesterificación mediante baño ultrasónico de 45 minutos a 45 kHz constantes, en relación con el proceso clásico, así como también se mejoró la reacción fisicoquímica, producto de las frecuencias ultrasónicas, así como una estabilidad térmica gracias al fenómeno de cavitación provocado dentro de la reacción, sin embargo, se mantuvo una agitación constante de 600 a 700 rpm, el tiempo estimado de producción fue de 19 horas con 15 minutos, una vez ha finalizado todos los procesos a obtener B100.
- Para métodos de investigación académica se encontró que, la elaboración del biodiésel a partir de aceite reciclado de cocina muestra mejor rendimiento en obtención de glicerol con el uso de (NaOH) del tipo lentejas, depositándose de forma más sólida, a diferencia del hidróxido de sodio tipo perlado en su composición más pura, demostrando así la relevancia que existe en el uso de reactivos en función del tipo de materia prima y su aplicación, debido a que cada catalizador tiene propiedades químicas.

- De acuerdo con los datos obtenidos en la caracterización fisicoquímica del biodiésel B10, presentan parámetros muy significativos en cuanto a densidad obtenida a 15°C es de $0,852,1 \text{ kg/m}^3$, se encuentra próximo al límite establecido por la NTE INEN 2 482:2009, siendo de 860 kg/m^3 , sin embargo, no cumple su estándar de calidad.
- Los datos del análisis de biodiésel B10 sobre el índice de cetano calculado son de 51 CE, lo que corresponde al cumplimiento requerido por la NTE INEN, ASTM y Norma EN, así también se corrobora una disminución del 98,5% azufre en comparación con los parámetros del diésel premium en Ecuador.
- Los índices obtenidos de gases contaminantes con el uso de diésel premium son mayores en comparación con los alcanzados en biodiésel B10 a partir de aceite reciclado de cocina siendo relativamente bajos considerando diferentes rpm, para ralentí se obtuvo una diferencia de 16,51% en disminución, con el uso de biodiésel, estableciendo como máxima carga 2500 rpm se llegó a una disminución de 9,46% respectivamente con B10.
- Mediante la realización de pruebas estáticas, se logró una reducción considerable del monóxido de carbono CO, para ralentí se obtuvo 52,63% en disminución, así como también en altos regímenes de giro del motor, obteniendo para 2500 rpm. un promedio de 0,100 % Vol. CO con el uso de biodiésel B10 y para el mismo régimen de giro con diésel premium 0,163 % Vol. CO, logrando una disminución del 38,65% Vol. CO, en volumen total de CO.
- El uso de biodiésel a partir de aceite reciclado de cocina ayuda de manera prominente en el estado de combustión del motor Mitsubishi 4D31T-1995, contribuyendo a la colaboración de los parámetros de contaminación ambiental, cabe señalar que los parámetros de gases medidos son expulsados directamente sin tener un proceso de oxidación y reducción catalítica.

4.2 RECOMENDACIONES

- Mediante los resultados obtenidos de acuerdo con los procesos que se han llevado a cabo en la producción de biodiésel a partir de aceites reciclados de cocina, mediante un proceso de baño ultrasónico, se recomienda el diseño y aplicación de un equipo ultrasónico de mayores dimensiones, mejorando el volumen de rendimiento en función de un sistema de control electrónico.
- Realizar pruebas en la producción de biocombustibles a diferentes frecuencias y determinar el rendimiento obtenido, considerando el uso de diferentes catalizadores.
- Es preciso desarrollar diversos estudios de investigación de los diferentes reactivos en relación con las diferentes materias primas utilizadas en la obtención de biodiésel, considerando que no todas son de fuentes directas para su uso específico, ya que se logra variar el volumen y calidad de producción.
- Se recomienda el almacenamiento del biodiésel en frascos de vidrio color ámbar, o a su vez en envases plásticos de características PET-2, por tener mayor resistencia a un porcentaje de acidez que mantiene el producto, evitando una posterior contaminación de este.
- Realizar estudios sobre otros tipos de materias primas categorizadas como residuos, dándoles una segunda oportunidad de transformación en una fuente energética, así como el aprovechamiento en mayor porcentaje del aceite reciclado de cocina.
- Es de gran beneficio realizar investigaciones sobre el comportamiento de sus propiedades fisicoquímicas del biodiésel en estado puro B100, luego de permanecer en confinamiento por un periodo de 6 meses en las mejores condiciones posibles, para determinar si existe o no un deterioro progresivo de sus propiedades.

Referencias Bibliográficas

1. Ambiente, M. d. (14 de Junio de 2013). *Programa Calidad del Aire Fase III*. Recuperado el 2019, de Programa Calidad del Aire Fase III: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-calidad-del-aire-fase-iii/>
2. ARC. (17 de Diciembre de 2018). *Over ons*. Obtenido de Over ons: <https://www.arc.ec/2186/2/sobre-nosotros>
3. ASTM. (2014). *ASTM Internacional* . Obtenido de <https://www.astm.org/>
4. Australian Government. (2003). *Biodiesel fuel quality standard*. Department of the Environment and Energy.
5. AutoSoporte. (21 de Mayo de 2014). *Centro de soporte automotriz*. Obtenido de Centro de soporte automotriz: <https://www.autosoporte.com/blog-automotriz/item/343-limpieza-inyector-automotriz-equipos-de-ultrasonido>
6. Ávila Orozco, F. D. (2015). Biodiésel: Estudios Analíticos y Desarrollo de Métodos de Análisis para el control de calidad. *Tesis de Doctor en Química*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
7. Ávila Orozco, F. D. (2015). Estudios Analíticos y Desarrollo de Métodos de Análisis para el Control de Calidad. *Tesis Doctoral*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
8. BiodiSol. (02 de Junio de 2018). *Energías alternativas, energías renovables, energías limpias, bioenergías*. Obtenido de Energías alternativas, energías renovables, energías limpias, bioenergías: <http://www.biodisol.com/>
9. Cabello, C., Rincón, S., & Zepeda, A. (2017). Types of heterogeneous catalysts used for biodiesel production. *AFINIDAD IQS*, 74, 51-52. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756/411247>
10. Campos, C., Delgado, H. A., Esquivel, J. D., Samamé, J. L., & Sirlupú, J. D. (2017). Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiésel a partir de aceite

residual recolectado de la industria chiflera de Piurana. *Producción de biodiésel a partir de aceite residual*. Universidad de Piura, Piura, Piura, Perú.

11. Caparo, J. (2014). *Metanol*. Chicago.
12. Cuesta Ferrer, G. (2004). *Camiones y Vehículos Pesados, Reparación y mantenimiento*. Ibarra: CLTURAL, S.A. Polígono Industrial Arroyomolinos. Recuperado el Lunes de Febrero de 2019
13. Dufey, A., & Stange, D. (2011). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)* . Obtenido de Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles en 2010: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3906/LCW412_es.pdf?sequence=1
14. Echeverría, J. C. (2018). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS;BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA B10. *Tesis de Pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8042>
15. El Comercio. (18 de Marzo de 2018). Combustibles. *Calidad del Diésel, pero la norma todavía es permisible en Quito*, pág. A1.
16. Fonseca, J. M., Teleken, J. G., Almeida, V., & Camila da Silva. (15 de Marzo de 2019). Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. *ELSEVIER*, 184, 205-218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.061>
17. García , M., Gandón , J., & Maqueira, Y. (Mayo de 2013). Study for the Obtention of Biodiesel From Used Edible Oil. *SciELO*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005
18. Gómez Moreno, A. S., & Oscullo Castillo, E. D. (2017). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5. *Aplicaciones de Biodiésel*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

19. Goñi Delión, J. C., & Rojas Delgado, M. (2014). Combustibles alternativos en motores de combustión interna. 199 - 229.
20. Grupo Editorial CEAC. (2003). *Manual CEAC del Automovil*. Barcelona: Ceac, S.A. Recuperado el Febrero de 2019
21. Iman AF, H., Ma'an Fahmi, A., Mohamed Saedi, J., Mohamed ES , M., Zaki Bin , Z., & Asif , H. (2014). Problems, Control, and Treatment of Fat, Oil, and Grease (FOG): A Review. *Journal of Oleo Science*, 63(8), 747-752. doi:<https://doi.org/10.5650/jos.ess13182>
22. Imbaquingo, J., & Flores, F. (2015). Determinación de parámetros óptimos para la producción de biodiesel (B100) a partir del aceite vegetal usado en fritura. *Tesis de Pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado el Diciembre de 2018
23. INEN. (2009). *NORMAS INEN DE BIODIESEL 2482*. Quito.
24. INEN. (2013). *Enmienda*. Quito.
25. INESEM. (01 de Febrero de 2017). *Revistadigital INESEM*. Recuperado el 13 de Marzo de 2019, de Revistadigital INESEM: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/biocarburantes/>
26. La Hora. (09 de diciembre de 2017). Problema Ambiental. *En Imbabura Emprenden campaña para reutilizar el aceite usado de cocina*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
27. LABDIN Instruments. (11 de 03 de 2019). Metanol. *Metanol Especificaciones*. Quito, Pichincha, Ecuador.
28. Lema Parra, E. F. (2019). COMPROBACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ELECTRÓNICO CICLO OTTO USANDO BIOETANOL CON MEZCLAS E5. *COMPROBACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ELECTRÓNICO CICLO OTTO USANDO BIOETANOL CON MEZCLAS E5*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

29. LLC, T. (2017). *Biocombustibles*. Obtenido de Biocombustibles: <https://quimica-biologia-12-13.wikispaces.com/Biocombustibles>
30. MINISTERIO DEL AMBIENTE. (10 de Enero de 2018). Ministerio del Ambiente otorga Licencia Ambiental a UNACEM. Otavalo, Imbabura, Ecuador. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-otorga-licencia-ambiental-a-unacem/>
31. Mohd Hafisil, M. Y., Rizalman , M., Obed Majeed, A., Ahmad Fitri, Y., Mohd Adnin, H., Muhammad Yusri, I., & Muhammad, R. (Marzo de 2017). Study of diesel-biodiesel fuel properties and wavelet analysis on cyclic variations in a diesel engine. *ELSEVIER*, 498 - 503. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.175>
32. Mohd Hafisil, M. Y., Rizalman, M., Obed Majeed, A., Ahmad Fitri, Y., Mohd Adnin, H., Muhammad Yusri, I., & Muhammad, R. (Marzo de 2017). Study of diesel-biodiesel fuel properties and wavelet analysis on cyclic variations in a diesel engine. *ELSEVIER*, 498 - 503. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.175>
33. Morales, W., Zurko, V., Sequeira, A., & Chamorro, E. (2015). Evaluacion de variables para la producción de de metil ésteres a partir de semillas de algodón asistido por ultra sonido. *EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA*, 120-121. Obtenido de <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/3037/2704>
34. Normas EN 14214. (2003). *La Famosa Normativa de calidad del Biodiésel UNE EN 14214*. Obtenido de <http://blogbiodiesel.blogspot.com/2007/08/la-famosa-normativa-de-calidad-del.html>
35. NTE INEN . (2009). *Requisitos del Biodiésel en Ecuador*. Quito. Obtenido de <https://ia801901.us.archive.org/17/items/ec.nte.2482.2009/ec.nte.2482.2009.pdf>
36. NTE INEN 2207. (2009). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE UTILIZAN DIESEL*. Servicio

- Ecuatoriano de Normalización. Quito: S/N. Obtenido de <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2207.pdf>
37. Olarte C., W., & Botero A., M. (27 de abril de 2011). Detection of ultrasound: a technique used in the predictive maintenance. *Redalyc*, 230-233. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/849/84921327035.pdf>
 38. Ortiz Mateo, M. (2011). *Reducción de las emisiones de CO2 en vehículos de Transporte*. Madrid.
 39. Parra, T., Marín, F., Jácome, G., & Sinche, M. (2018). Clarification of used cooking oil and discoloration of red palm oil with the use of ozone, activated carbon and hydrogen peroxid. *SciELO Analytics*, 9(2), 77 - 88. doi:<http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.192>
 40. Peiró Lluca, P. (2014). Modelado CFD del proceso de combustión en un motor diésel de pequeña cilindrada. *Tesis de Pregrado*. Universidad Politécnica de Valencia, Madrid. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53678/TFG_CFD_1436256958297431374587787462666.pdf?sequence=3
 41. Pinilla Torres, L. (2014). Análisis de tendencias en biocombustibles para a definición de líneas estratégicas de investigación y desarrollo en Colombia. *Trabajo de Grado para optar por el Título de M.Sc en Gestión Ambiental*. Pontificie Universidad Javeriana de Bogotá, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12386/PinillaTorresLiliana2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 42. PNCA. (2013). *Plan Nacional de la Calidad del Aire*. Ministerio del Ambiente. Quito: S/N.
 43. Rauch, R., Kiennemann, A., & Sauciuc, A. (2013). Fischer - Tropsh Synthesis to Biofuels (BtL Process). *Elsevier*, 399-400. doi:10.1016/b978-0-444-56330-9.00012-7

44. Salinas Callejas , E., & Gasca Quezada, V. (2009). Los Biocombustibles. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 78 - 82. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>
45. Sánchez Cano, J. E. (16 de 07 de 2015). *Gobernanza Para el Cambio de la Matriz Productiva y Energética del Ecuador*. Quito: S/N.
46. Sánchez Hernández, Á. (2010). Nuevo reglamento Euro V y Euro VI. *CESVIMAP72*, 51. Obtenido de <http://www.appcesvimap.com/revista/revista72/pdfs/Electromecanica.pdf>
47. Santos De La Cruz, E., Cancino Vera, N., Yenque Dedios, J., Palomino Pérez, M., & Ramíres Morales, D. (enero de 2005). El Ultrasonido y su Aplicación. *Redalyc*, 8(1), 25-28. Recuperado el 08 de mayo de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/816/81680105.pdf>
48. SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Toda una Vida*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Quito: SENPLADES.
49. Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (Abril de 2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas* , 44-45. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1592/1252>
50. UNESCO . (2017). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*. Recuperado el 13 de Marzo de 2019, de Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP): <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-22-water-biofuels/>
51. Vargas, A., Amescua Guerra, L., Bernal, A., & Pineda , C. (2008). Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema muscoesquelético y artefactos

ecográficos. *Medigraphic Artemisa en línea*, 361-362. Recuperado el Abril de 2019, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2008/or086e.pdf>

ANEXOS

ANEXO I

REQUISITOS DE DIÉSEL PREMIUM EN ECUADOR NTE INEN

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de Agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.015	NTE INEN 1491
Contenido de ceniza	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8°C	est	2.5	6.0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	-	0.5	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lamina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de Cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	NOTA	5	EN 14078
NOTA: De no contener biodiésel no es necesario la realizacion de este ensayo.				

Figura A.I. 1 Requisitos del Diésel Premium en Ecuador NTE INEN

Fuente: (INEN, 2013, pág. 15)

REQUISITOS DE BIODIÉSEL EN ECUADOR NTE INEN 2 482:2009

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15° C	kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar ¹		
Φ _{Agua y sedimento}	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40° C	mm ² /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W _{Carbón Residual} ²	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W _{Glicerina libre}	%	--	0,02	ASTM D 6584
W _{Glicerina total}	%	--	0,25	ASTM D 6584
W _{Contenido de ésteres}	%	96,5	--	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W _{Contenido de metanol}	%	--	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/kg	--	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664

¹ El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diesel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla

² Debe ser determinado en el 100% de la muestra

Figura A.I. 2 Requisitos Biodiésel B100 NTE INEN 2 482:2009

Fuente: (NTE INEN , 2009, pág. 2)

REQUISITOS DE BIODIÉSEL NORMA EN 14214

ENSAYO	UNIDADES	LÍMITES		NORMA DE ENSAYO
		Mínimo	Máximo	
Contenido en ester	% (m/m)	96,5		prEN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120		ISO 3679
Contenido en azufre	mg/kg		10,0	prEN20846
Residuo carbonoso	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Número de Cetano		51,0		EN ISO 5165
Contenido en cenizas de sulfatos	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg		500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg		24	EN 12662
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la Oxidación	horas	6,0		prEN 14112
Valor ácido	mg KOH/g muestra		0,50	prEN 14104
Índice de yodo	g I/100g muestra		120	prEN 14111
Metiléster linolenico	% (m/m)		12,0	prEN 14103
Metiléster poliinsaturados	% (m/m)		1	
Contenido en metanol	% (m/m)		0,20	prEN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)		0,80	prEN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Glicerina libre	% (m/m)		0,02	prEN 14105
Glicerina total	% (m/m)		0,25	prEN 14105
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg		5,0	prEN 14108/14109
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido en fósforo	mg/kg		10,0	prEN 14107
POFF	°C		Según época y país	EN 116

Figura A.I. 3 Requisitos de Biodiésel Norma EN 14214

Fuente: (Normas EN 14214, 2003, pág. 1)

REQUISITOS DEL BIODIÉSEL NORMA ASTM

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	93	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar		
Agua y Sedimento	%	---	0.05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /S	3.5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0.02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/ kg	---	15	ASTM D 1552
W Carbón Residual	%	---	0.05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W Glicerina libre	%	--	0.02	ASTM D 6584
W Glicerina Total	%	--	0.25	ASTM D 6584
W Contenido de esteres	%	96.5	--	EN 14103
Índice de yodo	G yodo/100g	---	120	EN 14111
W Contenido de metanol	%	--	0.20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + mg)	mg/kg	--	5	pr EN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0.5	ASTM D 664

Figura A.I. 4 Requisitos del Biodiésel Norma ASTM

Fuente: (ASTM, 2014, pág. 243)

ANEXO 2**PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL****DETERMINACIÓN APROXIMADA DEL PORO DE LA TELA TAMIZ**

Figura A.II. 1 Uso de microscopio para determinar un aproximado del tamaño de poro de la tela tamiz

Intervención y manipulación del equipo *Dra. Navarrete Zulema*

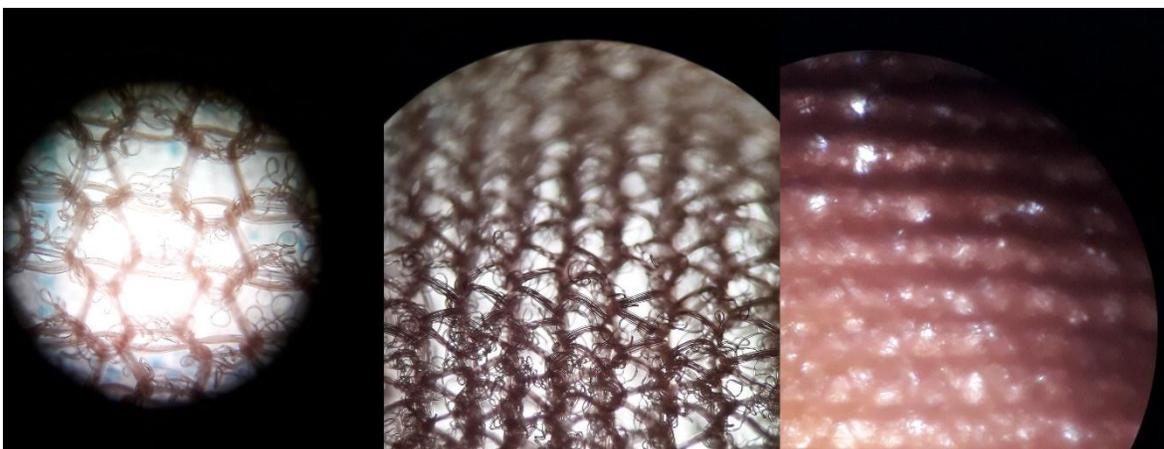


Figura A.II. 2 Observación del tamiz a 1 capa, 3 capas y 4 capas respectivamente a un aumento de lente de 4x/0.10

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

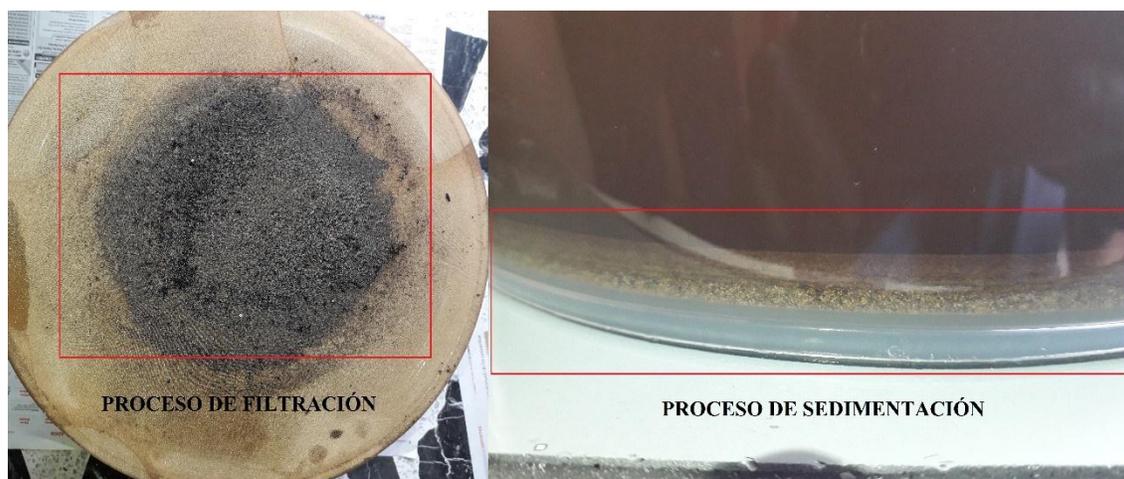


Figura A.II. 3 Procesos de filtrado y sedimentación



Figura A.II. 4 Proceso evaporación de agua del aceite reciclado entre 90°C a 100°C

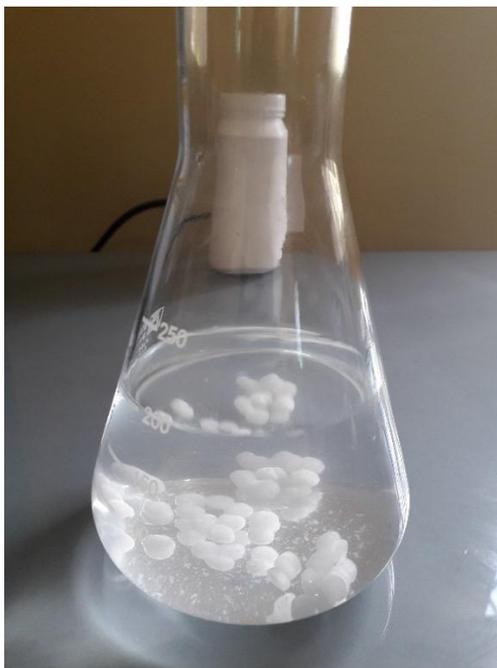
PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

Figura A.II. 5 Concentración de metóxido sódico (200ml Metanol + 5g de NaOH)



Figura A.II. 6 Miscelánea de metóxido sódico con aceite reciclado de cocina

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL



Figura A.II. 7 Aplicación de frecuencia ultrasónica a 45 kHz constante



Figura A.II. 8 Proceso de decantación de glicerina

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL



Figura A.II. 9 Primer proceso de lavado con agua a 65°C



Figura A.II. 10 Segundo proceso de lavado con agua a 65°C



Figura A.II. 11 Tercer proceso de lavado con agua a 65°C

INFORME DE RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS DE BIODIÉSEL B10



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 19-05-12-P-1
 Fecha 2019-06-13

Referencia: OT-19-05-12-P
Empresa: PARTICULAR
Atención: Sr. Edison Angamarca
Dirección: Ibarra – San Francisco del Tejar
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: BIODIESEL B10
Identificación de la muestra: BIODIESEL MEZCLA B10 - MATERIA PRIMA: ACEITE RECICLADO DE COCINA – TRANSESTERIFICACIÓN POR EFECTO ULTRASÓNICO
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra: 2019-05-30
Código de la muestra: OE-19-05-12-P-1
Fecha de realización de ensayos: 2019-06-04 a 2019-06-12

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
Densidad a 15 °C*	g/ml	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	0,8521	-
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	75,6	-
Sedimento básico y agua (%BSW)*	%V	ASTM D-1796	0,01	-
Agua por destilación*	%V	ASTM D-95	<0,05	-
Cenizas sulfatadas*	%P	ASTM D-874	0,05	-
Viscosidad cinemática a 40 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	3,72	-
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/MIO4 Ref. ASTM D-4294	0,0075	-
Carbón Conradson (Residuo Carbonoso)*	%P	PNE/DPEC/P/ASTM D-189	0,033	-
Corrosión a la lámina de Cu*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1a	-
Índice de cetano calculado*	-	REF. ASTM D-287	51	-
Temperatura de destilación al 90 % recuperado*	°C	ASTM D-86	352,9	-
Sodio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111 B	1,097	-
Potasio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	0,492	-
Calcio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	0,795	-
Magnesio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	1,097	-

Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales.- Presión 545,3 mm Hg; Temperatura: 18,3 °CG

AN: ABO/DRA/JUS/JVB
 Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Ferianda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

* Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-7

Hoja 1 de 1

Figura A.II. 12 Resultados Fisicoquímicos Biodiésel B10 de ARC

ANEXO III
PRUEBAS DE ANÁLISIS EN GASES CONTAMINANTES



Figura A.III. 1 Toma de datos a diferentes rpm



Figura A.III. 2 Verificación estado de rpm