

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE  
ENCENDIDO POR COMPRESIÓN MEDIANTE DIFERENTES  
PORCENTAJES DE DIÉSEL-BUTANOL PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE POTENCIA Y  
EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**

**AUTORES:**

STALIN FERNANDO AGUAYZA PILLCO  
JONNATHAN RODRIGO QUINTUÑA CÓRDOVA

**TUTOR:**

ING. JUAN FERNANDO CHICA SEGOVIA, MSc.

CUENCA - ECUADOR

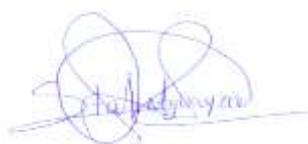
2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Stalin Fernando Aguayza Pillco con documento de identificación N° 0106433154 y Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdova con documento de identificación N° 0106639081, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN MEDIANTE DIFERENTES PORCENTAJES DE DIÉSEL-BUTANOL PARA LA DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE POTENCIA Y EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



---

Stalin Fernando Aguayza Pillco

C.I. 0106433154



---

Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdova

C.I. 0106639081

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN MEDIANTE DIFERENTES PORCENTAJES DE DIÉS EL-BUTANOL PARA LA DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE POTENCIA Y EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, realizado por Stalin Fernando Aguayza Pillco y Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdova, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



---

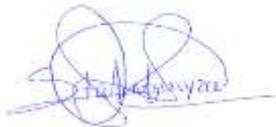
Ing. Juan Fernando Chica Segovia, MSc.

C.I. 0102220654

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Stalin Fernando Aguayza Pillco con documento de identificación N° 0106433154 y Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdoba con documento de identificación N° 0106639081, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN MEDIANTE DIFERENTES PORCENTAJES DE DIÉSEL-BUTANOL PARA LA DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE POTENCIA Y EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2020



---

Stalin Fernando Aguayza Pillco

C.I. 0106433154



---

Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdoba

C.I. 0106639081

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por estar presente en todas las etapas de mi vida brindándome el apoyo incondicional para convertirme en una mejor persona cada día, a mi familia por los consejos que hoy y siempre darán frutos, gracias a todos los instructores que han forjado mi camino académico aclarando cualquier tipo de duda.

Quiero agradecer a todos aquellos que han pasado por mi vida por cada detalle y momento dedicado ya que esas palabras quedaran impregnadas en mi mente y corazón. Gracias a todos.

*Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdova*

Agradezco a Dios y a mis padres que nunca me abandonaron, a mis hermanos que me tuvieron paciencia y estuvieron conmigo en cada momento de mi vida estudiantil y mis amigos que día adía me implusaron y me dieron esos animos para seguir adelante.

*Stalin Fernando Aguayza Pillco*

## **DEDICATORIAS**

Dedico esta tesis a mis padres por su sacrificio y esfuerzo al darme una carrera profesional para el resto de mi vida y creer en mí y en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles su amor, comprensión y cariño han sido la fuente de inspiración y motivación de superar las adversidades de la vida.

A mis amigos presentes y pasados que sin ningún motivo han compartido conocimiento, alegrías y tristezas llevando a que este sueño se cumpliera.

### **Jonnathan Rodrigo Quintuña Córdova**

Dedico este proyecto a mi madre que siempre estuvo conmigo y me apoyo en todo momento así que este logro también es de ella.

A mi padre que en toda mi vida estudiantil me corrigió de manera que sobresalga siempre, todas las hojas arrancadas valieron la pena.

A mis amigos que estuvieron conmigo en las buenas, en las malas y en las peores, a los seres que me cuidan desde el cielo y sobre todo dedico este trabajo a todos los niños que padecen la enfermedad de cáncer porque ellos son los que me dieron todos los ánimos del mundo para que culminara con esta etapa de mi vida.

### **Stalin Fernando Aguayza Pillco**

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	
AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XI
RESUMEN.....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIII
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	XIV
OBJETIVOS.....	XV
OBJETIVO GENERAL.....	XV
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	XV
FASE 1: ESTUDIO DE COMBUSTIBLES Y ADITIVOS PARA MOTORES A DIÉSEL Y PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	1
1 Motor diésel .....	1
1.1 Ciclo ideal del diésel.....	2
1.2 Sistema de alimentación .....	4
2 Combustibles aptos para motores diésel.....	4
2.1 Diésel Internacional .....	4
2.1.1 Gasóleo A .....	5
2.2.1 Gasóleo B.....	6
2.3.1 Gasóleo C.....	8
2.2 Diésel nacional.....	9
2.1.2 Diésel 1 .....	9
2.2.2 Diésel 2 .....	10
2.3.2 Diésel Premium.....	11
2.3 Biocombustibles.....	12
2.1.3 BIODIESEL B100 .....	13
2.2.3 Biodiesel B-5,20, 30 .....	13
2.3.3 Diésel Regular.....	13
2.4.3 Diésel de grado D .....	13
3 Aditivos para motores diésel.....	13
3.1 Aditivos sin alcohol .....	14
3.2 Aditivos con alcohol .....	15
4 Alcoholes como combustibles en motores diesel .....	16
4.1 Combustible a partir de etanol .....	16

4.1.1 Etanol en motores diésel.....	17
4.2 Metanol como combustible.....	19
4.2.1 Metanol en motores diésel.....	19
4.3 Butanol como combustible.....	21
4.3.1 Butanol en motores diésel.....	22
5 Estudio del Butanol y sus propiedades.....	23
5.1 Propiedades del Butanol.....	24
5.2 Mercado del Butanol.....	24
5.3 Efectos de su adición al diésel.....	25
5.4 Métodos de ensayo.....	27
FASE 2: PRUEBAS EXPERIMENTALES DE RENDIMIENTO Y EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN CON VARIABLES DE COMBUSTIBLE Y ADITIVOS.....	28
2.1 Caracterización y mantenimiento del vehículo de prueba.....	28
Metodología para el desarrollo del estudio.....	28
Puesta a punto del sistema de admision y escape.....	28
Mantenimiento del sistema de inyección.....	28
2.2. Protocolo de pruebas de porcentajes de mezclas diesel con n-butanol.....	28
2.3. Protocolo de pruebas banco dinamométrico MAHA LS3000.....	28
2.6 Prueba de las características físico-químicas de los diferentes porcentajes de diésel con n-butanol.....	28
2.6.1 Densidad de los combustibles.....	28
Propiedades del diésel.....	28
2.6.2 Densidad del diésel con 0% de n-butanol (B0).....	28
2.6.3 Densidad del diésel con 5% de n-butanol (B5).....	28
2.6.4 Densidad del diésel con 10% de n-butanol (B10).....	28
2.6.5 Densidad del diésel con 20% de n-butanol.....	28
2.7 Prueba del Punto de inflamación del diésel.....	28
2.7.1 Punto de inflamación diésel con 0% de n-butanol.....	28
2.8. Prueba del Punto de turbidez.....	28
FASE 3: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS.....	69
CONCLUSIONES.....	28
RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
APÉNDICES.....	28
APÉNDICE A: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	28

B0 EN RALENTÍ .....	28
B0 EN PLENA CARGA .....	28
B5 EN RALENTÍ .....	28
B5 EN PLENA CARGA .....	28
B10 EN RALENTÍ .....	28
B10 EN PLENA CARGA .....	28
B20 EN RALENTÍ .....	28
B20 EN PLENA CARGA .....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Motor de encendido por compresión. Fuente: (Granell, 2015) .....	2
Figura 2 Diagrama P-V del ciclo diésel. Fuente: (González A. , 2009) .....	3
Figura 3 Evolución del número de publicaciones por alcohol. Fuente: (Fernandez, 2015) .....	16
Figura 4 Bus Scania a etanol en San Pablo .....	18
Figura 5 Materia prima para la producción de Biobutanol .....	22
Figura 6 Isómeros del Butanol. Fuente: (Ferreruela, 2016) .....	23
Figura 7 Proceso de producción de biobutanol. Fuente: (ABENGOA, 2013).....	24
Figura 8 Uso del n-butanol en EEUU. Fuente: (Jimenez, 2019) .....	25
Figura 9 Comparación de porcentajes de mezclas con respecto al tiempo de ignición Fuente: (Alexis Cova, 2016) .....	26
Figura 10 Reducción de la Viscosidad al mezclar con Butanol. Fuente: (Rayda Patiño, 2016) .....	27
Figura 11 Metodología del estudio .....	29
Figura 12 Mantenimiento del sistema de admisión. Fuente: Autores .....	30
Figura 13 Cambio del filtro de aire. Fuente: Autores .....	30
Figura 14 Cambio de Aceite de motor. Fuente: Autores .....	31
Figura 15 Cambio del filtro de aceite de motor. Fuente: Autores.....	32
Figura 16 Desmontaje y limpieza del tanque de combustible. Fuente: Autores.....	32
Figura 17 Cambio de cañerías de combustible. Fuente: Autores.....	33
Figura 18 Cambio del filtro de combustible. Fuente: Diésel .....	33
Figura 19 Implementos de Seguridad del Laboratorio.....	34
Figura 20 Materiales para las mezclas. Fuente: Autores.....	34
Figura 21 Equipo de mezcla de sustancias. Fuente: Autores .....	35
Figura 22 Muestra de n-butanol en probeta. Fuente: Autores.....	35
Figura 23 Muestra de diésel premium en probeta. Fuente: Autores .....	36
Figura 24 Botón de encendido del equipo. Fuente: Autores .....	36
Figura 25 Introducción del diésel en el vaso de ensayo. Fuente: Autores .....	36
Figura 26 Magneto en correcta posición. Fuente: Autores .....	37
Figura 27 Introducción de n-butanol en el vaso de ensayo. Fuente: Autores .....	37

Figura 28 Mezcla de porcentajes de diésel con n-butanol. Fuente: Autores.....	37
Figura 29 Mezcla diésel con n-butanol de 1000 a 4000 rpm. Fuente: Autores. ....	37
Figura 30 Fin de la mezcla (0 rpm). Fuente: Autores. ....	38
Figura 31 Almacenado de mezclas B5, B10, B20. Fuente: Autores.....	38
Figura 32 Vehículo de prueba en el bando dinamométrico. Fuente. Autores.....	39
Figura 33 Correas de sujeción. Fuente: Autores.....	40
Figura 34 Encendido del Banco dinamométrico. Fuente: Autores. ....	41
Figura 35 Posicionamiento de las ruedas sobre los rodillos. Fuente: Autores.....	41
Figura 36 Sujecion del vehículo con los puntos de anclaje. Fuente: Autores.....	42
Figura 37 Posicionamiento del ventilador. Fuente Autores.....	42
Figura 38 Apertura del programa para la obtención de datos. Fuente: Autores. ....	43
Figura 39 Selección del tipo de prueba a realizar. Fuente: Autores. ....	43
Figura 40 Introducción de datos del motor. Fuente: Autores. ....	44
Figura 41 Sincronización del motor con el banco. Fuente: Autores.....	44
Figura 42 Trazado de curva de potencia. Fuente: Autores. ....	45
Figura 43 Trazado de curva de arrastre. Fuente: Autores. ....	45
Figura 44 Resultado de las curvas. Fuente: Autores.....	46
Figura 45 Conexión del analizador de gases al ordenador. Fuente: . ....	50
Figura 46 Componentes del analizador de gases E6000. Fuente: ....	51
Figura 47 Pantalla de inicio del programa de análisis de gases.....	52
Figura 48 Conexión del equipo al ordenador. Fuente: Autores. ....	53
Figura 49 Interfaz de inicio del análisis. Fuente: Autores. ....	53
Figura 50 Medición en tiempo real de gases de combustión. Fuente: Autores.....	54
Figura 51 Inicio de registro de datos. Fuente: Autores. ....	55
Figura 52 Descarga del informe generado. Fuente: Autores.....	55
Figura 53 Generación del informe en formato PDF. Fuente: Autores.....	56
Figura 54 Pantalla de inicio del programa Emission test. Fuente: Autores. ....	59
Figura 55 Interfaz del programa emission test. Fuente: Autores. ....	60
Figura 56 Prueba continua de opacidad. Fuente: Autores.....	60
Figura 57 Prueba grafica de opacidad. Fuente: Autores. ....	61
Figura 58 Balanza electrónica y picnómetro. Fuente: Autores .....	62
Figura 59 Masa del combustible B0. Fuente: Autores.....	63
Figura 60 Masa del combustible B5. Fuente: Autores.....	64
Figura 61 Masa del combustible B10. Fuente: Autores.....	65

Figura 62 Masa del combustible B20. Fuente Autores.....	66
Figura 63 Equipo contra incendios. Fuente: Autores.....	67
Figura 64 Principio de Cleveland. Fuente: Autores.....	68
Figura 65 Resultado del punto de turbidez de los combustibles. Fuente: Autores. ....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificación del producto Gasóleo A. Fuente: (CECSA, CECSA ES, 2019)	5
Tabla 2 Especificación del producto Gasóleo B. Fuente: (CECSA, CECSA ES, 2019)	7
Tabla 3 Especificación del producto Gasóleo C. Fuente: (CECSA, CECSA ES, 2019)	8
Tabla 4 Requisitos del Diésel N.1. Fuente (INEN, 2013)	10
Tabla 5 Requisitos del Diésel N.2. Fuente (INEN, 2013)	11
Tabla 6 Requisitos del Diésel Premium. Fuente (INEN, 2013)	12
Tabla 7 Características de los aditivos para motores diésel. Fuente: Autores.	14
Tabla 8 Propiedades de los combustibles. Fuente: Autores.	20
Tabla 9 Caracterización del vehículo de prueba. Fuente: Autores.	28
Tabla 10 Resultados obtenidos de mezclas de combustible. Fuente: Autores.	39
Tabla 11 Resultados de potencia diésel con 0% de n-butanol. Fuente: Autores.	47
Tabla 12 : Resultados de torque diésel con 0% de n- butanol. Fuente: Autores.	48
Tabla 13 Resultados de potencia diésel con 5% de n-butanol. Fuente: Autores.	48
Tabla 14 Resultados de torque diésel con 5% de n-butanol. Fuente: Autores.	49
Tabla 15 Resultados de potencia diésel con 10% de n-butanol. Fuente: Autores.	49
Tabla 16 : Resultados de torque diésel con 10% de n-butanol. Fuente: Autores.	49
Tabla 17 Resultados de potencia diésel con 20% de n-butanol. Fuente: Autores.	50
Tabla 18 Resultados de torque diésel con 20% de n-butanol. Fuente: Autores.	50
Tabla 19 Resultados de emisiones con B0 en ralentí. Fuente: Autores.	56
Tabla 20 Resultado de emisiones con B5 en ralentí. Fuente: Autores.	56
Tabla 21 Resultado de emisiones con B10 en ralentí. Fuente: Autores.	57
Tabla 22 Resultado de emisiones con B20 en ralentí. Fuente: Autores.	57
Tabla 23 Resultado general de las emisiones en ralentí con B0, B5, B10 y B20. Fuente: Autores.	57
Tabla 24 Resultado de emisiones con B0 en plena carga.	57
Tabla 25 Resultado de emisiones con B5 en plena carga. Fuente: Autores.	58
Tabla 26 Resultado de emisiones con B10 en plena carga. Fuente: Autores.	58
Tabla 27 Resultado de emisiones con B20 en plena carga. Fuente: Autores.	58

Tabla 28 Resultado general de las emisiones en plena carga con B0, B5, B10 y B20. Fuente:Autores. ....	59
Tabla 29 Resultados obtenidos de opacidad por mezcla. Fuente: Autores. ....	61
Tabla 30 Resultados de masa y volumen del picnómetro. Fuente Autores .....	63
Tabla 31 Masa y densidad del B0. Fuente: Autores.....	63
Tabla 32 Masa y densidad del combustible B5. Fuente Autores. ....	64
Tabla 33 Masa y densidad del combustible B10. Fuente: Autores. ....	65
Tabla 34 Masa y densidad del combustible B20. Fuente: Autores. ....	66
Tabla 35 Resultados del punto de inflamación de los combustibles. Fuente Autores. .....	68
Tabla 36 Resumen de opacidad en %. Fuente: Autores. ....	78

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Resultado pruebas de potencia. ....	70
Gráfica 2 Resultado pruebas de potencia con los combustibles B0, B5, B10, B20. Fuente: Autores. ....	70
Gráfica 3 Resultados de los porcentajes de gases a ralenti. Fuente: Autores. ....	71
Gráfica 4 Resultado de O2 emitido en ralenti. Fuente: Autores. ....	71
Gráfica 5 Resultado de CO emitido en ralenti. Fuente: Autores. ....	72
Gráfica 6 Resultado e CO2 emitido en ralenti. Fuente: Autores. ....	72
Gráfica 7 Resultado de NO emitido en ralenti. Fuente: Autores. ....	73
Gráfica 8 Resultado de NO2 emitido en ralenti. Fuente: Autores. ....	73
Gráfica 9 Resultado de NOx emitido en ralenti. Fuente Autores. ....	74
Gráfica 10 Resultado de gases emitidos en plena carga con los combustibles B0, B5, B10 y B20. Fuente: Autores.....	75
Gráfica 11 Resultado de O2 emitido en plena carga. Fuente: Autores.....	75
Gráfica 12 Resultado de CO emitido en plena carga. Fuente: Autores. ....	76
Gráfica 13 Resultado de CO2 emitido en plena carga. Fuente Autores. ....	76
Gráfica 14 Resultado de NO emitido en plena carga. Fuente: Autores. ....	77
Gráfica 15 Resultado de NO2 emitido en plena carga. Fuente: Autores. ....	77
Gráfica 16 Resultado de NOx emitido en plena carga. Fuente: Autores. ....	78
Gráfica 17 Variación del porcentaje de opacidad. Fuente: Autores. ....	79

## RESUMEN

El actual proyecto describe el trabajo de un motor diésel mediante diferentes porcentajes de diésel-butanol para determinar el comportamiento de su potencia y las emisiones que desata en la ciudad de Cuenca.

De tal manera que para el desarrollo de los diferentes porcentajes de diésel-butanol se estudia los tipos de aditivos existentes para motores de encendido por compresión, entre ellos el butanol y sus propiedades, las mezclas de combustibles, además de las normativas técnicas del diésel en el Ecuador, haciendo énfasis en las emisiones de gases como el O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y los límites de opacidad, también en el mismo ensayo se evaluó la potencia del motor a través del banco dinamométrico MAHA LPS3000, el objetivo de estos ensayos es determinar si la mezcla diésel-butanol genera cambios positivos en el motor diésel tanto en los gases de emisiones, como en la opacidad y potencia del motor. En primera instancia se realiza la mezcla de diésel con los porcentajes de n-butanol respectivos, al 5%, 10% y 20%, con un agitador magnético, a su vez se realiza la evaluación de emisión de gases, opacidad y potencia en el vehículo para luego realizar la comparación entre los resultados de cada mezcla, de donde se podría decir que la mezcla de diésel con 10% de n-butanol es la mejor opción para el motor de encendido por compresión.

**Palabras Clave:** *diésel, butanol, potencia, emisiones de gases, opacidad, mezclas.*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los vehículos con motores diésel forman una gran porción de medios de transporte a nivel mundial debido al bajo costo de combustible que utiliza y su potencia, ya que pasaron de ser los típicos motores ruidosos y lentos a competidores directos con los diferentes propulsores de la actualidad. El crecimiento de adquisición de estos vehículos va de la mano con los problemas que se presentan en los mismos, la mayoría de ocasiones se debe al tipo de aceite, combustible, filtros, etc., que estos utilizan, es por esto que se debe elegir correctamente los elementos complementarios óptimos para los motores diésel.

Por otra parte, el combustible diésel en el Ecuador tiene propiedades que no respaldan a los motores de encendido por compresión, lo que genera que la contaminación por este tipo de motores sea mayor y exista una preocupación para generar ideas para mejorar esta situación. Existen diferentes tipos de aditivos que mejoran las propiedades del diésel, entre ellos el butanol que es una sustancia incolora y con un poder calórico elevado esta posee un olor añejo y apacible, la temperatura que alcanza antes del punto de ebullición es de 92,6°C. Tiene una característica de miscibilidad con la mayor parte de disolventes tales como cetonas, alcoholes, ésteres, etc., por lo que se han dado experimentos en diferentes países para observar la conducta sobre los motores diésel utilizando mezclas de diésel-butanol, dando resultados tanto en la disminución de emisiones de gases contaminantes como en opacidad, lo que ha generado la oportunidad de este proyecto para determinar los resultados de la mezcla de butanol con el diésel del Ecuador bajo las condiciones del medio.

# ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

## 1. GLOSARIO

**Diésel:** Producto que se llega a obtener a partir de la purificación del petróleo crudo, este hidrocarburo líquido está compuesto fundamentalmente por parafinas.

**Biobutanol:** Es un biocombustible procedente de la fermentación de disolventes como la acetona, butanol y etanol conocido por sus siglas (ABE).

**Altitud:** Es la distancia vertical de un punto cualquiera en la tierra con relación al nivel del mar.

**Presión Atmosférica:** Es el peso que existe de una columna de aire sobre todo punto de la atmosfera.

**Poder Calorífico:** Es el conjunto de energía por unidad de volumen o masa de materia que se genera a partir de una reacción de combustión.

**Pruebas de Diagnóstico:** Es la realización de un algoritmo de pruebas para la entrega de información identificable e irrefutable del experimento a prueba.

**Mezcla:** Es la composición de dos o más sustancias que al combinarse pueden presentar cambios en sus propiedades.

## 2. PROBLEMA

El Ecuador es un país que oferta un combustible con contenido de azufre, la norma INEN que rige la calidad del Diésel en el estado, está fuera del rango de lo que requiere el mercado, Petroecuador EP procesa un Diésel de características inferiores a las internacionales, en la ciudad de Cuenca el Diésel Premium tiene 50 ppm de azufre (EMOV 2018) cuando lo ideal sería 10 ppm.

Este acontecimiento influye en el exceso de gases contaminantes en motores de encendido por compresión, ya que estos vehículos circulan muchos kilómetros provocando emisiones elevadas, estos efectos obligan a replantear alternativas que ayuden a disminuir las consecuencias que se producen por el uso de estos carburantes.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Con este proyecto se pretende analizar el comportamiento de un motor Diésel, con porcentajes de mezclas de butanol que ayude a reducir los gases que perjudican la salud de los seres humanos, entre estos tenemos el monóxido y dióxido de carbono, monóxido y dióxido de nitrógeno, y dióxidos de azufre. Para determinar el comportamiento del motor a través de parámetros como la potencia del motor, opacidad y medición de gases contaminantes. La mezcla directa de gasóleo y butanol es interesante, ya que es de aplicación inmediata sin modificación del motor siempre que la mezcla sea la adecuada (Fernández, 2015).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar el funcionamiento de un motor de encendido por compresión mediante diferentes porcentajes de Diésel-Butanol para la determinación del comportamiento de potencia y emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca.

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Revisar todo lo referente a combinaciones de combustible diésel mediante revisiones bibliográficas para la determinación de un protocolo de pruebas de porcentajes de mezclas diésel-butanol.
- Realizar las diferentes pruebas de rendimiento y emisiones con variables de combustible mediante un diseño experimental para la evaluación de los parámetros de funcionamiento del motor.
- Analizar los resultados de las pruebas mediante un método estadístico para la obtención de un porcentaje adecuado de la mezcla diésel-butanol.

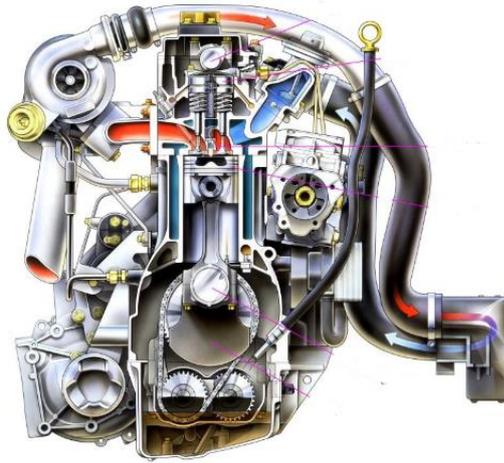
# **FASE 1: ESTUDIO DE COMBUSTIBLES Y ADITIVOS PARA MOTORES A DIÉSEL Y PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE PRUEBAS EXPERIMENTALES**

## **1 MOTOR DIÉSEL**

El motor diésel fue diseñado por Rudolf Diésel en el año 1892; el inventor creía que el polvo de carbón era el mejor combustible para su motor pero la idea se descartó a causa de las características abrasivas que presentaba y los inconvenientes en la administración de este carburante, lo que hizo que base su funcionamiento en la auto ignición de un biocombustible de baja volatilidad, los primeros combustibles utilizados en este motor fueron derivados en plantas aceiteras como la palma y de coco.

El procedimiento en un motor diésel se da por la aspiración del aire y alcanza relaciones de compresión que van entre 15:1 y 24:1, esto a su vez eleva la temperatura hasta que el combustible que es administrado por un inyector alcanza el punto de autoencendido llegando a 600°C o 800°C. Cabe recalcar que el trabajo efectivo en un motor a compresión es solo el 35%, esto se debe a que la energía química que contiene el combustible se pierde al transformarse en energía calórica en la cámara o pre cámara al tratarse de una inyección indirecta, también se pierde energía por el sistema de refrigeración y fuerzas de rozamiento del pistón.

Los motores diésel son lentos comparados con los motores de ciclo Otto, su desventaja radica por sus procesos de combinación y combustión, ya que suceden de forma casi sincrónica dando un tiempo de demora en el consumo de combustible, esto a su vez incide en la cantidad de hollín y material particulado no combustionado que salen del tubo de escape, debido a combustiones incompletas. (Quintero, 2014).



**Figura 1 Motor de encendido por compresión.**  
**Fuente: (Granell, 2015).**

## **1.1 CICLO IDEAL DEL DIÉSEL**

El ciclo diésel se conforma de los siguientes procesos termodinámicos:

### **Etapa E→A Admisión**

El pistón se desliza hacia abajo con la válvula de admisión abierta, dejando pasar aire a la cámara con una presión constante. En la siguiente figura se presenta el diagrama Presión-Volumen (PV), que aparece como una recta horizontal.

### **Etapa A→B Compresión**

En esta etapa se realiza una compresión isotrópica. El pistón sube comprimiendo el aire, como es una cámara hermética el aire no puede intercambiar calor con el ambiente formando un proceso adiabático reversible, es decir un transcurso donde no existe intercambio de calor.

### Etapa B→C Combustión

Cuando el pistón está a punto de llegar al PMS, el inyector introduce el combustible aumentando el volumen en el ciclo, generando una adición de calor al sistema a una presión constante, lo que se le conoce como proceso isobárico.

### Etapa C→D Expansión

Debido a la temperatura del gas, el pistón se desliza hacia abajo generando trabajo, al igual que la etapa A-B, se realiza un proceso isentrópico con la diferencia que esta expande y no comprime.

### Etapa D→A- A→E Escape

Se da un rechazo de calor a volumen constante, ya que se abre la válvula de escape generando un descenso en la presión; cuando el pistón va subiendo expulsa los gases de la combustión y al llegar al PMS la válvula de admisión permite el ingreso de aire generando que se repita el ciclo.

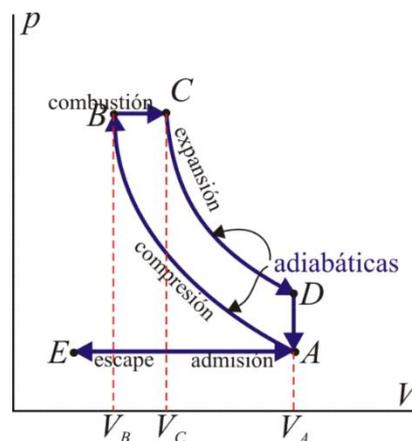


Figura 2 Diagrama P-V del ciclo diésel.  
Fuente: (González A. , 2009).

## **1.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

La misión de este sistema es el de entregar combustible de forma eficiente a la cámara de combustión, cumpliendo ciertos parámetros como presión adecuada y cantidad exacta de combustible. Los componentes de este sistema varían de acuerdo al sistema de inyección que posea, pero entre los más comunes se tiene los siguientes:

- Acumulador de combustible.
- Cañerías de alimentación.
- Filtros de combustible.
- Bomba de alimentación.
- Bomba de cebado.
- Válvula de purgado.
- Válvula de retorno o derivación.
- Bomba de inyección.
- Riel de inyectores.
- Líneas de derivación.
- Inyectores.

## **2 COMBUSTIBLES APTOS PARA MOTORES DIESEL**

Actualmente se puede clasificar los combustibles para motores por compresión en diésel, biocarburante, diésel de azufre ultra bajo, diésel de grados, etc.

### **2.1 DIÉSEL INTERNACIONAL**

El diésel es conocido internacionalmente como gasóleo o gasoil, es un combustible que se surge a partir de la destilación del petróleo bajo condiciones de temperatura. En la actualidad el diésel se clasifica internacionalmente en tres tipos A, B y C.

### 2.1.1 GASÓLEO A

Es el combustible más adecuado para los vehículos, su fórmula proporciona a los motores diésel un mejor rendimiento reduciendo el precio de mantenimiento. En la tabla 1 se muestra las especificaciones del gasóleo A, esta sustancia cuenta con características como: propiedades anticorrosivas, capacidad detergente, antiespumantes, lubricidad para prevenir desgastes y aditivos que impiden la congelación de la parafina en el tanque de combustible.

**Tabla 1 Especificación del Producto Gasóleo A**  
Fuente: (CEPSA, CEPSA ES , 2019)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Norma de Ensayo</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	UNE EN ISO 12185	820	845
Color		ASTM D 1500	-	2
Azufre	mg/kg	UNE EN ISO 20846	-	10
Numero de cetano		UNE EN ISO 5165	51.0	-
Índice de cetano		UNE EN ISO 4264	46.0	0
Destilación				
65% recogido	°C	UNE EN ISO 3405	250	-
85% recogido			-	350
95% recogido			-	360
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	UNE EN ISO 3104	2,0	4,5
Punto de Inflamación	°C	UNE EN ISO 2719	Superior a 55	
Punto de obstrucción del filtro en frío	°C	UNE EN 116	-	-10

Residuo Carbonoso	% m/m	UNE EN ISO 10370	-	0.3
Contenido en agua	mg/kg	UNE EN ISO 12937	-	200
Contaminación total (partículas sólidas)	mg/kg	UNE EN ISO 12662	-	24
Contenido en cenizas	% m/m	UNE EN ISO 6245	-	0.01
Corrosión lámina de cobre	escala	UNE EN ISO 2160	-	Clase 1
Estabilidad a la oxidación	g/m <sup>3</sup>	UNE EN ISO 12205	-	25
65% recogido	horas	UNE EN 15751	20	-
Lubricidad	Micras	UNE EN ISO 12156-1	-	460
Hidrocarburos poli cíclicos	% m/m	UNE EN ISO 12916	-	8
Contenido en FAME	% v/v	UNE EN ISO 14078	-	7
Transparencia y brillo		AST D4176		Cumple
Aditivos y agentes trazadores	Regulaciones por país			

### 2.2.1 GASÓLEO B

Este carburante es utilizado para maquinaria agrícola, ciertas embarcaciones y vehículos autorizados, esto se debe a que es un combustible subsidiado por temas de producción agrícola en ciertos países. Este combustible es menos filtrado y puede causar problemas en los motores de automóviles, en la Tabla 2 se describe las especificaciones de este tipo de sustancia, aunque podemos destacar su capacidad des emulsionante, buena combustión reflejada a un mejor arranque en frío, estabilidad en la oxidación y responsable con el medio ambiente.

Tabla 2 Especificación del Producto Gasóleo B  
Fuente: (CEPSA, 2019)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Norma de Ensayo</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	UNE EN ISO 12185	820	880
Color		ASTM D 1500		Rojo
Azufre	mg/kg	ASTM 4294	-	10
Numero de cetano		UNE EN ISO 4264	46	-
Índice de cetano		UNE EN 5165	49	-
Destilación				
65% recogido			250	-
	°C	UNE EN ISO 3405		
85% recogido			-	350
95% recogido			-	370
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	UNE EN ISO 3104	2	4,5
Punto de Inflamación	°C	UNE EN ISO 22719		Superior a 60
Punto de obstrucción del filtro en frío	°C	UNE EN 116	-	-10
Residuo Carbonoso	% m/m	UNE EN ISO 10370	-	0.3
Contenido en agua	mg/kg	UNE EN ISO 12937	-	200
Contaminación (partículas sólidas)	total mg/kg	UNE EN ISO 12662	-	24
Contenido en cenizas	% m/m	UNE EN ISO 6245	-	0.01
Corrosión lámina de cobre	escala	UNE EN ISO 2160	-	Clase 1

Estabilidad de oxidación	<i>g/m3</i>	UNE EN ISO 12205	-	25
Lubricidad	micras	UNE EN ISO 12156-1		460
Aditivos y agentes trazadores	Regulaciones por país			

### 2.3.1 GASÓLEO C

Es el combustible con mayor porcentaje de parafina lo que hace que su poder calorífico también se eleve, el uso para motores está prohibido debido a que contiene demasiadas impurezas; debido a su bajo costo es el más utilizado para calderas del sector industrial ya que mejora la operabilidad a bajas temperaturas. En la tabla 3 se especifica las características de este tipo de diésel.

**Tabla 3 Especificaciones del Producto Gasóleo C.**  
Fuente: (CEPSA, 2019)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Norma de Ensayo</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Densidad a 15 °C	<i>kg/m3</i>	UNE EN ISO 12185	-	900
Color		ASTM D 1500		Azul
Azufre	mg/kg	UNE EN ISO 8754	-	0.1
Numero de cetano		UNE EN ISO 4264	46	-
Índice de cetano		UNE EN 5165	49	-
Destilación	°C	UNE EN ISO 3405		
65% recogido			250	-
85% recogido			-	390

95% recogido				-	Anotar
Viscosidad a 40°C	cinemática	mm <sup>2</sup> /s	UNE EN ISO 3104	-	7.0
Punto de Inflamación		°C	UNE EN ISO 22719	Superior a 60	
Punto de obstrucción del filtro en frío		°C	UNE EN 116	-	-6
Residuo Carbonoso		% m/m	UNE EN ISO 10370	-	0.35
Agua y sedimentos		% v/v	UNE 51083	-	0.1
Punto de enturbiamiento		°C	UNE EN 23015	-	44
Corrosión lámina de cobre		escala	UNE EN ISO 2160	-	Clase 2
Aditivos y trazadores	y agentes	Regulaciones por país			

## 2.2 DIÉSEL NACIONAL

En el Ecuador se comercializa tres tipos de diésel, a continuación, se describen cada uno de ellos, su sector designado y los requisitos que deben cumplir ante métodos de ensayo internacionales.

### 2.1.2 DIÉSEL 1

Este carburante se utiliza en máquinas de combustión externa y los sectores en donde se utiliza es en el industrial y/o doméstico. La tabla 4 especifica las características de este tipo de combustible.

**Tabla 4 Requisitos del Diésel N.1**  
Fuente: (INEN, 2013)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Norma de Ensayo</i>
Punto de inflamación	°C	40	-	NTE INEN 1493
$\varphi$ Contenido de agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
$W$ Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	NTE INEN 1491
$W$ contenido de cenizas	%	-	0.0	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	288	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8°C	cSt	1.3	3.0	NTE INEN 810
$W$ Contenido de azufre	%	-	0.3	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	40	-	NTE INEN 1495

### 2.2.2 DIÉSEL 2

Este combustible es utilizado por los sectores: industrial, eléctrico, naviero, pesquero, etc., con la excepción para el uso automotriz. La tabla 5 muestra las características de este tipo de combustible.

**Tabla 5 Requisitos del Diésel N.2**  
Fuente: (INEN, 2013)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Norma de Ensayo</i>
Punto de inflamación	°C	51	---	NTE INEN 1493
$\varphi$ Contenido de agua y sedimento	%	---	0.05	NTE INEN 1494
<i>W</i> Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	---	0.15	NTE INEN 1491
<i>W</i> contenido de cenizas	%	---	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	---	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2.0	5.0	NTE INEN 810
<i>W</i> Contenido de azufre	%	---	0.7	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	---	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	---	40	---	NTE INEN 1495
Contenido de Biodiesel $\varphi$ Biodiesel	%	Nota	5	EN 14078

### 2.3.2 DIÉSEL PREMIUM

Este combustible se utiliza específicamente en el sector automotriz, debido a que es apto para motores de auto ignición. La tabla 6 muestra todas las características de este combustible.

**Tabla 6 Requisitos del Diésel Premium.**  
Fuente: (INEN, 2013)

<i>Características</i>	<i>Unidades de Medida</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Norma de Ensayo</i>
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493
$\varphi$ Contenido de agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
<i>W</i> Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	NTE INEN 1491
<i>W</i> contenido de cenizas	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2.0	5.0	NTE INEN 810
<i>W</i> Contenido de azufre	%	-	0.05	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de Biodiesel $\varphi$ Biodiesel	%	Nota	5	EN 14078

### 2.3 BIOCOMBUSTIBLES

Actualmente las combinaciones de diésel son muy populares en el mundo, debido a que podemos encontrar una gama de mezclas entre aditivos y bases de gasóleo, estas mezclas pretenden garantizar la calidad y un excelente comportamiento en el motor. Las variedades de diésel que podemos destacar son:

### **2.1.3 BIODIESEL B100**

El biodiesel B100 es un biocarburante libre de fósiles apta para una movilidad sostenible, debe cumplir con la norma ASTM D6751, debido a la pureza de la mezcla, es necesario hacer modificaciones para que no afecte la integridad del motor. Esta sustancia no es eficiente en climas fríos.

### **2.2.3 BIODIESEL B-5,20, 30**

Es el resultado de la proporción de biodiesel en la base de diésel, un ejemplo es el B5, donde la proporción de diésel estándar es de 95% y 5% de biodiesel.

### **2.3.3 DIÉSEL REGULAR**

Este tipo de carburante es denominado el más contaminante de todos, debido a que contiene 500 partes por millón de azufre, ya no es usual encontrarse con este tipo de combustible gracias a las normas de protección ambiental.

### **2.4.3 DIÉSEL DE GRADO D**

Este tipo de combustible se denomina de acuerdo al grado de densidad que contiene, los más frecuentes son 1D, 2D y 3D. El 1D se utiliza cuando existe una variación constante de velocidad en temperaturas muy bajas. El 2D se utiliza para motores con altas velocidades a temperaturas cálidas y el 4D es más denso que sus hermanos por lo que es usual utilizarlo en motores de velocidades muy bajas.

## **3 ADITIVOS PARA MOTORES DIÉSEL**

Hoy en día existe un sinnúmero de marcas encargadas de desarrollar aditivos para los motores diésel, esto incluye sus sistemas de inyección y tipos de combustibles. En esta investigación se divide a los mismos en dos grupos, los alcoholes y los que están libres de alcohol.

### 3.1 ADITIVOS SIN ALCOHOL

Para describir aditivos libres de alcohol se toma en cuenta a la empresa Stanadyne LLC, como un desarrollador referente a nivel global ya que es una compañía comprometida con la seguridad, calidad y sostenibilidad ambiental. Los mismos que brindan diferentes productos exentos de alcohol tales como:

- Performance Formula – Toda Temporada.
- Performance Formula – Para clima Templado.
- Performance Formula – Limpiador de Inyectores.
- Lubricity Formula.
- Winter 1000.

La tabla 7 representa un resumen de las características que presentan los aditivos de marca Stanadyne para motores diésel.

**Tabla 7 Características de los aditivos para motores diésel.**  
Fuente: Autores.

	<b>Toda Tempo rada</b>	<b>Para clima Templado</b>	<b>Limpiador de Inyectores</b>	<b>Lubricity Formula</b>	<b>Winter 1000</b>
Mejorador de cetano	✓	✓	✓		
Detergente	✓	✓	✓	✓	
Modificador de depósitos	✓	✓	✓	✓	
Lubricante	✓	✓	✓	✓	
Inhibidor de la corrosión	✓	✓	✓	✓	

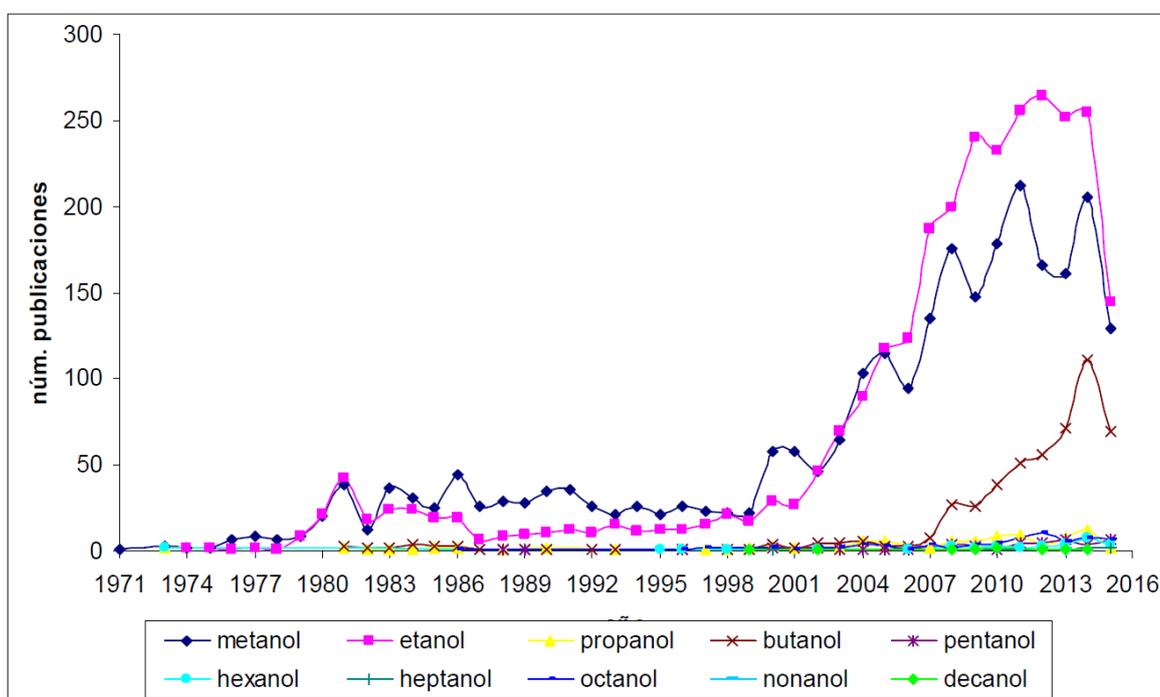
Desemulsificador de agua	✓	✓		✓	
Estabilizador Libre de alcohol	✓	✓	✓	✓	
Modificador de ceras					
Baja el punto de fluidez	✓				✓
Disgregador de cera	✓				✓
Inhibidor de congelación	✓				✓
Lubricante altamente concentrado	✓			✓	
Compatible con todos los combustibles Diésel	✓	✓	✓	✓	✓

### 3.2 ADITIVOS CON ALCOHOL

Se hace referencia a la influencia de porcentajes de estos compuestos en el combustible diésel, ya que ayudan a la combustión y reducción de gases contaminantes. La figura 3 muestra un resumen de publicaciones sobre artículos sobre que utilizan alcoholes como alternativas para la sustitución de combustibles fósiles, dando como resultado

tres alcoholes (Etanol, Metanol y Butanol) que destacan por sus diferentes características ayudando a diferentes procesos que a continuación se presenta:

- Evaluación de gases contaminantes.
- Prestaciones del motor.
- Sensibilidad al tiempo y presión de inyección.
- Fabricación de biodiesel.
- Durabilidad en componentes del motor.
- Entre otros.



**Figura 3 Evolución del número de publicaciones por alcohol.**  
Fuente: (Fernandez, 2015)

## 4 ALCOHOLES COMO COMBUSTIBLES EN MOTORES DIESEL

### 4.1 COMBUSTIBLE A PARTIR DE ETANOL

El etanol es un carburante utilizado en los últimos años a gran escala debido a diversas ventajas frente a sus competidores como es el metanol y butanol, este alcohol ofrece características físicas y químicas que se resumen en una sustancia con una densidad

baja con alto poder calorífico y fluidez (Silvia & Alvarez, 2008). El etanol o también llamado alcohol etílico sirve de base para obtener varios tipos de combustibles, puesto que ayuda no solo a la economía del país que la genere, sino que también ayuda a su ambiente pues es una energía limpia y eficiente, la biomasa es la materia prima para su producción y se obtiene a partir de la fermentación anaeróbica de azúcares, este país es rico en tierras aptas para los cultivos energéticos en los cuales se obtiene la materia prima de este alcohol, El instituto interamericano destinado a la agricultura conocido como (IICA) dice que los productos de caña es el 3% de la matriz energética del Ecuador dando como resultado 675.000 hectáreas potenciales, con un rendimiento de 78 toneladas por hectárea, por otro lado la producción de etanol por hectárea tiene un rendimiento de 70 litros por tonelada de caña lo que se traduce como una hectárea produce 5.460 litros. (IICA, 2007) Esta sustancia sirve de base para formar 3 tipos de combustibles los cuales son el bioetanol, gasol yalconafta.

#### **4.1.1 ETANOL EN MOTORES DIÉSEL**

El etanol en los motores diésel es poco viable debido a su costo económico ya que para poder utilizar este alcohol en sus operaciones se necesita colocar un aditivo que ayude a reducir su octanaje y aumentar su índice de cetano. No obstante, las ventajas que presenta al ambiente son rentables, un claro ejemplo es Suecia, este país tiene 600 buses que trabajan con etanol hidratado con un 5% de aditivo en sus motores, por sus beneficios a dado como resultado un lanzamiento de la tercera generación de motores aptos para este tipo de combustible, cumpliendo a cabalidad con los requerimientos de la normativa Euro 5. (BNDES & CGEE, 2008).



**Figura 4 Bus Scania a etanol en San Pablo.**

**Fuente: (Scania Argentina, 2010)**

Generalmente el etanol se utiliza como combustible, pero no en estado puro, es decir varía el porcentaje en el diésel de acuerdo a los requerimientos que se necesite, según (EA Ajav, 1999) los resultados de las mezclas al 5%, 10%, 15% y 20% a diferentes niveles de carga reducen las emisiones de óxidos de nitrógeno, humo, material particulado y monóxidos de carbono, en cuanto al consumo hubo un ligero aumento mientras que la eficiencia térmica disminuyó. Existen varios investigadores en el mundo que han trabajado con etanol en vehículos a diésel, pero la gran mayoría de estos concluyen en un mismo resultado se reducen gases contaminantes como los antes ya mencionados a un costo de reducir la potencia. Esto se debe al poder calorífico que es menor en el etanol y el bajo número de cetano que contiene frente a su competencia directa que es el diésel ya que tienen 11 y 45 respectivamente. Dando como resultado la utilización de este alcohol para servicios de transporte públicos urbanos, debido a que estos transportes no requieren de una potencia elevada para su movilización, esto depende también del estado geográfico en donde se realizaron las pruebas ya que en el

caso de esta investigación los parámetros cambian en cuando al estado geográfico que presenta Ecuador frente a sus países vecinos.

## **4.2 METANOL COMO COMBUSTIBLE**

El metanol o alcohol de madera toma su nombre gracias al proceso que realiza para la obtención de este producto, se trata de la fermentación de la madera, es una formula toxica, inflamable e incolora, es un combustible limpio y económico debido a que su costo es el 1/3 que el del etanol (Leiva, 2011). Entre beneficios de utilizar esta sustancia tenemos ahorro de combustible, temperatura de gases combustión menores a las habituales, reducción de emisiones de gases y un mejor rendimiento. Hoy en día el metanol es utilizado para las pilas de combustible que es un elemento que transforma la energía química del carburante en corriente eléctrica, un ejemplo claro es el Gumpert Nathalie que asegura ser el primer vehículo con pila de combustible de metanol, las pilas de combustible es tecnología liderada por marcas como Hyundai y Toyota pero su combustible es el hidrogeno, la ventaja de utilizar este sistema que consigue prestaciones con un desperdicio tres veces menos de energía, lo que resulta beneficioso ya que es un vehículo de 800 CV y emite tres veces menos CO<sub>2</sub> que un vehículo de similares características a gasolina.

### **4.2.1 METANOL EN MOTORES DIÉSEL**

El metanol ha sido base de investigaciones para la fabricación de biodiesel en la última década, este alcohol al mezclarse con el gasóleo presenta problemas de solubilidad ya que las dos sustancias son poco miscibles y quedan en inestabilidad en función de temperatura y porcentaje de alcohol, es por eso que la elaboración de biodiesel se da con porcentajes no muy elevados de metanol. (Karabektas, 2013) Hizo un estudio de los efectos al utilizar biodiesel con el 15 % de metanol en un motor Diésel, las pruebas

se realizaron en un motor atmosférico mono cilíndrico con una variación del motor de 1200 a 2800 rpm a plena carga. Utilizó de forma esencial las propiedades de los combustibles para realizar las pruebas, en la tabla 8 se presenta los datos que tuvieron importancia en esa investigación. Esta mezcla obtuvo una pérdida de potencia y un mayor consumo de combustible, en cuanto a emisiones, se redujo el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, pero aumentó las emisiones de hidrocarburos no combustionados.

**Tabla 8 Propiedades de los combustibles.**  
Fuente: Autores.

Propiedad	Diésel	Metanol	Biodiesel
Viscosidad cinemática ( $mm^2 / s$ )	3,25 (@ 40 ° C)	0.75 (@ 25 ° C)	5.63 (@ 40 ° C)
Densidad ( $g / cm^3 @ 15 ° C$ )	0.84	0.79	0.882
Valor neto de calentamiento ( $MJ / kg$ )	42.5	20.3	37.2
Número de cetano	51	44	51
Punto de inflamación (° C)	55	11	178
Contenido de oxígeno (%)	-	50	10.9
Calor de vaporización ( $MJ / kg$ )	0.27	1.11	-
Relación estequiometria $A / F$	14.4	6.66	12.6

Como se menciona anteriormente el comportamiento de las mezclas presenta dificultades, es por eso que para lograr una mejor combustión se debe trabajar con el tiempo de inyección. De esta forma (Huang, 2005) estudio el comportamiento del motor con diferentes ángulos del cigüeñal ( $17^\circ$ ,  $21^\circ$  y  $25^\circ$ ) antes del punto muerto superior y con porcentajes del 5% y 10 % de metanol, las pruebas se realizaron de 1500 a 2000 rpm a diferentes cargas, las mezclas presentaron un incremento en la eficiencia térmica y el consumo, por otro lado las emisiones de óxidos de nitrógenos aumentaron pero el humo y el monóxido de carbono tuvieron una disminución, al adelantar el tiempo de inyección los óxidos de nitrógenos aumentaron con el 5% de metanol pero al trabajar con el 10% estas emisiones se redujeron.

#### **4.3 BUTANOL COMO COMBUSTIBLE**

El butanol se presenta como un biocombustible de segunda generación al igual que el metanol y el etanol, ya que su generación se obtiene a partir de biomasa lignocelulosa. Esta sustancia como combustible lleva el nombre de Biobutanol, que está compuesto de acetona, butanol y etanol, esta mezcla se presenta como una variación bioetanol, pero con mejores características como una miscibilidad en el agua inferior a otros alcoholes, menor corrosividad, baja volatilidad y un mayor poder calorífico, siendo un competidor directo para utilizar en el vehículo sin necesidad de realizar alguna modificación. (Vasquez, 2019) Existe una nueva tecnología que se le conoce como BioCel-CM, está dirigida por investigadores que trabajan en la elaboración de Biobutanol, ellos aseguran que la producción de este biocombustible puede tener un costo de 63 centavos, además obtener productos como la acetona y excedentes de electricidad. (Valdez, 2016).



**Figura 5 Materia prima para la producción de Biobutanol**

**Fuente: (Valdez, 2016)**

#### **4.3.1. BUTANOL EN MOTORES DIÉSEL**

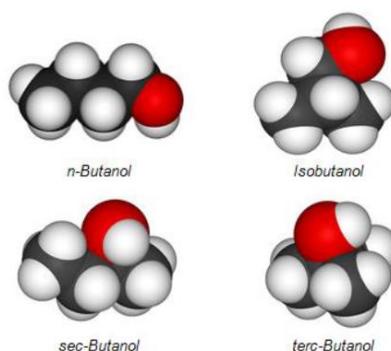
El butanol ha sido también base para la elaboración de Biodiesel, ya que garantiza mejores prestaciones que el gasóleo convencional, según (Dogan, Oguzhan, 2011) al utilizar porcentajes de butanol el motor tiene un comportamiento estable y presenta una disminución de óxidos de nitrógeno, monóxidos de carbono, humo y material particulado, ofreciendo una mejora en la eficiencia térmica con una sola desventaja que es el aumento en el consumo de combustible. Es por eso que lo hace el candidato perfecto para esta investigación ya que tiene como objetivo reducir las emisiones que actualmente generan los transportes que circulan en la ciudad de Cuenca.

Uno de los grandes inconvenientes que tiene los vehículos a diésel es el arranque en frío, ya que es una operación crítica en función de las emisiones y estabilidad de la mezcla. (Rakopoulos, 2011). Realizo un estudio en el cual comparaba el biodiesel con etanol y el biodiesel con butanol en dos cantidades de volumen tomando al etanol y butanol como aditivos con 25% y 30% en sus pruebas, el análisis comenzó con el arranque en caliente y en su transición doto información que reflejan una variación

importante en la estabilidad y comportamiento en la combustión, siendo estas mezclas de butanol las que actuaban de mejor forma.

## 5 ESTUDIO DEL BUTANOL Y SUS PROPIEDADES

El butanol es un alcohol constituido por 4 carbonos, tiene una cadena carbonada lineal por lo que le impide una solubilidad total y es miscible en casi todos los solventes orgánicos. Los términos 1-butanol o n-butanol es el isómero de la cadena lineal con el grupo funcional del alcohol, otras estructuras isométricas del butanol es el sec-butanol, iso-butanol y el ter-butanol. (Ferreruela, 2016).

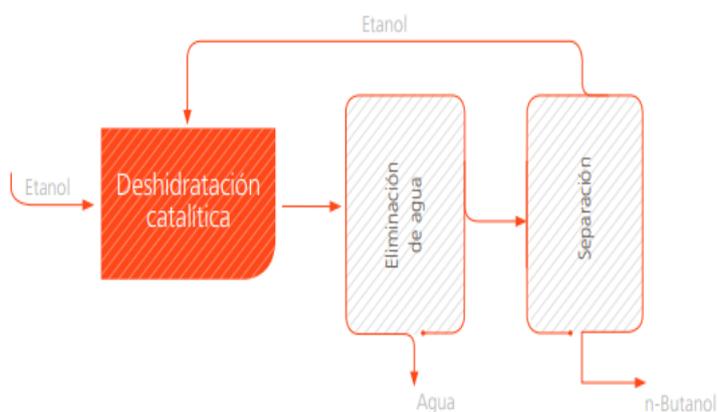


**Figura 6 Isómeros del Butanol.**  
Fuente: (Ferreruela, 2016)

El butanol es otra opción de biocombustible diferente al etanol ya que posee viscosidad, densidad y número de octano parecido a la gasolina, es mezclable con diésel sin alteración de separación o corrosión. Pero al poseer menor poder calorífico y una curva de destilación plana, se dificulta el arranque en frío de los motores. El n-butanol es biodegradable pero poco bioacumulable y es de baja tendencia a la absorción por el suelo, ya que posee un coeficiente de adsorción de carbono orgánico. (González N. F., 2018).

## 5.1 PROPIEDADES DEL BUTANOL

El n-butanol tiene la facilidad de mezclarse fácilmente con otros compuestos, como el diésel, incluso con el mismo etanol, ya que estos dos productos son obtenidos separados, pero la mezcla de estos componentes puede ser usada como un solo combustible, por lo tanto, la separación de estos dos alcoholes no sería necesaria, esto reduciría los requerimientos energéticos y el costo del alcohol reduciría. (Fernando Gómez, 2016). El n-butanol al calentarse y descomponerse forma monóxido y dióxido de carbono, ya que es un compuesto alto en inflamación libera vapores que al entrar en contacto con el ambiente forma mezclas explosivas. El n-butanol tiene una densidad superior a la del aire y por ello los vapores de n-butanol se dispersan en la tierra y se concentran en lugares confinados. El n-butanol tiene una baja corrosividad ya que la mayoría de los metales es indiferente a este compuesto. (Ferreruela, 2016).

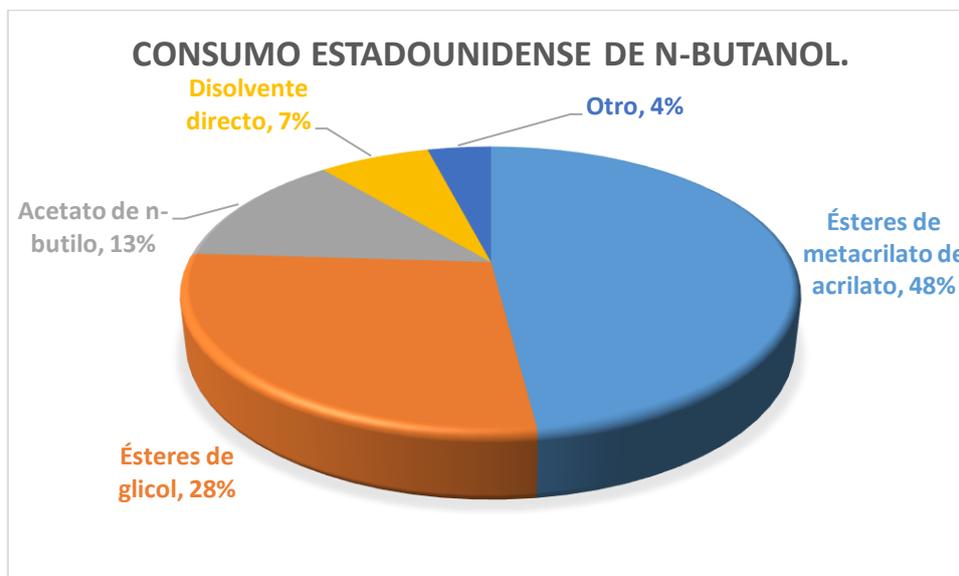


**Figura 7 Proceso de producción de Biobutanol.**  
Fuente: (ABENGOA, 2013)

## 5.2 MERCADO DEL BUTANOL

Al principio el butanol se producía por medio de la fermentación de acetona-butanol-etanol, pero después con la petroquímica por medio de oxo o hidroformilación, más del 70% de butanol se produce usando propileno y gas de síntesis como materias

primas. Asia consume un 50% de n-butanol, con un consumo de China del 35%, hoy en día la principal desventaja del Biobutanol es la poca factibilidad en la industria, ya que su producción es casi 30 veces menor que la producción de bio-etanol. (Jimenez, 2019).



**Figura 8** Uso del n-butanol en EEUU.  
Fuente: (Jimenez, 2019)

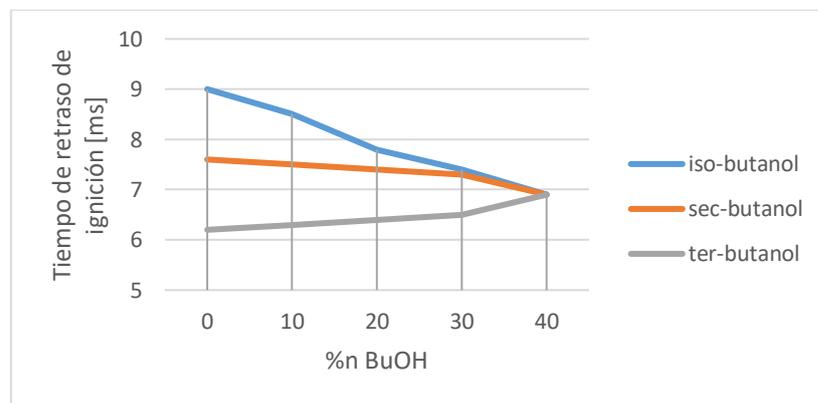
### **5.3 EFECTOS DE SU ADICIÓN AL DIÉSEL**

El gasóleo que es el combustible empleado en motores de encendido por compresión puede mejorar sus características, pero la adición de algunos aditivos oxigenados en proporciones superiores al 5%, generan costos no rentables a corto plazo. (Sandra España Gutiérrez, 2014).

De todos los compuestos de butanol el ideal para la mezcla con el gasóleo es el n-butanol, ya que tiene baja temperatura de auto ignición, se puede mezclar en cualquier proporción con el diésel sin afectar las modificaciones de motor, es menos volátil y menos corrosivo que el metanol y el etanol (M. Yao, 2014). Al combinar n-butanol con diésel el porcentaje de NOx baja en la cámara de combustión, pero requiere de

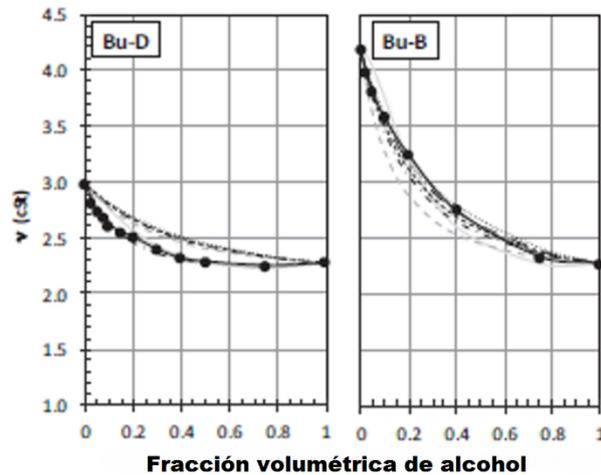
más combustible por el bajo calor de combustión, el cetanaje y por los mismos motores que reacción de diferente manera a la mezcla de este alcohol. (Jimenez, 2019).

Una desventaja al mezclar diésel con n-butanol es que el n-butanol tiene baja densidad energética, lo que produce la disminución de potencia además que la mezcla n-butanol con diésel aumenta el consumo específico de combustible. (Dogan, Oguzhan, 2011) Algunas ventajas al mezclar n-butanol es el efecto de reducción de la reactividad de las mezclas con diésel y biodiesel, esto incrementa el tiempo de retraso a la ignición. Se han dado experimentos con mezclas de n-butanol, iso-butano, sec-butanol y ter-butanol. (Alexis Cova, 2016).



**Figura 9 Comparación de porcentajes de mezclas con respecto al tiempo de ignición**  
Fuente: (Alexis Cova, 2016)

La viscosidad tiene un efecto en el combustible de atomización en el momento de la combustión. Se han realizado estudios generales para la predicción de la viscosidad de las mezclas de hidrocarburos, mediante estos estudios se dice que la viscosidad es aditiva y que puede ser configurada, por medio de una adición ideal de mezclas de butanol. Se debe realizar algunos parámetros de modelación utilizando correlaciones empíricas. En algunos ensayos realizados se observó que la viscosidad disminuye al aumentar el contenido de butanol. (Rayda Patiño, 2016).



**Figura 10 Reducción de la Viscosidad al mezclar con Butanol.**  
Fuente: (Rayda Patiño, 2016)

#### 5.4 MÉTODOS DE ENSAYO

Para las mezclas de los diferentes porcentajes de diésel con n-butanol el agitador magnético que se utilizó tuvo referencia en la norma EN 61010-2-051 que indica los requisitos de laboratorio para la utilización de equipos de mezcla, agitación y golpeo. se emplea en equipos de laboratorio operados de forma eléctrica y sus accesorios para mezcla mecánica y agitación.

También el agitador magnético se basa en la norma DIN 12878 “Equipo de laboratorio eléctrico; termómetros de contacto de líquido en vidrio ajustables y módulos de control; requisitos generales y de seguridad, pruebas”.

Para el ensayo de la medición de opacidad se basó en la normativa ecuatoriana INEN 2202 que trata básicamente en la medición de opacidad por el método de aceleración libre.

La normativa relata que las pruebas de opacidad deben basarse en la norma ISO 11614 “Motores alternativos de encendido por compresión y combustión interna. Aparatos para calcular la opacidad y determinación del factor de absorción de luz de los gases de escape” dando un algoritmo de pruebas estáticas”.

La emisión de gases se basó en la normativa UNI 10389-1 “Mediciones de campo. Generadores de calor. Parte 1: Equipos alimentados por combustible líquido y / o

gaseoso.” La norma determina los procedimientos para el análisis de productos de combustión y medición de la eficiencia de combustión en fuentes térmicas de combustible gaseoso o líquido.

Y por último la medición de potencia se basa en la norma DIN 70020 que utiliza un banco dinamométrico de la Universidad Politécnica Salesiana teniendo un procedimiento tradicional para medir potencia continua, la diferencia con el resto de normativas de medición de potencia es que en la norma DIN 70020 el ventilador del banco dinamométrico MAHA LP3000 debe estar conectado y funcionando.

# **FASE 2: PRUEBAS EXPERIMENTALES DE RENDIMIENTO Y EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN CON VARIABLES DE COMBUSTIBLE Y ADITIVOS**

## **2.1. CARACTERIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL VEHÍCULO DE PRUEBA**

El vehículo utilizado para obtención los ensayos es un camión mediano de categoría N2 según la (NTE INEN 2656, 2016), se seleccionó este tipo de vehículo debido a su gran acogida en el mercado nacional , ya que estas unidades están presentes en el sector público y privado. A continuación, se detalla en la tabla 9, las características de la unidad mencionada.

**Tabla 9 Caracterización del vehículo de prueba.**  
**Fuente: Autores.**

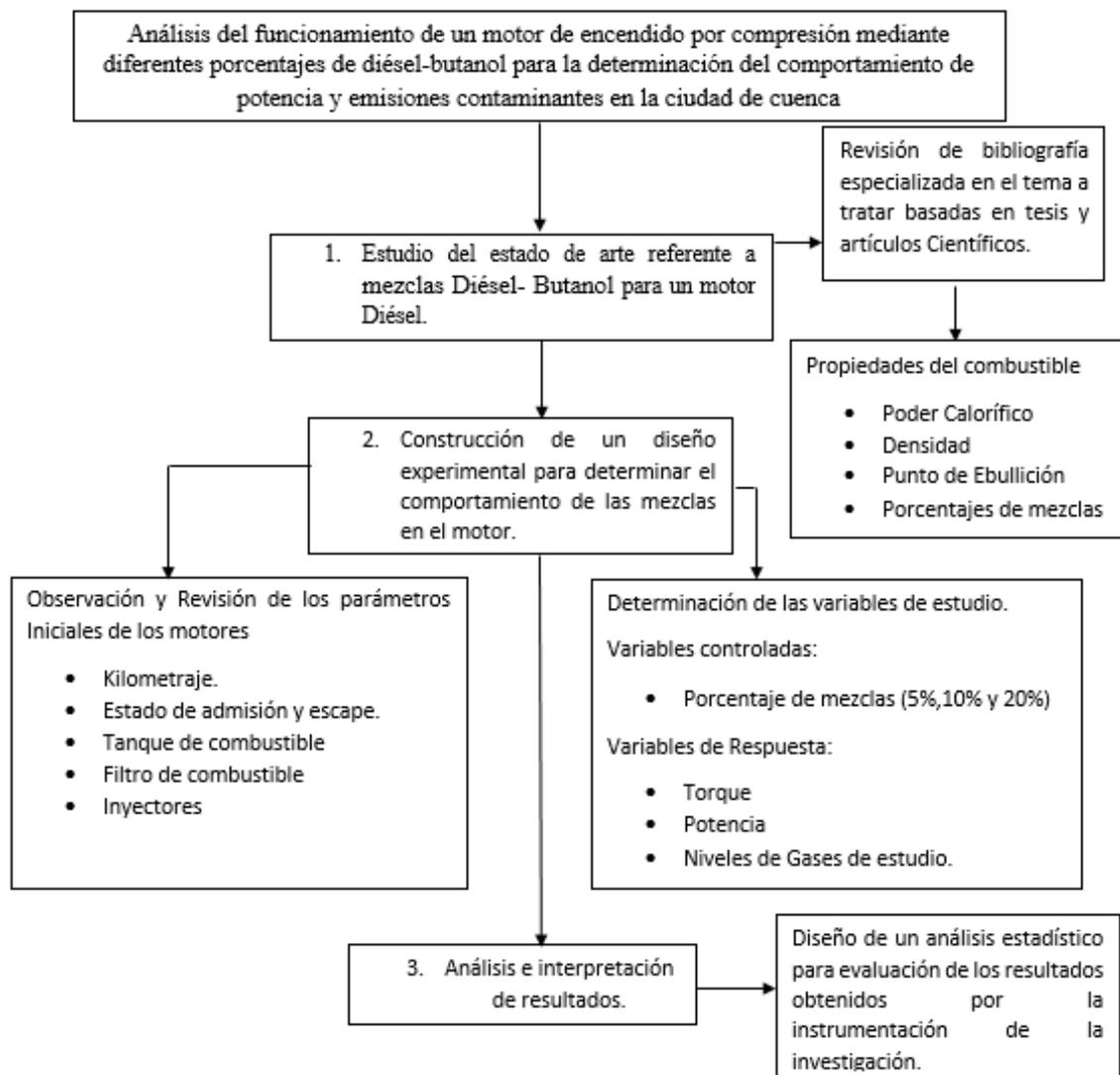
Características	Descripción
Modelo	NHR Chasis cabinado
Tipo de Vehículo	Camión
Transmisión	Manual
Cilindraje	2800
Año modelo	2008
Tipo de Peso	Liviano ( $\leq 3,5$ T)
Kilometraje	508765

## **METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO**

Bajo el método analítico se segregarán las pruebas necesarias para conocer la naturaleza del fenómeno y las variables de estudio, utilizando el diseño de

experimentación para determinar las pruebas que se realicen al motor con ello observar las causas, esencia y efectos para su posterior estudio y comprensión.

Con los resultados obtenidos se analizará y evidenciará el comportamiento de las mezclas Diésel Premium con Butanol en un motor de encendido por compresión, mediante un método deductivo a partir de un razonamiento lógico.



**Figura 11 Metodología del estudio**

**Fuente: Autores**

## **PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE**

Para realizar el mantenimiento de la admisión se comenzó con lo que es primordial, el cambio del filtro de aire del vehículo, además se realizó la limpieza del colector de admisión para que el vehículo este en óptimas condiciones para las pruebas.



**Figura 12 Mantenimiento del sistema de admisión.**  
**Fuente: Autores.**

El filtro de aire que se cambió en el vehículo tiene una forma cilíndrica con las siguientes especificaciones



**Figura 13 Cambio del filtro de aire.**  
**Fuente: Autores.**

Lo siguiente fue limpiar el sistema de escape, para quitar impurezas y así poder analizar de la mejor manera los gases de salida del vehículo. Para esto se desmonto el sistema de escape y se procedió a realizar un lavado minucioso para evitar que la suciedad afecte la información de salida del analizador.

## **MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN**

Lo que se procedió a realizar fue cambiar el aceite del vehículo, se colocó dos galones de aceite con las siguientes especificaciones



**Figura 14 Cambio de Aceite de motor.  
Fuente: Autores.**

También se realizó el cambio del filtro de aceite de las siguientes especificaciones



**Figura 15 Cambio del filtro de aceite de motor.  
Fuente: Autores.**

Para el mantenimiento del sistema de refrigeración se sustituyó el refrigerante que contenía el vehículo, en este caso el refrigerante era agua.

### **MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN**

Para realizar este tipo de mantenimiento se comenzó desmontando el tanque de combustible para lavar y quitar impurezas impregnadas en el fondo del mismo.



**Figura 16 Desmontaje y limpieza del tanque de combustible.  
Fuente: Autores.**

También se sustituyó a las cañerías del tanque de combustible oxidadas por unas nuevas.



**Figura 17 Cambio de cañerías de combustible.**  
**Fuente: Autores.**

El siguiente paso fue cambiar los dos filtros de combustible que posee el vehículo con las siguientes especificaciones.



**Figura 18 Cambio del filtro de combustible.**  
**Fuente: Diésel.**

Por último, se realizó un lavado de inyectores para así dejar el vehículo a punto para las pruebas.

## **2.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS DE PORCENTAJES DE MEZCLAS DIESEL CON N-BUTANOL**

Con la finalidad de corroborar las revisiones bibliográficas se realizó un diseño experimental en el cual se mezcló n-butanol con pureza de 99.5% y diésel premium de comercialización nacional con proporciones del 5%, 10% y 20% de n-butanol. El experimento se realizó en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería en

Biotecnología en la Universidad Politécnica Salesiana a través de la técnica de agitación magnética.

1. Para realizar las mezclas es obligado utilizar implementos de seguridad que son mandil, guantes, mascarilla y gafas.



**Figura 19 Implementos de Seguridad del Laboratorio.**

**Fuente: Autores.**

2. Seleccionar los materiales necesarios entre estos: un vaso de precipitación de 500 ml, dos vasos de precipitación de 1000 ml, dos probetas de 500 ml, una varilla de vidrio, depósitos para las mezclas, diésel premium y n-butanol.



**Figura 20 Materiales para las mezclas.**

**Fuente: Autores.**

3. Seleccionar el equipo de mezcla que es un agitador magnético con un magneto.



**Figura 21** Equipo de mezcla de sustancias.  
**Fuente:** Autores.

4. Colocar los materiales y equipo de forma algorítmica para generar un proceso estructurado y eficiente.
5. Obtener las cantidades de muestras de n-butanol necesarias que son 50 ml para el 5%, 100 ml para el 10% y 200 ml para el 20% y colocar en las probetas.



**Figura 22** Muestra de n-butanol en probeta.  
**Fuente:** Autores.

6. Obtener las cantidades de diésel de acuerdo al porcentaje de n-butanol en la probeta que son 950 ml para el 95%, 900 ml para el 90% y 800 ml para el 80%.



**Figura 23 Muestra de diésel premium en probeta.**

**Fuente: Autores.**

7. Colocar el vaso de precipitación en el agitador magnético y encender el equipo.



**Figura 24 Botón de encendido del equipo.**

**Fuente: Autores.**

8. Colocar el diésel en el vaso de precipitación de 1000 ml para la mezcla.



**Figura 25 Introducción del diésel en el vaso de ensayo.**

**Fuente: Autores.**

9. Colocar el magneto dentro del vaso de precipitación y verificar que esté en una posición estable y céntrica.



**Figura 26** Magneto en correcta posición.  
Fuente: Autores.

10. Colocar el porcentaje de n-butanol en el vaso de la mezcla.



**Figura 27** Introducción de n-butanol en el vaso de ensayo.  
Fuente: Autores.

11. Mezclar los líquidos con la varilla de vidrio hasta que llegue al punto de miscibilidad de forma visible.



**Figura 28** Mezcla de porcentajes de diésel con n-butanol.  
Fuente. Autores.

12. Manipular el botón de rpm del agitador magnético a 1000 rpm durante 1 minuto, subir progresivamente hasta 4000 rpm y mezclar durante 4 minutos.



**Figura 29 Mezcla diésel con n-butanol de 1000 a 4000 rpm.**  
**Fuente: Autores.**

14. Disminuir los rpm de 4000 a 0.



**Figura 30 Fin de la mezcla (0 rpm).**  
**Fuente: Autores.**

15. Extraer la mezcla y colocar en los depósitos seleccionados.



**Figura 31 Almacenado de mezclas B5, B10, B20.**  
**Fuente: Autores.**

16. Al finalizar se dejó en reposo durante 48 horas para que las mezclas se estabilicen. La tabla 10 muestra los resultados de las cantidades de mezcla que se realizaron.

**Tabla 10 Resultados obtenidos de mezclas de combustible.**

**Fuete: Autores.**

<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Diésel con 5% de n-butanol</b>	<b>17 litros</b>
<b>Diésel con 10% de n-butanol</b>	<b>17 litros</b>
<b>Diésel con 20% de n-butanol</b>	<b>17 litros</b>

### **2.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS BANCO DINAMOMÉTRICO MAHA LS3000**

#### **PRUEBAS DE MEDICIÓN DE POTENCIA**

Los ensayos de mediciones de potencia se efectuaron en la Universidad Politécnica Salesiana con el banco de potencia LS3000, que contiene un software que permite simular un recorrido de un vehículo en sus máximos parámetros como es el torque y la velocidad en una prueba dinámica.



**Figura 32 Vehículo de prueba en el bando dinamométrico.**

**Fuente. Autores.**

Un banco dinamométrico permite realizar mediciones de par y potencia de motores a gasolina y diésel, con el propósito de analizar el funcionamiento del motor en diferentes parámetros.

Un banco dinamométrico sirve para medir potencia y par motor de vehículos de ciudad, de competencia, diésel, etc., permitiendo trabajar en nuevas mezclas de combustible para el óptimo funcionamiento del motor, o para reducir las emisiones contaminantes del mismo sin afectar en consideración el par del motor.

Clasificación de los bancos dinamométricos: Los bancos dinamométricos se clasifican en dos grupos:

1. Según el lugar de medición.
  - a. De chasis: la medición se realiza a partir del giro de las ruedas del vehículo por medio de rodillos que generan una curva de torque y potencia.
  - b. Motor acoplado al eje: La medición se realiza en el eje del motor, esta medición es más efectiva ya que evita pérdidas de potencia y torque por el tren motriz del vehículo.
2. Según el principio de medición.
  - a. Inercial: La medición se obtiene al medir la variación de la velocidad de rotación al acoplar el eje del motor a un volante de inercia.
  - b. Absorción: La medición se realiza en función a la energía disipada por el freno al acoplar el eje del motor a un disipador de potencia.

### **Pruebas de Potencia y Par**

Para iniciar con las pruebas en el banco dinamométrico MAHA LPS3000 es necesario contar con todos los implementos de seguridad necesarios para los operadores.

- Mandil.
- Orejeras.
- Correas de sujeción.



**Figura 33 Correas de sujeción.**  
**Fuente: Autores.**

1. Encender el banco dinamométrico MAHA LPS3000.



**Figura 34 Encendido del Banco dinamométrico.**  
**Fuente: Autores.**

2. Ingresar el vehículo sobre los rodillos del banco MAHA LPS3000, revisando que los neumáticos estén alineados y no exista roces con los apoyos de los rodillos.



**Figura 35** Posicionamiento de las ruedas sobre los rodillos.  
**Fuente:** Autores.

3. Activar los rodillos y mantener seguro el camión con las bandas de sujeción para impedir que los neumáticos salten de los rodillos.



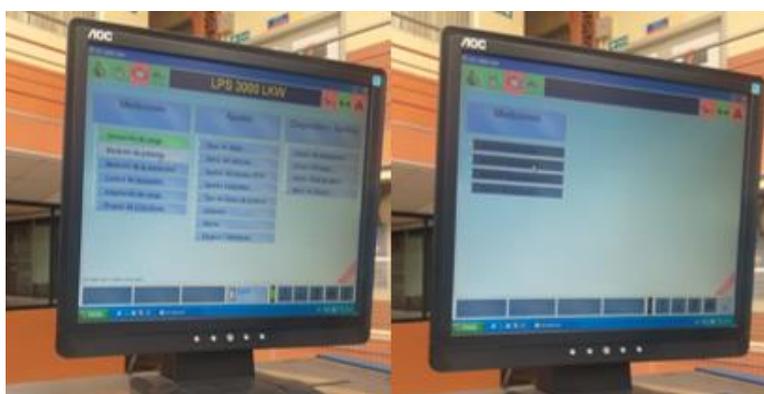
**Figura 36** Sujeción del vehículo con los puntos de anclaje.  
**Fuente:** Autores.

4. Encender el ventilador del banco MAHA LPS3000.



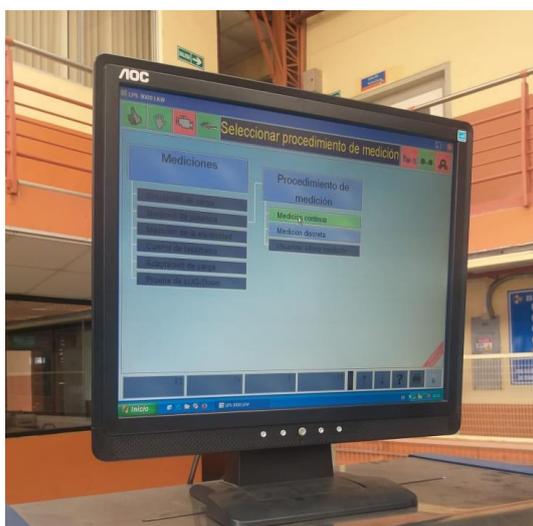
**Figura 37** Posicionamiento del ventilador.  
Fuente Autores.

5. Empezar el programa LPS3000, seleccionando la opción medición de potencia.



**Figura 38** Apertura del programa de obtención de datos.  
Fuente: Autores.

6. Enseguida se selecciona el tipo de prueba que va a realizar, en este caso medición continua.



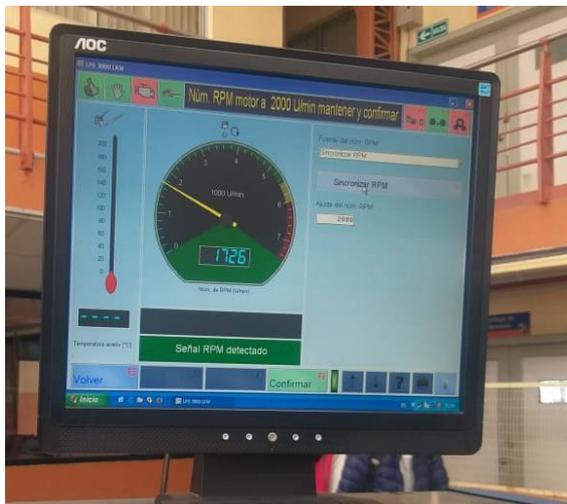
**Figura 39** Selección del tipo de prueba a realizar.  
Fuente: Autores.

7. Luego se selecciona las características del motor.



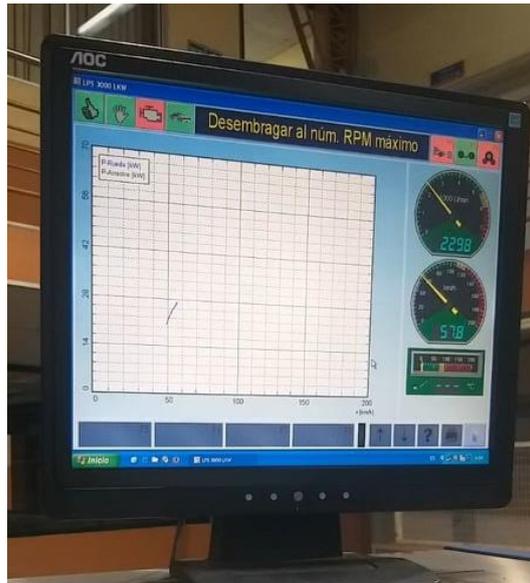
**Figura 40** Introducción de datos del motor.  
**Fuente:** Autores.

8. Se realiza la sincronización de 2000 RPM del motor con el banco, esto se da para verificar que el numero de RPM del vehículo sea el mismo que en el programa.



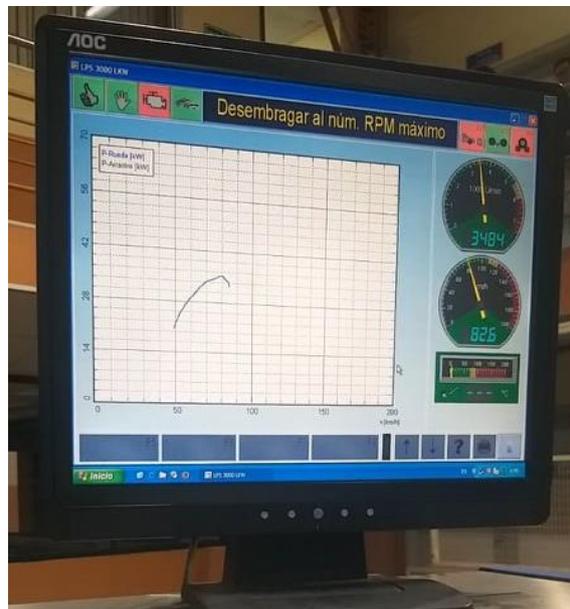
**Figura 41** Sincronización del motor con el banco.  
**Fuente:** Autores.

9. En 2da marcha pisar el acelerador hasta que el banco pida un cambio de marcha, en ese momento se cambia a 4ta marcha y se acelera.



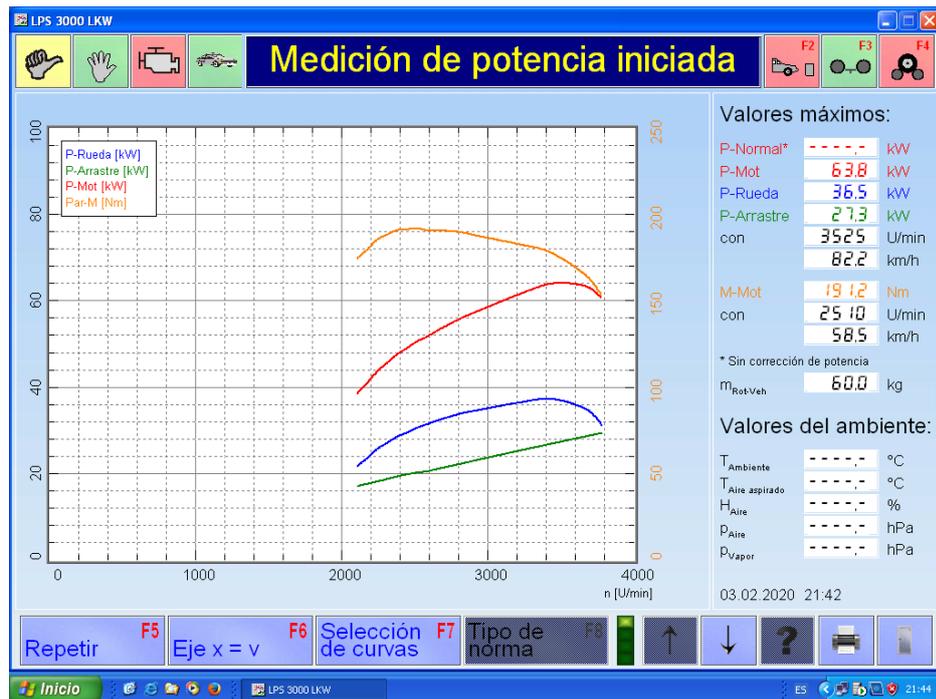
**Figura 42 Trazado de curva de potencia.**  
**Fuente: Autores.**

10. En el momento que el programa dibuje la curva de potencia y esta comience a descender se deja de acelerar, para que el programa pueda dibujar la curva de arrastre.



**Figura 43 Trazado de curva de arrastre.**  
**Fuente: Autores.**

11. Al terminar, el programa mostrara curvas y resultados de la prueba como:
- Curva Roja: Potencia normal.
  - Curva Verde: Potencia de arrastre.
  - Curva Amarilla: Potencia del motor.
  - Curva Azulada. Potencia de la rueda.



**Figura 44 Resultado de las curvas.**  
**Fuente: Autores.**

### Resultados pruebas de potencia.

Se realizaron 2 pruebas de potencia por cada mezcla diésel-butanol, es decir 2 pruebas para la mezcla de diésel con 0% de butanol, 2 pruebas para la mezcla de diésel con 5% de butanol, 2 pruebas para la mezcla diésel con 10% de butanol y 2 pruebas para la mezcla de diésel con 20% de butanol. Se realizaron 2 pruebas bajo el criterio de una tesis doctoral de la Universidad de Córdoba titulada “Análisis del comportamiento de mezclas de alcoholes superiores con gasóleo en motores diésel”.

### Pruebas de diésel con 0% de n-butanol

Los resultados de las primeras pruebas permiten observar el estado de potencia del vehículo solamente con diésel premium para posteriormente realizar una comparación con los demás resultados. Se detalla en la tabla 11 y en la tabla 12 los valores que el banco brindo en las dos pruebas realizadas, un promedio de las mismas y una gráfica para comprender los datos.

**Tabla 11 Resultados de potencia diésel con 0% de n-butanol.**  
**Fuente: Autores.**

Pruebas	Potencia Motor (kW)	Potencia Rueda (kW)	Potencia Arrastre (kW)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	63,8	36,5	27,3	3525	82,2
Prueba 2	63,3	36,1	27,2	3460	80,8
Promedio	63,55	36,3	27,25	3492,5	81,5

**Tabla 12 : Resultados de torque diésel con 0% de n- butanol.**  
**Fuente: Autores.**

Pruebas	Par Motor (Nm)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	191,2	2510	58,5
Prueba 2	189,3	2455	57,3
Promedio	190,25	2482,5	57,9

### **Pruebas de diésel con los diferentes porcentajes de n-butanol**

Enseguida, se visualiza las tablas 13, 14, 15, 16, 17 y 18 con los resultados conseguidos de potencia y par motor del vehículo con los diferentes porcentajes de n-butanol, en donde se detalla los valores que genero el banco dinamométrico MAHA LS3000.

### **Pruebas de diésel con 5% de n-butanol**

**Tabla 13 Resultados de potencia diésel con 5% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Potencia Motor (kW)	Potencia Rueda (kW)	Potencia Arrastre (kW)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	61,5	34,7	26,9	3450	80,8
Prueba 2	61,9	35,3	26,6	3465	81,1
Promedio	61,7	35	26,75	3457,5	80,95

**Tabla 14 Resultados de torque diésel con 5% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Par Motor (Nm)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	185,5	2535	59,4
Prueba 2	186,2	2400	56,2
Promedio	185,85	2467,5	57,8

### Pruebas de diésel con 10% de n-butanol

**Tabla 15 Resultados de potencia diésel con 10% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Potencia Motor (kW)	Potencia Rueda (kW)	Potencia Arrastre (kW)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	60,2	35	25,2	3395	80,9
Prueba 2	60,2	34,8	25,4	3395	80,9
Promedio	60,2	34,9	25,3	3395	80,9

**Tabla 16 Resultados de torque diésel con 10% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Par Motor (Nm)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	182,8	2750	65,5
Prueba 2	184,3	2525	60,2
Promedio	183,55	2637,5	62,85

### Pruebas de diésel con 20% de n-butanol

**Tabla 17 Resultados de potencia diésel con 20% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Potencia Motor (kW)	Potencia Rueda (kW)	Potencia Arrastre (kW)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	58,8	33,7	25,1	3365	81,1
Prueba 2	59,5	33,6	25,9	3400	81,9
Promedio	59,15	33,65	25,5	3382,5	81,5

**Tabla 18 Resultados de torque diésel con 20% de n-butanol.**  
Fuente: Autores.

Pruebas	Par Motor (Nm)	RPM (u/min)	Velocidad (km/h)
Prueba 1	180,3	2680	64,5
Prueba 2	181	2700	65
Promedio	180,65	2690	64,75

## 2.4. PROTOCOLO DE PRUEBAS DE GASES DE COMBUSTIÓN Y OPACIDAD

Para obtener el ensayo de medición de emisiones se utilizó el analizador E6000 de la marca E-Instruments de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, a continuación, se resume detalladamente la identificación y conexión de los componentes del analizador de gases.

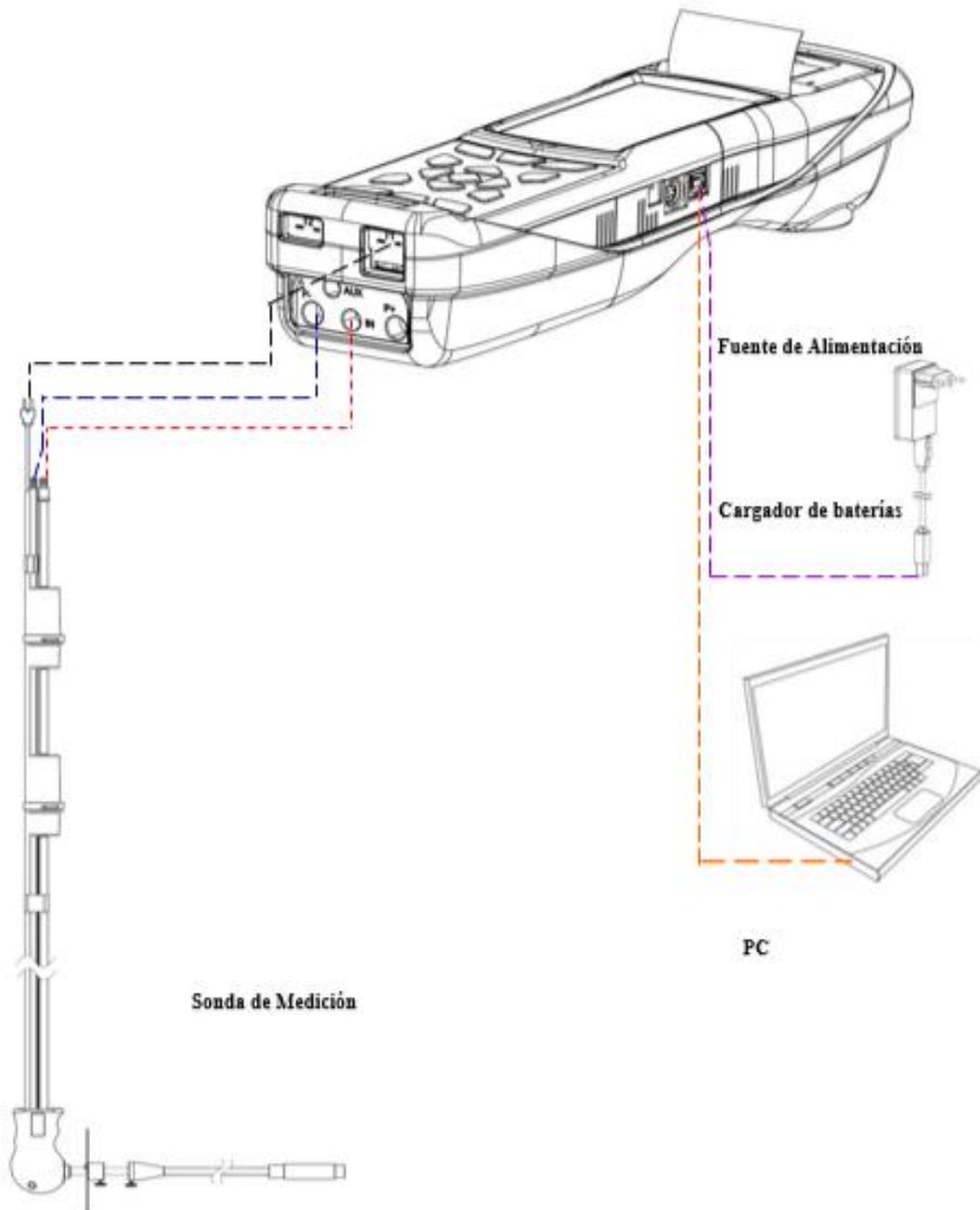
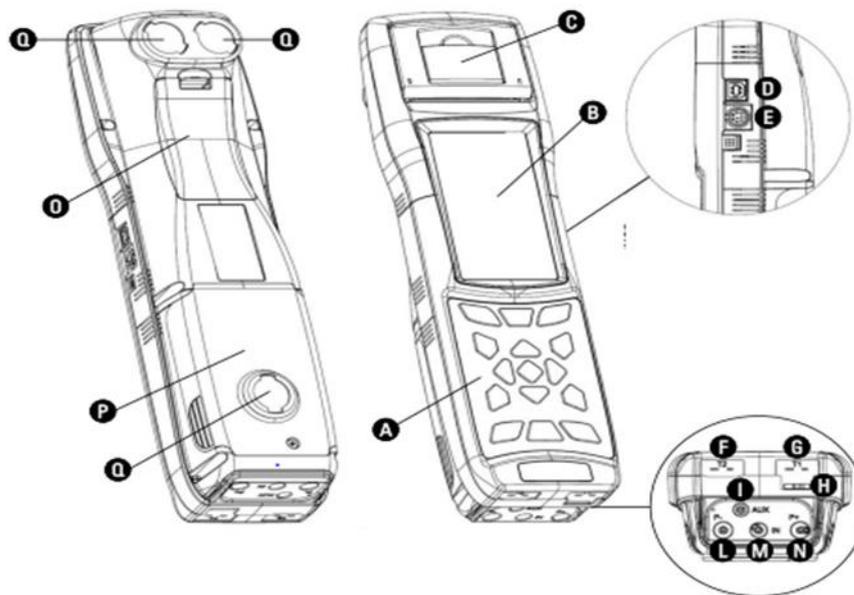


Figura 45 Conexión del analizador de gases al ordenador.  
Fuente: .



**Figura 46 Componentes del analizador de gases E6000.**

Fuente: .

**A. Teclado:** Teclado adherente de poliéster, teclas preformadas con funciones de control fundamentales.

**B. Monitor:** Permite ver los parámetros medidos en el formato más cómodo; muestra los valores medidos en forma ampliada.

**C. Impresora.**

**D. Conector USB.**

**E. Conector sondas auxiliares.**

**F. Conector 'T2':** Se utiliza para enlazar el tapón de Tc-K del conducto de temperatura de aire de combustión.

**G. Conector 'T1':** Se utiliza para enlazar el conector macho Tc-K del conducto de temperatura del gas.

**H. Salida de Gas.**

**I. Conector 'AUX':** Entrada para sondas externas opcionales.

**L. Conector neumático 'P-':** Entrada de presión negativa (P-): utilizada para medir corrientes de aire según la norma UNI10845; se conecta a la segunda manguera (con

el conector neumático más grande) de la sonda de muestra para medición simultánea de borrarros y análisis de combustión.

**M. Conector Automático 'IN':** Entrada para la unión de la rama del conducto de muestreo de gas con la condensación separando y conjunto de filtro anti polvo.

**N. Conector neumático 'P +':** Entrada positiva (P +): utilizado para la medición de presión, así como para el ensayo de fugas.

**O. Cubierta de compartimiento de las pilas de acceso.**

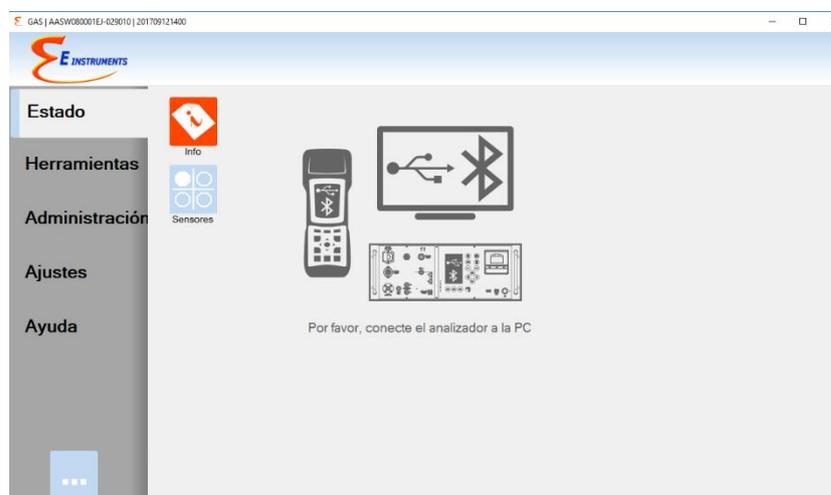
**P. Cubierta para el compartimiento de cubetas de acceso.**

**Q. Imanes.**

**R. Etiqueta de datos del instrumento.**

Para la adquisición de datos se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Instalar el Software del analizador E6000 en el ordenador y abrir el programa.



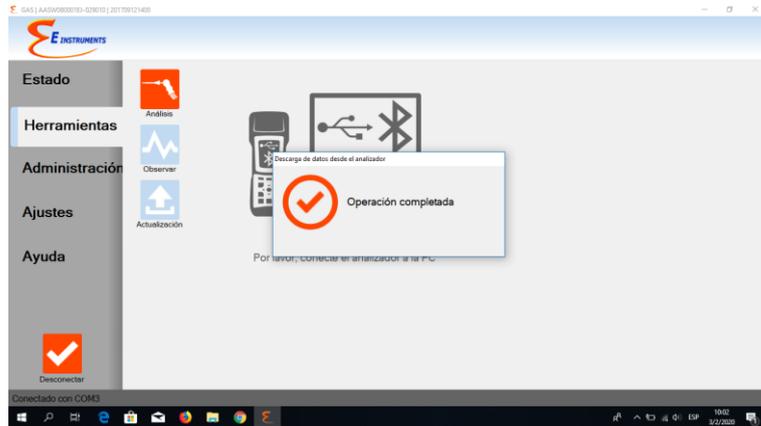
**Figura 47** Pantalla de inicio del programa de análisis de gases.

**Fuente:** Autores.

2. Encender el Analizador de gases de combustión E6000.

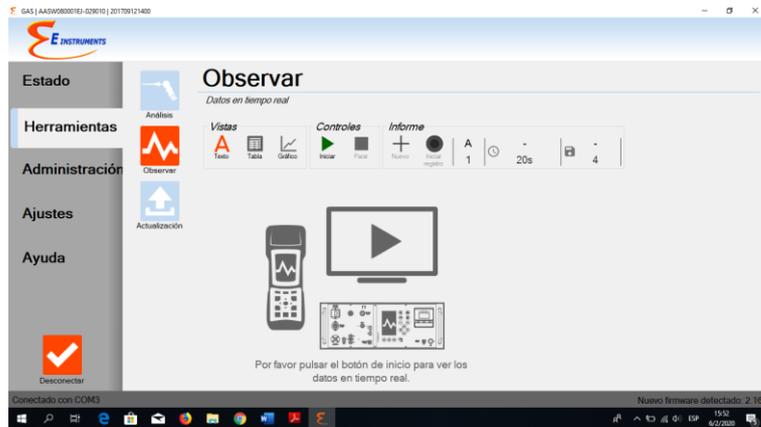
3. Presionar el botón de auto cero.

4. Conectar el cable USB del analizador al ordenador y vincular el analizador al programa en el ordenador.



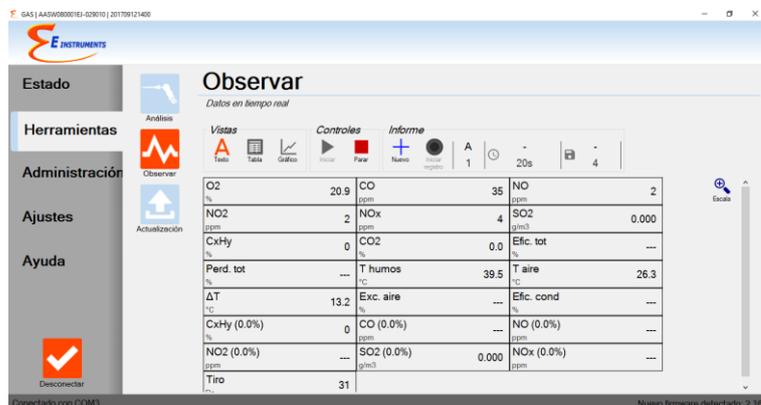
**Figura 48 Conexión del equipo al ordenador.**  
Fuente: Autores.

5. Hacer clic en la opción herramientas e ir al icono “Observar”.



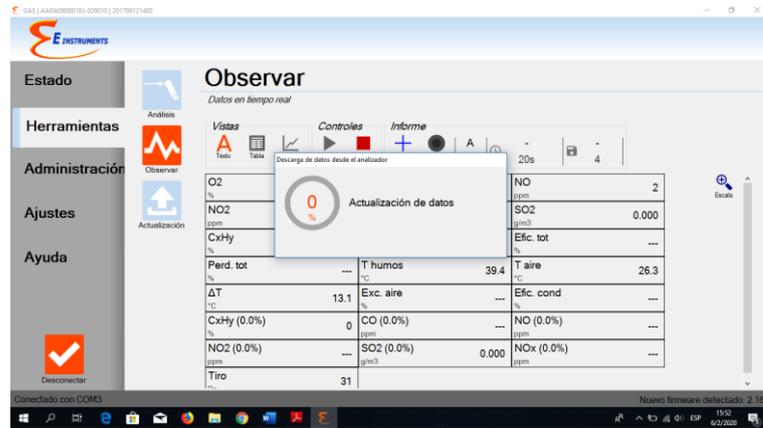
**Figura 49 Interfaz de inicio del análisis.**  
Fuente: Autores.

6. Hacer clic en el icono de iniciar y se visualizara un cuadro con los gases y las mediciones.



**Figura 50 Medición en tiempo real de gases de combustión.**  
Fuente: Autores.

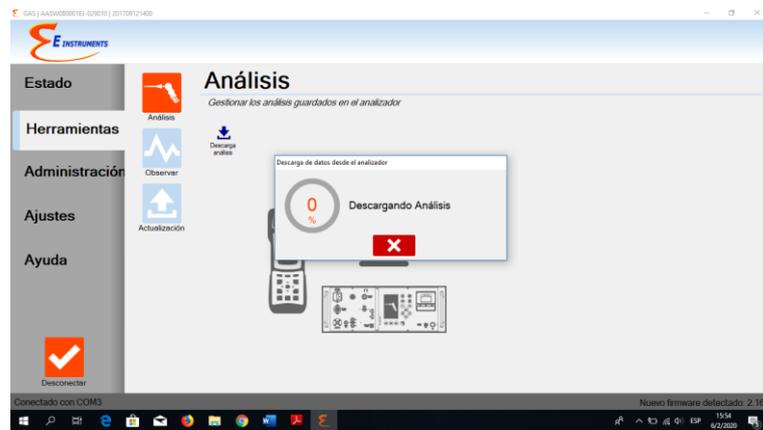
7. Para generar un informe, hacer clic en el icono “+” seguido de iniciar registro.



**Figura 51 Inicio de registro de datos.**  
Fuente: Autores.

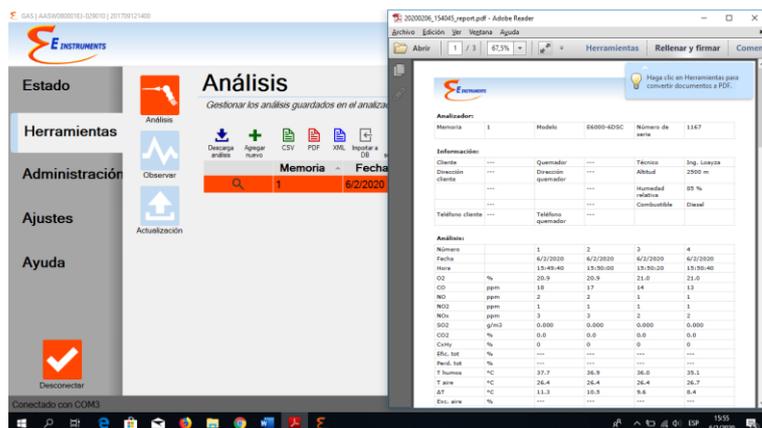
8. Se realiza un informe de cuatro pruebas con 20 segundos de medición cada una según el método de pruebas UNI 10389-1.

9. Para descargar el informe, dar clic en el icono “análisis” seguido de “descarga análisis”.



**Figura 52 Descarga del informe generado.**  
Fuente: Autores.

10. Seleccionar la prueba y descargar el informe con el formato de su conveniencia, entre estos están (CSV, PDF, XML).



**Figura 53 Generación del informe en formato PDF.**  
Fuente: Autores.

La toma de datos se da por el método UNI 10389-1, que recoge una serie de datos en 4 columnas durante 80 segundos con intervalos de 20 segundos cada uno y se repite 2 veces más el mismo proceso, dando como resultado lo siguiente:

Desde la tabla 19 hasta la tabla 23 se visualiza los datos del analizador de gases con el vehículo a ralentí.

**Tabla 19 Resultados de emisiones con B0 en ralentí.**  
Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	19,2	19,2	19,4	19,29
CO	302,75	304,25	298	301,67
NO	82,5	84,5	83	83,33
NO2	36,75	35,25	35	35,67
NOx	119,25	120	115,75	118,33
SO2	0	0	0	0
CO2	1,3	1,25	1,1	1,22

**Tabla 20 Resultado de emisiones con B5 en ralentí.**  
Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	19,68	19,70	19,68	19,68
CO	361,75	356,00	359,00	358,92
NO	36,00	36,00	35,75	35,92
NO2	21,00	23,50	21,75	22,08
NOx	57,00	57,50	55,00	56,50
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,95	1,00	1,00	0,98

**Tabla 21 Resultado de emisiones con B10 en ralenti.**  
Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	19,28	19,65	19,75	19,56
CO	352,75	255,25	215,50	274,50
NO	89,25	70,25	64,50	74,67
NO2	40,25	34,25	30,50	35,00
NOx	129,50	104,50	95,00	109,67
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	1,25	0,95	0,85	1,02

**Tabla 22 Resultado de emisiones con B20 en ralenti.**  
Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	19,83	20,03	18,10	19,32
CO	284,25	222,50	621,75	376,17
NO	50,50	54,25	157,75	87,50
NO2	28,00	25,50	81,00	44,83
NOx	78,50	79,75	238,75	132,33
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,80	0,70	2,13	1,21

**Tabla 23 Resultado general de las emisiones en ralenti con B0, B5, B10 y B20.**  
Fuente: Autores.

	V. PROMEDIO TOTAL 0%	V. PROMEDIO TOTAL 5 %	V. PROMEDIO TOTAL 10 %	V. PROMEDIO TOTAL 20 %
O2	19,29	19,68	19,56	19,32
CO	301,67	358,92	274,50	376,17
NO	83,33	35,92	74,67	87,50
NO2	35,67	22,08	35,00	44,83
NOx	118,33	56,50	109,67	132,33
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	1,22	0,98	1,02	1,21

Desde la tabla 24 hasta la tabla 28 se visualiza los datos del analizador de gases con el vehículo a máxima revolución.

**Tabla 24 Resultado de emisiones con B0 en plena carga.**

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	18,03	18,03	18,10	18,11
CO	979,25	980,00	979,25	979,50
NO	121,00	119,75	122,00	120,92
NO2	65,75	64,75	65,25	65,25
NOx	186,75	184,25	183,75	184,92
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	2,20	2,25	2,20	2,22

**Tabla 25 Resultado de emisiones con B5 en plena carga.**

Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	17,30	17,35	17,28	17,31
CO	1646,50	1691,00	1646,25	1661,25
NO	105,00	98,00	107,00	103,33
NO2	87,25	80,50	85,00	84,25
NOx	192,25	176,50	187,75	185,50
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	2,73	2,55	2,60	2,63

**Tabla 26 Resultado de emisiones con B10 en plena carga.**

Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
O2	17,15	18,60	18,40	18,05
CO	1870,75	1637,50	1266,00	1591,42
NO	84,50	70,75	83,00	79,42
NO2	79,75	58,75	65,25	67,92
NOx	164,25	129,50	148,25	147,33
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	2,85	1,75	1,90	2,17

**Tabla 27 Resultado de emisiones con B20 en plena carga.**

Fuente: Autores.

Gases	PROMEDIO PRUEBA 1	PROMEDIO PRUEBA 2	PROMEDIO PRUEBA 3	PROMEDIO GENERAL
-------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------

O2	18,08	18,50	18,53	18,37
CO	1587,50	1651,75	1476,25	1571,83
NO	58,75	55,25	53,75	55,92
NO2	73,25	47,25	52,75	57,75
NOx	132,00	102,50	106,50	113,67
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	2,13	1,83	1,78	1,91

**Tabla 28 Resultado general de las emisiones en plena carga con B0, B5, B10 y B20.**  
Fuente: Autores.

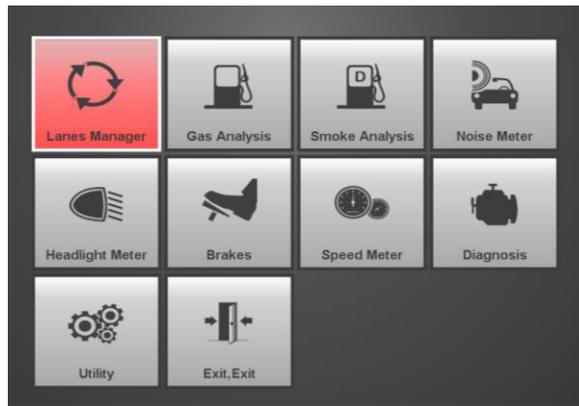
Gases	V. PROMEDIO TOTAL 0%	V. PROMEDIO TOTAL 5 %	V. PROMEDIO TOTAL 10 %	V. PROMEDIO TOTAL 20 %
O2	18,11	17,31	18,05	18,37
CO	979,50	1661,25	1591,42	1571,83
NO	120,92	103,33	79,42	55,92
NO2	65,25	84,25	67,92	57,75
NOx	184,92	185,50	147,33	113,67
SO2	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	2,22	2,63	2,17	1,91

## 2.5. PRUEBAS DE OPACIDAD

Al igual que las demás pruebas se realizó un ensayo algorítmico para garantizar que los datos obtenidos sean fiables. Esta prueba se realizó de forma externa en un laboratorio de especialización en diésel.

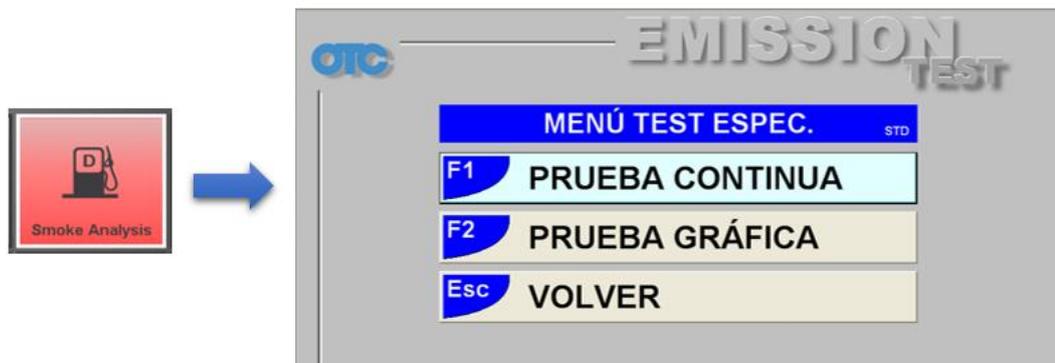
El equipo para realizar las pruebas es el opacímetro OTC y tiene un software de adquisición de datos llamado “Emission test”, cuenta con una interfaz didáctica donde se puede observar los tipos de pruebas que se pueden realizar entre estas la opacidad. Ahora, se especifica la manera para la adquisición de datos.

1. Abrir el programa Emission test, se generará una interfaz con iconos didácticos.



**Figura 54** Pantalla de inicio del programa Emission test.  
Fuente: Autores.

2. Dar clic en el icono “Smoke Analysis” y se abrirá una ventana donde se visualiza las opciones del tipo de prueba a realizar estas son continua y gráfica.



**Figura 55** Interfaz del programa emission test.  
Fuente: Autores.

3. Si se escoge la prueba continua aparecerá una ventana en la cual indica los pasos para realizar la misma, la cual dicta lo siguiente:

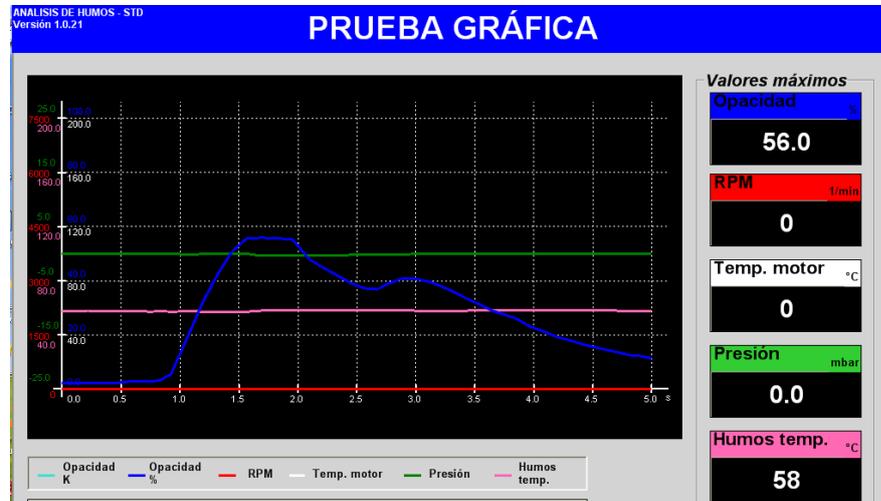
- a. Insertar la sonda de medición en el escape del vehículo.
- b. Esperar hasta que el programa establezca los datos de medición.
- c. Da la instrucción de acelerar a fondo y parar por tres pruebas consecutivas cada una de ellas con un lapso de 5 segundos generando varios datos, pero solo visualiza el valor pico de medición.



**Figura 56 Prueba continua de opacidad.**  
Fuente: Autores.

4. Si se escoge la prueba grafica aparecerá una ventana en la cual nos indica los pasos para realizar la prueba entre estos tenemos:

- a. Insertar la sonda de medición en el escape del vehículo.
- b. Esperar hasta que el programa estabilice los datos de medición.
- c. Da la instrucción de acelerar a fondo y parar por una ocasión generando una gráfica que representa la opacidad respecto a las revoluciones del motor.



**Figura 57 Prueba grafica de opacidad.**  
Fuente: Autores.

5. Una vez realizadas las pruebas se obtuvo lo siguiente:

Se realizaron varias pruebas consecutivas del tipo gráfico, pero para los resultados se tomó los valores más altos de cada uno de los porcentajes. La tabla 29 visualiza los resultados de opacidad por cada mezcla.

**Tabla 29 Resultados obtenidos de opacidad por mezcla.**

**Fuente: Autores.**

<b>Porcentaje de mezcla</b>	<b>Medición (%)</b>
<b>100% de diésel con 0% de n-butanol.</b>	<b>56.0</b>
<b>95% de diésel con 5% de n-butanol.</b>	<b>47.6</b>
<b>90% de diésel con 10% de n-butanol.</b>	<b>30.6</b>
<b>80% de diésel con 20% de n-butanol.</b>	<b>26.7</b>

## **2.6 PRUEBA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS DIFERENTES PORCENTAJES DE DIÉSEL CON N-BUTANOL**

Se procede a realizar el análisis con la finalidad de visualizar la variación de las propiedades del combustible al mezclar con los diferentes porcentajes de n-butanol.

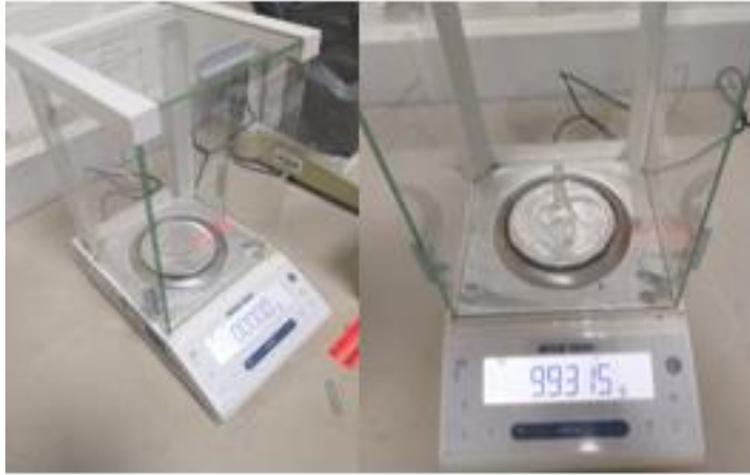
Los análisis fueron realizados en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca en el laboratorio de química exterior en la facultad de Ingeniería en Biotecnología.

Los resultados de las pruebas están resumidos desde la tabla 30 hasta la tabla 35 por parámetros para realizar una comparación entre los diferentes porcentajes de mezclas de diésel con n-butanol.

### **2.6.1. DENSIDAD DE LOS COMBUSTIBLES**

#### **PROPIEDADES DEL DIÉSEL**

Para encontrar la densidad en las diferentes mezclas de diésel con n-butanol se recurrió a la formula  $\rho = m/v$ , para ello se tuvo que encontrar la masa del diésel con los diferentes porcentajes de n-butanol utilizando una balanza electrónica y se utilizó un picnómetro de 5 mililitros de volumen y se procedió a medir la masa del mismo.



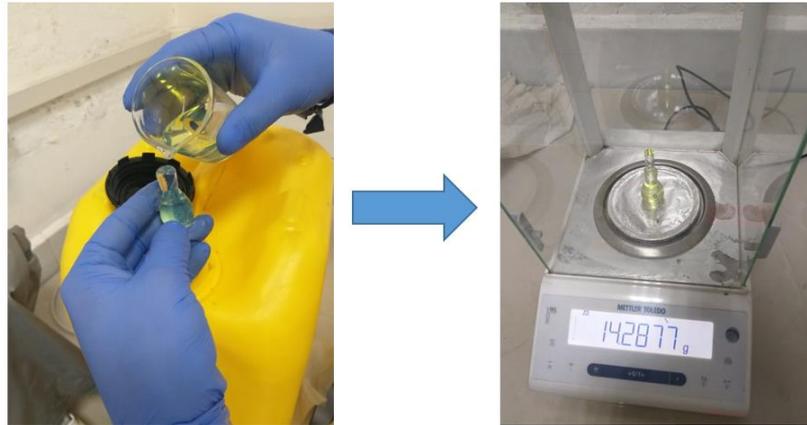
**Figura 58 Balanza electrónica y picnómetro.**  
Fuente: Autores

**Tabla 30 Resultados de masa y volumen del picnómetro.**  
Fuente Autores

Datos Generales	Valor
Masa del picnómetro [g]	9,9315
Volumen del picnómetro [ml]	5

### **2.6.2. DENSIDAD DEL DIÉSEL CON 0% DE N-BUTANOL (B0).**

Para encontrar la densidad del diésel con 0% de n-butanol se llenó el picnómetro con diésel seguidamente se mide en la balanza y se obtiene la masa del diésel con ello se realiza la operación matemática con la fórmula especificada anteriormente para obtener los resultados de masa y densidad.



**Figura 59 Masa del combustible B0.**  
Fuente: Autores.

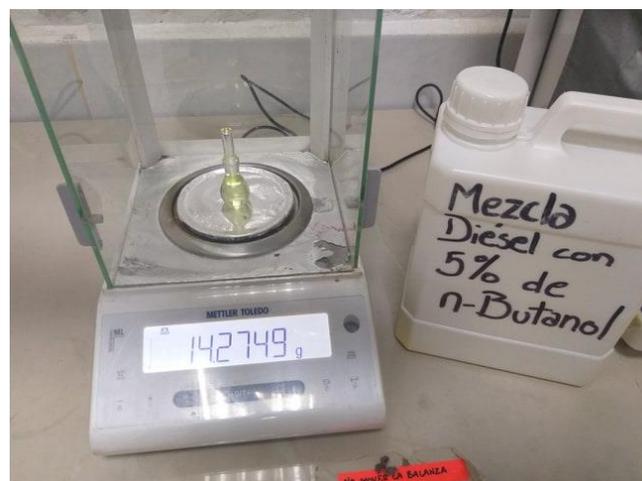
Una vez realizado el proceso anterior se obtiene los siguientes resultados.

**Tabla 31 Masa y densidad del B0.**  
Fuente: Autores.

B0	Valor
Masa del picnómetro y del B0 [g]	14,2877
Densidad del B0	0,87046

### 2.6.3. DENSIDAD DEL DIÉSEL CON 5% DE N-BUTANOL (B5).

Para obtener la densidad del diésel con el 5% de n-butanol se realiza el mismo proceso mencionado para el B0, obteniendo los siguientes resultados:



**Figura 60 Masa del combustible B5.**  
Fuente: Autores.

**Tabla 32 Masa y densidad del combustible B5.  
Fuente Autores.**

<b>B5</b>	<b>Valor</b>
Masa del picnómetro y del B5 [g]	14,2749
Densidad del B0	0,86868

#### **2.6.4. DENSIDAD DEL DIÉSEL CON 10% DE N-BUTANOL (B10).**

Nuevamente se realiza la medición de masa de la mezcla de diésel con 10% n-butanol para obtener su densidad.



**Figura 61 Masa del combustible B10.  
Fuente: Autores.**

**Tabla 33 Masa y densidad del combustible B10.  
Fuente: Autores.**

<b>B10</b>	<b>Valor</b>
Masa del picnómetro y del B10 [g]	14,2677

Densidad del B0

0,86722

### 2.6.5. DENSIDAD DEL DIÉSEL CON 20% DE N-BUTANOL.

Por último, se obtuvo la masa de la mezcla de diésel con 20% de n-butanol y a su vez encontrar la densidad del mismo.



**Figura 62** Masa del combustible B20.  
Fuente Autores.

**Tabla 34** Masa y densidad del combustible B20.  
Fuente: Autores.

B20	Valor
Masa del picnómetro y del B20 [g]	14,2554
Densidad del B20	0,86478

## 2.7. PRUEBA DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN DEL DIÉSEL

La temperatura a la que un líquido se inflama es una agrupación de aspectos en que una sustancia produce vapores que al unirse con el aire se quemarían, el punto de inflamación de un combustible oscila entre los 40 a 70 grados Celsius.

Para encontrar el punto de inflamación de los diferentes porcentajes de diésel con n-butanol se procede a realizar un ensayo para cada mezcla. Se utiliza un equipo de protección contra incendios de la Universidad Politécnica Salesiana para encontrar en grados Celsius el punto de inflamación de cada mezcla de diésel con n-butanol.



**Figura 63 Equipo contra incendios.**  
**Fuente: Autores.**

Los instrumentos que se utilizaron para realizar el ensayo fueron:

- Un mechero a base de gas.
- Un termómetro.
- Una vasija de acero.
- Un encendedor.

### 2.7.1 PUNTO DE INFLAMACIÓN DIÉSEL CON 0% DE N-BUTANOL

Para encontrar el punto de inflamación se basó en el principio de copa abierta de Cleveland que sirve para obtener la temperatura de inflamación del líquido a prueba. Se calienta la copa de acero, y con la ayuda del termómetro se visualiza la temperatura del diésel y con el encendedor se prueba en qué punto el diésel comienza a producir vapores.



**Figura 64 Principio de Cleveland.**  
Fuente: Autores.

Se realizó tres pruebas para hallar el punto de inflamación de los combustibles B0, B5, B10 y B20 dando como resultado lo siguiente:

**Tabla 35 Resultados del punto de inflamación de los combustibles.**  
Fuente Autores.

Pruebas	Medida	B0	B5	B10	B20
Prueba 1	°C	55	37	31	29
Prueba 2	°C	53	36	33	27
Prueba 3	°C	54	35	32	28
Promedio	°C	54	36	32	28

## 2.8. PRUEBA DEL PUNTO DE TURBIDEZ

El punto de turbidez es la temperatura en la que una aleación comienza separarse en dos sustancias creando un aspecto turbio capaz de espesar el combustible. Para encontrar el punto turbidez de las mezclas de diésel con n-butanol se procedió a realizar un ensayo para cada mezcla. Se utilizó un turbidímetro de la Universidad Politécnica Salesiana para encontrar en grados Celsius el punto de enturbiamiento de cada mezcla de diésel con n-butanol.

Se observó que para los cuatro tipos de combustibles el punto de enturbiamiento era menor a cero grados celsius.



**Figura 65 Resultado del punto de turbidez de los combustibles.  
Fuente: Autores.**

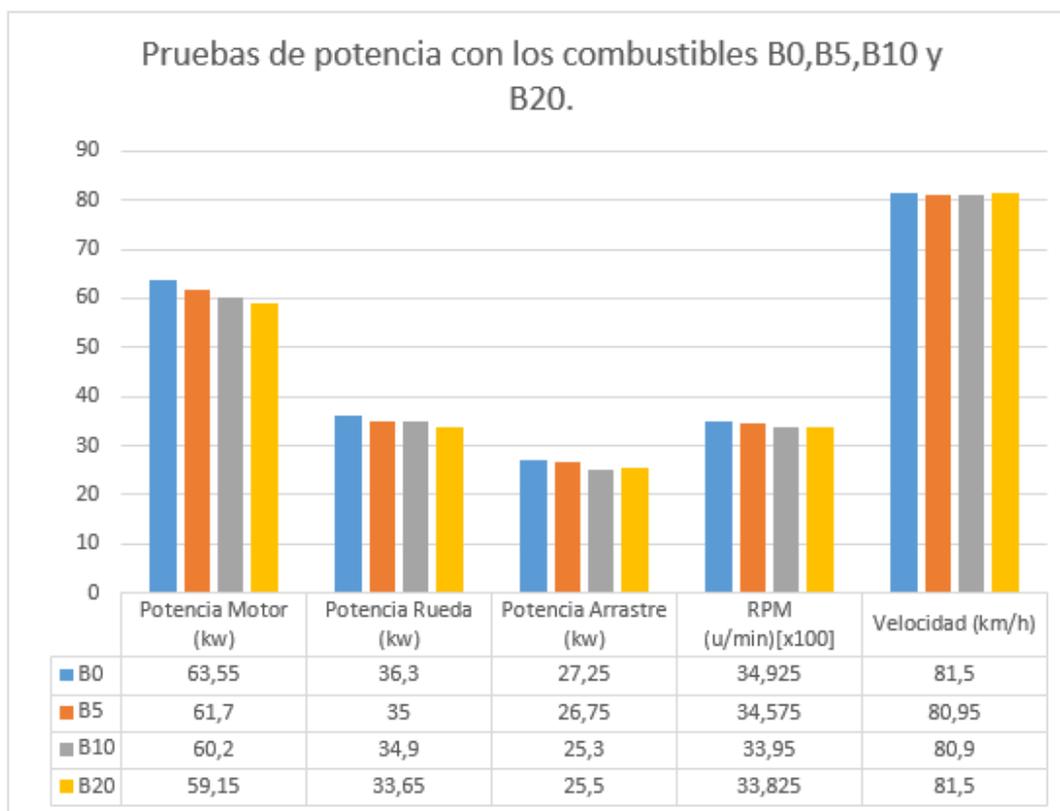
## FASE 3: ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

En esta etapa se detallan los efectos de la utilización de mezclas diésel-butanol reflejados en las pruebas experimentales que se detallaron anteriormente. En la gráfica 1 se observa los parámetros tales como potencia y torque, emisiones y opacidad.

### 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE POTENCIA

Características	0%	5%	10%	20%
Potencia Motor (kW)	63,55	61,7	60,2	59,15
Potencia Rueda (kW)	36,3	35	34,9	33,65
Potencia Arrastre (kW)	27,25	26,75	25,3	25,5
RPM (u/min)	34,925	34,575	33,95	33,825
Velocidad (km/h)	81,5	80,95	80,9	81,5

Gráfica 1 Resultado Pruebas de potencia



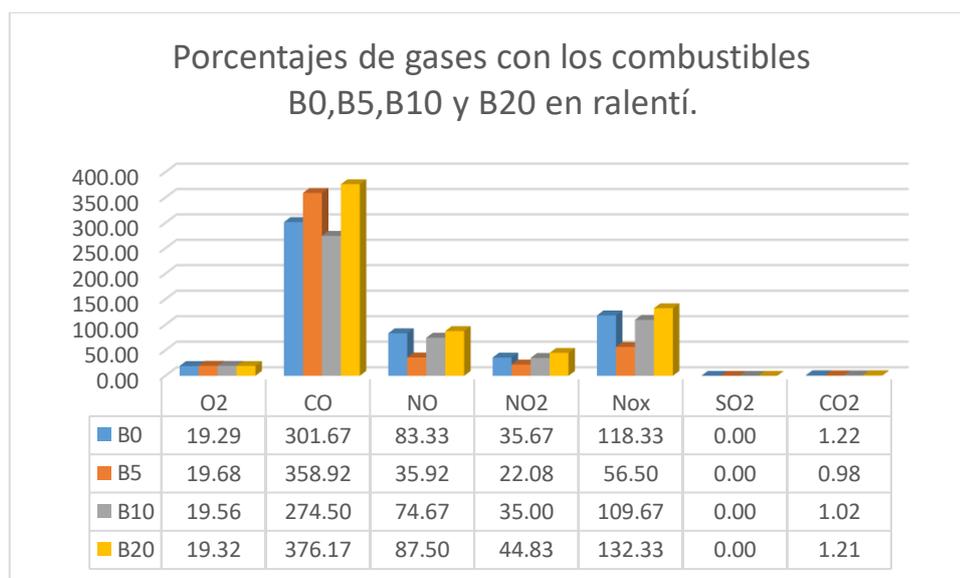
Gráfica 2 Resultados prueba de potencia con los combustibles B0, B5, B10 y B20.

Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la gráfica 2 la potencia disminuye en cada prueba con sus diferentes porcentajes de n-Butanol, siendo la línea base el combustible B0 es el que presenta un mejor comportamiento en el motor frente a los combustibles de prueba. El combustible B5 presenta una variación negativa del 3%, el combustible B10 muestra una variación del 5% y por último el combustible B20 comparte características similares de los combustibles anteriores disminuyendo el 7% en potencia frente a su valor de referencia.

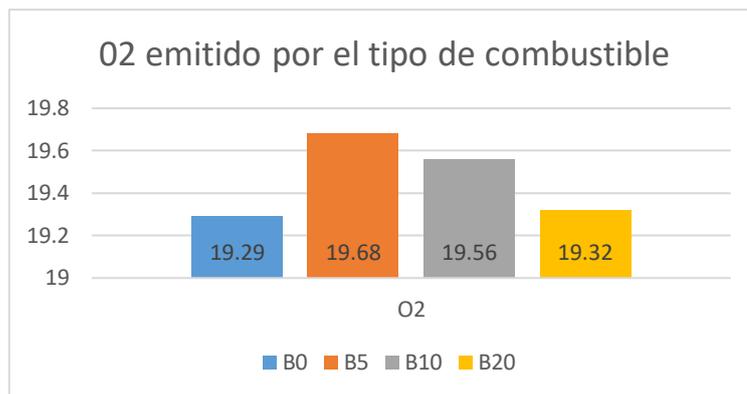
### 3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EMISIÓN DE GASES EN RALENTÍ

Se procede a analizar todos los parámetros de salida (gases), para determinar la causa del incremento o disminución del mismo, para una mejor percepción de los datos se presenta la gráfica 3 y la gráfica 4 de barras.



**Gráfica 3 Resultados de los porcentajes de gases a ralentí.  
Fuente: Autores.**

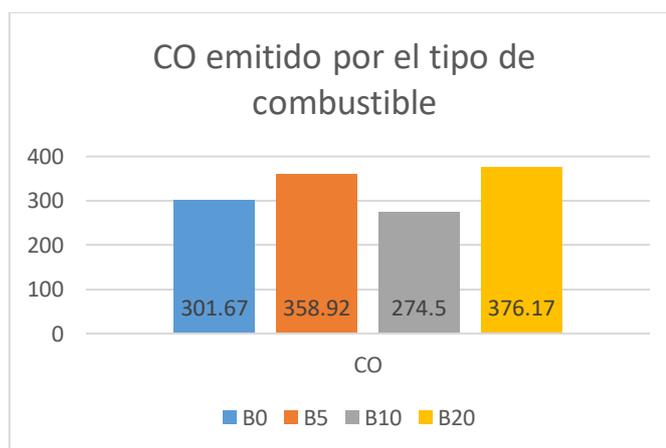
#### 3.2.1. ANÁLISIS DE O2



**Gráfica 4 Resultado de O2 emitido en ralentí.**  
Fuente: Autores.

El O2 aumenta en todos los porcentajes con respecto a su línea base, dando como resultado el incremento del 2% para el B5, 1,4% para el B10 y un 1,15% para el B20.

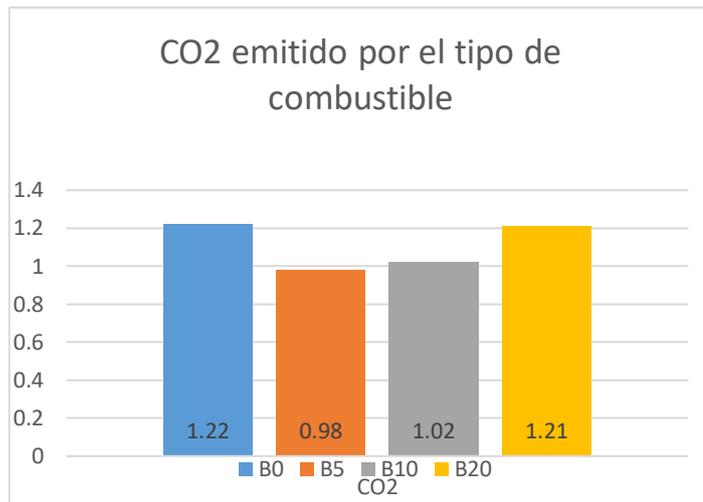
### 3.2.2. ANÁLISIS DE CO



**Gráfica 5 Resultado de CO emitido en ralentí.**  
Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la gráfica 5 el CO emitido varía con respecto a su referencia B0, dando como resultado el incremento del 19% para el B5, una disminución del 9% para el B10 y se eleva nuevamente un 25% para el B20.

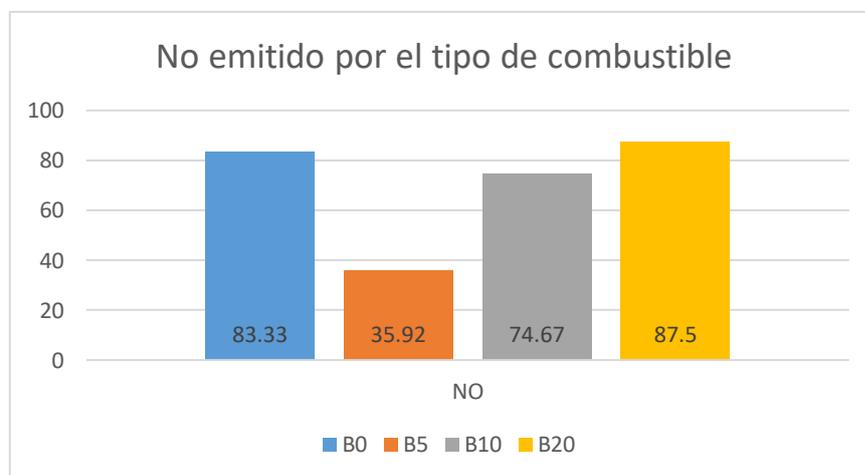
### 3.2.3. ANÁLISIS DE CO2



**Gráfica 6 Resultado e CO2 emitido en ralentí.**  
Fuente: Autores.

En el caso del CO2 en la gráfica 6 se puede notar la disminución en todos los porcentajes dando una Q del 20% para el B5, del 16% para el B10 y un 1% para el B20 frente al B0.

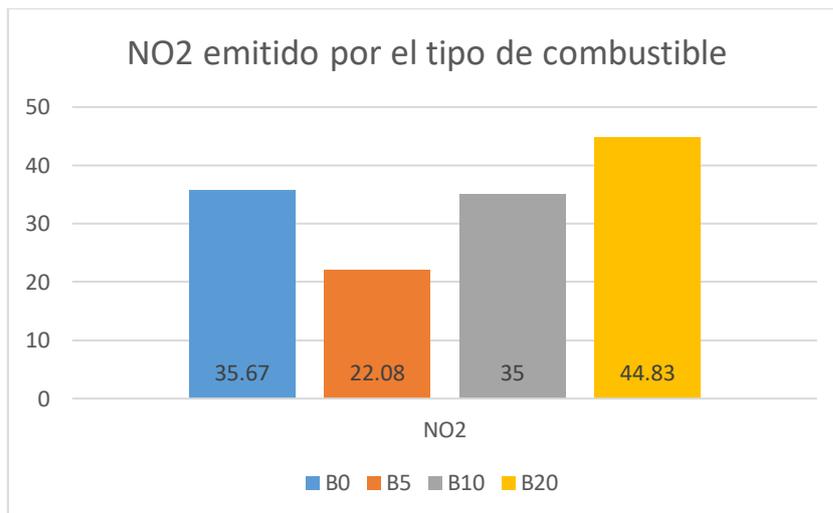
### 3.2.4. ANÁLISIS DE NO



**Gráfica 7 Resultado de NO emitido en ralentí.**  
Fuente: Autores.

El monóxido de nitrógeno (NO) en la gráfica 7 tiene una variación significativa del 67% para el B5, un 10% para el B10, mientras que el B20 sufre un incremento del 5%.

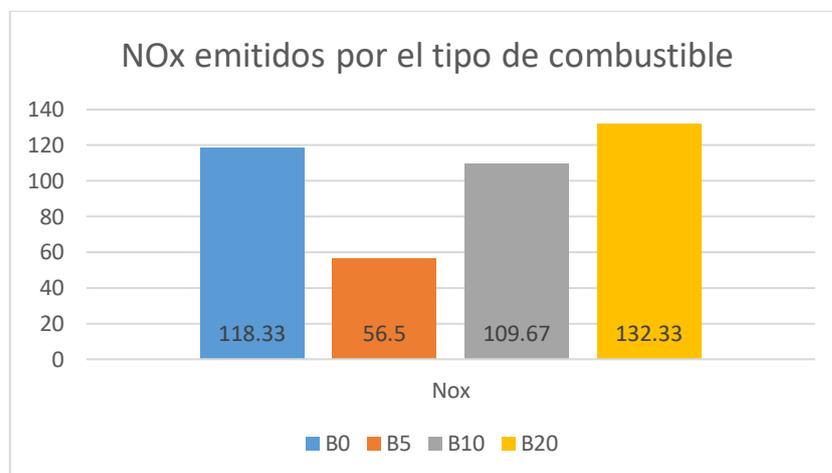
### 3.2.5. ANALISIS DE NO2



**Gráfica 8 Resultado de NO2 emitido en ralentí.**  
Fuente: Autores.

En la gráfica 8 los NO2 tienen un comportamiento similar a los resultados del NO dando un resultado una disminución del 38% para el B5, un 2% para el B10 y un incremento del 26% para la mezcla del B20.

### 3.2.6. ANÁLISIS DE NO<sub>x</sub>

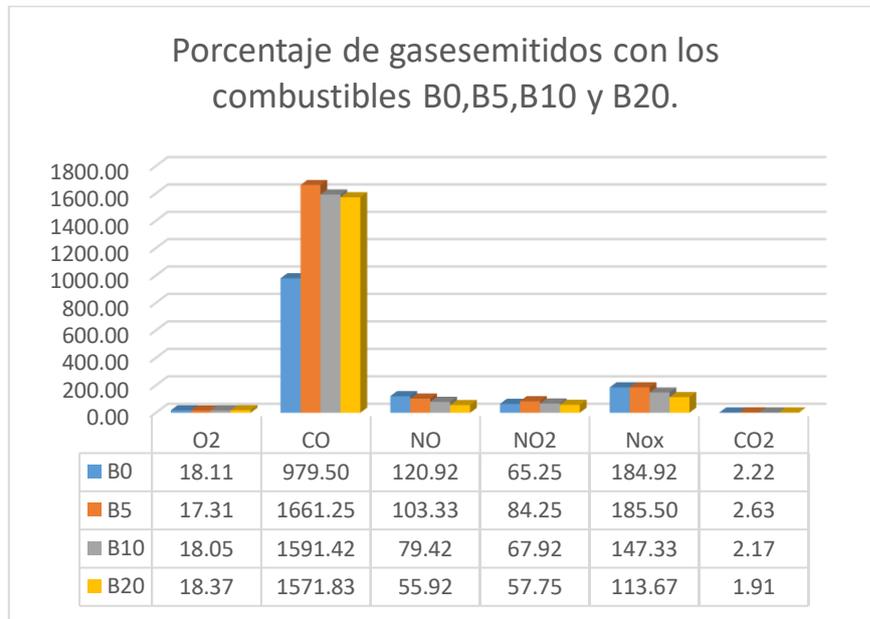


**Gráfica 9 Resultado de NOx emitido en ralentí.**  
Fuente Autores.

Y por último en la gráfica 9 los óxidos de nitrógeno actúan de forma similar con los gases anteriores, ya que son la suma del NO y NO<sub>2</sub>, dando una disminución del 62% para el B5, un 7% para el B10 y un aumento del 12% para el B20.

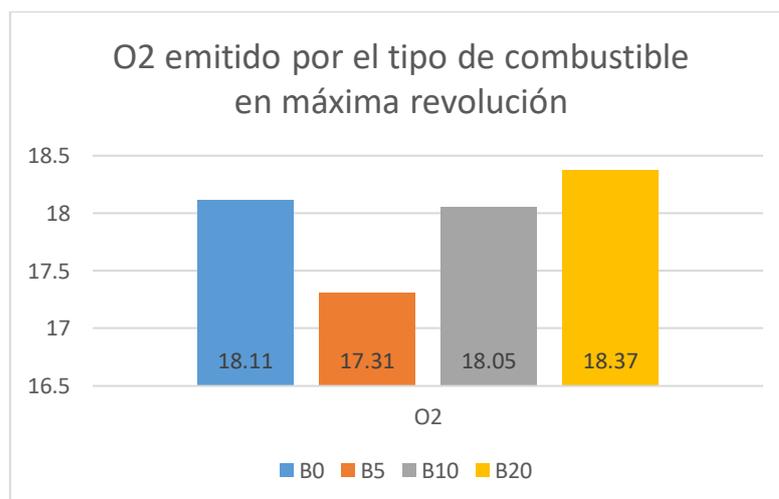
### 3.3. ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES EN MÁXIMA REVOLUCIÓN

Al igual que los resultados en ralentí en la gráfica 10 se analiza todos los gases de combustión para obtener resultados precisos y concretos del comportamiento del motor ante el tipo de combustible que utiliza para las pruebas.



**Gráfica 10** Resultado de gases emitidos en plena carga con los combustibles B0, B5, B10 y B20.  
Fuente: Autores.

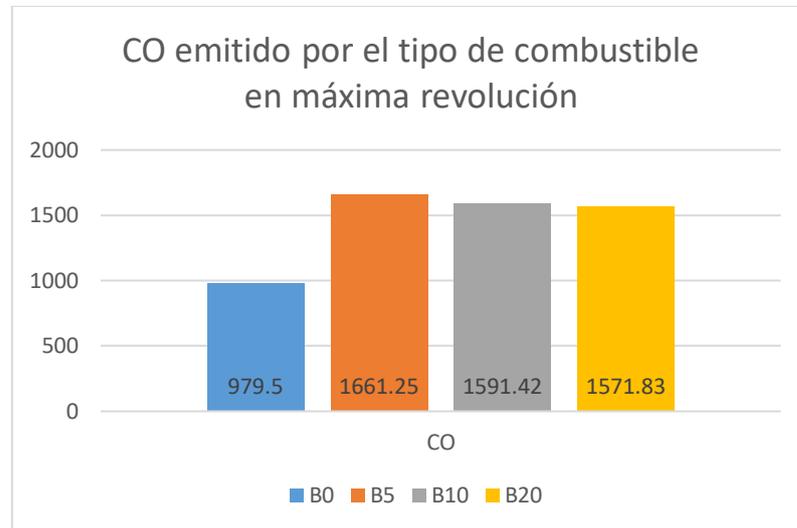
#### 3.3.1. ANÁLISIS DE O2



**Gráfica 11** Resultado de O2 emitido en plena carga.  
Fuente: Autores.

El O2 en la gráfica 11 varía en todos los porcentajes con respecto a su línea base, dando como resultado una disminución del 4,42% para el B5, 0,33% para el B10 y un incremento del 1,44% para el B20.

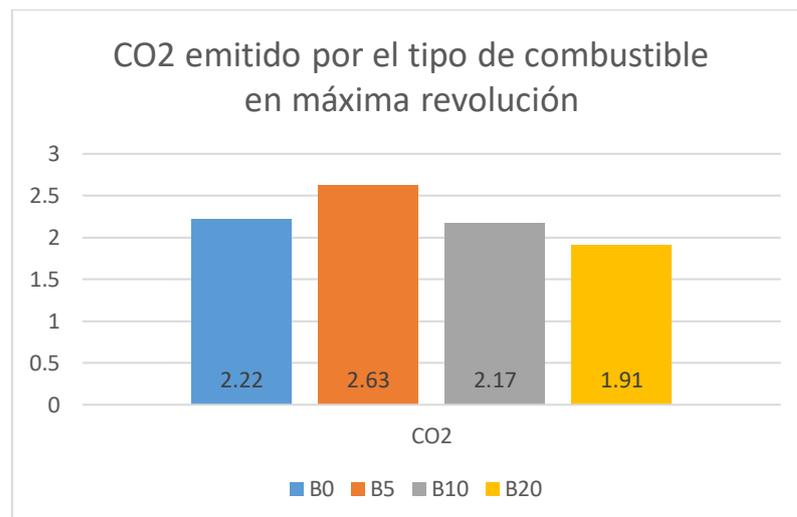
### 3.3.2. ANÁLISIS DE CO



**Gráfica 12 Resultado de CO emitido en plena carga.**  
Fuente: Autores.

La emisión de CO en la gráfica 12 aumenta en todos los porcentajes con respecto a su referencia B0, dando como resultado el incremento del 70% para el B5, un 62% para el B10 y un 60% para el B20.

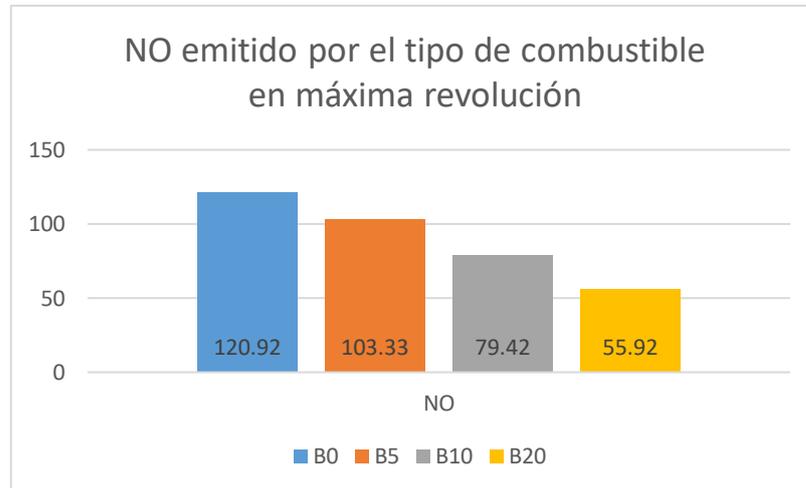
### 3.3.3. ANÁLISIS DE CO2



**Gráfica 13 Resultado de CO2 emitido en plena carga.**  
Fuente Autores.

En el caso del CO<sub>2</sub> en la gráfica 13 se puede notar una variación de incremento del 18% para el B5, y comienza una disminución del 2% para el B10 y un 14% para el B20 frente al B0.

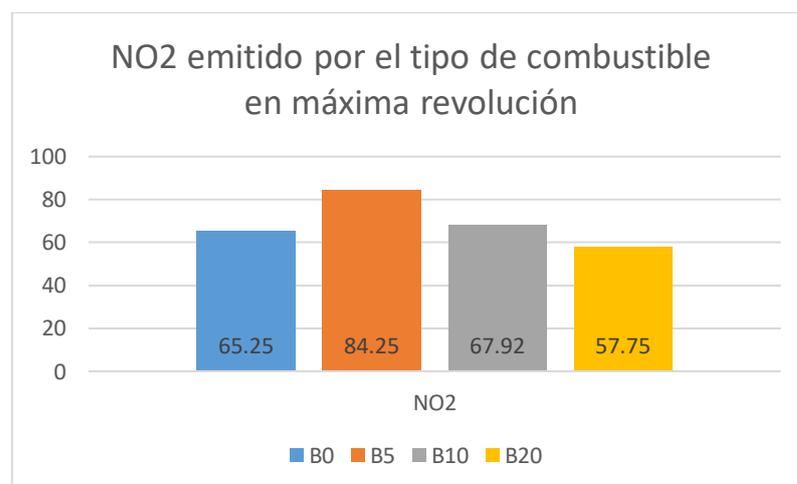
### 3.3.4. ANÁLISIS DE NO



**Gráfica 14 Resultado de NO emitido en plena carga.**  
Fuente: Autores.

En la gráfica 14 el monóxido de nitrógeno (NO) tiene una disminución progresiva para todos los porcentajes de mezclas con un del 15% para el B5, un 34% para el B10 y el 54% para el B20.

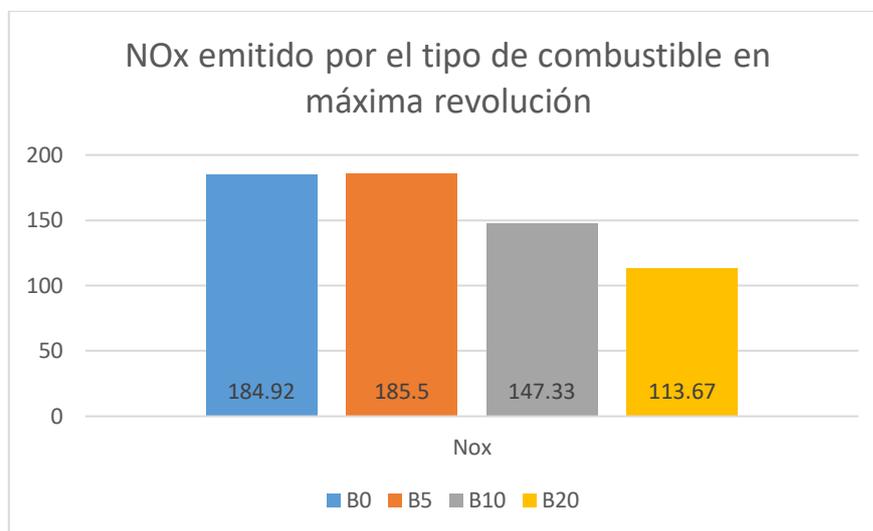
### 3.3.5. ANÁLISIS DE NO<sub>2</sub>



**Gráfica 15 Resultado de NO<sub>2</sub> emitido en plena carga.**  
Fuente: Autores.

El NO<sub>2</sub> en la gráfica 15 tiene un comportamiento diferente al NO, dando un resultado un aumento del 29% para el B5, un 4% para el B10 y una disminución del 11% para la mezcla del B20.

### 3.3.6. ANÁLISIS DE NO<sub>x</sub>



**Gráfica 16 Resultado de NO<sub>x</sub> emitido en plena carga.**  
Fuente: Autores.

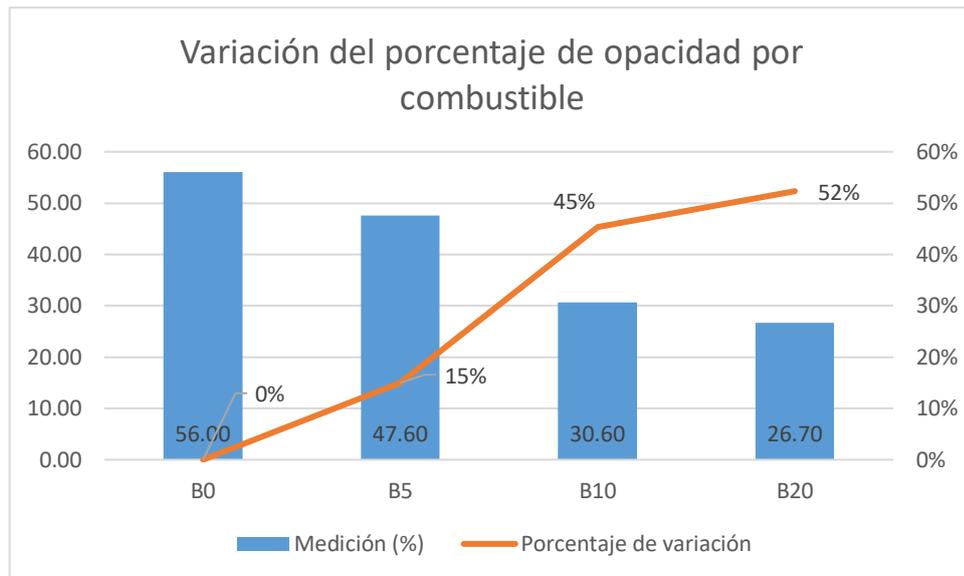
Y por último en la gráfica 16 los óxidos de nitrógeno su resultado se compensa con la suma de NO y NO<sub>2</sub>, para el B5 el porcentaje no varía lo que para el B10 disminuye un 20% y un 39% para el B20.

### 3.4. ANÁLISIS DE OPACIDAD

En la tabla 36 se visualiza un resumen de la medición de opacidad que se realizó en el vehículo con los diferentes porcentajes de n-butanol.

**Tabla 36 Resumen de opacidad en %.**  
Fuente: Autores.

Combustible	Medición (%)	Variación sobre la línea base	Porcentaje de variación
B0	56,00	0	0%
B5	47,60	-8,40	15%
B10	30,60	-25,40	45%
B20	26,70	-29,30	52%



**Gráfica 17 Variación del porcentaje de opacidad.**  
**Fuente: Autores.**

La gráfica 17 muestra la opacidad que disminuye en todos los porcentajes con respecto a su línea base B0, dando como resultado un 15% con B5, un 45% con el B10 y un 52% con la mezcla B20.

# CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el estudio del n-butanol y haber observado los resultados de las pruebas experimentales de cada porcentaje de mezcla diésel con n-butanol se llegó a las siguientes conclusiones.

1. Respecto a la potencia del motor se determinó lo siguiente:

- a. Con la mezcla diésel con 5% de n-butanol: la potencia disminuye 1.85kw, es decir el 3% en comparación del rendimiento del motor únicamente con diésel, también el par motor disminuye 4.4 Nm.
- b. Con la mezcla diésel con 10% de n-butanol: la potencia disminuye 3.35kw, un 5% en comparación del combustible diésel con 0% de n-butanol y el par motor disminuye 6.7 Nm.
- c. Con la mezcla diésel con 20% de n-butanol: la potencia disminuye 4.4kw, es decir 7% frente al valor de referencia de diésel sin n-butanol y el par motor disminuye 9.6Nm.
- d. Se observó que, en todas las pruebas realizadas con los diferentes porcentajes de mezclas, no hay mejoría de la potencia, por el contrario, se presenta una disminución, siendo el combustible B20 el que presenta una disminución considerada tanto en potencia como en par motor.

2. En cuanto al análisis de gases, algunos de los parámetros aumentaron y otros disminuyeron, por lo que se concluyó lo siguiente.

- a. En el O<sub>2</sub> se obtuvo un aumento en cada una de las 3 mezclas en todas las pruebas tanto en ralentí como a máximas revoluciones, esto se dio porque las propiedades del n-butanol especialmente en el punto de inflamación genera una mejor ignición del combustible y esto efectúa cambios en los gases de escape.
- b. Con respecto al CO en los combustibles B5 y B10 disminuye un 19% y 9% respectivamente, pero en el caso del combustible B20 aumenta un 25%, esto indica que la mezcla de diésel con 20% de n-butanol ya no es conveniente.
- c. En el CO<sub>2</sub> existe una disminución en todos los porcentajes, esto se da porque el O<sub>2</sub> aumenta por lo que químicamente el CO y el CO<sub>2</sub> deben disminuir.
- d. Con respecto al NO<sub>2</sub> tiene un comportamiento similar al CO ya que en los combustibles B5 y B10 su porcentaje disminuye un 38% y 2%

respectivamente, pero en el combustible B20 aumenta un 26% por lo que indica que el combustible B20 no es factible.

- e. El NO tiene un comportamiento similar al NO<sub>2</sub> y al CO ya que en los combustibles B5 y B10 disminuye 67% y 10% respectivamente, pero en el combustible B20 el NO aumenta 5%.
- f. En cuanto a los NO<sub>x</sub> disminuyen porque el NO y el NO<sub>2</sub> también disminuyen, los NO<sub>x</sub> al ser una suma de NO y NO<sub>2</sub> tienden a comportarse como los gases anteriores.

3. Respecto a la opacidad se concluye lo siguiente.

- a. Mientras más porcentaje de n-butanol se mezcle con diésel, la opacidad disminuye, pero la mezcla de diésel con 10% de n-butanol es interesante, ya que en comparación con el combustible B5 que disminuye el 15% la opacidad, el combustible B10 disminuye 45% la opacidad, lo que ya es un cambio positivo para el ambiente.
- b. En comparación del combustible B20 con el combustible B10, solamente hay una diferencia de 7% de disminución de opacidad, por lo que se llega a la conclusión que el combustible B10, es la mezcla adecuada, ya que tendría un costo menor en comparación al combustible B20 y los resultados son similares.

4. En cuanto al comportamiento del motor de encendido por compresión en general se concluyó lo siguiente.

- a. La mezcla diésel con 10% de n-butanol es el adecuado, porque no pierde demasiada potencia en comparación al combustible B20, no obstante, la pérdida de potencia del combustible B5 es menor que la del combustible B10, pero en cuanto a la disminución de emisiones de gases y opacidad, el combustible B10 tiene mayor efecto.
- b. El combustible B20 en comparación con el combustible B10, los resultados son similares en disminución de emisiones de gases y opacidad, pero el combustible B20 pierde una potencia ya considerable para el motor, además que el costo del combustible B20 es mayor en comparación con el combustible B10, por lo que se concluye que la mezcla diésel con 10% de n-butanol es el adecuado para el motor.

# RECOMENDACIONES

Luego de realizar esta investigación, se procede a realizar las siguientes recomendaciones.

1. Al haber utilizado diésel con n-butanol en un solo motor de encendido por compresión, los resultados son válidos solo para dicho vehículo, se debería efectuar las mismas pruebas, pero con vehículos que posean características iguales o diferentes al de este proyecto, de igual forma observar las ventajas y desventajas de los porcentajes de diésel- butanol.
2. Las mezclas de diésel-butanol se hicieron únicamente en 3 porcentajes diferentes, por lo que sería conveniente alterar la proporción de las mezclas para así, encontrar la adecuada y lograr un mejor resultado frente al de este trabajo.
3. Se recomienda que a futuro la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz instale un laboratorio de combustibles, para que los análisis de las propiedades de las diferentes mezclas sean específicos y por ende más precisos.
4. Para utilizar el banco dinamométrico MAHA LPS3000 y para el analizador de gases E6000 se recomienda utilizar el protocolo realizado en este trabajo, sin omitir ningún paso.
5. Realizar mantenimiento de los equipos para evitar daños que paralicen los proyectos que se estén realizando en ese momento.
6. Al haber utilizado n-butanol que es un alcohol altamente inflamable, sería interesante realizar un estudio de los daños que ocasiona a largo plazo el butanol en el sistema de alimentación de un motor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENGOA. (2013). *Informe Produccion Industrial* . New York.
- Alexis Cova, D. F. (2016). Efecto de la Sustitución Parcial de N-Butanol por un Isómero (Iso, Sec, Ter-Buoh) en el Autoencendido de Mezclas con Diésel/Biodiesel. *Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Venezuela*, 1.
- Blumberg, K. (2003). *GASOLINA Y DIESEL DE BAJO AZUFRE: LA CLAVE PARA DISMINUIR LAS EMISIONES VEHICULARES*. Hewlett.
- BNDES, & CGEE. (12 de Noviembre de 2008). Bioetanol de Caña de Azucar energia para el desarrollo sostenible. Rio de Janeiro, Brazil: CEPAL.
- CEPSA. (18 de Noviembre de 2019). Obtenido de <https://www.cepsa.es/es/utilidades/catalogo/gasoleo-b>
- CEPSA. (18 de Noviembre de 2019). Obtenido de <https://www.cepsa.es/es/utilidades/catalogo/gasoleo-calefaccion>
- CEPSA. (18 de Noviembre de 2019). *CEPSA ES* . Obtenido de [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Gasoleos/Ficheros\\_gasoleos/FICHA%20TECNICA%20GASOLEO%20A.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Gasoleos/Ficheros_gasoleos/FICHA%20TECNICA%20GASOLEO%20A.pdf)
- Dogan, Oguzhan. (2011). La influencia del n -butanol / combustible diesel combina la utilización en el rendimiento y las emisiones de un motor diesel pequeño. *ELSEVIER*, 2467-2472.
- EA Ajav, B. S. (14 de Octubre de 1999). Estudio experimental de algunos parámetros de rendimiento de un motor diesel estacionario de velocidad constante que utiliza mezclas de etanol y diesel como combustible. *ELSEVIER*, 357-365.
- Fernández, J. C. (2015). Análisis del comportamiento de mezclas de alcoholes. *Universidad de Cordova*, 31.
- Fernandez, J. C. (21 de Noviembre de 2015). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE ALCOHOLES SUPERIORES CON GASOLEO EN MOTORES DIESEL. *Tesis Doctoral*. Córdoba , Argentina : Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Fernando Gómez, J. V. (2016). Factibilidad del uso de mezclas de alcoholes como sustitutos de gasolina. *Revista de Simulacion y Laboratorio Vol. 3, 7*.
- Ferreruela, J. S. (2016). Análisis Tecno-económico del Proceso de Producción de Butanol a partir de Biomasa Lignocelulósica por Vía Termoquímica. Madrid, España: ETSII, UPM.
- González, A. (21 de Mayo de 2009). Ciclo Diesel . Sevilla , España : Wiki.
- González, N. F. (21 de 09 de 2018). Análisis de la Combustión Híbrida de Metano y Butanol en un Motor de Combustión Interna. Madrid, España: UNED.
- Granell, A. (14 de Julio de 2015). *RO-DES*. Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/motores-diesel/>
- Huang, Z. (2005). Rendimiento y emisiones de un motor de encendido por compresión alimentado con mezclas de diésel / oxigenado para diversos ángulos avanzados de suministro de combustible. *ACS Publications*, 403-410.
- IICA, I. I. (15 de Agosto de 2007). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas*. San José: Sede Central del IICA.

- INEN. (14 de Junio de 2013). PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETROLEO. DIESEL. REQUISITOS. *NORMA TECNICA ECUATORIANA*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
- Jimenez, C. B. (2019). *Simulación del proceso de producción n-butanol por la vía Oxosíntesis*. Sevilla: Departamento de Química y Mediambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Karabektas, M. (2013). Efectos de las mezclas que contienen bajas proporciones de combustibles alternativos sobre el rendimiento y las características de emisión de un motor diesel. *ELSEVIER*, 537-541.
- Leiva, C. (2011). La utilización del Metanol como Combustible. *Realidad y Reflexion*, 23.
- M. Yao, H. W. (2014). Experimental study of butanol additive and multi- injection on HD diesel engine performance and emissions. Elsevier Ltd.
- NTE INEN 2656. (2016). Clasificación vehicular. Quito, Ecuador, Ecuador: INEN.
- Pareja, C. (24 de Agosto de 2018). *EP PETROECUADOR*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=2510>
- Quintero, C. (15 de Noviembre de 2014). CARACTERIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MOTOR DIESEL A PARTIR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DIFERENTES MEZCLAS BIOCOMBUSTIBLE/DIESEL. Bogotá, Colombia : UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Rakopoulos, C. (2011). Estudio de la operación del motor diesel turboalimentado, emisiones contaminantes y radiación de ruido de combustión durante el arranque con mezclas de combustible diesel bio-diesel o n- butanol. *ELSEVIER*, 3905-3916.
- Rayda Patiño, D. F. (2016). Modelado de la Viscosidad de Butanol Y Etanol en Mezclas con Combustibles Diésel y Biodiesel . *Departamento de Ingeniería Petroleo, Universidad de Oriente, Venezuela*, 1.
- Sandra España Gutiérrez, M. B. (2014). Efecto de los Aditivos Oxigenados en las Propiedades de los Gasóleos de Automoción. Oviedo: Departamento de Energía, Universidad de Oviedo.
- Scania Argentina. (10 de Enero de 2010). *Revistacolectibondi*. Obtenido de <https://www.revistacolectibondi.com.ar/2010/01/14/el-segundo-omnibus-de-scania-a-etanol-ya-circula-en-san-pablo/>
- Silvia, E., & Alvarez, P. (12 de Noviembre de 2008). Etanol. *El combustible del futuro*. Buenos Aires, Argentina: Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires.
- Valdez, I. (2016). Biobutanol un Carburante de segunda generación. *Investigacion*, 18-20.
- Vasquez, J. (25 de Septiembre de 2019). *Ecu Red*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Biobutanol>

# APÉNDICES

## APÉNDICE A: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

MEDICIÓN	SENSOR	RANGO	RESOLUCIÓN	EXACTITUD
O <sub>2</sub>	sensor electroquímico	0...25,0% vol	0,1% vol	± 0,2% vol
CO con H <sub>2</sub> compensación	sensor electroquímico	0...8000 ppm	1 ppm	± 10 ppm 0...200 ppm ± valor medido 5% 201...2000 ppm ± valor medido 10% 2001...8000 ppm
Diluido	sensor electroquímico	10,00% vol	0,01% vol	± valor medido 20%
CO gama baja con H <sub>2</sub> compensación	sensor electroquímico	0...500 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm 0...40.0 ppm ± valor medido 5% 40,1 500,0 ppm
Diluido	sensor electroquímico	6250 ppm	10 ppm	± valor medido 20%
CO Mediano Rango	sensor electroquímico	0...20000 ppm	1 ppm	± 100 ppm 0...2000 ppm ± valor medido 5% 2001...4000 ppm ± valor medido 10% 4001...20.000 ppm
Diluido	sensor electroquímico	25% vol	0,01% vol	± valor medido 20%
CO Alto Rango	sensor electroquímico	0...10,00% vol	0,01% vol	± 0,1% vol 0...2.00% ± valor medido 5% 2.01...10.00%
NO	sensor electroquímico	0...5000 ppm	1 ppm	± 5 ppm 0...100 ppm ± valor medido 5% 101...5000 ppm
NO gama baja	sensor electroquímico	0...500 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm 0...40.0 ppm ± valor medido 5% 40,1 500,0 ppm
Nox	Calculado			
SO <sub>2</sub>	sensor electroquímico	0...5000 ppm	1 ppm	± 5 ppm 0...100 ppm ± valor medido 5% 101...5000 ppm
SO <sub>2</sub> Bajo alcance	sensor electroquímico	0...500 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm 0...40.0 ppm ± valor medido 5% 40,1 500,0 ppm
NO <sub>2</sub>	sensor electroquímico	0...1000 ppm	1 ppm	± 5 ppm 0...100 ppm

MEDICIÓN	SENSOR	RANGO	RESOLUCIÓN	EXACTITUD
CxHy	sensor de pellistor	0 .. 5,00% vol	0,01% vol	± 0,25% vol
CO 2 CO 2	Calculado sensor NDIR	0 .. 99,9% vol 0 .. 20,0% vol	0,1% vol 0,1% vol	± 0,3% vol 0,00 .. 6,00%
				± valor medido 5% 6,01 .. 20,0%
CO 2	sensor NDIR	0 .. 50,0% vol	0,001	± 1% vol 0,00 .. 10,00%
CO gama baja con H 2 compensacion H 2 S	sensor electroquímico sensor electroquímico	0 .. 500 ppm 0 .. 500 ppm	0,1 ppm 0,1 ppm	± 2% vol 10,01 .. 50,0%
				± 5 ppm 0 .. 100,0 ppm
Diluido	sensor electroquímico	6250 ppm	10 ppm	± valor medido 5% 100,1 500,0 ppm ..
CO Mediano Rango Temperatura del aire	sensor electroquímico sensor de TcK	0 .. 20000 ppm - 20,0 .. 1250,0 ° C	1 ppm 0,1 ° C	± 0,5 ° C 0 .. 100 ° C
				± valor medido 0,5% 101 .. 1250 ° C
				± 0,5 ° C 0 .. 100 ° C
Temperatura de humos	sensor de TcK	- 20,0 .. 1250,0 ° C	0,1 ° C	± valor medido 0,5% 101 .. 1250 ° C
CO Alto Rango Presión (proyecto y diferencial)	sensor electroquímico sensor piezoeléctrico	0 .. 10,00% vol - 10,00 .. 200,00 hPa	0,01% vol 0,01 hPa	± valor medido 1% - 10,00 -2,01 .. hPa
				± 0,02 hPa - 2,00 .. 2,00 hPa
NO temperatura diferencial	sensor electroquímico Calculado	0 .. 5000 ppm 0 .. 1250,0 ° C	1 ppm 0,1 ° C	± valor medido 1% 2,01 .. 200,00 hPa
índice de aire El exceso de aire	Calculado Calculado	0,00 9,50 .. 0 .. 850%	0,01 1%	± 2 ppm 0 .. 40,0 ppm
				± valor medido 5% 40,1 500,0 ppm ..
pérdida de la chimenea	Calculado	0,0 .. 100,0%	0,10%	
Eficiencia Eficiencia (condensación)	Calculado Calculado	0,0 .. 100,0% 0,0 .. 120,0%	0,10% 0,10%	± 5 ppm 0 .. 100 ppm
				± valor medido 5% 101 .. 5000 ppm
índice de humo	instrumento externo	0 .. 9		± 2 ppm 0 .. 40,0 ppm

## APÉNDICE B: INFORMES DEL ANALIZADOR DE GASES

### B0 EN RALENTÍ



#### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

#### Información:

Cliente	UPS	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

#### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020
Hora		10:10:04	10:10:24	10:10:44	10:11:04
O2	%	19.2	19.2	19.2	19.2
CO	ppm	296	309	299	307
NO	ppm	80	86	79	85
NO2	ppm	35	37	37	38
NOx	ppm	115	123	116	123
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	1.3	1.3	1.3	1.3
CxHy	%	0	0	0	0
Efic. tot	%	---	---	---	---
Perd. tot	%	---	---	---	---
T humos	°C	69.7	70.4	70.3	70.9
T aire	°C	20.4	20.4	20.5	20.5
ΔT	°C	49.3	50.0	49.8	50.4
Exc. aire	%	---	---	---	---
Efic. cond	%	---	---	---	---
CxHy (0.0%)	%	0	0	0	0
CO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO2 (0.0%)	ppm	---	---	---	---
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	---	---	---	---
Tiro	Pa	-110	-12	-19	8
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B0 EN PLENA CARGA



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020	3/2/2020
Hora		10:19:35	10:19:55	10:20:15	10:20:35
O2	%	18.3	18.0	17.9	17.9
CO	ppm	980	979	983	975
NO	ppm	116	115	126	127
NO2	ppm	61	67	68	67
NOx	ppm	177	182	194	194
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	2.0	2.2	2.3	2.3
CxHy	%	300	300	300	300
Efic. tot	%	76.0	76.8	76.6	76.1
Perd. tot	%	24.0	23.2	23.4	23.9
T humos	°C	96.4	100.9	104.6	107.5
T aire	°C	20.9	20.9	20.9	20.9
ΔT	°C	75.5	80.0	83.7	86.6
Exc. aire	%	704	621	597	597
Efic. cond	%	0.0	0.0	0.0	0.0
CxHy (0.0%)	%	2400	2200	2100	2100
CO (0.0%)	ppm	7877	7056	6849	6793
NO (0.0%)	ppm	932	829	878	885
NO2 (0.0%)	ppm	490	483	474	467
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	1423	1312	1352	1352
Tiro	Pa	-406	-445	-556	-506
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B5 EN RALENTÍ



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		4/2/2020	4/2/2020	4/2/2020	4/2/2020
Hora		17:15:02	17:15:22	17:15:42	17:16:02
O2	%	19.9	19.6	19.6	19.6
CO	ppm	365	382	359	341
NO	ppm	36	36	36	36
NO2	ppm	13	22	24	25
NOx	ppm	49	58	60	61
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	0.8	1.0	1.0	1.0
CxHy	%	0	100	100	100
Efic. tot	%	---	---	---	---
Perd. tot	%	---	---	---	---
T humos	°C	36.8	38.2	39.7	40.3
T aire	°C	23.5	23.5	23.5	23.5
ΔT	°C	13.3	14.7	16.2	16.8
Exc. aire	%	---	---	---	---
Efic. cond	%	---	---	---	---
CxHy (0.0%)	%	0	---	---	---
CO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO2 (0.0%)	ppm	---	---	---	---
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	---	---	---	---
Tiro	Pa	-41	-18	-9	-56
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B5 EN PLENA CARGA



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		4/2/2020	4/2/2020	4/2/2020	4/2/2020
Hora		17:22:14	17:22:34	17:22:54	17:23:14
O2	%	17.6	17.2	17.2	17.2
CO	ppm	1697	1685	1622	1582
NO	ppm	89	104	116	111
NO2	ppm	77	89	92	91
NOx	ppm	166	193	208	202
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	2.5	2.8	2.8	2.8
CxHy	%	700	700	700	700
Efic. tot	%	83.5	83.6	82.3	81.5
Perd. tot	%	16.5	16.4	17.7	18.5
T humos	°C	78.9	84.7	92.9	96.9
T aire	°C	23.6	23.6	23.6	23.6
ΔT	°C	55.3	61.1	69.3	73.3
Exc. aire	%	533	465	465	465
Efic. cond	%	0.0	0.0	0.0	0.0
CxHy (0.0%)	%	4400	4000	4000	4000
CO (0.0%)	ppm	10747	9519	9163	8937
NO (0.0%)	ppm	564	587	655	627
NO2 (0.0%)	ppm	488	503	520	514
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	1051	1090	1175	1141
Tiro	Pa	-587	-726	-732	-609
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B10 EN RALENTÍ



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		5/2/2020	5/2/2020	5/2/2020	5/2/2020
Hora		18:26:38	18:26:58	18:27:18	18:27:38
O2	%	19.8	19.7	19.8	19.7
CO	ppm	218	211	206	227
NO	ppm	67	63	60	68
NO2	ppm	26	31	31	34
NOx	ppm	93	94	91	102
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	0.8	0.9	0.8	0.9
CxHy	%	0	0	0	0
Efic. tot	%	---	---	---	---
Perd. tot	%	---	---	---	---
T humos	°C	71.4	73.4	74.2	74.6
T aire	°C	20.6	20.6	20.6	20.7
ΔT	°C	50.8	52.8	53.6	53.9
Exc. aire	%	---	---	---	---
Efic. cond	%	---	---	---	---
CxHy (0.0%)	%	0	0	0	0
CO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO (0.0%)	ppm	---	---	---	---
NO2 (0.0%)	ppm	---	---	---	---
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	---	---	---	---
Tiro	Pa	-41	-52	-96	2
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B10 EN PLENA CARGA



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020
Hora		09:08:56	09:09:16	09:09:36	09:09:56
O2	%	20.3	18.0	17.7	17.6
CO	ppm	663	1476	1456	1469
NO	ppm	73	91	82	86
NO2	ppm	23	72	82	84
NOx	ppm	96	163	164	170
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	0.5	2.2	2.4	2.5
CxHy	%	600	800	800	800
Efic. tot	%	---	77.4	78.2	78.2
Perd. tot	%	---	22.6	21.8	21.8
T humos	°C	88.5	98.1	101.5	104.2
T aire	°C	20.8	20.8	20.8	20.9
ΔT	°C	67.7	77.3	80.7	83.3
Exc. aire	%	---	621	553	533
Efic. cond	%	---	0.0	0.0	0.0
CxHy (0.0%)	%	---	5800	5200	5100
CO (0.0%)	ppm	---	10638	9509	9303
NO (0.0%)	ppm	---	656	536	545
NO2 (0.0%)	ppm	---	519	536	532
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	---	1175	1071	1077
Tiro	Pa	-789	-697	-811	-810
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B20 EN RALENTÍ



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020
Hora		11:19:42	11:20:02	11:20:22	11:20:42
O2	%	18.3	18.1	18.0	18.0
CO	ppm	596	626	635	630
NO	ppm	165	159	155	152
NO2	ppm	68	82	86	88
NOx	ppm	233	241	241	240
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	2.0	2.1	2.2	2.2
CxHy	%	400	400	400	400
Efic. tot	%	76.4	77.3	78.4	78.9
Perd. tot	%	23.6	22.7	21.6	21.1
T humos	°C	97.3	98.7	96.3	94.0
T aire	°C	23.4	23.5	23.5	23.6
ΔT	°C	73.9	75.2	72.8	70.4
Exc. aire	%	704	646	621	621
Efic. cond	%	0.0	0.0	0.0	0.0
CxHy (0.0%)	%	3200	3000	2900	2900
CO (0.0%)	ppm	4791	4672	4576	4540
NO (0.0%)	ppm	1326	1187	1117	1095
NO2 (0.0%)	ppm	547	612	620	634
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	1873	1799	1737	1730
Tiro	Pa	-34	-30	-30	16
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---

## B20 EN PLENA CARGA



### Analizador:

Memoria	1	Modelo	E6000-6DSC	Número de serie	1167
---------	---	--------	------------	-----------------	------

### Información:

Cliente	---	Quemador	---	Técnico	Ing. Loayza
Dirección cliente	---	Dirección quemador	---	Altitud	2500 m
	---		---	Humedad relativa	85 %
	---		---	Combustible	Diesel
Teléfono cliente	---	Teléfono quemador	---		

### Análisis:

Número		1	2	3	4
Fecha		6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020	6/2/2020
Hora		15:40:45	15:41:05	15:41:25	15:41:45
O2	%	20.5	18.1	17.8	17.7
CO	ppm	608	1750	1765	1782
NO	ppm	42	55	58	60
NO2	ppm	6	59	72	74
NOx	ppm	48	114	130	134
SO2	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
CO2	%	0.3	2.1	2.3	2.4
CxHy	%	700	1100	1200	1200
Efic. tot	%	---	77.7	78.5	78.1
Perd. tot	%	---	22.3	21.5	21.9
T humos	°C	90.5	98.8	102.2	106.8
T aire	°C	25.1	25.2	25.2	25.3
ΔT	°C	65.4	73.6	77.0	81.5
Exc. aire	%	---	646	574	553
Efic. cond	%	---	0.0	0.0	0.0
CxHy (0.0%)	%	---	8200	8100	7800
CO (0.0%)	ppm	---	13062	11900	11638
NO (0.0%)	ppm	---	411	391	392
NO2 (0.0%)	ppm	---	440	485	483
SO2 (0.0%)	g/m3	0.000	0.000	0.000	0.000
NOx (0.0%)	ppm	---	851	876	875
Tiro	Pa	-679	-773	-636	-719
Opacidad		---	---	---	---
CO max	ppm	---	---	---	---