



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero/a Mecánico/a

Título del Proyecto de Investigación:

“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE
ENCENDIDO PROVOCADO BAJO EL USO DE BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO A
PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CACAO”

Autores:

Irene Milena Muñoz Simi

José Manuel Ordoñez Miranda

Director del proyecto de investigación:

MSc. Cristian Laverde Albarracín

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Irene Milena Muñoz Simi**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____



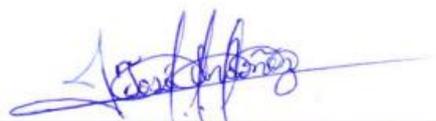
Irene Milena Muñoz Simi
C.C. # 1207425305

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **José Manuel Ordoñez Miranda**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f.



José Manuel Ordoñez Miranda
C.C. # 1207023324

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Cristian Samuel Laverde Albarracín**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Irene Milena Muñoz Simi y José Manuel Ordoñez Miranda**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucilago de cacao**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

0502662455
CRISTIAN
SAMUEL LAVERDE
ALBARRACIN



Firmado digitalmente
por 0502662455
CRISTIAN SAMUEL
LAVERDE ALBARRACIN

.....
Ing. Cristian Samuel Laverde Albarracín, MSC.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente permito certificar, que la Srta. **Irene Milena Muñoz Simi** y el Sr. **José Manuel Ordoñez Miranda**, egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica, una vez revisada la tesis de grado titulada “**Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 0%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de Pregrado y la Normativa establecida por la universidad.

Se adjunta el resultado del sistema URKUND



Document Information

Analyzed document	ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO PROVOCADO BAJO EL USO DE BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL.docx (D146163231)
Submitted	2022-10-11 22:33:00
Submitted by	Cristian Laverde
Submitter email	claverde@uteq.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	claverde.uteq@analysis.urkund.com

0502662455
CRISTIAN
SAMUEL LAVERDE
ALBARRACIN

Firmado digitalmente
por 0502662455
CRISTIAN SAMUEL
LAVERDE ALBARRACIN

.....
Ing. Cristian Samuel Laverde Albarracín, MSC
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero/a Mecánico/a.

Aprobado por:

1804259743 DIEGO
JAVIER PUNINA
GUERRERO

Digitally signed by 1804259743 DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO
DN: 3.6.1.4.1.3.1442.10.6-1804259743, ou=PUNINA GUERRERO DIEGO JAVIER, givenName=DIEGO JAVIER, 2.5.4.97=1804259743001, c=EC, serialNumber=1804259743, ou=PUNINA GUERRERO, cn=1804259743 DIEGO JAVIER PUNINA GUERRERO, email=diegoun_5530@hotmail.com, 2.5.4.3.3=Certificado para Persona Natural con RUC, ou=TRUJILLO, s=AMBATO, non-Certificado de Representante Legal de Persona Jurídica EC
Adobe Reader version: 11.0.2.3

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Diego Punina Guerrero



Firmado electrónicamente por:
**RODGER
BENJAMIN
SALAZAR LOOR**



Firmado electrónicamente por:
**ERNESTO JAVIER
RUANO HERRERIA**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Rodger Salazar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ernesto Ruano Heredia

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por estar presente de una forma excelsa en mi vida permitiéndome llegar al punto en el que me encuentro hoy, gozando de salud y bienestar junto a quienes amé, amo y amaré.

Agradezco a mis padres quienes siempre estuvieron apoyándome en todas mis decisiones de vida, forjando mi carácter decisivo para poder alcanzar las metas que me propongo en mi vida y las que tomaré en el futuro.

Agradezco a mis hermanas y hermano, Surinka, Jairy y Neil quien siempre han sido mi punto de apoyo cuando he tenido que enfrentarme a duras decisiones en mi vida. También a mi mejor amiga, Valeria Torres por siempre estar para mí en mis mejores y peores momentos en conjunto con mi gran amiga Osmara Orellana.

Le agradezco a mi pareja, Jossias Mendoza por su amor, apoyo y paciencia entendiéndome en todo momento y teniendo su acompañamiento incondicional de vida.

Agradezco a mi amigo y compañero de investigación, José Ordóñez con quién he recorrido este largo camino para formarme como Ingeniera Mecánica, también agradecer a mis amistades y compañeros con los que he compartido mi vida universitaria: Dalinyer, Ángel, Marcelo, George y René.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Cristian Laverde, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este proyecto investigativo.

Irene Milena Muñoz Simi

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a Dios, por ser la luz que guía mi camino y por haberme bendecido con una gran familia, con salud, brindándome paciencia y sabiduría para lograr cumplir con todas las metas que me he propuesto y las que he de proponer.

Agradezco a mis padres, Emma y Alfonso por ser mi pilar fundamental y brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por enseñarme lo bueno y lo malo llevándome por un buen camino.

Brindo mis agradecimientos a mi hermanos y hermanas, Luis, Lorena, Mayra, Geovanny, Diego y Liliana, que me han apoyado emocional y económicamente con el fin de verme crecer en lo personal y en lo profesional.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, a mis profesores quienes me han brindado sus conocimientos haciendo que crezca profesionalmente.

Mi profundo agradecimiento a mi compañera y amiga Irene Muñoz que me ha acompañado durante toda mi carrera universitaria brindándome su paciencia, apoyo incondicional y su ayuda cuando la he necesitado; a mis compañeros y amigos con quienes he compartido en la carrera.

Finalmente agradezco al Tecnólogo Vladimir Cobo que nos brindó su ayuda durante las pruebas de investigación y al Tutor de esta investigación el Ing. Cristian Laverde Msc. quien nos ha acompañado en el proceso de desarrollo brindando su conocimiento.

José Manuel Ordoñez Miranda

DEDICATORIA

El presente proyecto investigativo quiero dedicárselo a mis padres, Tito Muñoz y Maritza Simi quienes siempre creyeron en mi convicción con respecto a mi profesión.

A mis hermanas y hermano, Surinka, Jairy y Neil que con todo su amor incondicional me demostraron su apoyo en todas las etapas de mi vida.

A toda mi familia y amistades que con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y me acompañan en todos mis sueños y metas.

A Yelin, mi gatito amarillo que me demostró que no se necesitan palabras para sentir el amor, acompañándome siempre hasta altas horas de la noche que dediqué a mi vida universitaria.

Irene Milena Muñoz Simi

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a mi madre quien ha sido la persona que incondicionalmente ha estado siempre para mí, brindándome su cariño y sus conocimientos de vida, a mi padre quien me ha apoyado durante todos estos años para que logre ser un profesional.

A mis hermanas Lorena y Mayra quienes me han ayudado económicamente y apoyado emocionalmente, al igual que mis hermanos Luis, Geovanny, Diego y Liliana que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y de mi carrera.

Y por último a mi prima Andrea que a inicios de mi carrera me apoyó durante el proceso de mis primeros semestres.

José Manuel Ordoñez Miranda

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis energético de un MCI de encendido provocado bajo el uso de biocombustible. La primera fase se centra en obtener el biocombustible a partir del mucílago de cacao, mediante procesos de fermentación y destilación; luego se analiza el bioetanol, para determinar su uso como biocombustible, luego se realiza la caracterización, verificando así el octanaje para el uso en MCI; con esto se estudiará el comportamiento de este biocombustible. La segunda fase del proyecto se focaliza en realizar pruebas en el vehículo escogido, siendo el Hyundai Grand i10 2020 en la ruta escogida en la región Sierra, parroquia Conocoto, que cuenta con parte urbana y extraurbana, realizando la comparativa con dos combustibles comerciales los cuales son Súper y Extra. Para la experimentación se utilizan instrumentos de medición que permiten la recolección de datos por cada ruta, realizándose dos recorridos de rutas por cada combustible. Los datos obtenidos del equipo CANedge permite realizar los cálculos de potencia, consumo de combustible, flujo másico de combustible, calor liberado por el motor, eficiencia energética y eficiencia exergética, mientras que el CANmod permite trazar la ruta mediante GPS y el Skywatch recolecta los parámetros atmosféricos en los que se están efectuando las pruebas experimentales. La evaluación del MCI se da mediante la interpretación de curvas características como son la potencia vs RPM, consumo de combustible vs potencia, el promedio de la eficiencia energética y eficiencia exergética de los combustibles utilizados para la experimentación. El análisis del balance de energía por el MCI fue representado por valores en una tabla y en diagramas de Sankey por cada combustible que permite apreciar cómo se distribuye la energía en el sistema del vehículo definiendo así la viabilidad del uso del biocombustible.

Palabras claves: Análisis energético, Biocombustible, Motor de combustión interna, Eficiencia energética, Eficiencia exergética.

ABSTRACT

The objective of this project is to carry out an energy analysis of an ignition ICE using biofuel. The first phase is focused on obtaining the biofuel from cocoa mucilage, through fermentation and distillation processes; then the bioethanol is analyzed to determine its use as biofuel, then the characterization is performed, thus verifying the octane rating for use in ICE; with this, the behavior of this biofuel will be studied. The second phase of the project focuses on testing the selected vehicle, the Hyundai Grand i10 2020, on the selected route in the Sierra region, Conocoto parish, which has urban and extra-urban parts, making a comparison with two commercial fuels, Super and Extra. For the experimentation, measuring instruments are used to collect data for each route, performing two routes for each fuel. The data obtained from the CANedge equipment allows the calculations of power, fuel consumption, fuel mass flow, heat released by the engine, energy efficiency and exergy efficiency, while the CANmod allows the route to be plotted by GPS and the Skywatch collects the atmospheric parameters in which the experimental tests. The ICE is evaluated through the interpretation of characteristic curves such as power vs. RPM, fuel consumption vs. power, average energy efficiency and average exergetic efficiency of the fuels used for the experimentation. The analysis of the energy balance by ICE was represented by values in a table and in Sankey diagrams for each fuel that allows to appreciate how the energy is distributed in the vehicle system, thus defining the viability of the use of biofuel.

Keywords: Energy analysis, Biofuel, Internal combustion engine (ICE), Energy efficiency, Exergetic efficiency.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iv
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	v
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
ÍNDICE DE CONTENIDO	xiii
CÓDIGO DUBLÍN.....	xxiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problema de investigación.	3
1.1.1. Planteamiento del problema.	3
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación.	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1. Marco conceptual.....	7
2.1.1. Mucílago de cacao.....	7
2.1.2. Biocombustible.....	8

2.1.3.	Motor de combustión interna.....	9
2.1.4.	Ciclo Otto.	10
2.1.5.	Característica del Motor 1,2 L MPI.....	11
2.1.6.	Características del vehículo Hyundai Grand i10 2020.	12
2.1.7.	Combustibles.	14
2.1.8.	Ciclo de conducción.	15
2.1.9.	Propiedades termodinámicas de la localización de experimentación.....	16
2.1.10.	Torque.....	17
2.1.11.	Potencia efectiva del motor.....	17
2.1.12.	Consumo específico.	18
2.1.13.	Mapa de consumo de combustible específico.....	19
2.1.14.	Balance energético.....	19
2.1.15.	Balance exergético.....	20
2.1.16.	Poder calorífico.....	23
2.2.	Marco referencial.....	24
2.2.1.	Normas para los métodos de ensayos en combustibles para MCI para encendido por chispa	24
CAPÍTULO III		27
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		27
3.1.	Localización.....	28
3.2.	Métodos de investigación.	29
3.2.1.	Método descriptivo.....	29
3.2.2.	Método analítico.....	29
3.2.3.	Método experimental.....	30
3.3.	Tipo de investigación.....	30
3.3.1.	Investigación bibliográfica.	30
3.3.2.	Investigación linkográfica.	30

3.3.3.	Investigación experimental.....	30
3.4.	Fuentes de recopilación de información.	31
3.4.1.	Fuentes primarias.....	31
3.4.2.	Fuentes secundarias.	31
3.5.	Diseño de la investigación.	31
3.5.1.	Diseño experimental.....	31
3.6.	Instrumentos de investigación.....	32
3.6.1.	Refractómetro.	32
3.6.2.	Densímetro.....	33
3.6.3.	Reactor.....	34
3.6.4.	Torre de destilación.	34
3.6.5.	CANedge 1: registrador de datos bus can (sd + rtc, OBD-II).	35
3.6.6.	CANmod GPS.	35
3.6.7.	Estación portátil multifunción Skywatch geos 11.	36
3.7.	Tratamiento de los datos.	36
3.8.	Recursos humanos y materiales.....	37
3.8.1.	Equipos y materiales.....	37
3.8.2.	Recursos humanos.	37
CAPÍTULO IV		38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		38
4.1.	Resultados.....	39
4.1.1.	Proceso de obtención de datos experimentales.....	39
4.1.2.	Horario de ejecución de las pruebas de ruta.	41
4.1.3.	Proceso de la obtención de datos para el análisis energético.	41
4.1.4.	Factores que influyen en el proceso de obtención de datos.....	42
4.1.5.	Obtención de las variables en el proceso de fermentación y destilación del etanol.	45

4.1.6.	Obtención de la potencia efectiva del motor durante la experimentación.....	47
4.1.7.	Obtención del consumo de combustible durante la experimentación.	52
4.1.8.	Balance Energético.....	56
4.1.9.	Balance Exergético.....	58
4.2.	Discusión.....	59
4.2.1.	Evaluación físico-química de la mezcla E5 de biocombustible.....	59
4.2.2.	Potencia vs RPM.	61
4.2.3.	Consumo vs Potencia.....	62
4.2.4.	Eficiencia energética del MCI.....	62
4.2.5.	Eficiencia exergética del MCI.....	63
4.2.6.	Análisis energético del MCI.....	64
CAPÍTULO V.....		67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
5.1.	Conclusiones.....	68
5.2.	Recomendaciones.	69
CAPÍTULO VI.....		71
BIBLIOGRAFÍA		71
6.1.	Bibliografía	72
CAPÍTULO VII.....		77
ANEXOS.....		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la pulpa de las semillas de cacao.	8
Tabla 2. Especificaciones técnicas del motor de 1,2L MPI Dual.	11
Tabla 3. Especificaciones técnicas del Hyundai Grand i10 Sedan 2020.	13
Tabla 4. Requerimientos de la gasolina de 85 octanos según norma NTE INEN 935.	14
Tabla 5. Requerimientos de la gasolina de 92 octanos según norma NTE INEN 935.	14
Tabla 6. Poder calorífico superior de los combustibles en el Ecuador.	24
Tabla 7. Propiedades termodinámicas de la localidad de Conocoto tomadas con el Skywatch Geos 11.	29
Tabla 8. Variables obtenidas del CANedge al conectar al puerto OBD II.	40
Tabla 9. Variables obtenidas del Skywatch Geos 11.	40
Tabla 10. Horarios de las pruebas de rutas realizadas en el circuito Conocoto.	41
Tabla 11. Valores máximos para las variables revolución, torque y potencia de cada combustible probado durante la primera experimentación.	48
Tabla 12. Valores máximos para las variables revolución, torque y potencia de cada combustible probado durante la segunda experimentación.	50
Tabla 13. Valores máximos tabulados de potencia, flujo y consumo específico por cada combustible utilizado en la primera experimentación.	53
Tabla 14. Valores máximos tabulados de potencia, flujo y consumo específico por cada combustible utilizado en la segunda experimentación.	55
Tabla 15. Valores promedios tabulados para el cálculo de la eficiencia energética.	57
Tabla 16. Valores promedios tabulados para el cálculo de la eficiencia exergética.	58
Tabla 17. Composición química del mucílago del cacao.	60
Tabla 18. Comparación de la caracterización de la gasolina súper, extra y la mezcla E5 de biocombustible a base de cacao según lo establecido por la norma NTE INEN 935.	61
Tabla 19. Valores de flujo de energía (kW) de cada combustible experimentado.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de proceso de la extracción del mucílago de cacao.	7
Figura 2. Ciclo Otto real.	11
Figura 3. Motor Kappa de 1,2 L MPI de Hyundai Gran i10.	12
Figura 4. Vehículo experimental Hyundai Grand i10 1,2 L.	13
Figura 5. Ejemplo de ciclo transitorio realista.	15
Figura 6. Ciclo transitorio europeo (ETC): ciclo completo.	16
Figura 7. Ruta urbana- Extraurbana realizada durante la experimentación en Conocoto con recorrido de 24,8 km.	28
Figura 8. Refractómetro medidor de azúcar en grados brix.	33
Figura 9. Densímetro de Gay Lussac.	33
Figura 10. Torre de destilación del laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ.	34
Figura 11. CANedge 1, equipo de medición de parámetros del vehículo.	35
Figura 12. CANmod GPS.	35
Figura 13. Skywatch Geos 11.	36
Figura 14. Diagrama del desarrollo del análisis de la mezcla E5 de biocombustible en un motor de combustión interna.	42
Figura 15. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1800 segundos con combustible súper.	43
Figura 16. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1400 segundos con la mezcla E5 de biocombustible.	44
Figura 17. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1200 segundos con combustible extra.	45
Figura 18. Gráfica del proceso de fermentación anaeróbica del mucílago de cacao.	46
Figura 19. Gráfica del proceso de obtención del alcohol a partir del mucílago de cacao. .	46
Figura 20. Curva de revoluciones en función del tiempo obtenida durante la experimentación con la mezcla E5 de biocombustible.	47
Figura 21. Torque vs tiempo de la prueba 1 con la mezcla E5 de biocombustible en Conocoto.	48
Figura 22. Curva de potencia entregada por los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usados en la primera prueba en ruta.	49
Figura 23. Curva de potencia entregada por los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usados en la segunda prueba en ruta.	51

Figura 24. Consumo específico de combustible vs potencia para los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usado en la prueba 1.	54
Figura 25. Consumo específico de combustible vs potencia para los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usado en la prueba 2.	55
Figura 26. Diagrama comparativo de la eficiencia energética para cada combustible utilizado en la experimentación.....	62
Figura 27. Diagrama comparativo de la eficiencia exergética para cada combustible utilizado en la experimentación.....	63
Figura 28. Diagrama de Sankey para la gasolina Súper.....	65
Figura 29. Diagrama de Sankey para la mezcla E5 de biocombustible.	65
Figura 30. Diagrama de Sankey para la gasolina Extra.....	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Torque.....	17
Ecuación 2. Potencia efectiva del motor.....	18
Ecuación 3. Consumo específico de combustible.....	18
Ecuación 4. Balance energético.....	19
Ecuación 5. Flujo másico de combustible	19
Ecuación 6. Calor liberado por el combustible.....	20
Ecuación 7. Eficiencia energética del sistema.....	20
Ecuación 8. Exergía del combustible.....	21
Ecuación 9. Exergía asociada al flujo de gases	21
Ecuación 10. Flujo másico de combustible	21
Ecuación 11. Eficiencia exergética del sistema.....	22
Ecuación 12. Calor específico del aire a una temperatura.....	22
Ecuación 13. Calor específico a presión constante de los gases de combustión	22
Ecuación 14. Relación de flujo másico de combustible sobre flujo másico de aire	23
Ecuación 15. Coeficiente de calor específico a presión constante	23
Ecuación 16. Volumen de consumo de combustible	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con combustible Super.....	78
Anexo 2. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con mezcla E5 de biocombustible.....	78
Anexo 3. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con combustible Extra.....	79
Anexo 4. Curva de Potencia vs revoluciones obtenida en la experimentación de la prueba 1 y prueba 2 para la mezcla E5 con biocombustible.	79
Anexo 5. Curva de potencia vs RPM obtenida en la experimentación con el combustible súper.....	80
Anexo 6. Curva de Potencia vs Revolución obtenida en la experimentación usando combustible Extra.	80
Anexo 7. Curva de Consumo específico vs Potencia obtenida en la experimentación de la prueba para la Mezcla E5 con biocombustible.....	81
Anexo 8. Curva de Consumo específico vs Potencia experimental para la prueba con combustible súper.....	81
Anexo 9. Curva de Consumo específico vs potencia para combustible Extra obtenido de experimentación.....	82
Anexo 10. Control de temperatura y presión de mezclado del mucílago con la levadura en el reactor.	82
Anexo 11. Medición del porcentaje de azúcar presente en el mucílago de cacao antes de ser reservado para fermentación.....	83
Anexo 12. Proceso de mezclado del mucílago con 5gr de levadura por cada 30 litros.	83
Anexo 13. Reservado de la sustancia lista para proceso de fermentación en ausencia de oxígeno durante de 21 días.	84
Anexo 14. Envases con mucílago fermentado en ausencia de luz para un mayor concentrado de los azúcares.....	84
Anexo 15. Porcentaje de azúcar presente luego del proceso de fermentación lo que permite una obtención de altos grados de alcohol.	85
Anexo 16. Llenado de reservorio de la torre de destilación.	85
Anexo 17. Obtención de alcohol de mucílago de cacao mediante destilación en torre.	86
Anexo 18. Muestras de alcohol de 40 a 80 grados obtenidos en el proceso de destilación.	86

Anexo 19. Equipo de destilación utilizado para re- destilar el alcohol a 90 grados.	87
Anexo 20. Medición de una muestra de alcohol de 86 grados con el alcoholímetro de Gay Lussac.	87
Anexo 21. Mezclado del alcohol etílico de 90 grados con combustible extra en proporción de 5-95% respectivamente.	88
Anexo 22. Identificación de los combustibles a utilizarse durante las pruebas.	88
Anexo 23. Muestras de combustibles para la realización de las pruebas de ruta en la parroquia rural de Conocoto.	89
Anexo 24. Vehículo Hyundai Grand i10 de 1,2L año 2020 utilizado durante la experimentación.	89
Anexo 25. Conexión del módulo CANedge 1 al puerto OBDII del vehículo.	90
Anexo 26. CANedge 1 conectada a puerto OBD II para comunicación y obtención de valores medidos por la computadora.	90
Anexo 27. Conexión entre módulo CANedge 1 y CANmod, prueba de enlace de conectividad y registro de datos entre equipos.	91
Anexo 28. Colocación de antena satelital para GPS para obtención de datos de la ruta realizada.	91
Anexo 29. Prueba de ruta y obtención de datos en tiempo real de las condiciones climáticas.	92
Anexo 30. Registro de datos en tiempo real de las condiciones atmosféricas de la ruta realizada en la parroquia rural Conocoto a través del Skywatch Geos 11.	92
Anexo 31. Equipo Skywatch Geos 11 para la obtención de datos atmosféricos.	93
Anexo 32. Análisis de datos del módulo CANedge 1 y CANmod a través del software ASAMMDF GUI.	93
Anexo 33. Interfaz de análisis de datos del software Skywatch Log para condiciones atmosféricas.	94
Anexo 34. Variables rpm, torque, potencia y consumo específico de cada prueba realizada y tratadas en el software Excel.	94

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao.				
Autor:	<u>Muñoz Simi Irene Milena</u> <u>Ordoñez Miranda José Manuel</u>				
Palabras clave:	Análisis energético	Biocombustible	Motor de combustión interna	Eficiencia energética	Eficiencia exergética
Fecha de publicación:	Diciembre de 2022				
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2022.				
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>Resumen. - El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis energético de un MCI de encendido provocado bajo el uso de biocombustible. La primera fase se centra en obtener el biocombustible a partir del mucílago de cacao, mediante procesos de fermentación y destilación; luego se analiza el bioetanol, para determinar su uso como biocombustible, luego se realiza la caracterización, verificando así el octanaje para el uso en MCI; con esto se estudiará el comportamiento de este biocombustible. La segunda fase del proyecto se focaliza en realizar pruebas en el vehículo escogido, siendo el Hyundai Grand i10 2020 en la ruta escogida en la región Sierra, parroquia Conocoto, que cuenta con parte urbana y extraurbana, realizando la comparativa con dos combustibles comerciales los cuales son Súper y Extra. Para la experimentación se utilizan instrumentos de medición que permiten la recolección de datos por cada ruta, realizándose dos recorridos de rutas por cada combustible. Los datos obtenidos del equipo CANedge permite realizar los cálculos de potencia, consumo de combustible, flujo másico de combustible, calor liberado por el motor, eficiencia energética y eficiencia exergética, mientras que el CANmod permite trazar la ruta mediante GPS y el Skywatch recolecta los parámetros atmosféricos en los que se están efectuando las pruebas experimentales. La evaluación del MCI se da mediante la interpretación de curvas características como son la potencia vs RPM, consumo de combustible vs potencia, el promedio de la eficiencia energética y eficiencia exergética de los combustibles utilizados para la experimentación. El análisis del balance de energía por el MCI fue representado por valores en una tabla y en diagramas de Sankey por cada combustible que permite apreciar cómo se distribuye la energía en el sistema del vehículo definiendo así la viabilidad del uso del biocombustible.</p> <p>Abstract. - The objective of this project is to carry out an energy analysis of an ignition ICE using biofuel. The first phase is focused on obtaining the biofuel from cocoa mucilage, through fermentation and distillation processes; then the bioethanol is analyzed to determine its use as biofuel, then the characterization is performed, thus verifying the octane rating for use in ICE; with this, the behavior of this biofuel will be studied. The second phase of the project focuses on testing the selected vehicle, the Hyundai Grand i10 2020, on the selected route in the Sierra region, Conocoto parish, which has urban and extra-urban parts, making a comparison with two commercial fuels, Super and Extra. For the experimentation, measuring instruments are used to collect data for each route, performing two routes for each fuel. The data obtained from the CANedge equipment allows the calculations of power, fuel consumption, fuel mass flow, heat released by the engine, energy efficiency and exergy efficiency, while the CANmod allows the route to be plotted by GPS and the Skywatch collects the atmospheric parameters in which the experimental tests. The ICE is evaluated through the interpretation of characteristic curves such as power vs. RPM, fuel consumption vs. power, average energy efficiency and average exergetic efficiency of the fuels used for the experimentation.</p>				
Descripción:	120 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162				
URI:					

NOMENCLATURA

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para pruebas y materiales)
CAN	Controller Area Network (Controlador de Red de Zona)
CVVT	Continuously Variable Valve Timing (Sincronización de Válvulas Continuamente Variables)
ETC	Europe Transition Cycle (Ciclo Transitorio Europeo)
E5	Mezcla de Biocombustible con Gasolina Extra al 5% de Etanol
FB	Fossil Based (Base Fósil)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MCI	Motor de Combustión Interna
MPI	Inyección Multipunto
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OBD	On Board Diagnostics (Diagnóstico a Bordo)
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PIDs	Control Proporcional Integral Derivativo
QNH	Presión atmosférica medida a nivel medio del mar
RON	Research Octane Number (Número de Octano Research)
RPM	Revoluciones Por Minuto

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
$P_{m\acute{a}x}$	Potencia máxima	W
		HP
$T_{m\acute{a}x}$	Torque máximo	Nm
H_r	Humedad relativa	%
r_c	Relación de compresión	N/A
m	Masa	Kg
RON	Número de octanos	N/A
T°	Temperatura	$^\circ\text{C}$
ρ_a	Densidad del aire	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
M	Torque	Nm
P	Potencia Efectiva	kW
n	Revoluciones por minuto	Rpm
ω	Velocidad angular	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$
B_e	Consumo específico	$\frac{\text{gal}}{\text{kWh}}$
\dot{m}_c	Flujo másico de combustible	kg/s
Q_a	Calor evacuado al ambiente	kJ
t	Tiempo	S
V_d	Volumen de consumo de combustible	m^3
ρ_{comb}	Densidad del combustible	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
PC	Poder calorífico	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

\dot{Q}_c	Calor liberado por el combustible	kW
η_{energ}	Eficiencia energética	%
E_{Xc}	Exergía del combustible	kW
η_{exerg}	Eficiencia exergética	%
\dot{m}_g	Caudal de gas	kg/s
\dot{m}_{ar}	Flujo másico de aire	kg/s
C_{par,T°	Calor específico del aire a cierta temperatura	$\frac{J}{\text{kg} \cdot K}$
f	Relación de flujo másico de combustible sobre el flujo másico de aire	N/A
$\theta_{Cp,T}$	Coefficiente de calor específico a presión constante	$\frac{J}{\text{kg} \cdot K}$
v_v	Velocidad del vehículo	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$
d	Distancia	km
G_m	Azúcar disuelto en la sustancia	°Brix
h_r	Altura real	m

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles representa una amenaza ambiental debido a la alta demanda en cuanto a su consumo para satisfacer las necesidades energéticas del mundo desencadenando grandes emisiones de dióxido de carbono provocadas por el uso de vehículos con motores de combustión interna lo cual aumenta el calentamiento global afectando al medio ambiente.

Por otra parte, la crisis del petróleo en la década del setenta y la continua fluctuación del precio del crudo debido a factores económicos y políticos ha llevado a los países en la búsqueda de nuevas fuentes de energía que reduzcan la dependencia de combustibles fósiles. Uno de los principales equipos en los que se utiliza estos derivados del petróleo son los motores de combustión interna, aquellos son utilizados para el transporte y generación de energía eléctrica, razones por la que grandes ciudades sufren de emisiones regulares que superan los límites de algunos gases (NO_x , HC, CO, CO_2 y PM).

Una de estas fuentes de energía alternativa que es de mucha investigación en la actualidad son los biocombustibles, de los cuales existen varios tipos y mezclas de ellos con combustibles convencionales y que proporcionan un gran desempeño. No obstante, aún se encuentran en vías de desarrollo y proporcionan una alta viabilidad a corto y mediano plazo, a diferencia de los combustibles derivados del petróleo.

A pesar de estar en pleno desarrollo, el panorama actual revela que los biocombustibles, son un recurso para mitigar el aumento y la inestabilidad en cuanto a todas las causas del petróleo sean estas económicas o medioambientales.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Actualmente el Ecuador es uno de los principales países productores de cacao en Latinoamérica, con alta variabilidad de la materia prima. El cacao por lo general es un producto de la zona que cuando llega a los centros de acopio tiene una etapa de fermentación y es hidrolizada por microorganismos; la hidrolizada es conocida en la industria como “exudado”, este a su vez genera la destilación del mucílago de cacao también conocido como la baba de cacao y tiende a desperdiciarse.

Diagnóstico.

Uno de los mayores problemas de los pequeños productores de cacao, es que no aprovechan el mucílago del Cacao, ya que, al momento de la fermentación del Cacao, el exudado del mucílago es desechado, ya que el sabor es dulce, favorece a la presencia de insectos y roedores, aumentando el riesgo de contaminación por hongos, olores y sabores indeseables lo que afecta el aspecto externo y el sabor del producto final. Entre tanto, normalmente se llegan a desperdiciar más de 70 litros de este material mucilaginoso por tonelada de cacao. En busca de nuevas formas de combustible para aprovechar residuos no probados anteriormente, se pretende extraer etanol de este mucílago, que va a ser utilizado en una mezcla con gasolina para testear el régimen de funcionamiento de un motor de combustión interna. Se espera que la mezcla gasolina-bioetanol tenga un comportamiento bastante parecido al combustible convencional, logrando así que el bioetanol a futuro pueda reemplazar una pequeña parte de la gasolina utilizada.

Pronóstico.

En el Ecuador no existen otros usos industriales adicionales del mucílago de cacao, la no industrialización del mucílago ocasiona bajo ingresos para los productores de cacao y el desperdicio puede convertirse en un problema de contaminación ambiental. El estudio sobre la producción de bioetanol a partir de mucílago de cacao es una real necesidad para todos los cultivadores de cacao ya que podría convertirse en una estrategia para incrementar los ingresos, dar un valor agregado, y así poder contribuir al desarrollo cacaotero, y trabajar en

la reducción del impacto ambiental. Uno de los posibles fallos que se pueden presentar durante el testeado del bioetanol es que el rendimiento del motor sea inferior a lo esperado. Otro fallo es que el bioetanol presente sedimentos que luego obstruyan el filtro del inyector de la gasolina y este comience a presentar fallos afectando otras partes del motor.

1.1.2. Formulación del problema.

¿En qué medida el uso de la mezcla E5 de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao influye en el análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado?

1.1.3. Sistematización del problema.

- ¿Serán las características tanto física como químicas de la mezcla E5 de biocombustible obtenido las adecuadas para testear en un motor de combustión interna?
- ¿Cuál será el rendimiento de un motor funcionando con combustible convencional en comparación con uno que usará el bioetanol al 5 %?
- ¿Será la mezcla de gasolina extra con bioetanol del mucílago de cacao al 5% una nueva opción cómo combustible reemplazando a las gasolinas comerciales del Ecuador?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Analizar el comportamiento energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Evaluar las características físico - químicas del biocombustible obtenido del proceso de refinado del etanol.
- Realizar pruebas de la mezcla etanol-gasolina en el desempeño del motor de combustión interna comparándolo con los combustibles disponibles en el mercado.
- Determinar la efectividad del mucílago de cacao como opción de biocombustible a través de las pruebas realizadas.

1.3. Justificación.

La investigación propuesta busca probar el rendimiento en un motor de combustión interna haciendo uso de la mezcla bioetanol-gasolina mediante pruebas de ruta. El bioetanol se encuentra entre las energías renovables cuyo aprovechamiento en la actualidad se consideran necesario promover mundialmente, el cual se obtendrá mediante el mucílago del cacao cómo una nueva opción para disminuir el consumo de los derivados del petróleo y poder así hacer uso de un residuo que normalmente es desechado.

El presente proyecto es un punto de partida hacia una nueva investigación en la búsqueda de sustancias que cumplan los requerimientos para ser usados como combustibles, ya que como es de conocimiento, el petróleo y los combustibles derivados de este, tendrán una etapa de declive debido a la escasez del crudo; por ello para poder cumplir con los objetivos propuesto se evaluará la mezcla usando técnicas de investigación mediante pruebas y testeos del bioetanol donde se recolectarán datos que permitirá obtener variables en cuanto al funcionamiento y futuras mejoras para la mezcla.

Los resultados del ensayo permitirán saber si su efecto en el motor de combustión interna tiene un rendimiento adecuado permitiendo así encontrar una alternativa para ser usado en los automóviles día a día generando así una nueva tendencia por el uso de los combustibles extraídos de residuos que normalmente no aportan ni tienen mucha salida en el mercado, haciendo así que sus productores obtengan más ganancias vendiendo el mucílago de la mazorca del cacao a nuevos productores de esta mezcla de biocombustible.

CAPÍTULO II

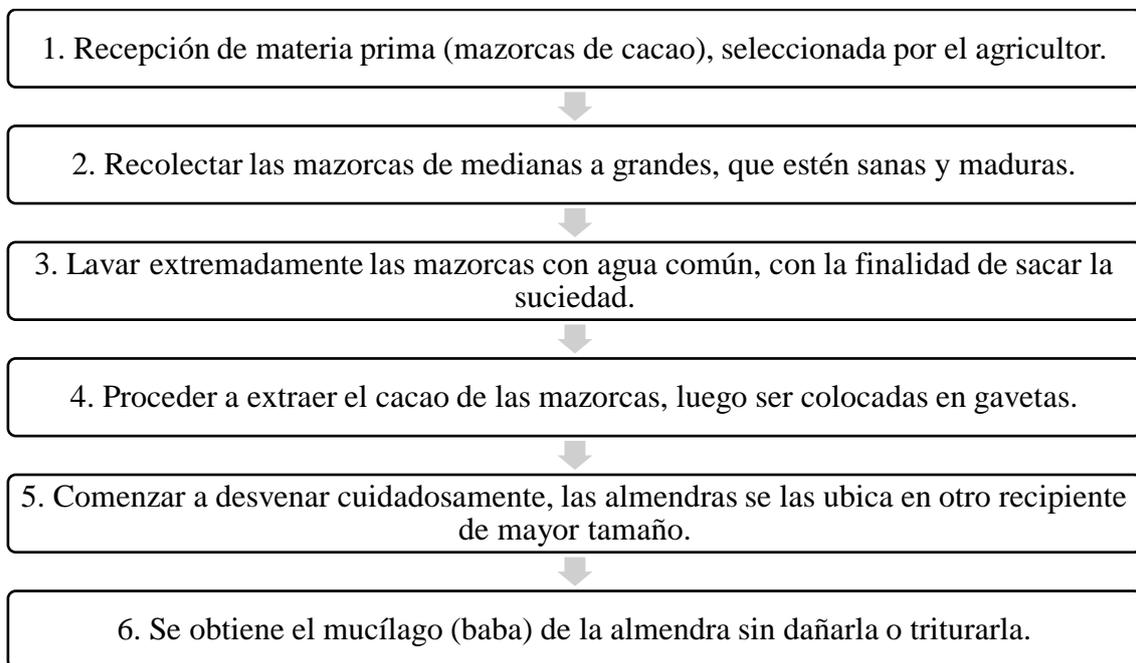
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Mucílago de cacao.

Durante el procesamiento del cacao se generan residuos como el mucílago (baba) que presenta un incipiente uso por las industrias de Ecuador debido a que existe mucho desconocimiento de sus propiedades fisicoquímicas y la falta de nuevas tecnologías para el debido manejo y transformación. El mucílago del cacao está constituido químicamente por carbohidratos, sales minerales y vitamina C. Recubre la almendra del cacao y contiene un 10 al 15% de azúcar, 1% de pectina y 1,5% de ácido cítrico, la misma que es removida e hidrolizada por microorganismos cuando se realiza el proceso de fermentación [1]. Para la extracción del mucílago de cacao se muestra el flujo de procesos en la Figura 1.

Figura 1. Flujo de proceso de la extracción del mucílago de cacao.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Tabla 1. Composición de la pulpa de las semillas de cacao.

Componentes	Antes de la fermentación	Después de la fermentación
Agua	82 – 87 %	45 – 7 %
Sacarosa	12%	0 %
Ácido cítrico	1 – 2%	0,5 %
Pectina	1 – 1,5 %	N/A
PH	3,7	6,5
Alcohol etílico	N/A	0,5 %
Ácido acético	N/A	1,6 %

Fuente: Pakistan Journal of Nutrition [2]

Elaborado: Anvoh, K. Y. B.; Zoro Bi, A.; Gnakri, D.

El Programa de Capacitación en la Cadena de Cacao (2005) indica que la fase de inicio del proceso de transformación de los azúcares presentes en el mucílago de cacao a alcohol etílico, que para lograr este proceso se lo realiza mediante levaduras que pertenecen a los géneros *Cándida*, *Dedaryomyces*, *Hansenulaa*, *Kloeckera*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces* y *Torulopsis*. Si el medio es rico o de abundante porcentaje de azúcar hace que la transformación en alcohol llegada a cierta concentración no permita la sobrevivencia de las levaduras.

2.1.2. Biocombustible.

Desde principios de la década de 1970, cuando se utilizó por primera vez la palabra “biocombustible”, los autores han definido el término como: (a) un combustible fabricado a partir de microorganismos y macroorganismos frescos y vivos; (b) un combustible hecho directa o indirectamente de biomasa; (c) un combustible líquido obtenido a partir de biomasa, por ejemplo, biodiésel producido a partir de grasas y aceites, biogás generado a partir de desechos animales, etc.; (d) un biocombustible obtenido naturalmente de madera y astillas de madera o residuos agrícolas o convertido químicamente de biomasa a carbón, biodiesel, bioetanol y biometano [3].

Los principales beneficios y compensaciones que se derivan del despliegue de biocombustibles como forma de combustible renovable incluyen:

- Los biocombustibles son renovables y son neutros en carbono y CO₂ / GEI durante la progresión del ciclo de vida.
- Se generan menos emisiones de GEI a partir de la utilización de biocombustibles en comparación con los combustibles FB.
- Los biocombustibles son biodegradables, sostenibles y ambientalmente benignos.
- Los biocombustibles se producen en gran medida a partir de recursos disponibles localmente y accesibles, aplicando métodos de producción seguros.
- La producción y utilización de biocombustibles mejoran el desarrollo y la inversión agrícola local.
- Económicamente, el biocombustible ayuda a estabilizar los precios de la energía, conservar divisas y generar empleo a nivel macroeconómico.

Existen preocupaciones justificadas de que el aumento de la demanda de biocombustibles aumentará el costo de las materias primas agrícolas y leñosas relevantes, así como otras materias primas. A pesar de los obstáculos, el biocombustible es una opción de recurso energético limpio, sostenible y asequible que puede reemplazar los combustibles fósiles y rescatar a la humanidad del desastre ambiental que se avecina. La adaptación de los biocombustibles como combustibles sostenibles en diversos sectores de la economía es una de las estrategias para la reducción de CO₂ y la mitigación del carbono [3].

La obtención del biocombustible consiste en recolectar el mucílago del producto, el cual va a ser sometido a destilación simple, algo similar a la destilación de la madera, esto permitirá volatilizar y recolectar dichos componentes volátiles por diferencia de temperaturas. Las temperaturas serán desde 85 – 90 °C para la obtención de etanol, esto con el fin que el alcohol obtenido sea etanol puro y no una mezcla de alcoholes.

2.1.3. Motor de combustión interna.

Son aquellas máquinas que obtienen energía mecánica a partir de la energía química producida por un combustible se incinera dentro de una cámara de combustión considerada

como la parte principal del motor. Estos motores de combustión interna son de cuatro tipos: motor cíclico Otto, motor ciclo diésel, motor rotatorio y turbina de combustión. En los MCI la presión de los gases de la combustión y el calor generado en el interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovechará como fuente de energía [4].

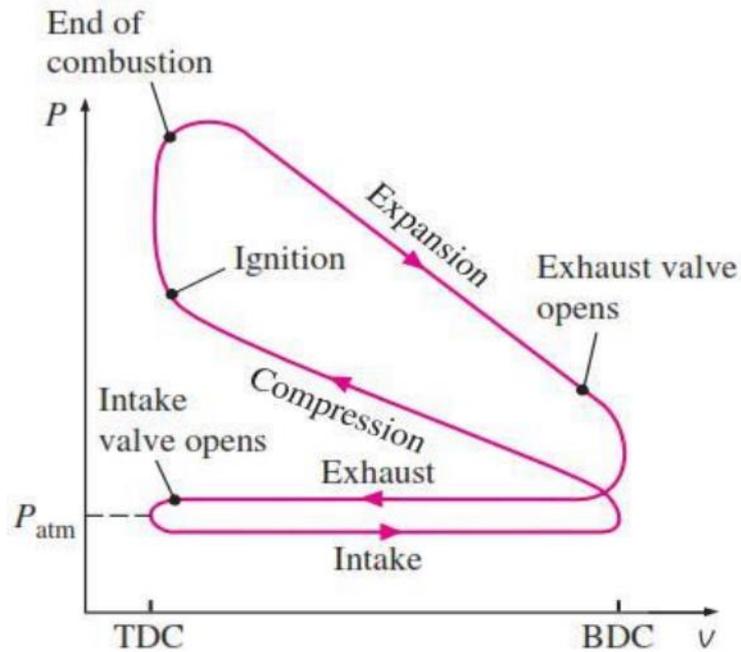
- **La admisión:** Las válvulas de admisión introducen la mezcla de combustible gracias al vacío generado por los pistones, durante su recorrido mientras bajan.
- **La compresión:** Se da cuando las válvulas se cierran y el pistón vuelve a subir, comprimiendo la mezcla de aire y de combustible.
- **La explosión:** Fase que se produce debido al encendido provocado por la bujía, en motores gasolina.
- **El escape:** Última etapa en la que las válvulas de escape se abren y se expulsan los gases producidos tras la detonación [5].

2.1.4. Ciclo Otto.

El ciclo Otto o conocido en nuestro medio como a gasolina, este es un motor alternativo de combustión interna, que su encendido lo logra a través del salto de una chispa y de esta manera transforma la energía química del combustible en energía mecánica o cinética [6].

El inicio se lo considera con el ingreso de la mezcla parcialmente homogénea de gasolina y aire fuera de la cámara de combustión ya sea por el sistema de carburador o inyección electrónica. Esta mezcla es canalizada hacia la cámara de combustión, donde posteriormente será comprimida. La combustión se dará por medio de un sistema de encendido externo al motor de control temporizado. En el interior se encuentra la cámara de combustión donde se llevará a cabo la misma, inflamándose en el interior del cilindro y así quema la mezcla aire combustible, esta combustión genera gases combustionados los mismos de luego de concluir esta fase son evacuados al exterior a través del sistema de escape del motor, siendo así cómo se cumple un ciclo completo en el motor Otto o a gasolina [6].

Figura 2. Ciclo Otto real.



Fuente: Thermodynamics and Propulsion [7].

Elaborado: Z. S. Spakovszky.

2.1.5. Característica del Motor 1,2 L MPI.

El motor MPI Dual de 1,2L se caracteriza por su sistema de válvulas de configuración CVVT de 16 unidades repartida en los 4 cilindros que posee, con un torque máximo de 12,2 kg · m a 4000 rpm, con un sistema de encendido asistido en pendiente, siendo un motor de bajo consumo dotando al vehículo la capacidad y rendimiento ideal. Registra un consumo medio de $4,25 \frac{\text{L}}{100\text{km}}$ lo que corresponde a una distancia de $23,53 \frac{\text{km}}{\text{L}}$.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del motor de 1,2L MPI Dual.

Característica	Valor
Tipo	Kappa 1,2L MPI Dual - CVVT
Número de cilindros	4 cilindros
Cilindraje (CC)	1248
Potencia máxima (HP @ rpm)	86 @ 6000

Continuación de la Tabla 2.

Torque máximo (Nm @ rpm)	120 @ 4000
No. de válvulas	16 válvulas
Sistemas de distribución	Cadena
Combustible	Gasolina
Relación de compresión	10,5
Capacidad del tanque de combustible ($\frac{L}{gal}$)	43
Diámetro de cilindro (mm)	71,0
Carrera (mm)	78,8

Fuente: Hyundai [8].

Elaborado: Hyundai engine.

Figura 3. Motor Kappa de 1,2 L MPI de Hyundai Gran i10.



Fuente: Autores

Elaborado: Autores

2.1.6. Características del vehículo Hyundai Grand i10 2020.

Es un automóvil familiar con componentes tecnológicos de última generación, un diseño deportivo y estilizado en el exterior, pero confortable y elegante en el interior. Cuenta con un motor Kappa de 1,2 litros siendo económico y confiable, ha sido mejorado para aumentar el rendimiento a velocidades medias y reduciendo el nivel de ruido y vibraciones. Cuenta con un gran sistema de seguridad para todos los pasajeros.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Hyundai Grand i10 Sedan 2020.

Característica	Valor
Largo (mm)	3995
Ancho (mm)	1660
Alto (mm)	1505
Distancia entre ejes (mm)	2425
Capacidad maletero	407 L
Radio mínimo de giro (m)	4,88
Peso bruto vehicular (kg)	1430
Suspensión delantera	Mc Pherson
Suspensión posterior	Eje de torsión CTBA
Amortiguadores	De gas presurizado
Frenos delanteros	Discos ventilados
Frenos posteriores	Tambores
Neumáticos	165 / 65 R 14

Fuente: Hyundai

Elaborado: Hyundai engine, [8]

Figura 4. Vehículo experimental Hyundai Grand i10 1,2 L



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

2.1.7. Combustibles.

2.1.7.1. Gasolina Extra.

La norma NTE INEN 935 establece los requisitos que la gasolina de 85 octanos (RON) para motores de combustión interna de encendido por chispa debe cumplir [9]. Dentro de los combustibles de este octanaje se encuentra la gasolina extra.

Tabla 4. Requerimientos de la gasolina de 85 octanos según norma NTE INEN 935.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de Octanaje (RON)	N/A	85,0	N/A
Temperatura de destilación: 10%	°C	N/A	70
Temperatura de destilación: 50%	°C	77	121
Temperatura de destilación: 90%	°C	N/A	189
Presión de vapor	kPa	N/A	60,0

Fuente: NTE INEN 935 Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos [9].

Elaborado: Norma Técnica Ecuatoriana.

2.1.7.2. Gasolina Súper.

La norma NTE INEN 935 establece los requisitos que la gasolina de 92 octanos (RON) para motores de combustión interna de encendido por chispa debe cumplir [9]. Dentro de los combustibles de este octanaje se encuentra la gasolina súper.

Tabla 5. Requerimientos de la gasolina de 92 octanos según norma NTE INEN 935.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de Octanaje (RON)	N/A	92,0	N/A
Temperatura de destilación: 10%	°C	N/A	70
Temperatura de destilación: 50%	°C	77	121
Temperatura de destilación: 90%	°C	N/A	190

Continuación de la Tabla 5.

Presión de vapor	kPa	N/A	60,0
------------------	-----	-----	------

Fuente: NTE INEN 935 Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos [9].

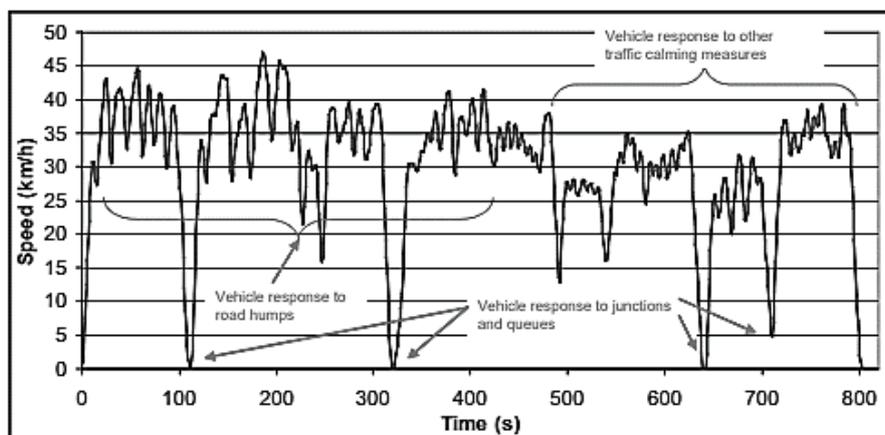
Elaborado: Norma Técnica Ecuatoriana.

2.1.8. Ciclo de conducción.

Los patrones de conducción (es decir, la velocidad, la aceleración y la elección de marchas) influyen en las emisiones de escape y el consumo de combustible. Tiene el objetivo de mejorar las pruebas de vehículos o utilizar el conocimiento de los patrones de conducción para mejorar el motor y el sistema de control de emisiones a fin de mejorar el desempeño ambiental de los vehículos. El patrón de manejo de la conducción urbana, medido como velocidad versus tiempo o velocidad versus distancia recorrida, es muy irregular [10].

Dependiendo del carácter de los cambios de velocidad y carga del motor, los ciclos pueden dividirse en términos generales en ciclos de "estado estable" y ciclos "transitorios". Un ciclo de estado estacionario es una secuencia de velocidad del motor y modos de carga constantes. Dichos ciclos se utilizan principalmente para la prueba de motores diésel de servicio pesado. Los ciclos de conducción transitorios, en los que la velocidad del vehículo y la carga del motor cambian más o menos continuamente [11].

Figura 5. Ejemplo de ciclo transitorio realista.

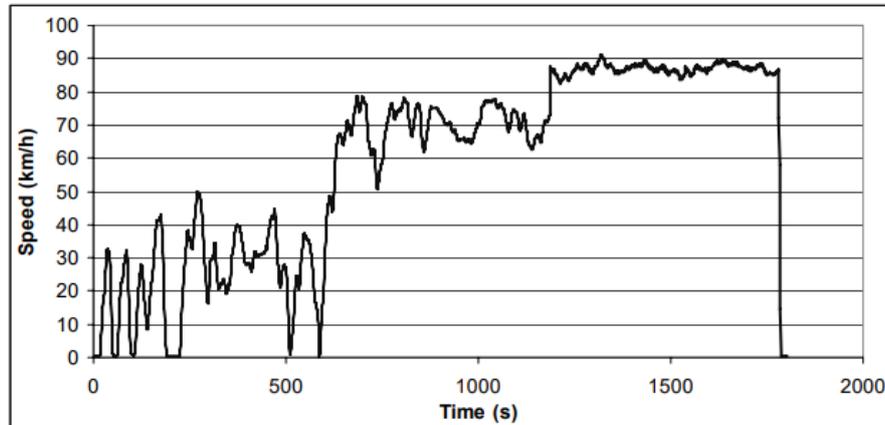


Fuente: Libro de referencia de ciclos de conducción [11].

Elaborado: Barlow, T J; Latham, S; McCrae, I S; Boulter, P G.

Los ciclos de conducción estadounidense FTP-75 y el oficioso europeo Hyzem, son transitorios, mientras que los ciclos japoneses Modo 10-15 y JC08 son modales. Otro ciclo es el WLTP, que se esfuerza en imitar el comportamiento del mundo real.

Figura 6. Ciclo transitorio europeo (ETC): ciclo completo.



Fuente: Libro de referencia de ciclos de conducción [11]

Elaborado: Barlow, T J; Latham, S; McCrae, I S; Boulter, P G.

2.1.9. Propiedades termodinámicas de la localización de experimentación.

2.1.9.1. Presión atmosférica.

Es aquella presión que ejerce el aire en cualquier punto de la atmósfera terrestre, variando esta presión con la altura a la que se encuentre. La presión parcial de oxígeno disminuye en forma directa y proporcional a la presión atmosférica. Esto es debido a que la presión atmosférica va a depender del peso y la cantidad de aire que sobra por encima. A mayor altura, menor cantidad de aire queda por encima de nuestras cabezas, que por tanto pesa menos y ejerce menor presión. [12].

2.1.9.2. Densidad del aire.

Es la responsable de la presión atmosférica, ya que, al variar la densidad, aumenta el peso del aire o lo reduce de forma proporcional. Es equivalente a $1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y la composición del aire permanece igual, pero en la altura la presión barométrica total disminuye conforme

aumenta la altitud, por tanto, la presión parcial de O₂ (PO₂) disminuye en forma directamente proporcional a la presión atmosférica [12].

2.1.9.3. Temperatura.

La temperatura físicamente está dada por la agitación de partículas, obteniendo así a mayor agitación, mayor temperatura. Muchas de las propiedades físicas y químicas de la materia o de sustancia varían en función de la temperatura a la que estén. La noción de temperatura atmosférica, por lo tanto, refiere al nivel de calor que tiene el aire en un sitio determinado y en un momento específico [13].

2.1.9.4. Humedad relativa.

Representa el porcentaje de saturación de un volumen específico de aire cuando está a una temperatura específica. La humedad relativa del aire también depende de la presión del volumen de aire analizado. Como la unidad de humedad relativa es por ciento, varía entre 0 (aire completamente seco) y 100% (aire saturado) [14].

2.1.10. Torque.

Se define como la fuerza que tiene el motor para desplazar un vehículo, con o sin carga dentro de él. Es decir que el torque es la fuerza que saca de su estado de reposo a un vehículo y lo pone en movimiento [15].

$$M = F * s$$

Ecuación 1.

M: Torque o momento (Nm)

F: Fuerza proporcionada por el motor (N)

s: Distancia (m)

2.1.11. Potencia efectiva del motor.

La potencia es indicativa de la cantidad de veces en la que está disponible el torque del motor en el tiempo, es decir, a qué velocidad se dispone del par motor. La potencia generada por

el motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada que este posee, debido a que si sus valores son mayores se tendrá una mayor explosión y un aumento de fuerza sobre el pistón; también es dependiente de las revoluciones por minuto a las que gira el cigüeñal del motor. En consecuencia, la potencia puede ser determinada mediante la Ecuación 2 [16].

$$P = M * \omega = \frac{M * n}{\frac{60}{2\pi}}$$

Ecuación 2.

P: Potencia del motor (kW)

M: Torque o par motor (Nm)

ω : Velocidad angular del eje del cigüeñal $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

n: Revoluciones por minuto (rpm)

2.1.12. Consumo específico.

Es la ración de combustible que requiere un motor para abastecer una determinada unidad de potencia por cada unidad de tiempo. El consumo específico es la manera en la que se manifiesta el rendimiento del motor, de tal forma que relaciona el consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor va a ser su rendimiento [17]. El consumo específico b_e obtenido con la siguiente ecuación:

$$b_e = \frac{\dot{m}_c}{P}$$

Ecuación 3.

Donde:

b_e consumo específico $\left(\frac{\text{g}}{\text{kWh}}\right)$

\dot{m}_c es el flujo másico del combustible $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

P es la potencia del vehículo (kW)

2.1.13. Mapa de consumo de combustible específico.

Para caracterizar correctamente el consumo de combustible y el rendimiento general de un vehículo, es esencial un mapa completo del motor que describa el consumo de combustible del motor en todo su rango operativo, incluido el ralentí, el acelerador completamente abierto, el par motor mínimo y la velocidad operativa máxima [18].

2.1.14. Balance energético.

El balance energético para los MCI cumple con la igualdad de la primera ley de la termodinámica $E_{in} = E_{out}$, es también denominado balance energético o balance de calor [19].

$$\sum Q_a = \sum H_{entrada} - \sum H_{salida} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

$\sum Q_a$: sumatoria de calor evacuado al ambiente (kJ)

$\sum H_{entrada}$: sumatoria de entalpías que entran al sistema (kJ)

$\sum H_{salida}$: sumatoria de entalpías que salen al ambiente (kJ)

El balance energético se determina considerando los siguientes cálculos generales (Ecuaciones 2 – 5):

2.1.14.1. Flujo másico de combustible

$$\dot{m}_c = \rho \frac{V}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

\dot{m}_c = flujo másico de combustible $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

ρ_{com} = densidad específica de combustible $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$V =$ volumen de combustible (m^3)

$\Delta t =$ tiempo de flujo (3600 s)

2.1.14.2. Calor liberado por el combustible

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot PCI \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde

$\dot{Q}_c =$ calor liberado por el combustible (kW)

PCI = poder calorífico inferior del combustible $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

2.1.14.3. Eficiencia energética del sistema

$$\eta_{\text{energético}} = \frac{P_{\text{máx}}}{\dot{Q}_c} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

$P_{\text{máx}} =$ potencia máxima del motor (kW)

$\dot{Q}_c =$ calor liberado por el combustible (kW)

2.1.15. Balance exergético.

La exergía está definida por el concepto de la cantidad límite de trabajo útil teórico que se da cuando el sistema llega al equilibrio térmico con el ambiente. El objetivo principal de un análisis exergético es conceptualizar el diseño óptimo para un sistema [20].

Se pueden reconocer tres principios de destrucción de exergía: irreversibilidades en el cilindro, mecánicas y otras formas. Para el cilindro se presentan los efectos de transferencia de calor dado por los gases hacia la pared del cilindro, la combustión y la viscosidad. En las irreversibilidades mecánicas se tiene por causa la fricción, esta se calcula como la diferencia entre potencia de frenado indicada. Otras irreversibilidades explican la suma de varios procesos, como las pérdidas de bombeo y el desarrollo de mezcla de comburente (aire) y

combustible (gasolina), el estrangulamiento y la transferencia de calor hacia al sistema de enfriamiento [20].

2.1.15.1. Exergía del combustible

El balance de exergía asociada al calor del combustible se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E_{Xc} = \dot{m}_c \cdot PCI \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

E_{Xc} = Exergía del combustible (kW)

PCI = Poder calorífico inferior del combustible $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$

2.1.15.2. Exergía de flujo de los gases del escape

También otro balance de exergía a tomar en cuenta es el flujo de los gases de escape del motor. Está compuesta por los calores específicos en base a las respectivas temperaturas de entrada y salidas de los gases durante el funcionamiento del motor. Está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{E}_{Xg} = \dot{m}_g \left[C_p T_0 \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) - \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_c \quad \text{Ecuación 10.}$$

\dot{m}_g = Caudal de gas $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

\dot{m}_{ar} = flujo de aire $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

\dot{m}_c = flujo másico de combustible $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

\dot{E}_{xg} = Exergía asociada al flujo de gases (kW)

C_p = Calor específico a presión constante $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$

T_0 = Temperatura de referencia (K)

T = Temperatura de los gases de salida (K)

2.1.15.3. Eficiencia exergética del sistema

La eficiencia exergética se determina a partir de la ecuación:

$$\eta_{\text{exergética}} = \frac{\sum E_{\text{flujos de entradas}} - \sum E_{\text{flujos de salida}}}{\sum E_{\text{flujos de entradas}}} \quad \text{Ecuación 11.}$$

El calor específico del aire a una temperatura T (K), está dado por la ecuación:

$$c_{\text{par},T} = C_0 + C_1T + C_2T^2 + C_3T^3 + C_4T^4 \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right) \quad \text{Ecuación 12.}$$

Para temperatura entre 200 a 800 K.

Donde:

$$c_0 = 1,0189 \times 10^3$$

$$c_1 = -1,3784 \times 10^{-1}$$

$$c_2 = 1,9843 \times 10^{-4}$$

$$c_3 = 4,2399 \times 10^{-7}$$

$$c_4 = -3,7632 \times 10^{-10}$$

El calor específico a presión constante de los gases de combustión está dado por la siguiente ecuación:

$$c_{p\text{ g},T} = c_{\text{par},T} + \frac{f}{1+f} \theta_{Cp,T} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right) \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

$$f = \frac{\dot{m}_{\text{comb}}}{\dot{m}_{\text{ar}}} \quad \text{Ecuación 14.}$$

$$\theta_{C_p,T} = C_{P0}T + C_{P1}T^2 + C_{P3}T^3 + C_{P4}T^4 + C_{P5}T^5 \quad \text{Ecuación 15.}$$

Para temperatura entre 200 a 800 K.

$$C_{P0} = -3,5949 \times 10^2$$

$$C_{P1} = 4,5164 \times 10^0$$

$$C_{P2} = 2,8116 \times 10^{-3}$$

$$C_{P3} = -2,1709 \times 10^{-5}$$

$$C_{P4} = 2,8689 \times 10^{-8}$$

$$C_{P5} = -1,2226 \times 10^{-11}$$

2.1.16. Poder calorífico.

Se conoce como la porción de energía emanada en la fase de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Expresa la energía máxima que puede liberar la mezcla química entre un combustible (gasolina) y el comburente (aire) y es igual a la energía que mantenía unidos las moléculas de combustible, menos la energía usada en la formación de nuevas moléculas formadas en la combustión [21]. El PCS de la gasolina es de $47300 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$ y el PCI es de $44000 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$, los valores presentados a continuación fueron obtenidos mediante pruebas con una bomba calorimétrica con combustibles de una estación en Tambillo (Súper, Extra) y de Guayaquil (Ecopaís) [22].

Tabla 6. Poder calorífico superior de los combustibles en el Ecuador.

Combustible	Poder Calorífico	Poder Calorífico
	Superior $\left(\frac{kJ}{Kg}\right)$	Inferior $\left(\frac{kJ}{Kg}\right)$
Súper	47746,989	47124,489
Extra	46819,863	45882,363
Ecopaís	45892,737	45217,737

Fuente: Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica [22].

Elaborado: Quimbita A., Guallichico E.

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Normas para los métodos de ensayos en combustibles para MCI para encendido por chispa

2.2.1.1. NTE INEN 935 – Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos

Objetivo: Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la gasolina para motores de combustión interna de encendido por chispa [9]. La gasolina de acuerdo con su octanaje se clasifica en cuatro tipos:

- a) Gasolina de 85 octanos (RON),
- b) Gasolina de 89 octanos (RON),
- c) Gasolina de 92 octanos (RON),
- d) Gasolina de 95 octanos (RON).

2.2.1.2. NTE INEN 2102 – Derivados del petróleo. Gasolina. Determinación de las características antidetonantes. Método Research (RON)

Objetivo: Esta norma implanta el proceso para decretar las características antidetonantes de las gasolinas usadas en motores de encendido provocado, expresando las características como número de octano RON [23].

Alcance: El método de número de octano RON se asocia con el comportamiento antidetonante de las gasolinas usadas en motores de encendido provocado a baja velocidad. Este método es utilizado por los fabricantes de motores, las refinerías de petróleo y en la actividad comercial en general, para medir la cantidad fundamental de las especificaciones que garanticen la apropiada capacidad antidetonante del combustible y de los requerimientos del motor [23].

2.2.1.3. ASTM D86-12 Método de prueba estándar para la destilación de productos derivados del petróleo a presión atmosférica

Alcance: Este método de prueba cubre la destilación atmosférica de productos derivados del petróleo utilizando una unidad de destilación por lotes de laboratorio para determinar cuantitativamente las características del rango de ebullición de productos tales como destilados ligeros y medios, combustibles para motores de encendido por chispa de automóviles con o sin compuestos oxigenados, aviación gasolinas, combustibles para turbinas de aviación, combustibles diésel, mezclas de biodiésel hasta un 20 %, combustibles marinos, gasolinas especiales, naftas, aguarrás, querosenos y combustibles para quemadores de grados 1 y 2 [24].

2.2.1.4. ASTM D323-15 – Método de prueba estándar para la presión de vapor de productos derivados del petróleo (método Reid)

Alcance: Este método de prueba abarca los procesos para establecer la presión de vapor de gasolina, petróleo crudo volátil y otros productos de petróleo volátiles [25].

2.2.1.5. ASTM D130-12 – Método de prueba estándar para determinar la corrosividad del cobre de los productos derivados del petróleo mediante la prueba de la tira de cobre

Alcance: Este método de prueba cubre la determinación de la corrosividad al cobre de la gasolina de aviación, combustible para turbinas de aviación, gasolina para automóviles, solventes de limpieza (Stoddard), queroseno, combustible diésel, aceite combustible destilado, aceite lubricante y gasolina natural u otros hidrocarburos que tienen vapor. presión no superior a 124 kPa (18 psi) a 37,8 °C [26].

2.2.1.6. ASTM D4294-1 – Método de prueba estándar para azufre en petróleo y productos derivados del petróleo mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía

Alcance: Este método de prueba abarca la cantidad del azufre total en petróleo y los productos que provienen de derivados del petróleo. Estos materiales pueden incluir combustible diésel, combustible para aviones, queroseno, otros aceites destilados, nafta, aceite residual, aceite base lubricante, aceite hidráulico, petróleo crudo, gasolina sin plomo, mezclas de gasolina y etanol, biodiésel y productos derivados del petróleo similares [27].

2.2.1.7. ASTM D381-19 – Método de prueba estándar para contenido de goma en combustibles por evaporación a chorro

Alcance: Este método de prueba cubre la determinación del contenido de goma existente en los combustibles de aviación y el contenido de goma de las gasolinas de motor u otros destilados volátiles en su forma final (incluidos los que contienen oxigenados de tipo alcohol y éter y aditivos para el control de depósitos; en el momento de la prueba [28].

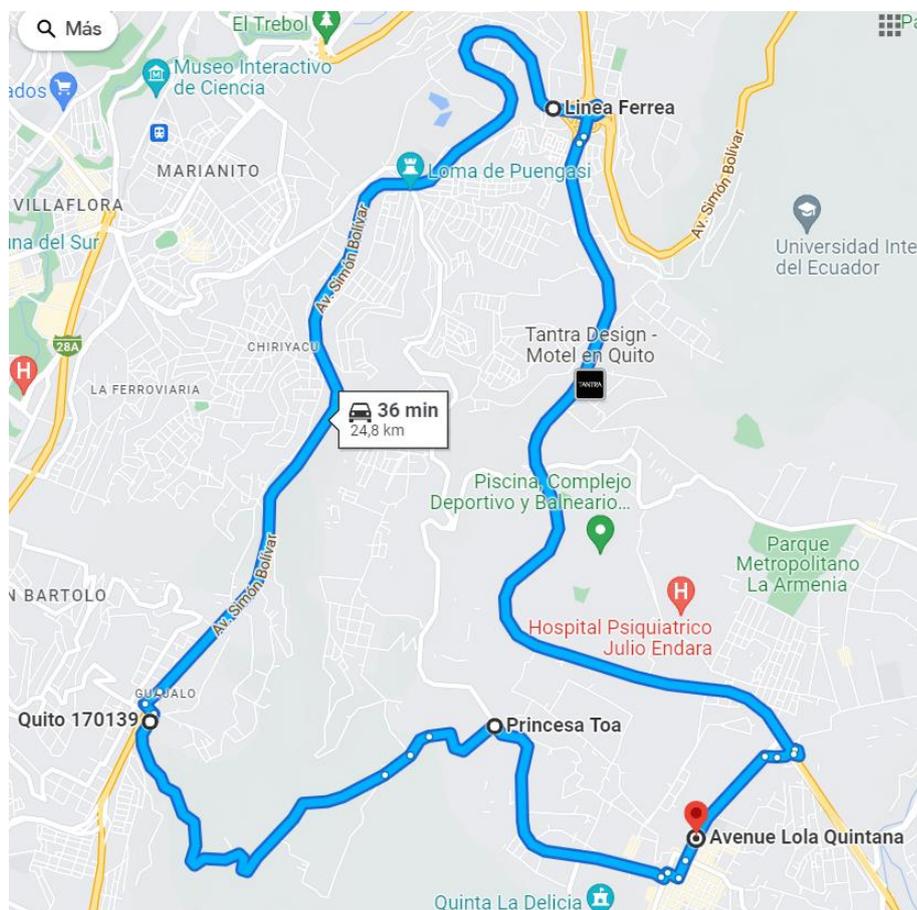
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Localización.

La presente investigación se realiza en la parroquia rural Conocoto perteneciente al distrito metropolitano de Quito partiendo desde la Av. Lola Quintana dirigiéndose a las Av. Gran General Rumiñahui, Av. Simón Bolívar Sur, Vía Conocoto, Av. Princesa Toa, Av. Camilo Ponce Enríquez, como se indica en la Figura 7, esta ruta consta de 24,8 km a lo largo de su extensión, la característica de esta ruta consiste en varias pendientes y curvas permitiendo la obtención de datos bajo condiciones reales de conducción.

Figura 7. Ruta urbana- Extraurbana realizada durante la experimentación en Conocoto con recorrido de 24,8 km.



Fuente: Google Maps.

Elaborado: Autores.

La región sierra presenta un clima más frío y una presión elevada en comparación de la costa por ello en la Tabla 7 se designan las variables y sus valores respectivos recolectados con el Skywatch Geos 11 para el primer y segundo día de prueba.

Tabla 7. Propiedades termodinámicas de la localidad de Conocoto tomadas con el Skywatch Geos 11.

Variable	Día 1	Día 2
Velocidad del viento	13,31 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	15,66 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Temperatura	21,88 °C	25,63 °C
Presión atmosférica	745,58 hPa	745,76 hPa
Humedad relativa	49,34 % rH	35,31 % rH
Altura real	2506,17 m	2506,11 m

Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

3.2. Métodos de investigación.

3.2.1. Método descriptivo.

Este método permite evaluar y describir las características esenciales para realizar el proyecto de investigación. Se obtendrán las características más importantes de la mezcla gasolina-etanol bajo las condiciones de funcionamiento del motor.

3.2.2. Método analítico.

El método analítico permite analizar cada una de las partes que intervienen en la evaluación del biocombustible para determinar cuán importantes son y la relación entre cada uno de ellos. Ayuda a que durante las pruebas se pueda comprender el comportamiento del vehículo y cómo responden sus parámetros a evaluar.

3.2.3. Método experimental.

El método para la investigación de tipo experimental conlleva procesos para la obtención del biocombustible que se realizan en un laboratorio con máquinas donde se manipulan variables como azúcar, temperatura, presión, etc. Una vez obtenido la mezcla E5 de biocombustible, se tomarán muestras y se realizará las pruebas para ver cuán efectivo es el biocombustible gasolina-etanol; manipulando las variables tales como torque, rpm y consumo del vehículo para cuantificar el rendimiento del motor de combustión interna.

3.3. Tipo de investigación.

3.3.1. Investigación bibliográfica.

La investigación bibliográfica permite recolectar información de suma importancia para dar a conocer una explicación o criterio sobre el tema a especificar en la investigación, ya que tiene contenido referente a los temas tratados por investigadores o autores de diferentes libros, revistas, etc.

3.3.2. Investigación linkográfica.

Se utiliza la investigación linkográfica para recolectar información fidedigna de la web que complementa los criterios y conceptos del marco referencial siendo de apoyo para el desarrollo de la investigación.

3.3.3. Investigación experimental.

El tipo de investigación experimental permite testear un motor de combustión interna haciendo uso de la mezcla gasolina– bioetanol para conocer qué efectos produce en las variables dependientes (rendimiento, consumo específico, balances energéticos) debido a las variables independientes (rpm, velocidad, mezcla gasolina-etanol) que se manipulan para intencionalmente para desarrollar el mayor rendimiento en las pruebas para recolectar información muy importante para el desarrollo de la investigación.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

La información de primera mano que se obtiene en el presente proyecto de investigación es registrada por medio de los instrumentos de medición utilizados en las pruebas del análisis energético. Esta información permitirá calcular valores inéditos de las variables que influyen en el motor de combustión interna bajo el uso de la mezcla E5 de biocombustible del mucílago de cacao.

3.4.2. Fuentes secundarias.

Estas fuentes son la recopilación de información de libros, artículos científicos, informes que están basadas en los requerimientos de las fuentes primarias.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño experimental.

El primer paso dentro de la metodología será el análisis del cultivo del cacao para valorar los diversos subproductos asociados tanto a su cultivo como a su procesado. Posteriormente, se analizarán los diversos subproductos desde el punto de vista físico (determinando propiedades como humedad, densidad, granulometría, etc.) y energético (poder calorífico, análisis elemental, análisis inmediato).

Para la obtención del alcohol se inicia con la extracción del mucílago del grano de cacao, se almacena en reservorios provisionales de forma que no tienda a contaminarse para luego ser llevado al reactor donde se agrega un aproximado de 5 gr de levadura después de ser calentado a 40 - 45 grados Celsius, se extrae el cacao del reactor para colocar en botellones con el fin de que la sustancia se empiece a fermentar en ausencia del oxígeno y para garantizar el proceso se coloca globos con ligeras perforaciones actuando como válvula que permitan tan solo la salida de gases, dicho proceso de fermentación se lleva a cabo durante 21 días ya que la presencia de azúcar es de 3 a 4 Brix.

Una vez fermentada la materia prima, se procede a cernir para eliminar las impurezas y colocar la sustancia libre de sólidos en la torre de destilación para iniciar el proceso de extracción de alcohol, manteniendo el equipo con una temperatura de 85 – 90 grados Celsius. En la primera destilación se pretende obtener alcohol de 50 a 70 % v/v mientras que en el segundo proceso se obtendrá con mayor pureza con un grado de 90 % v/v, siendo este último aquel que se utilizará para realizar la mezcla de gasohol E5. La estimación de entrada y de salida de materia prima transformada en biocombustible se aspira que sea de 9:1; 9 litros de mucílago de cacao se conviertan en 1 litro de alcohol. Obtenido los resultados se verificará los porcentajes de metanol y etanol, esperando contenga la muestra valores mayores al 71 % de etanol. Su fórmula química es $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$, se determinará su poder calorífico y su octanaje de 105.

El análisis energético del comportamiento del motor de combustión interna y su desempeño mecánico se realizará mediante varias pruebas con distintos combustibles comerciales en el Ecuador y la mezcla E5 con gasolina extra, las pruebas se llevan a cabo en la ruta urbana extraurbana de relieve variado, esta se encuentra en la Parroquia Rural Conocoto, en la que se realizarán dos recorridos por cada combustible para la recolección de datos de las distintas variables obtenidas con el CANedge 1 y el CANmod de la unidad de control del vehículo. Previo a las pruebas de ruta se caracterizaron las propiedades del gasohol E5 bajo la norma NTE INEN 935.

3.6. Instrumentos de investigación.

3.6.1. Refractómetro.

La escala Brix se utiliza para indicar el contenido de azúcar de una solución. Habitualmente el refractómetro Brix se utiliza para medir líquidos como el vino o jugos para determinar la cantidad de sólidos solubles en la solución. Se presenta su diseño, en el que la luz pasa a través de la muestra y luego por una serie de prismas produciendo una línea de demarcación sobre un retículo. Este conjunto de prismas reduce la dispersión de la luz blanca permitiendo de esta manera el uso de la luz ambiente para su iluminación. Para el uso del refractómetro se debe colocar una gota de la solución sobre el prisma y luego dirigir el instrumento hacia la luz. A través de la retícula se puede observar la medida del azúcar en una escala de grados brix [29].

Figura 8. Refractómetro medidor de azúcar en grados brix.



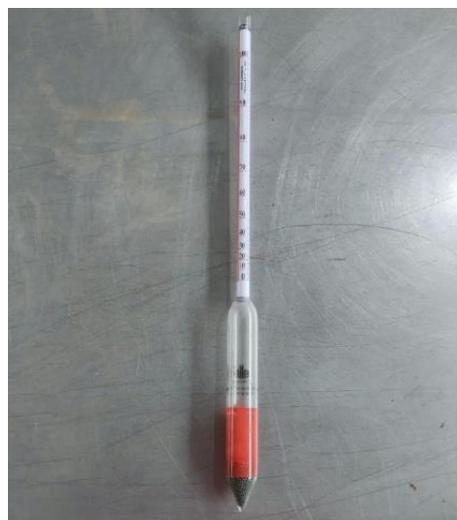
Fuente: Revista Cero Grados Celsius [30].

Elaborado: Danahé San Juan.

3.6.2. Densímetro.

También conocido como areómetro, es un dispositivo que mide la densidad de un líquido según el principio de Arquímedes. El densímetro consta de una varilla de vidrio hueca con un tubo ensanchado y un lastre en la parte inferior. Cuando se sumergen en líquidos, flotan y el peso del volumen de líquido empujado hacia atrás es igual al peso de todo el aparato. Por tanto, se hunde más o menos dependiendo de la densidad del líquido [31]. El densímetro de Gay Lussac es un tipo específico de hidrómetro flotante, que se caracteriza por estar diseñado para determinar el nivel de alcohol, incluidas algunas bebidas a base de agua, es decir, el porcentaje en volumen de etanol en relación con la cantidad total.

Figura 9. Densímetro de Gay Lussac.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

3.6.3. Reactor.

Posee un modo de operación por lotes, se usan en la industria de procesos químicos en forma de tanque individual, posee una facilidad de mantener o variar la temperatura, en este caso una temperatura de 28 – 50 °C. Mantener las condiciones requeridas es fundamental, de ello depende la correcta reacción de la sustancia ya que este puede variar sus propiedades fisicoquímicas a medida varía la temperatura o presión [32].

3.6.4. Torre de destilación.

El sistema de destilación funciona con una solución líquida binaria y no con un sistema de vapor ideal. La alimentación a la torre es una mezcla en punto de ebullición, líquido saturado y temperatura a 92,3 °C. La columna de destilación separa el benceno del tolueno que entra como una corriente de alimentación con un caudal y una composición entre la sección de rectificación y extracción. El rehervidor se calienta con vapor y la corriente de alimentación precalentada ingresa a la columna en la bandeja de alimentación como líquido saturado. Las variables manipuladas son los caudales de reflujo, temperaturas de arriba y de abajo [33].

Figura 10. Torre de destilación del laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

3.6.5. CANedge 1: registrador de datos bus can (sd + rtc, OBD-II).

El registrador plug & play 2xCAN/LIN registra datos CAN con marca de tiempo (Classical/CAN FD) en la tarjeta SD industrial extraíble de 8 GB. El CANedge 1 es ideal para monitorear sistemas de bus CAN durante períodos prolongados, por ejemplo, con fines legales, desarrollo de vehículos, diagnóstico, mantenimiento o investigación [34].

Figura 11. CANedge 1, equipo de medición de parámetros del vehículo.



Fuente: CSS electronics [34].

Elaborado: CSS electronics.

3.6.6. CANmod GPS.

Este módulo autónomo de GPS a CAN produce posición GNSS y datos de inercia 3D (a través de un giroscopio y un acelerómetro) y los emite a través de marcos de bus CAN configurables. Puede integrar el módulo con cualquier bus CAN, por ejemplo, redes de vehículos o hardware CAN. Como ejemplo, puede usarlo como un módulo adicional plug & play para CANedge [35].

Figura 12. CANmod GPS.



Fuente: CSS electronics [35].

Elaborado: CSS electronics.

3.6.7. Estación portátil multifunción Skywatch geos 11.

Equipo multifunción con gran memoria para la medición precisa de la presión atmosférica, la velocidad del viento, altitud, brújula, temperatura, humedad y reloj El Geos nº11 es un instrumento profesional de alto rendimiento. Sólo utiliza componentes de calidad industrial y sensores de presión, velocidad del aire, humedad y temperatura de fabricación suiza. Ideal para ambientes duros y extremos, indicado para numerosas actividades: senderismo, aviación, eventos deportivos, geología, actividades militares, vuelo libre [36].

Figura 13. Skywatch Geos 11.



Fuente: Darrera [36].

Elaborado: Darrera.

3.7. Tratamiento de los datos.

La obtención de datos de la estación multifuncional se realiza con el software Skywatch Log para su exportación a Excel, del mismo modo se utiliza el software Asammdf GUI para la manipulación de datos del Canedge 1 y Canmod.

- Excel
- Word
- Asammdf GUI
- Skywatch Log

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Equipos y materiales.

- Refractómetro
- Alcoholímetro
- Reactor
- Torre de destilación
- Can Edge 1: registrador de datos bus can (sd + rtc, OBD II)
- Can mod GPS
- Estación portátil multifunción Skywatch geos 11
- Equipo de cómputo (laptop)
- Calculadora
- Información estadística

3.8.2. Recursos humanos.

- Ing. Cristian Laverde, tutor de tesis.
- Ing. Amado Coello, encargado del laboratorio de operaciones unitarias de la UTEQ.
- Ing. José Villarroel, guía para el proceso de la obtención del etanol de mucílago de cacao.
- Irene Muñoz y José Ordóñez, tesisistas para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.
- Vladimir Cobo, conductor designado para las pruebas de ruta.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

En Ecuador, según cifras de la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (Anecacao) [37], la provincia que más aporta es la de Los Ríos con 81578 toneladas de producción de cacao, seguida por Guayas con 62254 toneladas, Manabí con 57753 toneladas y Esmeraldas con 41553 toneladas, entre otras. Según Arteaga [38] en el estudio realizado a una muestra probabilística de 397 a los agricultores del sector Naranjal, que contribuyeron a la investigación. Los resultados arrojaron que el desperdicio del mucílago se da por diferentes razones; el 72 % por falta de conocimientos, el 22 % por el desinterés de los agricultores y el 6 % por falta de innovación.

Actualmente se la utiliza de forma artesanal y a baja escala como materia prima fundamental para la elaboración de bebidas, jaleas, licores y diversos agricultores de la zona de Quevedo la emplean como base de herbicidas, por su característica adhesiva. Las muestras del estudio de Rodríguez [39] se obtuvieron de diversos cantones de la provincia de los Ríos, donde se analizaron 3 zonas específicamente Mocache, Buena Fe y Quevedo. Se realizó la recolección de 500 mazorcas por finca experimental de la variedad Nacional de Cacao. Se obtuvo como resultados que aproximadamente el porcentaje que se desperdicia de mucílago en referencia a todo el fruto de cacao, incluyendo la corteza, es del 20 % desaprovechado total del mucílago. Así, esto implica que se desaprovecha aproximadamente 40 litros de pulpa mucilaginosa que serían el resultado de 800 kilogramos de semillas frescas con mucílago de cacao [39].

4.1.1. Proceso de obtención de datos experimentales.

La obtención de datos del etanol se registró durante el primer y segundo periodo académico 2021 – 2022 de la UTEQ, se obtuvieron datos del porcentaje de azúcar presente en el mucílago de cacao antes y después del proceso de fermentación mediante el uso del refractómetro. Para recolectar datos del proceso de destilación se utilizó un densímetro con el cual se medía los grados del alcohol.

Las pruebas experimentales fueron realizadas en la región Sierra, específicamente en la parroquia de Conocoto, donde se evaluó el análisis energético del motor de combustión de encendido provocado bajo el uso de la mezcla E5 de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao en un automóvil Hyundai Grand i10 que cuenta con un motor Kappa 1,2

L con una potencia máxima de 86 HP @ 6000 rpm y un torque máximo de 120 Nm @ 4000 rpm con una ruta de 24,3 km. Para la recolección de los datos tales como de revoluciones, torque, velocidad, presión atmosférica, etc., se utilizó equipos como el CANedge enlazado al puerto OBDII dando como resultados las variables indicadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Variables obtenidas del CANedge al conectar al puerto OBD II.

PID	Variable	Unidad
0C	Revoluciones por minuto	rpm
0D	Velocidad del vehículo	$\frac{m}{s}$
0B	Presión absoluta del colector de admisión	kPa
0F	Temperatura de entrada	°C
04	Carga del motor	%

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Las condiciones ambientales de la Parroquia Conocoto durante cada recorrido de las pruebas se tomaron con ayuda del Skywatch Geos 11 el cual nos permite obtener datos de las variables de la Tabla 9 adicionalmente se obtienen variable como punto de rocío, nivel del suelo, campo magnético de la tierra, sensación térmica y vario altímetro.

Tabla 9. Variables obtenidas del Skywatch Geos 11.

Variable	Unidad
Sensor de velocidad del viento	$\frac{km}{h}$
Sensor de temperatura	°C
Sensor de presión QNH	HPa
Sensor de humedad	%
Altura real	m

Fuente: Skywatch Geos 11.

Elaborado: Autores.

4.1.2. Horario de ejecución de las pruebas de ruta.

Las pruebas de rutas en la parroquia de Conocoto se realizaron entre los días 14 y 15 de septiembre del 2022 como lo designa el horario establecido en la Tabla 10. El primer día se realizaron las dos primeras pruebas con la gasolina extra, empezando a las 15:22 y terminando a las 16:52, siendo un total de 24,8 km por cada vuelta en el circuito.

Tabla 10. Horarios de las pruebas de rutas realizadas en el circuito Conocoto.

Fecha	Horario	Combustible	Tiempo recorrido
14/09/2022	15:22 – 16:07	Extra-1	45 min
14/09/2022	16:11 – 16:52	Extra-1	41 min
15/09/2022	10:58 – 11:38	Mezcla E5 Bio 1	40 min
15/09/2022	11:40 – 12:27	Mezcla E5 Bio 2	47 min
15/09/2022	17:08 – 17:40	Súper 1	28 min
15/09/2022	17:40 – 18:02	Súper 2	22 min

Fuente: CANedge.

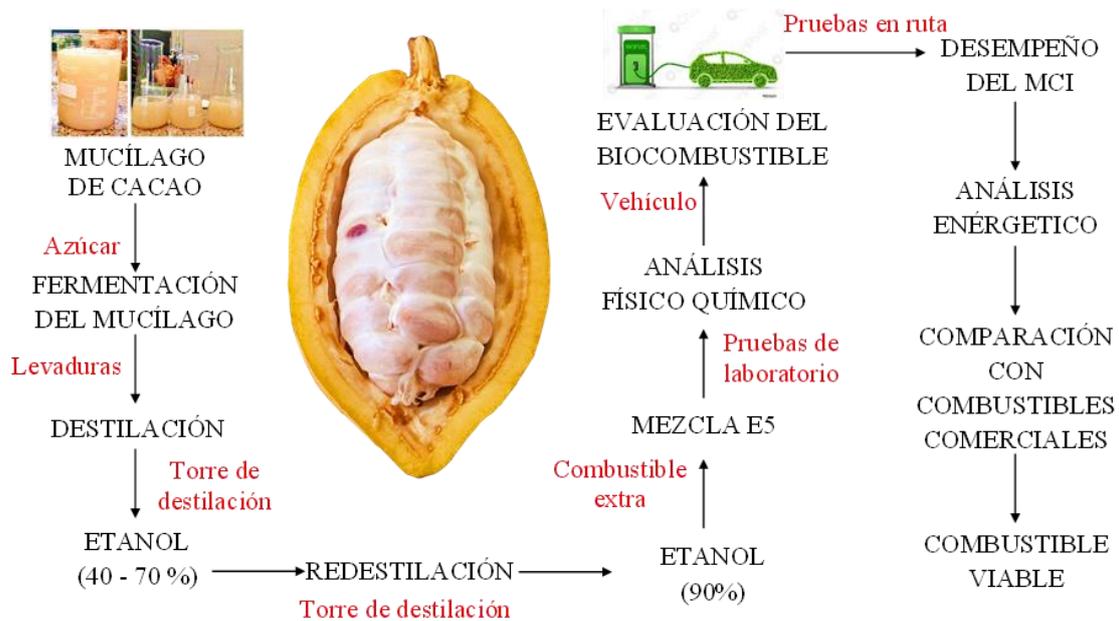
Elaborado: Autores.

4.1.3. Proceso de la obtención de datos para el análisis energético.

Se empieza con el procesado del mucílago de cacao el cual es tratado con levadura para llevarlo a fermentación donde en ausencia del oxígeno la sustancia aumentará la concentración de azúcares por carbonización dando lugar al alcohol que se obtienen durante la destilación hasta obtener el derivado de 90°, este último se mezcla en una proporción 95-5 % con combustible extra y alcohol respectivamente.

Al mucílago y a la mezcla E5 de biocombustible se les realiza análisis físico químico con el fin de determinar su composición y sus requisitos como combustible acorde a lo estipulado en la norma NTE INEN 935 para los combustibles derivados del petróleo y las mezclas con biocombustibles de origen orgánico.

Figura 14. Diagrama del desarrollo del análisis de la mezcla E5 de biocombustible en un motor de combustión interna.



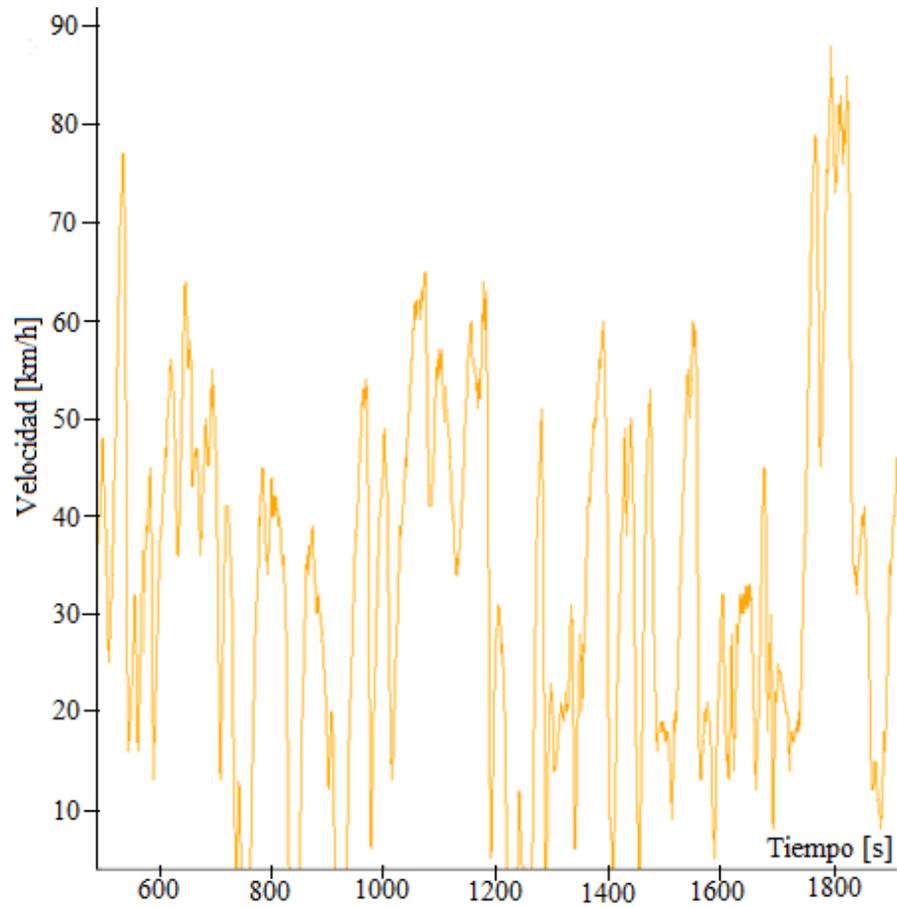
Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

4.1.4. Factores que influyen en el proceso de obtención de datos.

Uno de los factores que se deben tomar en cuenta para realizar pruebas en rutas es el recorrido en donde se va a realizar, ya que los ciclos de conducción transitorios tienen mucha variación de velocidades ya que acapara velocidades dentro de la ciudad y en la autopista. La ruta escogida en la parroquia Conocoto abarca su primera parte en la ciudad, para proceder a tomar dos autopistas para finalmente volver a la ciudad. La Figura 15, muestra velocidad vs tiempo representando el ciclo de conducción del vehículo usando combustible Súper donde empieza con velocidades bajas debido al tráfico existente en la ciudad y aumentando los picos de velocidades al salir a la autopista donde alcanzó la velocidad máxima de $88 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ y su velocidad promedio fue de $35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ durante toda la ruta.

Figura 15. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1800 segundos con combustible súper.

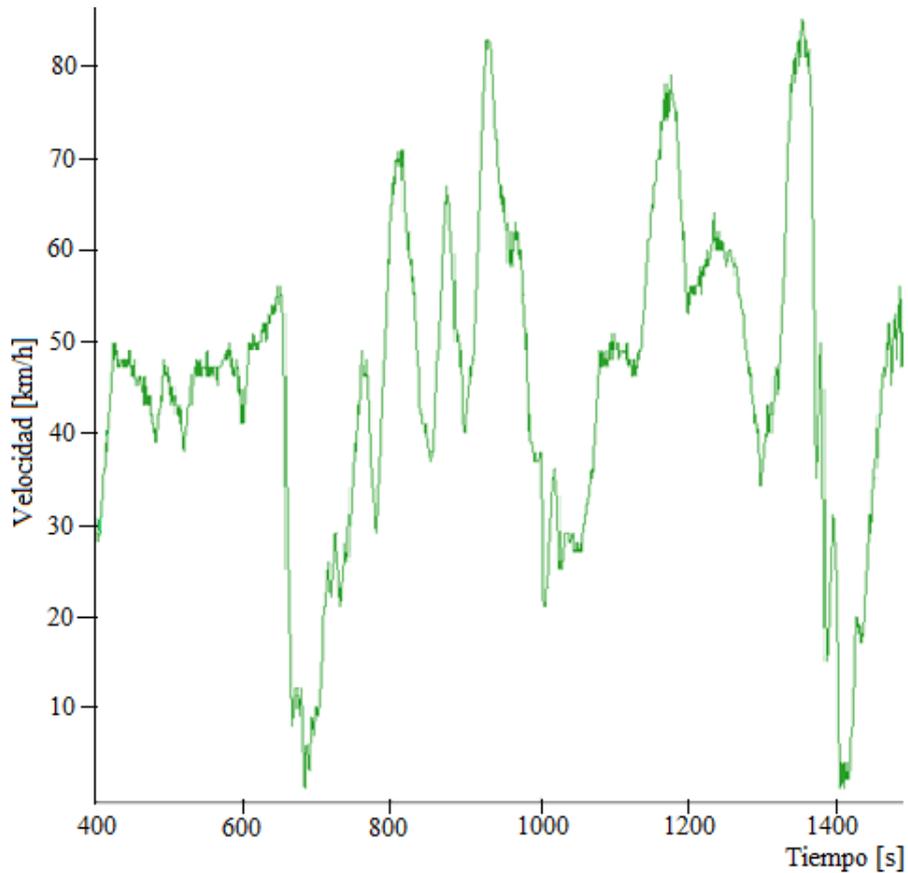


Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

Por consiguiente, la Figura 16, representa el ciclo de conducción del vehículo usando la mezcla E5 de biocombustible teniendo picos de velocidades más altos que el ciclo de Súper, donde alcanzó la velocidad máxima de $86 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ y su velocidad promedio fue de $42 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ durante toda la ruta.

Figura 16. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1400 segundos con la mezcla E5 de biocombustible.

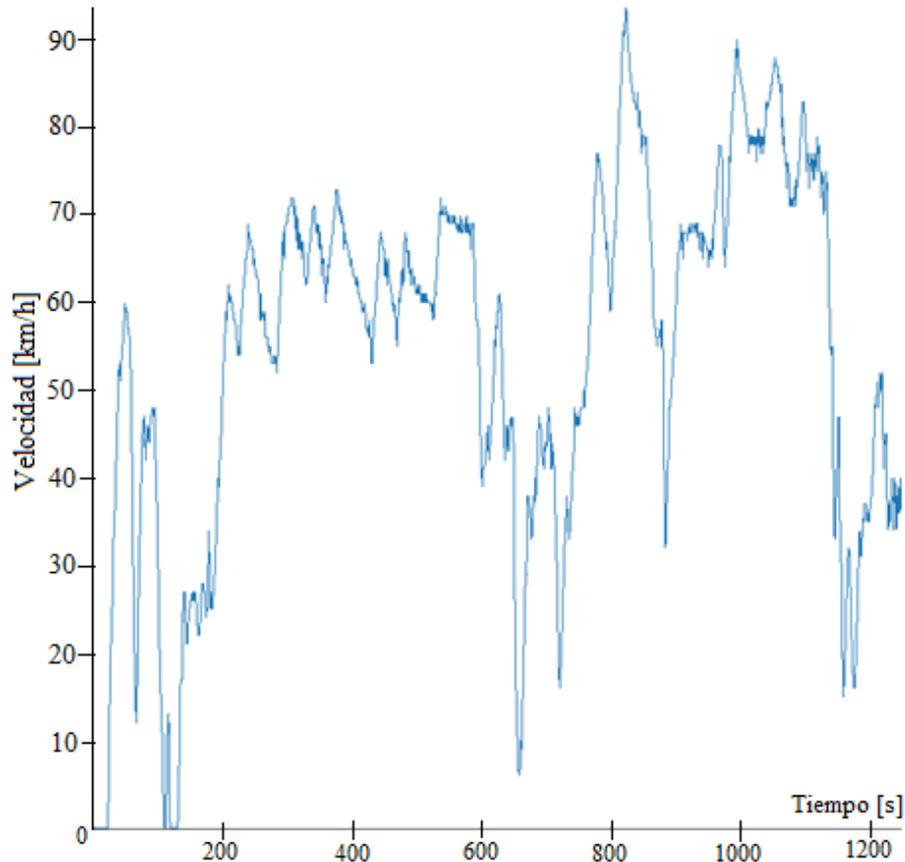


Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

Finalmente, la Figura 17, representa el ciclo de conducción del vehículo usando combustible Extra teniendo el pico de velocidad más alto, donde alcanzó la velocidad máxima de $94 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ y su velocidad promedio fue de $44 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ durante toda la ruta siendo la ruta en alcanzar la mayor velocidad.

Figura 17. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante 1200 segundos con combustible extra.



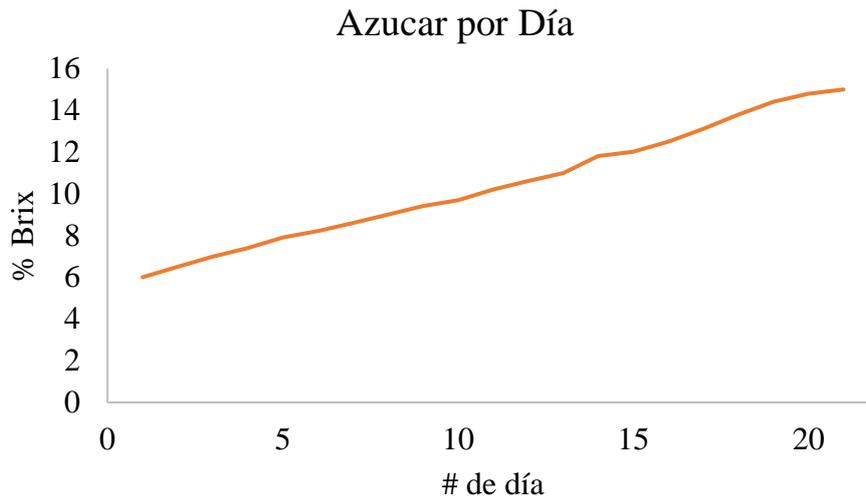
Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

4.1.5. Obtención de las variables en el proceso de fermentación y destilación del etanol.

Se tomaron muestras del mucílago de cacao al inicio de la práctica para poder medir su % Brix que es nivel de azúcar que contiene el fluido, estando en un promedio de 5 – 6 % Brix, aumentando su nivel gracias a las levaduras añadidas en el proceso del mixer, después de pasar por un proceso anaeróbico, es decir en ausencia de oxígeno, durante 21 días de fermentación se obtuvo entre 12 – 15,9 % Brix.

Figura 18. Gráfica del proceso de fermentación anaeróbica del mucílago de cacao.

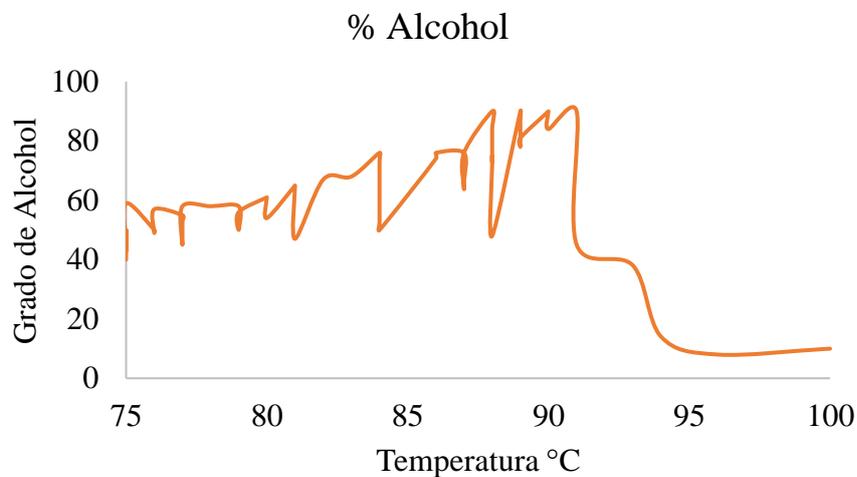


Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Pasado el tiempo del proceso de fermentación se da paso al primer proceso de destilación, en el cual se lleva a cabo en una torre de destilación donde se lleva un control de temperatura (85 – 90 °C) en el cual se extrae el etanol al mayor grado posible de alcohol siendo máximo de 70°, el segundo proceso de destilación se realiza con el alcohol mismo permitiendo que el alcohol se eleva a 90°.

Figura 19. Gráfica del proceso de obtención del alcohol a partir del mucílago de cacao.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

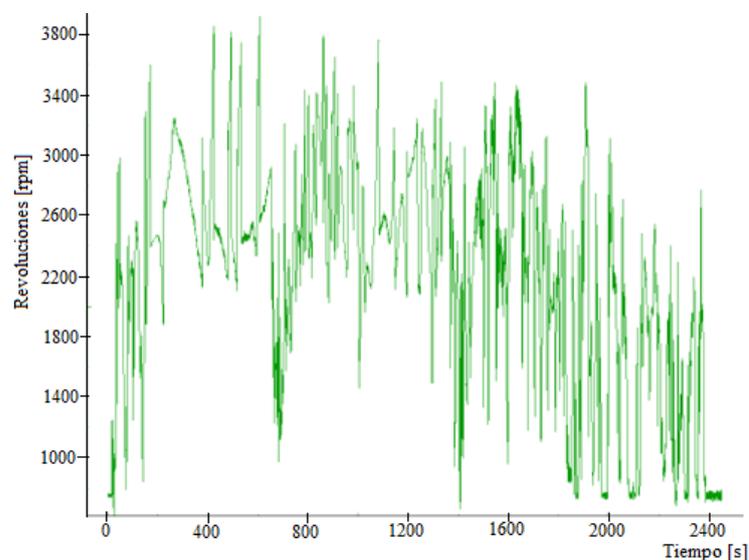
La Figura 19 representa los datos de diferentes grados alcohol recolectado y a que temperaturas se destilaron permitiendo apreciar que entre los 87 °C – 92 °C se obtiene alto porcentaje de alcohol, pero también se debe controlar la presión de la torre de destilación porque aun teniendo la temperatura adecuada, la alta presión disminuye el grado del alcohol obtenido como se demuestra en la gráfica.

4.1.6. Obtención de la potencia efectiva del motor durante la experimentación.

4.1.6.1. RPM y Torque.

Para poder conocer la potencia efectiva del motor es necesario conocer las RPM y el torque, conociendo que el torque al rpm máximo del motor Kappa es de 120 Nm @ 4000 rpm. Se tabuló en Excel las revoluciones por minutos y el torque registradas en el CANedge por cada dato de rpm. Estos cálculos también fueron representados en el software Asammdf, el cual mediante interfaz libre se pueden crear rápidamente diagramas de series de tiempo para el análisis gráfico y la exportación. Se graficaron las curvas de RPM vs Tiempo y Torque vs Tiempo para ver el desarrollo de las variables con el uso de la mezcla E5 de biocombustible.

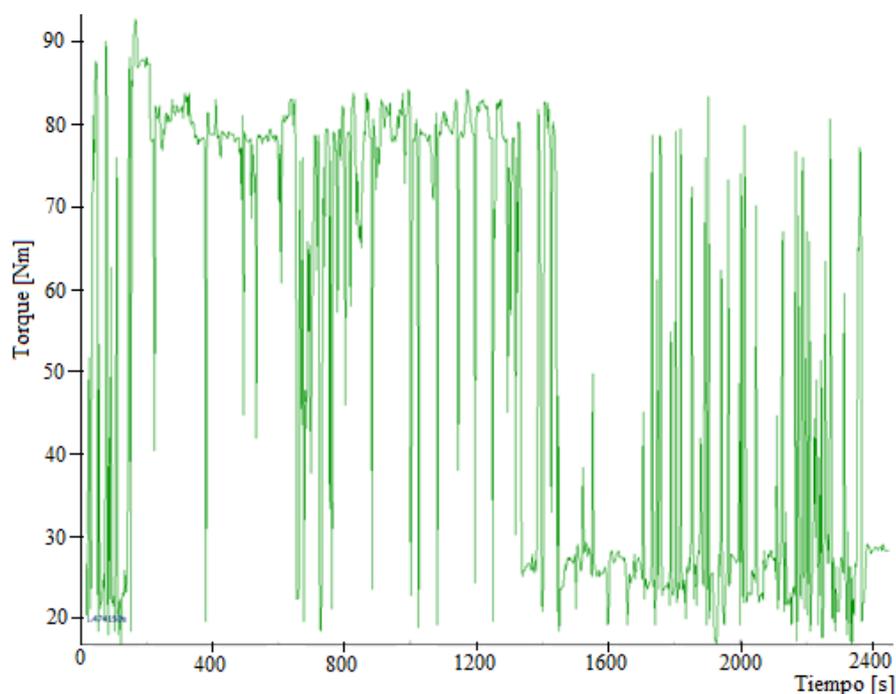
Figura 20. Curva de revoluciones en función del tiempo obtenida durante la experimentación con la mezcla E5 de biocombustible.



Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

Figura 21. Torque vs tiempo de la prueba 1 con la mezcla E5 de biocombustible en Conocoto.



Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

4.1.6.2. Potencia efectiva del motor.

La potencia efectiva del motor se determina con la Ecuación 2 partiendo de los datos de revoluciones y torque obtenidos durante las pruebas de ruta, de estos se encuentran tabulados los 10 valores más altos de cada combustible utilizado en la experimentación y se muestran en las Tablas 11, 12.

Tabla 11. Valores máximos para las variables revolución, torque y potencia de cada combustible probado durante la primera experimentación.

SÚPER P1			MEZCLA E5 P1			EXTRA P1		
n (rpm)	M (Nm)	P (W)	n (rpm)	M (Nm)	P (W)	n (rpm)	M (Nm)	P (W)
4071,50	88,83	37,88	3926,00	85,66	35,22	3580,25	78,11	29,29
4045,00	88,25	37,38	3903,50	85,17	34,81	3565,25	77,79	29,04
4018,50	87,68	36,90	3893,50	84,95	34,64	3541,75	77,27	28,66
3992,00	87,10	36,41	3853,50	84,08	33,93	3493,00	76,21	27,88
3965,50	86,52	35,93	3833,25	83,63	33,57	3486,75	76,07	27,78

Continuación de la Tabla 11.

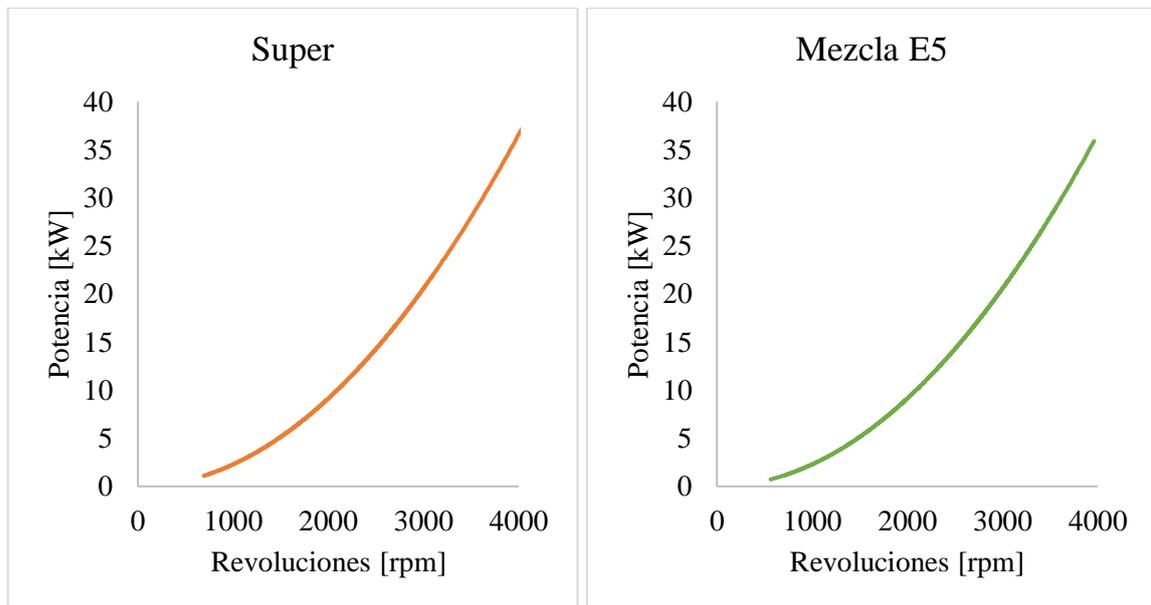
3939,00	85,94	35,45	3828,25	83,53	33,48	3482,50	75,98	27,71
3912,50	85,36	34,97	3817,25	83,29	33,29	3477,00	75,86	27,62
3886,00	84,79	34,50	3791,50	82,72	32,85	3463,00	75,56	27,40
3859,50	84,21	34,03	3779,25	82,46	32,63	3452,00	75,32	27,23
3833,00	83,63	33,57	3765,00	82,15	32,39	3440,25	75,06	27,04

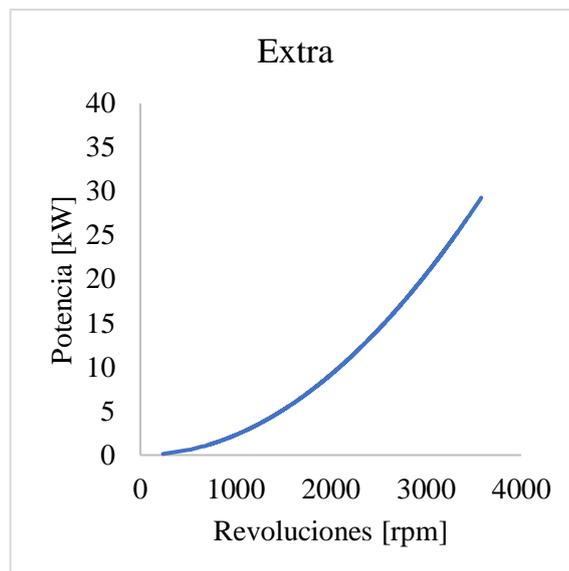
Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

La curva Potencia vs RPM representa la potencia efectiva del motor en función de la velocidad de giro del motor, observando el comportamiento del biocombustible en la primera prueba donde a medida que aumentan el rpm también aumenta la potencia generada hasta llegar a su potencia máxima.

Figura 22. Curva de potencia entregada por los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usados en la primera prueba en ruta.





Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Para el biocombustible se obtuvo una potencia inicial de 0,87 kW a 616 RPM en ralentí y una potencia máxima de 35,22 kW a 3926 RPM como se muestra en la Figura 22. En comparación a las potencias máximas en la prueba 1 siendo del combustible súper de 37,88 kW a 4071 RPM y la potencia máxima para el combustible extra de 29,29 kW a 3580 RPM demostrados en la Tabla 11. El combustible Súper y el Biocombustible obtuvieron picos más altos de potencias debido al desempeño del octanaje de ambos combustibles es mayor beneficiando así el proceso de explosión dentro de la cámara de combustión entre rangos de 3900 a 4100 RPM quedando el combustible Extra con la menor potencia desarrollada durante la primera ruta.

Tabla 12. Valores máximos para las variables revolución, torque y potencia de cada combustible probado durante la segunda experimentación.

SÚPER P2			MEZCLA E5 P2			EXTRA P2		
n (rpm)	M (Nm)	P (kW)	n (rpm)	M (Nm)	P (kW)	n (rpm)	M (Nm)	P (kW)
3989,75	87,05	36,37	3963,00	86,47	35,88	3852,00	84,04	33,90
3971,50	86,65	36,04	3913,25	85,38	34,99	3834,25	83,66	33,59
3952,25	86,23	35,69	3857,50	84,16	34,00	3810,00	83,13	33,17
3934,00	85,83	35,36	3824,50	83,44	33,42	3794,50	82,79	32,90
3916,75	85,46	35,05	3816,75	83,27	33,28	3781,00	82,49	32,66
3897,50	85,04	34,71	3799,75	82,90	32,99	3777,25	82,41	32,60

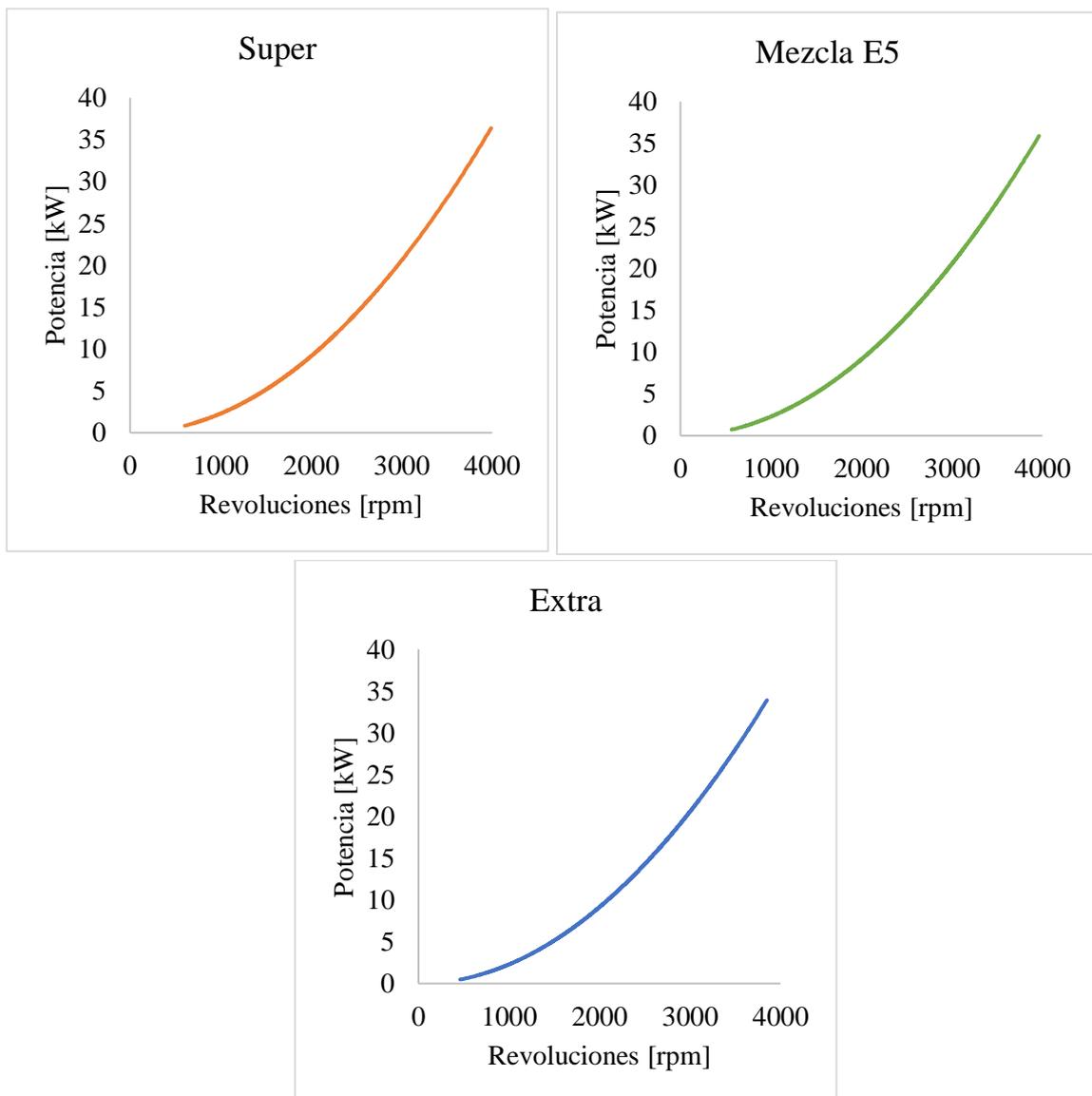
Continuación de la Tabla 12.

3879,25	84,64	34,38	3794,50	82,79	32,90	3764,00	82,12	32,37
3861,75	84,26	34,07	3779,25	82,46	32,63	3763,50	82,11	32,36
3842,50	83,84	33,73	3777,75	82,42	32,61	3762,00	82,08	32,34
3824,25	83,44	33,41	3774,00	82,34	32,54	3753,75	81,90	32,19

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Figura 23. Curva de potencia entregada por los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usados en la segunda prueba en ruta.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Durante la segunda prueba testeando el bioetanol la potencia fue aún mayor obteniendo una potencia inicial de 0,63 kW a 564 RPM en ralentí y una potencia máxima de 35,88 kW a 3963 RPM como se muestra en la Figura 23. En comparación a las potencias máximas en la prueba 2 siendo del combustible súper de 36,37 kW a 3990 RPM y para el combustible extra de 33,90 kW a 3852 RPM demostrados en la Tabla 12. Las revoluciones de los combustibles Súper y Biocombustibles se encuentran dentro de un rango de 3900 a 4000 obteniendo nuevamente potencias más altas que el combustible Extra, pero esta vez las revoluciones y la potencia de este combustible tuvieron una diferencia significativa pequeña en comparación a la prueba 1 donde la diferencia de RPM y potencia tenían una diferencia significativa alta. Esta se le atribuye al RON de los combustibles, adicionalmente a las condiciones atmosféricas en las que se realizaron las pruebas siendo en días diferentes a temperatura y presión atmosférica diferente.

4.1.7. Obtención del consumo de combustible durante la experimentación.

4.1.7.1. Caudal de combustible.

El caudal de combustible está dado por el volumen del combustible que el motor consume en un determinado instante de tiempo, donde intervienen las variables del motor tales como diámetro del cilindro, número de revoluciones por minuto, número de cilindros del motor que en este caso posee 4 cilindros en línea, la longitud de carrera del pistón y el número de tiempos del motor que está dada por la Ecuación 16:

$$V_d = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Se calculará el volumen de ingreso del combustible con cada una de las variables de revoluciones recogidas con el CANedge para así poder obtener el caudal de combustible con respecto al tiempo.

4.1.7.2. Flujo másico del combustible.

El flujo másico se conoce que está dado por la Ecuación 5 donde interviene la densidad de la mezcla E5 siendo de $768,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, que es el promedio del rango en el que se encuentra el biocombustible, y el caudal del combustible previamente calculado.

4.1.7.3. Consumo específico.

Está dado por la Ecuación 3, donde interviene el consumo del combustible y el flujo másico. Se tabularon los valores con las diez potencias más altas registradas durante las pruebas de rutas de los diferentes combustibles para poder comparar su consumo.

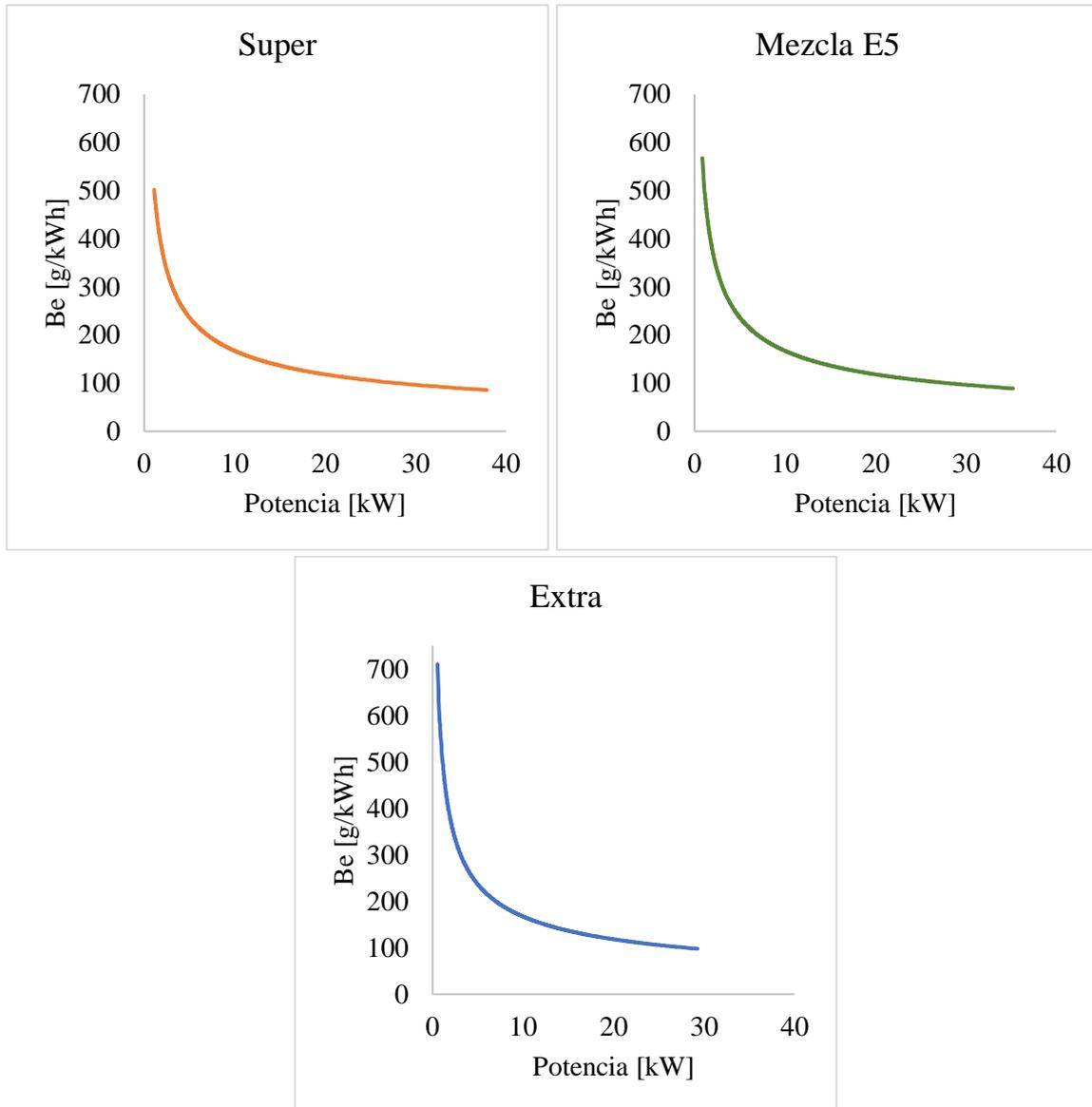
Tabla 13. Valores máximos tabulados de potencia, flujo y consumo específico por cada combustible utilizado en la primera experimentación.

SÚPER P1		MEZCLA-E5 P1			EXTRA P1			
P (kW)	ṁ (g/s)	Be (g/kWh)	P (kW)	ṁ (g/s)	Be (g/kWh)	P (kW)	ṁ (g/s)	Be (g/kWh)
37,88	0,90387	85,91	35,22	0,87157	89,096	29,29	0,79482	97,70
37,38	0,89799	86,47	34,81	0,86658	89,610	29,04	0,791485	98,11
36,90	0,89211	87,04	34,64	0,86436	89,840	28,66	0,786268	98,76
36,41	0,88622	87,62	33,93	0,85548	90,772	27,88	0,775446	100,14
35,93	0,88034	88,20	33,57	0,85098	91,252	27,78	0,774058	100,32
35,45	0,87446	88,80	33,48	0,84987	91,371	27,71	0,773115	100,44
34,97	0,86857	89,40	33,29	0,84743	91,634	27,62	0,771894	100,60
34,50	0,86269	90,01	32,85	0,84171	92,257	27,40	0,768786	101,01
34,03	0,85681	90,63	32,63	0,83899	92,556	27,23	0,766344	101,33
33,57	0,85093	91,25	32,39	0,83583	92,906	27,04	0,763735	101,68

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Figura 24. Consumo específico de combustible vs potencia para los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usado en la prueba 1.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

La curva de consumo vs potencia es indicativa de los gramos de combustible que consume el vehículo en función de las necesidades de potencia de este, como se observa en la Figura 24 donde la curva va en descenso cuando la potencia del automóvil va en aumento debido a que a altas revoluciones la inercia producida por el motor genera que este disminuya el consumo periódico del combustible; dicho consumo está alrededor de $570 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ en su punto de menor potencia estando en ralentí el motor. Esta curva difiere de los combustible súper y

extras que indica un consumo máximo de $500,06 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ para el primer combustible y de $710 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ para extra donde se aprecia una ligera diferencia entre el uso de súper y la mezcla E5 de biocombustible utilizado.

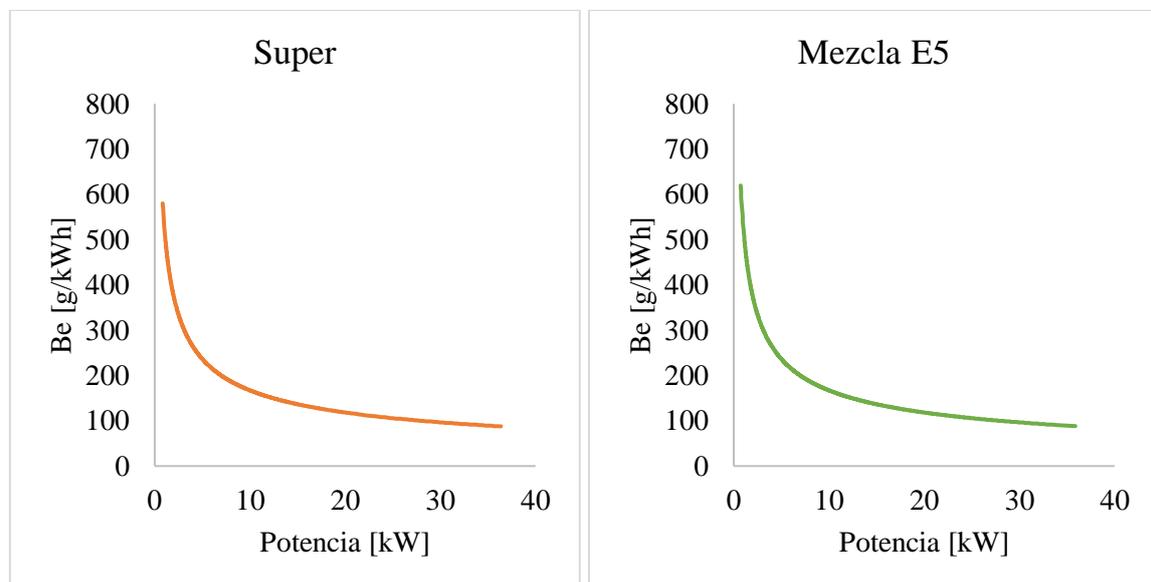
Tabla 14. Valores máximos tabulados de potencia, flujo y consumo específico por cada combustible utilizado en la segunda experimentación.

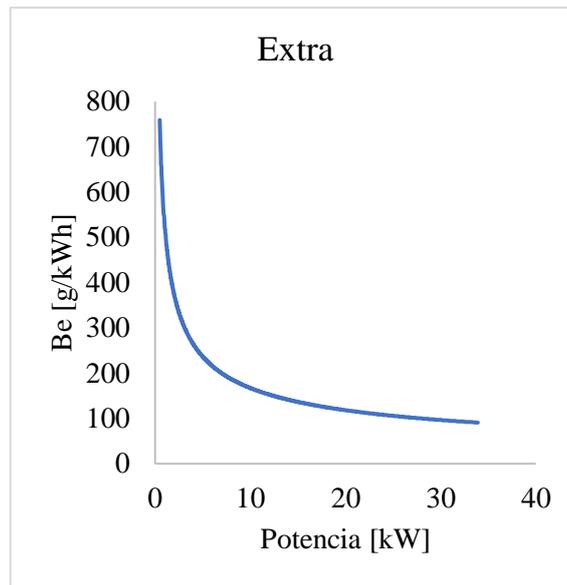
SÚPER P2			MEZCLA-E5 P2			EXTRA P2		
P (kW)	\dot{m} (g/s)	Be (g/kWh)	P (kW)	\dot{m} (g/s)	Be (g/kWh)	P (kW)	\dot{m} (g/s)	Be (g/kWh)
36,37	0,88572	87,67	35,88	0,87979	88,26	33,90	0,85514	90,81
36,04	0,88167	88,08	34,99	0,86874	89,39	33,59	0,85120	91,23
35,69	0,87740	88,50	34,00	0,85636	90,68	33,17	0,84582	91,81
35,36	0,87335	88,91	33,42	0,84904	91,46	32,90	0,84238	92,18
35,05	0,86952	89,31	33,28	0,84732	91,65	32,66	0,83938	92,51
34,71	0,86524	89,75	32,99	0,84354	92,06	32,60	0,83855	92,60
34,38	0,86119	90,17	32,90	0,84238	92,18	32,37	0,83561	92,93
34,07	0,85731	90,58	32,63	0,83899	92,56	32,36	0,83550	92,94
33,73	0,85303	91,03	32,61	0,83866	92,59	32,34	0,83516	92,98
33,41	0,84898	91,47	32,54	0,83783	92,68	32,19	0,83333	93,18

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Figura 25. Consumo específico de combustible vs potencia para los combustibles Super, mezcla E5 de biocombustible y Extra usado en la prueba 2.





Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

En la segunda prueba de experimentación con el biocombustible se obtuvo una variabilidad en los datos del consumo específico del combustible dando como punto de mayor consumo $619,65 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ a baja potencia y revoluciones del motor como indica la Figura 25, sin embargo, esta diferencia está dada debido a las condiciones climáticas que ofrecen un aire poco denso que representan una compensación entre la mezcla aire combustible. Mientras que para el combustible súper, el valor de consumo específico obtenidos es de $567,38 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ frente al extra que es mucho mayor con $759,18 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, difiriendo con los resultados obtenidos durante la primera prueba.

4.1.8. Balance Energético.

4.1.8.1. Calor liberado por el combustible.

Para calcular el calor que libera el combustible se debe obtener el flujo másico del combustible, que se calculó previamente para determinar el consumo de combustible que necesita el vehículo. Adicional, se debe conocer el poder calorífico inferior de cada combustible, que se tomó como referencia el de la gasolina Ecopaís que es de $45217,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ para la mezcla E5 de biocombustible ya que ambos contienen un 5% de etanol obtenido de un producto agrícola. Está dado por la Ecuación 6.

4.1.8.2. Eficiencia energética del sistema.

Para calcular se tomó el valor obtenido de potencia de cada ruta a través del CANedge y el calor liberado por el combustible obteniendo una eficiencia energética por cada dato según la Ecuación 7. En la Tabla 15 se reflejan los valores de potencias y torques máximos por cada combustible, el consumo y caudal promedio del combustible, la densidad de cada combustible, el flujo másico promedio. Se obtuvo un promedio de todos los datos de eficiencia obtenidos por cada ruta ya que así se obtendrá una eficiencia real incluyendo las potencias altas y bajas.

Tabla 15. Valores promedios tabulados para el cálculo de la eficiencia energética.

VARIABLES	SÚPER	MEZCLA E5	EXTRA
M_{\max} (Nm)	88,83	85,66	84,04
P_{\max} (kW)	37,88	35,22	33,90
Consumo (m^3)	7,39	11,23	10,19
$Q \left(\frac{m^3}{s} \right)$	$5,47 \times 10^{-7}$	$6,37 \times 10^{-7}$	$5,84 \times 10^{-7}$
$\rho_c \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	758	768,5	779
$\dot{m}_c \left(\frac{g}{s} \right)$	0,42018	0,489250	0,44850
$PCI \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	47124,48	45217,73	45882,36
Q_c (kW)	85,91	81,06	78,47
$\bar{\eta}_{ener}$ (%)	21,54	21,17	21,11

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

El combustible Súper registró una eficiencia energética promedio de 21,54 %, para la mezcla E5 de Biocombustible se tiene un promedio de 21,17 % y finalmente para el combustible Extra se obtuvo el menor promedio de eficiencia siendo de 21,21 %.

4.1.9. Balance Exergético.

4.1.9.1. Exergía del combustible.

La exergía del combustible es la energía que ingresa al sistema y está dada por el calor que libera el combustible cuando ingresa al sistema y genera la explosión en conjunto con el carburante. Se calcula mediante la Ecuación 8.

4.1.9.2. Exergía del flujo de gases del escape del motor.

El flujo de gases del escape que se calcula sobre la base de una media de los valores de los calores específicos, con las respectivas temperaturas de entrada y salida, del funcionamiento del motor. Estas temperaturas fueron obtenidas del CANedge y los coeficientes del calor específico del aire se procesaron mediante cálculos de Excel mediante la Ecuación 9.

4.1.9.3. Eficiencia exergética del sistema.

Para conocer la eficiencia exergética se debe hacer un balance de exergía determinando que la energía que entra al sistema es la energía del combustible, mientras que la energía que sale se da por: el flujo de gases del escape y la energía que se transfiere por conducción y convección. La exergía por transferencia de calor se ha designado como E_{Xk} , estimando en un 35 % de la energía del combustible [40]. En la Tabla 16 se registraron las variables promedio que intervienen en el cálculo de la eficiencia exergética que se da por la Ecuación 11.

Tabla 16. Valores promedios tabulados para el cálculo de la eficiencia exergética.

VARIABLES	SÚPER	MEZCLA E5	EXTRA
$\dot{m}_a \left(\frac{g}{s}\right)$	2,41116	1,40377	1,28685
$\dot{m}_g \left(\frac{g}{s}\right)$	2,83134	1,64839	1,51110
T (K)	794	794	795
T_0 (K)	363,46	364,75	364,57

Continuación de la Tabla 16.

E_{Xc} (kW)	38,00	45,50	41,16
E_{Xg} (kW)	0,698	0,404	0,372
E_{Xk} (kW)	13,30	15,93	14,40
$\bar{\eta}_{exer}$ (%)	63,16	64,11	64,10

Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Los resultados de eficiencia exergética tabulados son para el combustible Súper un promedio de 63,16 % siendo el menor de los datos registrado, diferente de la mezcla E5 de Biocombustible que obtuvo un promedio de 64,11 % siendo el mayor porcentaje, y por último el promedio del combustible extra es de 64,10 % ocupando el lugar intermedio entre los otros dos combustibles mencionados.

4.2. Discusión.

4.2.1. Evaluación físico-química de la mezcla E5 de biocombustible

En el estudio de Márquez [41] los 92 productores cacaoteros intervenidos en la encuesta, un 67% de ellos opinaron que no consideran que para la recolección del cacao se utilicen procesos apropiados que optimicen la actividad, además un 76% de ellos apoyan la idea que se utilice el mucílago de cacao para la elaboración de productos para la ciudadanía. Un 97% de los encuestados mencionaron que no han recibido en el pasado capacitación orientada al análisis y configuración de la estructura físico – química del mucílago.

La composición físico - química del mucílago del cacao es importante al momento de extraer el etanol, ya que muchas características influyen en su proceso de fermentación y destilación. La Tabla 17, muestra las características del mucílago de cacao utilizado para la obtención del bioetanol. Unas de las propiedades químicas más importantes son la cantidad de azúcar (fructosa) y glucosa que contiene el mucílago ya que al pasar por el proceso de fermentación sin oxígeno las levaduras y algunos microorganismos transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono. Los resultados obtenidos concuerdan con Santana [1], donde

la cantidad de agua de la materia prima se encuentran en un 75%, la glucosa en un 13% equivalente a 1,3 g y entre otras variables que se encuentra dentro de los rangos obtenidos para el mucílago del presente proyecto de investigación.

Tabla 17. Composición química del mucílago del cacao

COMPONENTE	%P/P (BASE HUMEDAD)
Agua	79,3 – 84,1
Proteína	0,08 – 0,1
Azúcares	12,51 – 15,89
Glucosa	11,5 – 15,31
Pectinas	0,89 – 1,2
Ácido cítrico	0,76 – 1,53
Cenizas	0,4 – 0,5

Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

La destilación del fluido una vez fermentado no daba con los requerimientos necesitados para una mezcla de etanol – gasolina, ya que el etanol obtenido estaba dentro de rangos entre 40 – 70 grados de alcohol, entonces fue necesario un re destilado para alcanzar el grado necesario para obtener el biocombustible. El refinado fue el último paso para la obtención del etanol final disminuyendo la cantidad de partículas existentes en el fluido y alcanzando el grado máximo de alcohol esperado siendo de 90°.

La evaluación física – química del combustible permitió obtener las características físicas del etanol como la composición del biocombustible una vez hecha la mezcla de 95% combustible y 5% etanol. También se midió la densidad, estando entre $0,758 - 0,779 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ y el octanaje de 85,2; siendo este un factor químico importante al momento de analizar su desempeño en el motor de combustión interna en el lugar escogido para realizar las pruebas de rutas.

Tabla 18. Comparación de la caracterización de la gasolina súper, extra y la mezcla E5 de biocombustible a base de cacao según lo establecido por la norma NTE INEN 935.

ENSAYO	SÚPER		MEZCLA E5	EXTRA		UNIDAD	NORMA MÉTODO
	Min	Max		Min	Max		
# de Octano (RON)	92	N/A	85,2	85	N/A	N/A	NTE INEN 2102
Temperatura 10%	N/A	70	54,1	N/A	70	°C	ASTM D86-15
Temperatura 50%	77	121	107	77	121	°C	ASTM D86-15
Temperatura 90%	N/A	190	164	N/A	189	°C	ASTM D86-15
Punto Final	N/A	220	210	N/A	220	°C	ASTM D86-15
Residuo	N/A	2,0	1,01	N/A	2	%	ASTM D86-15
Presión de vapor Reid	N/A	60	56,01	N/A	60	KPa	ASTM D323-15a
Corrosión a la lámina de cobre	N/A	1A	1A	N/A	1A	N/A	ASTM D130-12
Contenido de azufre	N/A	0,045	0,022	N/A	0,065	%	ASTM D4292-16
Contenido de goma	N/A	4	3,4	N/A	3	Mg/100ml	ASTM D381-12

Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

La Tabla 18, compara las variables de los combustibles con las características de la norma INEN 935 [9], apreciando como la mezcla E5 de biocombustible aumenta su octanaje en un 0,24 % en comparación al extra, que fue la gasolina base para la mezcla con el bioetanol. También se reduce la cantidad de azufre siendo este un factor importante para la reducción de gases de combustión que afectan el medio ambiente.

4.2.2. Potencia vs RPM.

El combustible Súper y la mezcla E5 de Biocombustible obtuvieron picos más altos de potencias debido al desempeño del octanaje de ambos combustibles es mayor beneficiando

así el proceso de explosión dentro de la cámara de combustión entre rangos de 3900 a 4100 RPM quedando el combustible Extra con la menor potencia desarrollada durante la primera ruta concordando con los resultados de Taipe-Defaz [42] donde el combustible Súper y Ecopaís desarrollan una mejor potencia que el combustible Extra entre los rangos de 3000 a 3600 RPM.

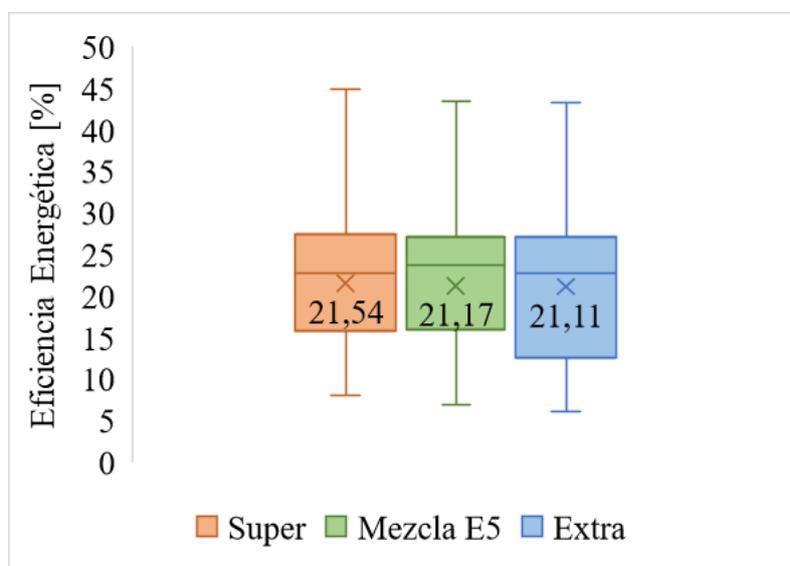
4.2.3. Consumo vs Potencia.

Según Taipe-Defaz [42], quién en su artículo indica que la variabilidad del consumo específico de combustible no es tan significativo, donde el combustible que tiene mayor consumo es la Ecopaís seguido de la gasolina Súper y Extra respectivamente; esto en relación al presente estudio indica que aquellos combustibles con contenido de etanol como el biocombustible en mezcla E5 utilizado tendrán valores más elevados en cuanto a consumo frente a otras gasolinas comerciales.

4.2.4. Eficiencia energética del MCI

La Figura 26, representa la variable dependiente eficiencia energética para cada combustible en un gráfico de cajas y bigotes, donde se observa que existe diferencia significativa mínima, siendo la del combustible Súper la de mayor resultado con 21,54 %.

Figura 26. Diagrama comparativo de la eficiencia energética para cada combustible utilizado en la experimentación.



Fuente: Autores.

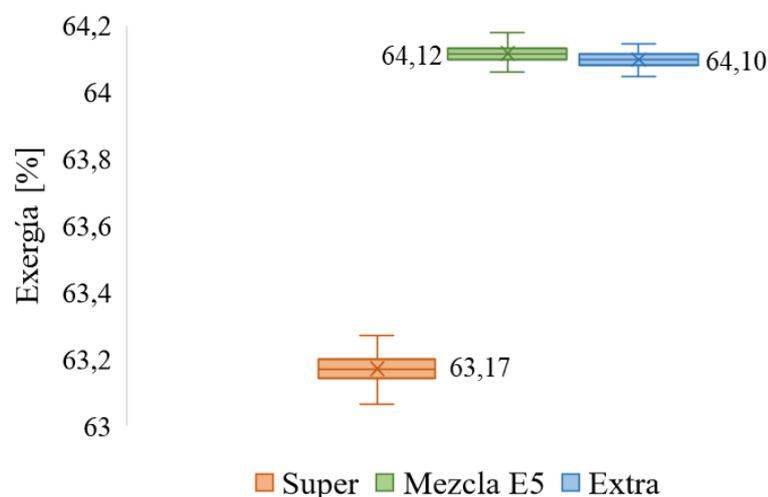
Elaborado: Autores.

La eficiencia energética de la mezcla E5 de biocombustible se encuentra en segundo lugar con 21,17 % pero no existe una diferencia significativa con la eficiencia energética del combustible extra siendo de 21,11 % ya que el combustible base para el biocombustible es el extra, pero al añadir el bioetanol se puede apreciar que mejora su desempeño variando en un 0,28 %, difiriendo de Taipe-Defaz [42] donde la eficiencia energética entre Extra y Ecopaís si tienen una diferencia significativa de un 3,45 % de variación. La eficiencia energética de súper es mayor siendo de 21,54 %, en concordancia con Taipe-Defaz [42] que presenta la eficiencia mayor registrada con el combustible súper, esto debido a la composición de este, que cuenta con mayor octanaje resistiendo la presión y las altas temperaturas que se dan dentro de la cámara de combustión del motor.

4.2.5. Eficiencia exergetica del MCI

La Figura 27, representa la variable dependiente eficiencia exergetica para cada combustible en un gráfico de caja y bigotes, donde se observa que existe una disimilitud en comparación con la mezcla E5 de biocombustible con la gasolina súper, siendo la mezcla la del valor más alto con mejor resultado, pero en el caso de comparar la mezcla E5 con la gasolina extra no existe una diferencia significativa.

Figura 27. Diagrama comparativo de la eficiencia exergetica para cada combustible utilizado en la experimentación.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Al tener una mayor eficiencia exergética para la mezcla E5 de biocombustible de 64,12 % significa que parte de esta energía que está saliendo del sistema aumentará la eficiencia térmica, siendo así la eficiencia energética de la mezcla mínimamente mayor a la del combustible extra como lo demuestran la Figura 26. Los resultados de Taipe-Defaz [42] manifiestan que existen diferencia significativa de eficiencia exergética entre el combustible Extra y Ecopaís difiriendo de los resultados obtenidos, donde no existe tal diferencia entre Extra y la mezcla E5 de Biocombustible ya que sus pérdidas por gases de escape y transferencia de calor por conducción y convección se encuentran en un porcentaje parecido de reducción.

4.2.6. Análisis energético del MCI

Para obtener una mejor representación de los resultados del balance energético se presentan los valores de flujo energético en la Tabla 19, también se representan los diagramas de Sankey en las Figuras 28, 29 y 30, para los tres tipos de combustible utilizados en el análisis energético. Los diagramas representan la distribución de la energía que entra y sale del sistema, entre ellos las pérdidas por los diferentes fenómenos que se enfrenta el automóvil en la carretera.

Tabla 19. Valores de flujo de energía (kW) de cada combustible experimentado.

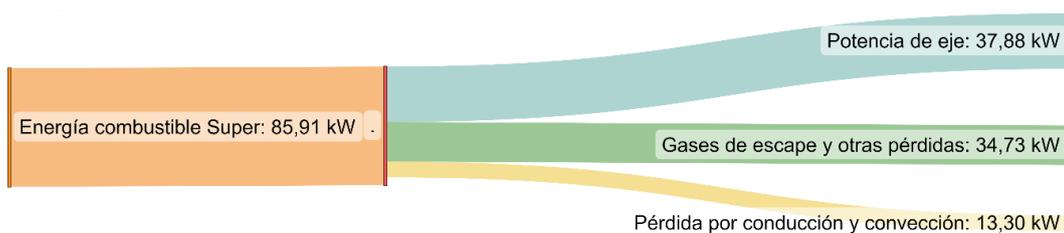
	Gasolina	Super	Mezcla E5	Extra
Combustible		85,91	81,06	78,47
Gases de escape y otras pérdidas		34,73	29,91	30,16
Pérdidas por conducción y convección		13,30	15,93	14,40
Potencia de eje		37,88	35,22	33,90

Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Con los resultados obtenidos se aprecia la cantidad de pérdida de energía para el estudio del combustible súper siendo de 48,03 kW (55,90 %) representado en la Figura 28, obteniendo una eficiencia energética de 21,54 % y una eficiencia exergética de 63,17%.

Figura 28. Diagrama de Sankey para la gasolina Súper.

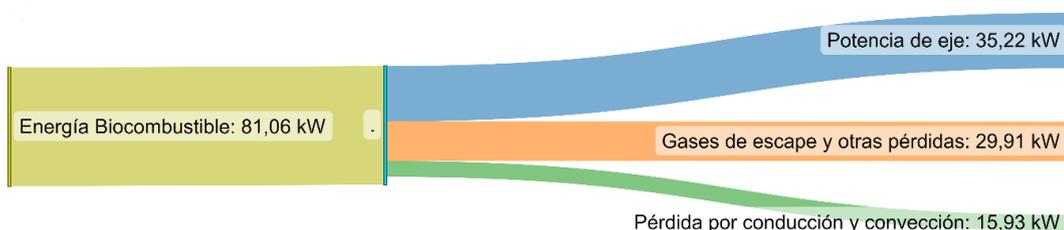


Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

En el caso del estudio de la mezcla E5 de biocombustible la cantidad de pérdida de energía es de 45,84 kW (56,55 %) representado en la Figura 29, obteniendo una eficiencia energética de 21,17 % y eficiencia exergética de 64,12 %.

Figura 29. Diagrama de Sankey para la mezcla E5 de biocombustible.

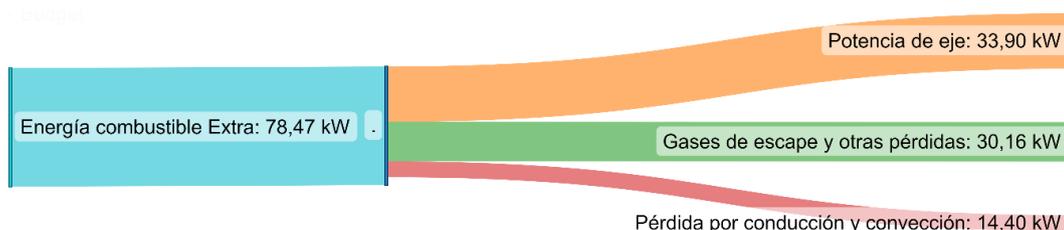


Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

El último caso estudiado es el uso del combustible extra siendo la cantidad de pérdida de energía de 44,57 kW (56,79 %) como se representa en la Figura 30, obteniendo una eficiencia energética de 21,11 % y una eficiencia exergética de 64,10 %.

Figura 30. Diagrama de Sankey para la gasolina Extra.



Fuente: Autores.

Elaborado: Autores.

Con los resultados representados en los diagramas se puede concluir que existe una variación en el rendimiento energético y exergético utilizando los diferentes combustibles, obteniendo una mayor eficiencia energética de 24,54 % al utilizar gasolina súper, consecuente con los resultados de Taipei-Defaz [42], donde el uso de este combustible obtiene una eficiencia energética mayor. También se observa una mayor pérdida de energía con el uso de la gasolina súper de 48,03 kW (55,90 %), esta pérdida se da por las emisiones de escape, por transferencia de calor y otras irreversibilidades del motor siendo esto por el cambio constante de velocidades debido al tráfico de la ruta como se aprecia en la Figura 15, mientras la mezcla E5 de Biocombustible y combustible Extra tuvieron menos cambios en la velocidad reduciendo la pérdidas de por gases de combustión y transferencia de calor difiriendo de Taipei-Defaz [42] donde la mayor pérdida de energía se tuvo en el combustible Ecopaís debido a la emisión de los gases de escape y la transferencia de calor por conducción y convección.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Mediante la evaluación de las características físico química del mucílago de cacao en la que se determinó valores como azúcar con un rango entre 12,51 a 15,31 %P/P y glucosa con 11,5 a 15,31 %P/P, los cuales son necesarios para conocer la validez del mucílago que se va a procesar, para obtener el mejor rendimiento en la producción del alcohol. Mientras que para el análisis de la mezcla E5 de biocombustible se analizan los parámetros establecidos para la Norma NTE INEN 935 para los requisitos de gasolinas derivadas del petróleo y las mezclas con etanol de origen orgánico, en la evaluación de la mezcla E5 se puede destacar el aumento de octanaje con respecto a la gasolina extra siendo esta 85,2 RON frente a 85 RON; esta mezcla también presenta una reducción de contenido de azufre a 0,022%, residuos de 1,01% entre otras variables que designan una mejora al combustible.
- Las pruebas del desempeño del motor de combustión interna para el Hyundai Grand i10 con motor Kappa 1,2 L se realizó con la mezcla de etanol al 5 % y gasolina extra al 95 % que mediante investigación bibliográfica se concluye que este tipo de mezclas pueden tener máximo 15 % de alcohol debido a que para el uso de mayores cantidades se ve en la obligación de modificar el MCI. A través de las pruebas realizadas con los combustibles convencionales y la mezcla E5 de biocombustible se obtuvo una eficiencia de 21,54 % para súper, 21,17 % para la mezcla y 21,11 % para extra, notándose la mejoría que produce el uso del alcohol combinado con combustibles derivados del petróleo, del mismo modo la mezcla E5 de biocombustible tiene una eficiencia exergética de 64,12 % ligeramente mayor al extra con 64,10 % y al súper con 63,17 % lo que representa que las pérdidas para este último son menores a las producidas los dos primeros utilizados durante la experimentación.
- El proceso para obtener el etanol del mucílago de cacao es más extenso en comparación al proceso del alcohol usado en la gasolina Ecopaís, generando por cada 9 litros de mucílago 1 litro de alcohol durante un periodo de 21 días; pero al ser una

sustancia que comúnmente se desecha es viable industrializarla, debido al desperdicio que se da en las zonas costeras del país siendo de un 20 % de la producción, donde se cosecha el mayor porcentaje de cacao. Algunas encuestas en zonas agrícolas de diferentes estudios permitieron conocer que debido a la poca capacitación de la composición fisicoquímica del producto y falta de inversiones en su recolección es que se desperdicia, pero aun así los encuestados manifestaron que si creen que se le deba dar un uso al mucílago de cacao como biocombustible. El mucílago de cacao como una sustancia usada en la obtención de etanol para su uso como biocombustible en una mezcla E5 es viable, ya que mediante pruebas experimentales de conducción en ruta utilizando un vehículo se determinó la efectividad de este, permitiendo mejorar el rendimiento frente a otros combustibles con un grado cercano de octanaje obteniendo una eficiencia energética de 21,17 %, que no es significativamente mayor a la eficiencia energética del combustible extra pero si demostró dar mejor estabilidad al motor, pudiendo utilizarse como un combustible comercial.

5.2. Recomendaciones.

- La ruta por escoger es un factor para tener en cuenta en futuros proyectos investigativos, por lo cual se debe escoger una ruta que sea menos transitada para que los valores de velocidad no fluctúan demasiado, permitiendo mantener velocidades constantes por largos periodos de tiempo conservando la velocidad dentro del límite permitido.
- Realizar las pruebas de análisis energéticos en un vehículo que sea compatible con el CANedge y cuente el equipo electrónico en correcto funcionamiento para que se lleve un control adecuado de la velocidad, RPM, consumo del combustible entre otras variables, ya que el CANedge registra los datos en una tarjeta de memoria donde se analizarán los datos una vez terminados las pruebas.

- Para el cambio de combustible previo a cada prueba se debe realizar la limpieza del sistema de alimentación de combustible del motor, es decir, bomba de combustible, líneas de transmisión, filtros y banco de inyectores, con el fin de evitar problemas por la combinación de los combustibles utilizados durante la investigación.
- Se debe usar contenedores especiales para el transporte de combustibles debido a que la gasolina comercial Ecopaís no es comercializada en la región sierra, por ende, debe ser trasladada, pero al ser un líquido inflamable se requiere un recipiente de acero con válvula de fuga para gases.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- [1] P. Santana, J. Vera, C. Vallejo y A. Álvarez, «Mucílago de cacao, nacional y trinitario para la obtención de una bebida hidratante,» *Universidad Ciencia Y Tecnología*, p. 11, 2019.
- [2] K. Y. Anvoh, A. Zoro Bi y D. Gnakri, «Production and Characterization of Juice from Mucilage of cocoa beans and transformation into marmalade.,» *Pakistan Journal of Nutrition*, vol. 8, n° 2, pp. 129-133, 2009.
- [3] O. Awogbemi, D. Kallon, E. Onu y V. Aigbodion, «An Overview of the Classification, Production and Utilization of Biofuels for Internal Combustion Engine Applications,» *Energía*, vol. 5687, n° 18, p. 14, 2021.
- [4] E. F. Lema Parra, «Comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezcla E5,» *Repositorio UTN*, pp. 28 - 30, 2019.
- [5] Hello Insurance Group, «Helloauto,» 2021. [En línea]. Available: <https://helloauto.com/glosario/motor-de-combusti%C3%B3n-interna>. [Último acceso: 28 Mayo 2021].
- [6] C. E. Torres Arosemena, «Plan de reconstrucción para el motor de 1.4 L S-TEC III del vehículo Chevrolet SAIL,» *Repositorio UIDE*, p. 112, 2019.
- [7] Z. S. Spakovszky, *Thermodynamics and Propulsion*, Sydney: Computer Based Learning Unit, University of Leeds..
- [8] Engine, Hyundai, «Hyundai,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.hyundai.com.ec/grandi10-sedan-2020>. [Último acceso: 2022].
- [9] INEN, «NTE INEN 935 - Productos Derivados de Petróleo. Gasolina. Requisitos,» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito - Ecuador, 2021.

- [10] K. Brundell-Freij y E. Ericsson, «Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns,» *ScienceDirect*, p. 17, 2005.
- [11] T. Barlow, S. Latham, I. McCrae y P. Boulter, A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions, Department for Transport, Cleaner Fuels & Vehicles 4, 2009.
- [12] G. Cevallos Paredes, J. F. Cueva y K. A. Pinto, «Quito, Ciudad de Altura,» *Instituto Superior Tecnológico Cruz Roja Ecuatoriana*, vol. 2, p. 9, 2018.
- [13] J. Pérez Porto y A. Gardey, «Definición de Temperatura,» 2021. [En línea]. Available: <https://definicion.de/temperatura/>.
- [14] Meteoblu, «Humedad Relativa,» [En línea]. Available: <https://content.meteoblue.com/es/especificaciones/variables-meteorologicas/humedad>.
- [15] D. Á. Egas Ávila y M. Á. Pino Pólit, «Análisis comparativo de torque y potencia de las diferentes etapas evolutivas del sistema de entrega de combustible,» *Universidad Internacional del Ecuador*, p. 113, 2020.
- [16] J. Castillo, V. Rojas y J. Martínez, «Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático,» *Escuela Politécnica Nacional*, 2017.
- [17] A. G. Barcenas Llanos, «Estudio del Consumo, Torque y Potencia del Motor Suzuki G13B 1300 cc adaptado con un sistema de Estrangulación Independiente ITBS,» *UIDE Universidad Internacional del Ecuador*, p. 140, 2021.
- [18] A. López, F. Torres, B. Pla, B. Romero y D. Bravo, «Metodología para inferir el mapa de desempeño y el consumo de combustible de un motor de combustión interna alternativo,» *Scielo*, vol. 5, nº 1, 22.

- [19] E. A. Llanes Cedeño, J. B. Carguachi Caizatoa y J. C. Rocha Hoyos, «Evaluación energética y exergetica en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L,» *Scielo*, pp. 221 - 232, 2018.
- [20] C. H. Rufino, A. J. De Lima, A. P. Mattos, F. U. Allah, J. L. Bernal, J. V. Ferreira y W. L. Gallo, «Exergetic analysis of a spark ignition engine fuelled with ethanol,» *ScienceDirect*, vol. 192, n° ISSN 0196-8904, p. 10, 2019.
- [21] N. A. Botta, «Poder Calorífico,» 25 05 2018. [En línea]. Available: https://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm.
- [22] A. Quimbita y E. Guallichico, «Determinación del potencial energético y mecánico del motor Mazda F2 al utilizar los tipos de gasolina comercial empleados en el Ecuador,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2017.
- [23] INEN, «Derivados del petróleo. Gasolina. Determinación de las características antidetonantes. Método Research (RON),» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito - Ecuador, 1998.
- [24] ASTM, «ASTM D86 - Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure,» 2015.
- [25] ASTM, «ASTM D323-15 - Método de prueba estándar para la presión de vapor de productos derivados del petróleo (método Reid),» 2015.
- [26] ASTM, «ASTM D130-12 - Método de prueba estándar para determinar la corrosividad del cobre de los productos derivados del petróleo mediante la prueba de la tira de cobre,» 2018.
- [27] ASTM, «ASTM D4294-16 - Método de prueba estándar para azufre en petróleo y productos derivados del petróleo mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía,» 2016.
- [28] ASTM, «ASTM D381-19 - Método de prueba estándar para contenido de goma en combustibles por evaporación a chorro,» 2019.

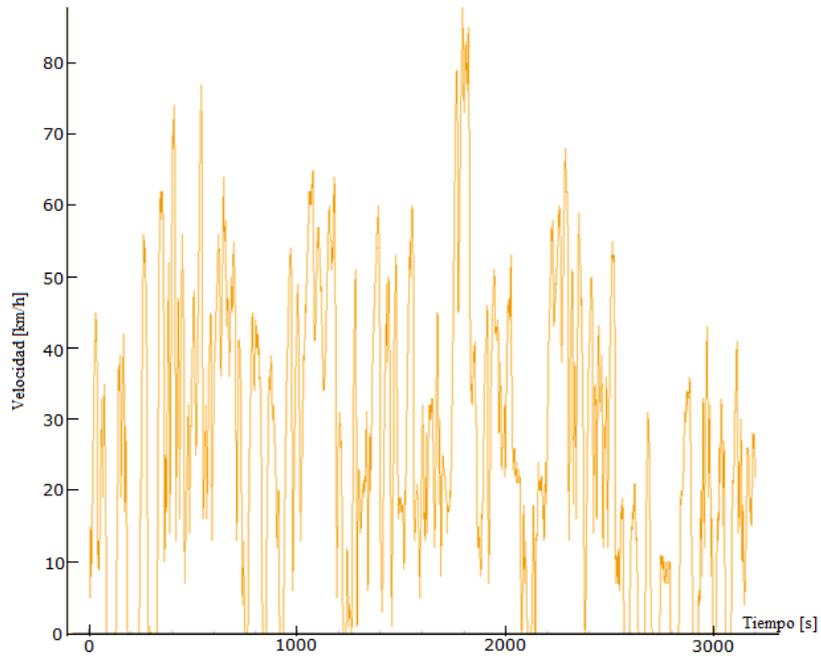
- [29] J. V. Rodríguez, El uso del refractómetro en el Laboratorio Clínico Veterinario. El Manual., Rosario: UNR Editora, 2018.
- [30] S. J. Danahé, «Cero Grados - Refractómetro,» [En línea]. Available: <https://0grados.com/el-refractometro/>.
- [31] Internet y tecnologías de la información, «Internet y tecnologías de la información.,» [En línea]. Available: <https://www.paraosodigital.org/internet/11-densimetro-que-es-definicion-y-significado-descargar-videos-y-fotos.html>.
- [32] I. H. Edilmer Aparicio, J. A. Gonzales, M. Luna, R. D. Auca y Rosbert, «Diseño de Reactor de Tanque Agitado -Batch para la Obtención de Celulosa Bacteriana por Acetobacter Xylinum,» Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 2020.
- [33] D. Ahmed y M. Nawaf, «Design of Multivariable Control System of a Distillation Tower via Simulation Using MATLAB/Simulink,» *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, p. 11, 2019.
- [34] CSS electronics, «CANedge1: 2 registradores de datos de bus CAN (SD + RTC),» [En línea]. Available: <https://www.csselectronics.com/products/can-logger-sd-canedge1#void>.
- [35] CSS electronics, «CANmod GPS,» [En línea]. Available: <https://www.csselectronics.com/products/gps-to-can-bus-gnss-imu?variant=40452971954364>.
- [36] Darrera, «Skywatch Geos 11,» [En línea]. Available: <https://www.darrera.com/wp/es/producto/12055-skywatch-geos-11/>.
- [37] ANECACAO, «ANECACAO,» Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - Ecuador, 2022. [En línea]. Available: <https://anecacao.com/index2022.html>.
- [38] Y. Arteaga Estrella, «Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el cantón Naranjal (provincia del Guayas),» Universidad Estatal de Milagro, Milagro, 2013.

- [39] R. Rodríguez C., G. Posada I., A. Valero D., E. Torres N., Y. Torres N. y R. Díaz O., «Valoración de baba de cacao (mucílago) no utilizada en el cantón Quevedo - Ecuador,» *Ciencia y Tecnología*, vol. 21, n° 32, 2021.
- [40] Y. Li, M. Jia, S. L. Kokjohn, Y. Chang y R. D. Reitz, «Comprehensive analysis of exergy destruction sources in different engine combustion regimes,» *ScienceDirect*, vol. 149, n° 0360-5442, 2018.
- [41] A. J. Márquez Coronel y E. J. Salazar Román, «Análisis de los niveles de desperdicio del mucílago de cacao y su aprovechamiento como alternativa de biocombustible,» Universidad Estatal de Milagro, Milagro, 2015.
- [42] V. A. Taipe-Defaz, E. A. Llanes-Cedeño, C. F. Morales-Bayetero y A. E. Checa-Ramírez, «Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas,» *INGENIUS*, 2020.
- [43] K. Naranjo, K. Revelo, S. Lliguicota y E. Sánchez, «Industrialización y comercialización del mucílago de cacao para la industria alimentaria,» *Investigación de Ciencias Aplicadas*, 2020.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

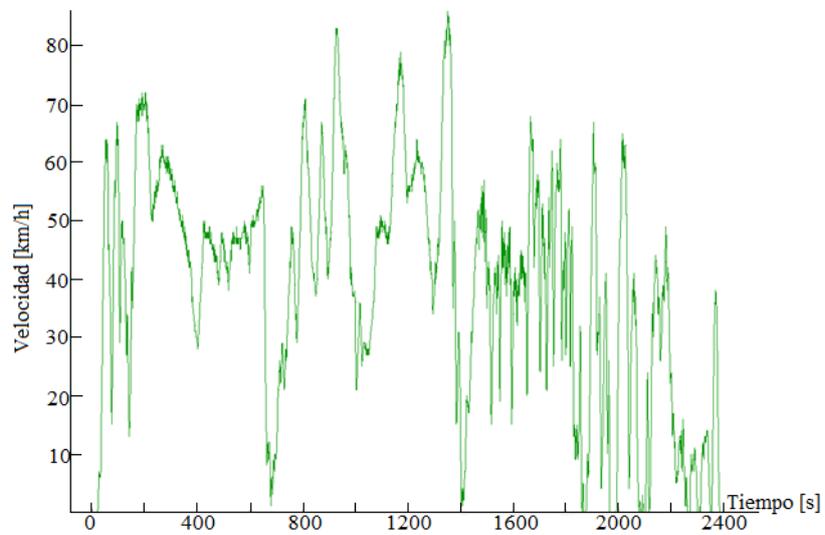
Anexo 1. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con combustible Super.



Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

Anexo 2. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con mezcla E5 de biocombustible.

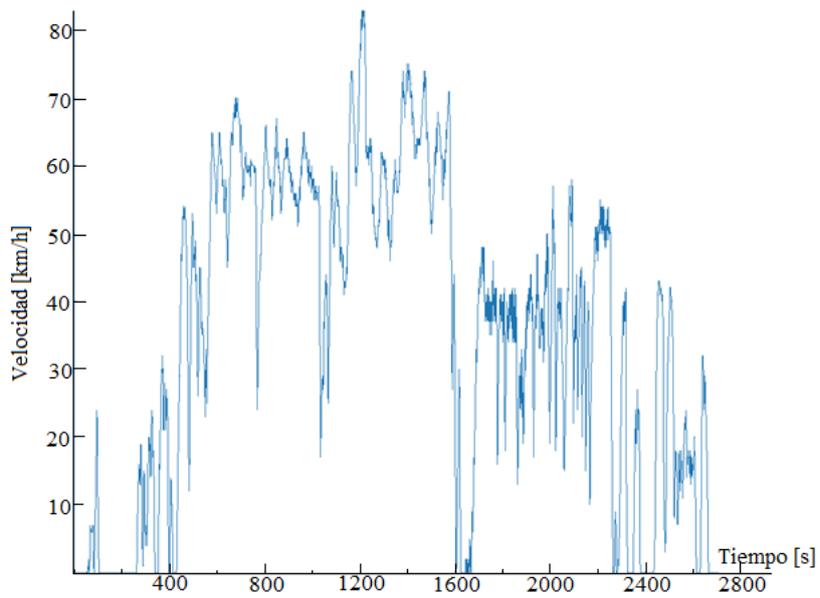


Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

Anexo 3. Ciclo de conducción transitorio obtenido durante las pruebas con combustible

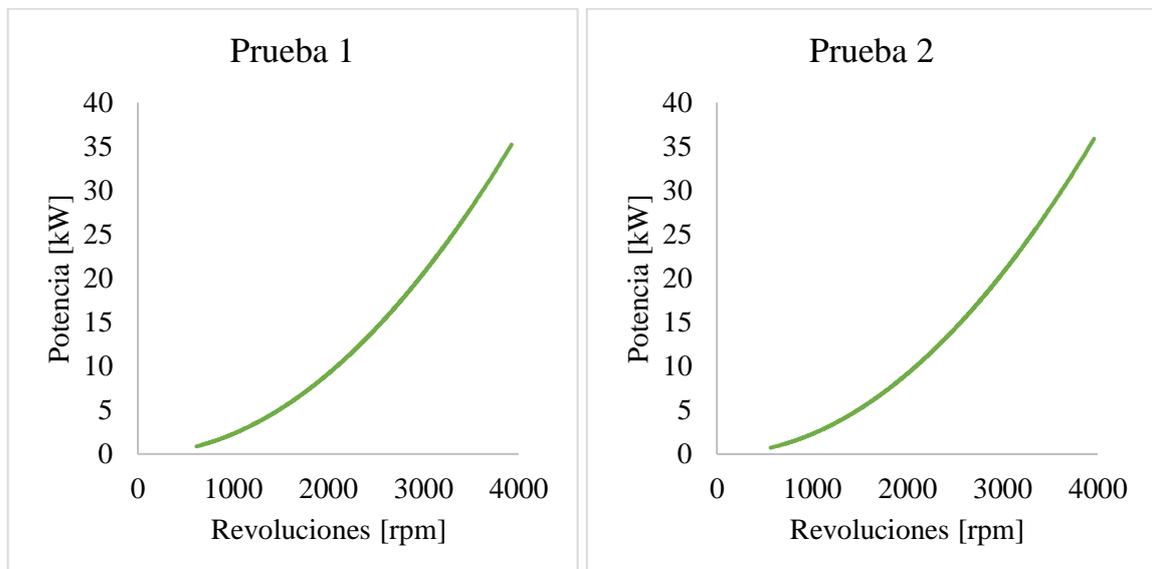
Extra.



Fuente: Asammdf.

Elaborado: Autores.

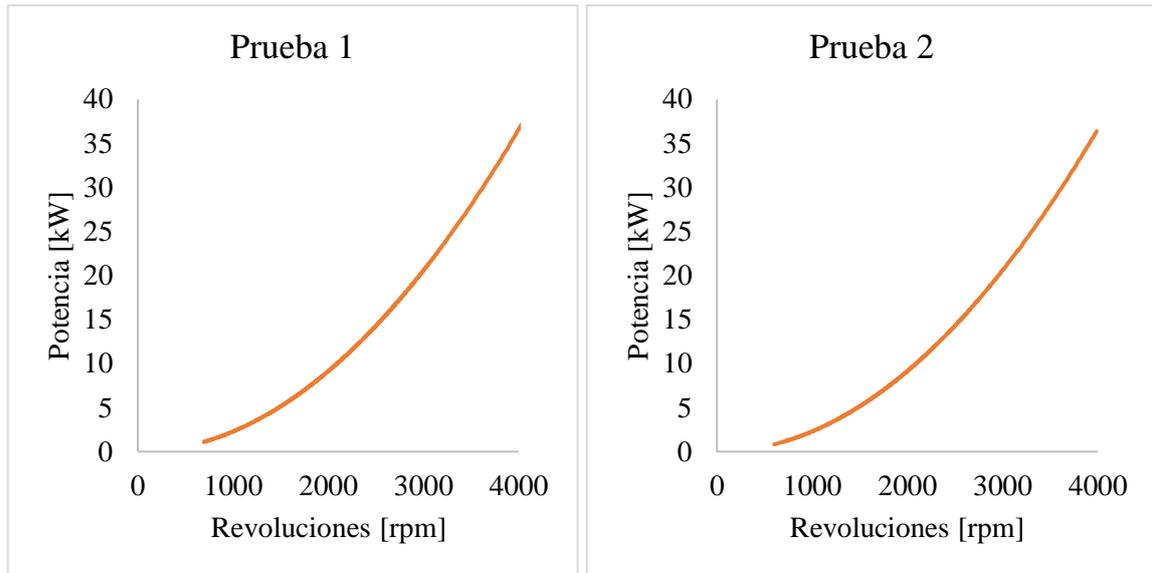
Anexo 4. Curva de Potencia vs revoluciones obtenida en la experimentación de la prueba 1 y prueba 2 para la mezcla E5 con biocombustible.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

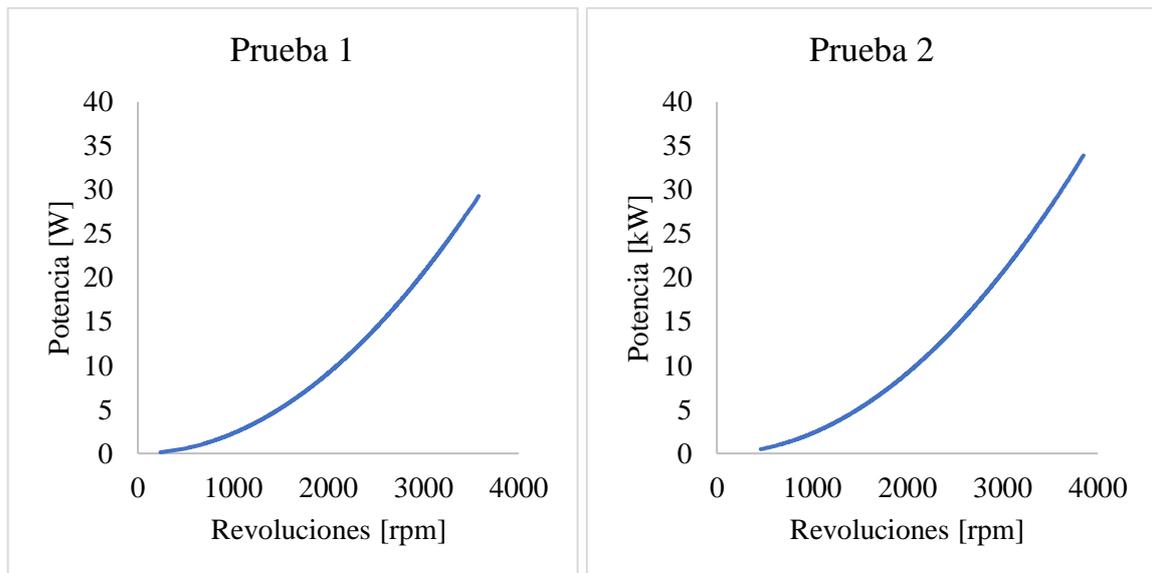
Anexo 5. Curva de potencia vs RPM obtenida en la experimentación con el combustible súper.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

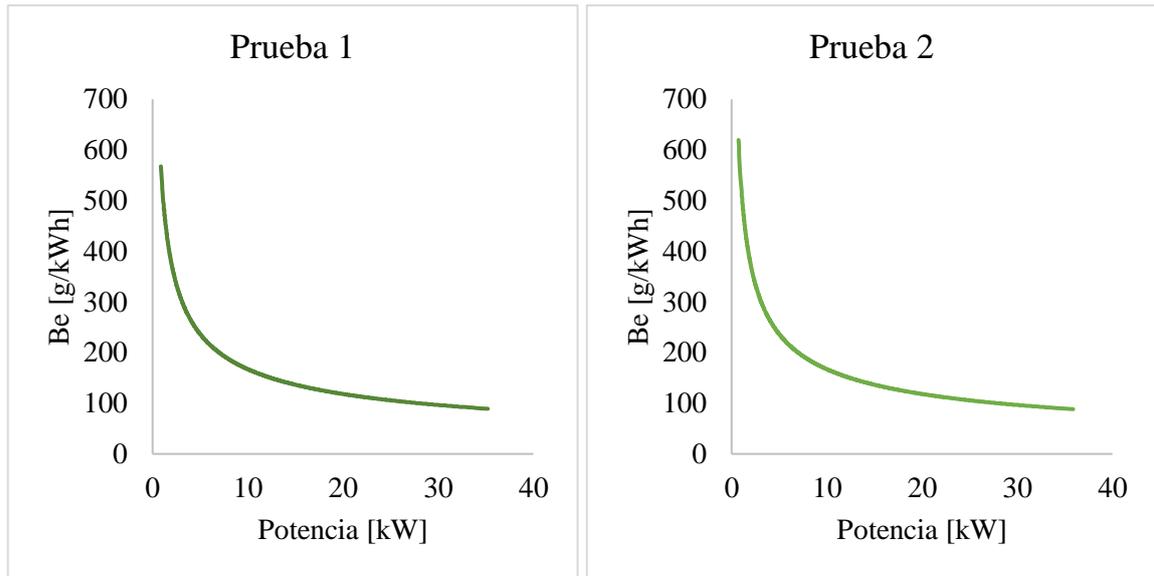
Anexo 6. Curva de Potencia vs Revolución obtenida en la experimentación usando combustible Extra.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

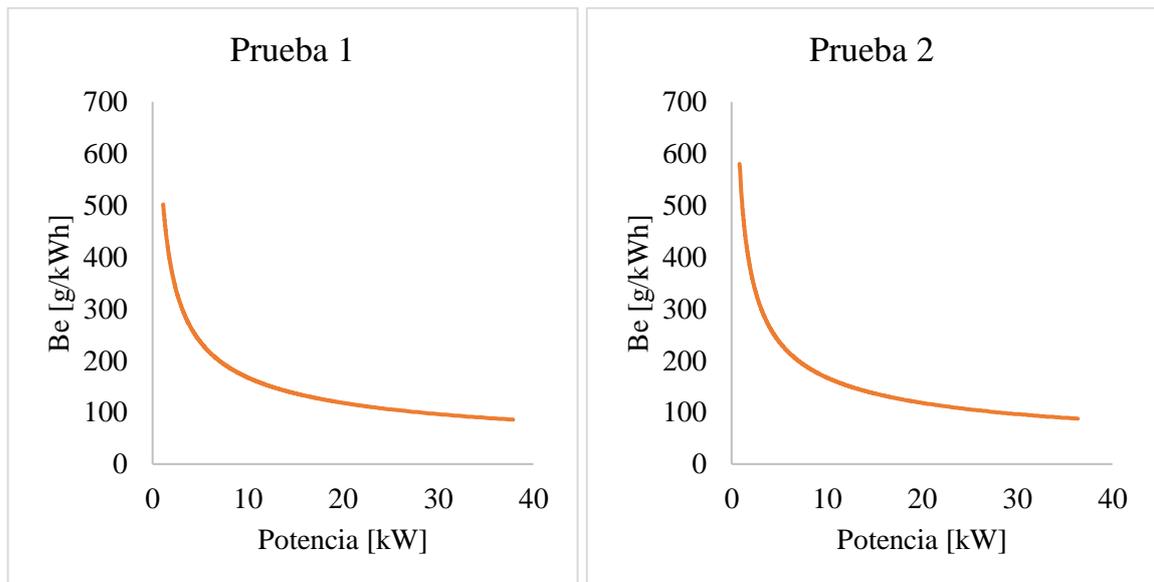
Anexo 7. Curva de Consumo específico vs Potencia obtenida en la experimentación de la prueba para la Mezcla E5 con biocombustible.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

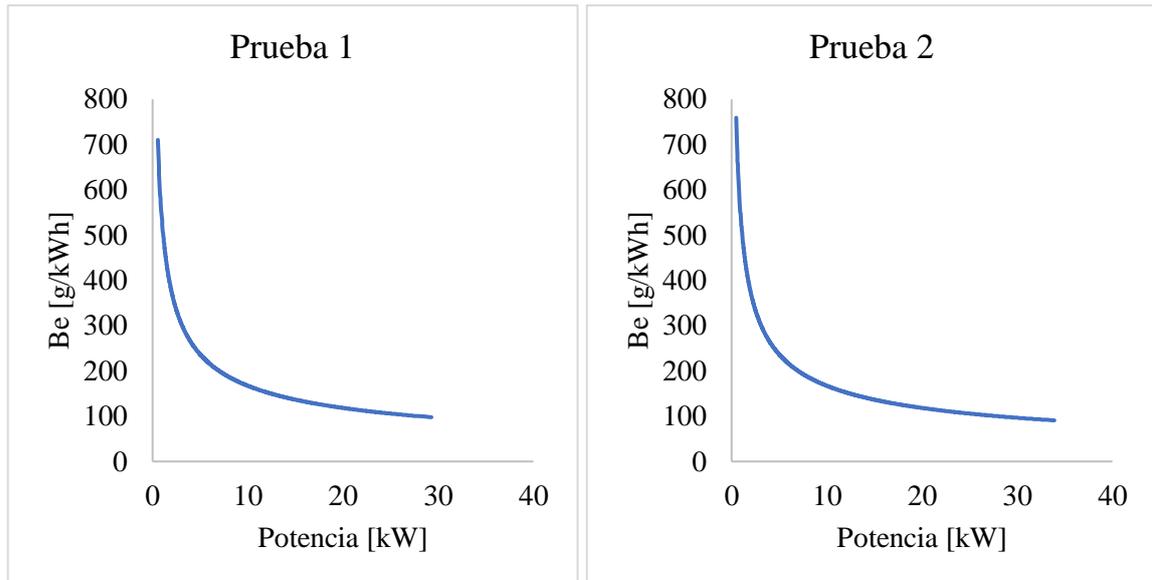
Anexo 8. Curva de Consumo específico vs Potencia experimental para la prueba con combustible súper.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

Anexo 9. Curva de Consumo específico vs potencia para combustible Extra obtenido de experimentación.



Fuente: CANedge.

Elaborado: Autores.

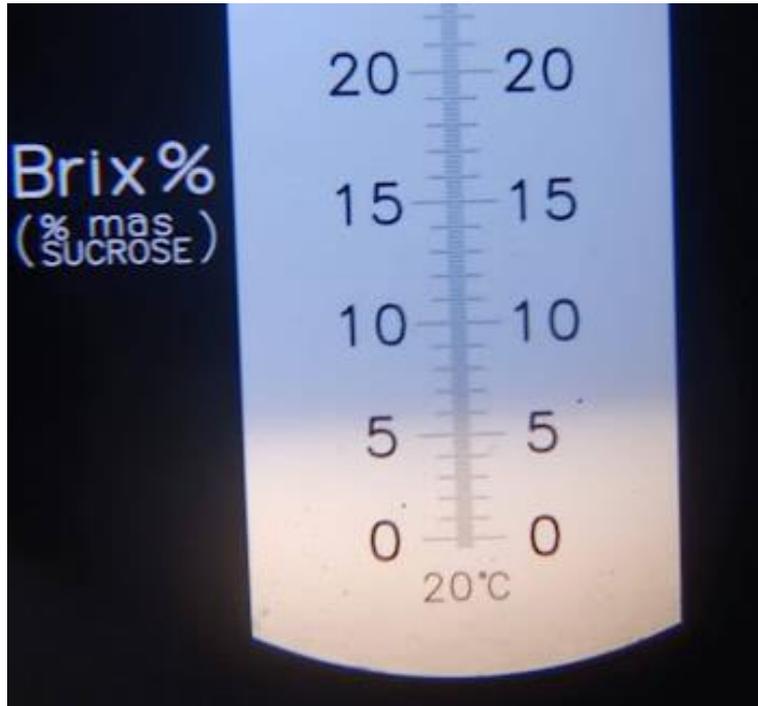
Anexo 10. Control de temperatura y presión de mezclado del mucílago con la levadura en el reactor.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 11. Medición del porcentaje de azúcar presente en el mucílago de cacao antes de ser reservado para fermentación.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 12. Proceso de mezclado del mucílago con 5gr de levadura por cada 30 litros.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 13. Reservado de la sustancia lista para proceso de fermentación en ausencia de oxígeno durante de 21 días.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 14. Envases con mucílago fermentado en ausencia de luz para un mayor concentrado de los azúcares.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 15. Porcentaje de azúcar presente luego del proceso de fermentación lo que permite una obtención de altos grados de alcohol.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 16. Llenado de reservorio de la torre de destilación.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 17. Obtención de alcohol de mucílago de cacao mediante destilación en torre.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 18. Muestras de alcohol de 40 a 80 grados obtenidos en el proceso de destilación.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 19. Equipo de destilación utilizado para re- destilar el alcohol a 90 grados.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 20. Medición de una muestra de alcohol de 86 grados con el alcoholímetro de Gay Lussac.



Fuente: Proceso Fermentado y destilado en Laboratorio de Operaciones Unitarias UTEQ.

Elaborado: Autores.

Anexo 21. Mezclado del alcohol etílico de 90 grados con combustible extra en proporción de 5-95% respectivamente.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 22. Identificación de los combustibles a utilizarse durante las pruebas.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

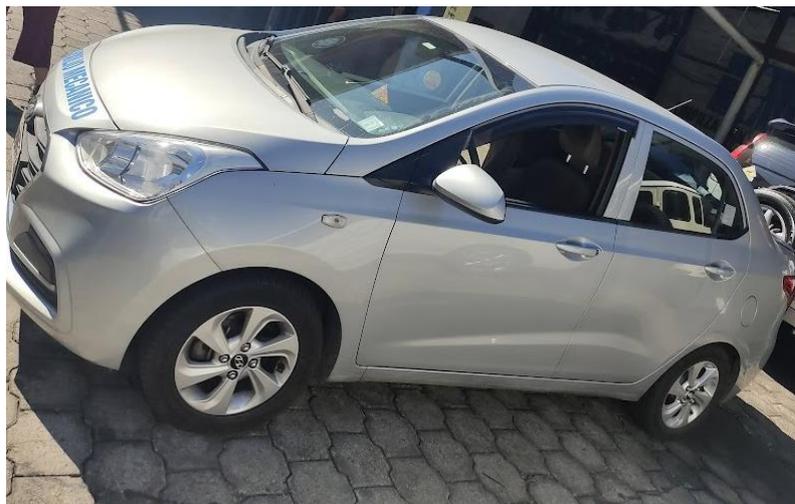
Anexo 23. Muestras de combustibles para la realización de las pruebas de ruta en la parroquia rural de Conocoto.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 24. Vehículo Hyundai Grand i10 de 1,2L año 2020 utilizado durante la experimentación.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 25. Conexión del módulo CANedge 1 al puerto OBDII del vehículo.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 26. CANedge 1 conectada a puerto OBD II para comunicación y obtención de valores medidos por la computadora.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 27. Conexión entre módulo CANedge 1 y CANmod, prueba de enlace de conectividad y registro de datos entre equipos.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 28. Colocación de antena satelital para GPS para obtención de datos de la ruta realizada.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 29. Prueba de ruta y obtención de datos en tiempo real de las condiciones climáticas.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 30. Registro de datos en tiempo real de las condiciones atmosféricas de la ruta realizada en la parroquia rural Conocoto a través del Skywatch Geos 11.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

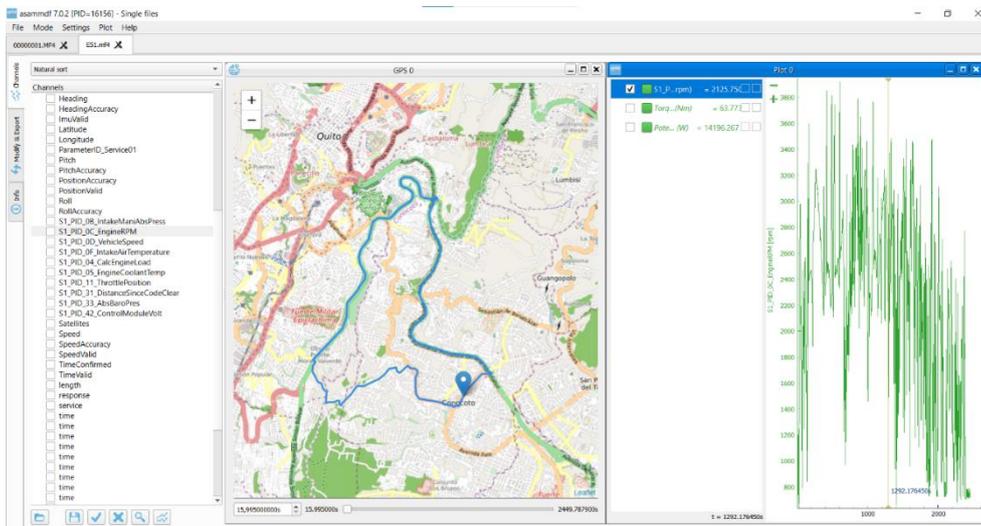
Anexo 31. Equipo Skywatch Geos 11 para la obtención de datos atmosféricos.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

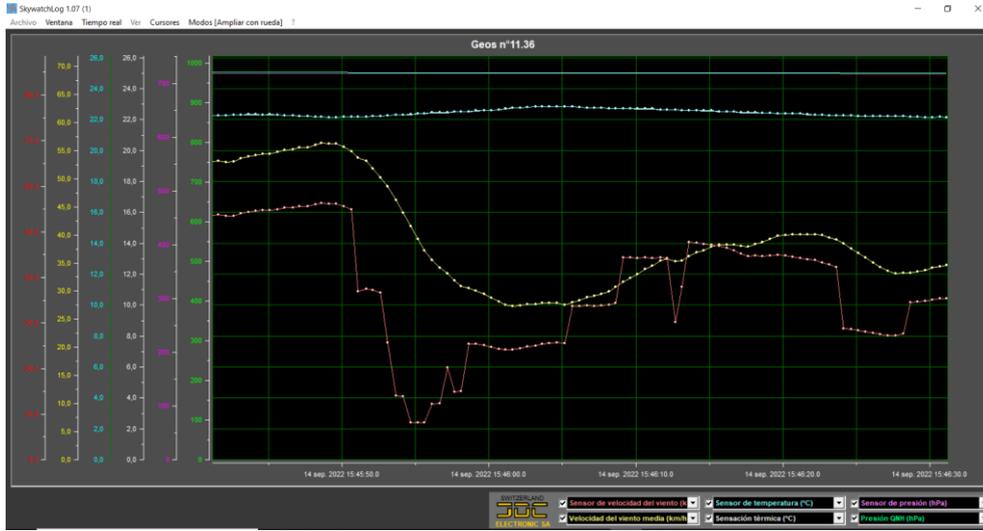
Anexo 32. Análisis de datos del módulo CANedge 1 y CANmod a través del software ASAMMDF GUI.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.

Elaborado: Autores.

Anexo 33. Interfaz de análisis de datos del software Skywatch Log para condiciones atmosféricas.



Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.
Elaborado: Autores.

Anexo 34. Variables rpm, torque, potencia y consumo específico de cada prueba realizada y tratadas en el software Excel.

	Extra 1			Extra 2			ES 1			ES 2			Super				
	RPM	Torque	Potencia	RPM	Torque	Potencia	RPM	Torque	Potencia	RPM	Torque	Potencia	RPM	Torque	Potencia		
2	3580,250	107,408	40,270	3852,000	115,56	46,615	3926,000	117,78	48,423	90,2549	3963,000	118,89	49,340	88,5774	3435,500	103,065	37,079
3	3565,250	106,958	39,933	3834,250	115,028	46,186	3903,500	117,105	47,869	91,2984	3913,250	117,398	48,109	90,844	3409,000	102,27	36,509
5	3541,750	106,253	39,408	3810,000	114,3	45,604	3893,500	116,805	47,624	91,7679	3857,500	115,725	46,748	93,4888	3303,000	99,09	34,274
6	3493,000	104,79	38,331	3794,500	113,835	45,233	3853,500	115,605	46,651	93,683	3824,500	114,735	45,951	95,1091	3292,000	98,76	34,046
7	3486,750	104,603	38,194	3781,000	113,43	44,912	3833,250	114,968	46,162	94,6754	3816,750	114,503	45,765	95,4957	3289,250	98,6775	33,989
8	3482,500	104,475	38,101	3777,250	113,318	44,823	3828,250	114,848	46,042	94,9228	3799,750	113,993	45,359	96,3521	3270,250	98,1075	33,598
9	3477,000	104,31	37,980	3764,000	112,92	44,509	3817,250	114,518	45,777	95,4707	3794,500	113,835	45,233	96,6189	3263,250	97,8975	33,454
10	3463,000	103,89	37,675	3763,500	112,905	44,497	3791,500	113,745	45,162	96,7719	3779,250	113,378	44,871	97,4002	3263,250	97,8975	33,454
11	3452,000	103,56	37,436	3762,000	112,86	44,462	3779,250	113,378	44,871	97,4002	3777,750	113,333	44,835	97,4776	3253,000	97,59	33,244
12	3440,250	103,208	37,182	3753,750	112,613	44,267	3765,000	112,95	44,533	98,1389	3774,000	113,22	44,746	97,6714	3244,250	97,3275	33,066
13	3427,000	102,81	36,896	3748,500	112,455	44,143	3762,500	112,875	44,474	98,2694	3771,500	113,145	44,687	97,801	3229,750	96,8925	32,771
14	3425,000	102,75	36,853	3729,750	111,893	43,703	3759,750	112,793	44,409	98,4132	3748,000	112,44	44,132	99,0312	3226,750	96,8025	32,710
15	3424,500	102,735	36,842	3728,000	111,84	43,662	3757,500	112,725	44,356	98,5311	3739,000	112,17	43,920	99,5085	3216,750	96,5025	32,508
16	3418,250	102,548	36,708	3716,000	111,48	43,381	3745,250	112,358	44,067	99,1767	3731,750	111,953	43,750	99,8956	3208,750	96,2625	32,346
17	3416,250	102,488	36,665	3715,500	111,465	43,369	3740,500	112,215	43,955	99,4288	3730,750	111,923	43,726	99,9491	3191,250	95,7525	32,004
18	3414,250	102,36	36,574	3700,000	111	43,008	3730,250	111,908	43,715	99,9759	3729,000	111,87	43,685	100,043	3191,250	95,7375	31,994
19	3411,250	102,338	36,558	3700,000	111	43,008	3723,750	111,713	43,562	100,325	3722,000	111,66	43,521	100,42	3185,250	95,5575	31,874
20	3409,250	102,278	36,515	3688,500	110,655	42,741	3721,000	111,63	43,498	100,474	3720,500	111,615	43,486	100,501	3185,250	95,5575	31,874
21	3406,750	102,203	36,461	3685,750	110,573	42,678	3716,500	111,495	43,393	100,717	3718,250	111,548	43,434	100,622	3182,000	95,46	31,809
22	3403,250	102,098	36,386	3682,250	110,468	42,597	3711,000	111,33	43,265	101,016	3711,000	111,33	43,265	101,016	3176,750	95,3025	31,704
23	3399,750	101,993	36,311	3680,750	110,423	42,562	3700,750	111,023	43,026	101,576	3703,000	111,09	43,078	101,453	3175,750	95,2725	31,684
24	3397,750	101,933	36,269	3669,250	110,078	42,297	3691,750	110,753	42,817	102,072	3701,250	111,038	43,037	101,549	3168,750	95,0625	31,545
25	3394,750	101,843	36,205	3668,750	110,063	42,285	3685,500	110,565	42,672	102,419	3700,750	111,023	43,026	101,576	3167,750	95,0325	31,525
26	3394,250	101,828	36,194	3664,750	109,943	42,193	3682,750	110,483	42,608	102,572	3687,750	110,633	42,724	102,294	3165,750	94,9725	31,485
27	3394,000	101,82	36,189	3655,750	109,673	41,986	3671,000	110,13	42,337	103,229	3684,000	110,52	42,637	102,502	3164,000	94,92	31,450
28	3393,500	101,805	36,178	3654,000	109,62	41,946	3663,250	109,898	42,158	103,666	3660,250	109,808	42,089	103,836	3161,000	94,83	31,391
29	3391,250	101,738	36,130	3650,500	109,515	41,865	3651,250	109,538	41,883	104,349	3659,250	109,778	42,066	103,893	3159,750	94,7925	31,366

Fuente: Pruebas Experimentales en Ruta Urbana - Extraurbana.
Elaborado: Autores.