



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: "CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIODIESEL
OBTENIDO POR TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE
MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA COMO ADITIVO EN EL
RENDIMIENTO MECÁNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO
MAZDA BT-50"**

**AUTORES: MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPIÑA
HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO**

DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIODIESEL OBTENIDO POR TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA COMO ADITIVO EN EL RENDIMIENTO MECÁNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50”** realizado por los señores **MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPIÑA** y **HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPIÑA** y **HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de agosto del 2017

Ing. Leónidas Quiroz

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPÍÑA**, con cédula de ciudadanía N° 0503799751 y **HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO**, con cédula de ciudadanía N° 1721080693 declaro que este trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIODIESEL OBTENIDO POR TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA COMO ADITIVO EN EL RENDIMIENTO MECÁNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de agosto del 2017

Mario Javier Llumitasig Calvopiña
C.C.: 0503799751

Henry Mauricio Soledispa Proaño
C.C.: 1721080693



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros **MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPIÑA** y **HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIODIESEL OBTENIDO POR TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA COMO ADITIVO EN EL RENDIMIENTO MECÁNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 23 de agosto del 2017

Mario Javier Llumitasig Calvopiña
C.C.: 0503799751

Henry Mauricio Soledispa Proaño
C.C.: 1721080693

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este trabajo a Dios que nunca me abandonó durante todo este tiempo, por la sabiduría otorgada en el transcurso de toda la carrera estudiantil y por permitirme cumplir este logro tan anhelado.

A mis queridos padres Ramiro Soledispa y Gloria Proaño por el apoyo incondicional durante toda mi vida, por el esfuerzo puesto en mi para que termine mi meta, no me queda más que agradecerles por tanto amor y el apoyo incondicional para mí.

A mi hermano Steven le dedico este trabajo, deseando que le sirva como ejemplo y que alcance sus sueños porque siempre estaré ahí para él.

“El miedo más grande para nosotros es fracasar, pero si no lo hacemos jamás alcanzaremos la experiencia necesaria para triunfar”

Henry Mauricio Soledispa Proaño

DEDICATORIA

El trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios a la virgencita de Baños de agua santa y al niño de Isinche, por haberme dado su santa bendición la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante y anhelado de mi formación profesional.

A mis padres Cesar Llumitasig y Rogelia Calvopiña, los cuales con su amor paciencia y dedicación supieron encaminarme por el camino del bien, para ustedes padres queridos que siempre fueron el pilar fundamental para alcanzar esta meta tan importante que me he planteado en mi vida, de todo corazón les agradezco papitos queridos por darme esta herencia única, el estudio.

A mi hermano Klever, que siempre estuvo en las buenas y en las peores siendo mi amigo y confidente durante este largo periodo de formación académica, esta meta cumplida se la dedico con todo mi cariño.

Como olvidar de mi prima Jaqueline, que siempre estuvo apoyándome y aconsejándome, una persona importante en mi vida para cumplir esta meta.

“No importa si perdimos algunas batallas, al final ganamos la guerra, ahora festejamos la victoria tan anhelada por todos”

Mario Javier Llumitasig Calvopiña

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias a Dios por darme sabiduría, paciencia, salud y amor y siempre darme una guía para seguir mi vida.

A mis queridos padres Gloria y Ramiro por brindarme su apoyo incondicional y enseñarme los valores necesarios para formarme como un mejor hombre que pueda alcanzar los objetivos que me he propuesto durante toda mi vida.

A mi hermano por ser un cómplice incondicional en todas mis metas propuestas y estar ahí en los buenos y malos momentos.

A mis abuelos en especial a Sarita que estas en el cielo pero que criaste a la mejor madre del mundo y que hoy me ha formado, a Justina por siempre recibirme con inmenso cariño a mis tías Irene, Lucy, Marta, Isabel y Teresa por los consejos brindados durante mi vida y a mis tíos Ángel, Carlos, Víctor y Jorge por estar pendientes de mí, brindarme amistad y apoyo incondicional.

A mi compañero y amigo Mario Llunitasig por dedicar su tiempo, su sabiduría, su apoyo económico durante el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga por la formación académica brindada por los docentes y por toda la información adquirida a lo largo de este tiempo y en especial al Ing. Leónidas Quiroz por brindarnos su amistad y colaboración durante todo el proceso de desarrollo del presente proyecto

Henry Mauricio Soledispa Proaño

AGRADECIMIENTO

Primeramente, dar gracias a dios por darme salud y vida para seguir cumpliendo las metas que me he propuesto en mi vida, a la virgencita María al niño Jesús por ser mis intercesores ante nuestro padre celestial, por cuidarme y guiar mi vida.

Agradecer a mis padres por darme todo su apoyo económico y moral, por ser los mejores padres del mundo que me supieron formarme como una persona de bien, por inculcarme valores como el respeto, bondad y humildad, por no permitir que caiga en el mundo de los malos vicios, todos los valores que como padres impartieron me han hecho un hombre capaz de cumplir con las metas que me las proponga y les agradezco por siempre velar por bienestar.

A mi hermano Klever y a mi prima Jaqueline les agradezco de todo corazón por su apoyo incondicional y por siempre estar a mi lado cuando más los necesito.

A mi amigo y compañero Mauricio Soledispa por su amistad durante todo este proceso de formación académica y por su aporte de conocimientos para el desarrollo del proyecto de investigación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga mi más profundo agradecimiento por haberme abierto las puertas y dado la oportunidad de formarme profesionalmente dentro de sus aulas, a todos los docentes que estuvieron al frente de este proceso de formación académica impartiendo sus conocimientos, en especial al ingeniero Leónidas Quiroz por ser nuestro guía durante el desarrollo del presente proyecto.

Mario Javier Llumitasig Calvopiña

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|--------------|
| PORTADA..... | i |
| CERTIFICACIÓN..... | ii |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | vii |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xv |
| INDICE DE TABLAS | xviii |
| INDICE DE ECUACIONES..... | xx |
| RESUMEN..... | xxi |
| ABSTRACT | xxii |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----------|
| 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 6 |
| 1.3. Descripción resumida del proyecto | 8 |
| 1.4. Justificación..... | 9 |
| 1.4.1. Argumento teórico | 11 |
| 1.4.2. Argumento metodológico..... | 12 |
| 1.4.3. Argumento práctico | 12 |
| 1.5. OBJETIVOS | 13 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.5.1. Objetivo general | 13 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 13 |
| 1.6. Metas..... | 14 |
| 1.7. Hipótesis..... | 15 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|-----------|
| 2. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1. Parámetros característicos del motor de combustión interna..... | 22 |
| 2.1.1. Potencia | 22 |
| 2.1.2. Torque..... | 24 |
| 2.1.3. Consumo de combustible..... | 24 |
| 2.1.4. Presión media efectiva | 26 |
| 2.1.5. Rendimiento térmico | 26 |
| 2.1.6. Calor extraído..... | 27 |
| 2.1.7. Datos característicos del Motor..... | 27 |
| 2.2. Parámetros característicos del diésel, biodiesel y método de obtención..... | 28 |
| 2.2.1. Diésel | 28 |
| 2.2.2. Biodiesel..... | 28 |
| 2.3.1. Esterificación | 30 |
| 2.3.2. Transesterificación. | 30 |
| 2.3.3. Lavado..... | 31 |
| 2.3.4. Deshidratado | 31 |
| 2.4. Materia prima para la producción de biodiesel. | 31 |
| 2.5. Caracterización de la materia prima (sebo de res vacuno). | 32 |
| 2.5.1. Densidad | 32 |
| 2.5.2. Índice de acidez (IA)..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 2.5.3. Acidez (A)..... | 32 |
| 2.5.4. Índice de saponificación (Is)..... | 33 |
| 2.5.5. Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación..... | 33 |
| 2.5.6. Masa necesaria de metanol en función de la relación molar..... | 33 |
| 2.5.7. Masa de catalizador hidróxido de sodio | 34 |
| 2.6. Caracterización físico-química del biodiesel..... | 34 |
| 2.6.1. Densidad..... | 34 |
| 2.6.2. Medición del PH | 35 |
| 2.6.3. Poder Calorífico..... | 35 |
| 2.6.4. Índice de cetano..... | 36 |
| 2.6.5. Corrosión de lámina de cobre | 36 |
| 2.6.6. Viscosidad..... | 36 |
| 2.6.7. Agua por destilación..... | 38 |
| 2.6.8. Contenido de Azufre..... | 38 |
| 2.6.9. Punto de nube | 38 |
| 2.7. Equipos de medición del rendimiento mecánico | 39 |
| 2.7.1. Dinamómetro..... | 39 |
| 2.7.2. Opacímetro Automotriz..... | 40 |
| 2.7.3. Interfaz OBDwizz SX..... | 41 |

CAPÍTULO III

3. PROCESAMIENTO DE MATERIA PRIMA Y

| | |
|---|-----------|
| CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL | 43 |
| 3.1. Tratamiento de la materia prima..... | 43 |
| 3.2. Caracterización | 44 |
| 3.2.1. Densidad..... | 44 |
| 3.2.2. Índice de acidez y acidez (Wab y Wffa) | 44 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3. Índice de saponificación (Is) | 44 |
| 3.3. Resultados característicos. | 45 |
| 3.4. Determinación de reactivos para la reacción del proceso de transesterificación..... | 46 |
| 3.4.1. Hidróxido de sodio..... | 46 |
| 3.4.2. Volumen de metanol | 47 |
| 3.5. Transesterificación. | 49 |
| 3.6. Pruebas..... | 51 |
| 3.6.1. Densidad | 51 |
| 3.6.2. Poder calorífico | 54 |
| 3.6.3. Medición del PH. | 59 |
| 3.6.4. Punto de inflamación..... | 61 |
| 3.6.5. Prueba de viscosidad..... | 65 |
| 3.6.6. Prueba de Corrosión de Lámina de Cobre..... | 69 |
| 3.6.7. Agua por destilación..... | 70 |
| 3.6.8. Contenido de azufre | 70 |
| 3.6.9. Índice de cetanos calculado | 71 |
| 3.6.10. Punto de nube | 72 |
| 3.7. Análisis de resultados. | 72 |
| 3.1.1. Densidad. | 75 |
| 3.1.2. Poder calorífico. | 76 |
| 3.1.3. PH. | 77 |
| 3.1.4. Punto de inflamación..... | 78 |
| 3.1.5. Viscosidad..... | 79 |
| 3.1.6. Corrosión de lámina de cobre. | 80 |
| 3.1.7. Agua por destilación..... | 80 |
| 3.1.8. Contenido de azufre..... | 81 |

| | |
|---|----|
| 3.1.9. Índice de Cetano calculado. | 82 |
| 3.1.10. Punto de nube. | 83 |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----------|
| 4. PRUEBAS DE RENDIMIENTO MECÁNICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. | 85 |
| 4.1. Pruebas de rendimiento mecánico | 85 |
| 4.1.1. Torque y potencia..... | 85 |
| 4.1.2. Consumo de combustible. | 93 |
| 4.1.3. Opacidad..... | 97 |
| 4.2. Matematización de cálculos mecánicos y térmicos. | 101 |
| 4.2.1. Parámetros de funcionamiento del motor..... | 101 |
| 4.3. Análisis de resultados | 102 |
| 4.3.1. Toque y potencia..... | 103 |
| 4.3.2. Consumo de combustible. | 105 |
| 4.3.3. Opacidad..... | 106 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|------------|
| 5. MARCO ADMINISTRATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 107 |
| 5.1. Recursos | 107 |
| 5.1.1. Recursos humanos. | 107 |
| 5.1.2. Recursos tecnológicos. | 107 |
| 5.1.3. Recursos materiales..... | 108 |
| 5.2. Presupuesto. | 109 |
| 5.3. Título de la propuesta..... | 111 |
| 5.3.1. Estructura de la propuesta | 111 |

| | |
|--|------------|
| 5.3.2. Desarrollo de la propuesta. | 111 |
| 5.3.3. Influencia socio económico de la propuesta..... | 111 |
| 5.4. Cronograma. | 114 |
| 5.5. Conclusiones..... | 116 |
| 5.6. Recomendaciones..... | 118 |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 119 |
| ANEXOS..... | 121 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Curvas características del motor A con diésel. | 3 |
| Figura 2. Curvas características del motor A con biodiésel-soya..... | 3 |
| Figura 3. Consumo específico de combustible | 4 |
| Figura 4. Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador | 5 |
| Figura 5. Transesterificación de un triglicérido con alcohol..... | 30 |
| Figura 6. Materias primas para la producción de biodiesel | 31 |
| Figura 7. Viscosímetro Comecta | 37 |
| Figura 8. Dinamómetro de chasis MOTOROLL | 39 |
| Figura 9. Analizador de gases y Opacímetro CARTEK..... | 41 |
| Figura 10. Interfaz OBDwiz SX | 42 |
| Figura 11. Proceso de tratamiento de la materia orgánica..... | 43 |
| Figura 12. Proceso de caracterización de la grasa | 45 |
| Figura 13. Proceso de transesterificación. | 49 |
| Figura 14. Separación de glicerina y lavado del biodiesel. | 50 |
| Figura 15. Preparación de muestras e instrumentos..... | 52 |
| Figura 16. Proceso de medición de masas. | 53 |
| Figura 17. Preparación de materiales e instrumentos..... | 55 |
| Figura 18. Proceso de pesado de la muestra. | 56 |
| Figura 19. Proceso de armado de la bomba y suministro de oxígeno. ... | 57 |
| Figura 20. Proceso de obtención de datos de temperatura. | 58 |
| Figura 21. Proceso de medición del nivel de PH de las muestras. | 60 |
| Figura 22. Materiales e instrumentos. | 62 |
| Figura 23. Preparación del equipo de medición..... | 63 |
| Figura 24. Proceso de verificación del punto de inflamación. | 64 |
| Figura 25. Preparación de materiales e instrumentos..... | 66 |
| Figura 26. Proceso de equilibrio de temperaturas. | 67 |
| Figura 27. Tiempo de llenado, datos para el cálculo de viscosidad | 68 |
| Figura 28. Densidad de cada mezcla..... | 75 |
| Figura 29. Variación porcentual de la densidad. | 75 |
| Figura 30. Poder calorífico de cada mezcla | 76 |
| Figura 31. Porcentaje de variación del poder calorífico de las mezclas. 77 | |

| | |
|--|-----|
| Figura 32. Nivel de PH de cada mezcla | 77 |
| Figura 33. Punto de inflamación de cada mezcla | 78 |
| Figura 34. Viscosidad de cada mezcla..... | 79 |
| Figura 35. Variación porcentual de la viscosidad..... | 79 |
| Figura 36. Corrosión de lámina de cobre de cada mezcla | 80 |
| Figura 37. Agua por destilación de cada mezcla | 81 |
| Figura 38. Contenido de azufre de cada mezcla..... | 81 |
| Figura 39. Porcentaje de disminución de contenido de azufre para las distintas muestras | 82 |
| Figura 40. Índice de cetanos de cada mezcla..... | 83 |
| Figura 41. Punto de nube de cada mezcla..... | 84 |
| Figura 42. Curvas de rendimiento mecánico..... | 85 |
| Figura 43. Mantenimientos preventivos previos a las pruebas de rendimiento. | 86 |
| Figura 44. Proceso de mantenimiento preventivo del dinamómetro. | 87 |
| Figura 45. Parte “a” instalación y configuración del software del banco de pruebas. | 88 |
| Figura 46. Parte “b” instalación y configuración del software del banco de pruebas. | 90 |
| Figura 47. Proceso de mantenimiento del vehículo. | 91 |
| Figura 48. Proceso de medición de torque y potencia con distintas mezclas. | 92 |
| Figura 49. Consumo de combustible..... | 93 |
| Figura 50. Descarga del software y requisitos de la PC previo a la instalación. | 94 |
| Figura 51. Configuración del software y medición del consumo de combustible. | 95 |
| Figura 52. Porcentaje de opacidad con diésel Premium..... | 97 |
| Figura 53. Proceso de conexión y puesta a punto del vehículo. | 98 |
| Figura 54. Proceso ingreso de datos del vehículo. | 99 |
| Figura 55. Proceso de medición de opacidad. | 100 |
| Figura 56. Torque y potencia de cada mezcla | 103 |
| Figura 57. Variación de torque y potencia según la concentración de biodiesel | 104 |

| | |
|---|-----|
| Figura 58. Consumo de combustible por mezcla | 105 |
| Figura 59. Porcentaje de opacidad por mezcla | 106 |
| Figura 60. Cálculo del VAN y TIR del proyecto | 113 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|---|-----|
| Tabla 1 | Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel | 15 |
| Tabla 2 | Variable Independiente: Mezcla combustible diésel a partir de grasa de res..... | 16 |
| Tabla 3 | Caracterización de variables | 17 |
| Tabla 4 | Metodología | 18 |
| Tabla 5 | Datos característicos del motor..... | 27 |
| Tabla 6 | Datos físico-químicos del biodiesel y diésel | 29 |
| Tabla 7 | Clasificaciones del nivel de PH | 35 |
| Tabla 8 | Características dinamómetro de rodillos MOTORROLL | 40 |
| Tabla 9 | Especificaciones de la interfaz..... | 42 |
| Tabla 10 | Caracterización del sebo de res vacuno | 46 |
| Tabla 11 | Peso molecular del Hidróxido de Sodio (NaOH) | 47 |
| Tabla 12 | Características físico químicas del metanol | 47 |
| Tabla 13 | Resumen de cálculos para determinar la cantidad de reactivos | 48 |
| Tabla 14 | Datos obtenidos de la densidad de las distintas muestras..... | 54 |
| Tabla 15 | Valores de la variación de temperatura y poder calorífico. | 59 |
| Tabla 16 | Medición de PH de las mezclas de biodiesel | 61 |
| Tabla 17 | Valores del punto de inflamación de las mezclas..... | 64 |
| Tabla 18 | Viscosidad de acuerdo al porcentaje de biodiesel | 69 |
| Tabla 19 | Corrosión de Lámina de Cobre | 69 |
| Tabla 20 | Agua por Destilación | 70 |
| Tabla 21 | Contenido de Azufre | 70 |
| Tabla 22 | Índice de cetano calculado..... | 71 |
| Tabla 23 | Punto de Nube | 72 |
| Tabla 24 | Resumen de parámetros característicos de biodiesel a distintos porcentajes | 74 |
| Tabla 25 | Valores de torque y potencia..... | 93 |
| Tabla 26 | Resumen del consumo de combustible. | 96 |
| Tabla 27 | Valores de la prueba de opacidad..... | 100 |
| Tabla 28 | Cálculo de parámetros de funcionamiento del motor | 101 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabla 29 | Parámetros de funcionamiento calculados del motor..... | 102 |
| Tabla 30 | Resumen de parámetros de funcionamiento medidos del motor..... | 102 |
| Tabla 31 | Grupo de investigación. | 107 |
| Tabla 32 | Recursos tecnológicos. | 107 |
| Tabla 33 | Recursos tecnológicos. | 108 |
| Tabla 34 | Costo de obtención del biodiesel | 109 |
| Tabla 35 | Costo de pruebas realizadas..... | 110 |
| Tabla 36 | Costo de materiales e insumos | 110 |
| Tabla 37 | Costos de producción del biodiesel..... | 112 |
| Tabla 38 | Plan de costos y flujo de caja..... | 112 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación (1) Potencia | 22 |
| Ecuación (2) Potencia indicada..... | 22 |
| Ecuación (3) Potencia efectiva al freno..... | 23 |
| Ecuación (4) Torque..... | 24 |
| Ecuación (5) Consumo de combustible volumetrico | 25 |
| Ecuación (6) Consumo específico de combustible | 25 |
| Ecuación (7) Gasto específico de combustible | 25 |
| Ecuación (8) Presión media efectiva..... | 26 |
| Ecuación (9) Rendimiento térmico | 27 |
| Ecuación (10) Calor extraido..... | 27 |
| Ecuación (11) Relación molar | 33 |
| Ecuación (12) Masa del metanol..... | 33 |
| Ecuación (13) Densidad de la grasa | 33 |
| Ecuación (14) Masa del ctalizador | 34 |
| Ecuación (15) Densidad..... | 34 |
| Ecuación (16) Masa de la muestra | 35 |
| Ecuación (17) Poder calorífico | 36 |
| Ecuación (18) Viscocidad bulbo C | 37 |
| Ecuación (19) Viscosidad bulbo J | 37 |
| Ecuación (20) Viscosidad..... | 38 |

RESUMEN

El trabajo de titulación obtuvo biodiesel mediante el aprovechamiento de la grasa de res vacuno como materia prima la misma que en nuestro medio es considerada como desecho, aprovechando su potencial energético mediante un proceso de transesterificación, utilizando como catalizador el hidróxido de sodio que es una sustancia en disolución acuosa “lejía”; produciendo el 55% de la materia prima en biodiesel debido a la reacción química que divide el sebo de res vacuno en glicerina y productos derivados de la reacción, además de las pérdidas en los procesos de lavado y secado. Se realizó mezclas al B25, B40, B55, B70 y B85 % con diésel premium caracterizadas mediante pruebas físico – químicas que determinan niveles de azufre, agua, punto de nube, índice cetano, corrosión de lámina de cobre, densidad, viscosidad, punto de inflamación, nivel de PH y poder calorífico bajo normas NTE INEN y ASTM que establecerán las mejores muestras; para usarlas el motor de combustión interna de la camioneta Mazda BT-50, determinando la incidencia en el rendimiento mecánico del vehículo de prueba como: torque, potencia, consumo y opacidad para analizar y comparar en función de valores nominales del vehículo y normativas nacionales vigentes instaurando cual es la muestra más óptima para su uso.

PALABRAS CLAVE:

- **TRANSESTERIFICACIÓN**
- **BIODIESEL**
- **BIOCOMBUSTIBLES**
- **PODER CALORÍFICO**
- **OPACIDAD**

ABSTRACT

The titulation work got the biodiesel as a result from the exploitation of bovine fat as the raw material, which is considered as a waste product. To obtain biodiesel the bovine fat was subjected to the chemical process known as trans-esterification, and using the sodium hydroxide as catalyst. It is an aqueous solution ("lejía"). This chemical process allowed to change the raw material into 55 % of biodiesel. It was possible because of the chemical reaction which divides the bovine fat into glycerin, derived products, and the waste from the washing and drying. Mixtures were made at B25, B40, B55, B70, and B85 % with diesel premium, which were characterized by physico-chemical proofs. These proofs determine the levels of sulfur, water, cloud point, cetane index, corrosion of cooper sheets, density, viscosity, flash point, PH level, and calorific value under the NTE, INEN, and ASTM regulations, which will stablish the best samples. The samples will be used in the internal combustion engine of the Mazda BT-50, to determine the incidence of the mechanical efficiency of the test vehicle, such as: torque, power, consumption, and opacity. This will permit to analyze, and compare between the function of nominal values of the vehicle and the current national policies. Thus, the best sample will be set up to be used.

KEY WORDS:

- **TRANSESTERIFICATION**
- **BIODIESEL**
- **BIOFUEL**
- **CALORIFIC POWER**
- **OPACITY**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

El constante crecimiento poblacional mundial, parque automotor nacional en base al desarrollo industrial, como la disminución de almacenamientos de crudo, genera gran interés y conciencia de la comunidad científica y política en temas relacionados a la polución y protección del ambiente producida por vehículos motorizados de combustión interna, de ahí surge la necesidad de desarrollar alternativas apoyadas en recursos naturales existentes.

(Mantilla, 2014) Menciona que “Las energías renovables y su relación del uso de la bioenergía en el transporte, es de gran importancia validar el biodiesel producido de fuentes orgánicas; EE. UU. lidera la producción mundial de este”.

[ASTM D6751, 2007] Se refiere a “los aceites y grasas de origen animal (tejidos oleaginosos), como el sebo de los vacunos y de la industria avícola, pueden utilizarse como materia prima para obtener biodiesel. En comparación con los aceites vegetales, las grasas y aceites de origen animal son de bajo costo. El biodiesel obtenido a partir de grasas animales puede ser caracterizado de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas. Dentro de las propiedades físicas que se realiza son: contenido de azufre, contenido de agua, corrosión lámina de cobre, densidad, viscosidad, punto de fusión, poder calorífico y el número de cetanos”.

(Mier, 2012) Hace referencia “al costo de producción de los combustibles fósiles y el agotamiento de las reservas de petróleo en un lapso de tiempo, y la preocupación por el cuidado de la naturaleza y el medio ambiente, se ha generado gran interés en la búsqueda aditivos que optimicen las características químicas y de desempeño de los carburantes, de tal forma de poder reducir paulatinamente la dependencia total de derivados, en

concordancia ecológica con las necesidades de la sociedad con el fin de mejorar su calidad de vida”.

(Mier, 2012) Ratifica que “el biodiesel puede ser producido de recursos naturales como aceites vegetales, grasas animales, algas entre otros. Un alto consumo de aceites comestibles en el mundo resulta en una escasez de materia prima para biodiesel producción”.

(Mier, 2012) “En un proceso convencional de producción de biodiesel, glicerol se genera como subproducto. Los aumentos en la demanda y la producción de biodiesel se agrandan una cantidad de glicerol producida. La utilización eficiente del glicerol crudo podría dar lugar a importantes beneficios económicos y beneficios ambientales”.

(Flores, 2009) Sostiene que “al comparar simultáneamente los valores promedios de potencia y consumo específico de combustible de las diferentes mezclas de biodiesel B10, B20 y B30 con los resultados del petrodiesel puro, se encontró que las mezclas B30 en promedio presentan gran similitud con el comportamiento del D100, aunque sin superarlo. Por el contrario, las mezclas del B20 presentan la menor potencia en el motor con el mayor consumo de combustible”.

(Rodríguez, 2008) Manifiesta que “el torque efectivo en ambos casos tiene un máximo alrededor de 2000 rpm. La pérdida de momento efectivo tomando como referencia al diésel es de hasta un 17% para el motor trabajando con combustible BD-soya. Es evidente que el tipo de combustible ejerce influencia sobre las características indicadoras”.

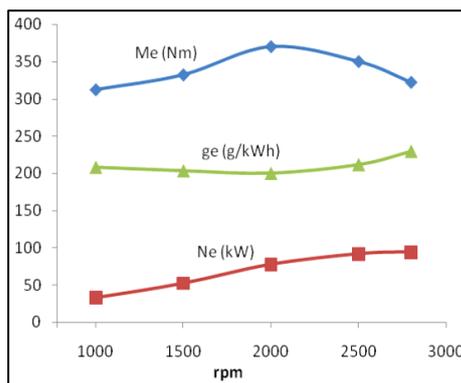


Figura 1. Curvas características del motor A con diésel.
Fuente: (Rodríguez, 2008)

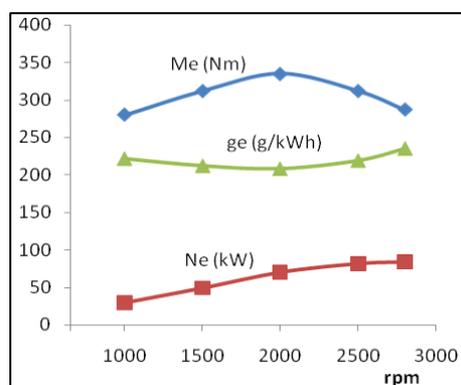


Figura 2. Curvas características del motor A con biodiésel-soya.
Fuente: (Rodríguez, 2008)

(Rodríguez, 2008) Afirma que “respecto al consumo específico de combustible (CEC), se observó el mismo comportamiento general y típico en un motor de combustión interna, fue corroborada una disminución del consumo con el aumento de las rpm debido a mejora del proceso de combustión, hasta un punto a partir del cual la calidad del proceso de combustión comienza a disminuir debido a un empeoramiento del aprovechamiento de la energía calorífica”.

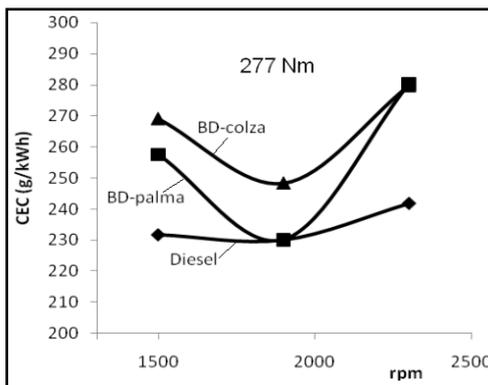


Figura 3. Consumo específico de combustible

Fuente: (Rodríguez, 2008)

(Rodríguez, 2008) “La transesterificación es una reacción química que realiza el aceite vegetal (glicerol) para ser sustituido por un alcohol más simple (metanol o etanol), utilizando una lejía como catalizador”.

(Rodríguez, 2008) “Una transesterificación química importante, se obtienen esteres grasos (el éster etílico o el éster metílico). Debido a la transesterificación se forma un residuo llamado glicerina. Para tener un óptimo proceso de transesterificación se debe tomar varios aspectos”.

[INEN1489, 2012] “Los tipos de diésel comercializados en el Ecuador cumplen requisitos de acuerdo al tipo diésel 1 y diésel 2 con bajo contenido de azufre. El diésel que se comercializa en el país debe cumplir los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres”.

[INEN2482, 2009] “Los ésteres metílicos o etílicos (FAME o FAEE) de ácidos grasos que van a ser usados como combustible para motores de ciclo Diésel deberán regirse a la norma técnica ecuatoriana para el combustible constituido y utilizado por: fracciones intermedias del petróleo, en máquinas que requieren cambios frecuentes de velocidad y carga, uso industrial para motores de combustión interna de auto ignición, en automotores de diésel de alta velocidad que son Diésel, Diésel No. 1, Diésel No. 2 y Diésel No. 2 de bajo contenido de azufre respectivamente”.

[MICSE, 2012] Ratifica que “el Ecuador presentó un consumo anual de 74 MBEP en el 2010, de los cuales un 56% fue destinado al sector transporte. El 14% del consumo en el sector transporte está agrupado entre navegación, aéreo y ferroviario, mientras que el 86% del consumo está concentrado en el parque automotor, el cual en el 2010 está constituido en su mayor parte por vehículos livianos y camionetas, llegando a un 71%. Los camiones de carga pesada llegan a un 11%, pero, son responsables del 45.7% del consumo total del parque automotor”.

[MICSE, 2012] Sostiene que “las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (dióxido de carbono -CO₂-, metano -CH₄ y óxido nitroso -N₂O) incrementaron un 10,7% respecto al 2013. Esto representó la emisión de 45,8 millones de toneladas de CO₂ equivalentes¹² por parte del sector energético del país, de las cuales el transporte es el mayor generador de gases ocupando el 39% del total de emisiones. Los siguientes contribuyentes en emisiones son las centrales eléctricas (13,6%) y la industria (13,3%)”.

[MICSE, 2012] “Que el décimo objetivo del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 es impulsar la transformación de la matriz productiva, y en su numeral 10.9. literal e), emite la siguiente directriz “Articular las acciones y metas de generación de energías limpias y eficiencia energética, con la estrategia de transformación de la matriz productiva.”, toda vez que “... En el Ecuador, a diferencia de la región, el consumo de energía de hogares es superior al de las industrias, con una tendencia que no ha decrecido en los últimos doce años. Comparado con el índice de intensidad energética industrial, no se evidencian mejoras en la eficiencia energética del sector”.

1.2. Planteamiento del problema

La investigación inicia debido a la problemática de los altos niveles de contaminación y polución que tiene como fuente generadora a la transportación y el escaso aprovechamiento energético de las materias orgánicas como fuente de energía y la producción de biocombustibles que

garanticen un óptimo funcionamiento en motores de combustión interna. Energía que podría ser utilizada para producir biodiesel y se utilizaría como aditivo para los vehículos que utilizan como combustible el diésel en el rendimiento mecánico de los MEC.

En el Ecuador los biocombustibles pueden convertirse fuente de energía renovable proveniente de recursos orgánicos. El mercado nacional de la bioenergía en el país genera gran posibilidad de crecimiento a partir de planes de negocios dada la demanda interna proyectada contribuyendo en la transformación de la matriz productiva generando fuentes de empleo, así como también contribuyendo a la conservación del ambiente como lo promueve el plan nacional del buen vivir y sus objetivos 3, 7, 10 y 11.

El transporte ha sido uno de los principales partícipes en el desarrollo económico y social En el Ecuador, el consumo de combustibles fósiles está ligado al transporte, principalmente al transporte terrestre. Esta problemática conlleva consecuencias no favorables como la contaminación del aire y a largo plazo el calentamiento global. Ante ello es de vital importancia de analizar los puntos específicos donde se pueden alcanzar mejoras y optimizaciones en lo que se refiere a eficiencia energética en el sector transporte. El desarrollo sostenible del país requiere de métodos de mejora en lo que se refiere a eficiencia energética en este sector de transportación vehicular terrestre.

Considerando estos aspectos relevantes, el transporte de carga en el sector terrestre es el rubro de mayor consumo en el país., lo que genera altos niveles de emisiones, gracias al uso de bioenergía y la incorporación de tecnológicas aplicadas a la industria automotriz se podrá disminuir el impacto al ambiente y calidad de vida ya que la materia prima que se puede utilizar no es apta para el consumo humano.

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación “Caracterización energética del biodiesel obtenido por transesterificación a partir materia orgánica de grasa de animales y su influencia como aditivo en el rendimiento mecánico del motor del vehículo Mazda BT-50.

Se recopiló información que sustentó técnica y científicamente el desarrollo de la investigación mediante datos, conceptos, definiciones, leyes y principios desde el punto de vista teóricos y prácticos considerando fuentes confiables como textos, publicaciones científicas, fichas técnicas, manuales de Biocombustibles y normativas nacionales como la (NTE.1489.2012), (NTE INEN 2 482:2009) y (NTE INEN 2204:2002).

Se caracterizó la materia prima, sebo de res vacuno para determinar la concentración de los reactivos a utilizarse, luego una vez obtenido el biodiesel se caracterizó usando las pruebas físico-químicas que cumple el diésel aquí en el Ecuador bajo la norma NTE INEN 1489-2012.

Se produjo biodiesel bajo el método de transesterificación a partir del sebo de res vacuno y los reactivos metanol e hidróxido de sodio a nivel de laboratorio y a nivel semi industrial en un reactor.

El biodiesel obtenido se utilizó como un aditivo del diésel convencional en concentraciones de 25% al 85% con variaciones de 15% en los laboratorios de química de la Fuerzas Armadas ESPE-L, Campus Latacunga y en los laboratorios de Química de la Universidad Central del Ecuador.

Se realizó pruebas de rendimiento mecánico torque, potencia, consumo de combustible del motor del vehículo MAZDA BT-50 en el Dinamómetro del laboratorio de Motores y Rectificación a través de la interfaz ; emisiones y opacidad en el laboratorio de Mecánica de Patio con el analizador de gases CARTEK en condiciones estáticas y dinámicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en base a un método de

ensayo de la NTE INEN 960 y 2207 mediante condiciones ideales de ejecución.

Los datos obtenidos se tabularon para tener un registro de las variaciones de los parámetros característicos con el uso del biodiesel como aditivo en las proporciones establecidas y con el método descrito en la NTE INEN 961y 028, que se ajusta a la valoración del rendimiento mecánico acorde a las curvas de potencia y consumo específico de combustible a potencia máxima, como función de la velocidad del motor, para potencia bruta y los requisitos que deben cumplir los combustibles previniendo riesgos a los usuarios en su uso y utilización para prevenir el medio ambiente desde la base matemática.

Se realizó una comparación desde el punto de vista científico los resultados de forma técnica aprobando determinando la influencia mecánica y emisiones en los MEC.

1.4. Justificación

El reto estratégico mundial a través del “trilema energético”, contribuyendo a una concepción integral de la energía en tres ejes: asegurar un suministro energético competitivo, proporcionar su acceso universal y garantizar la protección al medio ambiente.

Con respecto al sector transporte terrestre, el consumo se modeló con base en tres parámetros: el parque automotor registrado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), los recorridos promedios realizados tomados de una encuesta hecha en los principales medios digitales de compra/venta de vehículos; y el un promedio ponderado del rendimiento (km/gal). La ponderación se realizó con datos del año de fabricación del vehículo del parque automotor del INEC y catálogos de los modelos más representativos para esos años (INEC, 2013).

La energía puede ser relacionada con aspectos sociales, económicos y ambientales en un país, por lo cual existen indicadores que permiten medir estos aspectos. Uno de los principales indicadores es la intensidad energética total²³ que al 2014 fue de 1,45 BEP/miles de dólares. De igual manera, se puede obtener la intensidad energética de algunos sectores económicos como el industrial (2,27 BEP/miles de dólares), el transporte (9,27 BEP/miles de dólares) y residencial (0,28 BEP/miles de dólares) entre los principales.

El ámbito energético es importante considerar que el consumo o ineficiencia energética se ve reflejado directamente por la tecnología usada, la edad del parque, generación de fuentes alternativas de energía y por la congestión vehicular.

Desde el punto de vista ambiental se debe considerar la cantidad y calidad de los combustibles que se comercializan en el país, para determinar el total la contaminación ambiental, lo que permite identificar al transporte terrestre como el de mayor impacto ambiental en el Ecuador.

Implementar medidas de eficiencia energética que ayuden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las alternativas de eficiencia energética está la sustitución de los combustibles fósiles por otras alternativas energéticas, como biocombustibles provenientes de fuentes renovables o poco aprovechadas en la industria automotriz.

El uso de combustibles fósiles en Ecuador ha estado en constante aumento en las recientes décadas. En particular su uso en vehículos ha crecido tanto por el aumento del parque automotor como por el hecho que los combustibles fósiles presentan un subsidio en el país. Los principales combustibles en motores vehiculares en Ecuador provienen del petróleo fósil y son la gasolina, en vehículos livianos, y el diésel en vehículos pesados.

La necesidad de buscar formas de utilizar recursos disponibles como la grasa de animales que se desperdicia y que puede ser aprovechada para alimentar a los vehículos diésel se convierte en una opción. Además, la ventaja es que no se necesita alterar el motor de combustión interna, ni el sistema de alimentación de combustible.

La opción de utilizar los reactores de obtención de diésel a partir de grasa vegetal es un aporte a nuestra investigación ya que se requiere obtener nuestro propio biodiesel a partir de grasa de animales.

1.4.1. Argumento teórico

El tratamiento de la materia orgánica fue la conversión de grasa en estado sólido a líquida por medio de calor, luego consiste en la esterificación de la materia orgánica líquida para bajar su índice y al final realizar el proceso de transesterificación.

El proceso de esterificación es necesario para bajar el índice de acidez para evitar la solidificación del biodiesel obtenido.

En el proceso de transesterificación son necesarios los reactivos un álcali, un alcohol y la grasa líquida de res vacuno.

El catalizador empleado para la reacción es el hidróxido de potasio (KOH) o en su defecto el hidróxido de sodio (NaOH) que será el encargado de romper las cadenas de ácidos grasos.

El metanol o también llamado alcohol metílico es un reactivo que se utilizó en la reacción que además debe estar al 99% de pureza.

1.4.2. Argumento metodológico

Una vez realizado el proceso de transesterificación se procede con la caracterización del biodiesel consta de pruebas físico-químicas que se describen a continuación.

Las pruebas físico químicas que se realizaron para caracterizar el biodiesel son corrosión de lámina de cobre bajo el método ASTM D-130 que debe estar dentro de la denominación 1a que se refiere a la mínima oxidación para metales, Agua por destilación bajo el método ASTM D-95, Contenido de azufre bajo el método ASTM D-4294 que debe ser inferior al 0,05 % e contenido , Índice de cetano calculado bajo el método ASTM D-287 el cual no debe ser inferior al 45, Punto de nube bajo la norma ASTM D-2500, Viscosidad cinemática bajo la norma ASTM D445 que debe estar ente los valores de 2,5 a 5 cSt, Densidad bajo la norma ASTM D-287, Punto de inflamación bajo a norma ASTM D93, Poder Calorífico bajo la norma ASTM D-240.

Se realizó las pruebas de torque, potencia y consumo utilizando los parámetros del manual de la camioneta Mazda BT-50 para su comparación, además de la prueba de opacidad bajo la norma NTE INEN 2 207:2002.

Las normas que califican al biodiesel como un combustible apto para su uso es la norma NTE-INE 1489, ASTM 6571 y EN4148 y lo que se pretende en nuestra investigación es determinar el cumplimiento de las normas locales e internacionales para su libre venta.

1.4.3. Argumento práctico

Las muestras de mezcla con el diésel Premium se trató en los siguientes porcentajes y se denominan de la siguiente manera B25, B40, B55, B70, B85 se caracterizaron y se realizaron las pruebas de rendimiento mecánico.

La muestra B40 resultó ser la mejor muestra ya que presenta un valor mínimo de opacidad, consumo de combustible y no es considerable la pérdida de potencia y los valores de caracterización están dentro de los estándares de un diésel Premium establecidos en la norma NTE INEN 1489-2012 además su uso en el motor no generó ningún daño ni fueron necesarias modificaciones para el uso como aditivo por lo que no se precisa un mayor gasto para realizar una modificación a la camioneta.

La necesidad de buscar formas de utilizar recursos disponibles como el sebo de res vacuno materia orgánica proveniente de un animal que es considerada desecho y que puede ser aprovechada para alimentar a los vehículos diésel.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Caracterizar energéticamente el biodiesel obtenido de grasa animal y determinar la influencia como aditivo en el rendimiento mecánico del motor del vehículo MAZDA BT-50”.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información que sustente técnica y científicamente el desarrollo de la investigación.
- Producir y caracterizar el biodiesel utilizando como materia orgánica grasa de animal como aditivo del diésel en porcentajes del 25%, 40%, 55%, 70% y 85%.
- Realizar pruebas de rendimiento mecánico torque, potencia, consumo de combustible del motor del vehículo MAZDA BT-50 en el Dinamómetro del laboratorio de Motores y Rectificación.
- Realizar pruebas de opacidad en el laboratorio de Mecánica de Patio con el analizador de gases CARTEK en condiciones estáticas y

dinámicas.

- Aplicar método de ensayo de la NTE INEN 960 y 2207 mediante condiciones ideales de ejecución.
- Tabular datos mediante registros de las variaciones de los parámetros característicos con el uso del biodiesel como aditivo en las proporciones establecidas y con el método descrito en la NTE INEN 961 y 028.
- Valorar el rendimiento mecánico acorde a las curvas de potencia y consumo específico de combustible a potencia máxima, como función de la velocidad del motor.
- Verificar el cumplimiento de las mezclas 25%, 40%, 55%, 70% y 85% biodiesel y diésel del combustible previniendo riesgos a los usuarios en su uso y utilización para prevenir el medio ambiente desde la base matemática.
- Comparar desde el punto de vista científico los resultados de forma técnica aprobando determinando la influencia mecánica y emisiones en los MEC.
- Analizar el rendimiento energético del biocombustible utilizado como aditivo en diferentes concentraciones, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico), emisiones y opacidad.

1.6. Metas

Se desarrolló una investigación relacionada con la influencia del biodiesel a partir de grasa de animal en el vehículo Mazda BT-50 considerando los siguientes aspectos:

- Establecer un proceso adecuado utilizando catalizadores no contaminantes en la obtención del biodiesel.
- Reducir el consumo de combustible y los niveles de contaminación 5 % – 10%.
- Validar el rendimiento de las proporciones 25%, 40%, 55%, 70% y 85% biodiesel y diésel en los motores de combustión interna MEC.

1.7. Hipótesis

¿El uso de biocombustible a partir de grasa animal en proporciones del 25%, 40%, 55%, 70% y 85% biodiesel y diésel permitirá la reducción del consumo, emisiones y opacidad en motores de combustión interna MEC?

1.8. Variables de la investigación.

Variable Dependiente

Rendimiento mecánico del motor diésel.

Tabla 1
Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|--|--|------------------------|------------|-------------------|--|
| Son las características medidas y calculadas de aspectos térmicos y mecánicos que provee el aceite de grasa animal para generar energía y desarrollo de trabajo en MEC | | Rendimiento térmico | % | Cálculos medición | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y laboratorios de Química de la Universidad Central |
| | Parámetros característicos del motor de combustión | Rendimiento mecánico | % | Cálculos | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y laboratorios de Química de la Universidad Central |
| | | Presión media efectiva | Kgf/cm^2 | Medición | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y laboratorios De Química de la Universidad Central |

CONTINÚA



| | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------|--|
| Consumo específico de combustible | Kg /Kwh | Medición | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y laboratorios de Química de la Universidad Central |
| Rendimiento indicado | % | Cálculo | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL |
| Potencia | KW | Medición | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL |
| Torque | Nm | Medición | Banco de pruebas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL |

Variable independiente

Mezcla diésel y biodiesel a partir de grasa animal.

Tabla 2
Variable Independiente: Mezcla combustible diésel a partir de grasa de res.

| Concepto | Categorías | indicadores | Ítem | Técnica | Instrumentos |
|---|-----------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|---|
| Mezcla combustible que se obtiene a través de la transesterificación | Polución | Opacidad | m^{-1} | Medición | Opacímetro |
| | | Opacidad | % | Medición | Opacímetro |
| | Volumen de aceite | Volumen | m^3 | Medición | Probetas graduadas Balanzas de precisión |
| | Eficiencia energética | Consumo específico de combustible | $Kg/Kh - h$ | Medición | Ecuaciones dinamómetro |
| Propiedades | Densidad | kg/m^3 | Medición | Hidrómetro ASTM | |

CONTINÚA



| | | | | |
|--------------------|---------------------------|---------------|----------|---|
| físicas y químicas | Punto de inflamación | °C | Medición | Aparato de copa cerrada de Pensky - Martens |
| | Viscosidad cinemática. | mm^2/S | Medición | Viscosímetro Canon ASTM |
| | Contenido de Azufre | mg/kg | Medición | Espectrómetro de difracción de rayos X |
| | Carbón Residual | % | Medición | Equipo de destilación ASTM |
| | Corrosión lámina de Cobre | Clasificación | Medición | Equipo para ensayo de corrosión en láminas de Cobre |
| | Numero de Cetanos | 0 | 0 | Hidrómetro ASTM, termómetro ASTM |
| | Temperatura de dilatación | °C | Medición | Termómetro ASTM |

1.9. Operacionalización de variables.

Tabla 3
Caracterización de variables

| Variable | Dimensiones |
|--|---------------------------|
| Calidad de la mezcla diésel – biodiésel en concentraciones de B25, B40, B55, B70 y B85. | Densidad |
| | Punto de inflamación |
| | Viscosidad |
| | PH |
| | Poder calorífico |
| | Contenido de azufre |
| | Corrosión lámina de cobre |
| | Número de cetanos |
| | Agua por destilación |
| | Punto de nube |

CONTINÚA



**Eficiencia de los parámetros
característicos del motor de
combustión interna**

| |
|-----------------------------------|
| Rendimiento térmico |
| Rendimiento mecánico |
| Presión media efectiva |
| Rendimiento indicado |
| Consumo específico de combustible |
| Potencia |
| Torque |
| Opacidad |

**Tabla 4
Metodología**

| Metodología | Descripción | Equipo | Laboratorio |
|--------------------|--|--|--|
| Inductivo | Se utilizó diferentes proporciones de la mezcla diésel – biodiesel de tal manera de validar el desempeño del vehículo de prueba en cuanto a pruebas de rendimiento, consumo de combustible y emisiones. | <ul style="list-style-type: none"> Dinamómetro BLAHA sistemas electrónicos especiales - Banco de potencia versión 1.1.6 Analizador de gases Cartek Caudalimetro para medición | Laboratorio motores y rectificación – laboratorio de mecánica de patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga |
| De medición | Se caracterizó el poder calorífico, densidad, cetanaje, otras pruebas físico - químicas por experimentación de tal manera de validar cuál de las proporciones de las mezclas cumple lo establecido en le NTE. Número de cetano (ASTM D-613), punto de Inflamabilidad (ASTM D-93) y curva de destilación (ASTM D-86). mediante el método ASTM D | <ul style="list-style-type: none"> Bomba calorimétrica Motor de la camioneta Mazda BT-50 | Laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga. Laboratorio de Química de la Universidad Central |

CONTINÚA



240-02(2007).

Número e índice de cetano se determinó a partir de la relación de compresión que hace que la detonación se produzca en el punto muerto superior cuando el avance de inyección es de 13°.

La Norma ASTM D 613, Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil, permite la determinación de esta característica.

| | | | |
|--------------------|---|---|--|
| Deductivo | <p>Producción de biodiesel y caracterización de la mezcla combustible diésel obtenido de aceite de grasa animal determinó la proporción idónea para optimizar el rendimiento mecánico del motor de la camioneta Mazda BT 50 según las normas ISO 1585.</p> | <p>Interface MOTOROLL POWER TEST OFFICE Reactor lineal en serie</p> | <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p> |
| De síntesis | <p>Para esquematizar todas las generalidades del proceso de obtención, desarrollo y uso como aditivo en el diésel premium para de esta manera justificar la aplicabilidad en el medio y a su vez condensar las experiencias recopiladas a través del proceso de elaboración tanto del combustible como de su aplicación en vehículos.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft Office • Word • Excel • Project | <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p> |

CONTINÚA



| | | | |
|-----------------------|---|---|--|
| Comparativo | <p>En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en datos obtenidos de la caracterización energética y mecánica de las mezclas y MEC.</p> <p>Contenido de agua en pequeñas concentraciones deteriora la calidad del mismo en diferentes aspectos como el aspecto visual (opacidad) o la tendencia a la corrosión. El contenido de pequeñas cantidades de agua se determina mediante el procedimiento de Karl-Fisher.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Excel | <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p> |
| Análisis | <p>En base a los resultados obtenidos de las pruebas de rendimiento y caracterización se analizó la influencia de las mezclas diésel y biodiesel considerando el impacto ambiental y consumo de combustible mediante protocolos de pruebas establecido por cada ensayo.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Computador | <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p> |
| Matematización | <p>La densidad en °API se definió a partir de la densidad relativa o "specific gravity 60/60°F" mediante la siguiente expresión: La especificación exige un valor mínimo de densidad para el gasóleo automotor de 0,820 kg/m³ normalizados por el método de hidrómetro.</p> <p>La determinación del Contenido de Azufre se realiza mediante el ensayo normalizado</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Computador | <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p> |



ASTM-D 4294 método instrumental, azufre en productos de petróleo por fluorescencia espectroscopia por energía dispersiva de rayos X, que tiene mejor repetibilidad que el ASTM D 1552, método a alta temperatura el cual fue ampliamente usado para la determinación del azufre total.

La Norma ASTM D 364, Calculated Cetane Index of Distillate Fuels, permite calcular esta característica a partir de dos variables: La Densidad y la Temperatura para el 50% destilado en la curva ASTM D 86. La correlación utilizada es:

$$\begin{aligned} & \text{Índice de} \\ \text{cetano} &= 454.74 - 1641.416 D + \\ & 774.74 D^2 - 0.554 B + 97.803 \\ & (\log B)^2 \end{aligned}$$

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe la parte teórica de la investigación, eso incluye la parte matemática del proceso para la obtención del biodiesel a partir de sebo de res vacuno y la descripción teórica de cada una de las pruebas de caracterización del biodiesel en diferentes concentraciones de mezcla además de las pruebas de torque, potencia y consumo.

2.1. Parámetros característicos del motor de combustión interna

2.1.1. Potencia

Es la rapidez con la que se realiza un trabajo y puede definirse como indica la ecuación:

$$P = \frac{T * n * \pi}{30}$$

Ecuación (1)

Donde:

P: Potencia (*kW*)

T: Torque (*N.m*)

n: revoluciones por minuto del motor (*RPM*)

a. Potencia Indicada

Para (Aguilar, 2013) Es “la potencia desarrollada dentro del cilindro del motor por la expansión de los gases de la combustión y se le asigna como *N_i*”.

La ecuación se define como:

$$N_i = \frac{2 * P_{mi} * Vh * n * i}{10^3 * \tau}$$

Ecuación (2)

Dónde:

N_i : Potencia indicada (KW)

P_{mi} : Presión media indicada (Pa)

n : Frecuencia de rotación del eje de cigüeñal (RPS)

τ : Número de tiempos del motor

i : Número de cilindros del motor

V_h : Volumen de trabajo del cilindro (m^3)

b. Potencia efectiva (al freno)

(Ocaña, 2000) Señala que “es considerada la máxima potencia obtenida, esta se logra cuando el motor es puesto a prueba en un banco”.

Está definida por la siguiente ecuación:

$$N_e = \frac{2P_{me} \cdot V_h \cdot n \cdot i}{10^3 \cdot \tau}$$

Ecuación (3)

Dónde:

P_{me} : presión media efectiva (Pa)

V_h : volumen del cilindro (m^3)

n : revoluciones del cigüeñal (RPS)

i : numero de cilindros

τ : numero de tiempos del motor

2.1.2. Torque

Como afirma (Pulkrabek, 2004) “el torque es un buen indicador de la capacidad que tiene un motor para hacer el trabajo. Se define como la fuerza que actúa en una palanca para generar un movimiento rotacional y tiene unidades de N-m o lbf-ft”.

El par depende de dos factores y se calcula con la ecuación 4:

- Fuerza de la explosión sobre el pistón.
- Longitud del codo del cigüeñal, sobre quién actúa la fuerza.

$$T = F * d$$

Ecuación (4)

Dónde:

T : Torque ($N.m$)

F : Fuerza (N)

d : Distancia al centro de giro de cigüeñal (m)

2.1.3. Consumo de combustible

(Lecuona & Rodríguez, 2011) Considera que “es un indicador de rendimiento representado por una curva que revela la relación entre la cantidad de combustible necesario y la potencia producida en un motor de combustión interna”.

a. Consumo de combustible volumétrico

Es la relación del gasto de combustible (unidades de volumen) en un determinado tiempo, puede presentarse como: $\left(\frac{l}{h}\right)$ o $\left(\frac{cm^3}{s}\right)$.

$$mc = \frac{Pf}{Q_1 n_t}$$

Ecuación (5)

Donde:

mc: consumo másico de combustible

Pf : potencia al freno (potencia final 100% diésel)

Q₁: poder calorífico del combustible (diésel = 45.96)

n_t: rendimiento térmico

b. Consumo específico de combustible

Como ratifica (Gonzales, 2015) “el consumo específico es el gasto másico de combustible que tiene el motor en determinadas condiciones de funcionamiento por cada kW de potencia entregada y por cada hora de funcionamiento”.

El consumo específico de combustible se lo calcula con la ecuación 5:

$$CEC = \frac{mc}{Pf}$$

Ecuación (6)

Donde:

CEC : consumo específico de combustible

mc : consumo másico de combustible

Pf : potencia al freno (potencia 100% diésel)

$$b_e = \frac{B \cdot 3600}{N_e}$$

Ecuación (7)

Donde:

b_e : gasto específico efectivo de combustible $\left(\frac{Kg}{KW \cdot h}\right)$

B : Consumo de combustible $\left(\frac{Kg}{s}\right)$

N_e : Potencia efectiva del motor (KW)

3600: Factor de conversión de segundos a hora

2.1.4. Presión media efectiva

(Pulkrabek, 2013) Menciona “que puede verse que la presión en el cilindro de un motor cambia continuamente durante el ciclo”. Una presión media o media efectiva (mep) se define por:

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$

Ecuación (8)

Donde:

P_{mc} : presión media efectiva (Pa)

T : torque del vehículo (N.m)

V_h : cilindrada unitaria (m^3)

i : número de cilindros

2.1.5. Rendimiento térmico

(Croxwell, 2014) Indica “que un motor de combustión interna, no es capaz de alcanzar 100% de eficiencia térmica. Es decir, no puede aprovechar todo el calor generado por la combustión para transformarlo en fuerza motriz”.

Para un solo un cilindro de la eficiencia térmica puede ser escrito

$$n_t = P_{mc} \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{Pa \varepsilon^k k (\rho - 1)}$$

Ecuación (9)

Donde:

n_t : rendimiento térmico

P_{mc} : presión media efectiva (Pa)

ε : relación de compresión

k : coeficiente adiabático asumir 1.41 para motores diésel

Pa : presión atmosférica en Latacunga ($102811 \frac{N}{m^2}$)

ρ : grado de expansión asumir 4.1 para motores diésel

2.1.6. Calor extraído

Describiendo a (Croxwell, 2014) “es una energía que se manifiesta por aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías”.

$$Q_2 = (1 - n_t)Q_1$$

Ecuación (10)

Donde:

Q_2 : poder extraído (MJ)

n_t : rendimiento térmico

Q_1 : poder calorífico del combustible (diesel = $45,96 \frac{MJ}{kg}$)

2.1.7. Datos característicos del Motor

Tabla 5
Datos característicos del motor

| Tipo | 4 cilindros en línea, DOHC-16-V |
|--------------------|---------------------------------|
| Cilindrada (cc) | 2.499 |
| Potencia (HP)/ RPM | 141 / 3500 |

CONTINÚA



| | |
|-------------------------------|---|
| SAE | |
| Torque (Nm)/ RPM | 330 / 1.800 |
| SAE | |
| Alimentación de Combustible | Inyección electrónica de diésel por riel común CRDI |
| Consumo de combustible urbano | 11 lt / 100 Km |
| Relación de compresión | 19,8 |

Fuente: (Mazda, 2006)

2.2. Parámetros característicos del diésel, biodiesel y método de obtención.

2.2.1. Diésel

Para definir al biodiesel (Rodríguez J. , 2007), expresa ““El diésel es un combustible derivado del petróleo y está formado principalmente por hidrocarburos parafínicos, aromáticos y naftalénicos que en general tienen entre 10 a 22 carbonos en su cadena.”

2.2.2. Biodiesel

(Encinar, Sánchez, & Martínez, 2011) Describe que “es un combustible sustituto del diésel obtenido de materias primas como residuos grasos de faenamiento de animales y que presenta ventajas ya que se obtiene partiendo de fuente desechables”.

En la tabla 6 se muestra un resumen de las características típicas del biodiesel y del diésel.

Tabla 6
Datos físico-químicos del biodiesel y diésel

| Datos Referenciales | | | |
|--|-------------------|---|-------------------------|
| Datos físico-químicos | Unidades | Biodiesel | Diésel |
| Composición combustible | | Ester metílico Ácidos grasos C12- C22 | Hidrocarburo C10-C21 |
| Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.) | Kcal/kg | 9500 | 10800 |
| Viscosidad cinemática, cSt (a 40°C) | cSt | 3.5-5-0 | 3.0-4.5 |
| Peso específico | g/cm ³ | 0.875-0.900 | 0.850 |
| Azufre | %P | 0 | 0.2 |
| Punto de ebullición | | 190-340 | 180-335 |
| Punto de inflamación | °C | 120-170 | 60-80 |
| Punto de escurrimiento | | -15/+16 | -35/-15 |
| Número de Cetano | -- | 48-60 | 46 |
| Relación estequiometria | p/p | 13.8 | 15 |

Fuente: (Larosa, 2003)

2.3. Producción de biodiesel

(Lin, Cunshan, Vittayapadung, & Xiangqian, 2011) ratifica que “La obtención de biodiesel se realiza mediante transesterificación es la vía más empleada para producirlo, ya que es la más económica, ofreciendo ventajas como: elevada conversión (98%) con pocas reacciones secundarias y reducido tiempo de reacción y conversión directa a éster sin pasos intermedios”.

2.3.1. Esterificación

(Sáenz, Muriel, Castro, & García, 2014) mencionan que “este proceso se aplica a las grasas primarias que contienen un alto nivel de ácidos grasos libres. Estos ácidos son determinantes en la producción de biodiesel porque si su nivel es alto se hará sólido ante temperaturas bajas. Por ello el proceso sirve para retirar a los ácidos grasos libres para dejar al aceite base con una concentración de éstos que sea inferior al 3%”.

2.3.2. Transesterificación.

Tomando en cuenta a (Texo, Betancur, & Duque, 2009) “la transesterificación de una grasa animal es un proceso en el cual una molécula de triglicéridos reacciona con un alcohol bajo la acción de un catalizador para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina”.

(Texo, Betancur, & Duque, 2009) resalta que “el biodiesel luego se dirige a la fase de lavado, secado y filtrado mientras que la glicerina es almacenada. Las reacciones consisten de un triglicérido con un alcohol para formar alquilesteres y glicerol. En la figura 5 se muestra de forma simplificada la reacción”.

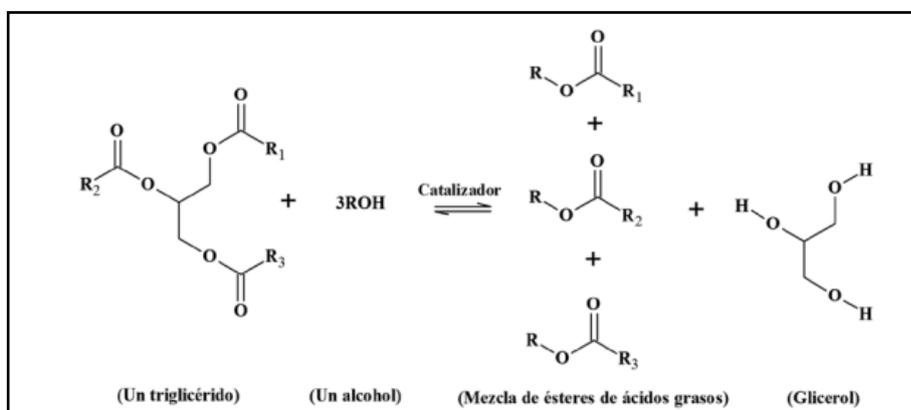


Figura 5. Transesterificación de un triglicérido con alcohol

Fuente: (Leung, Wu, & Leung, 2010)

2.3.3. Lavado

El lavado se hace mediante agua y consiste en retirar del biodiesel cualquier sustancia que sea soluble al agua, aprovechando que los aceites como el biodiesel no son solubles en agua, además de retirar la glicerina.

2.3.4. Deshidratado

(Sagarpa, 2011) Sostiene que “en este paso se quita el agua que pudo quedarse del proceso de lavado y se realiza calentando el biodiesel para que se evapore el agua”.

2.4. Materia prima para la producción de biodiesel.

Al obtener aceite a partir de sebo de res, también debe pasar por un proceso de limpieza y estabilización de su contenido de ácidos grasos libres. La figura 9 presenta las materias orgánicas para producir biodiesel.

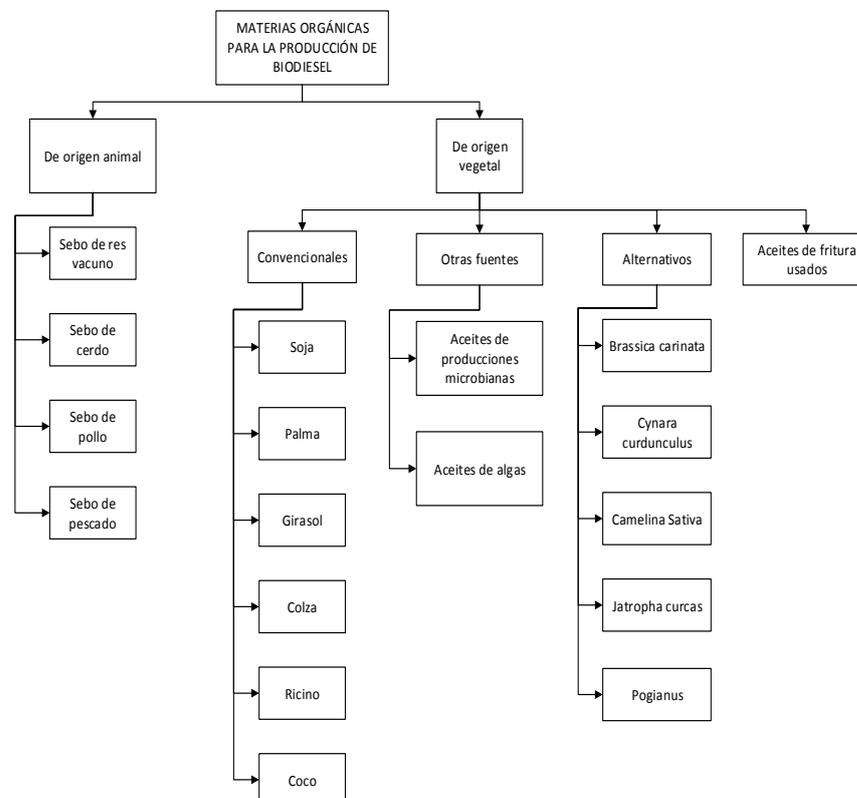


Figura 6. Materias primas para la producción de biodiesel
Fuente: (BIODISOL, 2009)

Se emplea sebo de res vacuno por el bajo costo de obtención, ya que en los camales se considera desecho, no así el sebo de cerdo o el de pollo, que se vende como condimento para preparar alimentos o solo existe de venta con todo el cuerpo del animal y se aprovecha hasta el final.

2.5. Caracterización de la materia prima (sebo de res vacuno).

Por otro lado (Darnoko, 2000) “realiza una caracterización inicial de la materia prima para establecer las cantidades de concentraciones de metanol, hidróxido de sodio (NaOH) y sebo de res vacuno para la transesterificación a continuación se menciona las pruebas a realizarse en un laboratorio”.

2.5.1. Densidad

[RAE, 2000] Define que la densidad es “una magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico”.

2.5.2. Índice de acidez (IA)

[UDEA, 2010] Define como “la cantidad de miligramos de Hidróxido de Potasio (KOH) o Hidróxido de Sodio (NaOH) que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa”.

2.5.3. Acidez (A)

(García, Fernández, & Fuentes, 2014) Describe que “es el porcentaje de ácido oleico ($C_{18}H_{34}O_2$) contenido en un gramo de grasa. Es un factor (A) que debe ser inferior al 3% para continuar con el proceso de transesterificación”.

2.5.4. Índice de saponificación (Is)

(Chaterjea & Shine, 2012) Considera que “el índice de saponificación es expresado como el número de miligramos de de Hidróxido de Potasio (KOH) o Hidróxido de Sodio (NaOH) requeridos para saponificar los ácidos grasos libres y combinados, presentes en un gramo de grasa”.

2.5.5. Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación.

(Salazar, 2014) Señala que “la etapa de transesterificación se inicia con las ecuaciones del peso molecular del sebo de res vacuno usado mediante uso del índice de saponificación”.

$$M_{sebo} = \frac{R.E.S.}{I_s}$$

Ecuación (11)

R.E.S. : Relación estequiométrica entre los reactivos para la reacción de saponificación

M_{aceite} : Peso molecular aproximado del aceite ($\frac{g}{mol}$).

I.S. : Índice de saponificación de la muestra ($\frac{mg\ KOH}{g\ aceite}$).

2.5.6. Masa necesaria de metanol en función de la relación molar

$$m_{metanol} = m_{aceite} \times MR \times \frac{M_{metanol}}{M_{sebo\ de\ res\ vacuno}}$$

Ecuación (12)

$$\delta_{aceite} = \frac{m_{sebo\ de\ res\ vacuno}}{V_{sebo\ de\ res\ vacuno}}$$

Ecuación (13)

Donde:

m_{aceite} : Masa de sebo de res vacuno para elaborar biodiesel (*gr*)

$m_{metanol}$: Masa necesaria de metanol en función de la relación molar (*gr*)

MR : Relación molar expresada como número de moles de metanol por mol de aceite (*mol*)

$M_{metanol}$: Peso molecular del metanol ($\frac{g}{mol}$)

M_{sebo} : Peso molecular del sebo de res vacuno calculado ($\frac{g}{mol}$)

2.5.7. Masa de catalizador hidróxido de sodio

$$m_{NaOH} = M_{Sebo\ de\ res\ vacuno} \times \frac{\% \frac{p}{p} NaOH}{100 [g\ sebo]}$$

Ecuación (14)

Donde:

m_{NaOH} = Masa de catalizador sólido óxido de calcio (*gr*)

$\% \frac{p}{p} NaOH$ = Porcentaje en peso del catalizador hidróxido de sodio referido al sebo de res vacuno usado.

2.6. Caracterización físico-química del biodiesel

2.6.1. Densidad.

(Mott, 2006) Define como “la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia estabilizada a 15°C”.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m_b}{v}$$

Ecuación (15)

Donde:

v =volumen de la muestra (ml)

$$m_b = (m_{p2} - m_{p1})$$

Ecuación (16)

Donde:

m_b =masa de la muestra (gr)

m_{p2} =masa del picnómetro lleno (gr)

m_{p1} =masa del picnómetro vacío (gr)

2.6.2. Medición del PH

El PH este valor sirve para determinar la acidez del biodiesel obtenido. Como resultado se obtiene un PH ácido, aunque no está considerado en las normas ASTM D6751.

Tabla 7
Clasificaciones del nivel de PH

| VALOR PH | CLASIFICACIÓN |
|----------|---------------|
| 1-6 | Ácido |
| 7 | Neutro |
| 8-14 | Base |

Fuente: (KHAN ACADEMY, 2017)

2.6.3. Poder Calorífico

(Alonso, 2001) Deduce que es “la cantidad de calor liberada cuando el combustible se ha quemado totalmente”.

Se calcula mediante la fórmula:

$$PC_{sup} = \frac{C_{inf} * \Delta T}{m_{comb}}$$

Ecuación (17)

Donde:

PC_{sup} : Poder calorífico superior medido $\left(\frac{J}{gr}\right)$

C_{inf} : Capacidad calorífica para quemar una pastilla del ácido benzoico $\left(\frac{J}{^{\circ}C}\right)$

$\Delta T = T_f - T_o$: Variación de la temperatura ($^{\circ}C$)

m_{comb} : masa del combustible (gr)

2.6.4. Índice de cetano

(San Miguel & Gutiérrez, 2015) Argumenta que “se emplea para caracterizar la facilidad de inflamación del biodiesel. se trata de una medida del retraso de la ignición tiempo que transcurre entre la inyección del carburante en la cámara de combustión y el comienzo de la misma”.

2.6.5. Corrosión de lámina de cobre

(Calle, 2004) Menciona que “el petróleo crudo contiene compuestos sulfurados, muchos de los cuales son removidos durante la refinación. A veces de los compuestos sulfurosos removidos del petróleo persistente pueden tener acción corrosiva en varios metales, debe estar en la nomenclatura de 1a que se refiere a la menor oxidación de metales”.

2.6.6. Viscosidad

(Poter, Wiggert, & Ramadan, 2014) Considerada como “la adhesividad interna de un fluido, resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras”.

- **Cálculo de viscosidad bulbo C**

Los cálculos que se presentan a continuación determinan la viscosidad en el bulbo C con el factor 0,10037 multiplicado por la temperatura en el mismo.

A continuación, se presenta el viscosímetro con el cual se determinó la viscosidad.



Figura 7. Viscosímetro Comecta

$$V_{bc} = 0,10037 * t_1$$

Ecuación (18)

Donde:

V_{bc} : viscosidad cinemática en el bulbo C (*cSt*)

C_c : constante del bulbo C (*adimensional*)

t_1 : tiempo en segundos (*s*)

Para el bulbo J se multiplica el factor de corrección 0,06282 que es una constante para el bulbo J.

$$V_{bj} = 0,062820 * t_2$$

Ecuación (19)

Donde:

V_{bj} : viscosidad cinemática en el bulbo J (cSt)

C_j : contante del viscosímetro del bulbo J (*adimensional*)

t_2 : tiempo en segundos (s)

Para determinar la viscosidad cinemática se suma las viscosidades obtenidas en el bulbo B y en el bulbo J

$$V_{cin} = \frac{V_{bc} + V_{bj}}{2}$$

Ecuación (20)

Donde:

V_{cin} : Viscosidad cinemática (cSt)

V_{bj} : Viscosidad en el bulbo J (cSt)

V_{bc} : Viscosidad en el bulbo J (cSt)

2.6.7. Agua por destilación

(Calle, 2004) Afirma que es “la humedad contenida en el biodiesel y debe ser inferior al 0,05 % en todo su volumen”.

2.6.8. Contenido de Azufre

(Alonso, 2001) es “la cantidad de azufre presente en un volumen determinado de combustible, el contenido debe ser inferior al 0,05 %”.

2.6.9. Punto de nube

(Calle, 2004) Considera “estimar la posibilidad de que el lubricante esté en condiciones de ser utilizado como tal, en el inicio de operaciones de una

máquina, es una indicación de la temperatura a la cual puede ser transferido el lubricante a través de una bomba”.

2.7. Equipos de medición del rendimiento mecánico

2.7.1. Dinamómetro

(Hernández, 2007) Ratifica que “el dinamómetro de carga tiene un freno unido a un rodillo o un sistema de freno de disco adaptado mecánicamente a los rodillos como se ve en la figura 8, para así lograr mantener al vehículo a una velocidad específica, con este estilo de equipo el vehículo puede manejarse y puede afinarse a velocidades constantes bajo varias condiciones de carga”.



Figura 8. Dinamómetro de chasis MOTORROLL

Fuente: [Motorroll, 2017]

Básicamente un dinamómetro se compone de diferentes elementos según su aplicación, pero en general son los siguientes:

- Rodillos
- Chasis del dinamómetro
- Freno (Hidráulico)

- Ventiladores
- Extractor de gases
Hardware (computador que soporte los requisitos de instalación)
- Software (Dinamómetro de Rodillos MOTORROLL)

2.7.1.1. Ficha técnica del Dinamómetro

A continuación, se presenta la ficha técnica del dinamómetro de rodillos MOTORROLL usado para medir el torque y la potencia.

Tabla 8
Características dinamómetro de rodillos MOTORROLL

| Características dinamómetro MOTORROLL | |
|--|--------------------------------------|
| Tipo de dinamómetro | Rodillos |
| Tipo de freno | Hidráulico |
| Diámetro de rodillos | 165 mm |
| Brazo de Palanca | 256 mm |
| Peso Bruto | 950 kg |
| Carga máxima sobre rodillos | 5000 kg |
| Potencia máxima medible | 260 Hp |
| Velocidad Máxima | 160 km/h (600 RPM) |
| Alcance de revoluciones | 20000 RPM |
| Electrónica utilizada | Interfaz Motorroll con conexión a pc |
| Sensor de velocidad | Óptico |
| Alimentación eléctrica | 220V/ 30/ 85 Hz |
| Alcance de revoluciones | 20000 RPM |

Fuente: (Motorroll, 2017)

2.7.2. Opacímetro Automotriz

(Auto Avance, 2013) Indica que “mide el nivel de opacidad del humo expulsado por los motores diésel. El aparato permite realizar mediciones

estabilizadas y en aceleración. Durante un ensayo de aceleración, el dispositivo registra las revoluciones del motor, los valores punta del nivel de humo y el tiempo de aceleración”.

La figura 12 muestra el Opacímetro que se utilizó en la investigación.



Figura 9. Analizador de gases y Opacímetro CARTEK

2.7.3. Interfaz OBDwizz SX

(ScanTool, 2016) Describe que “es una herramienta de análisis diseñada de tal forma que sea fácil de manipular, instalar y configurar. Diagnostica de forma rápida y precisa los problemas del motor y accede a parámetros de rendimiento para todos los vehículos compatibles con OBD-II (excepto los vehículos híbridos o eléctricos). Y todos estos datos se pueden visualizar en una PC”.

OBDwiz (software del interfaz), incluido con OBDwiz SX, permite:

- Borrar la información de diagnóstico almacenada, así permitiendo apagar la luz de advertencia del motor (check engine).
- Leer y borrar Dtc's (tanto genéricos y específicos del fabricante)
- Acceder a la información de los datos congelados que se encuentran en el sistema.
- Observar y registrar más de 90 parámetros en tiempo real.

- Medir y mostrar el consumo de combustible instantáneo como acumulado en tiempo real.



Figura 10. Interfaz OBDwiz SX

La tabla 9 muestra la ficha técnica de la interfaz para leer el consumo de combustible.

Tabla 9
Especificaciones de la interfaz

| INTERFACE | Puerto USB |
|---|--|
| PESO DEL DISPOSITIVO | 3.4 oz (96.4 g) |
| DIMENSIONES | 88.9 x 45.2 mm |
| SOPORTA TODOS LOS PROTOCOLOS OBD-II | SI |
| SOPORTES DE ALAMBRE UNICO (GMLAN) | NO |
| SOPORTES FORD DE MEDIA VELOCIDAD (MS-CAN) | NO |
| ESPECIFICACIONES USB | USB 2.0, Compatible con Windows Vista o superior |
| CORRIENTE DE FUNCIONAMIENTO | 8 mA |
| VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO | 8-18V DC |
| TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO | -20° a 55° C |
| HUMEDAD DE FUNCIONAMIENTO | 10 a 85% (sin condensación) |
| VALOR MÁXIMO DE ID PARÁMETRO (PID) | ~ 200 PIDs / segundo |

Fuente: (ScanTool, 2016)

CAPÍTULO III

3. PROCESAMIENTO DE MATERIA PRIMA Y CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL

En este capítulo se detalla el procesamiento de la materia prima, la obtención a través del proceso experimental de esterificación y transesterificación a partir de sebo de res vacuno en un biorreactor semiautomático en serie con el uso de un catalizador sólido además de la caracterización físico-química del biodiesel.

3.1. Tratamiento de la materia prima

La figura 11 detalla el proceso de refinamiento que se realizó a la materia prima: recolección, cambio de estado y filtrado de tal manera que se obtenga una sustancia líquida libre de partículas sólidas, para su posterior caracterización.

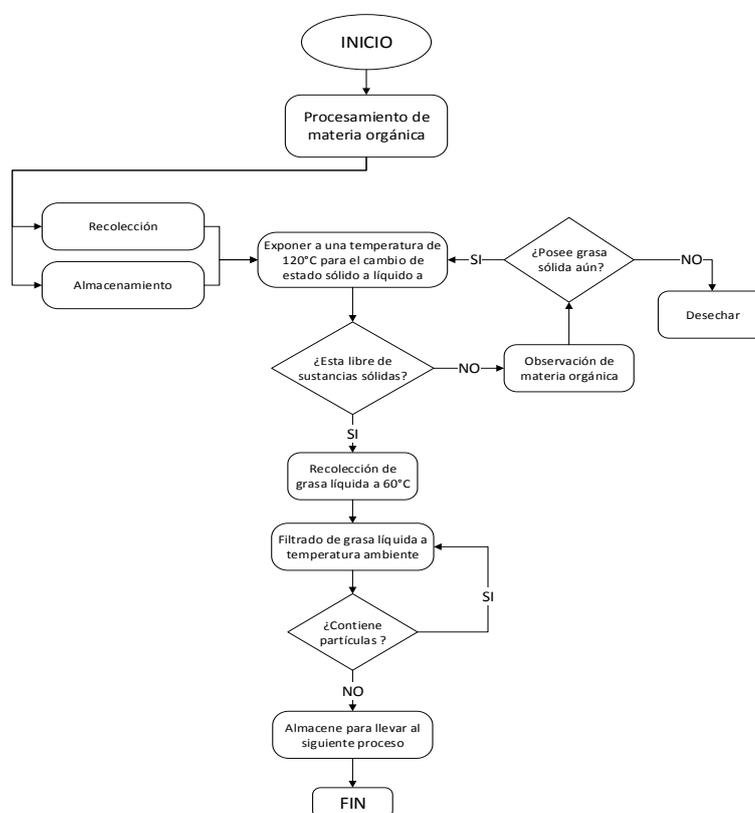


Figura 11. Proceso de tratamiento de la materia orgánica

3.2. Caracterización

Mediante pruebas como densidad relativa, índice de acidez, acidez e índice de saponificación se determina la cantidad de reactivos, hidróxido de sodio (NaOH) y metanol, necesarios para el proceso de transesterificación.

3.2.1. Densidad.

La densidad de la materia prima debe ser inferior a 0,980 gr/ml para ser considerada idónea, en caso de que supere el valor máximo una alternativa viable para reducirla es mezclar con una porción de grasa de menor densidad.

3.2.2. Índice de acidez y acidez (Wab y Wffa)

El índice de acidez y acidez adecuado de la materia prima debe ser menor al 3% para tener una reacción completa de los reactivos con la materia prima, evitando una proporción de ácidos grasos libres menor después del proceso de transesterificación.

3.2.3. Índice de saponificación (Is)

Una grasa con un índice de saponificación inferior a 160, es adecuada para ser procesada, de ser superior se puede añadir óxido de calcio reactivo que permite disminuir el índice de saponificación.

La figura 12 menciona parámetros característicos como: densidad índice de acidez, acidez e índice de saponificación.

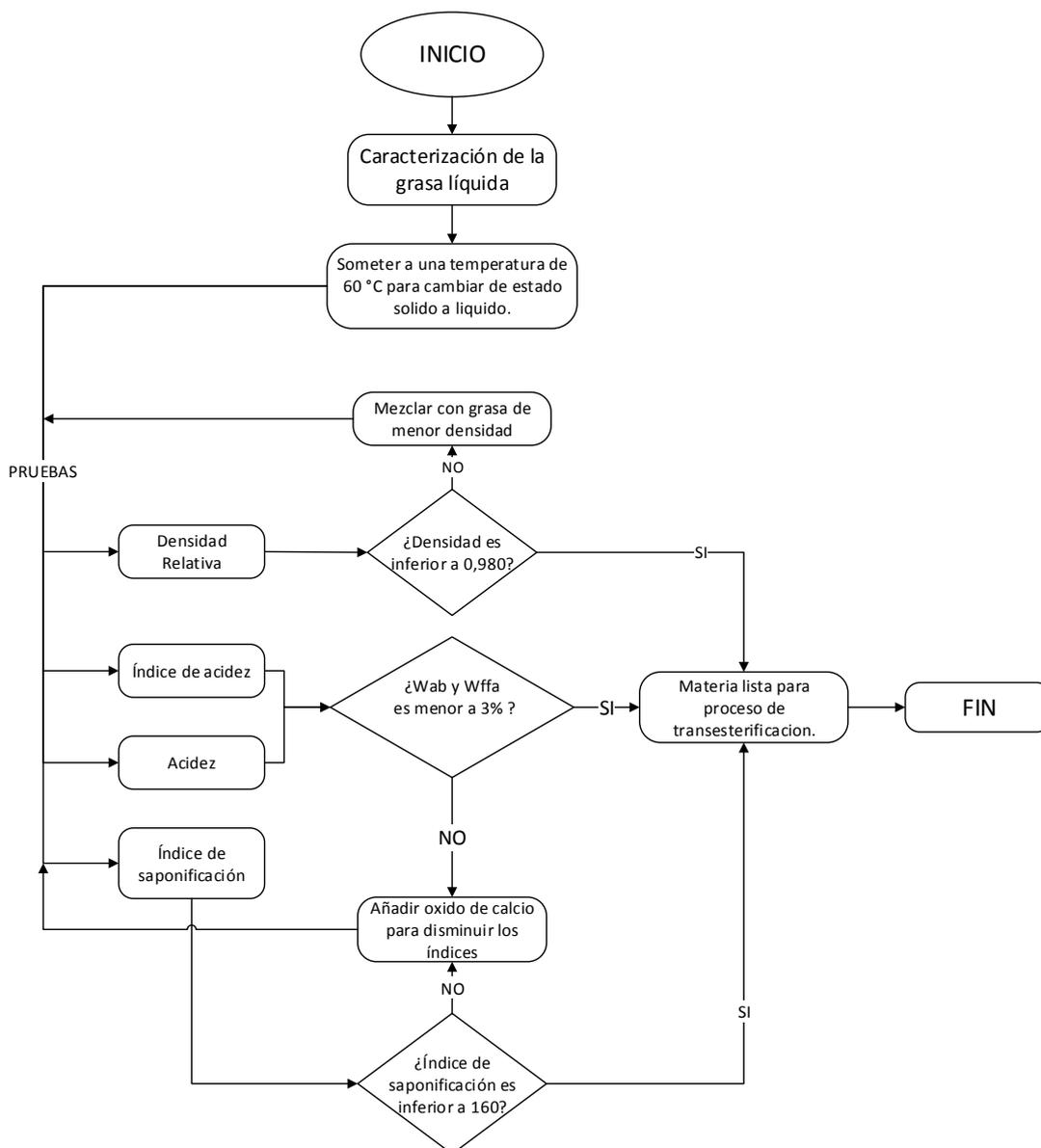


Figura 12. Proceso de caracterización de la grasa

3.3. Resultados característicos.

Los resultados de la caracterización tabla 10 del sebo de res vacuno de acuerdo al informe de análisis físico – químico Anexo B realizado en el laboratorio de química de la Universidad Central del Ecuador UCE de la Facultad de Ciencias Químicas.

La prueba de densidad que establece la norma INEN 35-1 detalla el método del picnómetro, para determinar el índice de acidez, acidez y el

índice de saponificación se emplea el método descrito en la norma MAL 29/NTE INEN ISO 660 para la determinación de la acidez en grasas y aceites animales y vegetales.

Tabla 10
Caracterización del sebo de res vacuno

| Parámetro | Resultado | Valores permitidos | Unidad | Método de análisis |
|--------------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------------|
| Densidad relativa | 0,9267 | 0,980 | gr/ml | PA-FQ-74/ NTE-INEN-35-1 |
| Índice de acidez | 0,98 | 3 | mgNaOH/gr | MAL 29/NTE INEN ISO 660 |
| Acidez | 0,49 | 3 | % | MAL 29/NTE INEN ISO 660 |
| Índice de saponificación | 140,46 | 160 | mg/gr | MAL 29/NTE INEN ISO 660 |

Fuente: (UCE, 2017)

Los valores de las pruebas de caracterización son satisfactorios puesto que no superan los valores máximos permitidos.

3.4. Determinación de reactivos para la reacción del proceso de transesterificación.

Tomando en consideración los valores del índice de acidez y el de saponificación para calcular la masa de la materia prima, el volumen del hidróxido de sodio y metanol.

3.4.1. Hidróxido de sodio

Para llevar a cabo la transesterificación se necesita un catalizador que por defecto es el hidróxido de potasio (KOH) que permite una reacción completa en el proceso debido a su mayor contenido iones, los entes de regulación de productos químicos restringen la libre distribución al público,

por lo que se utiliza el hidróxido de sodio (NaOH) que es un sustituto y venta libre al público, tabla 11 propiedades físico-químico.

Tabla 11
Peso molecular del Hidróxido de Sodio (NaOH)

| Hidróxido de sodio (NaOH) | Masa molecular (gr) |
|------------------------------|------------------------|
| Na | 22,9897 |
| O | 15,9994 |
| H | 1,0079 |
| Total | 39.9970 |

Fuente: (Union Internacional de Química Pura y Aplicada, 1984)

3.4.2. Volumen de metanol

La grasa de res contiene glicéridos que son necesarios convertirlos en esterres, esto se logra gracias a la reacción que tiene la grasa con el metanol de alta pureza (99,9%) de concentración. Las propiedades físico-químicas del metanol tabla 12.

Tabla 12
Características físico químicas del metanol

| Características físico químicas del metanol | |
|---|-------------------------|
| Pureza | 99,9 % |
| Densidad | 0,79 gr/cm ³ |
| Masa molecular | 32,04 g/mol |

Fuente: (Union Internacional de Química Pura y Aplicada, 1984)

La tabla 13 presenta los cálculos para determinar la proporción de los reactivos necesarios para el proceso de transesterificación, de manera óptima sin dejar moléculas de ácidos grasos sin reaccionar totalmente y asegurar la calidad del biodiesel.

Tabla 13
Resumen de cálculos para determinar la cantidad de reactivos

| Cálculos para determinar la cantidad de reactivos | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|------------------------------|---|----------|--|
| Parámetro | Datos | Unidades | Ecuación | Valor | Unidades | |
| Densidad (ρ) | m_{p1} | 15.5617 | gr | $\rho = \frac{m_{p2} - m_{p1}}{v}$ | 0,9267 | $\frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ |
| | m_{p2} | 38.7300 | gr | | | |
| | v | 25 | ml | | | |
| Relación estequiometria (R. E. S.) | 3 mol NaOH | 119991 | mg | $R. E. S. = \frac{3 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol grsa de res}}$ | 119991 | mg/gr |
| | 1 mol grasa de res | 1,000 | gr | | | |
| | R. E. S. | 119991 | mg/gr | | | |
| Masa de sebo (M_{grasa}) | I_s | 140,46 | mg/gr | $M_{grasa} = \frac{R. E. S.}{I_s}$ | 854,2717 | $\frac{\text{gr grasa de res}}{\text{mol grasa de res}}$ |
| | ρ | 0,9267 | $\frac{\text{g}}{\text{ml}}$ | | | |
| m_{grasa} | v | 500 | ml | $M_{grasa} = \rho \times v$ | 463,35 | gr |
| | M_{sebo} | 463,35 | gr | | | |
| Masa de metanol ($m_{metanol}$) | MR | 12 | | $M_{metanol} = m_{grasa} * MR * \frac{M_{metanol}}{M_{grsa}}$ | 208,2784 | gr |
| | $M_{metanol}$ | 32 | gr | | | |
| | Maceite | 854,2717 | gr | | | |
| Volumen de metanol ($V_{metanol}$) | $m_{metanol}$ | 206.2782 | gr | $V_{metanol} = \frac{m_{metanol}}{\rho_{metanol}}$ | 263,6436 | cm^3 |
| | $\rho_{metanol}$ | 0,79 | g/cm^3 | | | |
| Masa de hidróxido (m_{NaOH}) | m_{grsa} | 458,9 | gr | $m_{NaOH} = m_{grasa} \times \frac{\% \frac{p}{p} NaOH}{100 [\text{gr grasa}]}$ | 4,6335 | gr |
| | $\% \frac{p}{p} NaOH$ | 1,00 | % | | | |
| | grasa | 100 | gr | | | |

Para que se dé la reacción de transesterificación de 500 ml de sebo de res con una masa de 463,35 gr se necesita de 4,634 gr de NaOH hidróxido de sodio y 263,64 cm^3 de metanol.

3.5. Transesterificación.

En la figura 13 se detalla el proceso de transesterificación para transformar el sebo de res vacuno en biodiesel por medio de la reacción química entre el catalizador, metanol y materia prima, que rompen sus moléculas y forman metilesteres y glicerina.

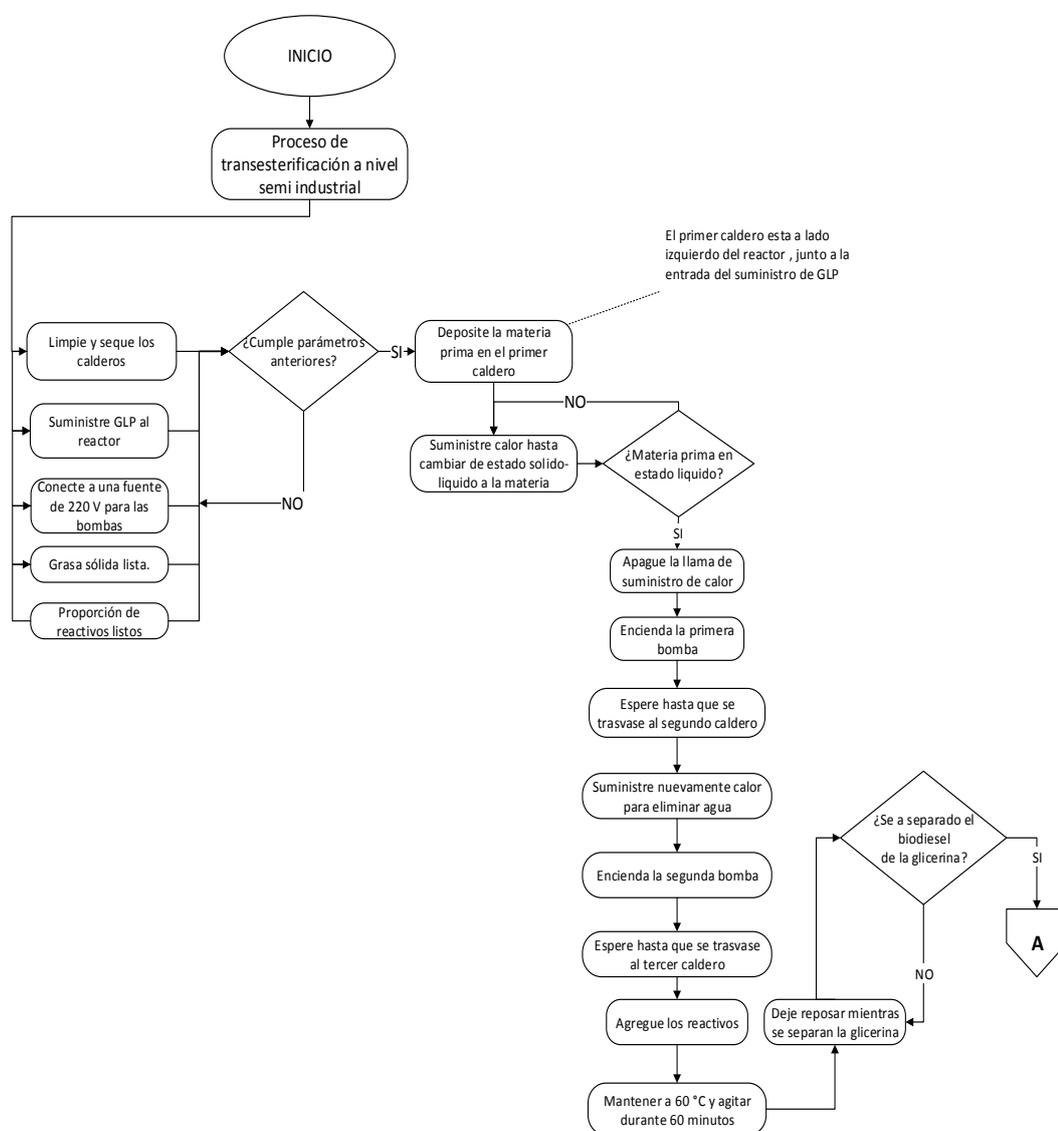


Figura 13. Proceso de transesterificación.

Los subproductos al finalizar el proceso son glicerina y biodiesel, es necesario dejar que reposen mientras se separan por diferencia de densidad, la decantación ayuda a separar la glicerina que se deposita en el fondo del caldero y mediante la válvula de paso se la extrae por acción de la gravedad.

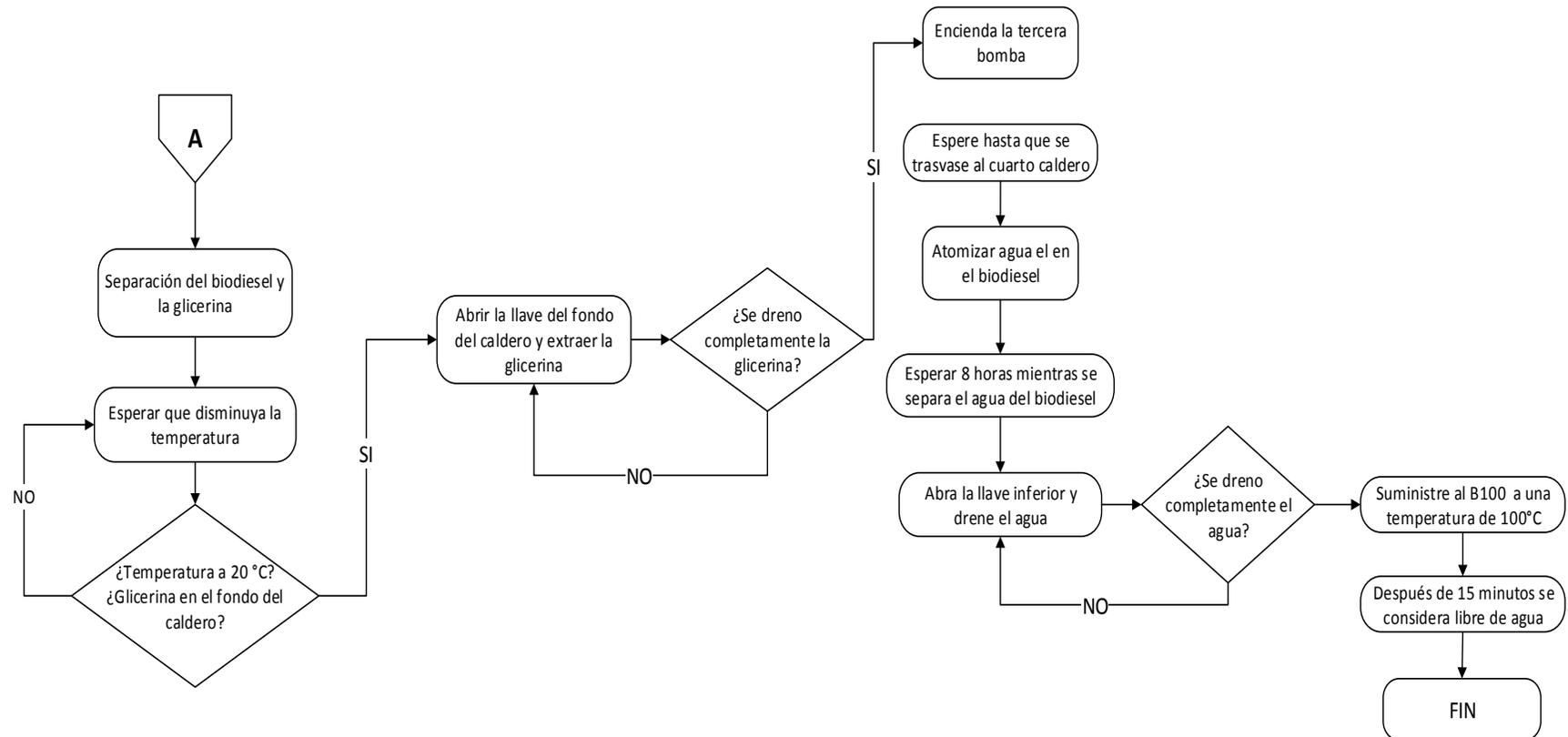


Figura 14. Separación de glicerina y lavado del biodiesel.

Una vez que termina el proceso de separación del biodiesel y la glicerina se purifica el biodiesel mediante los métodos de lavado y secado.

3.6. Pruebas

Las pruebas de caracterización de las mezclas diésel - biodiesel realizadas en los laboratorios de química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga se detallan a continuación; densidad, poder calorífico, viscosidad y nivel de PH.

3.6.1. Densidad

El método del picnómetro descrito en la norma NTE INEN 35-1 establece el procedimiento de medición de masas y condiciones en las que debe estar la muestra.

Para llevar a cabo la prueba, se requiere lo siguiente:

Materiales y equipos:

- Mezclas (25 ml)
- Balanza electrónica apreciación 0.0001 gr
- Baño María
- Picnómetro de 25 ml
- Vaso de precipitación de 100 ml

La figura 15 presenta la preparación de las muestras e instrumentos.

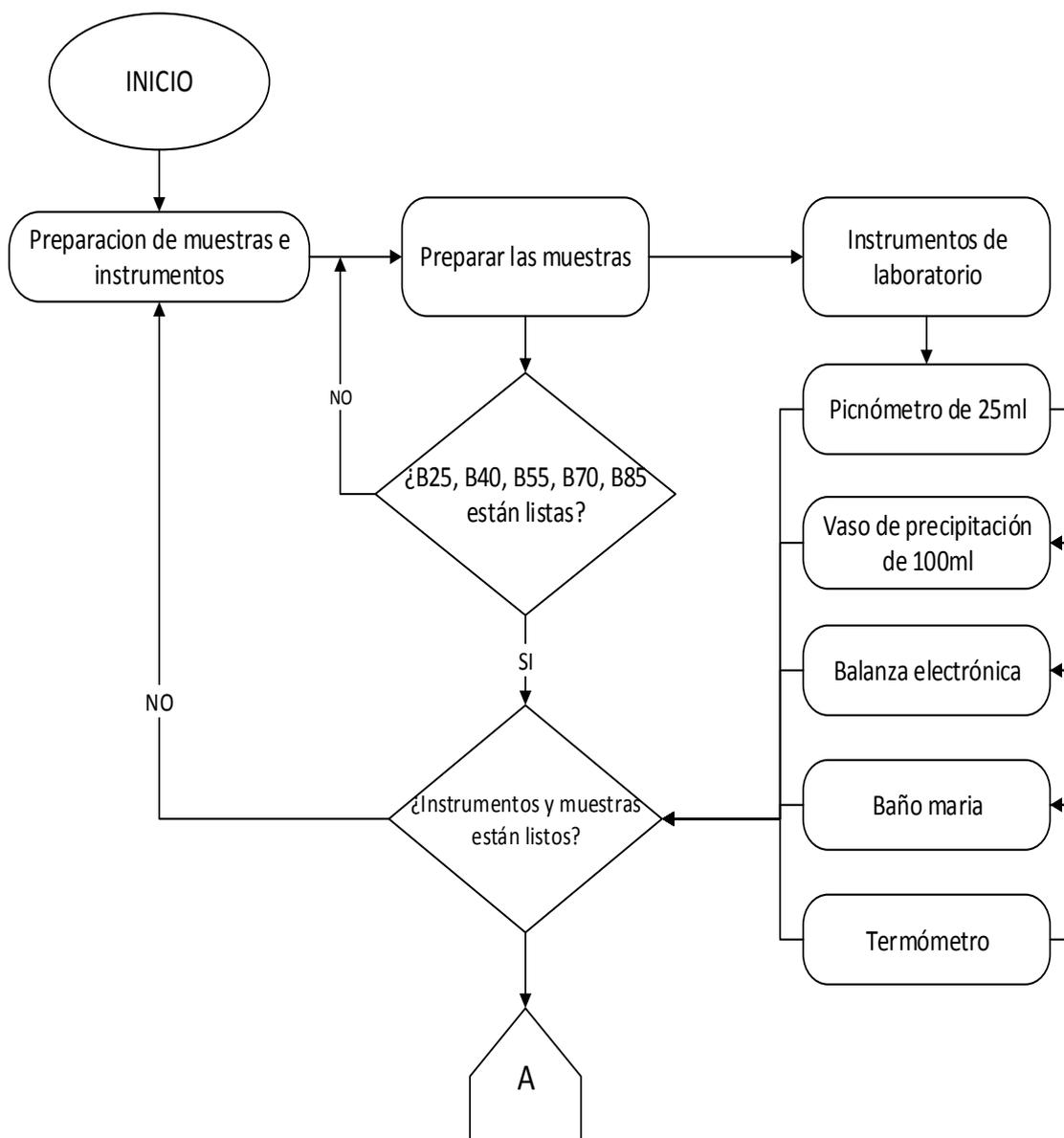


Figura 15. Preparación de muestras e instrumentos.

Con los instrumentos necesarios limpios, secos y la cantidad necesaria de muestra, se procede a estabilizar a 15°C y a medir la masa de las muestras para ello se detalla el siguiente procedimiento.

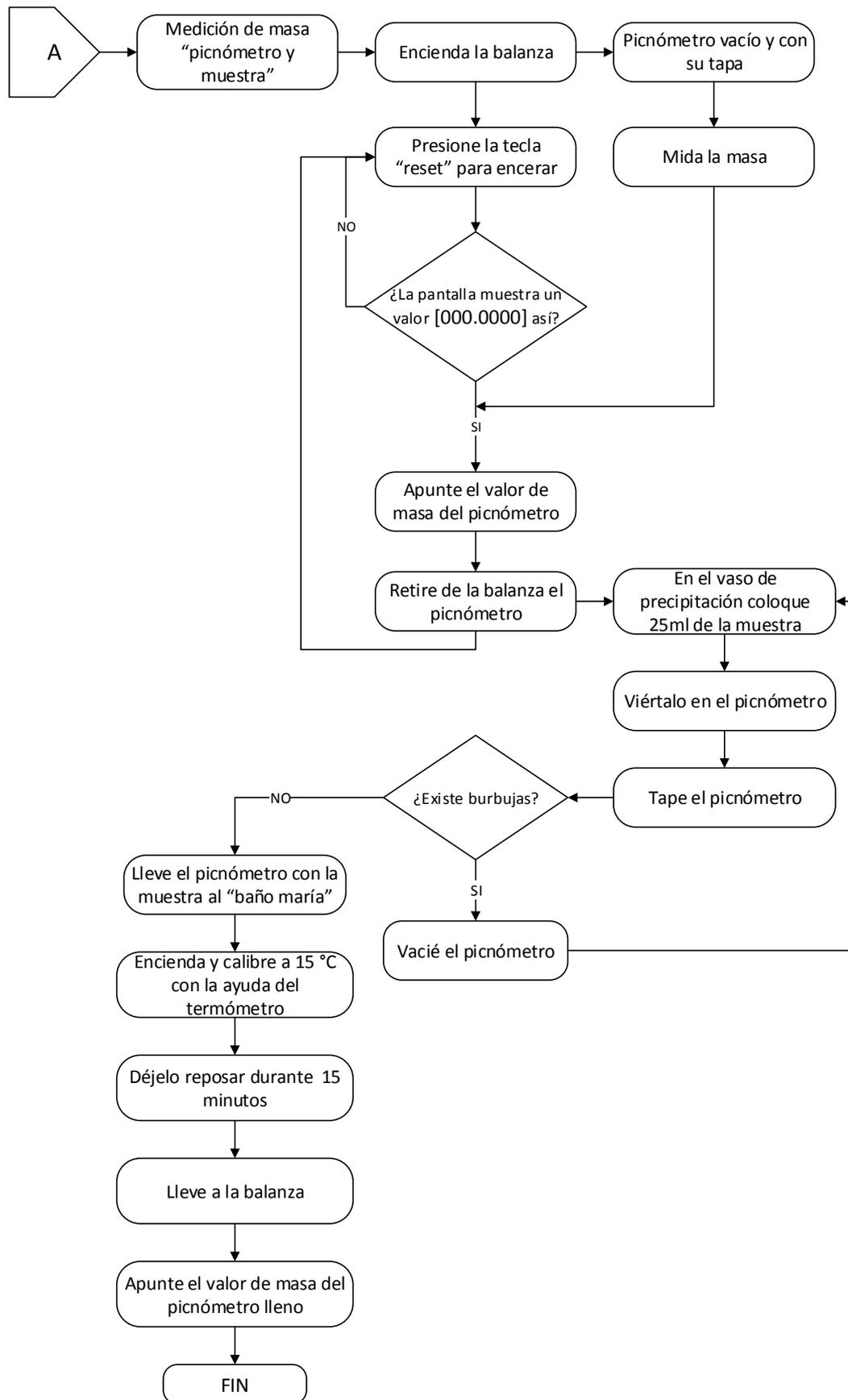


Figura 16. Proceso de medición de masas.

Considerando las masas del picnómetro vacío " m_{p1} ", lleno " m_{p2} " y la masa de la muestra " m_b ", se calcula la densidad de las mezclas diésel – biodiesel considerando un volumen de prueba de 25 ml.

Tabla 14
Datos obtenidos de la densidad de las distintas muestras.

| MUESTRAS | Masa del picnómetro (gr) | | Ecuación (3) | Datos de la muestra | | Ecuación (4) | Densidad ($\frac{gr}{ml}$) |
|----------|--------------------------|---------|-------------------------|---------------------|--------------|------------------------|------------------------------|
| | Vacío | Lleno | | Masa (gr) | Volumen (ml) | | |
| B25 | | 37,3558 | $m_b = m_{p2} - m_{p1}$ | 20,8910 | 25 | $\rho = \frac{m_b}{v}$ | 0,8356 |
| B40 | | 37,7773 | | 21,0715 | | | 0,8429 |
| B55 | 16,7058 | 37,6138 | | 21,1490 | | | 0,8460 |
| B70 | | 37,7443 | | 21,2795 | | | 0,8512 |
| B85 | | 37,8443 | | 21,3795 | | | 0,8552 |

Después de obtener la densidad de cada una de las muestras se puede evidenciar una variación de 0,020 gr/ml entre pruebas que no es significativa.

3.6.2. Poder calorífico

En este apartado se determina la cantidad de calor desprendida en la combustión de todas las mezclas de diésel - biodiesel.

Materiales y equipos:

- Agua destilada
- Alambre de fusible 10 cm
- Balanza electrónica
- Biodiesel 0.8gr
- Calorímetro

- Pipeta
- Tanque de oxígeno
- Llave de boca N° 14
- Vaso de precipitación de 25 ml

A continuación, la figura 17 presenta la preparación de instrumentos y mezclas necesarios para la prueba.

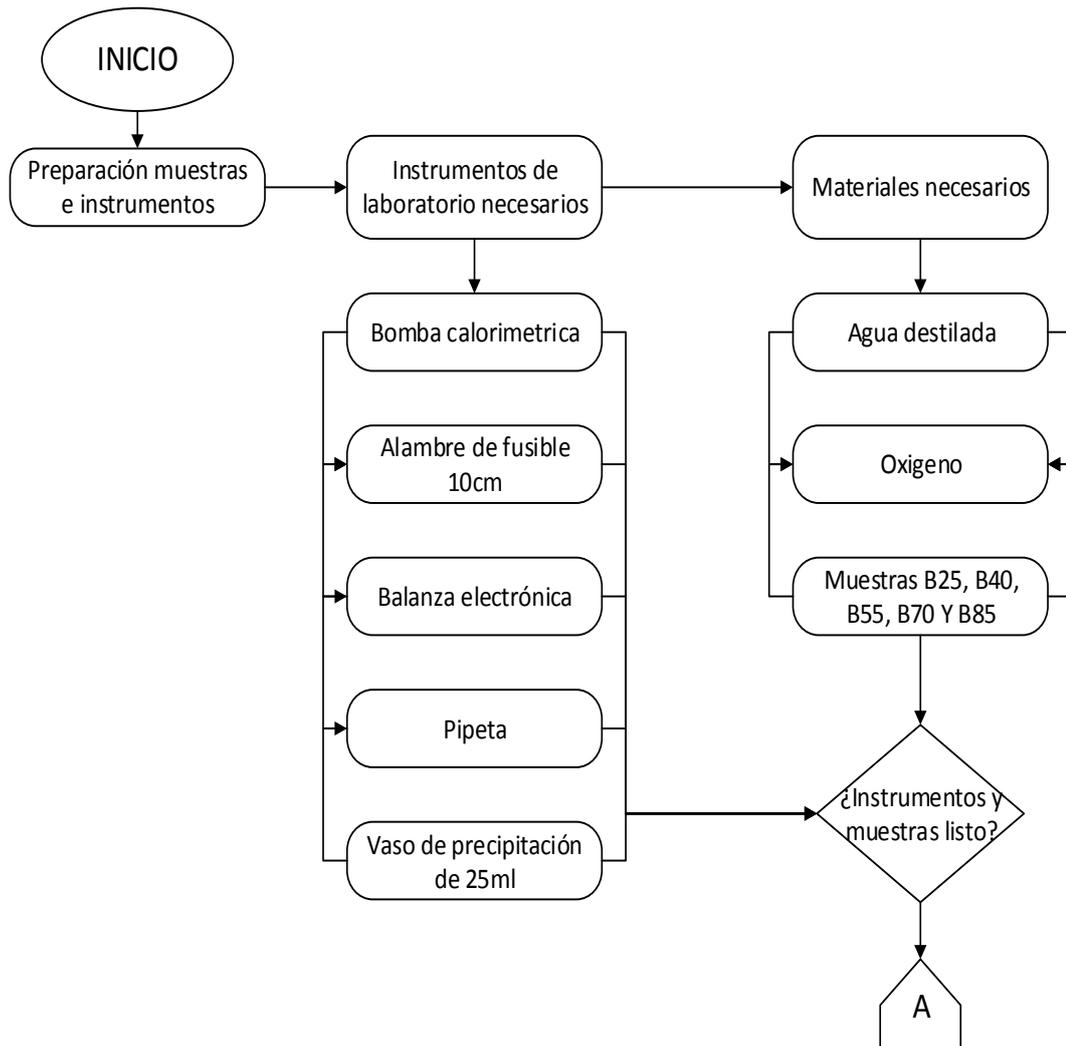


Figura 17. Preparación de materiales e instrumentos.

Se mide la cantidad de masa de cada muestra necesaria y se coloca dentro del equipo, todo esto lleva un proceso que se detalla a continuación en la figura 18.

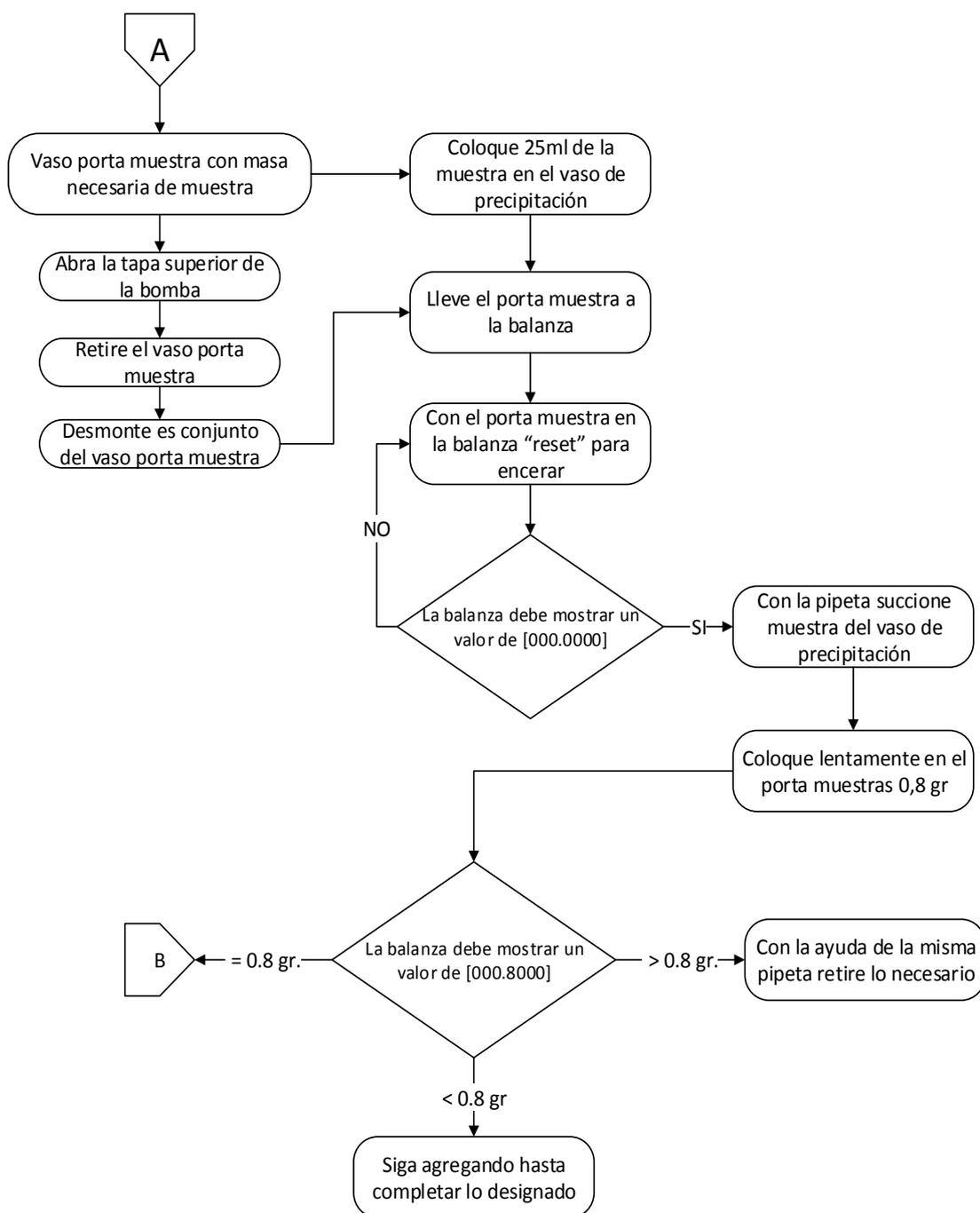


Figura 18. Proceso de pesado de la muestra.

Es importante el suministro de oxígeno a la presión especificada para tener una combustión completa y una lectura exacta de los valores de temperatura.

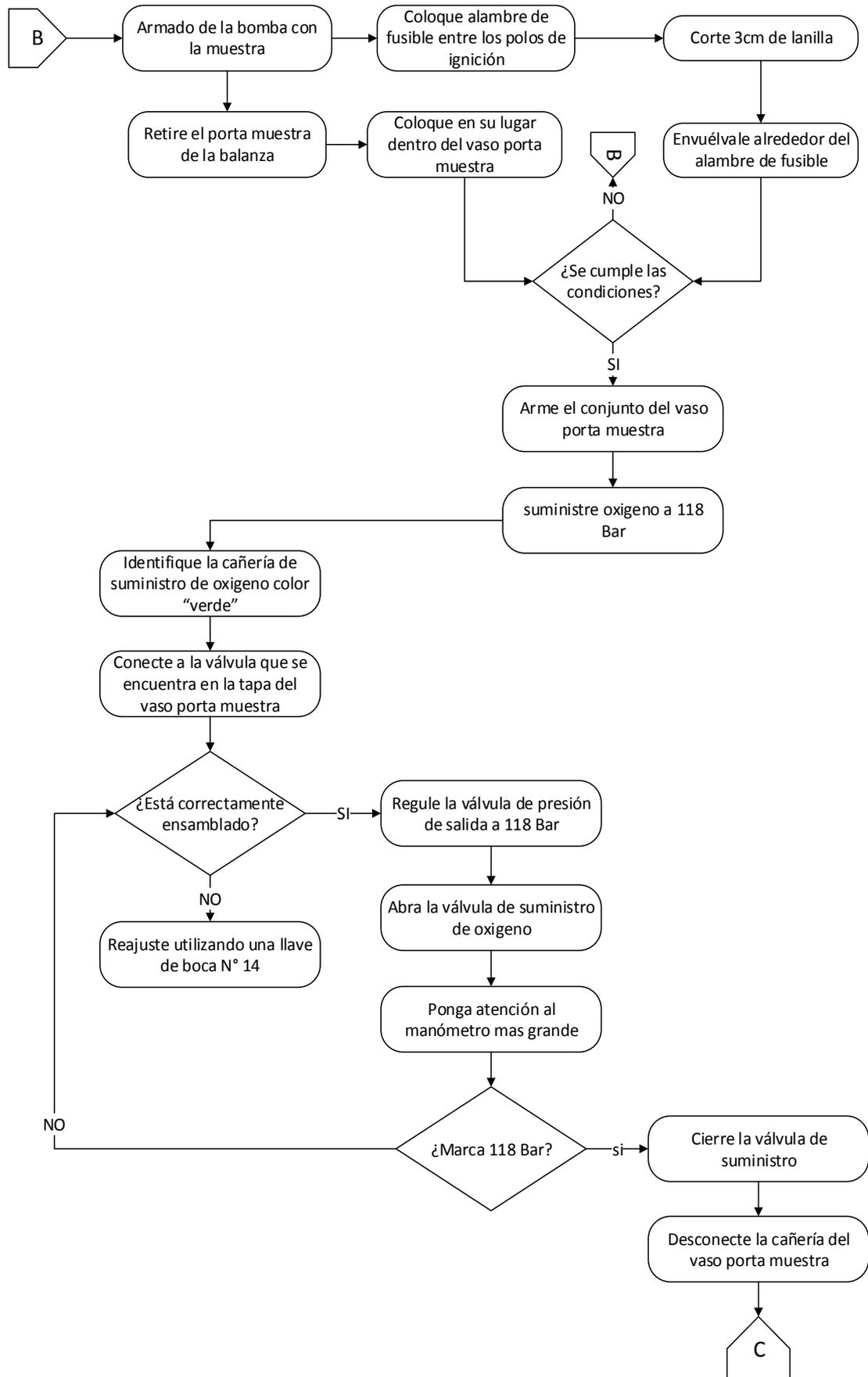


Figura 19. Proceso de armado de la bomba y suministro de oxígeno.

Armado la bomba calorimétrica ya con la masa de muestra necesaria se la combustiona y la temperatura del agua empezará a variar esto mostrará los termómetros que se encuentran instalados en la bomba.

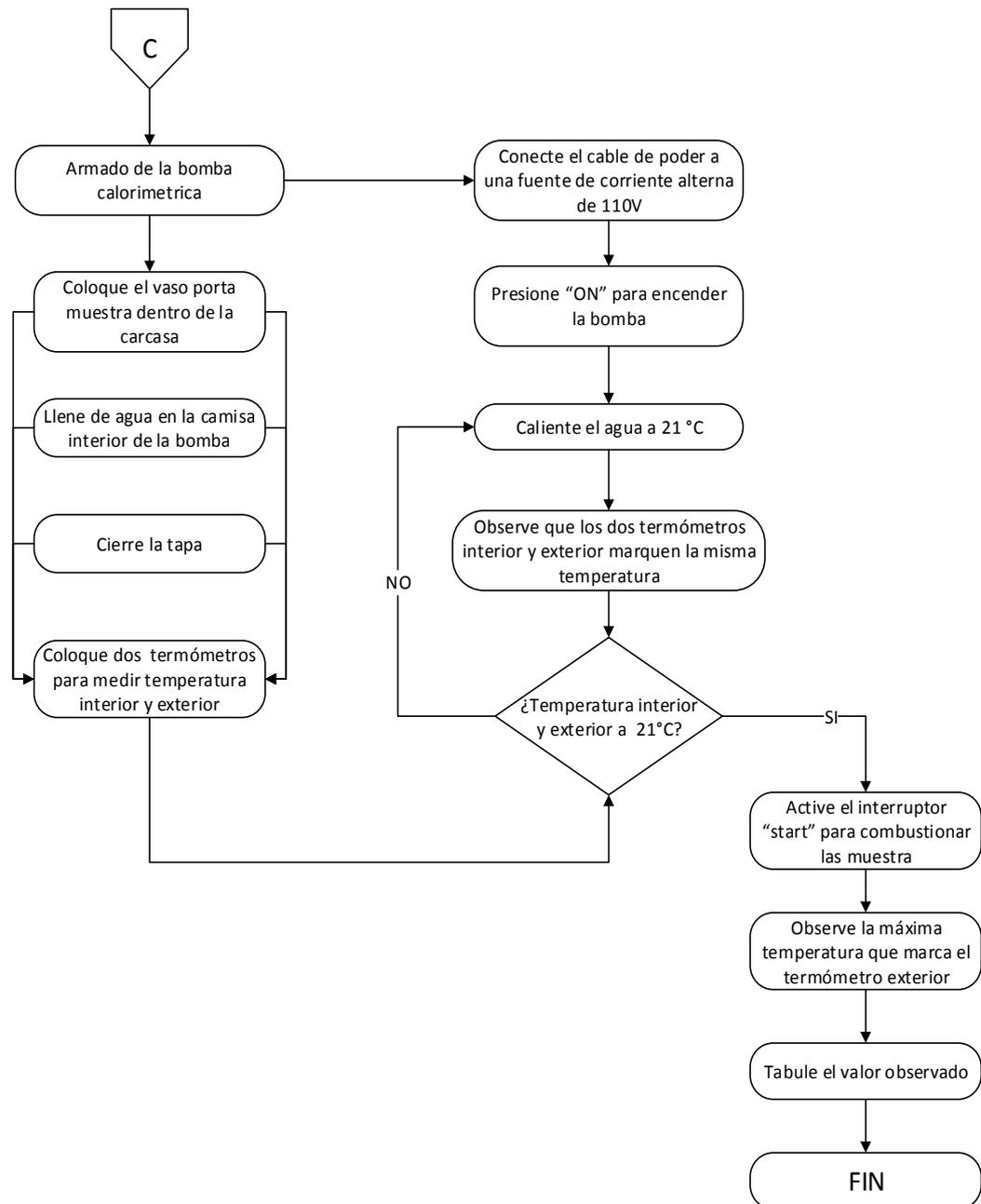


Figura 20. Proceso de obtención de datos de temperatura.

Con los valores de temperatura se procederá al cálculo del poder calorífico, para esto se requiere de la constante de poder calorífico inferior " PC_{inf} ", masa de la muestra " m_{comb} ", variación de temperatura " ΔT " temperatura final " T_f " menos la inicial " T_i " y la ecuación (8).

Tabla 15
Valores de la variación de temperatura y poder calorífico.

| Muestras | Temperatura de la prueba (°C) | | Variación de temperatura | Valor de variación (°C) | Constante para el cálculo (J/°C) | Masa del combustible (gr) | Ecuación (8) | Poder calorífico (KJ/gr) |
|----------|-------------------------------|-------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|--------------------------|
| | Inicial | Final | | | | | | |
| B25 | 21 | 24 | | 3 | | | | 67,0287 |
| B40 | 21 | 23,94 | | 2,94 | | | | 65,6881 |
| B65 | 21 | 23,85 | $\Delta T = T_f - T_i$ | 2,85 | 17874.32 | 0.8 | $(P_{C_{sup}} = \frac{P_{C_{inj}} * \Delta T}{m_{comb}})$ | 63,6772 |
| B70 | 21 | 23,71 | | 2,71 | | | | 60,5492 |
| B85 | 21 | 23,57 | | 2,57 | | | | 57,4212 |

La mezcla diésel-biodiesel B25 presenta mayor poder calorífico y disminuye de 2 a 4 KJ/gr por muestra.

3.6.3. Medición del PH.

Una vez que sumerja la lámina medidora de PH cambiará la tonalidad de sus colores, a partir de ello se la compara con la escala de valoración la que determina el nivel de PH figura 21.

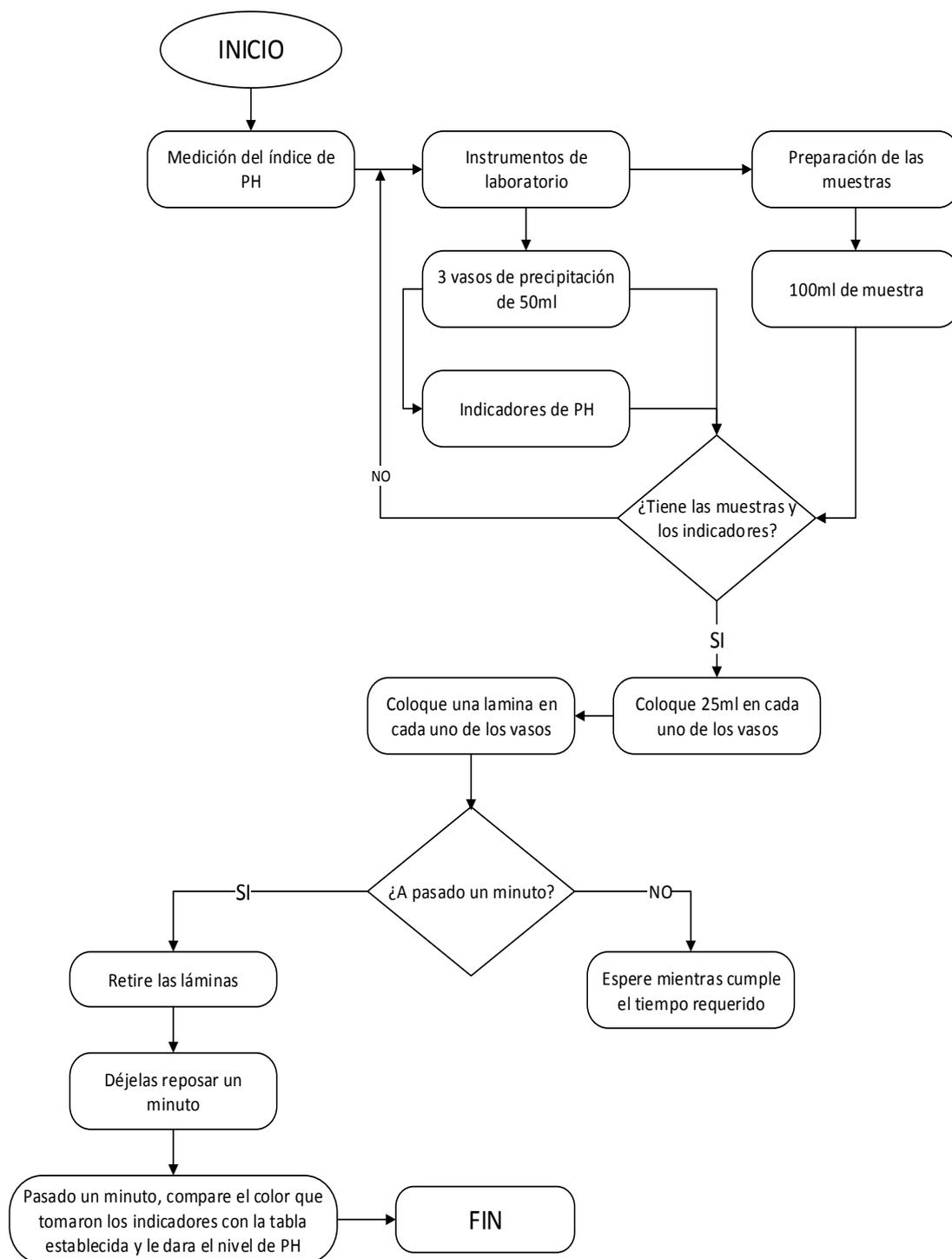


Figura 21. Proceso de medición del nivel de PH de las muestras.

El valor de acidez de las tres mediciones del nivel de PH indica un promedio igual a 5 para todas las mezclas diésel – biodiésel, se considera ácido tabla 16.

Tabla 16
Medición de PH de las mezclas de biodiesel

| Muestras | Primera medición de PH | Segunda medición de PH | Tercera medición de PH | Promedio de medición de PH |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| B25 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| B40 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| B55 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| B70 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| B85 | 5 | 5 | 5 | 5 |

3.6.4. Punto de inflamación

La norma ASTM 6751 establece el valor mínimo de 93 de cada muestra del punto de inflamación de los ésteres monoalquílicos derivados de grasas animales, que van a ser utilizados en motores MEC para biodiesel en proporciones con el diésel,

Materiales y equipos:

- 150 ml de biodiesel
- Probador de punto de inflamación
- Vaso de precipitación de 250 ml
- Tanque de gas
- Termómetro
- Caja de fósforos

Para realizar el procedimiento de la prueba del punto de inflamación debe tener los instrumentos limpios, secos y una cantidad de muestra figura 22.

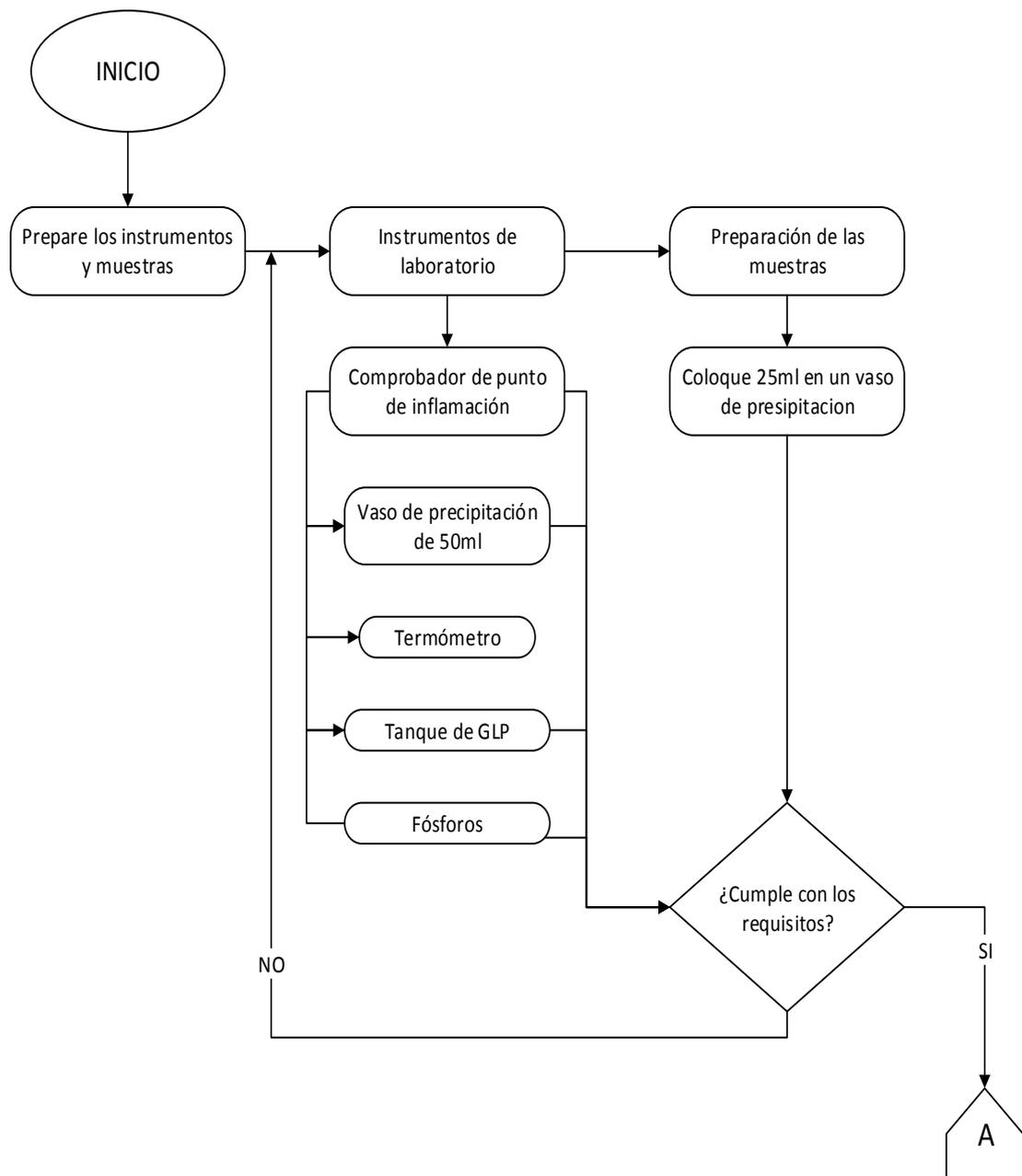


Figura 22. Materiales e instrumentos.

La figura 23 presenta un proceso para colocar la muestra dentro del equipo, armado del equipo de prueba de inflamación, suministro de GLP para calentar la muestra y la calibración de las condiciones de funcionamiento del equipo.

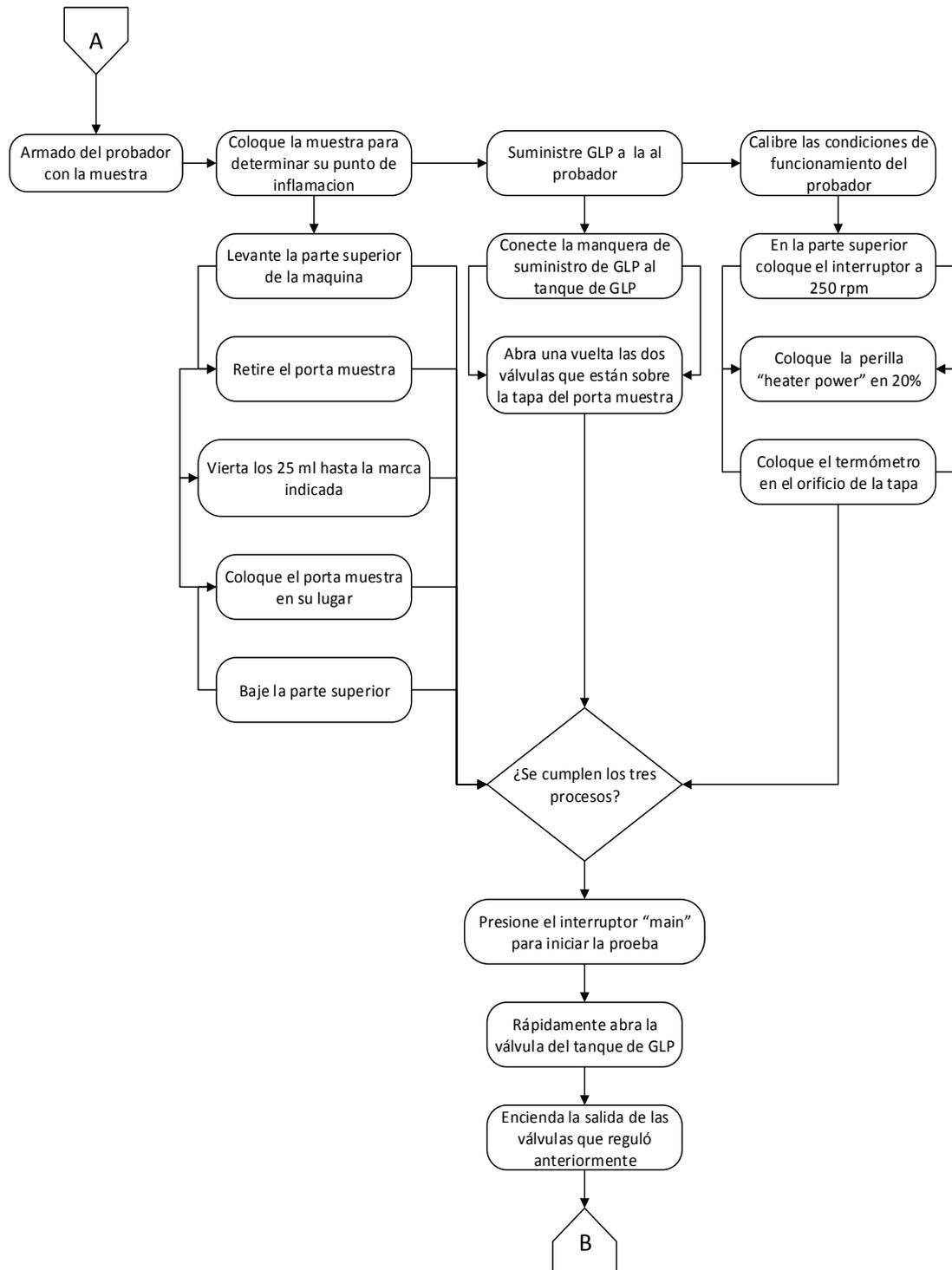


Figura 23. Preparación del equipo de medición.

Culminado con la puesta a punto y del equipo se procede a encenderlo y esperar que indique la temperatura a la que se inflama la muestra siga los pasos que presenta el diagrama de la figura 24.

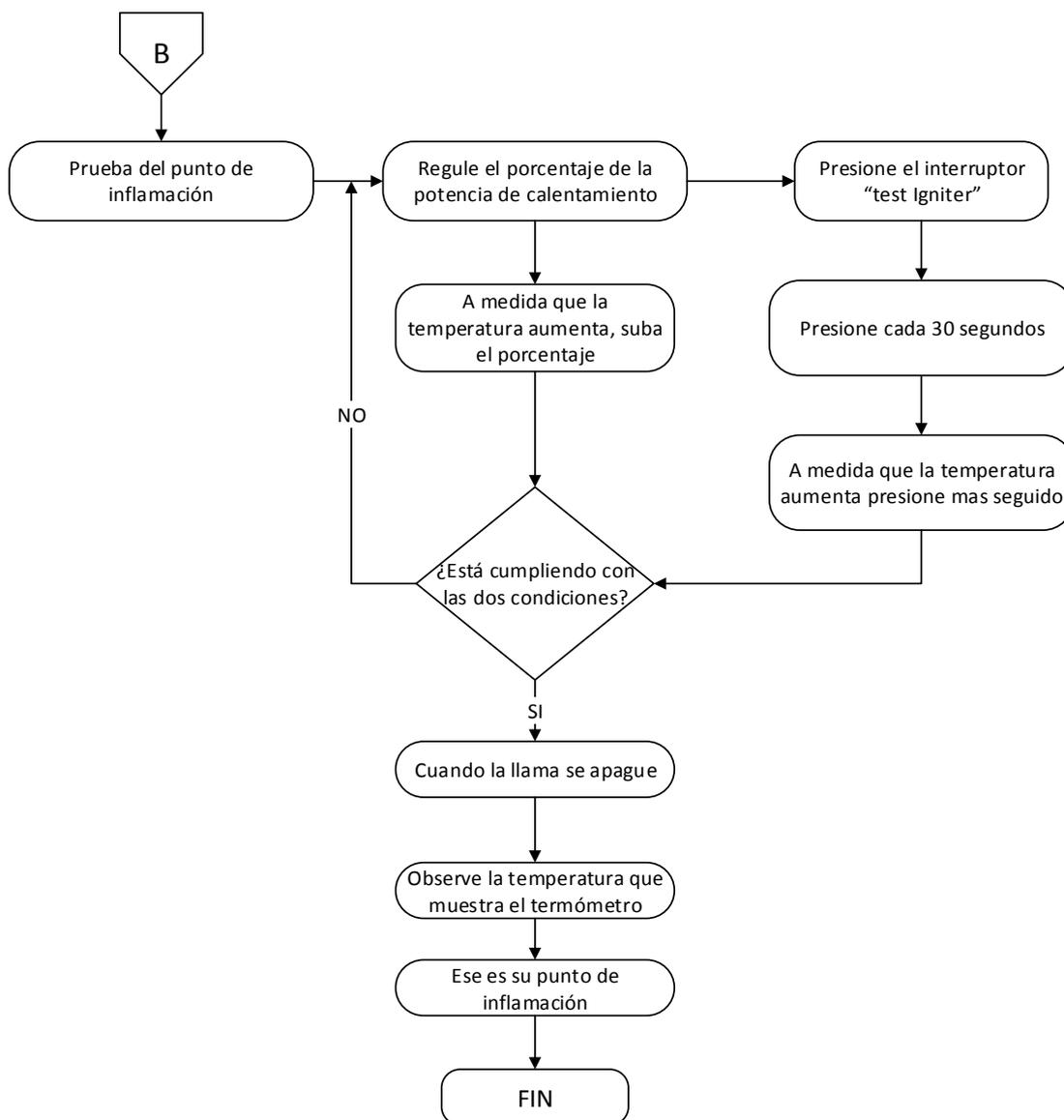


Figura 24. Proceso de verificación del punto de inflamación.

Tabla 17
Valores del punto de inflamación de las mezclas

| Punto de inflamación | | | | |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Muestras | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Promedio |
| B25 | 168 | 169,5 | 169 | 168,90 |
| B40 | 170 | 172 | 171 | 171,00 |
| B55 | 186 | 186 | 184 | 185,33 |
| B70 | 204 | 201,5 | 203 | 202,83 |
| B85 | 218 | 221 | 219 | 219,33 |

La muestra de B25 se inflamó a los 168 grados centígrados mientras que la muestra de B85 se inflamó a los 218 grados centígrados.

3.6.5. Prueba de viscosidad.

Para determinar la viscosidad, se utilizó un viscosímetro conecta a más de los siguientes materiales y equipos:

- Vaso de precipitación de 250 ml
- Viscosímetro de 200
- Pinza
- Soporte
- Muestra de biodiesel
- Baño maría
- Cronómetro

A continuación, las figura 25 presentan el proceso para determinar la viscosidad de cada una de las muestras, es necesario considerar los valores, tiempos de preparación y estabilización de las muestras de tal forma de alcanzar un resultado confiable.

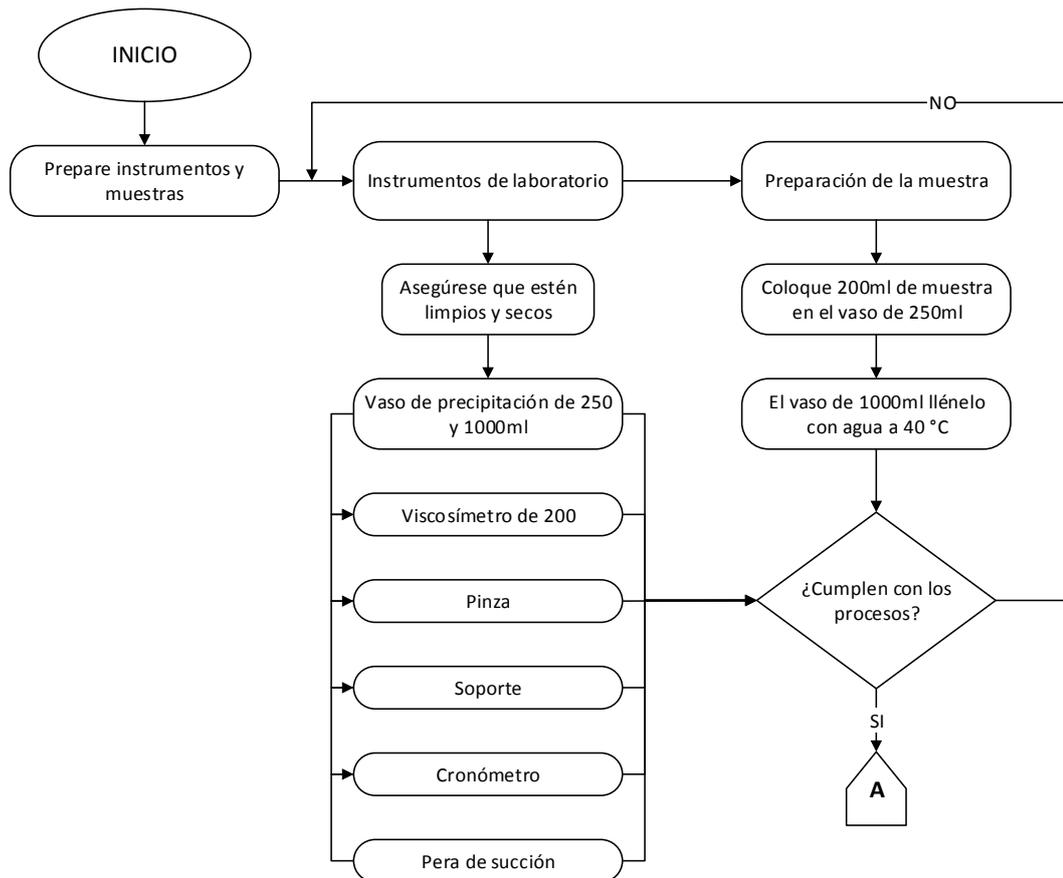


Figura 25. Preparación de materiales e instrumentos.

Estabilizar la muestra a 15°C es un paso fundamental antes que el fluido empiece su recorrido dentro del viscosímetro para ello el diagrama de la figura 26 muestra cómo hacerlo.

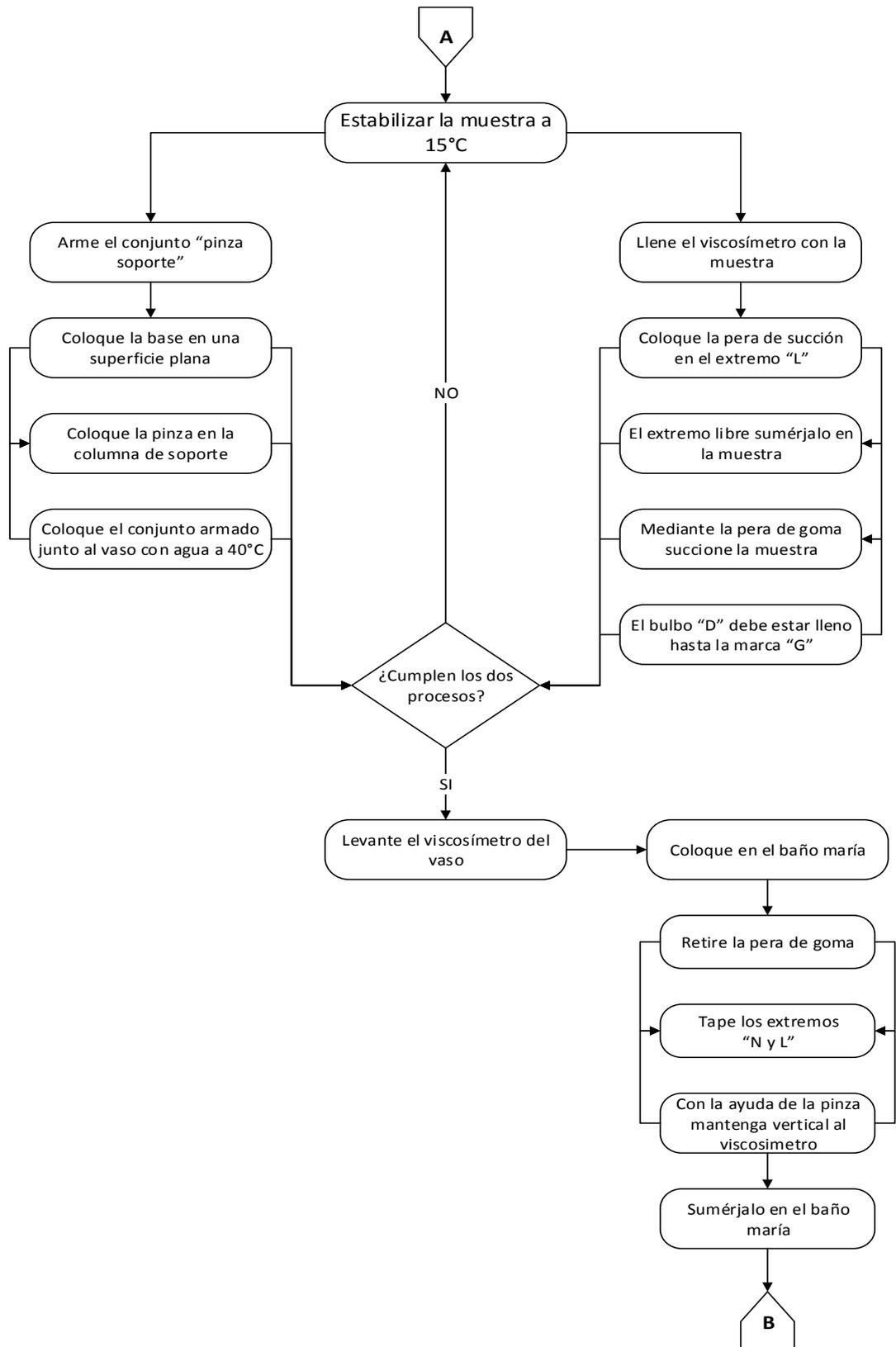


Figura 26. Proceso de equilibrio de temperaturas.

Para el cálculo de viscosidad, aplicar el valor de la constante del bulbo C igual a 0.10037 y constante de bulbo J igual a 0.062820 determinadas en

función del tipo viscosímetro, tome en cuenta que cada bulbo se encuentra lleno cuando haya llegado a las marcas establecidas.

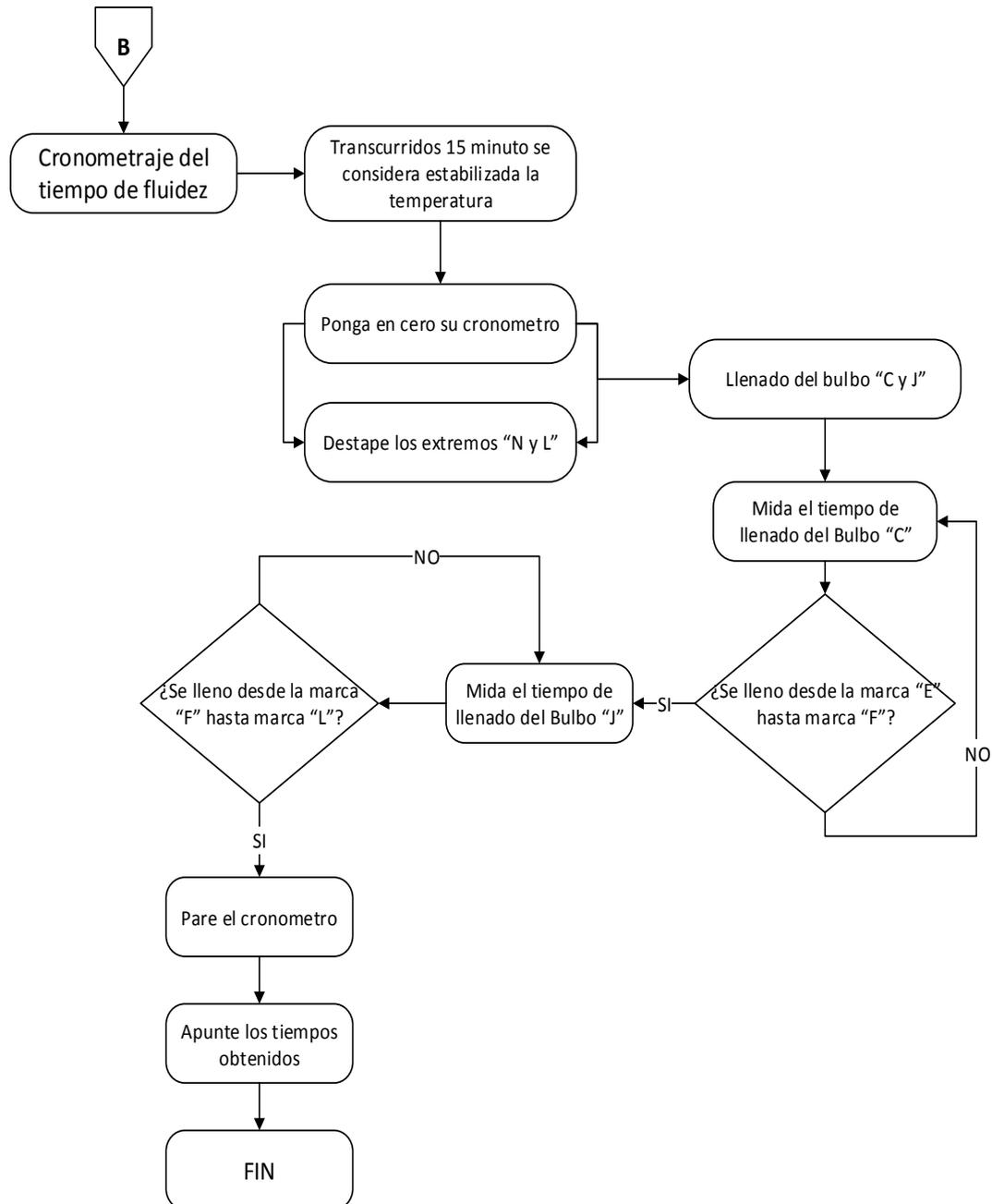


Figura 27. Tiempo de llenado, datos para el cálculo de viscosidad

Tabla 18
Viscosidad de acuerdo al porcentaje de biodiesel

| MUESTRAS | Tiempo (segundos) | | Ecuación (9) | Viscosidad 1(<i>centistokes</i>) | Ecuación (10) | Viscosidad 2 (<i>centistokes</i>) | Ecuación (11) | Viscosidad (<i>centistokes</i>) |
|----------|----------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | Bulbo "C" | Bulbo "J" | | | | | | |
| | B25 | 38,32 | | | | | | |
| B40 | 39,12 | 62,48 | $V_{bc} = 0,10037 * t1$ | 3,93 | $V_{bc} = 0,062820 * t2$ | 3,93 | $V_{cin} = \frac{V_{bc} + V_{bj}}{2}$ | 3,93 |
| B55 | 40 | 66,02 | | 4,02 | | 4,15 | | 4,09 |
| B70 | 52,38 | 87,28 | | 5,26 | | 5,48 | | 5,37 |
| B85 | 56,02 | 92,12 | | 5,62 | | 5,79 | | 5,71 |

La muestra de B85 muestra una viscosidad superior a todas, mientras que la muestra de B25 muestra una viscosidad inferior.

Las pruebas de corrosión de lámina de cobre, agua por destilación, contenido de azufre, índice de cetanos calculados y punto de nube respaldados por el informe del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad central del Ecuador UCE Anexo F.

3.6.6. Prueba de Corrosión de Lámina de Cobre

Este método de ensayo descrito en la norma ASTM D-130 determina la corrosividad de hidrocarburos, varía según los tipos de compuestos químicos presentes en el azufre.

Tabla 19
Corrosión de Lámina de Cobre

| Corrosión de lámina de cobre | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------|-----------|
| Muestras | Método | Unidades | Resultado |
| B25 | | | 1a |
| B40 | Método Interno | Unidad de corrosión | 1a |
| B55 | REF. ASTM D- | | 1a |
| B70 | 130 | | 1a |
| B85 | | | 1a |

3.6.7. Agua por destilación

El método de la destilación establecido por la norma ASTM D-95 para determinar la cantidad de agua depende el tamaño de la trampa utilizada, también puede ser utilizada para corregir el volumen involucrado, el rango varía de 0 a 25% de volumen en productos petrolíferos, alquitranes, y otros hidrocarburos.

Tabla 20
Agua por Destilación

| AGUA POR DESTILACIÓN | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Muestras | Método | Unidades | Resultado |
| B25 | | | 0.00 |
| B40 | Método Interno | %V | 0.00 |
| B55 | REF. ASTM D- | | 0.00 |
| B70 | 95 | | 0.05 |
| B85 | | | 0.05 |

Las mezclas diésel – biodiesel de B70 y B85 tienen un 0,05 de agua en el volumen de la muestra, mientras que las muestras de B25, B40 y B55 no contienen agua.

3.6.8. Contenido de azufre

El método ASTM D-4294 determina un rango de 17% mg/Kg a 4,6% mg/Kg de azufre en productos derivados de petróleo.

Tabla 21
Contenido de Azufre

| CONTENIDO DE AZUFRE | | | |
|----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Muestras | Método | Unidades | Resultado |
| B25 | Método Interno | %P | 0.0068 |

CONTINÚA



| | | |
|-----|--------------|--------|
| B40 | REF. ASTM D- | 0.0029 |
| B55 | 4294 | 0.0009 |
| B70 | | 0.0002 |
| B85 | | 0.0000 |

Las muestras B25 y B55 son las muestras con mayor contenido de azufre, mientras que las concentraciones de B40 y B70 son las muestras que tienen un bajo contenido de azufre siendo así las candidatas para un futuro uso como aditivo en el diésel, y por último la muestra de B85 prácticamente no contiene azufre sobresaliendo como la mejor muestra de esta prueba.

3.6.9. Índice de cetanos calculado

El método ASTM D-287 considera la densidad o gravedad API y la temperatura de destilación con una fracción de volumen del 50% para determinar el número de cetano de una muestra de hidrocarburo.

Tabla 22
Índice de cetano calculado

| ÍNDICE DE CETANO CALCULADO | | | |
|----------------------------|----------------|----------|-----------|
| Muestras | Método | Unidades | Resultado |
| B25 | | | 53 |
| B40 | Método Interno | | 51 |
| B55 | REF. ASTM D- | -- | 51 |
| B70 | 287 | | 50 |
| B85 | | | 49 |

El índice de cetano de cada muestra depende de la concentración de biodiesel a mayor contenido de biodiesel menor es número de cetano.

3.6.10. Punto de nube

Según ASTM D-2500 establece que el máximo de punto de nube de 49 °C, para combustibles de biodiesel.

Tabla 23
Punto de Nube

| PUNTO DE NUBE | | | |
|----------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Muestras | Método | Unidades | Resultado |
| B25 | | °C | 0 |
| B40 | Método Interno | °C | 6 |
| B55 | REF. ASTM D- | °C | 8 |
| B70 | 2500 | °C | 11 |
| B85 | | °C | 15 |

A mayor contenido de biodiesel en la muestra mayor es la temperatura a la que se forma la nube de la muestra.

3.7. Análisis de resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las diferentes pruebas experimentales desarrolladas en la investigación, se determinó el potencial energético de las mezclas de diésel Premium con biodiesel en diferentes concentraciones como fuente de energía alternativa para el uso en motores a diésel.

La tabla 24 detalla los resultados de densidad, contenido de azufre, índice de cetanos, punto de inflamación, viscosidad cinemática, corrosión de lámina de cobre, agua por destilación, punto de nube, poder calorífico y PH de acuerdo a los métodos de prueba realizados.

El análisis de los resultados para caracterizar las mezclas considera la norma NTE INEN 1489 y ASTM 6751 que establece parámetros que debe cumplir el combustible diésel para vehículos con motor encendido por compresión.

Tabla 24
Resumen de parámetros característicos de biodiesel a distintos porcentajes

| Comparación de parámetros característicos del biodiesel y normas | | | | | | | | |
|--|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-----------------------|
| ENSAYO | UNIDAD | B25 | B40 | B55 | B70 | B85 | NTE INEN 1489 | NORMATIVA ASTM 6751 |
| Densidad 15°C | Kg/m ³ | 835.60 | 842,90 | 846 | 851,2 | 855,2 | 860mi- 900 máx. | 860 min – 900 máx. |
| Contenido de Azufre | %P | 0,0068 | 0,0029 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0000 | máx. 0,05 | 0.0015 máx. |
| Índice de cetanos | -- | 53 | 51 | 51 | 50 | 49 | 51 min. | 47 min. |
| Punto de inflamación | °C | 168,90 | 171,00 | 185,33 | 202,83 | 219,33 | min. 51 | Mínimo 130 |
| Viscosidad cinemática 15°C | Cst | 3,88 | 3,93 | 4,09 | 5,37 | 5,71 | min-máx. 2,0-5,0 | 1.9 min – 6 máx. |
| Agua por destilación | %V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | máx. 0,05 | 0.05 máx. |
| Corrosión de Lámina de Cobre | Corrosión | 1a | 1a | 1a | 1a | 1a | 1a | No. 3 máx. |
| Punto de nube | °C | 0 | 6 | 8 | 11 | 15 | -- | -- |
| Poder Calorífico | J/gr | 67028.70 | 65688,13 | 63677,27 | 60549,26 | 57421,25 | -- | -- |
| PH | -- | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | -- | -- |

3.1.1. Densidad.

La figura 28 indica las variaciones de densidad y permite comparar con el valor mínimo establecido por la norma INEN 1489 para el diésel

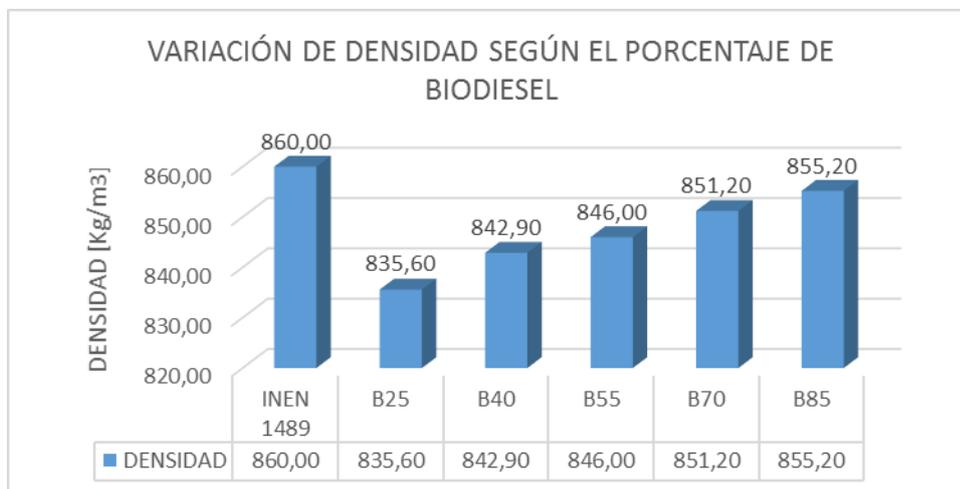


Figura 28. Densidad de cada mezcla

La densidad aumenta conforme la concentración de biodiesel es mayor, ninguna de estas mezclas diésel – biodiésel están dentro del valor mínimo.

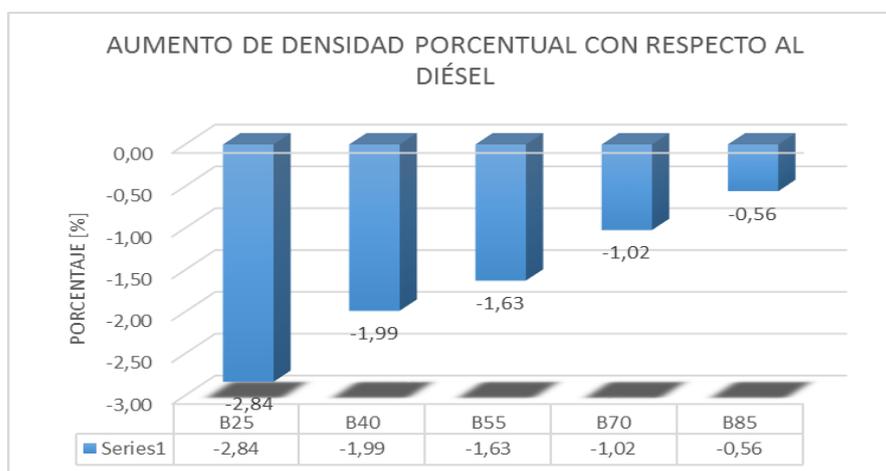


Figura 29. Variación porcentual de la densidad.

Las densidades disminuyen en 2,84%, 1,99%, 1,63% 1,02% y 0,56% de las muestras B25, B40, B55, B70 y B85 respectivamente; siendo B85 el valor que se acerca al mínimo de la INEN 1478 con un valor de 855,2 Kg/m³

3.1.2. Poder calorífico.

El poder calorífico según la normas INEN 1489 y ASTM 6751 no considera un valor a cumplir, en tal virtud se considera dato característico del diésel premium (Universidad central del Ecuador, 2013) con un valor referencial de 45,925 KJ/Kg”.

La figura 30 presenta las variaciones del poder calorífico de acuerdo a la concentración del biodiesel.

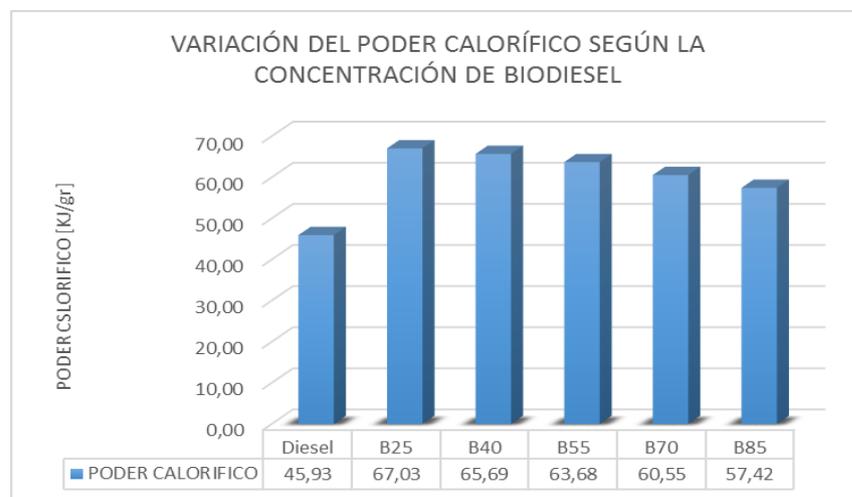


Figura 30. Poder calorífico de cada mezcla

La figura 31 permite visualizar el porcentaje del incremento del poder calorífico con respecto al diésel Premium.



Figura 31. Porcentaje de variación del poder calorífico de las mezclas

El poder calorífico diésel es 45,93 KJ/Kg, en las muestras B25 y B40 es un valor superior con 67,03 KJ/Kg y 65,69 KJ/Kg, las otras proporciones tienen un poder calorífico inferior con una disminución promedio de 25,03%.

3.1.3. PH.

Los valores de ph de las muestras se comparan con el valor del diésel figura 32.

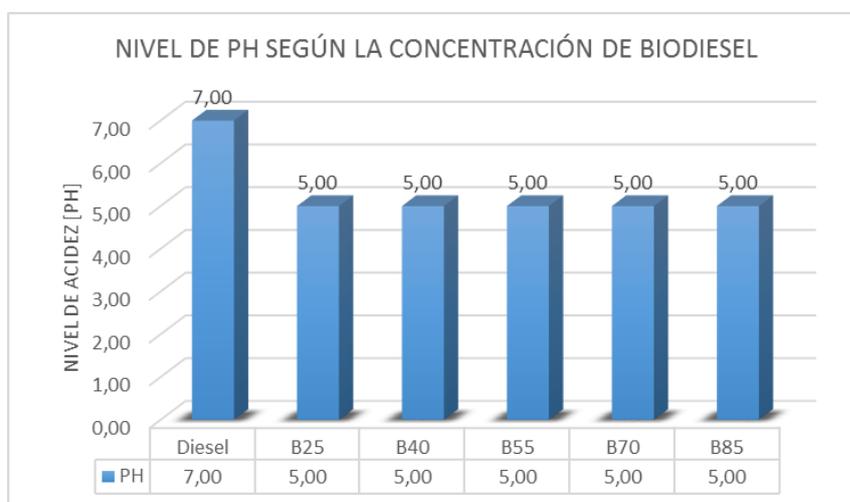


Figura 32. Nivel de PH de cada mezcla

El nivel de PH indica que todas las muestras son acidas a comparación del diésel que es neutro, esto deja ver que se tiene una desventaja en cuanto a esta prueba de caracterización.

3.1.4. Punto de inflamación.

La variación del punto de inflamación figura 33 siendo B85 la muestra con el mayor valor con 219,33°C, la mezcla de B25 obtiene un valor inferior de 168,9°C.

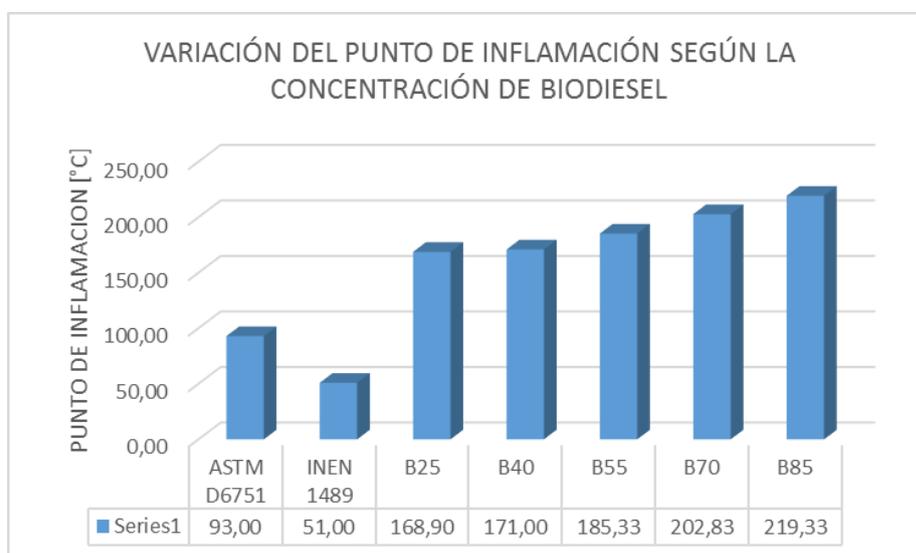


Figura 33. Punto de inflamación de cada mezcla

La norma ASTM D6751 para biodiesel establece que el punto de inflamación mínimo debe ser de 93 °C y en la NTE INEN 1489 es de 51°C para el diésel, con base a estos valores todas las muestras están dentro de las especificaciones.

La muestra de B25 y B40 presenta un punto de inflamación similar de 168,9 °C y 171 °C respectivamente, el B55 es 134,33 °C por encima del valor mínimo de la norma INEN 1489, las proporciones B70 y B85 presentan una variación de 151,83 y 168,33 respectivamente siendo las variaciones más altas con relación al valor que establece la INEN 1489.

3.1.5. Viscosidad.

A medida que se incrementa la cantidad de biodiesel en las muestras figura 34 se incrementa la viscosidad; de acuerdo a la INEN 1489 el valor mínimo es de 2,0 Cst y un máximo de 5,0 Cst.

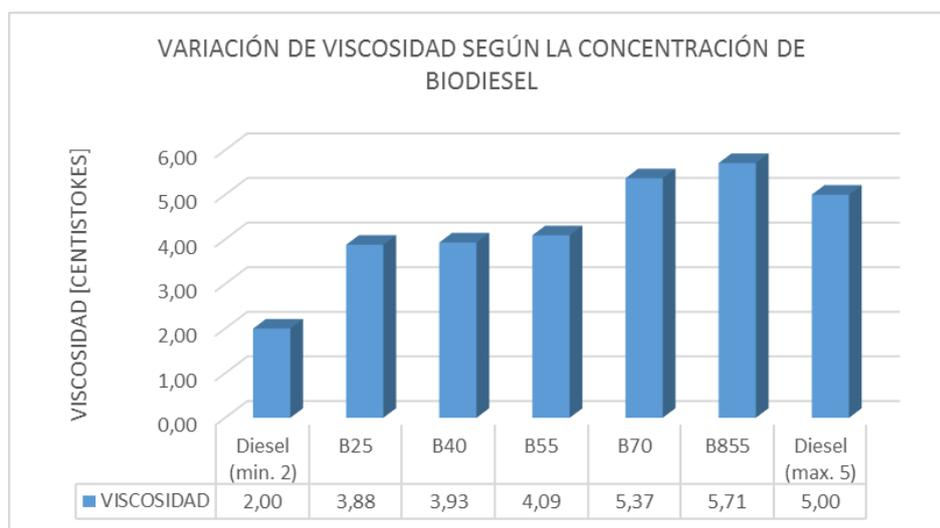


Figura 34. Viscosidad de cada mezcla

La viscosidad de las muestras B25, B40 y B55 tienen los siguientes valores 3,88 3,93 y 4,09 respectivamente las cuales se encuentran dentro del rango determinado por la norma técnica ecuatoriano; las mezclas B70 y B85 están fuera del valor máximo normado en la INEN 1489.

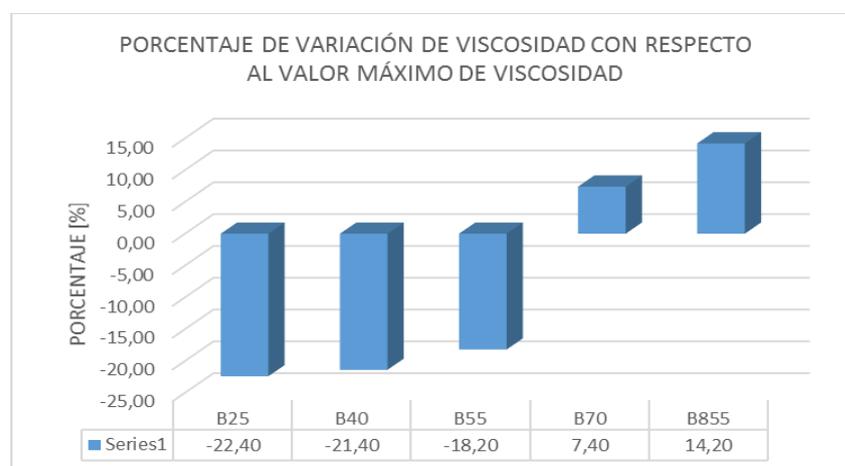


Figura 35. Variación porcentual de la viscosidad.

La muestra de B70 es un 7,40% mayor al valor máximo, la B85 tiene un 14,20% arriba del valor máximo.

3.1.6. Corrosión de lámina de cobre.

La corrosión de lámina de cobre consiste en conocer cuál es el nivel de corrosión del carburante cuando está en contacto los materiales expuestos figura 36.

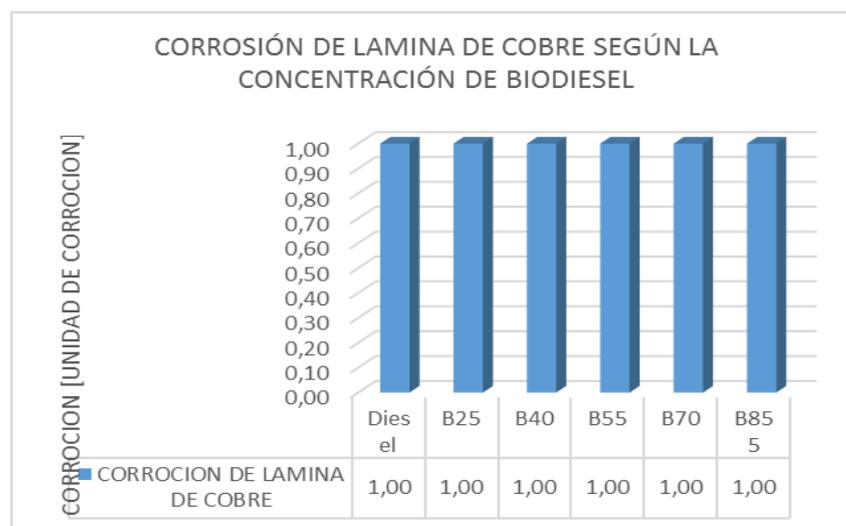


Figura 36. Corrosión de lámina de cobre de cada mezcla

No existe variación del nivel de corrosión, siendo todas estas muestras óptimas para el uso en el motor de combustión interna.

3.1.7. Agua por destilación.

En cuanto al ensayo de agua por destilación figura 37 no existe variación. Según la norma NTE INEN 1489 para diésel y la normativa ASTM D6751 para biodiesel deben tener como máximo de 0,05 %V de agua por destilación, por lo que todas las muestras cumplen este requisito.

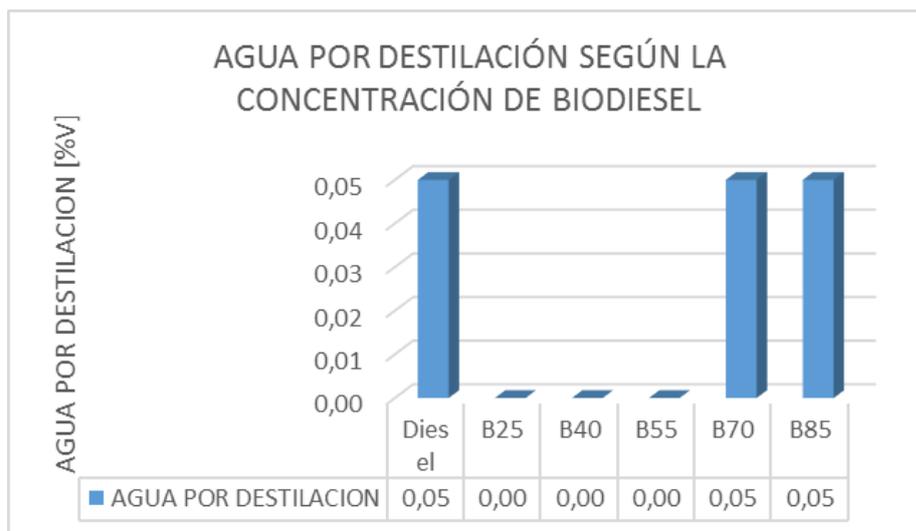


Figura 37. Agua por destilación de cada mezcla

Las muestras de B25, B40 y B55 tienen un valor de cero; B70 y B85 iguales al valor máximo establecido de 0,05 %V.

3.1.8. Contenido de azufre.

La variación del contenido de azufre figura 38 muestra un mayor contenido de azufre.

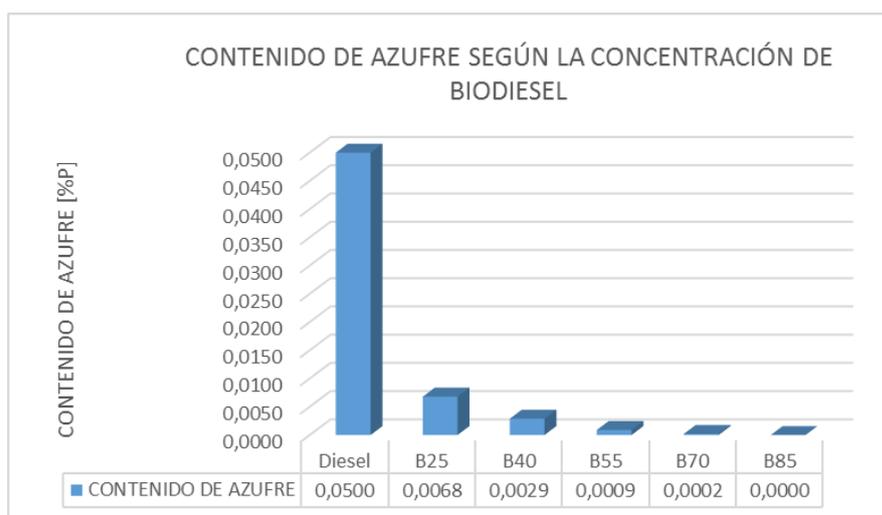


Figura 38. Contenido de azufre de cada mezcla

En la normativa ASTM D6751 indica que el biodiesel debe contener 0,0015 %P máximo de azufre, las muestras que cumplen esta exigencia son

la B55, B70 y B85; B25 y B40 superan al valor máximo establecido. Por otro lado, la norma INEN 1489 establece que el diésel debe contener como máximo un 0.05 %P de azufre, entonces todas las muestras están dentro del valor establecido por la norma nacional.

A continuación, en la figura 39 se puede observar en porcentaje la disminución del contenido de azufre de cada muestra con respecto al valor que establece la norma INEN para el diésel.

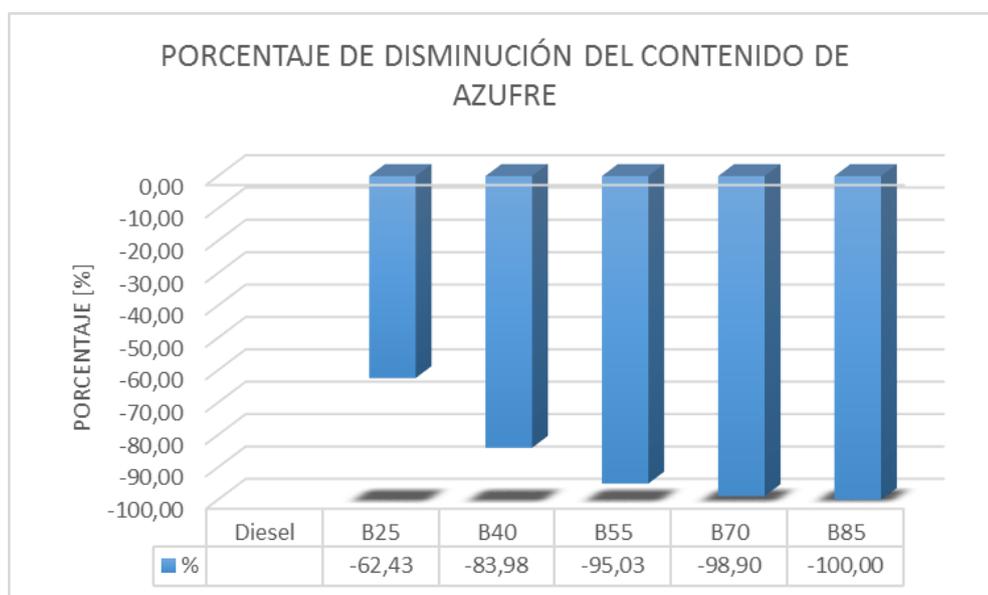


Figura 39. Porcentaje de disminución de contenido de azufre para las distintas muestras

Mientras mayor es la concentración de biodiesel disminuye considerablemente el contenido de azufre, en la muestra de B25 existe una disminución del 62,43%, la B40 disminuye en un 83,98% las muestras de B55 y B70 tienen un porcentaje de disminución similar del 95,03 y 98,90% respectivamente y la muestra de B85 no contiene azufre disminuye al 100% siendo la más óptima para evitar emisiones de dióxido de azufre.

3.1.9. Índice de Cetano calculado.

La figura 40 muestra la variación del índice de cetanos obtenidos para cada una de las muestras, pudiendo evidenciar que todas las muestras

cumplen con el mínimo de 47 cetanos que establece la norma ASTM D6751 para biocombustible y de 45 por la norma INEN 1489 para el diésel.

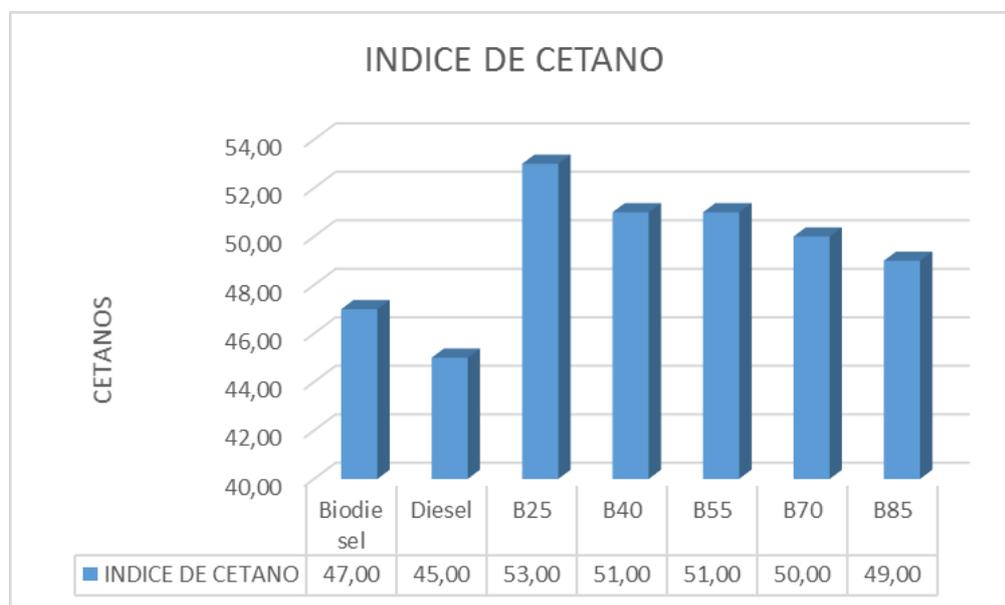


Figura 40. Índice de cetanos de cada mezcla

La muestra de B25 supera por 6 cetanos al valor que establece la norma ASTM 6751 y por 8 cetanos al valor que establece la norma INEN 1489, las concentraciones de B40 y B55 presentan un igual índice de cetanos de 51 de igual manera superando a los valores mínimos establecidos por las normas, la muestra de B70 disminuye un Cetano respecto a la muestra de B55, para la última muestra de B85 se tiene un índice de cetanos de 49 siendo la muestra con el menor índice de cetanos.

3.1.10. Punto de nube.

En la figura 40 se observa la variación del punto de nube siendo la temperatura a la cual el biodiesel forma una nube cuando es enfriado.

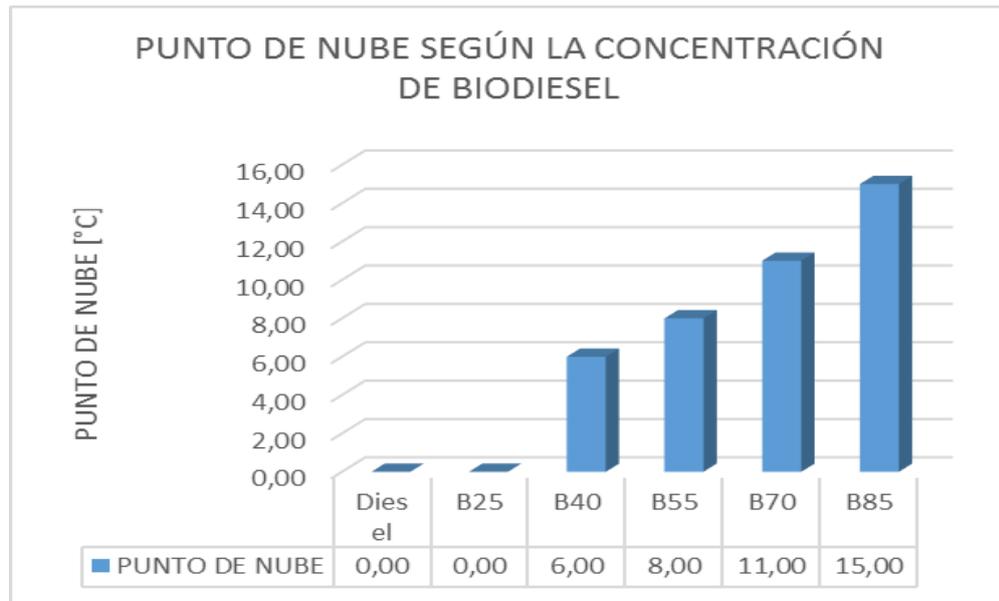


Figura 41. Punto de nube de cada mezcla

Claramente se puede evidenciar que las mezclas de diésel - biodiesel tiene un punto de nube más alto que el diésel, la muestra de B25 tiene un punto de nube igual al diésel, el resto de muestras presentan valores superiores.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS DE RENDIMIENTO MECÁNICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. Pruebas de rendimiento mecánico

4.1.1. Torque y potencia

La medición de torque y potencia se llevó a cabo en el dinamómetro de rodillos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L en el laboratorio de motores y rectificación, dando como resultado graficas en función del régimen de giro del motor generando datos de torque y potencia.

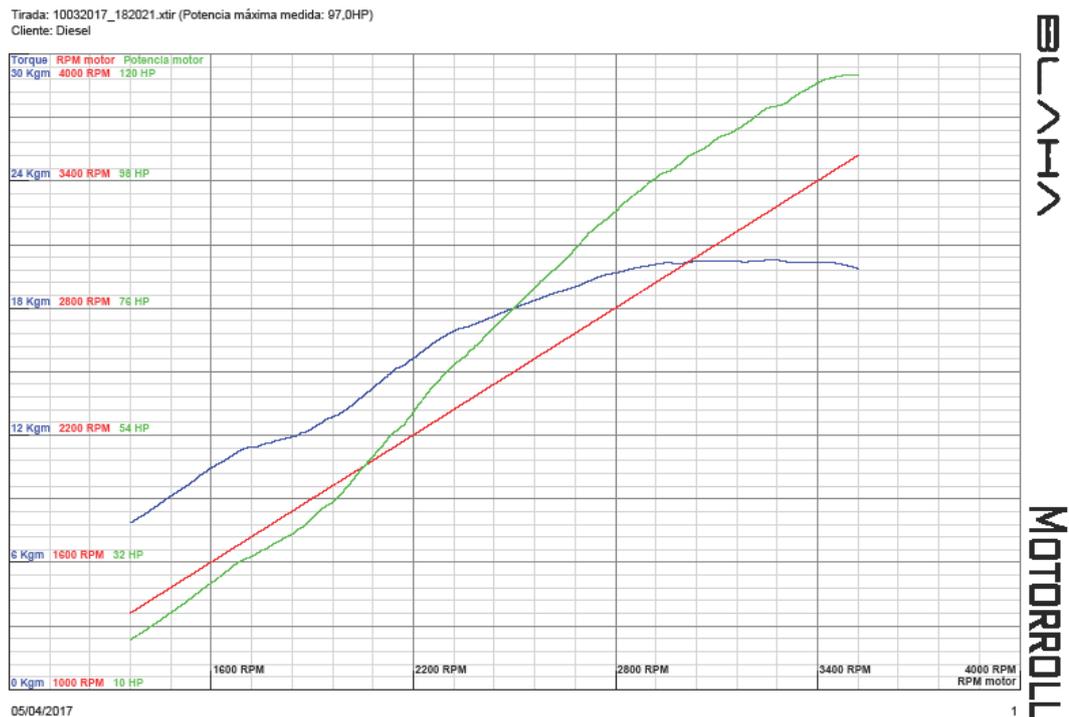


Figura 42. Curvas de rendimiento mecánico

Para realizar las pruebas se utilizó el vehículo MAZDA BT-50, con la finalidad de obtener las curvas características previo a la medición de su desempeño le realizó un mantenimiento preventivo.

En la figura 43 se describe el proceso de mantenimiento de banco de pruebas dinamométrico, así como también al vehículo antes de iniciar con la práctica.

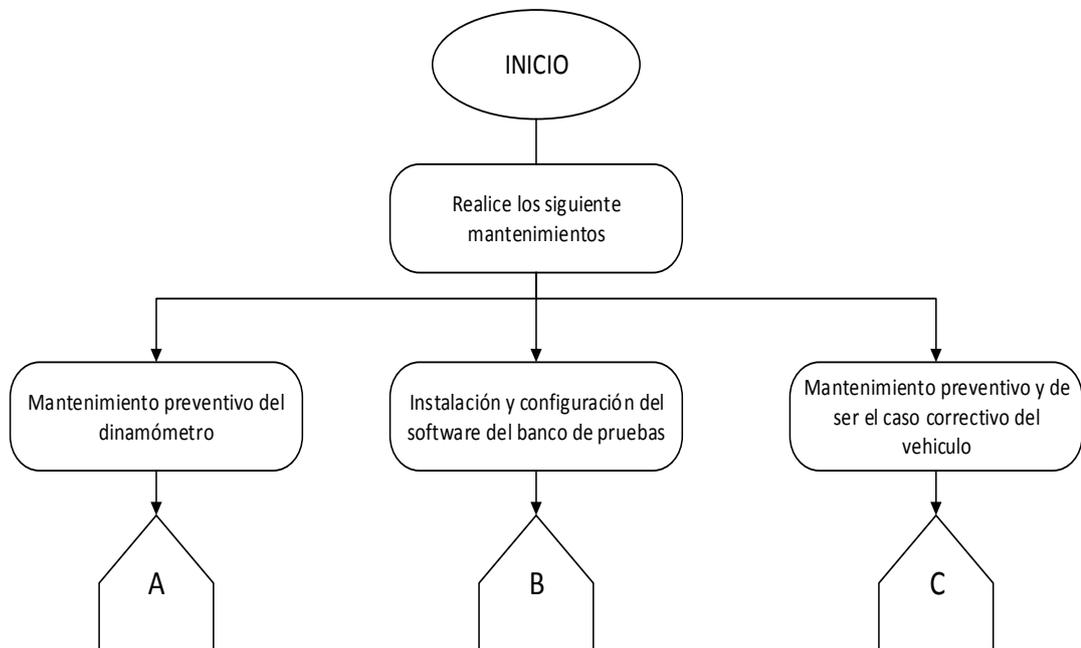


Figura 43. Mantenimientos preventivos previos a las pruebas de rendimiento.

En la figura 44 se detalla el mantenimiento preventivo realizado al dinamómetro; parte mecánica y eléctrica, la bomba de suministro de refrigerante requiere de corriente alterna de 220V, la instalación eléctrica tiene que estar libre de humedad.

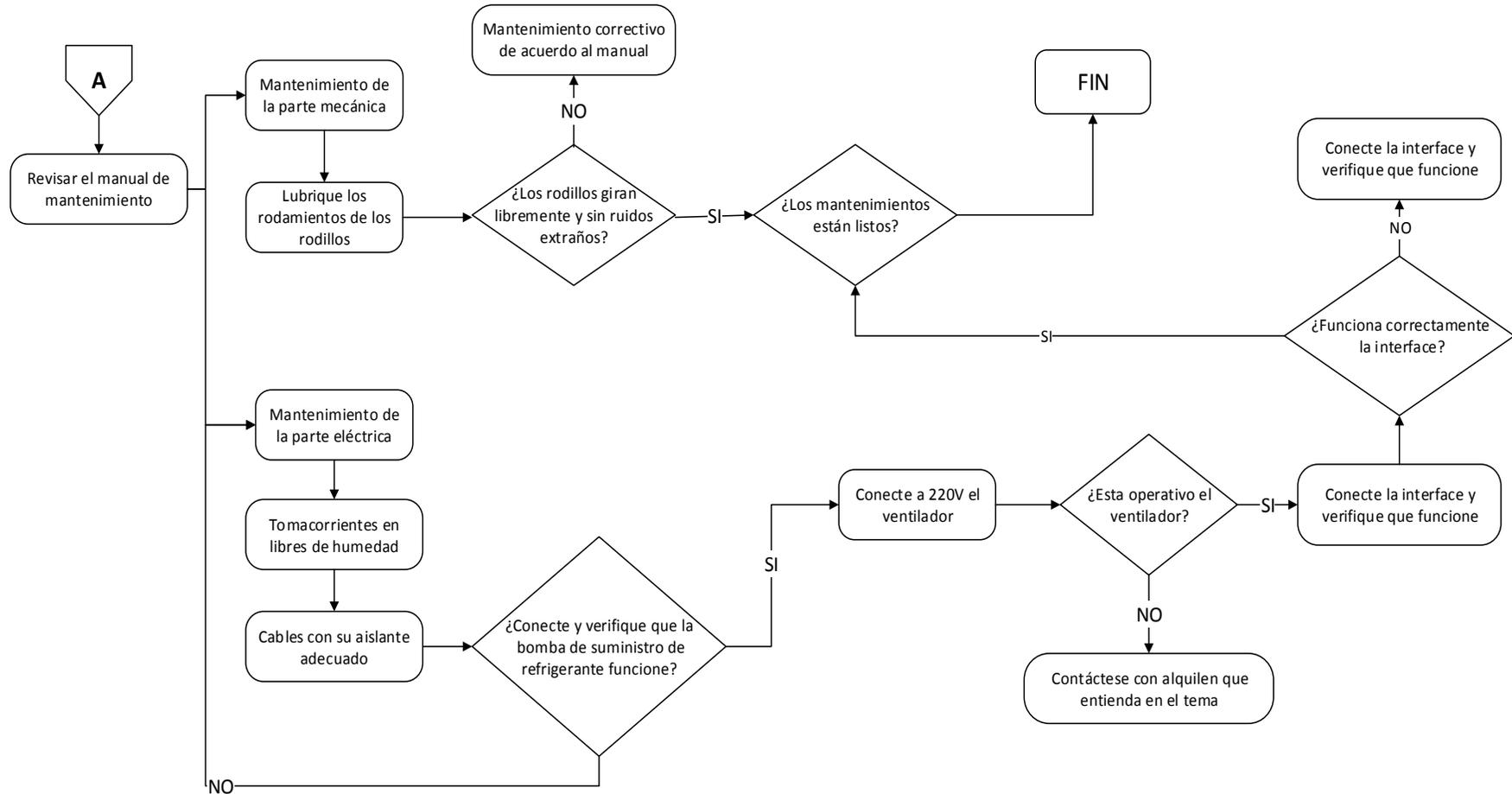


Figura 44. Proceso de mantenimiento preventivo del dinamómetro.

El proceso “B” muestra los requisitos que debe cumplir el ordenador para la instalación del software y el proceso configuración para la adquisición de datos.

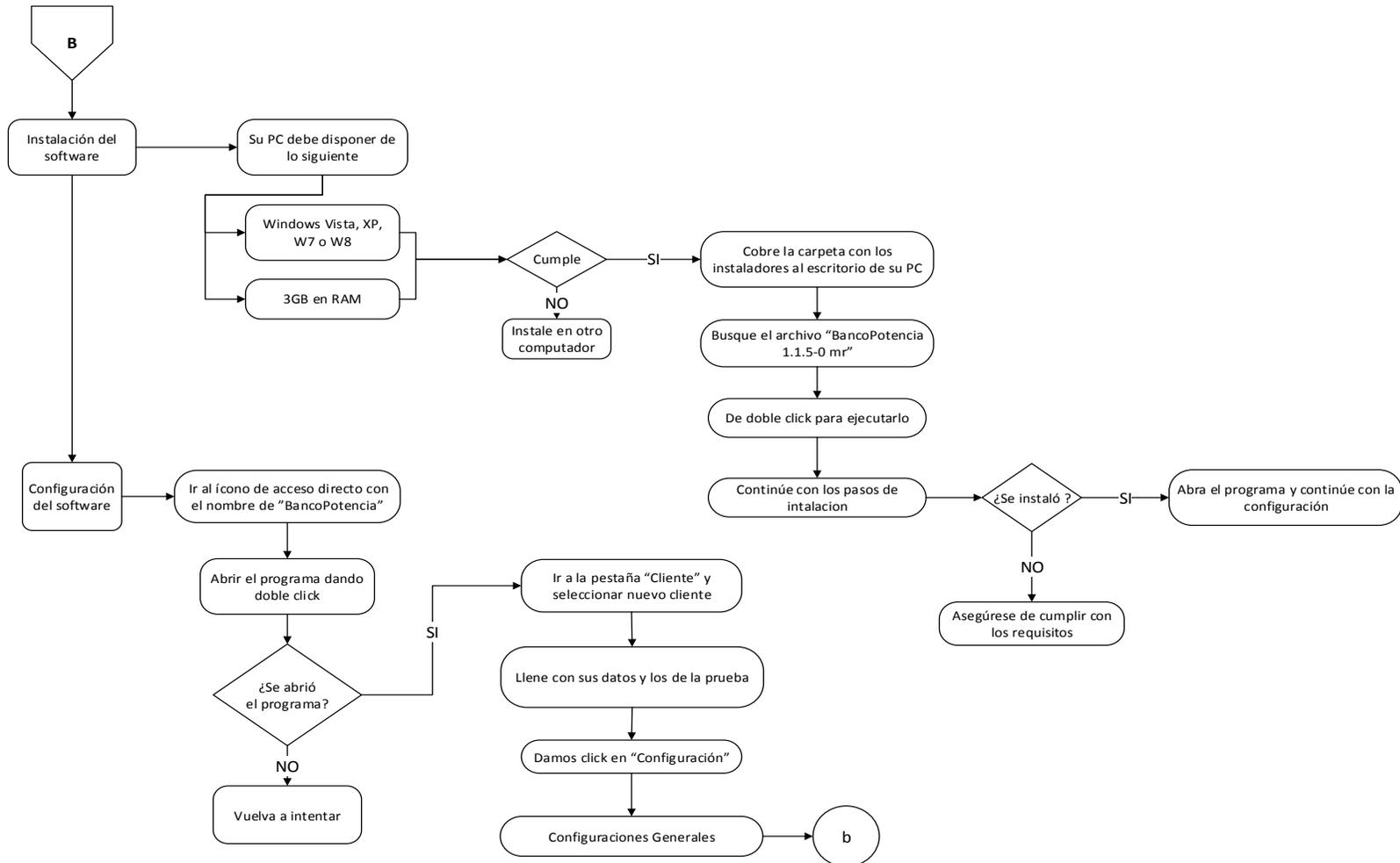


Figura 45. Parte “a” instalación y configuración del software del banco de pruebas.

Las unidades de los valores de rendimiento son importantes para llevar a cabo una comparación de acuerdo a valores establecidos por el fabricante y resultados obtenidos con las muestras, el siguiente diagrama le enseña cómo hacerlo.

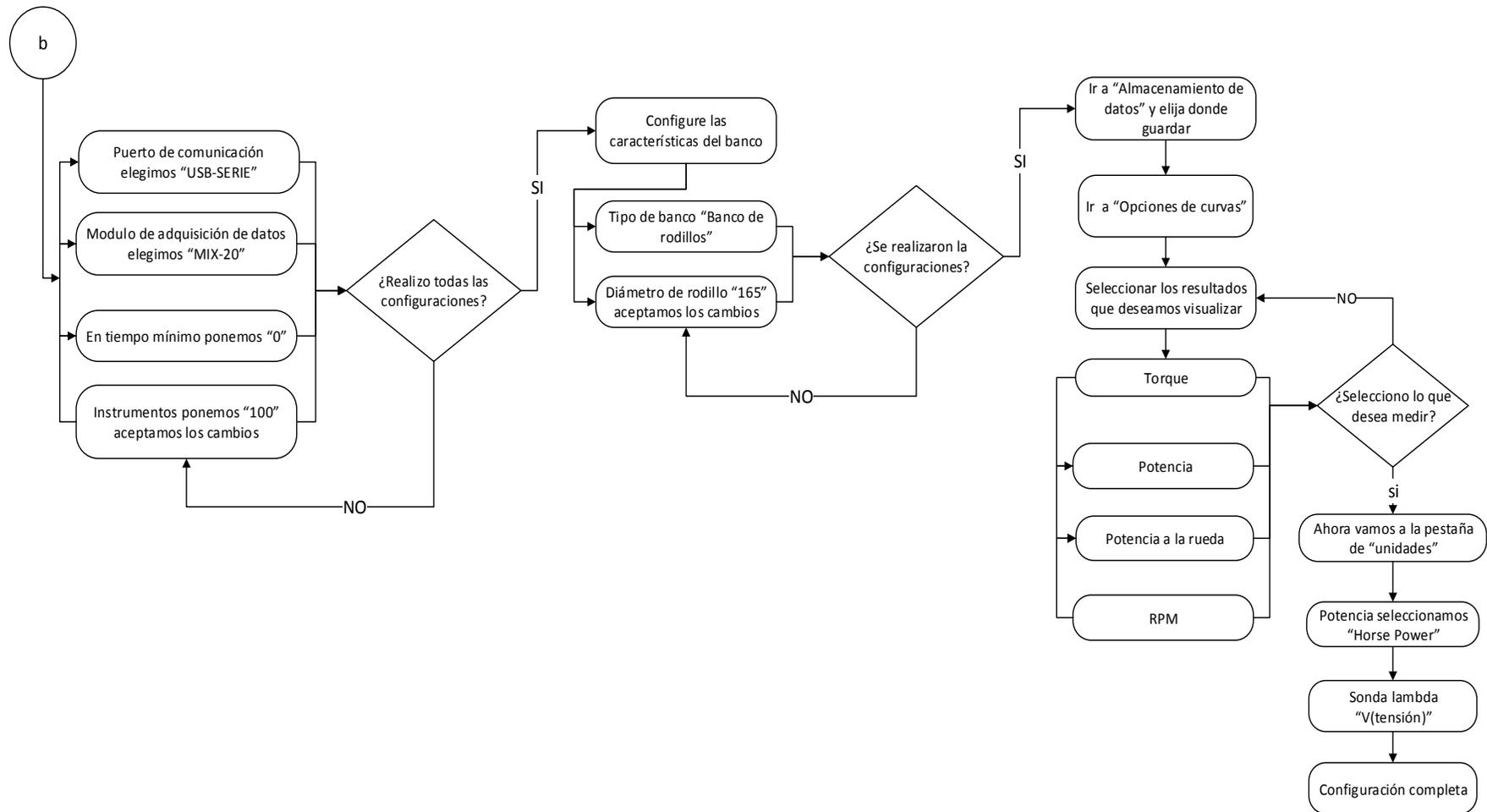


Figura 46. Parte “b” instalación y configuración del software del banco de pruebas.

Para tener una lectura correcta de los valores de rendimiento, es necesario que el vehículo este en buenas condiciones de funcionamiento, por lo tanto, a continuación, la figura 47 detalla el proceso de mantenimiento del vehículo.

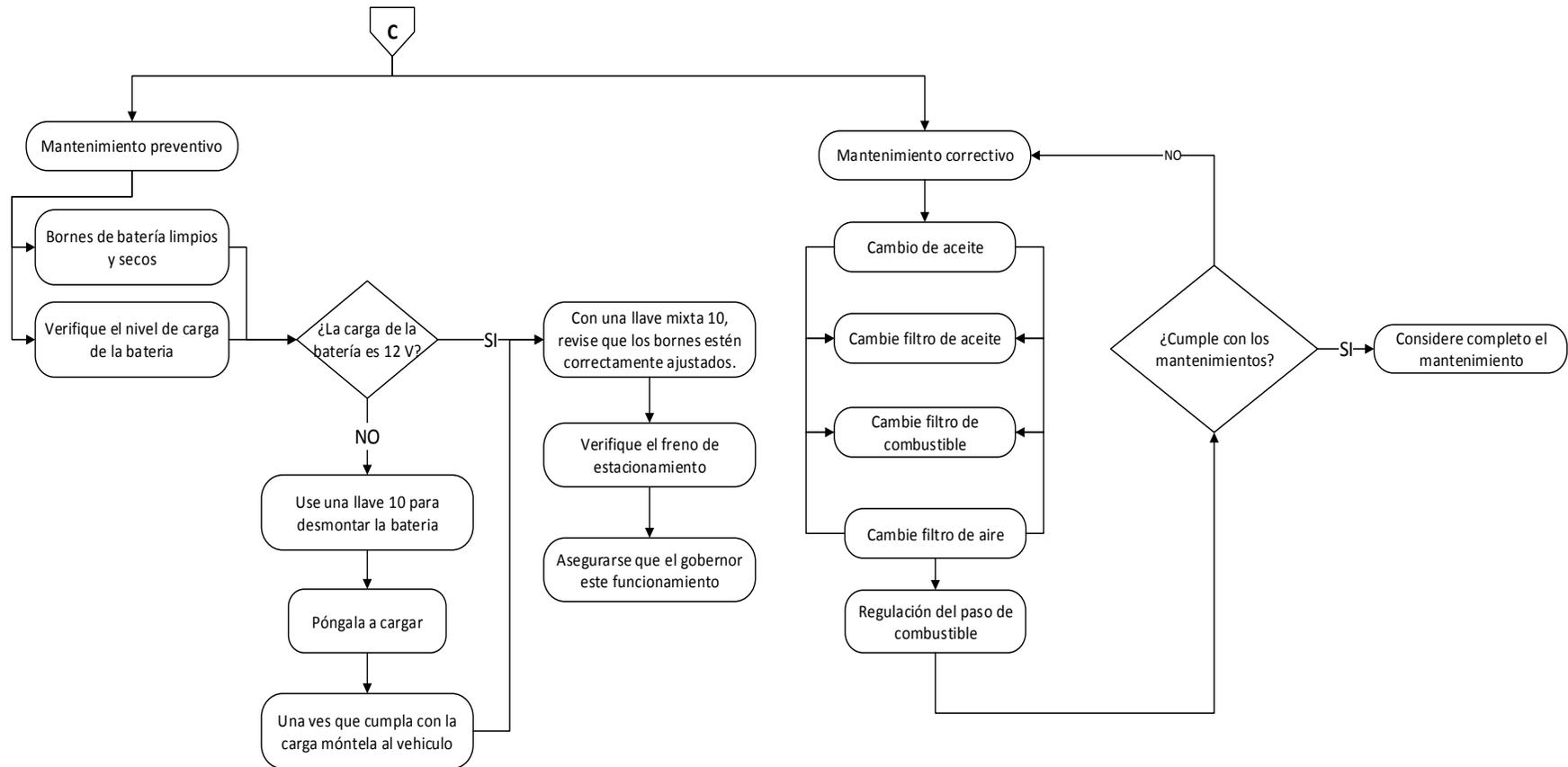


Figura 47. Proceso de mantenimiento del vehículo.

A continuación, la figura 48 detalla el proceso de medición de torque y potencia cuando el motor es alimentado con las mezclas, hay que tomar en cuenta la sincronización correcta entre vehículo, banco y software para lo cual se recomienda seguir los pasos detallados a continuación.

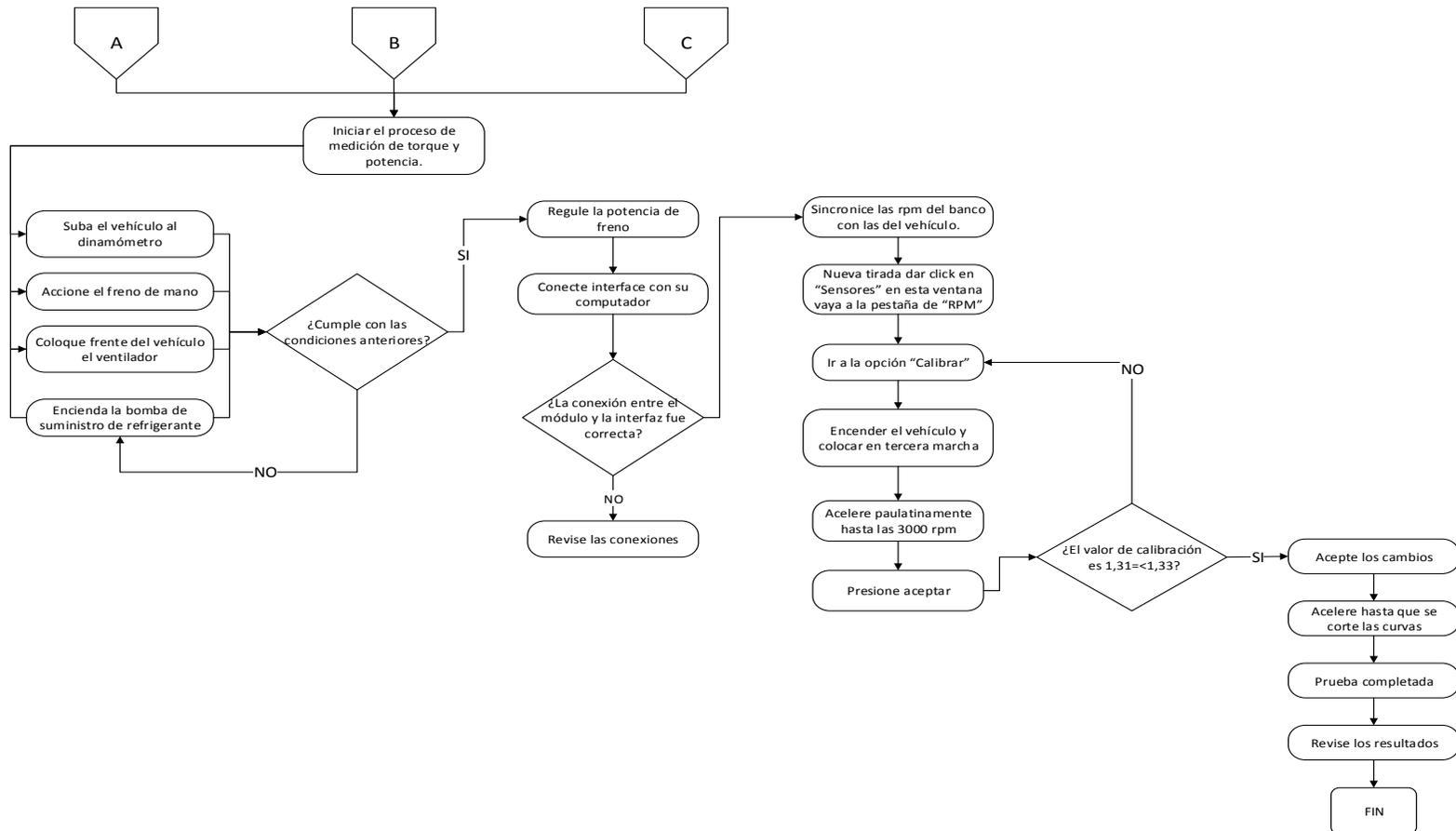


Figura 48. Proceso de medición de torque y potencia con distintas mezclas.

La tabla 25 muestra el valor promedio de potencia y el torque donde indudablemente el diésel comercial lo supera a excepción de la muestra del B40 que muestra un Torque superior a todas las muestras incluyendo a la del mismo diésel.

Tabla 25
Valores de torque y potencia

| Valores de Torque y potencia | | | | |
|------------------------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Muestras | Valores de manual | | Valores medidos | |
| | Potencia (KW) | Torque (Nm) | Potencia (Hp) | Torque (Nm) |
| Diésel Premium | 105 | 330 | 137,5 | 249,51 |
| B25 | | | 108,3 | 180,39 |
| B40 | | | 115,4 | 263,04 |
| B55 | -- | -- | 100,7 | 173,82 |
| B70 | | | 105,9 | 186,47 |
| B85 | | | 84,2 | 152,45 |

4.1.2. Consumo de combustible.

El consumo de combustible se realizó en la camioneta MAZDA BT-50 doble cabina, la prueba se llevó a cabo en una ruta con distintos tipos de caminos y un recorrido de 6 Km por mezcla.



Figura 49. Consumo de combustible

El procedimiento para el desarrollo de las pruebas se detalla a continuación en los siguientes diagramas de flujo figura 50.

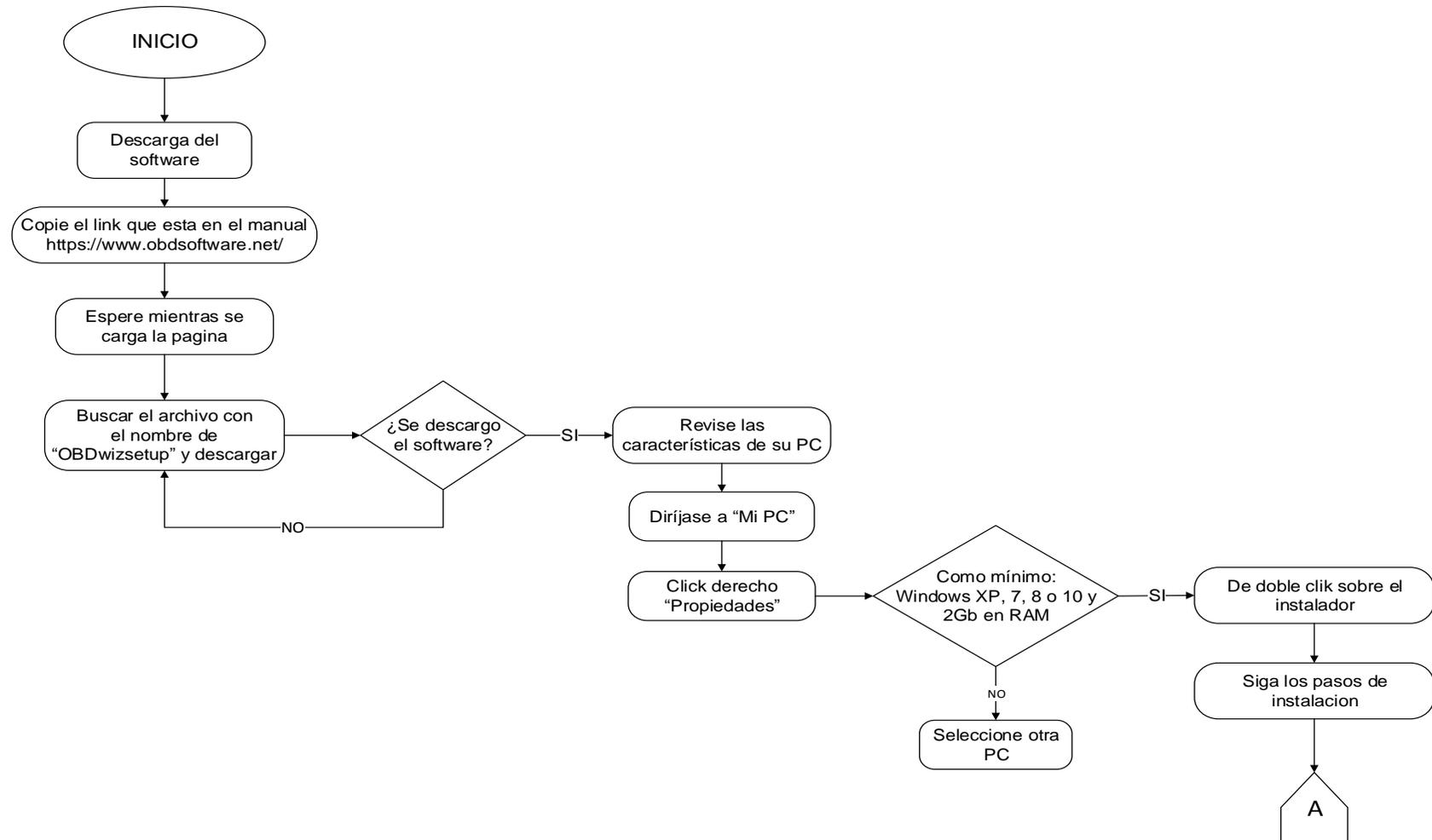


Figura 50. Descarga del software y requisitos de la PC previo a la instalación.

El proceso “A” detalla los pasos que debe seguir para la configuración del software: método de cálculo de consumo, cilindrada del motor y las unidades de medición para finalmente establecer comunicación con la ECU del vehículo, para iniciar la prueba.

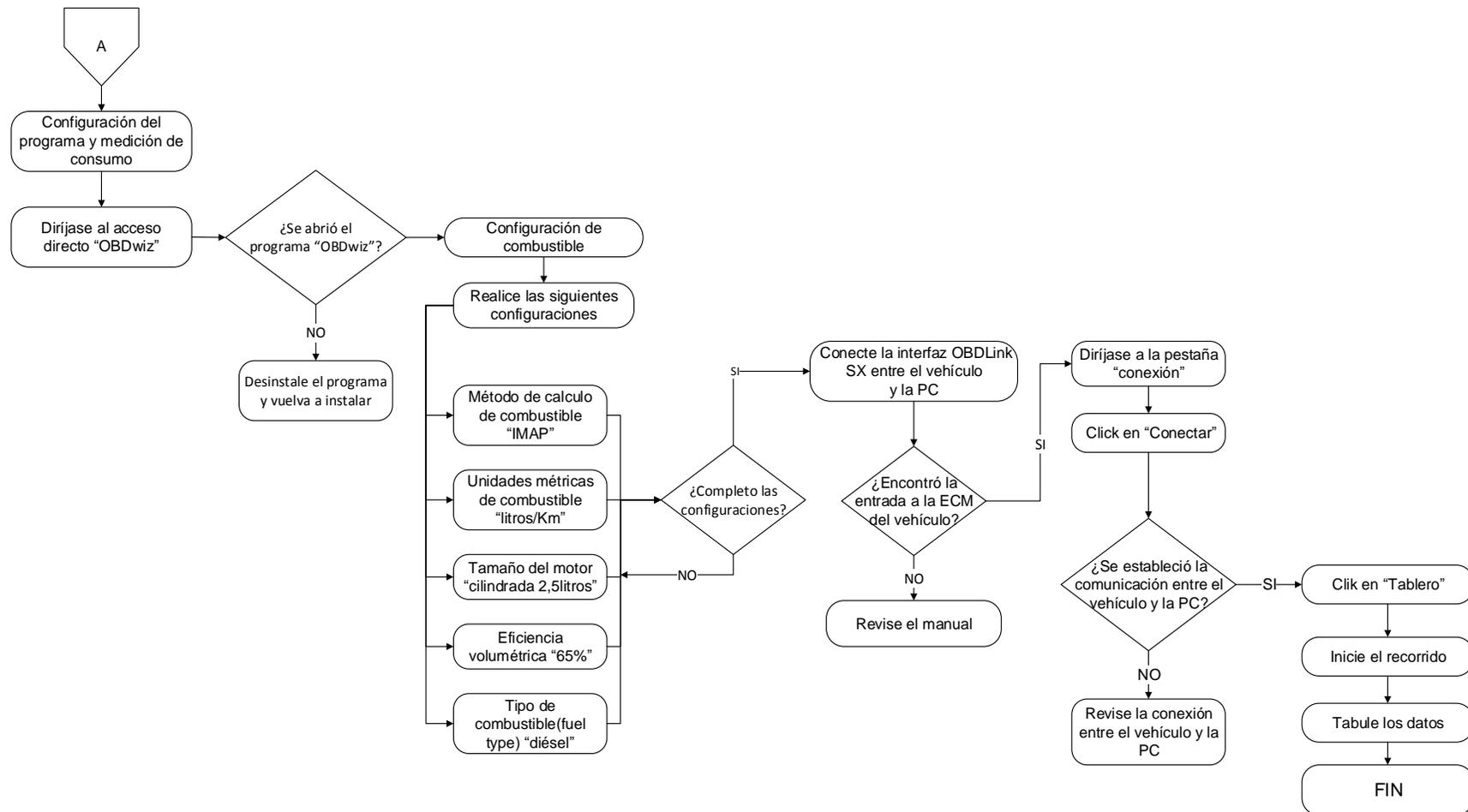


Figura 51. Configuración del software y medición del consumo de combustible.

Una vez realizado las pruebas de ruta con cada una de las muestras y tabulado los valores de consumo tabla 26, utilizando las ecuaciones (5) y (6) que permiten calcular el consumo específico de combustible teniendo como datos de calor suministrado por cada muestra poder calorífico “Q1”, el rendimiento térmico “nt” y la constante “pf” que se refiere a la potencia al freno.

Tabla 26
Resumen del consumo de combustible.

| Consumo de combustible a distintos porcentajes de biodiesel | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Medido | | | Calculado | | | | | |
| Muestras | Tiempo (gal/h) | Kilometraje (6Km) (galones) | Cte. | Datos | Ecuación (20) | Consumo másico (kg/h) | Ecuación(21) | Consumo específico ($\frac{Kg}{KWh}$) |
| Diésel Premium | 0,48 | 0,20 | Pf = 95 | $Q_1 = 21,23$ $n_t = 53,79$ | $mc = \frac{Pf}{Q_1 n_t}$ | 14,45 | $CEC = \frac{mc}{Pf}$ | 0,146 |
| B25 | 0,62 | 0,39 | | $Q_1 = 32,45$ $n_t = 29,4$ | | 26,43 | | 0,27 |
| B40 | 0,65 | 0,32 | | $Q_1 = 26,25$ $n_t = 42,88$ | | 18,12 | | 0,183 |
| B55 | 1,35 | 0,33 | | $Q_1 = 32,94$ $n_t = 28,33$ | | 27,42 | | 0,277 |
| B70 | 1,81 | 0,71 | | $Q_1 = 31,99$ $n_t = 30,39$ | | 25,56 | | 0,258 |
| B85 | 3,50 | 0,68 | | $Q_1 = 34,54$ $n_t = 24,85$ | | 31,27 | | 0,315 |

Una de las concentraciones que mayor consumo de combustible tubo es la de B70, dando como resultado un consumo de 0,71 galones por 6Km recorridos, en cambio la concentración de B40 recorriendo la misma distancia al igual que las condiciones de carretera muestra un consumo de 0,32 galones, siendo la concentración de biocombustible con mejores resultados en esta prueba siendo casi igualada por la concentración de B55.

4.1.3. Opacidad.

La prueba fue ejecutada en los laboratorios de mecánica de patio con la ayuda del Analizador de opacidad Cartek en la camioneta MAZDA BT-50 midiendo el porcentaje de opacidad con cada una de las muestras.

| | | | | | | |
|----------------------------------|------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|-------|
| | | ESPE | | Email: | | |
| | | LATACUNGA Tel: 0000000 | | | | |
| DATOS DEL CLIENTE | | | DATOS DEL VEHICULO | | | |
| NOMBRE: | MAURICIO | | PLACA: | XEC1018 | MODELO: | 2010 |
| APELLIDO: | SOLEDISPA | | MARCA: | MAZDA | LINEA: | BT50 |
| IDENTIFICACION: | 1721080693 | | NUMERO DE MOTOR: | | | |
| | | | VIN: | 8LFUNY0WC9N000332 | DIAM. EXHOSTO: | 51.00 |
| PRUEBA ENSAYO: | 0.56 % | DISPOSITIVO DE MEDICION | | 8181 | | |
| PRUEBA 1: | 0.89 % | RPM RALENTI | | 764 RPM | | |
| PRUEBA 2: | 0.92 % | RPM GOBERNADA | | 4509 RPM | | |
| PRUEBA 3: | 1.08 % | TEMPERATURA DE OPACIDAD | | 0 ° | | |
| OPACIDAD: | 0.96 % | NORMA | | | | |
| | | OPACIDAD LIMITE: | | 15.00 | % | |
| FECHA Y HORA DE LA PRUEBA | | | MOTIVO: | | | |
| 4/19/2017 09:20:30 | | | | | | |
| | | | RESULTADO: APROBADA | | | |
| OPERARIO RESPONSABLE: | | | _____ | | | |
| | | | QUIROZ | | | |

Figura 52. Porcentaje de opacidad con diésel Premium

El procedimiento para medir el nivel de opacidad se detalla a continuación mediante un diagrama de bloque, los pasos que debe seguir y requisitos que debe cumplir figura 53.

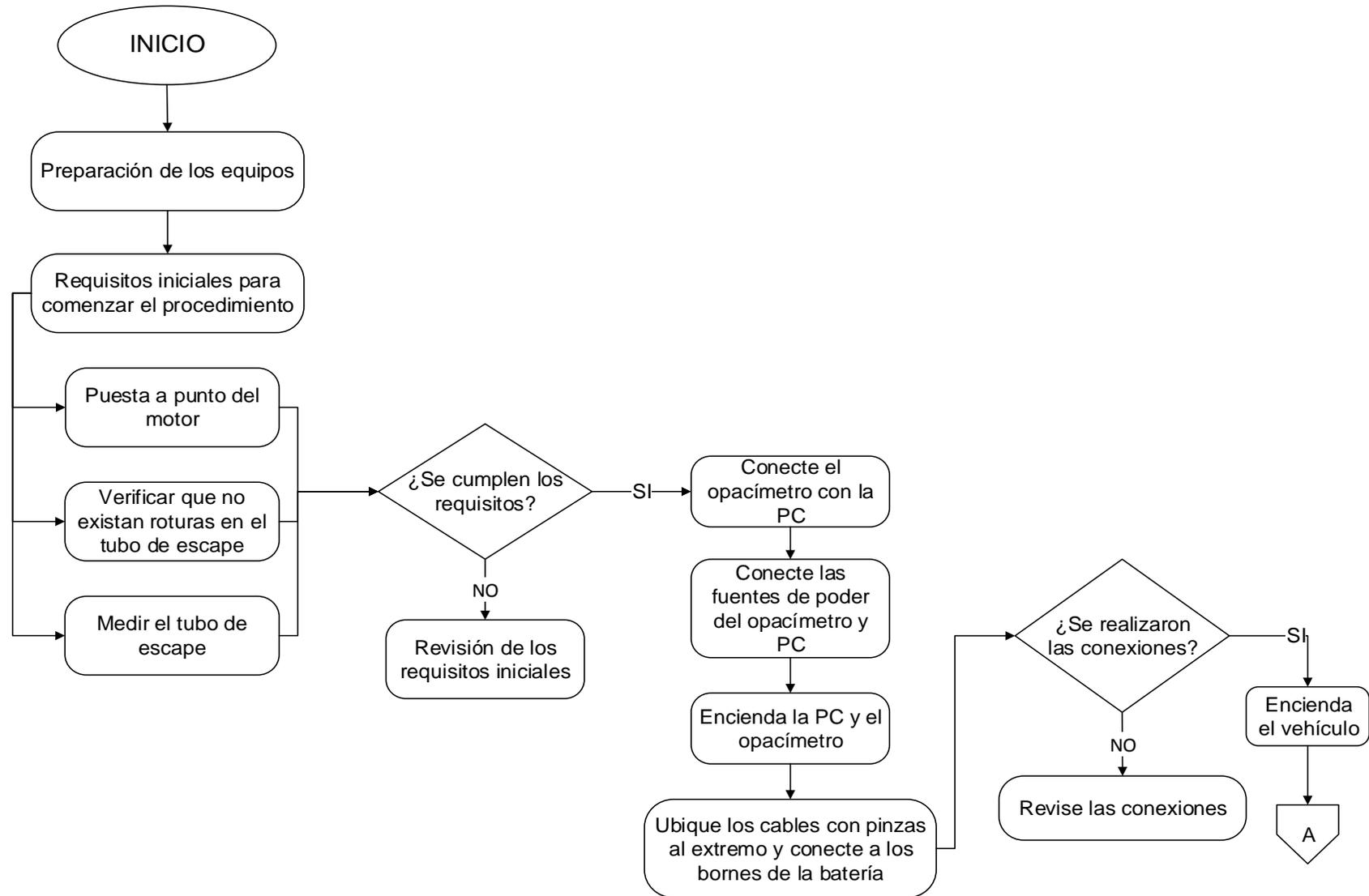


Figura 53. Proceso de conexión y puesta a punto del vehículo.

La figura 54 muestra los pasos para el ingreso de datos del vehículo previo a medir el porcentaje de opacidad, cabe recalcar que, si dicho vehículo ya consta en la base de datos, busque la placa correspondiente y automáticamente se cargara los datos requeridos.

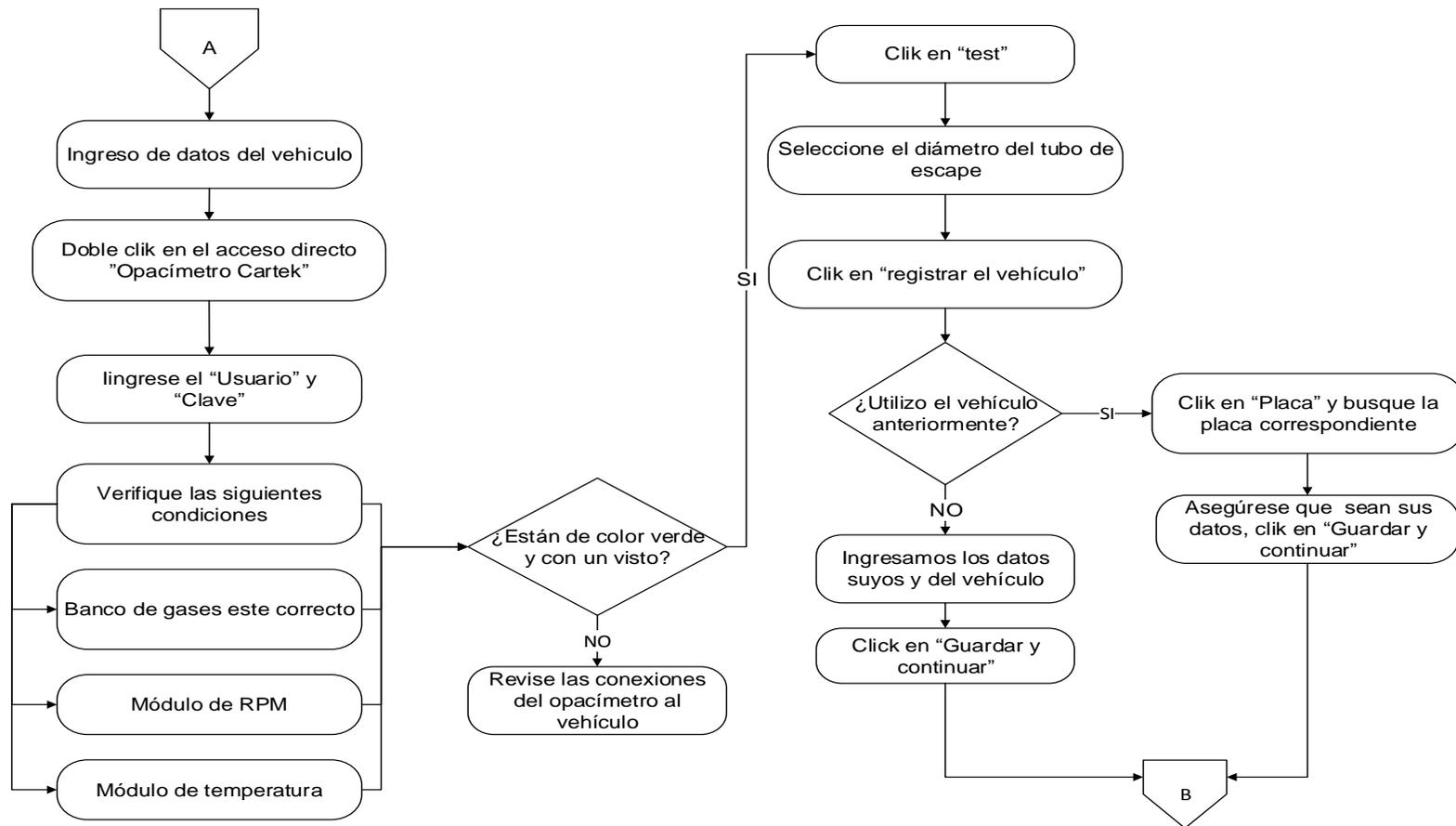


Figura 54. Proceso ingreso de datos del vehículo.

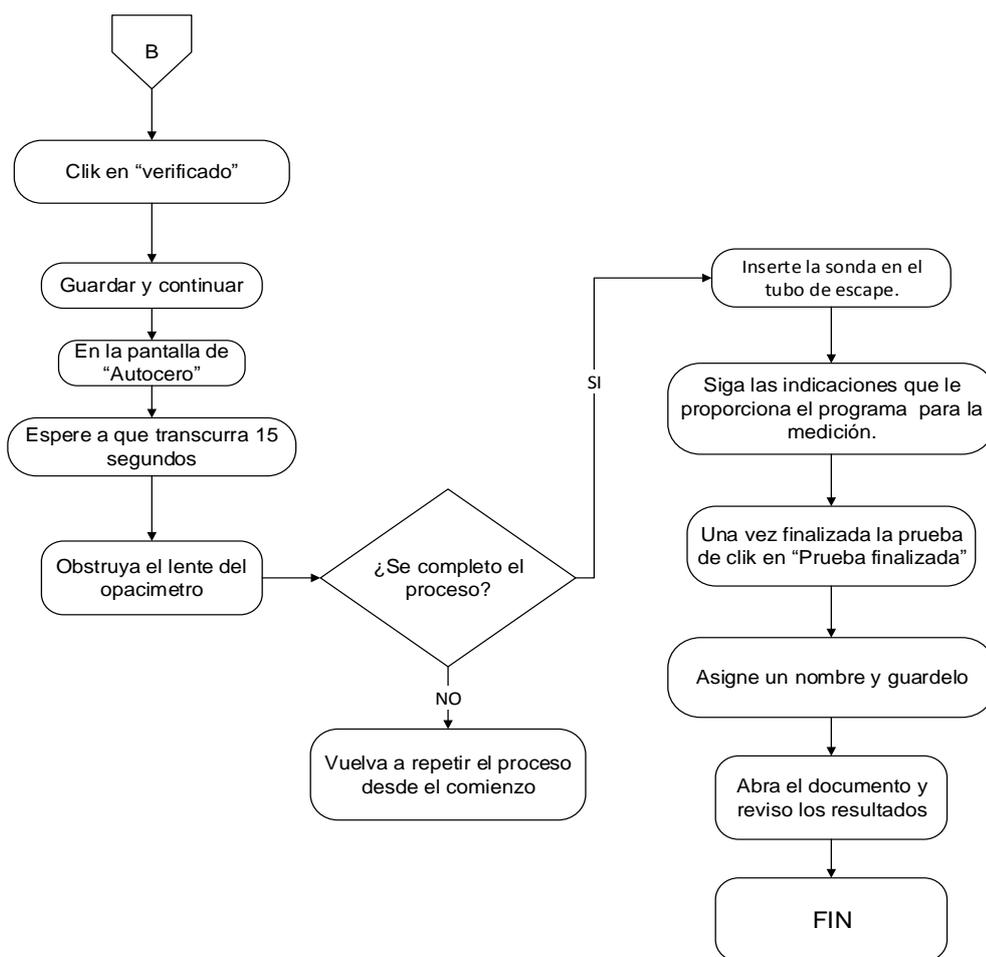


Figura 55. Proceso de medición de opacidad.

Una vez concluido con la medición del nivel de opacidad se organiza los resultados adquiridos en la tabla 27 para evidenciar de una manera más clara los resultados

Tabla 27
Valores de la prueba de opacidad

| Variaciones de opacidad según la concentración de biodiesel | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Muestras | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Promedio |
| Diésel Premium | 1,02 | 0,87 | 0,96 | 0,95 |
| B25 | 0,76 | 0,88 | 0,80 | 0,81 |
| B40 | 0,63 | 0,63 | 0,65 | 0,64 |
| B55 | 0,42 | 0,61 | 0,56 | 0,53 |
| B70 | 0,39 | 0,38 | 0,44 | 0,40 |
| B85 | 0,23 | 0,23 | 0,32 | 0,26 |

De acuerdo a los datos de la variación de opacidad la muestra de B85 es la de menor opacidad, reduciendo en un 75% de opacidad con respecto al diésel comercial

4.2. Matematización de cálculos mecánicos y térmicos.

4.2.1. Parámetros de funcionamiento del motor.

Después de medir el desempeño mecánico que tuvo la camioneta Mazda BT-50, es importante calcular la eficiencia de los parámetros de funcionamiento, la tabla 28 presenta las formulas datos utilizados para determinar dichos valores de rendimiento.

Tabla 28
Cálculo de parámetros de funcionamiento del motor

| Parámetros de funcionamiento del motor | | | | | | |
|--|----------|---------------------|-----------------|---|--------------------|-----------------|
| Parámetro | Símbolo | Datos | Unidad | Formula | Valor de parámetro | Unidad |
| Presión media efectiva | P_{me} | $T = 249,51$ | $N.m$ | $P_{me} = \frac{T}{Vh} * i$ | 16,28 | Bar |
| | | $Vh=0,00065$ | m^3 | | | |
| | | $i=4$ | | | | |
| Potencia efectiva | N_e | $P_{me} = 15,96864$ | Pa | $N_e = \frac{2P_{me}.Vh.n.i}{10^3.\tau}$ | 11,64 | KW |
| | | $Vh = 0,000625$ | m^3 | | | |
| | | $n = 58,33$ | rps | | | |
| | | $i = 4$ | | | | |
| | | $\tau = 4$ | | | | |
| Rendimiento térmico | n_t | $P_{me} = 15,96864$ | $\frac{N}{m^2}$ | $n_t = P_{me} \frac{(\epsilon - 1)(k - 1)}{Pa\epsilon^k k(\rho - 1)}$ | 40,67 | % |
| | | $\epsilon = 19,8$ | | | | |
| | | $k = 1,41$ | | | | |
| | | $Pa = 102811$ | $\frac{N}{m^2}$ | | | |
| | | $\rho = 4,1$ | | | | |
| Calor extraído | Q_2 | $Q_1 = 0,538$ | $\frac{MJ}{Kg}$ | $Q_2 = (1 - n_t)Q_1$ | 27,27 | $\frac{MJ}{Kg}$ |
| | | $n_t = 0,538$ | | | | |

La tabla 29 presenta los valores calculados de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor con cada una de las muestras.

Tabla 29
Parámetros de funcionamiento calculados del motor.

| Resumen de parámetros con distintos porcentajes de biodiesel | | | | | | |
|---|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Parámetros | Diésel | B25 | B40 | B55 | B70 | B85 |
| Presión media efectiva (bar) | 16,28 | 11,77 | 17,17 | 11,34 | 12,17 | 9,95 |
| Potencia efectiva(KW) | 11,64 | 8,42 | 12,28 | 8,11 | 8,70 | 7,11 |
| Rendimiento Térmico(%) | 40,67 | 29,41 | 42,88 | 28,34 | 30,40 | 24,85 |
| Calor suministrado(MJ/Kg) | 45,92 | 67,03 | 65,69 | 63,68 | 60,55 | 57,42 |
| Calor extraído(MJ/Kg) | 27,27 | 32,45 | 26,25 | 32,94 | 31,99 | 34,54 |
| Consumo másico de combustible(Kg/h) | 19,10 | 26,43 | 18,12 | 27,42 | 25,56 | 31,27 |
| Consumo específico de combustible(Kg/KW.h) | 0,19 | 0,27 | 0,18 | 0,28 | 0,26 | 0,32 |

4.3. Análisis de resultados

Tabla 30
Resumen de parámetros de funcionamiento medidos del motor.

| Parámetros de funcionamiento del vehículo con las muestras de biocombustible | | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Muestras | Valores de manual | | Valores medidos | | Consumo de combustible | | Opacidad |
| | Potencia (KW) | Torque (Nm) | Potencia (hp) | Torque (Nm) | Tiempo (gal/h) | Kilometraje (6Km) (galones) | |
| Diésel | 105 | 330 | 137,5 | 249,51 | 0,48 | 0.20 | 0,95 |
| B25 | | | 108,3 | 180,39 | 0,62 | 0.39 | 0,81 |
| B40 | | | 115,4 | 263,04 | 0,65 | 0.32 | 0,64 |
| B55 | -- | -- | 100,7 | 173,82 | 1,35 | 0.33 | 0,53 |
| B70 | | | 105,9 | 186,47 | 1,81 | 0.71 | 0,40 |
| B85 | | | 84,2 | 152,45 | 3,50 | 0.68 | 0,26 |

4.3.1. Toque y potencia

La figura 56 se presenta los valores de potencia y torque medidos cuando el vehículo es alimentado con diésel Premium, B25, B40, B55, B70 y B85, teniendo en cuenta que el máximo torque entrega a 1800 rpm y la máxima potencia entrega a 3500 rpm.

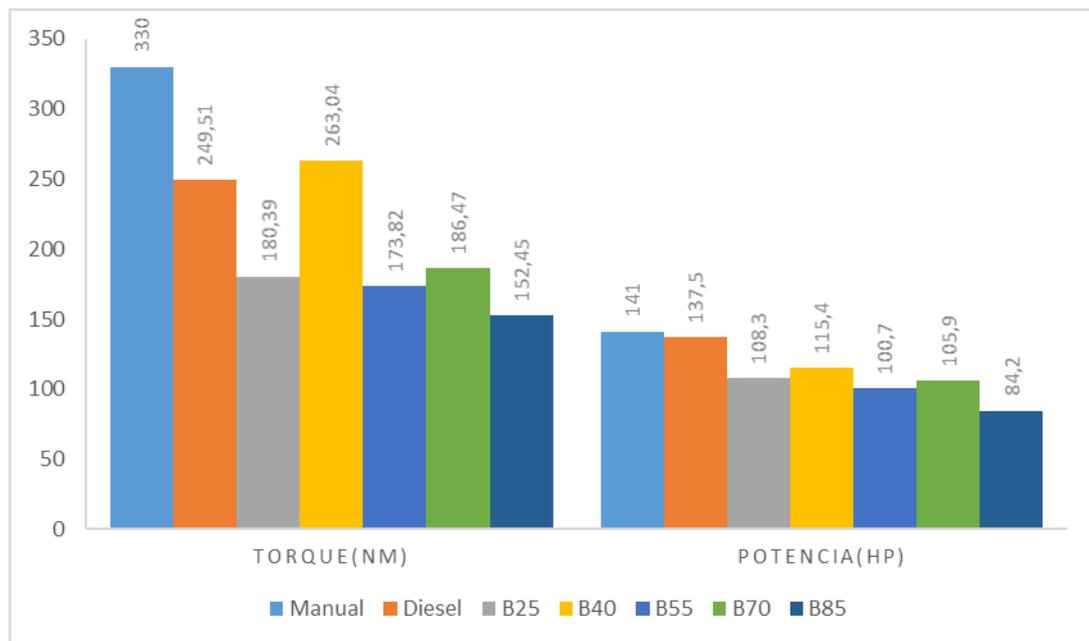


Figura 56. Torque y potencia de cada mezcla

El torque que el motor alcanza al suministrar diésel es de 249.51 Nm a 1800 rpm, y una potencia de 137.5 Hp a 3500 rpm un valor muy cercano al valor del manual que es de 141 HP al mismo régimen de giro.

Al suministrar la muestra de B40 al motor este alcanza un torque de 263,04 Nm, superando al torque obtenido con el diésel, pero en cuanto a la potencia indiscutiblemente el diésel lo supera por 21.8 HP.

Las muestras de B25, 55 y B70 desarrollan una potencia similar de 108.3, 100.7 y 105.9 HP respectivamente siendo las muestras con un desempeño muy cercano al de B40, mientras que la mezcla diésel –

biodiésel presenta una disminución de 53,3 HP con respecto al rendimiento con el diésel.

A continuación, en la figura 57 se aprecia la pérdida y ganancia de torque y potencia en porcentajes, de acuerdo a cada una de las muestras, como ya se analizó anteriormente la única que tiene un aumento de potencia es la de B40.

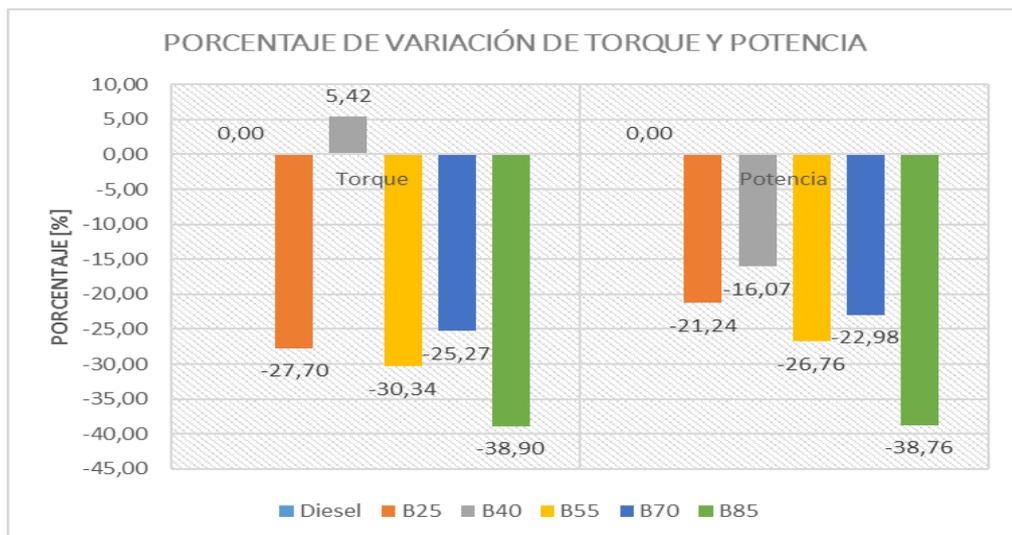


Figura 57. Variación de torque y potencia según la concentración de biodiésel

La muestra de B85 es la que más decae en el rendimiento de torque y potencia, claramente se puede evidenciar un decaimiento de 38.90% en torque y un 38.76% en potencia esto con referencia al diésel.

Mientras que las muestras de B25, B55 y B70 presentan una disminución similar y no tan abrupta como sucede con la muestra de B85.

Por otra parte, hay que destacar el rendimiento que se tuvo con la muestra de B40 la cual presenta un incremento del 5.42% en torque con relación al diésel, también esta muestra presenta una pérdida del 16.07% en la potencia siendo la menor de las pérdidas.

4.3.2. Consumo de combustible.

El consumo de combustible uno de los parámetros claves para llevar a cabo una selección adecuada de cuál es la mejor mezcla para utilizar en el motor, a continuación, la figura 58 presenta las variaciones de consumo de combustible según la concentración de biocombustible.

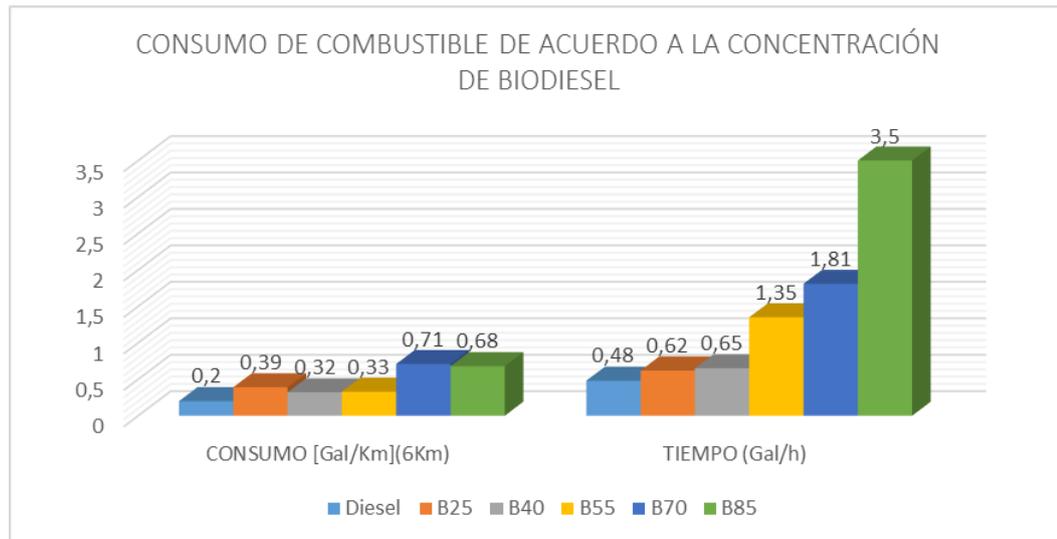


Figura 58. Consumo de combustible por mezcla

Todas las muestras presentan un incremento en el consumo de combustible con respecto al diésel, por lo que se necesita mayor cantidad de combustible para alcanzar prestaciones similares a las que ofrece el motor cuando éste es alimentado con diésel.

El consumo de combustible con diésel es de 0.2 galones por 6 Km recorridos, mientras que el consumo con las muestras de B40 y B55 es de 0.32 y 0.33 galones respectivamente siendo estas la muestras con el menor consumo entre las 5, consumiendo 0.12 galones más con respecto al diésel.

El resultado del consumo en ralentí es proporcional a la concentración de biodiesel, la muestra B25 es la que menor consumo presenta con respecto al diésel.

4.3.3. Opacidad.

El opacímetro CARTEK determina el coeficiente de absorción luminosa (k) de los gases de escape en los motores diésel y deberá ser transformado a porcentaje de opacidad. Al igual que en las pruebas de rendimiento, se realiza las mezclas a los porcentajes (B24, B40, B55, B70, B85 y diésel al 100%).

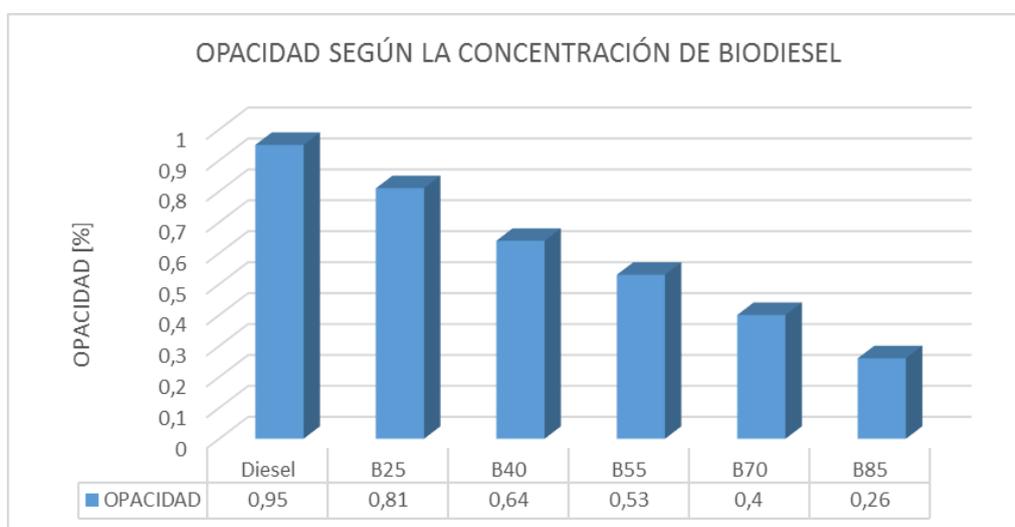


Figura 59. Porcentaje de opacidad por mezcla

Según la norma NTE INEN 2 207:2002 el porcentaje de opacidad para vehículos con motor diésel debe ser como máximo de 50% el nivel de opacidad, siendo así todas las muestras aptas para utilizarlo como combustible alternativo.

A medida que la concentración de biodiesel aumenta el nivel de opacidad disminuye, donde sobresale la muestra de B85 teniendo una opacidad de 0.26 de opacidad, 0.69 menos con respecto al diésel.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Recursos

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utilizó varios recursos que permitieron llevar a cabo la investigación, obtención y utilización del biocombustible. Estos recursos son.

5.1.1. Recursos humanos.

La parte investigativa y experimental para obtención, caracterización y uso como aditivo en el diésel comercial del biodiesel a partir de sustancias orgánicas fue realizada por Llumitasig Mario y Soledispa Henry, con el asesoramiento del ingeniero Leónidas Quiroz, director de tesis.

Tabla 31
Grupo de investigación.

| | |
|---------------|-----------------------------|
| | Ing. Leonidas Quiroz |
| GRUPO DE | Ing. German Erazo |
| INVESTIGACION | Mario Llumitasig |
| | Henry Soledispa |

5.1.2. Recursos tecnológicos.

Tabla 32
Recursos tecnológicos.

| | |
|--|------------------------|
| INVESTIGACIÓN | |
| Recursos tecnológicos para la | Internet. |
| investigación | Bibliotecas virtuales. |
| | Computadora. |
| EXPERIMENTOS DE OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | |

CONTINÚA 

| | |
|---|-------------------------------------|
| Equipos de laboratorio para la parte de obtención y caracterización | Balanza electrónica |
| | Baño maría |
| | Bomba calorimétrica |
| | Comprobador de punto de inflamación |
| | Instrumentos de laboratorio |
| EXPERIMENTACIÓN | |
| Equipos de medición de eficiencia | Dinamómetro de rodillos |
| | OBD WIZZ Caudalimetro |
| | Computadora |
| | Opacímetro Cartek |

5.1.3. Recursos materiales.

Los recursos materiales son los elementos que fueron utilizados en el desarrollo del proyecto de investigación los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 33
Recursos tecnológicos.

| ORDEN | ÍTEM |
|-------|-----------------------------------|
| 1 | Grasa animal |
| 2 | Metanol de alta pureza |
| 3 | Hidróxido de sodio |
| 4 | Manguera de agua |
| 5 | Atomizador de agua |
| 6 | Reactor |
| 7 | Depósitos |
| 8 | Manguera para combustible |
| 9 | Abrazaderas |
| 10 | Destornilladores plano y estrella |

CONTINÚA



| | |
|----|------------------------|
| 11 | Alicate |
| 12 | Vehículo (Mazda BT-50) |

5.2. Presupuesto.

En la tabla 32 se detalla los costos del tratamiento de la materia prima y reactivos necesarios para la producción del biocombustible.

Tabla 34
Costo de obtención del biodiesel

| COSTO DE OBTENCIÓN DE 40 LITROS DE BIODIESEL | | | | |
|---|------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| Orden | Ítem | Cantidad | Costo unitario \$ | Valor total \$ |
| 1 | Metanol | 21 litros | 10 | 210 |
| 2 | Hidróxido de potasio | 500g | 3 | 3 |
| 3 | Grasa de res | 200 lb(50litros) | 0,25 | 12,5 |
| 4 | Consumo de energía eléctrica | 100 KW | 0,04 | 3 |
| 5 | Consumo GLP | 1 tanque | 3 | 3 |
| 6 | TOTAL | | | 231,5 |

Los cuarenta litros tienen un costo de 231,5 dólares americanos entonces el costo de producción de un litro de biodiesel esta cotizado en 5,75 dólares americanos.

En conclusión, el uso de biocombustible no es rentable utilizarlo por su elevado costo de producción, para que este combustible sea utilizado como un combustible alternativo necesariamente tiene que reducir el costo de producción, el costo de producción reduciría drásticamente si el litro de metanol no fuese tan costoso.

Tabla 35
Costo de pruebas realizadas

| COSTO DE PRUEBAS REALIZADAS | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| Orden | Ítem | Cantidad | Costo unitario\$ | Valor total \$ |
| 1 | Tratamiento de la materia prima | 40 lt | 0,25 | 10 |
| 2 | Caracterización del biodiesel | 35 | 35 | 1225 |
| 3 | Pruebas de torque y potencia | 30 | 30 | 900 |
| 4 | Pruebas de Opacidad | 15 | 0 | 0 |
| 5 | Pruebas de consumo | 15 | 0 | 0 |
| 6 | TOTAL | | | 2135 |

Tabla 36
Costo de materiales e insumos

| GASTOS MATERIALES E INSUMOS | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| Orden | Ítem | Cantidad | Costo unitario \$ | Valor total \$ |
| 1 | Recipientes | 6 | 2 | 12 |
| 2 | Detergentes | 2 | 1,5 | 3 |
| 3 | Mascarilla | 4 | 0,5 | 2 |
| 4 | Guantes | 4 | 0,75 | 3 |
| 5 | Guaípe | 1 | 1 | 1 |
| 6 | Estropajo | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Embudo | 1 | 2 | 2 |
| 8 | Taípe | 1 | 1,5 | 1,5 |
| 9 | Vaso de precipitación | 1 | 4 | 4 |
| 10 | Medida de un litro | 1 | 2 | 2 |
| 11 | Cilindro de GLP | 1 | 3 | 3 |
| 12 | Mangueras | 6 | 0,75 | 4,5 |

CONTINÚA



| | | | | |
|----|---------------------------------|----|------|--------------|
| 13 | Abrazaderas | 2 | 0,5 | 1 |
| 14 | Diésel | 20 | 1,39 | 27,8 |
| 15 | Viáticos(Mario Llumitasig) | 5 | 40 | 200 |
| 16 | Viáticos(Mauricio Soledispa) | 5 | 60 | 300 |
| 17 | TOTAL | | | 567,8 |

5.3. Título de la propuesta

Uso de la grasa de res vacuno como biocombustible en proporción B40 en motores diésel para reducir la opacidad.

5.3.1. Estructura de la propuesta

La propuesta es utilizar biocombustible como aditivo para el diésel en concentración de B40 ya que es un aporte a la disminución de opacidad y que al ser utilizado se aprovecha al máximo los residuos de res vacuno, y la reducción mínima de potencia no afecta en mayor medida al motor.

5.3.2. Desarrollo de la propuesta.

La propuesta requiere del talento humano, recursos materiales, financieros y tecnológicos y se encuentra detallado en la factibilidad de la investigación, en la cual el costo se estima en 2135.00 USD.

5.3.3. Influencia socio económico de la propuesta

El siguiente análisis económico de factibilidad y de costos que tendría a producción de biodiesel a partir de grasa res vacuno.

La producción de biodiesel se estimó para diez camionetas Mazda

BT-50, cuya capacidad es 16 galones tomando en cuenta estos puntos se realiza una tabla para conocer la cantidad de biocombustible que es requerido.

Tabla 37
Costos de producción del biodiesel

| | Número de autos | Capacidad de llenado (gal) | Cantidad necesaria de biodiesel(litros) |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| | 10 | 16 | 242,24 |
| | Cantidad de grasa (lt) | Cantidad de metanol(lt) | Cantidad de hidróxido de sodio (gr) |
| | 300 | 126,50 | 2245,0803 |
| Gasto unitario \$ | 0,25 | 10 | 3 |
| Gasto total \$ | 75 | 1265 | 18 |
| TOTAL \$ | | 1358 | |

Los costos de producción se han generado para 10 camionetas Mazda BT-50 teniendo un costo de 1358 dólares al producir 242,24 litros. En el cual se estima un valor de 5,60 dólares por litro, es un valor muy relevante, esto es debido al costo del metanol ya que se necesita uno de alta pureza al encontrar un metanol de bajo costo sería muy rentable el uso de este biocombustible.

Tabla 38
Plan de costos y flujo de caja

| Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Inversión | | | 1358 | | | |
| Ingresos | | 1955,52 | 3911,04 | 5866,56 | 7822,08 | 9777,6 |
| Egresos | | 1358 | 2716 | 4074 | 5432 | 6790 |
| Flujos | (1358) | 597,52 | 1195,04 | 1792,56 | 2390,08 | 2987,6 |

Se considera que el biodiesel en proporción de B40 se utiliza como un aditivo para el diésel, entonces al conocer que 1 litro tendrá el valor de 5,53 dólares es un valor que está dentro de un campo de mercado. Porque los aditivos para diésel que se ofertan tienen un costo alrededor de 15 dólares, pero la cantidad que contienen son 500 ml dependiendo del fabricante o en algunos casos se oferta en pastillas que presentan valores más elevados.

Proyecto A

Desembolso Inicial
-1358

Tasa de Actualización porcentual
10

Flujos de Caja

Añadir Flujo

| | |
|---|---------|
| 1 | 597,52 |
| 2 | 1195,04 |
| 3 | 1792,56 |
| 4 | 2390,08 |
| 5 | 2987,6 |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |

Borrar Seleccionado

Resultado

| | |
|------|----------------|
| VAN: | 4551,94 |
| TIR: | 81,8% |

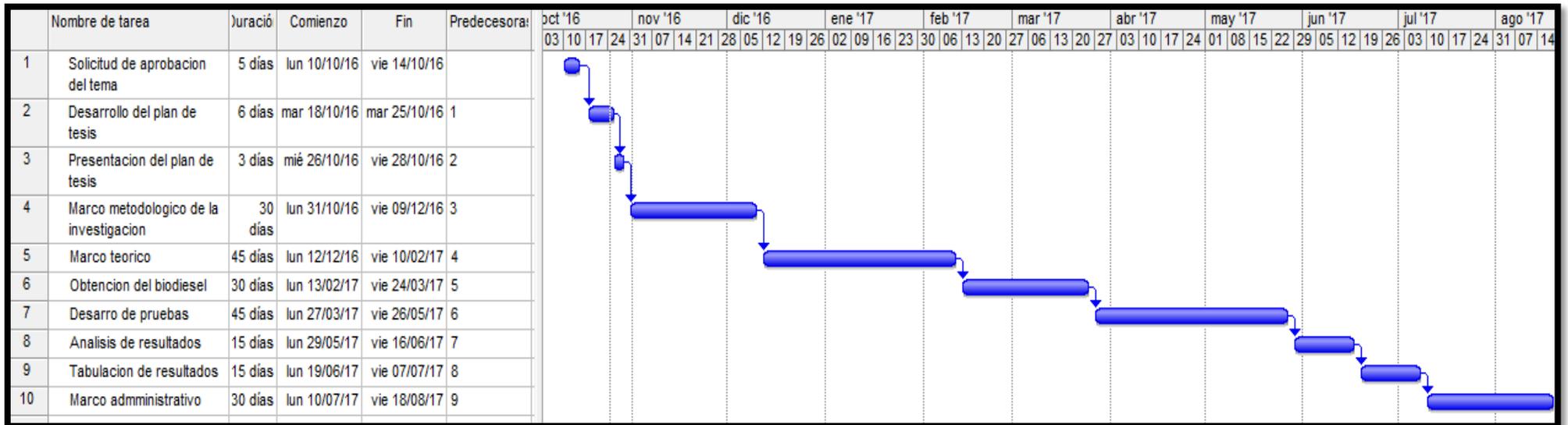
Figura 60. Cálculo del VAN y TIR del proyecto

Se analiza una inversión inicial para 5 años cuando se trabaja con un precio de 5,60 dólares el litro de biocombustible, teniendo un VAN de

4551,94 mayor que cero, y un TIR de 81,8%, siendo un proyecto viable puesto que se tiene un VAN mayor que cero y el TIR presenta una rentabilidad para ser planteado el proyecto.

5.4. Cronograma.

Los objetivos se fueron cumpliendo de acuerdo con el cronograma establecido en el plan de desarrollo del proyecto, la Tabla 6.7 contiene las actividades realizadas y el período de duración de cada una de ellas.



5.5. Conclusiones

- Se recopiló información que sustente técnica y científicamente el desarrollo de la investigación
- Se produjo y se caracterizó el biodiesel utilizando como materia orgánica grasa de animal como aditivo del diésel en porcentajes del 25%, 40%, 55%, 70% y 85%.
- Se realizó pruebas de rendimiento mecánico torque, potencia, consumo de combustible del motor del vehículo MAZDA BT-50 en el Dinamómetro del laboratorio de Motores y Rectificación.
- Se realizó pruebas de opacidad en el laboratorio de Mecánica de Patio con el analizador de gases CARTEK en condiciones estáticas y dinámicas.
- Se aplicó método de ensayo de la NTE INEN 960 y 2207 mediante condiciones ideales de ejecución.
- Se tabuló los datos mediante registros de las variaciones de los parámetros característicos con el uso del biodiesel como aditivo en las proporciones establecidas y con el método descrito en la NTE INEN 961y 028
- Se valoró el rendimiento mecánico acorde a las curvas de potencia y consumo específico de combustible a potencia máxima, como función de la velocidad del motor.
- Se verifica el cumplimiento de las mezclas 25%, 40%, 55%, 70% y 85% biodiesel y diésel del combustible previniendo riesgos a los usuarios en su uso y utilización para prevenir el medio ambiente desde la base matemática.
- Se comparó desde el punto de vista científico los resultados de forma técnica aprobando y determinando la influencia mecánica y emisiones en los MEC.
- Se analizó el rendimiento energético del biocombustible utilizado como aditivo en diferentes concentraciones, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y opacidad.

- Todas las muestras presentan un poder calorífico superior al diésel, también presentan una disminución mientras aumenta la concentración de biodiesel.
- El nivel de PH es una desventaja que presentan todas las muestras siendo 5 el nivel de PH, se consideran acidas.
- Se realizó pruebas de rendimiento mecánico torque y potencia, al motor del vehículo MAZDA BT-50 en el Dinamómetro del laboratorio de Motores y Rectificación.
- Se realizó pruebas de opacidad en el laboratorio de Mecánica de Patio con el analizador de gases CARTEK en condiciones estáticas.
- Se valoró el rendimiento mecánico acorde a las curvas de potencia y consumo específico de combustible a potencia máxima, como función de la velocidad del motor.
- Se analizó el rendimiento energético del biocombustible utilizado como aditivo en diferentes concentraciones, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y opacidad.
- Con la muestra de B40 se tiene un mayor desempeño en torque y potencia con relación al resto de muestras, teniendo un incremento de 5,42% en torque.
- Con el uso de biodiesel producido del sebo de res se consigue disminuir hasta un 62% los niveles de opacidad.
- Se realizó pruebas de consumo de combustible donde se puede evidenciar de un incremento de consumo de hasta 0,51 galones con la muestra de B70.

5.6. Recomendaciones

- Algo importante es aportar con el medio ambiente, por lo que se recomienda un uso adecuado con los desechos de las grasas animales, estos desechos pueden ser utilizados para obtención de biocombustibles.
- Utilizar equipos de seguridad como gafas, mascarillas, guantes y mandil en el proceso de obtención de biodiesel para evitar accidentes.
- Utilizar nuevos reactivos con los que se pueda obtener biodiesel, reactivos con los que no resulte tan costoso la producción de biocombustible como lo es con el metanol.
- Incentivar a la población al uso de biocombustibles para la preservación del medio ambiente.
- Antes de realizar cualquier prueba en vehículos asegurarse que el mismo este en óptimo funcionamiento, revisar el nivel de aceite y refrigerante, para así poder obtener resultados confiables.
- Se recomienda el manejo adecuado de los equipos e instrumentos utilizados para evitar daños de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. (27 de Noviembre de 2013). *Scribd*. Recuperado el 15 de Julio del 2017 de, Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/187441235/Potencia-Indicada-y-Potencia-Efectiva-en-Motores-Diesel>
- Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del Automóvil*. España: Paraninfo.
- Arbeláez, A. y. (2007). *Diseño conceptual de un proceso para la producción de Biodiesel a partir de algunos aceites colombianos*. Medellín:: Escuela de Ingeniería Universidad EAFIT.
- Auto Avance. (2013). *Opacímetro automotriz Brain Lee*.
- Award, S., Paraschiv, M., & Varuvel, E. G. (2012). *Optimization of Biodiesel production from animal fat residue in wastewater using response surface methodology*. Obtenido de Bioresource Technology. Recuperado el 15 de Julio del 2017, Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.086>
- Balat, M. y. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, 87(6), 1815-35.
- BIODISOL. (15 de Julio de 2009). *Biodiesel: Materias Primas Para su Producción*. BIODISOL. Recuperado el 12 de Julio del 2017 Obtenido de: <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/biodiesel-materias-primas-con-que-se-fabrica-biodiesel-aceites-y-grasas-produccion/>
- Calle, L. (2004). *Química y características del petróleo y de productos básicos*. Quito.
- Cartek. (2017). *Opacímetro automotriz*. Latacunga.
- CASTRO M. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador. Centro ecuatoriano de derecho ambiental ceda*.
- Castro, P. (2007). *Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. Lima: Soluciones Prácticas- ITDG*.
- Chatterjee, M., & Shine, R. (2012). *Textbook of Medical Biochemistry*. En J. Brothers. Medical Publishers.
- Colin, I. (9 de Marzo de 2016). *Blogger.com*. Obtenido de Colin Irvin. Recuperado el 12 de Junio del 2017 de: <http://mi-51colinirvin.blogspot.com/2016/03/consumo-especifico-el-consumo.html>
- Croxwell. (14 de Enero de 2014). *Todo Motores*. Obtenido de Todo Motores. Recuperado el 14 de Mayo del 2017 Obtenido de: http://www.todomotores.cl/mecánica/eficiencia_termica.htm
- Darnoko, D. y. (2000). Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. *JAACS*, 77(12), 1263-1267.
- Decreto Ejecutivo 1303. (17 de Septiembre de 2012). *International Energy Agency*. Obtenido de International Energy Agency. Recuperado el 17 de Julio del 2017 Obtenido de: http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs_Ecuador_blendingmanadate2012.pdf

- Encinar, J. M., Sanchez, N., & Martinez, G. y. (2011). Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. *Bioresource Technology*, 102.
- Flores, A. (Diciembre de 2009). Efecto de la proporción de mezclas biodiesel/petrodiesel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. Palmira, Colombia.
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2014). *Determinación del enranciamiento hidrolítico de un aceite de oliva mediante el Grado de Acidez*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- González, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.
- Guzella, L., & Onder. (2010). *Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engines Systems (Segunda Ed.)*. Heidelberg: Springer.
- Hernández, V. (2007). *Propuesta para el diseño del control electrónico y construcción de un dinamómetro de inercia electrónico computarizado*. Guatemala: Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Keera, S. T., & El Sabagh, S. M. (2011). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel*, 90, 42-47.
- KHAN ACADEMY. (13 de Marzo de 2017). *El pH, pOH y la escala de pH*. Obtenido de Khan Academy. Recuperado el 3 de Agosto del 2017 Obtenido de: <https://es.khanacademy.org/science/chemistry/acids-and-bases-topic/acids-and-bases/a/ph-poh-and-the-ph-scale>
- Larosa, R. (2003). *Proceso para la producción de BIODIESEL*. Obtenido de Tecno Campo. Recuperado el 3 de Agosto del 2017 de: http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/biodie_lar.htm
- Lecuona, A., & Rodriguez, P. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Barcelona: Reverté.
- Lenntech. (22 de Abril de 2010). *Water Treatment*. Lenntech. Recuperado el 3 de Agosto del 2017 Obtenido de: <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>
- Lenoir, C. (2002). *Análisis de la producción de Biodiesel*. Biodiesel Argentina. Recuperado el 15 de Julio del 2017 Obtenido de: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/biodiesel.asp>
- Leung, D., Wu, X., & Leung, M. K. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Appl. Energy*, 1083-1095.
- Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., & Xiangqian, S. y. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, 88 (4).
- Mazda. (2006). *Mazda*. Obtenido de Mazda. Recuperado el 4 de Agosto del 2017 Obtenido de: <http://www.mazda.com.ec/>
- Mecánica & Motores. (20 de Junio de 2012). *El uso de los dinamómetros*. Obtenido de Mecánica y Motores. Recuperado el 15 de Julio del 2017 Obtenido de: <http://www.mecanicaymotores.com/el-uso-de-los-dinamometros.html>
- MICSE. (2012). El transporte en la matriz energética del Ecuador. Quito: ministerio coordinador de sectores estratégicos.
- Mier, M. A. (12 de Julio de 2012). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet.
- Motoroll. (Agosto de 2017). Banco de rodillos. Argentina.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México D.F.: Pearson.

- Normaización, I. I. (2013). *Ecuador Patente nº NTE-INEN 660:2013*.
- Ocaña, A. (2000). *Tratado del automóvil*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales.
- Olivera, M. (2013). *Diseño de un dinamómetro de chasis para vehículos de hasta 3500 kg de peso bruto vehicular*. México D.F.: Tesis UNAM.
- Oner, C. y. (2009). Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *Applied Energy*, 86, 2114-2120.
- Poter, M., Wiggert, D., & Ramadan, B. (2014). *Mecánica de fluidos*. México D.F.: CENGAGE.
- Pulkrabek, W. 2. (2013). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (Segunda ed.)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Canada: Prentice Hall.
- RAE. (2000). *Densidad*. España.
- Rendimiento del Motor. (2011). *Desguaces Vehículos Vehículos*. Recuperado el 5 de Agosto del 2017 Obtenido de: http://www.desguacesvehiculos.es/mecánica/rendimiento-motor.html?fb_comment_id=10150272175606241_23226423#f169d5e564acacc
- Rodriguez, J. (2007). Estudio de la mezcla óptima diésel. *Aceite de palma usada como combustible de un motor a diésel*.
- Rodríguez, P. (Julio de 2008). Evaluación del funcionamiento de motores de. *Evaluación del funcionamiento de motores de*. La Habana, Cuba.
- Rojas, A. y. (2011). *Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales*. Palmira, Colombia: Una revisión: Universidad Nacional de Colombia.
- SAGARPA. (13 de Junio de 2011). *Bionergéticos*. Sagarpa. Recuperado el 3 de Mayo del 2017 Obtenido de: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/bio/index.php/biodiesel/produccion-de-biodiesel.html>
- Salazar, A. (2014). Elaboración artesanal de biodiesel en reactor agitado mediante uso de catalizadores sólidos. Quito.
- Samaniego, G., & Samaniego, C. (2006). *Comparación de las características de eficiencia de un motor Suzuki Forsa G10 SOH al variar secuencialmente elementos posibles de trucaje para competición a través de un banco de pruebas*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.
- San Miguel, G., & Gutiérrez, F. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid: mundi-prensa.
- ScanTool. (25 de Marzo de 2016). *scantool*. Obtenido de ScanTools. Recuperado el 14 de Mayo del 2017 Obtenido de: <https://www.scantool.net/obdlink-sx/>
- Seanz, S., Muriel, J., Castro, G., & García, D. (2014). *Oportunidad de negocio en el sector de los biocombustibles en Colombia mediante la transformación de aceite vegetal usado*. Bogota: Universidad EAN Facultad de Posgrados Especialización en Negocios y Finanzas Internacionales.
- Serrano, F. (9 de Abril de 2014). *Ingelibre*. <https://ingelibreblog.wordpress.com/WordPress>. Recuperado el 20

- Obtenido de Mayo del 2017 de: 2014/04/09/ciclos-otto-y-diesel-analisis-termodinamico/
- Shahid, E. M. (2011). Production of biodiesel: a technical review. *Renw Sustain. Energy Rev*, 4732-45.
- Texo, J. P., Betancur, C. I., & Duque, J. P. (2009). Perspectivas generales del desarrollo de la industria de los biocombustibles en Uruguay. *Biocombustibles*, 12-13.
- UCE. (2017). *Analisis fisicoquimicos*. Quito.
- UDEA. (2010). *Facultad de Química Farmaceutica*. Índice de acidez. Recuperado el 12 de Mayo del 2017 Obtenido de: <http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/acidez.html>
- Union Internacional de Química Pura y Aplicada. (15 de 06 de 1984). *Tabla periodica*.
- Universidad central del Ecuador, L. d. (2013). *Caracterizacion diesel*

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: MARIO JAVIER LLUMITASIG CALVOPIÑA y HENRY MAURICIO SOLEDISPA PROAÑO.

En la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de agosto del 2017.

Ing. Leónidas Quiroz

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO