

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ



PROYECTO DE GRADO

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL UTILIZANDO
BIODIESEL COMO COMBUSTIBLE EN LA ALTITUD**

Presentado por:

Marcelo Angel Mena Farfan

Tutor:

MSc. Ing. Ricardo Teófilo Paz Zeballos

La Paz - 2017

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a los docentes de la carrera de Mecánica Automotriz de la Facultad de Tecnología que contribuyeron con conocimientos y sabiduría.

Al Ing. Ricardo Paz Zeballos por guiarme y colaborarme en la realización de este proyecto.

A Marcelo Pacheco Foronda por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios, que me guió y fortaleció durante mi formación.

A mi familia, mis padres, Hugo Mena y Dionicia Farfan, mis Hermanos, que son un ejemplo de esfuerzo y trabajo.

RESUMEN

El desarrollo del proyecto describe de forma clara el análisis práctico y teórico del funcionamiento del motor diesel de combustión interna Toyota 1C, en este trabajo se realizaron ajustes y reparaciones de las partes más importantes del motor hasta las pruebas de medición de la potencia efectiva, el torque del motor y los gases residuales, estas mediciones se realizaron utilizando un dinamómetro hidráulico y el analizador de gases, la investigación fue realizada en la carrera de mecánica automotriz de la facultad de tecnología (UMSA).

El presente proyecto engloba una serie de capítulos los cuales siguen una secuencia correcta para el análisis comparativo del motor diesel, utilizando biodiesel en diferentes proporciones de mezcla con diesel como combustible para su funcionamiento.

En el primer capítulo (Introducción), se realiza un prefacio sobre los objetivos del proyecto, antecedentes y la justificación, del porque es importante este análisis comparativo, utilizando un combustible alternativo como es el biodiesel, reciclado de aceites usados, destacando la ventajas y su aplicabilidad en los vehículos con motores a diesel.

En el segundo capítulo (Marco Teórico), es una descripción de la base teórica con que se respalda el proyecto a través de conceptos claros sobre los sistemas del motor diesel, parámetros indicados, efectivos y el ciclo de trabajo de un motor diesel.

En el tercer capítulo (Ingeniería del Proyecto), trata de las actividades realizadas, como las mediciones de potencia y torque con las diferentes proporciones de mezcla de biodiesel con diesel, realizando una comparación de los gases residuales y el análisis ambiental del motor de combustión interna.

Cuarto capítulo denota las conclusiones de los datos obtenidos como resultados del análisis del motor diesel utilizando la mejor proporción de mezcla de diesel con biodiesel como combustible, en la parte de recomendaciones indica aspectos para trabajos futuros y sugerencias para realizar otros ensayos.

INDICE

CAPITULO UNO

ASPECTOS GENERALES

| | Pág. |
|---|------|
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.3.1 Identificación del problema. | 3 |
| 1.3.2 Formulación del problema. | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos específicos. | 4 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.5.1 Justificación técnica..... | 4 |
| 1.5.2 Justificación económica..... | 5 |
| 1.5.3 Justificación ambiental..... | 5 |

CAPITULO DOS

MARCO TEORICO

| | |
|---|----|
| 2.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL DE CUATRO TIEMPOS | 6 |
| 2.2 PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR DIESEL | 7 |
| 2.3 POTENCIA, EL TORQUE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE | 9 |
| 2.3.1 Potencia del motor diesel | 9 |
| 2.3.2 Torque del motor diesel | 10 |
| 2.4 SISTEMAS DEL MOTOR DIESEL | 11 |
| 2.4.1 Sistema de alimentación de combustible..... | 11 |
| 2.4.1.1 Bomba rotativa | 13 |
| 2.4.1.2 Inyectores de espiga | 14 |
| 2.4.1.3 Bujía incandescente | 15 |
| 2.4.2 Sistema de distribución..... | 16 |
| 2.4.3 Sistema de lubricación..... | 17 |
| 2.4.4 Sistema de refrigeración | 17 |
| 2.4.5 El ciclo diésel..... | 18 |
| 2.4.6 Inyección indirecta de combustible | 20 |
| 2.4.7 Parámetros indicados y efectivos del ciclo de trabajo | 20 |
| 2.5 EL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL | 24 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.5.1 | Proceso de producción del biodiesel a partir de aceites usados | 25 |
| 2.5.2 | Ventajas y desventajas del biodiesel | 27 |
| 2.5.3 | Parámetros del biodiésel | 29 |
| 2.5.4 | Desempeño de un motor diesel con biodiesel | 30 |
| 2.5.5 | Condiciones del aire en la altitud | 31 |
| 2.5.6 | Efecto de la altitud en el desempeño de un motor diesel | 31 |
| 2.5.7 | Análisis de los Gases Residuales..... | 33 |
| 2.6 | ESTRATEGIA METODOLÓGICA | 35 |

CAPITULO TRES

INGENIERIA DEL PROYECTO

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL MOTOR TOYOTA 1C..... | 37 |
| 3.2 | AJUSTE DEL MOTOR TOYOTA 1C..... | 38 |
| 3.2.1 | Desmontaje de los componentes del motor..... | 40 |
| 3.2.2 | Verificación de desgaste en los elementos fijos y móviles | 40 |
| 3.2.3 | Reemplazado de componentes desgastados del motor | 41 |
| 3.2.4 | Montaje de las partes fijas y móviles del motor | 42 |
| 3.2.5 | Verificación del sistema de alimentación | 42 |
| 3.2.6 | Calibración de la bomba rotativa | 43 |
| 3.2.7 | Calibración de inyectores | 46 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3 | INSTALACIÓN DEL DINAMÓMETRO HIDRAULICO | 47 |
| 3.3.1 | Componentes del dinamómetro hidráulico | 47 |
| 3.3.2 | Ajuste de componentes de salida de agua | 50 |
| 3.3.3 | Características de configuración y operación | 51 |
| 3.3.4 | Norma de corrección | 51 |
| 3.3.5 | Acoplamiento del motor al dinamómetro | 52 |
| 3.4 | RESULTADOS DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y TORQUE | 53 |
| 3.4.1 | Ensayo del motor utilizando diesel | 54 |
| 3.4.2 | Ensayo del motor utilizando B20 | 55 |
| 3.4.3 | Ensayo del motor utilizando B50 | 56 |
| 3.4.4 | Ensayo del motor utilizando biodiesel B100 | 57 |
| 3.4.5 | Promedios, máximos y mínimos | 58 |
| 3.5 | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS GASES RESIDUALES..... | 60 |
| 3.5.1 | Medición de la opacidad utilizando diesel..... | 60 |
| 3.5.2 | Medición de la opacidad utilizando B20..... | 62 |
| 3.5.3 | Medición de la opacidad utilizando B50..... | 63 |
| 3.5.4 | Medición de la opacidad utilizando biodiesel B100..... | 63 |
| 3.5.5 | Medición de NO y NOx | 64 |
| 3.6 | MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO | 68 |
| 3.6.1 | Medición utilizando diesel puro..... | 68 |

| | |
|---|----|
| 3.6.2 Medición utilizando B20..... | 69 |
| 3.6.3 Medición utilizando B50..... | 70 |
| 3.6.4 Medición utilizando biodiesel B100..... | 71 |
| 3.7 COMPARACIÓN Y DETERMINACIÓN DE MEZCLA EFICIENTE | 72 |

CAPITULO CUATRO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|--------------------------|----|
| 4.1 CONCLUSIONES | 75 |
| 4.2 RECOMENDACIONES..... | 76 |

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1: Inyección de combustible del motor diésel toyota 1C | 6 |
| Figura 2: Proceso de combustión del motor diésel toyota 1C | 7 |
| Figura 3: Potencia del motor diésel toyota 1C | 9 |
| Figura 4: Torque del motor diésel toyota 1C | 11 |
| Figura 5: Sistema de combustible motor diésel | 12 |
| Figura 6: Bomba rotativa de inyección diésel toyota 1C | 13 |
| Figura 7: Inyector de espiga..... | 14 |
| Figura 8: Bujía incandescente | 15 |
| Figura 9: Sistema de distribución | 16 |
| Figura 10: Sistema de lubricación | 17 |
| Figura 11: Sistema de refrigeración | 18 |
| Figura 12: Ciclo diésel..... | 19 |
| Figura 13: Inyección indirecta de combustible | 20 |
| Figura 14: Tira de plastigage para medir tolerancia de muñón de biela | 39 |
| Figura 15: Medición de tolerancia de aceite en la bancada.. | 39 |
| Figura 16: Verificación de planitud de la culata | 40 |
| Figura 17: Verificación de la conicidad de la culata..... | 41 |
| Figura 18: Sistema de alimentación de combustible | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 19: Filtro de combustible con bomba de cebado | 43 |
| Figura 20: Circuito de alimentación de combustible | 44 |
| Figura 21: Calibración de inyectores..... | 46 |
| Figura 22: Motor diesel y dinamómetro hidráulico | 47 |
| Figura 23: Sensor de efecto hall..... | 47 |
| Figura 24: Instalación de conductos para la circulación de agua..... | 48 |
| Figura 25: Bomba de suministro de agua..... | 48 |
| Figura 26: Válvula de control de presión | 49 |
| Figura 27: Sensor de rpm | 49 |
| Figura 28: Sensor de torque | 49 |
| Figura 29: Central atmosférica y cable de comunicación | 50 |
| Figura 30: Central de datos y cable de comunicación..... | 50 |
| Figura 31: Acople flexible del motor hacia el dinamómetro | 52 |
| Figura 32: Instrumento de medición de NO y NOx | 64 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Cuadro 1: Diagrama indicador del MCI en coordenadas presión-volumen..... | 21 |
| Cuadro 2: Ventajas y desventajas del biodiesel | 28 |
| Cuadro 3: Ajuste del volumen de inyección a plena carga | 45 |
| Cuadro 4: Ajuste del volumen de inyección en ralenti..... | 45 |
| Cuadro 5: Selección de norma de medición..... | 52 |
| Cuadro 6: Régimen de aceleración del motor..... | 53 |
| Cuadro 7: Potencia y torque desarrollado por el motor con Diésel puro..... | 54 |
| Cuadro 8: Potencia y torque desarrollado por el motor con mezcla de diésel y biodiesel B20 | 55 |
| Cuadro 9: Potencia y torque desarrollado por el motor con mezcla de diésel y biodiesel B50 | 56 |
| Cuadro 10: Potencia y torque desarrollado en el motor con biodiesel B100 .. | 57 |
| Cuadro 11: Medición de opacidad utilizando diesel | 61 |
| Cuadro 12: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel (B20) | 62 |
| Cuadro 13: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel (B50)..... | 63 |
| Cuadro 14: Medición de opacidad utilizando biodiesel al 100% (B100)..... | 63 |
| Cuadro 15: Medición de NO y NOx utilizando diesel | 64 |
| Cuadro 16: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 20% | 65 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 17: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 50% | 66 |
| Cuadro 18: Medición de NO y NOx utilizando biodiesel al 100% | 67 |
| Cuadro 19: Medición de material particulado utilizando diesel | 68 |
| Cuadro 20: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 20% | 69 |
| Cuadro 21: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 50% | 70 |
| Cuadro 22: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 100% | 71 |
| Cuadro 23: Comparación de la medición de material particulado | 72 |
| Cuadro 24: Comparación de la medición de NO | 73 |
| Cuadro 25: Comparación de la medición de NOx | 74 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1: Compuestos utilizados en el proceso de producción del biodiesel.. | 25 |
| Tabla 2: Estándar de calidad de biodiesel de acuerdo con la ASTM | 29 |
| Tabla 3: Variación de la densidad del aire a diferentes altitudes | 31 |
| Tabla 4: Variación de presión y temperatura atmosférica | 32 |
| Tabla 5: Medición de tolerancia de aceite en la bancada | 39 |
| Tabla 6: Evaluación de torque y potencia – diesel | 58 |
| Tabla 7: Evaluación de torque y potencia – B20 | 59 |
| Tabla 8: Evaluación de torque y potencia – B50 | 59 |
| Tabla 9: Evaluación de torque y potencia – B100 | 60 |
| Tabla 10: Límites máximos para motores diesel | 60 |
| Tabla 11: Medición de opacidad utilizando diesel | 61 |
| Tabla 12: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel al 20% (B20).. | 62 |
| Tabla 13: Medición de NO y NOx utilizando diesel | 64 |
| Tabla 14: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 20% | 65 |
| Tabla 15: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 50% | 66 |
| Tabla 16: Medición de NO y NOx utilizando biodiesel al 100% | 67 |
| Tabla 17: Medición de material particulado utilizando diesel | 68 |

| | |
|---|----|
| Tabla 18: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 20% | 68 |
| Tabla 19: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 50% | 68 |
| Tabla 20: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 100% | 71 |
| Tabla 21: Comparación de la medición de material particulado | 72 |
| Tabla 22: Comparación de la medición de NO | 73 |
| Tabla 23: Comparación de la medición de NOx | 74 |

CAPITULO UNO

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Existe una tendencia mundial de reemplazar los combustibles derivados del petróleo, por diversas fuentes de energía alternativa renovables para disminuir la contaminación ambiental, en este sentido, a nivel mundial se estudian diferentes alternativas de solución para abastecer el requerimiento energético en el campo automotriz incorporando al mercado nuevas fuentes de energía menos contaminantes.

Las investigaciones están centradas en aplicar fuentes de energía que puedan utilizarse en el parque automotor, energías más limpias y ajustables a las características técnicas del motor, una alternativa verificada es el biodiesel, biocombustible derivado de vegetales o reciclado de aceites en desuso, materia prima que sirve para la elaboración del biodiesel, combustible que es utilizado para el funcionamiento de los vehículos con motores a diésel.

Para el estudio de la utilización del biodiesel en el funcionamiento del motor se realizaron ensayos considerando las condiciones atmosféricas y la altitud sobre el nivel del mar, en el caso particular del presente trabajo, se realizaron comparaciones del funcionamiento del motor diésel destacando las variaciones en el desarrollo de la potencia, el torque, consumo de combustible y el nivel de contaminación, utilizando proporciones adecuadas de diésel y biodiesel para cada ensayo, asimismo, se considera importante la factibilidad de la utilización del biodiesel en el motor diésel en una proporción específica.

1.2 ANTECEDENTES

La contaminación ambiental generada por los vehículos con motores a diésel mediante la evacuación de los gases, compuestos de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado, es una preocupación que nos lleva a realizar estudios de otras fuentes de energía como el biodiesel, siendo una

alternativa para reducir el consumo del diésel, porque se utilizarían mezclas de diesel y biodiesel para el funcionamiento de los motores.

Bolivia con el 50% de la producción de soya que no es empleada para el consumo interno ni la exportación, se encontraría en condiciones de producir 225.921.600 litros de biodiesel al año, según los resultados de un estudio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT).

En el departamento de La Paz se ha identificado potencialidades para la producción de Colza, Palma Aceitera, Piñón y Palmeras nativas como el Totaí para producir biodiesel. (IBCE)¹

En el departamento de La Paz se realizaron estudios utilizando biodiesel elaborado en el exterior (Argentina) cuyos resultados respaldan el uso del biodiesel en el parque automotor, este trabajo pretende demostrar que el biodiesel como combustible es adecuado para los vehículos, mostrando resultados en el rendimiento del motor, similares al funcionamiento con combustible diesel, aun considerando aspectos como la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica y la densidad del aire que afectan en el rendimiento de los motores en nuestro contexto, disminuyendo la potencia e incrementando la contaminación producto de una deficiente combustión en el motor.

En Bolivia Bioma SRL, una “empresa verde” que desde hace siete años viene transformando el aceite usado de cocina en biodiesel biocombustible utilizado en vehículos de transporte interdepartamental.

El gerente de Bioma Diésel, Orlando Cossío, explicó que el biodiésel es un combustible orgánico elaborado a partir de aceites usados que generan, por ejemplo, las empresas de comida rápida de Cochabamba, semanalmente, algunas empresas de comida rápida con la que está vinculada Bioma Diésel, desechan al menos 7 mil litros de aceite de girasol, ese aceite usado, luego de pasar por un proceso de transformación, sirve como sustituto o aditivo al diésel convencional, desde hace tres

¹ Instituto Boliviano de Comercio Exterior

años, empresas de transporte interdepartamental del país, como la flota el dorado y bolivia, utilizan el biodiésel de Bioma SRL., el transporte interdepartamental ya recorrió más de 625 mil kilómetros usando su biodiésel, al margen de los buses departamentales, Cossío dijo que hay un carro cisterna de acopio en cochabamba que se moviliza solo utilizando biodiésel².

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Identificación del Problema

Los vehículos con motores a diésel generalmente son utilizados en el transporte pesado, transporte de pasajeros, materiales y carga, para prestar este servicio utilizan combustible diésel como insumo que no debe faltar en los surtidores de distribución, los propietarios de vehículos se abastecen del combustible diesel pero el uso del biodiesel no está difundido, porque se carece de un respaldo técnico y práctico de pruebas que se hayan realizado en motores a diesel, demostrando las características y ventajas que tiene este biocombustible, la falta de estudios y poco interés de conocimiento que se tiene sobre los efectos de los gases contaminantes que evacuan los vehículos como el dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y monóxido de carbono, que son la causa de la contaminación del medio ambiente.

1.3.2 Formulación del Problema

La situación descrita configura un problema de investigación que debe ser atendido desde un punto de vista técnico, teórico y práctico a fin de identificar las medidas que permitan revertir la situación problemática detectada, para cuyo efecto se formula la interrogante que, de hecho, se constituye en el problema de investigación: ¿Cómo realizar el análisis del motor diesel toyota 1C utilizando un combustible alternativo como el biodiesel para obtener datos experimentales del rendimiento mecánico del motor y emisión de gases contaminantes?.

² DFLORES@OPINION.COM.BO

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- ✚ Realizar el análisis comparativo del rendimiento mecánico y emisión de contaminantes de un motor diésel utilizando el biodiesel como combustible alternativo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✚ Estudiar el rendimiento mecánico midiendo la potencia y el momento torsor del motor diésel toyota 1C utilizando diferentes mezclas de diésel y biodiesel para obtener una base comparativa.
- ✚ Utilizar un dinamómetro hidráulico para la determinación del rendimiento mecánico (potencia y momento torsor) del motor toyota 1C.
- ✚ Medir la emisión de gases contaminantes utilizando diferentes mezclas de diésel y biodiesel.
- ✚ Analizar y comparar los resultados obtenidos experimentalmente para determinar la mezcla eficiente.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 Justificación Técnica

En todos los vehículos con motores diésel fabricados en los últimos diez años es posible utilizar el biodiesel en mezclas con combustible diésel en proporciones de 10%, 20%, 50% (B10, B20 y B50).³

Para obtener pruebas de potencia y momento torsor del motor, se deben realizar las reparaciones y ajustes necesarios que garanticen el buen funcionamiento del motor diesel, permitiendo obtener valores fiables de comportamiento ante el uso de estos combustibles.

³ Dirección General de Energía.(2003).Análisis de laboratorio de biodiesel MEM

1.5.2 Justificación Económica

Muchos países del mundo producen biodiesel utilizando como materia prima la soja, el girasol, productos que se utilizan en la alimentación y también reciclando el aceite de cocina, el uso del biodiesel en el transporte compensara los niveles de consumo de diésel diario, si la elaboración de diésel alcanza aproximadamente 1.633 metros cúbicos y el consumo es 3.210 metros cúbicos, nuestro país importa el diésel derivado del petróleo para abastecer el consumo diario, compensando con mezclas de biodiesel en una proporción se reduciría el consumo y los costos de importación la producción promedio semanal es de 300 litros y abastece a tres empresas de transporte interdepartamental. El litro del denominado biodiésel B20 cuesta 3 Bolivianos, 0,72 Bolivianos menos que el litro de diésel, explicó el gerente de la empresa, Orlando Cossio.⁴ Por lo tanto podemos resaltar que el uso del diesel-biodiesel en diferentes proporciones de mezcla mejora el costo-beneficio.

1.5.3 Justificación Ambiental

La utilización de mezclas de diesel y biodiesel como fuente de energía, permitirá reducir las emisiones de contaminantes, siendo más respetuosa con el medio ambiente.

El biodiesel mezclado con diésel se utiliza en los motores en muchos países del mundo, por cada litro de diésel sustituido se evita la emisión de 2,38 kg de CO₂.⁵

El biodiesel en Bolivia utiliza materia prima que es provista por tres cadenas de broasterías de la ciudad de Cochabamba, en temporada alta abastecen de 2 mil a 3 mil litros semanales que se almacenan en la planta, ubicada en Quillacollo, “Son empresas que tienen un compromiso medioambiental serio, porque hacen buen manejo de sus desechos industriales”, señaló Cossio pues el reciclaje evita que el aceite usado vaya a parar a las alcantarillas o al río.

⁴ Fuente: Los Tiempos, Bolivia

⁵ Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008).Energías renovables y eficiencia energética.Pag.107

CAPITULO DOS

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL DE CUATRO TIEMPOS

El motor a diésel toyota 1C funciona mediante la ignición del combustible inyectado en una cámara de combustión que contiene aire a una temperatura y presión elevada, donde se produce la combustión sin necesidad de una chispa eléctrica.

En el motor diésel el aire entra al cilindro separado del combustible, una vez que una cantidad determinada de aire se encuentra en el cilindro, el pistón reduce el volumen de la cámara y aumenta la presión interior (alrededor de 4MPa).

El combustible diésel o mezcla de diésel-biodiesel se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a elevada presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire comprimido que se encuentra a alta temperatura, como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente y esta combustión genera una fuerza, impulsando el pistón hacia abajo donde la biela transmite este movimiento al cigüeñal, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

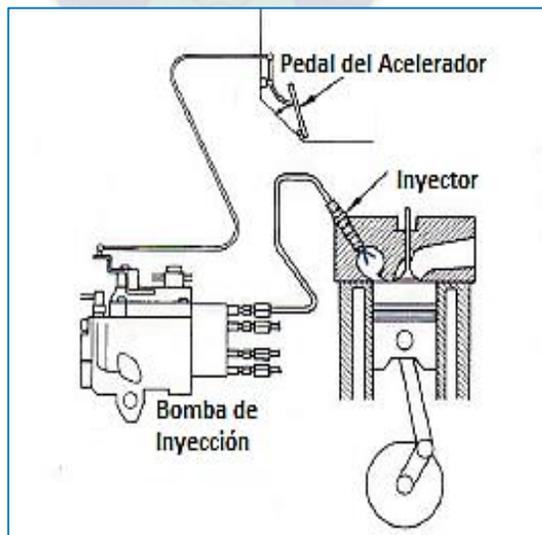


FIGURA 1
Inyección de combustible del motor diésel Toyota 1C
Fuente: Manual TEAM Toyota

En un motor diésel la potencia de salida se controla variando la cantidad de combustible inyectado y no la cantidad de mezcla, el combustible líquido es inyectada en forma de chorro y a medida que entra a la cámara, por la fricción con el aire, se vaporiza, permitiéndose la mezcla de gases dentro del cilindro que inicia la combustión.⁶

2.2 PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR DIESEL

El proceso de combustión en un motor a diésel se estudia en términos de presión y el tiempo que se divide en cuatro etapas, comienza cuando el combustible es inyectado a alta presión dentro de la cámara de combustión hasta un promedio de 15 grados antes de que el pistón alcance el punto muerto superior, es decir cuando el aire dentro de la cámara se encuentra a alta presión y elevada temperatura.

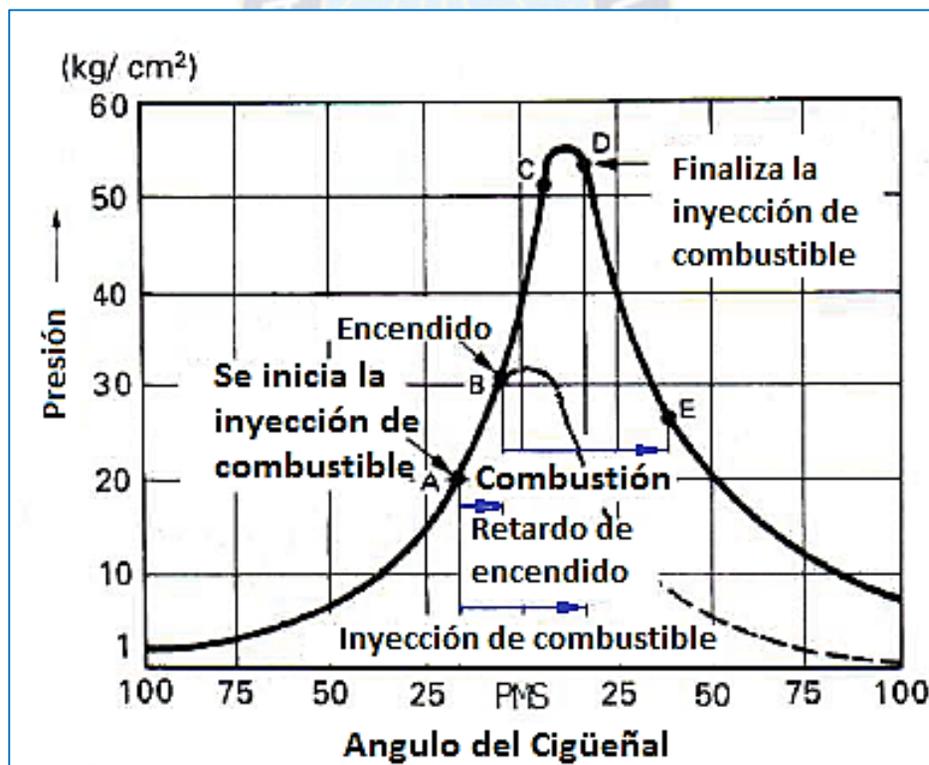


FIGURA 2
Proceso de combustión del motor diésel Toyota 1C
Fuente: Manual TEAM Toyota

⁶ HEYWOOD, J. (1998). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Pag. 18

Primera etapa: Retardo de encendido (A-B)

Es la fase inicial para la combustión, se evaporan las partículas finas del combustible inyectado y se mezclan con el aire en el cilindro para formar una mezcla inflamable, tiene lugar un aumento constante de la presión en proporción al ángulo de giro del cigüeñal.

Segunda etapa: Propagación de la llama (B-C)

Al finalizar la primera etapa, se ha formado una mezcla de combustible en varias partes del cilindro, iniciándose la combustión en varios puntos.

Estas llamas se propagan a una velocidad muy alta para que la mezcla se queme casi de forma explosiva, aumentando la presión dentro del cilindro de manera proporcional a la cantidad de mezcla de combustible formada en la primera etapa.

La acumulación de presión durante esta etapa debe mantenerse a la mínima posible para maximizar la eficiencia de la etapa de combustión directa, una etapa peculiar de los motores diésel.

Tercera etapa: Combustión directa (C-D).

La combustión directa del combustible que todavía se está inyectando tiene lugar durante esta etapa debido al encendido inmediato del combustible y puede controlarse mediante la cantidad de combustible inyectado, por lo que se describe también como el periodo de combustión controlada.

Cuarta etapa: Después de quemarse (D-E)

La inyección finaliza en el punto D, pero el combustible residual sigue quemándose, si esta etapa es demasiado larga, aumentará la temperatura del escape, causando una caída en la eficiencia.

2.3 POTENCIA Y TORQUE

2.3.1 Potencia del Motor Diésel

La potencia teórica que desarrolla un motor es la cantidad de energía que aprovecha del combustible en cada ciclo de combustión por unidad de tiempo.

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor, la potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera.

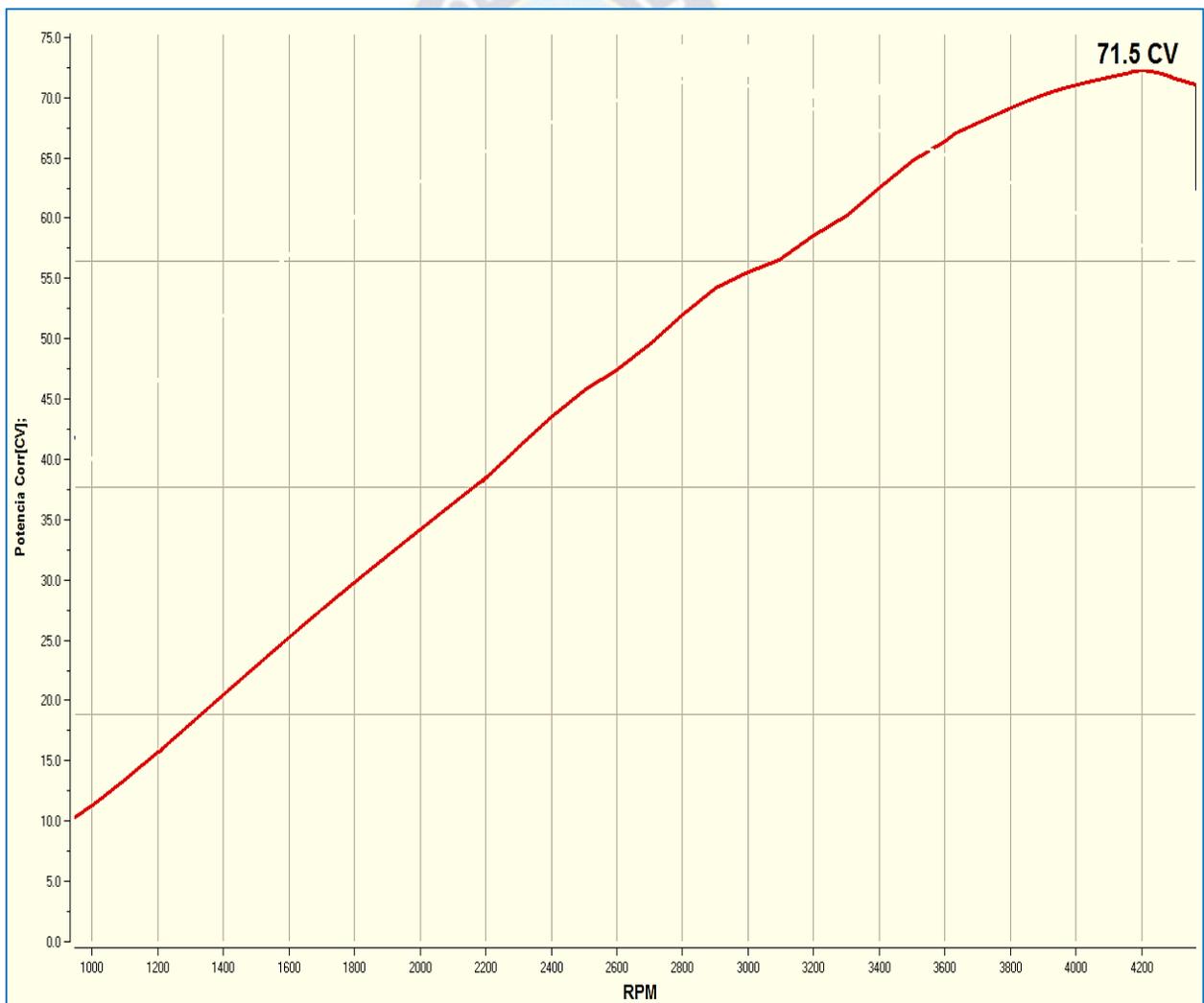


FIGURA 3
Potencia del motor diésel Toyota 1C
Fuente: Elaboración Propia

Los motores diesel se instalan en el dinamómetro, que es una máquina que mide la potencia y el torque por lo tanto se determina la potencia real desarrollada en el motor, en el dinamómetro se conecta el motor por medio de un árbol articulado para transmitir el movimiento y ejercer una fuerza mediante la circulación del agua que frene al motor simulando condiciones reales de trabajo donde se traza una gráfica de la potencia desarrollada a diferentes r.p.m.(revoluciones por minuto) del motor.

Las lecturas de torque y velocidad pueden ser convertidas en potencia considerando las siguientes ecuaciones.

$$\text{Potencia (CV)} = \frac{\text{Torque (kgm)} * \text{velocidad (rpm)}}{716.2}$$

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{Torque (ft. lb.)} * \text{velocidad (rpm)}}{5252}$$

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{Torque (kgm)} * \text{velocidad (rpm)}}{974}$$

2.3.2 Torque del Motor Diésel

El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, debemos recordar que el motor produce fuerza en el árbol de cigüeñal que se encuentra girando, para medir el torque en la salida del volante de inercia.

Para utilizar un banco o freno dinamométrico el motor se acopla mediante un eje articulado, una vez instalado todos los componentes del dinamómetro, el motor puede funcionar entregando toda su capacidad que es medido por un sensor de torque mediante el control de una válvula que lo frena en forma gradual y el sensor mide la fuerza con que se está frenando.

Mientras mayor sea el torque de un motor, más fuerza tendrá este, esto es interesante al momento de comparar motores, ya que sin importar el tamaño, el tipo, el sistema de encendido o el de la inyección, un motor tendrá más fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor.

La torsión máxima disponible con graduación normal de la bomba de combustible, representa la máxima fuerza de tracción disponible, con plena aceleración.

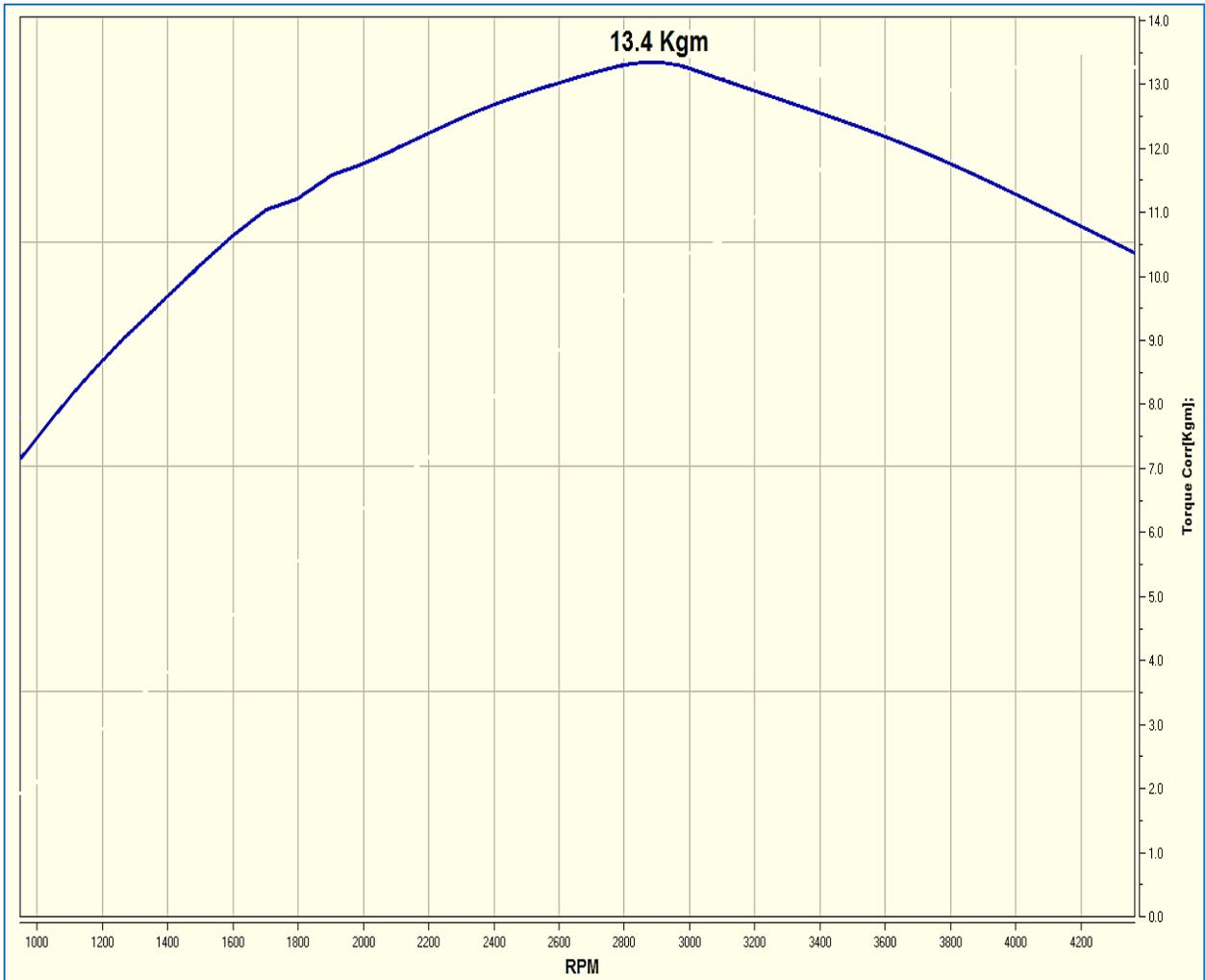


FIGURA 4
Torque del motor diésel Toyota 1C
Fuente: Elaboración Propia

2.4 SISTEMAS DEL MOTOR DIESEL

2.4.1 Sistema de alimentación de combustible

El sistema de alimentación es el encargado de suministrar el combustible necesario para el funcionamiento del motor, considerando el circuito primario de baja presión y el circuito secundario de alta presión.

El sistema de combustible del motor diésel inyecta combustible altamente presurizado en la cámara de combustión en la que se ha comprimido aire a una elevada presión.

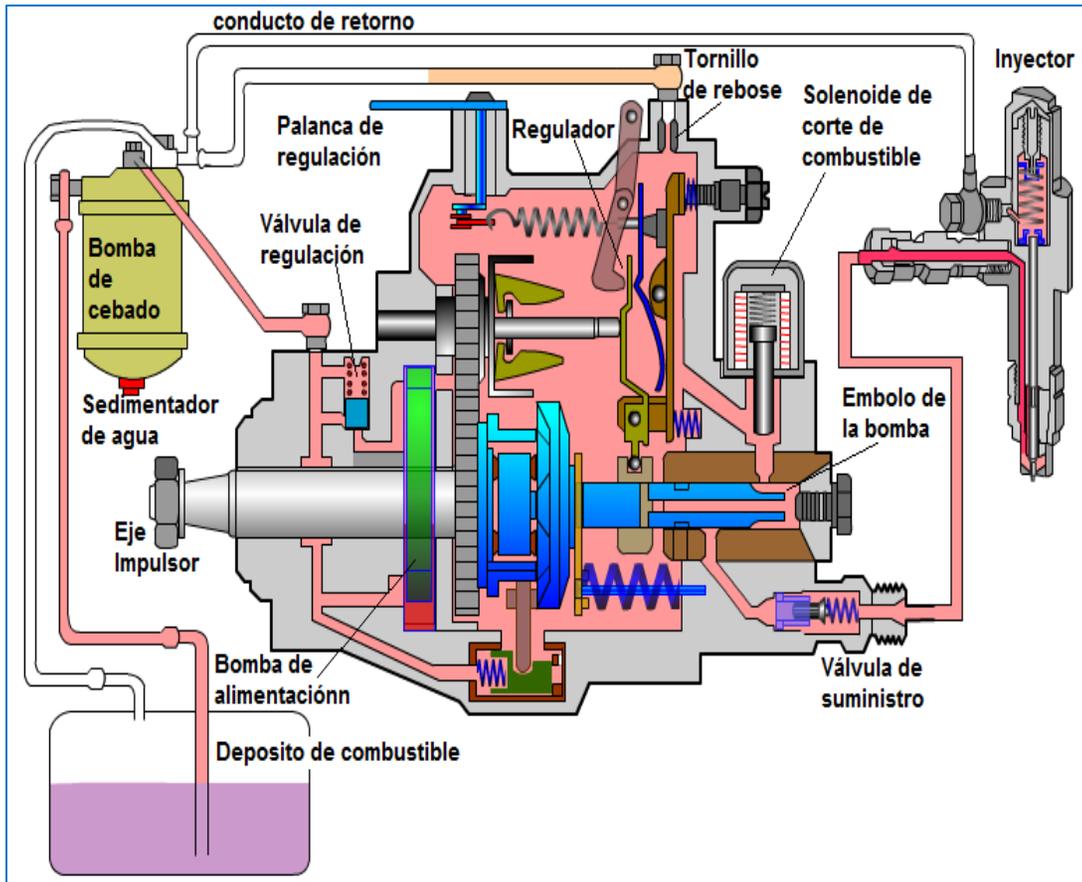


FIGURA 5
Sistema de combustible motor diésel
Fuente: E - Libros

El combustible diésel es conducido desde el depósito que circula a través del sedimentador/separador de agua y el filtro de combustible por medio de la bomba de alimentación que está incorporada en la parte delantera de la bomba de inyección.

La bomba de alimentación no solamente suministra combustible a la bomba de inyección, sino que hace circular el combustible para lubricar las partes móviles de la bomba, donde el émbolo distribuidor de la bomba mide y distribuye el combustible (bajo presión) a través de la tobera hacia la cámara de combustión efectuándolo en el orden de combustión correcto.

El combustible excesivo de la bomba y de las toberas retorna al depósito por medio de la válvula de rebose y la línea de tubos, este sistema de circulación de combustible enfría y lubrica la bomba de inyección mientras calienta el combustible en el depósito para inhibir el espesamiento del combustible en climas fríos.

2.4.1.1 Bomba rotativa

La bomba de inyección mecánica, controla mecánicamente el volumen de inyección y la sincronización de la inyección de combustible.

La bomba de inyección de distribución, que cuenta con un solo pistón que eleva la presión del combustible, también conocida como una "bomba VE" (VE: "Verteiler Einspritz" Distribución de inyección), esta bomba es ligera y compacta utilizado en los motores pequeños de automóviles, minibuses y pequeños camiones.

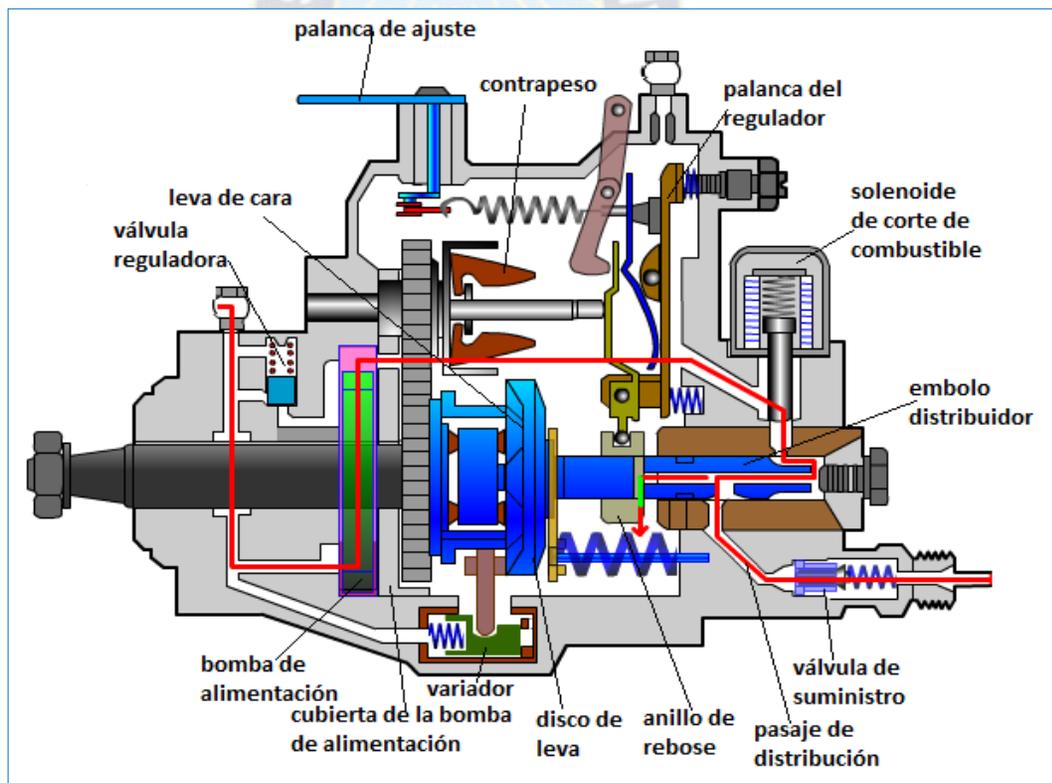


FIGURA 6
Bomba rotativa de inyección diésel Toyota 1C
Fuente: E- Libros

La bomba de inyección presuriza el combustible, esta presión hace que el combustible llegue hasta los inyectores, el volumen de inyección de combustible y la

sincronización de la inyección del combustible se controlan mecánicamente, de acuerdo al esfuerzo que se aplique al pedal del acelerador y a la velocidad del motor.

2.4.1.2 Inyectores de Espiga

El motor diésel comprime el aire de admisión a tal grado que se eleva la temperatura hasta unos 550°C cuando la relación de compresión es de 16:1, la mezcla de 20 partes en peso de aire por una de combustible debe estimarse como promedio en un motor de aspiración natural.⁷

Esta mezcla para consumirse correctamente sin dejar humo visible, debe ser perfectamente homogénea, por lo tanto cada partícula de combustible se atomizará adecuadamente según la presión de compresión, grado de turbulencia y tipo de cámara, la buena combustión depende de la mezcla y ésta del inyector el trabajo del inyector se resume:

- ✚ Introducir la cámara de combustión una pequeña cantidad de combustible.
- ✚ Pulverizarlo en pequeñas átomos de combustible.
- ✚ Repartirlo en el aire de toda la cámara.

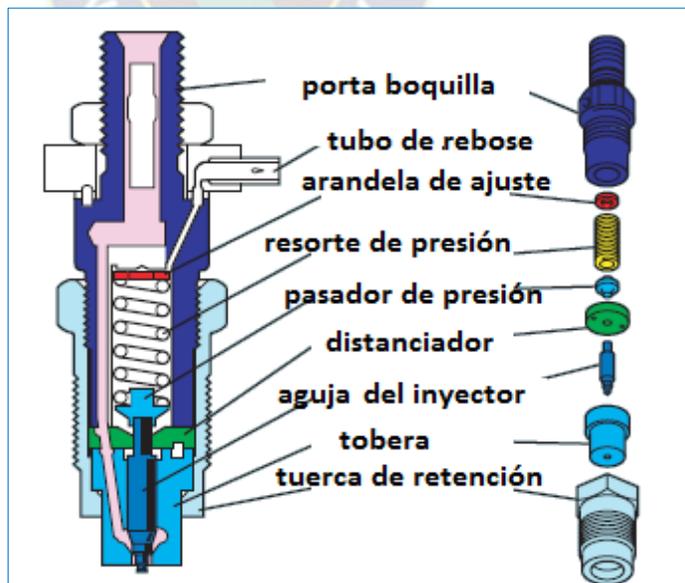


FIGURA 7
Inyector de espiga
Fuente: Manual Toyota

⁷ Mecánica diésel Joaquin Mendoza pag.22

El combustible llega desde la bomba de inyección por el conducto de alta presión al racor de entrada, sigue por el conducto del cuerpo hasta la cámara de la tobera, alrededor de su aguja, el empuje del combustible contra la válvula, vence el resorte, levantándola de su asiento, permitiendo que el combustible fluya por los orificios donde se atomiza.

Las toberas de espiga o tetón tienen una nomenclatura especificando el diámetro nominal para su utilidad en motores de inyección indirecta, la cámara de pre combustión, pre cámara o celdas de energía, usan presiones de descarga de 100 a 150 kg/cm², el cuerpo de la tobera tiene su orificio de descarga en posición central, por donde sobresale la punta de la válvula de forma cónica o cilíndrica.

2.4.1.3 Bujía Incandescente

Cuando se arranca el motor en frío o a una temperatura baja no se puede conseguir el calor adecuado o suficiente de la masa de aire para iniciar la combustión por efecto de la compresión en el cilindro, el sistema de precalentamiento soluciona este problema calentando el aire de entrada para aumentar la capacidad de encendido del combustible, este sistema utiliza corriente de la batería para calentar el aire.

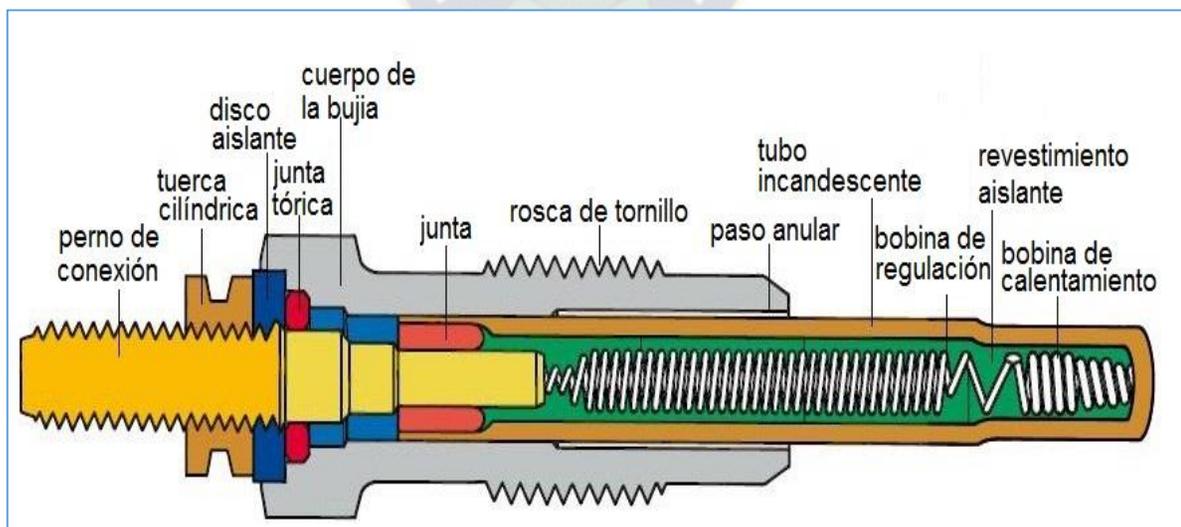


FIGURA 8
Bujía incandescente
Fuente: fmeocat.eu

Las bujías incandescentes se encuentran montadas a la pared de cada cámara de combustión, su envoltura contiene una bobina térmica con un material aislante, donde la corriente eléctrica circula a través de la bobina térmica calentando el tubo incandescente que tiene una superficie grande para ofrecer mayor energía térmica, internamente tiene un material aislante para evitar que el calor de la bobina térmica se propague con la superficie interior del tubo cuando ésta vibra.

2.4.2 Sistema de Distribución

Su misión es la de regular la entrada y salida de los gases en los cilindros, para el llenado y vaciado en el momento preciso, permitiendo la apertura y cierre de las válvulas en forma sincronizada con los desplazamientos del pistón, los engranes del sistema de distribución dan la relación de movimientos del cigüeñal con el árbol de levas y los engranes del cigüeñal y árbol tienen marcas del fabricante que deben ser sincronizadas en el montaje de la correa.

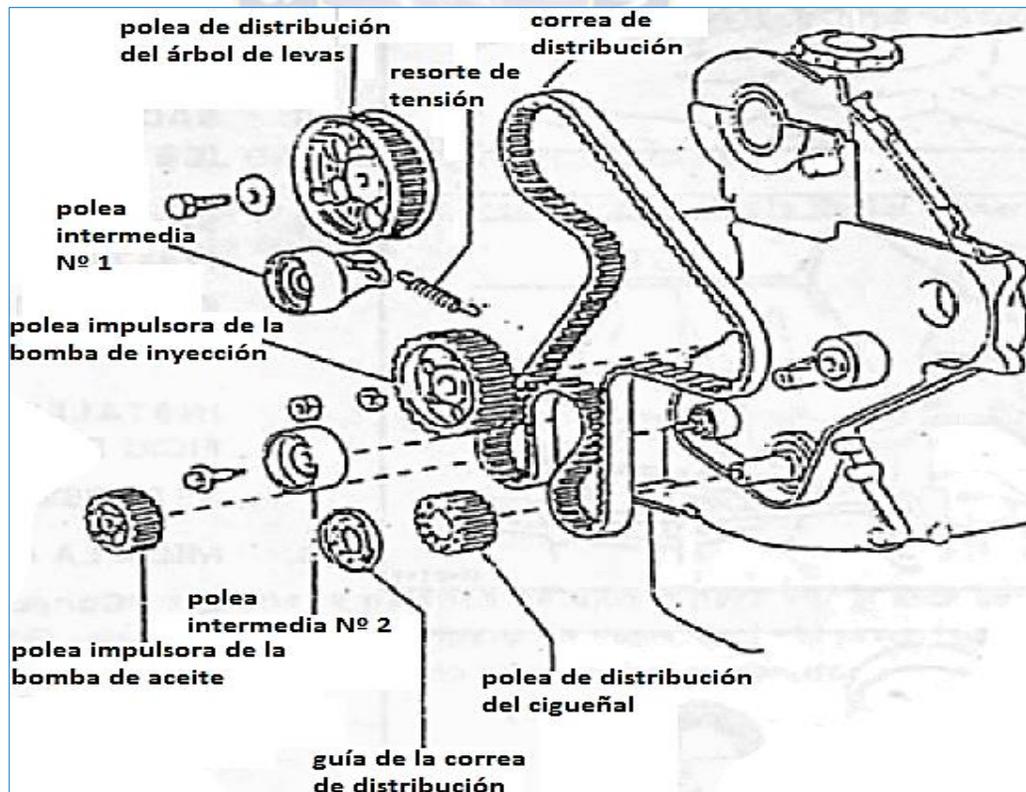


FIGURA 9
Sistema de distribución
Fuente: Manual Toyota Motor 1C

2.4.3 Sistema de Lubricación

El sistema de lubricación suministra el aceite de motor por medio de la bomba a las partes en movimiento y deslizantes del motor para que puedan funcionar suavemente reduciendo su desgaste, también cumple un papel importante en el enfriamiento y limpieza del motor de residuos de la combustión, consiste principalmente del depósito el cual almacena el aceite, la bomba de aceite que genera presión para que circule el aceite a todas las partes móviles del motor, el sistema cuenta con una válvula de alivio que controla la máxima presión del aceite, el filtro de aceite que filtra las impurezas del aceite, el medidor emisor de presión de aceite (interruptor de presión de aceite), el cual detecta la presión de aceite que varía en función a la temperatura del motor desde 15 a 75 psi.

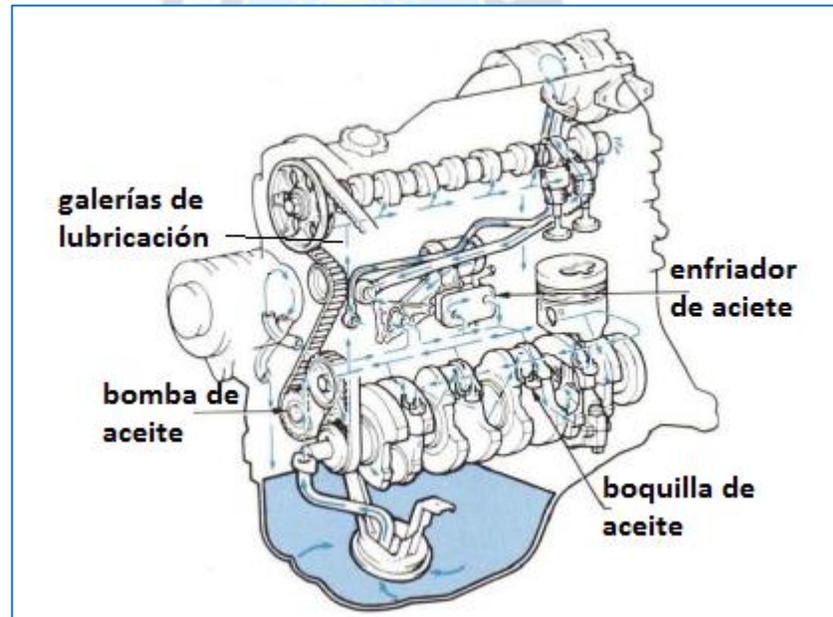


FIGURA 10
Sistema de lubricación
Fuente: Manual Toyota Motor 1C

2.4.4 Sistema de Refrigeración

El motor durante su funcionamiento alcanza altas temperaturas, que si no son disminuidas ocasionan agarrotamiento de las piezas móviles, para mantener el motor a temperaturas apropiadas está el sistema de refrigeración, cuyos principales componentes son la bomba de agua, el radiador y los reguladores de temperaturas.

Como se sabe, el líquido refrigerante circula por los orificios internos del motor absorbiendo a su paso el calor generado por el movimiento de sus piezas, posteriormente el refrigerante se dirige hacia el radiador, que se encarga de reducir su temperatura para enviar de nuevo al motor y continuar el ciclo de enfriamiento.

Las funciones de este sistema es de mantener constante la temperatura de funcionamiento del motor, impidiendo que el motor se sobrecaliente o trabaje a bajas temperaturas, que ocasionaría el desgaste excesivo de la piezas que no han alcanzado la dilatación normal.

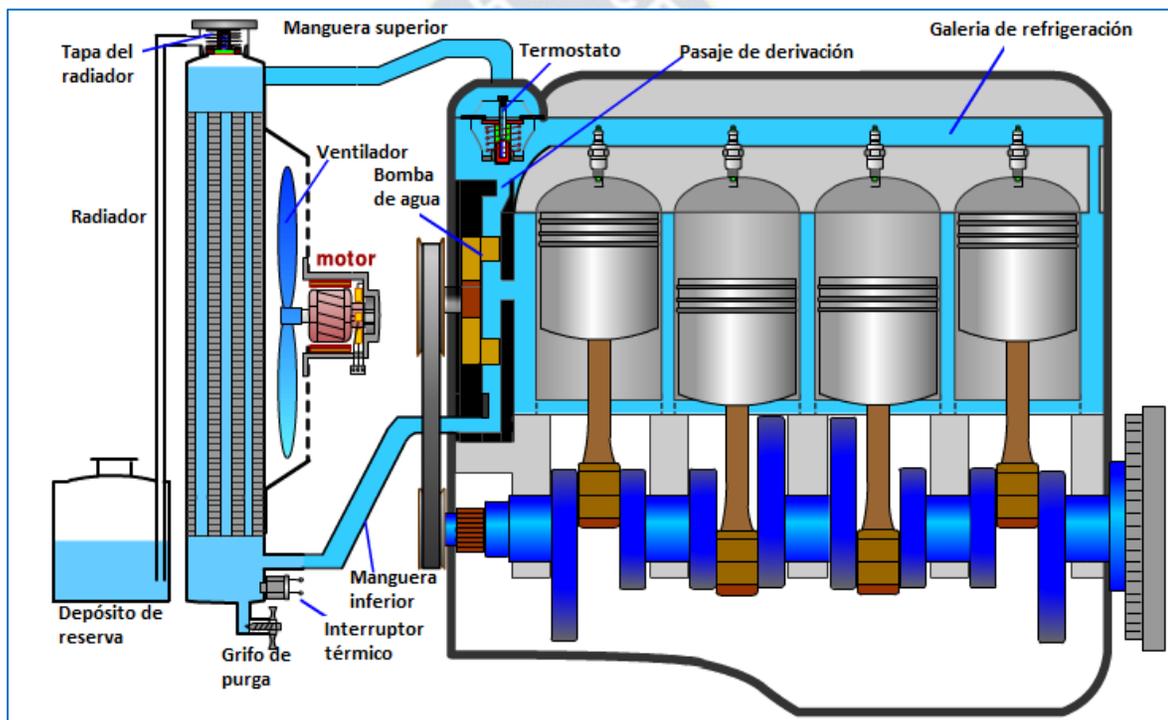


FIGURA 11
Sistema de refrigeración
Fuente: E- libros

2.4.5 El Ciclo Diésel

Es el ciclo ideal para las máquinas de encendido por compresión o motores diésel, esto se debe a la mezcla de aire y de combustible que se comprimen hasta tener una temperatura inferior a la temperatura de auto-encendido del combustible por compresión.

En el motor de Diesel se suministra aire incendiándose el combustible por la elevación de temperatura ocasionada por una alta compresión, el suministro de calor se efectúa a presión constante, las carreras de admisión y escape (barrido de los gases producto de la combustión) son eventos mecánicos y no procesos termodinámicos, ya que el gas contenido en la cámara de combustión no sufre alteraciones en sus propiedades termodinámicas.

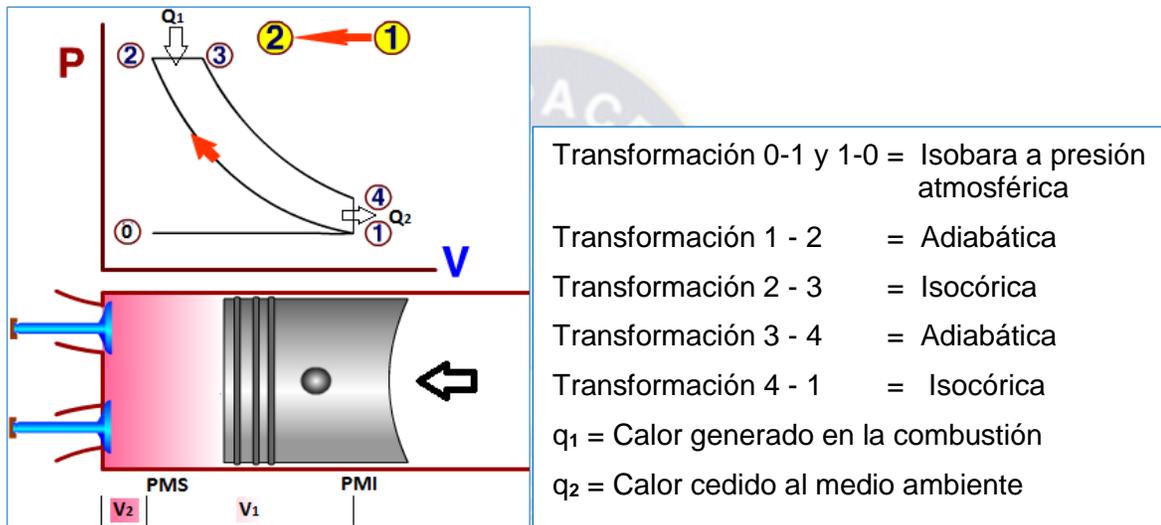


FIGURA 12
Ciclo diésel
Elaboración propia

En el ciclo de Diésel representado en el diagrama Presión--Volumen, los procesos señalados se consideran reversibles y la sustancia de trabajo es un gas ideal.

Proceso 1-2 Compresión adiabática (entropía constante), se proporciona trabajo al sistema.

Proceso 2-3 Transmisión de calor al sistema a presión constante, en este proceso varía el volumen del sistema, ya que se inyecta combustible.

Proceso 3-4 Expansión adiabática (entropía constante) el sistema entrega trabajo.

Proceso 4-1 Transmisión de calor del sistema al medio ambiente a volumen constante, esto ocurre cuando se abre la válvula de escape).

2.4.6 Inyección indirecta de combustible

El inyector suministra el combustible en la pre cámara de combustión, encima de la válvula de admisión, que no tiene por qué estar necesariamente abierta, en los motores a diésel con inyección indirecta el combustible se introduce antes de la cámara de combustión, en el denominado colector de admisión, se inyecta el combustible en una precámara, ubicada en la culata y conectada con la cámara principal de combustión dentro del cilindro mediante un orificio de pequeña sección.

Parte del combustible se quema en la precámara, aumentando la presión y enviando el resto del combustible no quemado a la cámara principal, donde se encuentra con el aire necesario para completar la combustión.

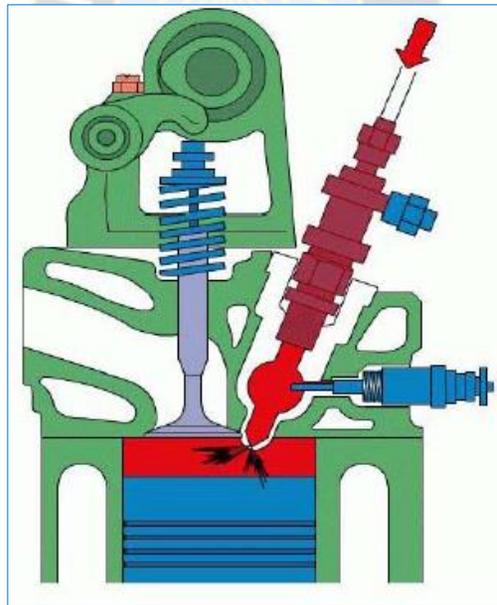


FIGURA 13

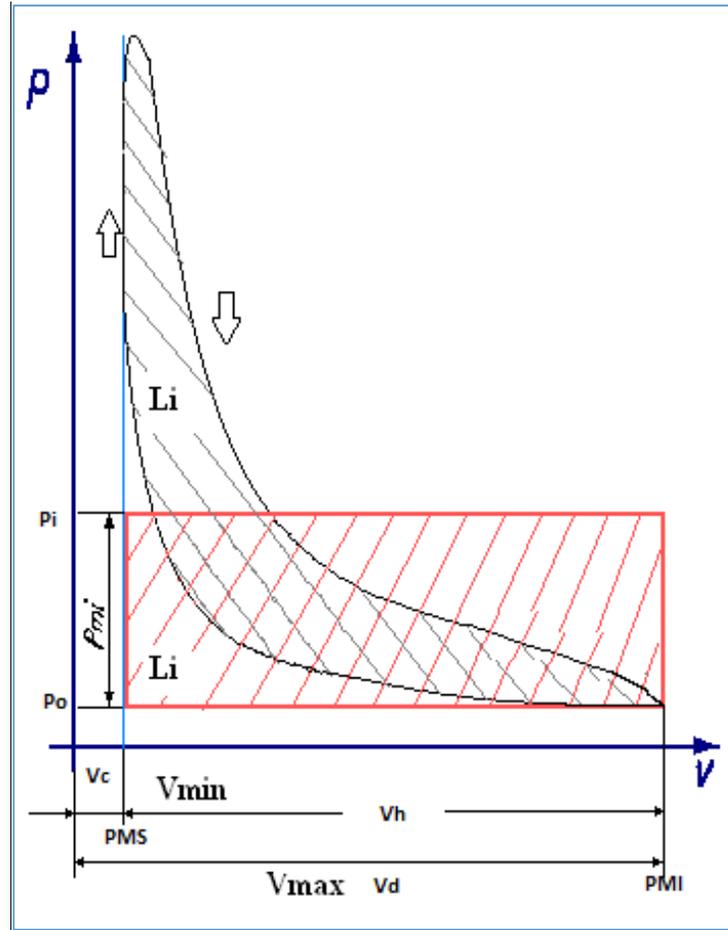
Inyección indirecta de combustible
Fuente: www.vehiculo.org

2.4.7 Parámetros Indicados y Efectivos del Ciclo de Trabajo

En los motores de combustión interna, se analizan los parámetros indicados y efectivos como los procesos de la combustión que describe el ciclo real como el trabajo indicado, la presión media indicada, el rendimiento indicado, la potencia indicada y el consumo específico indicado de combustible.

✚ Trabajo indicado (L_i) y presión media indicada (P_i)

En coordenadas P-V este trabajo se determina por la superficie dentro del contorno que describe el ciclo en el proceso de la combustión.



Cuadro 1

Diagrama Indicador del MCI⁸ en coordenadas Presión-Volumen

Fuente: MCI HEYWOOD (Motor de Combustión Interna)

Donde:

(P_i) Es la presión media indicada, es una presión constante en magnitud que actúa sobre el embolo durante su desplazamiento.

El volumen del cilindro (V_h) es proporcional a la diferencia del volumen total del cilindro y el volumen de la cámara de combustión.

⁸ MCI (Motor de Combustión Interna)

$$(V_h = V_d - V_c)$$

El trabajo indicado es un parámetro de los procesos de la combustión considerando la potencia interna que genera el motor.

$$L_i = P_i * V_h$$

P_i = Presión media indicada (Pa), (Pascal)

V_h = Volumen de trabajo del cilindro (m³), (metros cúbicos).

Si el volumen de un cilindro es:

$$V_h = \frac{\pi}{4} * D^2 * S$$

Donde:

D = Diámetro del cilindro (m).

S = Carrera del pistón (m).

La potencia indicada en (kW), (kilovatios) del motor que tiene 4 cilindros si:

El número de ciclos de trabajo realizados por el motor en 1 segundo es igual a $\frac{2n}{\tau}$.

n = Frecuencia de rotación del cigüeñal, en rps ($\frac{1}{s}$), (revoluciones por segundo)

τ = Tipo de motor, es decir, el número de carreras del pistón por ciclo.

$$N_i = \frac{2}{\tau} * P_i * i * V_h * n$$

La potencia indicada en (kW) del motor que tiene 4 cilindros si:

V_h = Volumen de trabajo del cilindro (l), (Litros).

n = Frecuencia de rotación del cigüeñal (rpm), (revoluciones por minuto)

P_i = Presión media indicada (Pa), (Pascal)

$$N_i = \frac{P_i * i * V_h * n}{30 * \tau}$$

El trabajo efectivo (L_e) y la potencia efectiva se obtiene directamente a partir del par efectivo que el motor entrega a un determinado régimen de giro.

La potencia efectiva en (kW) del motor que tiene 4 cilindros si:

Si el M_t (momento torsor) es igual al momento M_e (momento torsor efectivo) en el volante de inercia.

La potencia efectiva en (kW) puede obtenerse en la salida del cigüeñal del motor se denomina potencia efectiva (N_e), esta potencia es menor que la potencia indicada debido a las pérdidas mecánicas.

Expresando unidades:

$P_m = \text{MPa}$, (Mega Pascales)

$V_h = \text{litros}$

$n = \text{rpm}$, (revoluciones por minuto)

La presión media P_m corresponde a las pérdidas mecánicas en (MPa)

La presión eficaz media es:

$$P_e = P_i - P_m$$

La potencia efectiva en kW resulta:

$$N_e = \frac{P_e * i * V_h * n}{30 * \tau} \text{ (kW)}$$

Para comparar en diferentes motores, la potencia efectiva se refiere a la unidad de volumen por lo tanto la potencia indicada sera:

$$N_i = \frac{N_e}{i * V_h} \text{ (kW)}$$

Para el rendimiento se toma en cuenta el trabajo absorbido por los rozamientos en las piezas en movimiento del motor (pistones, bielas, cigüeñal) y de los

componentes auxiliares del motor, así como el trabajo absorbido (admisión y escape). Analíticamente el rendimiento mecánico es la relación existente entre el trabajo efectivo medido en el eje motor y el trabajo indicado.

$$\eta_m = \frac{L_e}{L_i} * 100(\%)$$

El rendimiento en términos de potencia:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} * 100(\%)$$

2.5 EL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL

El Biodiesel es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales que funciona en cualquier motor diésel. Se produce a través de reacciones de aceites vegetales o grasa animal con metanol o etanol en la presencia de un catalizador para producir glicerina y biodiesel.⁹

El biodiésel es un tipo de biocombustible que pasa por un proceso de catálisis química, decantación y refinación de aceites vegetales, ya sea puros (como girasol o soya, por ejemplo), o usados.

Cossio explicó que la empresa Bioma S.R.L. utiliza aceites usados, porque lo contrario significa usar materia prima virgen, que “atenta contra la disponibilidad de alimentos para la población y no es sostenible para el cuidado del medioambiente”.

El biodiesel, preparado a partir de aceite usado de cocina tiene dos ventajas muy importantes, por una parte se reduce la emisión de gases contaminantes producto de la combustión, donde la presencia de oxígeno en su composición química hace que la combustión sea más completa, reduciendo la emisión de partículas de carbono elemental, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados y la otra ventaja es que se realiza un reciclaje de material de desecho altamente contaminante.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el biodiesel como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos

⁹ Carless, J. (1998).Energías Renovables.

renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores diésel”.

2.5.1 Proceso de Producción del Biodiesel a partir de aceites usados

La producción de biodiesel, tomando como base diferentes aceites comestibles usados de diversas marcas y variadas consistencias, fue dada de acuerdo al índice de demanda que estos tienen en el mercado y también se considera sus ingredientes, por lo tanto el biodiesel obtenido fue probado en el funcionamiento del motor diésel toyota 1C en diferentes proporciones de mezcla con diésel.

Un litro de aceite comestible echado al drenaje, contamina muchos litros de agua, lo recomendable sería almacenarlo el aceite usado en botellas Pet, cerrarla y colocarla luego en la basura normal, sin embargo se encontró la manera de reutilizarlo y producir biodiesel acción que ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.

| Compuesto | Fórmula Química | Estado Físico a temperatura ambiente | Punto de Fusión (°C) | Punto de Ebullición (°C) | Temperatura de Auto - ignición (°C) | Densidad (gr/cm ³) |
|----------------------|---|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Aceite: | - | Líquido | -3,5 | 300 | - | 0,83 |
| Agua | H ₂ O | Líquido | 0 | 100 | - | 1,00 |
| Metanol | CH ₃ OH | Líquido | -97,2 | 64,7 | 385 | 0,79 |
| Hidróxido de sodio | NaOH | Sólido | 323 | 1390 | - | 2,10 |
| Alcohol Isopropílico | H ₃ C-HCOH-CH ₃ | Líquido | -89,0 | 82,0 | 399 | 0,79 |
| Fenoltaleína | C ₂₀ H ₁₄ C ₄ | Líquido | 258 | - | - | 0,89 |
| Biodiésel | - | Líquido | - | 190-340 | >100 | 0,88 |
| Glicerina | C ₃ H ₅ (OH) ₃ | Líquido | 18,0 | 290 | 350 | 1,26 |

Tabla 1. Compuestos utilizados en el proceso de producción del biodiesel.

Fuente: BioMas S.A.

Nota: Los valores que no se encuentran escritos es debido a que no se encontró dicha información.

El biodiesel puede mezclarse con diésel procedente de la refinación del petróleo en diferentes cantidades, se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: (B100) en caso de utilizar sólo biodiesel, (B50) mezcla de un 50% de diésel y un 50% de biodiesel, (B30) mezcla de un 70% de diésel y un 30% de biodiesel y (B20) que tiene una mezcla de un 80% de diésel y un 20% de biodiesel donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

Los aceites y grasas, desde el punto de vista químico, están formados mayoritariamente por triglicéridos, es decir, ésteres con tres cadenas moleculares de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol, cuando el glicerol se substituye por metanol obteniendo tres moléculas de metilésteres y una molécula de glicerina.

Respecto al proceso de producción de biodiesel en Cochabamba (Bolivia), la planta BIOMA produce biodiésel con aceite de broasterías, por ejemplo, por 1.000 litros de aceite demoran 12 a 15 días en convertirse en biodiésel con “cero de impurezas”¹⁰.

El biocombustible se obtiene mediante el proceso base-base de transesterificación que substituye al metanol - producto químico utilizado para quitar el agua de la gasolina por la glicerina en los triglicéridos (grasas, aceites) para elaborar metilesteres también denominados biodiesel con metanol, empleando un catalizador básico, que es el hidróxido de sodio, para este proceso de producción de biocombustible comprende, a grandes rasgos, las siguientes etapas de filtración y valoración, reacción de transesterificación, decantación, luego, el biodiesel es lavado (eliminar compuestos) y finalmente secado (separación al biocombustible del agua, y que ésta se evapore)¹¹.

Proceso ácido-base. Este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base), se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez. (www.bolivianland.net)

¹⁰ Los Tiempos, Bolivia

¹¹ BioMás S.A.

2.5.2 Ventajas y Desventajas del Biodiesel

En cuanto a las emisiones el Biodiesel mezclado con diésel en proporción del 20% (B20) o 100% Biodiesel (B100) presenta importantes reducciones de todas las emisiones excepto por las emisiones de Óxido de Nitrógeno donde compite en desventaja con el diésel.

Los motores diesel requieren un combustible que sea limpio al quemarlo, además de permanecer estable bajo las distintas condiciones en las que opera, el biodiésel puede ser utilizado en estado puro (B100) o puede ser mezclado con diésel de petróleo en las operaciones de concentración y puede ser utilizado en la mayoría de las bombas de inyección diésel.

Se debe tener cuidado en el primer uso porque los residuos del diésel son removidos y pueden obstruir cañerías, siendo necesario un cambio de filtro, otra idea es usar biodiésel progresivamente para que no ocurran obstrucciones con facilidad donde el sistema se mantenga limpio.

El biodiésel es el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diesel, sin ser necesario ningún tipo de modificación, como sus propiedades son similares al combustible diesel de petróleo, se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema (Hilbert, 2007).

El biodiésel tiene unas propiedades físicas similares a las del diesel (densidad, viscosidad), sin embargo, como inconvenientes presenta un menor poder calorífico (alrededor de un 10%) y un comportamiento inferior a bajas temperaturas con tendencia al solidificarse en condiciones de frío extremas, lo que obliga a que deba ser tratado con aditivos específicos al igual que, por otra parte, se realiza con el propio diesel.

Como ventajas cabe mencionar que presenta un número de cetano superior al del diesel, mejorándolo si se emplea como aditivo de éste y que presenta un punto de inflamación más alto, permitiendo un almacenamiento mucho más seguro (Sebastián, 2006).

VENTAJAS

- ✚ El biodiésel es un recurso renovable, biodegradable y no tóxico.
- ✚ Es oxigenado, hace que produzca menores emisiones de monóxido de carbono (CO), de hidrocarburos no quemados y de partículas de humo, contribuyendo a la disminución de los gases de efecto invernadero.
- ✚ Puede ser usado directamente en motores de inyección directa, sin necesidad de realizar adaptaciones especiales.
- ✚ El desempeño de los motores registran diferencias significativas en relación a los combustibles fósiles, debidas a su alto poder lubricante.
- ✚ El manejo es más seguro, pues posee (punto de inflamación) muy alto.
- ✚ Los gases resultantes de la combustión no contienen SOx, principales causantes de la lluvia ácida.
- ✚ Desarrollo local y regional: Mejora la cohesión económica y social y posibilita la creación de puestos de trabajo.
- ✚ Revitalización de áreas rurales.
- ✚ Puede contribuir a disminuir la dependencia del consumo de combustible derivado del petróleo en el país.
- ✚ Puede contribuir a la reducción de importaciones de diésel.

DESVENTAJAS

- ✚ El biodiésel posee alrededor de 8% menos energía por litro que el diésel, viéndose afectada la potencia y el consumo del motor.
- ✚ Costos elevados de producción
- ✚ Bajo los 0 °C pueden existir problemas de congelación del biodiésel y depósitos en el motor.
- ✚ Aumento de las emisiones de aldehídos y de NOx.
- ✚ Requiere de grandes superficies de terreno para obtener materia prima.
- ✚ Al ser un buen solvente, puede disolver sedimentos presentes en el sistema de combustible del motor y causar obstrucción de filtros en su primer uso en motores que operan con diésel, por lo que se recomienda hacer una limpieza del sistema de combustible al cambiar de diésel a biodiésel.
- ✚ El biodiésel se oxida con más rapidez que el diésel, característica que puede ser un problema para el almacenamiento a largo plazo para este producto.
- ✚ El biodiésel viejo se vuelve ácido y forma sedimentos saliendo de los estándares de calidad.
- ✚ No es compatible con algunos tipos de materiales como plásticos, caucho, cobre (y sus aleaciones), plomo y zinc.

Cuadro 2: Ventajas y desventajas del biodiesel
Fuente: Diego Lizana R

2.5.3 Parámetros del Biodiesel

ASTM¹² ha especificado distintas pruebas que se le deben hacer a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento, estos son:

| DESCRIPCIÓN | Método de análisis ASTM | Biodiesel Aceite Usado | DIE SEL | Especificación Diesel No. 2-D |
|---|-------------------------|------------------------|---------|-------------------------------|
| PUNTO DE INFLAMABILIDAD, °C | ASTM D-93 | 141 | 65 | 52 MIN. |
| AZUFRE, % masa | ASTM D-129 | 0.06 | 0.4 | 0.5 MAX. |
| CORROSIÓN EN LA TIRA DE COBRE, 3h, 50°C | ASTM D-130 | 1 | 1 | No. 2 MAX. |
| CALOR DE COMBUSTIÓN SUPERIOR, MJ/Kg | ASTM D-240 | 39.83 | 43.0 | ----- |
| GRAVEDAD API, °API | ASTM D-287 | 30.8 | 34 | REPORTAR |
| VISCOSIDAD CINEMÁTICA, mm ² /s | ASTM D-445 | 4.7 | 3.6 | 1.9 - 4-1 |
| CENIZA, % masa | ASTM D-482 | 0.003 | < 0.01 | 0.01 MAX. |
| INDICE DE CETANO, calculado | ASTM D-976 | 50 | 46 | 45 MIN. |
| COLOR ASTM | ASTM D-1500 | 1.2 | 2.5 | REPORTAR |
| AGUA Y SEDIMENTO, % volumen | ASTM D-1796 | < 0.05 | < 0.05 | 0.05 MAX. |
| DESTILACIÓN, °C, 760 mmHg en base a lo recuperado | ASTM D-86 | 354 | 330 | 360 MAX. |

Tabla 2: Estándar de calidad para biodiesel (B100) de acuerdo con la ASTM
Fuente: ASTM

Poder calorífico: El Biodiesel obtenido de aceites reciclados tiene un poder calorífico ligeramente menor que el diésel siendo de aproximadamente 37.20 a 39.83 MJ/kg

¹² ASTM (American Standards for Testing and Materials)

comparado con 43.0 a 45.0 MJ/kg del diesel, es decir, su poder calorífico es de 14 a 15% menor por su comparación en peso.

Viscosidad: Para algunos motores, puede llegar a ser ventajoso especificar un mínimo de viscosidad debido a la pérdida de potencia por parte de la bomba inyectora y pérdidas de combustible en el inyector.

Cenizas sulfatadas: La formación de cenizas puede estar presente en tres formas distintas: sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y catalizador remanente. Los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro de inyector, la bomba inyectora, pistones y anillas

Sulfuros: El efecto que puede ocasionar la presencia de sulfuros puede variar considerablemente dependiendo en gran medida de las condiciones de operación. Afecta principalmente el desempeño de los sistemas de control de emisiones.

Números de cetano: El número de cetano es una medida de la calidad de ignición del combustible y la presencia de humos negros y rudeza de marcha.¹³

2.5.4 Desempeño de un Motor Diésel con Biodiesel

Un motor desarrolla menos potencia cuando trabaja a mayores altitudes, esto debido a que las características atmosféricas cambian y estas son menos propicias para su funcionamiento, principalmente por la menor presión y densidad del aire en la altura.

Otros factores como la temperatura y la humedad relativa del aire afectan el funcionamiento del MCI (Motor de Combustión Interna), pero en menor proporción que la presión y la densidad. La menor presión atmosférica en la altitud hace que esta sea menor dentro de todo el ciclo termodinámico, el aire dentro del cilindro no llega a las condiciones de temperatura y presión en el punto de mayor compresión que llegaría si estuviese a nivel del mar. La menor densidad del aire afecta a la eficiencia térmica del

¹³ INDECOPI. NTP. (2008). Biocombustibles Biodiesel, Especificaciones. Pág. 16.

motor porque para un mismo volumen de la cámara de combustión existen menos partículas de aire para que se produzca la reacción de combustión completa, es decir, dentro del motor no hay suficientes moléculas de oxígeno que reaccionen con todo el combustible por lo tanto no se puede transformar toda la energía química del combustible en trabajo.

2.5.5 Condiciones del Aire en la Altitud

A medida que la altura sobre el nivel del mar aumenta, la presión y la densidad atmosférica disminuyen debido a la menor columna de aire, por ese motivo también cambia la composición del aire porque sus componentes tienen diferente peso molecular.

Es conocido que la temperatura del medio disminuye a lo alto de la tropósfera, para efectos de cálculo en motores se puede asumir que la temperatura atmosférica disminuye linealmente de 20°C a 0 m.s.n.m. hasta - 55°C a 11000 m.s.n.m. ¹⁴

| ALTURA (m) | DENSIDAD DEL AIRE (kg/m ³) |
|------------|--|
| 0 | 1,188 |
| 500 | 1,133 |
| 1000 | 1,081 |
| 1500 | 1,03 |
| 2000 | 0,98 |
| 2500 | 0,933 |
| 3000 | 0,889 |
| 3500 | 0,844 |
| 4000 | 0,803 |
| 4500 | 0,762 |

Tabla 3: Variación de la Densidad del Aire a Diferentes Altitudes
Fuente: SAE INTERNATIONAL. (1995).Combustion Process of Diesel

2.5.6 Efecto de la Altitud en el Desempeño de un Motor Diésel

Un motor desarrolla menos potencia cuando trabaja a mayores altitudes, esto debido a que las características atmosféricas cambian y estas son menos propicias para su funcionamiento, principalmente por la menor presión y densidad del aire en la altura.¹⁵

¹⁴ SAE INTERNATIONAL. (1995).Combustion Process of Diesel

¹⁵ SIVASANKARAN,J.(1998).Performance of Diesel Engines at High Altitudes.Pag.9.

Los factores como la presión y la temperatura también afectan en el funcionamiento de un motor diésel, en la tabla siguiente se muestra que la temperatura y la presión disminuyen a medida que incrementa la altura (m.s.n.m.).

| ALTURA (m) | PRESIÓN (kPa) | TEMPERATURA (°C) |
|------------|---------------|------------------|
| 0 | 100 | 20 |
| 500 | 94,3 | 16,6 |
| 1000 | 88,9 | 13,2 |
| 1500 | 83,7 | 9,8 |
| 2000 | 78,7 | 6,4 |
| 2500 | 74 | 3 |
| 3000 | 69,6 | -0,5 |
| 3500 | 65,3 | -3,9 |
| 4000 | 61,3 | -7,3 |
| 4500 | 57,4 | -10,7 |

Tabla 4: Variación de Presión y Temperatura Atmosférica a Diferentes Altitudes

Fuente: SAE INTERNATIONAL. (1995).Combustion Process of Diesel

La menor presión atmosférica en la altitud hace que esta sea menor dentro de todo el ciclo termodinámico, por lo tanto, el aire dentro del cilindro no llega a las condiciones de temperatura y presión en el punto de mayor compresión que llegaría si estuviese a nivel del mar.

La disminución densidad del aire afecta a la eficiencia térmica del motor porque para un mismo volumen de la cámara de combustión existen menos partículas de aire para que se produzca la reacción de combustión completa, es decir, dentro del motor no hay suficientes moléculas de oxígeno que reaccionen con todo el combustible por lo tanto no se puede transformar toda la energía química del combustible en trabajo.¹⁶

La potencia desarrollada es menor cuando la presión disminuye, ya que para poder alcanzar la misma potencia en diferentes presiones se necesita más inyección de combustible.

¹⁶ Agudelo, J.Sanchez,C.(2006).Estudio del Efecto de la Altitud y Comportamiento del Motor diésel Pág.3.

2.5.7. Análisis de los Gases Residuales

Respecto a la emisión de contaminantes de las fuentes móviles es muy variada, los datos registrados en algunas ciudades, estiman desde un 15 hasta un 80% dependiendo de las características del lugar, de la distribución de la industria y del tipo de contaminante: CO, CO₂, NO_x, HC, Pb, SO₂, puede ser representando en partes por millón (ppm).

Las normativas actuales y futuras que se imponen a los productores de motores de combustión interna prevén una reducción importante en óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos sin quemar (HC), plomo (Pb), óxidos de azufre (SO_x) y partículas.

CO (monóxido de carbono)

El Monóxido es resultado del proceso de combustión y se forma cuando la combustión es incompleta, es un gas tóxico, inodoro e incoloro.

Los valores altos del CO, indican una mezcla rica o una combustión incompleta. Normalmente el valor correcto está comprendido entre 0,5 y 2 %, siendo la unidad de medida el porcentaje en volumen.

NO_x (Óxidos de Nitrógeno)

Los óxidos de Nitrógeno se simbolizan genéricamente como NO_x, siendo la "x" el coeficiente correspondiente a la cantidad de átomos de nitrógeno que se encuentra en los valores de 1, 2,3, estos gases residuales pueden ser medidos con un analizador de gases exclusivamente para NO_x, (óxidos de nitrógeno)

Estos óxidos son perjudiciales para los seres vivos y su emisión en muchos lugares del mundo se encuentra reglamentada, los óxidos de nitrógeno surgen de la combinación del oxígeno y el nitrógeno del aire, se forman a altas temperaturas y baja presión, este fenómeno se lleva a cabo cuando el motor se encuentra en plena carga.

HC (Hidrocarburos no quemados)

Este compuesto representa los hidrocarburos que salen del motor sin quemar, la unidad de medida es el ppm (partes por millón), recordemos que el porcentaje representa partes por cien partes y el ppm (partes por millón de partes).

La conversión sería $1\% = 10000 \text{ ppm}$, se utiliza el ppm, porque la concentración de Óxidos y HC en el gas de escape son muy pequeñas.

Una indicación alta de Óxidos y HC indica:

- Mezcla rica, el CO también da un valor alto.
- Mala combustión de mezcla pobre.
- Escape o aceite contaminado.

El valor normal está comprendido entre 100 y 500 ppm.

Todos estos productos se obtienen a partir del aire y del combustible que ingresa al motor, el aire tiene un 80 % de Nitrógeno y un 20 % de Oxígeno (aproximadamente).

Opacidad

En los motores Diesel debido a que la combustión natural se genera bajo mezcla con exceso de aportación de aire, las emisiones de CO de los gases de escape son muy reducidas y por el contrario, las emisiones de mayor toxicidad son los residuos sólidos de los gases de escape, es decir, los humos negros de carbonilla.

Para controlar esta cantidad de emisiones de escape en los motores Diesel se utilizan los opacímetros, que básicamente constan de una cámara de medición que porta en su interior un emisor y un receptor de luz que al recircular por el interior de esta cámara de medición los humos de los gases de escape, se genera una absorción del haz de luz emitido hacia el receptor, en función de la mayor o menor cantidad de "negritud" del humo, esta reducción de luminosidad nos facilita la medición porcentual de la opacidad de los gases de escape.

Como resultado de la medición de la opacidad, a través del cálculo logarítmico correspondiente, se obtiene el valor determinado por el coeficiente de absorción luminosa, denominado como “K”.

Tienen dos escalas de medición: Una de ellas en unidades de absorción de luz expresada en m^{-1} y la otra lineal de 0 % a 100 % de opacidad, ambas escalas de medición se extienden desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total.

Opacidad: Es la condición en la cual una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz.

Opacímetro: Es un analizador de humos de cámara cerrada que funcionan bajo el procedimiento de muestreo de descargas parciales.

Humo de diesel: Es el residuo resultante de una combustión, compuesto en su mayoría de carbón, cenizas y de partículas visibles en el ambiente.

La medición de la opacidad tiene una aplicación de gran importancia en materia ambiental, ya que está referida a la evaluación de emisión de gases a la atmósfera generados por la combustión de diesel en vehículos que circulan en el país.

En Bolivia más del 70 % de la contaminación del aire se genera por la emisión de gases de los vehículos, (advierte un estudio realizado entre 2008 y 2012 por el Vice ministerio de Medioambiente).

2.6. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Para alcanzar de manera eficiente los objetivos del proyecto, se realizarán pruebas experimentales en el motor a diesel Toyota 1C.

El motor debe encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento, para realizar las pruebas y poder alcanzar resultados eficientemente.

Las pruebas de rendimiento del motor se realizarán utilizando el dinamómetro hidráulico mediante ensayos por barrido en diferentes proporciones de mezclas de

combustible diesel y biodiesel, para determinar la Potencia, Torque y Consumo de combustible.

Obteniendo los parámetros comparativos del motor, con ambos combustibles, se realizarán las comparaciones de los resultados obtenidos en el ensayo. Para la utilización del dinamómetro, se deberán realizar modificaciones en el acoplamiento del dinamómetro al convertidor de par del motor utilizando una junta homocinética, por no ser versátil dicho instrumento para cualquier tipo de motor.

El motor diesel, completo con accesorios, mismo que se utilizará para la prueba será un Toyota 1C de origen Japonés, con 1839 cc de cilindrada. Dicho motor antes de ser utilizado se someterá a pruebas de compresión de cilindros, tolerancia de lubricación de aceite para determinar el estado y realizar la respectiva reparación.

El trabajo enfoca fundamentalmente el estudio del funcionamiento del motor diesel utilizando porcentajes de mezcla de diesel con biodiesel como combustible, determinar la mezcla eficiente para el funcionamiento del motor diesel.

Recurriendo, metodológicamente, al análisis para iniciar el estudio por las partes más específicas y a partir de éstas llegar a una explicación total del problema, buscando construir explicaciones con base en la síntesis como otro método de estudio.

Asimismo, con base en el fundamento teórico, se recurrirá a la deducción para el análisis comparativo del funcionamiento del motor diesel.

CAPITULO TRES

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL MOTOR TOYOTA 1C

En el diagnóstico del estado del motor se realizaron diferentes actividades para determinar las fallas y averías en los componentes del motor determinando:

- ✚ Compresión baja de motor (100 psi).
- ✚ Desgaste de anillos, guías de válvulas, válvulas y asientos de válvula.
- ✚ Evacuación de humo negro producto de mucha entrada de combustible.
- ✚ Bomba de inyección descalibrada.

Los trabajos que se realizaron en la reparación del motor diésel Toyota 1C son:

- ✚ Desensamble de los elementos externos del motor
- ✚ Desensamble de la culata del motor
- ✚ Limpieza de componentes de la culata
- ✚ Desmontaje de los componentes del bloque del motor
- ✚ Limpieza de los componentes alojados en el bloque del motor
- ✚ Montaje de los componentes de la culata y el bloque de cilindros
- ✚ Análisis del sistema de inyección del combustible
- ✚ mantenimiento de la bomba de inyección
- ✚ Armado de la bomba de inyección
- ✚ Puesta a punto de la bomba de inyección con el banco de pruebas MAGASA
- ✚ Análisis del inyector y su respectivo cambio de toberas
- ✚ Ensamblado de las partes del inyector
- ✚ Ajuste de la presión de abertura del inyector
- ✚ Instalación de los sistemas del motor
- ✚ Encendido del motor y su asentamiento con los nuevos componentes
- ✚ Calibración del motor regulando la sincronización del adelanto o retraso del punto.

3.2 AJUSTE DEL MOTOR TOYOTA 1C

Primeramente se llevó un diagnóstico de fallas del motor verificando el sistema de combustible, de lubricación, asegurándonos que el motor se encuentre en buenas condiciones de marcha, cuando colocamos en marcha se observaron problemas en el funcionamiento, demasiada contaminación producto de la evacuación de gases.

Se procedió a la verificación y medición de la compresión de los cilindros que se encontraban en un promedio de (100 psi), según las características técnicas del motor diésel Toyota 1C la compresión para las pruebas deberán promediar a (140 psi).

Desgaste y holgura de aceite (Lubricación)

El término lubricación se refiere al proceso en el que un fluido se introduce entre las superficies en contacto de dos cuerpos con movimiento relativo que rozan unidos por una carga, y este fluido forma una película de separación física entre las superficies de los cuerpos, que reduce la fuerza de deslizamiento y con ello el desgaste mutuo.

Para determinar la holgura de aceite se utilizó el plastigage para medir la holgura de aceite del muñón del cigüeñal y biela.

El Plastigage es una tira plástica que viene dentro de un sobre, que tiene impresa una escala graduada por un lado en milésimas de pulgada y por el otro en centésimas de milímetro.

- ✚ Para motores livianos el verde, que presenta una tolerancia entre 0,001” y 0,003” milésimas de pulgada.
- ✚ Para motores medianos el rojo que presenta una tolerancia entre 0,002” y 0,006” milésimas de pulgadas.
- ✚ Para motores pesados el color azul que presenta una tolerancia entre 0.004 y 0.009 milésimas de pulgada.
- ✚ Para utilizar limpie los muñones de la biela o cigüeñal, las tapas de bielas o bancadas.
- ✚ Coloque una tira de “plastigage a través del muñón del cojinete de biela.

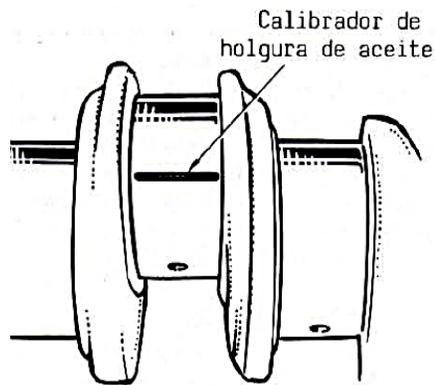


FIGURA 14
Tira de plastigage para medir tolerancia de muñón de biela
Fuente: Elaboración propia

- ✚ Instale y apriete la tapa de biela en varias etapas, evitando que gire el cigüeñal.
- ✚ Mida la tolerancia con la escala graduada en la parte más ancha del sello.



FIGURA 15
Medición de tolerancia de aceite en la bancada
Fuente: Elaboración propia

| HOLGURA DE ACEITE | | TORQUE | MEDICION | OBSERVACIONES |
|-------------------|---|-----------|----------|--|
| Muñón de biela | 0.020 a 0.051 mm (STD) 0.019 a 0.073 mm (0.25) | 36 lb-pie | 0.050 mm | Reemplazo de cojinetes de biela y cojinetes de bancadas en medida STD. |
| Muñón de Cigüeñal | 0.015 a 0.033 mm (STD) 0.013 a 0.053 mm (0.25) | 44 lb-pie | 0.025 mm | |

Tabla 5: Medición de tolerancia de aceite en la bancada
Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Desmontaje de los componentes del motor

Utilizando las herramientas adecuadas se procedió al desmontaje de los componentes externos e internos del motor y los sistemas de: (Ver Anexo 2.1)

- ✚ Inducción de aire
- ✚ Combustible
- ✚ Distribución
- ✚ Refrigeración
- ✚ Lubricación
- ✚ Encendido
- ✚ Tapa de balancines
- ✚ Culata
- ✚ Árbol de levas
- ✚ Pistones-Bielas
- ✚ Cigüeñal
- ✚ Depósito de aceite

3.2.2 Verificación de Desgaste de los Elementos Fijos y Móviles

Debido al rozamiento por el movimiento y al calor que están sometidas las piezas, existe la tendencia a desgastes y deformaciones.

✚ Comprobación De La Culata

Utilizando una regla de trazar de precisión y un calibrador de espesor se mide la planicidad de las superficies que están en contacto con el bloque de cilindros y los múltiples por si están alabeadas.

Alabeo máximo: Lado del bloque de cilindros 0.2 mm. (0.0078"),
Lado del múltiple 0.2 mm. (0.0078")

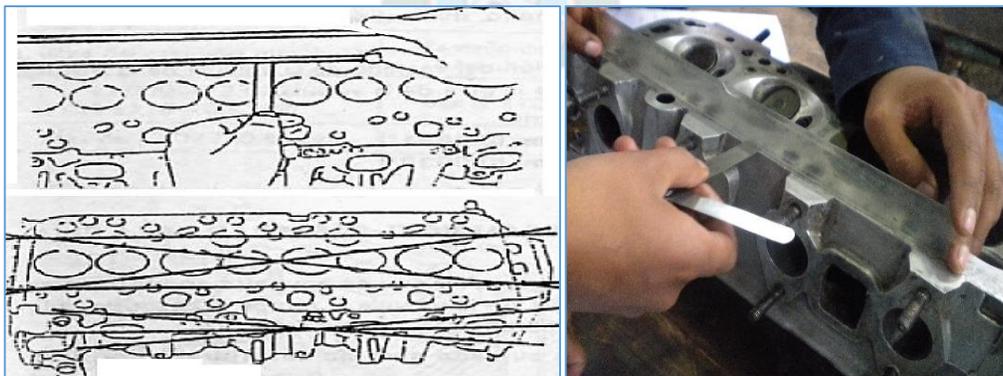


Figura 16
Verificación de planitud de la culata
Fuente: Manual de servicio Toyota

✚ Comprobación Del Block Del Motor

Las comprobaciones de conicidad en el interior del cilindro y ovalidad en el diámetro interior en los cilindros del block del motor es producido por el rozamiento de los elementos sobre la pared del cilindro.

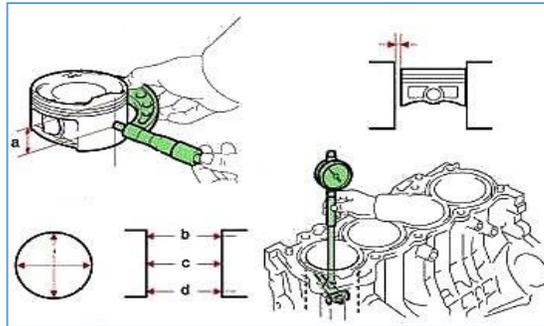


Figura 17
Verificación de la conicidad y ovalidad del cilindro
Fuente: Manual de servicio Toyota

Utilizando un alexómetro se midió el diámetro del cilindro en las posiciones b, c y d en las direcciones de empuje y axial. Los diámetros del cilindro se encontraban a 83.12 mm como medida promedio dentro el rango de la medida estándar según manual de 83.00 mm, según este dato se procedió al cambio de anillos en 0.25 mm.

3.2.3 Reemplazo de Componentes Desgastados del Motor

Observando los datos obtenidos en la verificación se determinó el mantenimiento y remplazo de los siguientes componentes además el requerimiento de insumos:

- ✚ Anillos de compresión y lubricación
- ✚ Rectificación de la culata y cambio de válvulas y retenes
- ✚ Empaques del motor
- ✚ Bomba de agua
- ✚ Cojinetes de bielas y bancadas
- ✚ Correa de distribución
- ✚ Aceite de lubricación
- ✚ Filtro de aceite, combustible y Filtro de aire
- ✚ Tapa de radiador

- ✚ Mangueras de refrigeración
- ✚ Conductos de alimentación de combustible de baja presión.
- ✚ Silicona para motor diesel

3.2.4 Montaje de las partes fijas y móviles del Motor

Realizando la limpieza de las piezas del motor, se procede al montaje, utilizando aceite lubricante SAE 2050 para las partes móviles y remplazando anillos de pistón, cojinetes y empaques, ajustando los pernos con un torque adecuado según manual del fabricante destacando el montaje como: (Ver anexo 2.2)

- ✚ Instalación del cigüeñal
- ✚ Montaje de bancadas de cigüeñal
- ✚ Montaje de anillos al pistón
- ✚ Montaje del pistón – bielas y cojinetes
- ✚ Instalación de tapas de bielas
- ✚ Montaje de la culata
- ✚ Instalación del sistema de distribución y sincronización
- ✚ Montaje del Carter y accesorios
- ✚ Montaje de la tapa de balancines y cubierta de distribución
- ✚ Instalación de componentes externos del motor

3.2.5 Verificación del Sistema de Alimentación

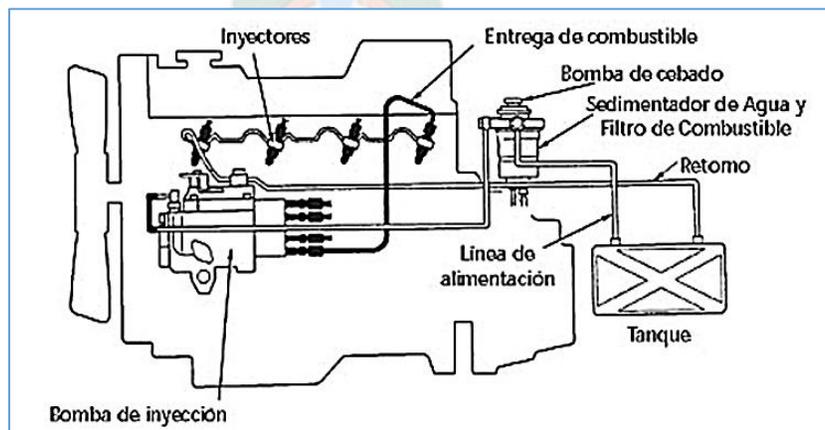


Figura 18
Sistema de alimentación de combustible
Fuente: Manual de servicio Toyota

Se realizó una limpieza a todo el sistema, los componentes averiados del sistema de alimentación fueron reemplazados, instalando el filtro de combustible y los conductos de baja y alta presión.

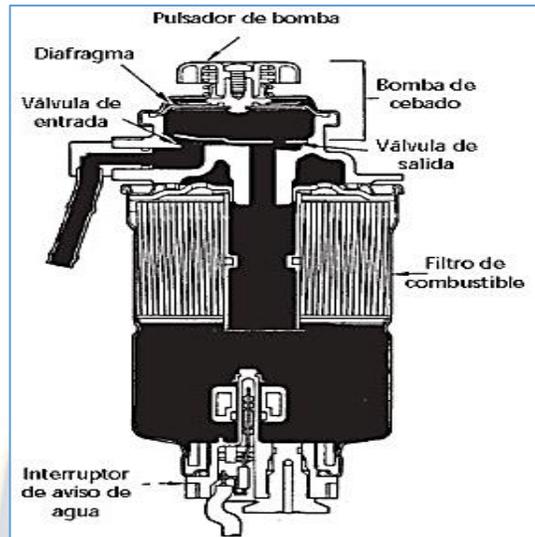


Figura 19
Filtro de combustible con bomba de cebado
Fuente: Manual de servicio Toyota

3.2.6 Calibración de la Bomba Rotativa

La bomba de inyección de combustible tipo distribuidor (tipo VE) es única en su diseño, puesto que usa solamente un émbolo distribuidor de bombeo a alta presión que mide y distribuye con precisión el combustible a cada cilindro del motor.

La bomba tipo VE ha sido desarrollada para satisfacer los requisitos del pequeño motor diesel de alta velocidad.

Limpieza de componentes

Antes del desmontaje, se limpió completamente la parte exterior de la bomba colocando marcas pequeñas de referencia para su montaje.

En el desmontaje se realizó una limpieza de todos los componentes de la bomba rotativa, posteriormente se realizó un correcto armado de los componentes para calibrar la cantidad de combustible con las siguientes operaciones:

- ✚ Para utilizar el banco de pruebas y realizar el ajuste de la bomba rotativa, debemos accionar el termostato de control automático de temperatura del fluido de pruebas aproximadamente de 15 °C.
- ✚ Se instaló la bomba de inyección de combustible sujetándose en el acoplamiento flexible del eje principal tomando en cuenta la perpendicularidad y el paralelismo de la bomba respecto al banco de pruebas para un buen funcionamiento, instalación de conductos de entrada y retorno de combustible la alimentación.
- ✚ Procedimos a probar la bomba realizando la medición con el vacuómetro, el vacío generado por la bomba de alimentación de 24 (cmhg) en el banco de pruebas, además regulando la presión de 0.5 a 1 (bar).
- ✚ Se colocó en funcionamiento todo el sistema con el fin de poder purgar el aire existente en los conductos de circulación de diésel en el banco de pruebas.
- ✚ Energizamos la válvula de corte de combustible con 12 (v) utilizando la alimentación del mismo banco de pruebas.

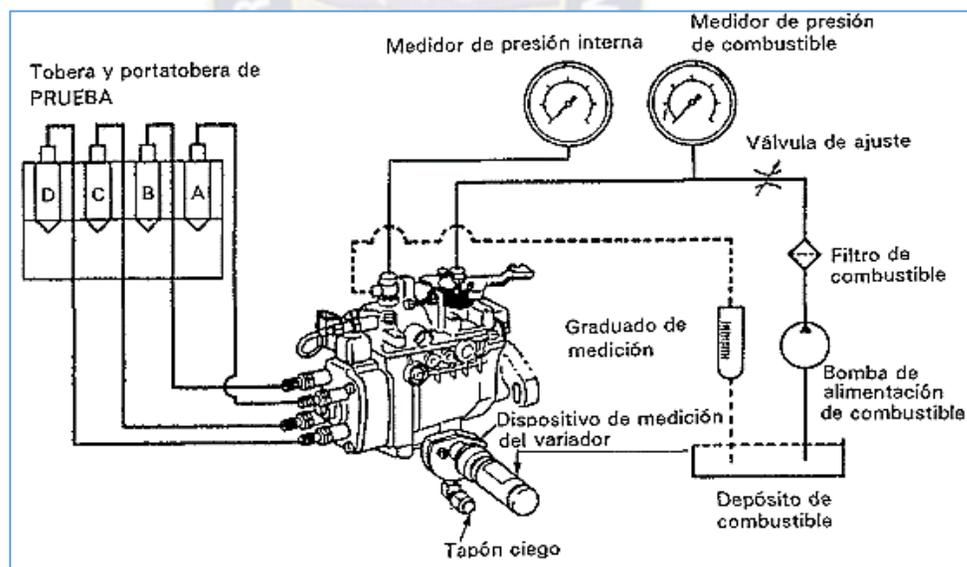


Figura 20
Circuito de alimentación de combustible
Fuente: Manual de servicio Toyota

- ✚ Procedimiento y ajuste del volumen de inyección a plena carga.
- ✚ Realizamos una medición para con el propósito de uniformizar el funcionamiento de la bomba a plena carga, la posición de la palanca de regulación al máximo.

- ✚ Como prueba de partida medimos el volumen de inyección de la bomba.
- ✚ Regulando el tornillo de ajuste a plena carga y tomando en cuenta que por cada $\frac{1}{2}$ vuelta de regulación o desregulación del tornillo aumenta o reduce aproximadamente 3 cc.
- ✚ Según manual el volumen de inyección a plena carga es de 10.42 – 10.74 cc.

En el regulado a plena carga se obtuvieron los siguientes datos: Ver anexo 5.

| VELOCIDAD | EMBOLADAS | Regulación Del Tornillo | C 1 (cc) | C 2 (cc) | C 3 (cc) | C 4 (cc) | RETORNO (cc) |
|-----------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| 1200 RPM | 200 | PARTIDA | 15.6 | 15.4 | 15.5 | 14.8 | 54.0 |
| 1200 RPM | 200 | -1/2 VUELTA | 12.8 | 12.6 | 12.6 | 12.4 | 55.0 |
| 1200 RPM | 200 | -1/2 VUELTA | 10.1 | 10.1 | 10.0 | 10.4 | 55.0 |
| 1200 RPM | 200 | + 1/4 VUELTA | 11.6 | 11.4 | 11.4 | 11.3 | 55.0 |
| 1200 RPM | 200 | - 1/8 VUELTA | 11.0 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 55.0 |

Cuadro 3: Ajuste del Volumen de Inyección a Plena Carga
Fuente: Elaboración Propia

- ✚ Procedimos a la regulación del volumen de inyección de la velocidad de ralentí.
- ✚ Regulamos la medición para 350 RPM, tomando en cuenta el ángulo de la palanca de regulación aproximadamente ($- 12^{\circ} - 22.5^{\circ}$), 200 emboladas y un volumen de inyección según manual de 1.7 a 2.7 cc.

En el procedimiento se encontraron los siguientes valores: Ver anexo 6

| VELOCIDAD | EMBOLADAS | Regulación Del Tornillo | C 1 (cc) | C 2 (cc) | C 3 (cc) | C4 (cc) | RETORNO (cc) |
|-----------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| 350 RPM | 200 | PARTIDA | 4.1 | 4.3 | 3.9 | 4.2 | 110 |
| 350 RPM | 200 | -1 VUELTA | 3.8 | 4.0 | 3.7 | 3.6 | 109 |
| 350 RPM | 200 | -1 VUELTA | 3.4 | 3.8 | 3.4 | 3.6 | 111 |
| 350 RPM | 200 | -1 VUELTA | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 110 |

Cuadro 4: Ajuste del Volumen de Inyección en ralentí
Fuente: Elaboración Propia

3.2.7 Calibración de Inyectores

- ✚ Verificando los inyectores de espiga, se instaló el tubo de conexión y el inyector en el probador, verificando la presión de apertura con una presión de inyección de 130 a 135 kg/cm².
- ✚ Observando el funcionamiento de los inyectores, tenían una deficiente pulverización del combustible, debido al desgaste de la válvula de la tobera que fue reemplazado un una nueva (modelo de repuesto PD32) ver anexo 3.4.
- ✚ Se dio inicio a la primera prueba del control de presión de la inyección, encontrándose correcta mostrando en el manómetro una presión de 145 kg/cm².
- ✚ La segunda prueba, la dirección de la inyección accionando la palanca con rapidez se observó una dirección adecuada y buena atomización.
- ✚ La tercera prueba realizada fue el control de la hermeticidad el cual manteniendo la presión en 135 kg/cm² durante 10 segundos. Se observó que la punta de la tobera mantuvo su hermeticidad, evitando la fuga de combustible o formarse una gota.
- ✚ Como cuarta prueba se realizó el control de la caída de presión, se verificó la presión con la palanca manual hasta 135 kg/cm², manteniéndola accionada en un tiempo de 10 segundos la aguja del manómetro mantenía en la posición.

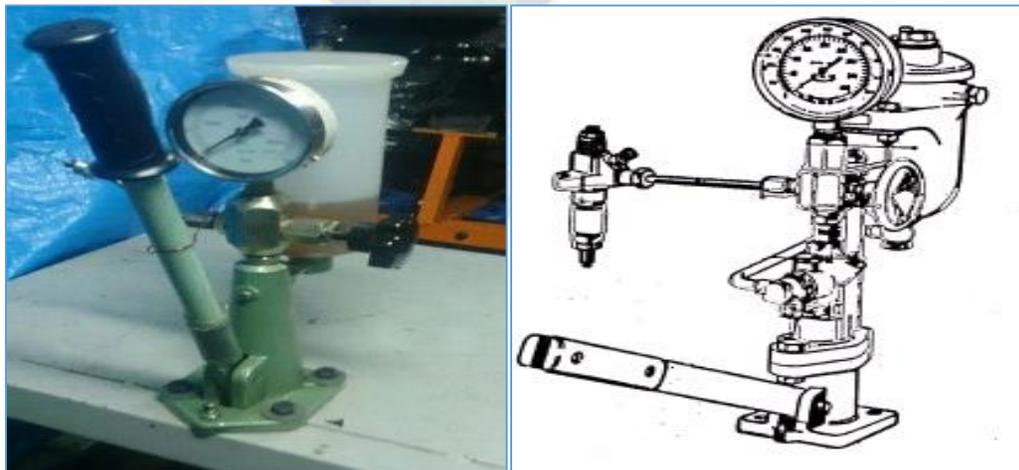


Figura 21
Calibración de Inyectores
Fuente: Manual de servicio Toyota

3.3 INSTALACIÓN DEL DINAMÓMETRO HIDRÁULICO

Los frenos dinamométricos hidráulicos son los encargados de crear un par resistente proporcionando la carga del motor, son adecuados para mediciones de potencia de salida de un motor, se requiere de la regulación de un caudal de agua variable con una presión para absorber la energía mecánica.



Figura 22
Motor diesel y dinamómetro hidráulico
Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 Componentes del Dinamómetro Hidráulico

✚ Sensor de Efecto Hall

Determina las revoluciones por minuto que es necesario para la medición de potencia inercial, el sensor utiliza la presencia y ausencia de un campo magnético para realizar su medición.



Figura 23
Sensor de efecto hall
Fuente: Elaboración Propia

✚ Manguera de suministro de agua y retorno



Figura 24
Instalación de conductos para la circulación de agua
Fuente: Elaboración Propia

Para realizar la correcta operación del dinamómetro se conectan mangueras con un diámetro interior de 32 mm (del tipo de goma y tela flexible) mangueras sobre el conducto ranurado con abrazaderas y en las uniones (niples), en la entrada y salida (retorno) de agua al dinamómetro.

✚ Bomba de agua

Se acoplo dos bombas de agua, la primera de 3 HP de potencia que suministraba a presión el agua suficiente para accionar las partes del dinamómetro y la segunda bomba de 1 HP de potencia que genera depresión para el retorno de agua del dinamómetro al tanque de agua.

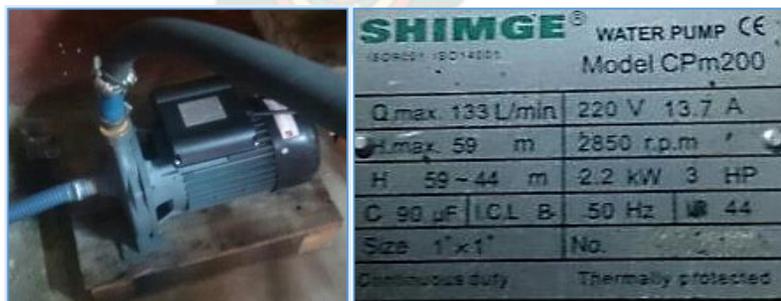


Figura 25
Bomba de alimentación de agua
Fuente: Elaboración Propia

Válvula de control

Para evitar sobrecargar la presión de agua (en el suministro), en las mangueras de goma se instaló sobre la manguera de agua una válvula de alivio con regulador de resorte que asiste al dinamómetro, donde la función de la válvula es devolver el agua no utilizada al tanque de reserva del agua para controlar la presión.



Figura 26
Válvula de control de presión
Fuente: Elaboración Propia

Sensor de revoluciones (rpm)

Es de efecto Hall y tiene un conector de Imán que utiliza la presencia y ausencia de un campo magnético para su medición de 100 hasta 10000 rpm.

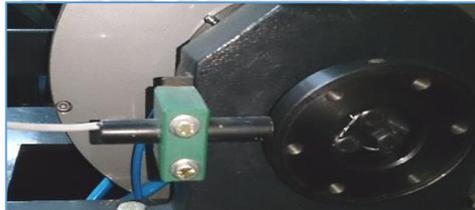


Figura 27
Sensor de rpm
Fuente: Elaboración Propia

Sensor de torque

Consiste en una celda de carga que puede medir la fuerza realizada en tracción o compresión, tiene un soporte de goma y una rotula para su montaje que absorbe las vibraciones del motor para que no influya en la medición.



Figura 28
Sensor de torque
Fuente: Elaboración Propia

- ✚ **Sensor captador de presión, temperatura y humedad del medio ambiente y Cable con pulsador y conector.**



Figura 29
Central atmosférica y cable de comunicación
Fuente: Elaboración propia

- ✚ **Sistema de adquisición de datos y cable de comunicación de datos**

En esta central de carga se conectan los sensores mencionados, con su respectivo cable serial de conexión a PC con una longitud estándar de 4 m.



Figura 30
Central de datos y cable de comunicación
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ajuste de Componentes de salida de agua

El dinamómetro hidráulico contiene un brazo de palanca que debe ser retirado para verificar los orificios de drenaje, observando el dinamómetro desde el frente el motor hace girar su rotor en sentido horario, siguiendo el mismo sentido de giro, se retira los racor del porta chicler y seleccionamos el chicler calibrado para la prueba de 5 a 6 mm.

3.3.3 Características de Configuración y Operación

Para realizar los ensayos deben realizarse las siguientes operaciones:

- ✚ Hacer girar el rotor manualmente verificando su libre rotación.
- ✚ Verificar la linealidad entre el dinamómetro y el motor.
- ✚ Inspeccionar que las mangueras y cables estén conectados al dinamómetro.
- ✚ Verificar el correcto funcionamiento de la válvula de control haciendo funcionar la bomba de suministro de agua.
- ✚ Verificar que los rodamientos del dinamómetro estén lubricados
- ✚ Observar que el sistema de adquisición de datos y sensores se encuentren calibrados para iniciar la prueba.
- ✚ Arranque el motor y esperar a que alcance su temperatura adecuada.
- ✚ Determinar la carga mediante el dinamómetro según las revoluciones del motor.
- ✚ Coordinar la palanca de aceleración del motor con la regulación de la válvula de control para obtener la lectura de la potencia y torque del motor.
- ✚ De esta manera el dinamómetro queda operando con un valor de carga fina y podrá mantener el régimen constante lo que significa que el dinamómetro está oponiendo una energía igual a la que entrega el motor.

3.3.4 Norma de corrección

- ✚ ISO 1585: adopción internacional de la norma SAE J1349
- ✚ SAE J607: norma antigua de SAE. Se provee por compatibilidad con otros sistemas.
- ✚ SAE J1349/2004. La norma más moderna y vigente de SAE. Esta norma se caracteriza por realizar un seguimiento adecuado de las variaciones del motor.



Cuadro 5: Selección de Normas de medición
Fuente: Manual Accudyno

En la configuración tenemos la selección de la norma que se utilizará para calcular el factor de corrección de la potencia, la SAE J1349 es la norma que se utilizó en el presente trabajo para realizar las mediciones de potencia y momento torsor, la norma SAE J1349 incluye todos los elementos necesarios en el motor, como el ventilador y el radiador, ofreciendo por tanto un valor de potencia 'neta'.

3.3.5 Acoplamiento del Motor al Dinamómetro

Para conectar el motor al dinamómetro se utilizó un acople flexible que permita una cierta deflexión respecto de la línea del centro del motor y el dinamómetro permitiendo su desplazamiento axial, en las adaptaciones del acople se utilizó una junta homocinética, donde el vaso se encuentra unida por soldadura con la placa principal del volante de inercia y el otro extremo se encuentra unida mediante una brida y sujeta por pernos.

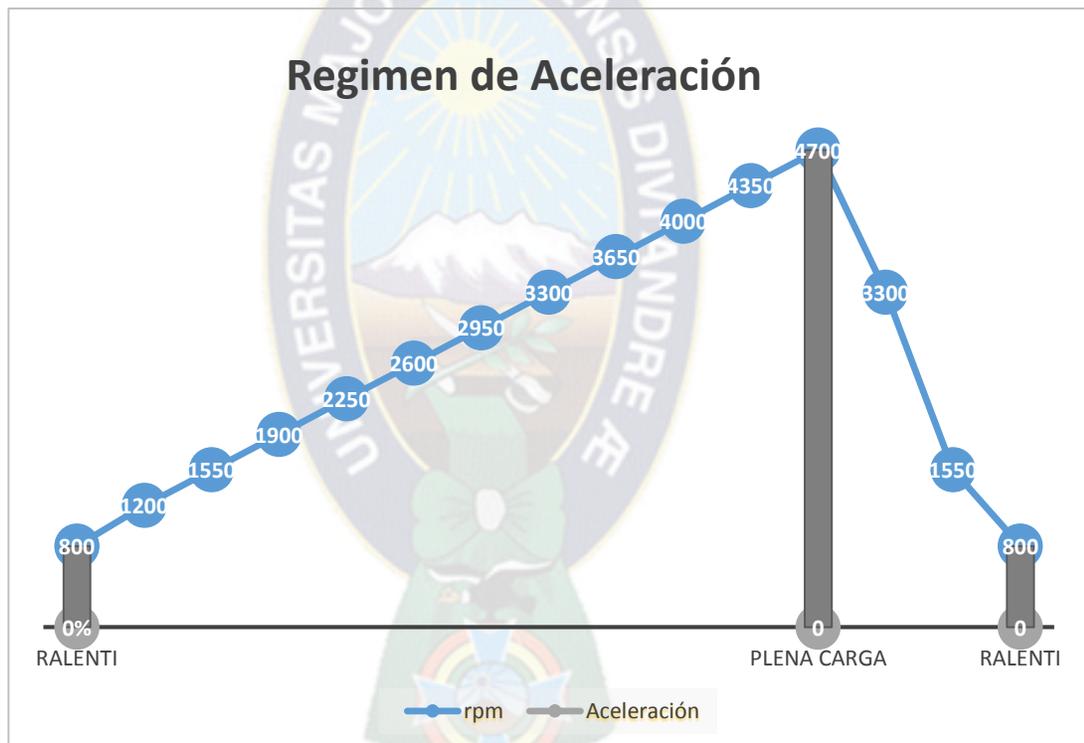


Figura 31
Acople articulado del motor hacia el dinamómetro (Junta Homocinética)
Fuente: Elaboración Propia

3.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y TORQUE (POR BARRIDO)

Este método consiste en adquirir una serie de datos, relevados de una manera dinámica, pulsando el botón de adquisición de datos solamente una vez y variando la condición de velocidad del motor (acelerando).

Una vez alcanzado el máximo régimen de giro del motor, recabando los distintos puntos con los cuales luego se conforman las curvas características de torque, potencia y demás variables en función de las revoluciones del motor.



Cuadro 6: Régimen de aceleración del motor
Fuente: Elaboración Propia

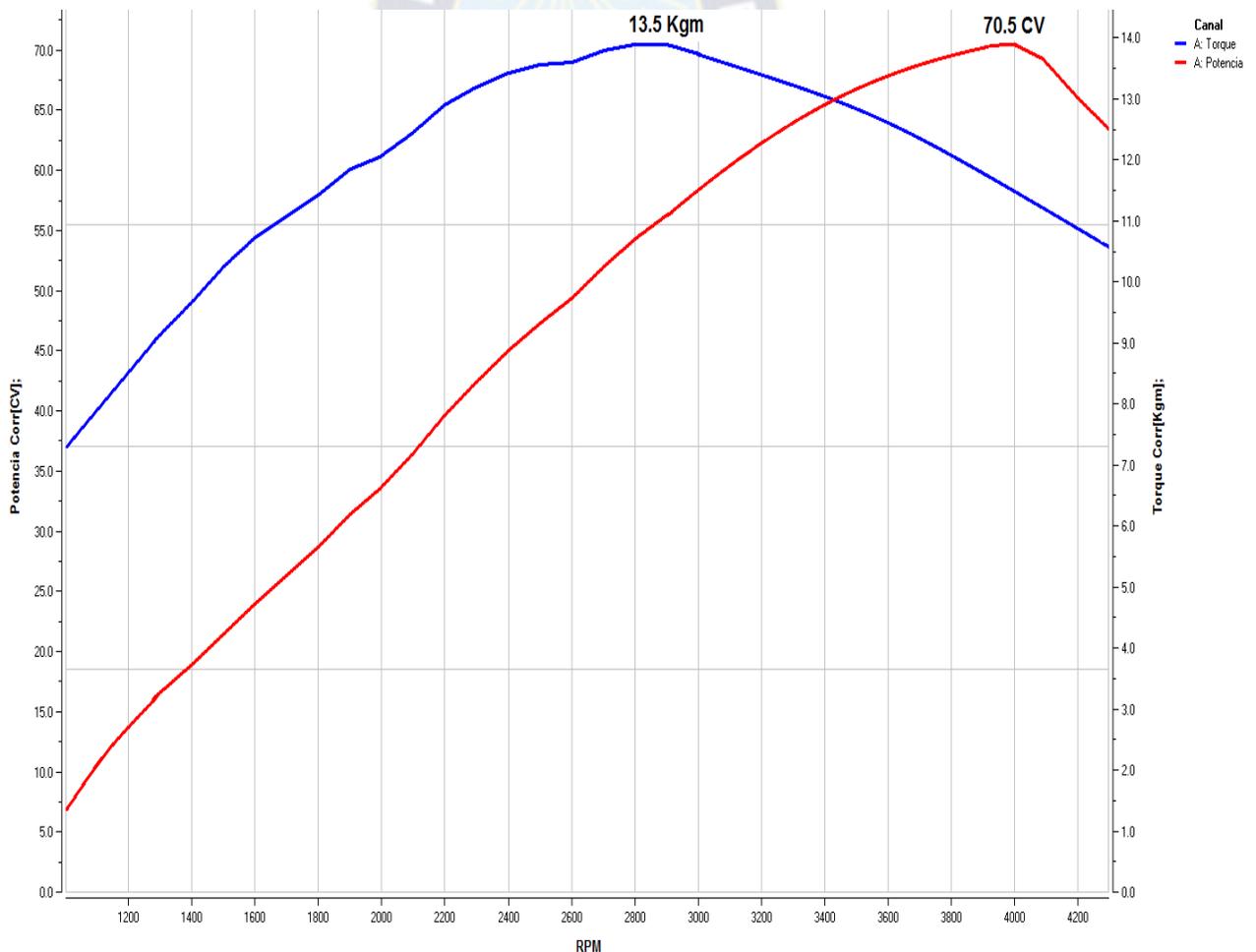
Con el motor en marcha, acelerando de manera progresiva el motor y controlando la perilla de la válvula de control hasta sentir el efecto del torque sobre la velocidad del motor, incrementando la carga con el acelerador y así sucesivamente hasta obtener los datos máximos, estos datos se los realizo utilizando diésel y diferentes proporciones de mezclas de diésel con biodiesel.

3.4.1 Ensayo del Motor Utilizando combustible Diésel

| Entre 1000 RPM y 4300 RPM | | |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
| Promedios | 12.2 | 46.4 |
| Máximos: | 13.9 | 70.5 |
| Mínimos: | 8.0 | 11.2 |

Archivo: D:\Mediciones\Diesel puro\Ensayo-0020.ad3
Motor: Toyota 1C Automovil
Cond. Ambientales: Temp. 17.2°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 33.0%
Factor Corrección: 1.522 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105
Desde 960 RPM a 4335 RPM
Tiempo de Aceleración: 00:03.36

Entre 1000 RPM y 4300 RPM
Potencia máx: 70.5 CV @ 4000 RPM
Torque máx: 13.5 Kgm @ 2900 RPM
Potencia media: 46.4 CV
Torque medio: 12.2 Kgm



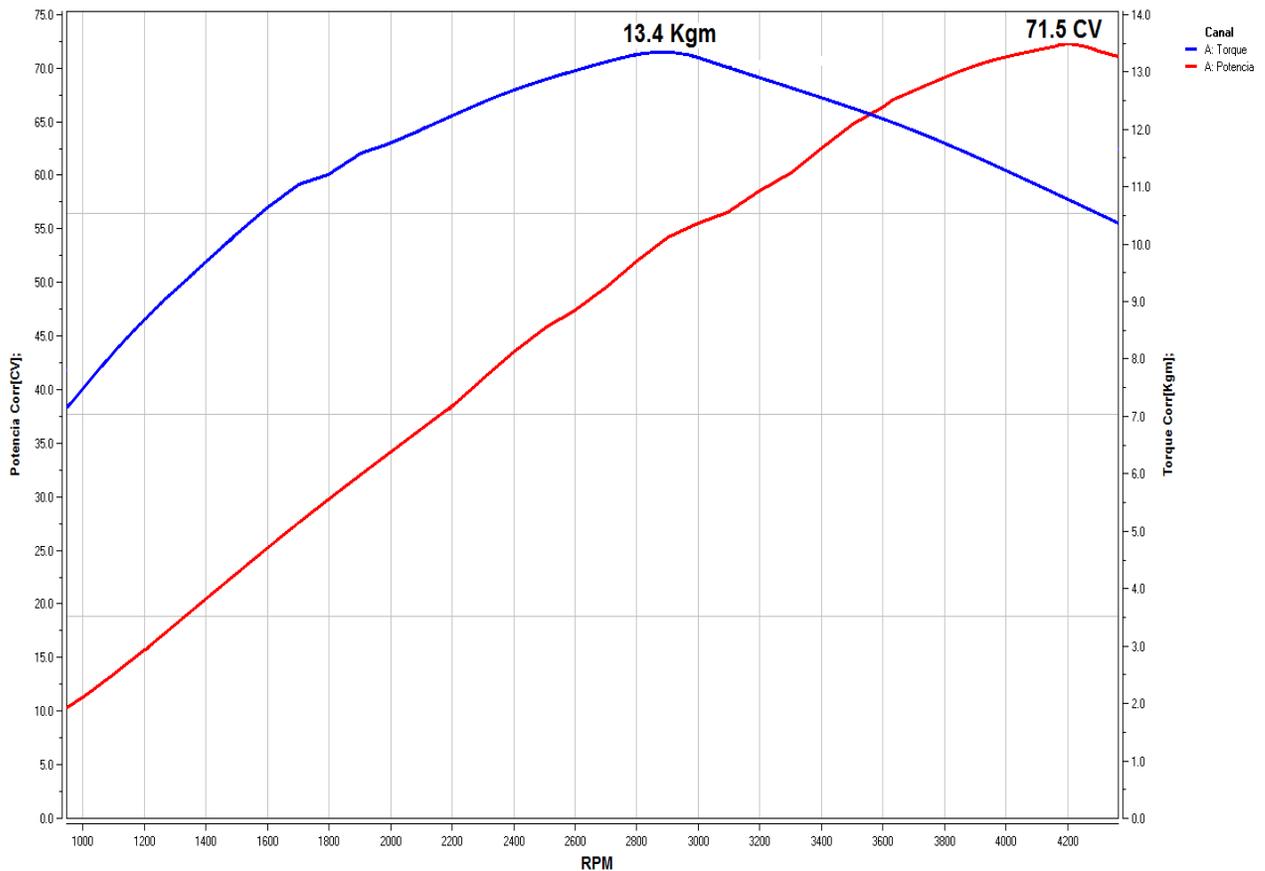
Cuadro: 7 Ensayo N° 20
 Potencia y Torque Desarrollada por el motor con Diésel
 Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Ensayo del Motor Utilizando B20

| Entre 900 RPM y 4400 RPM | | |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
| Promedios | 11.9 | 45.7 |
| Máximos: | 13.4 | 71.5 |
| Mínimos: | 7.6 | 9.4 |

Archivo: D:\Mediciones\B20\Ensayo-0025.ad3
Motor: Toyota 1C Automovil
Cond. Ambientales: Temp. 18.9°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 31.0%
Factor Corrección: 1.526 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105
Desde 946 RPM **a** 4374 RPM
Tiempo de Aceleración: 01:29.10

Entre 900 RPM y 4400 RPM
 Potencia máx: **71.5 CV** @ 4200 RPM
 Torque máx: **13.4 Kgm** @ 2900 RPM
 Potencia media: **45.7 CV**
 Torque medio: **11.9 Kgm**



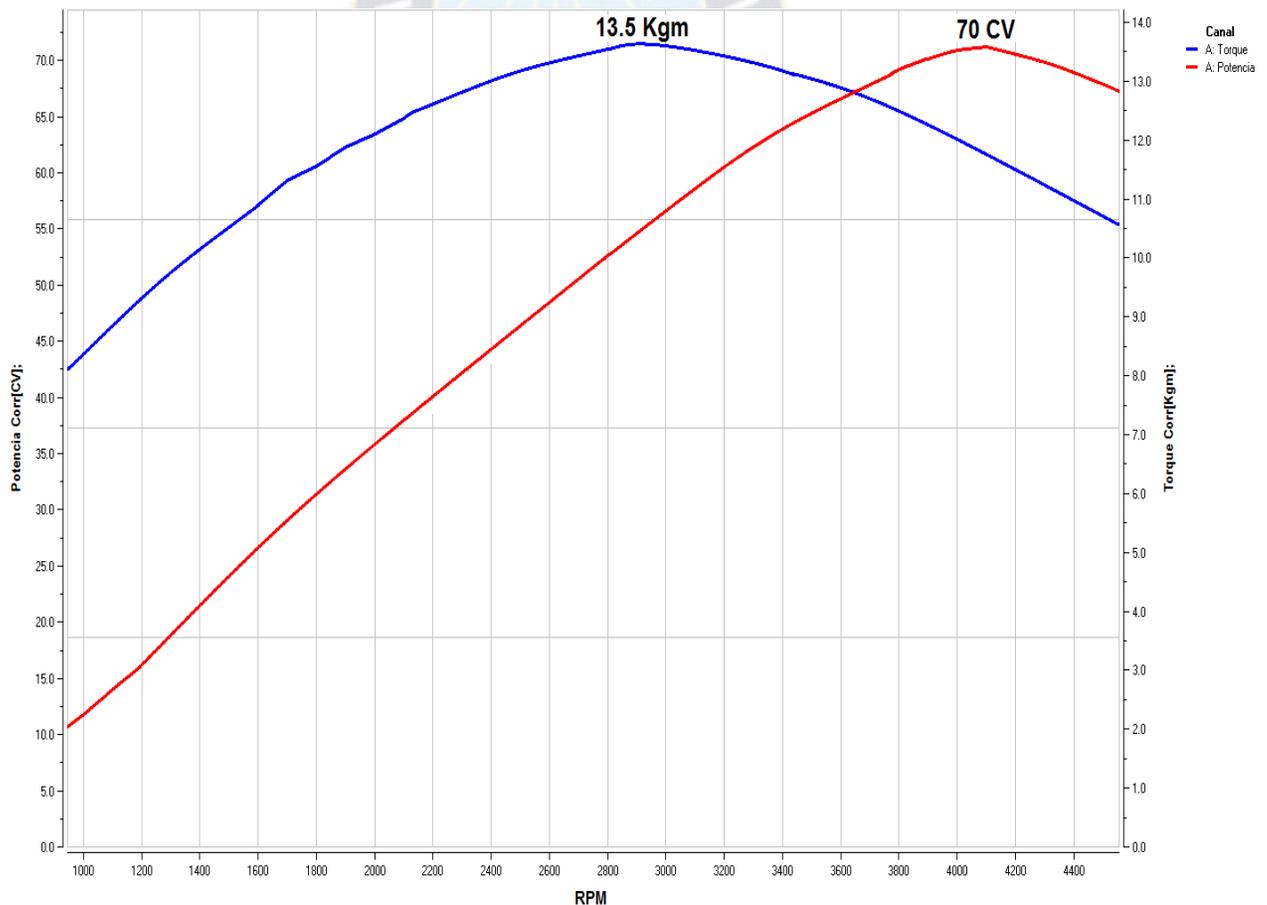
Cuadro: 8 Ensayo N° 25
 Potencia y Torque Desarrollada por el motor con mezcla de diésel y biodiesel B20
 Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Ensayo del Motor Utilizando B50

| Entre 900 RPM y 4600 RPM | | |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
| Promedios | 11.9 | 47.1 |
| Máximos: | 13.5 | 70.0 |
| Mínimos: | 7.9 | 9.7 |

Archivo: D:\Mediciones\B50\Ensayo-0029.ad3
Motor: Toyota 1C Automovil
Cond. Ambientales: Temp. 20.3°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 30.0%
Factor Corrección: 1.530 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105
Desde 943 RPM **a** 4561 RPM
Tiempo de Aceleración: 00:57.65

Entre 900 RPM y 4600 RPM
 Potencia máx: **70.0 CV @ 4100 RPM**
 Torque máx: **13.5 Kgm @ 2900 RPM**
 Potencia media: **47.1 CV**
 Torque medio: **11.9 Kgm**



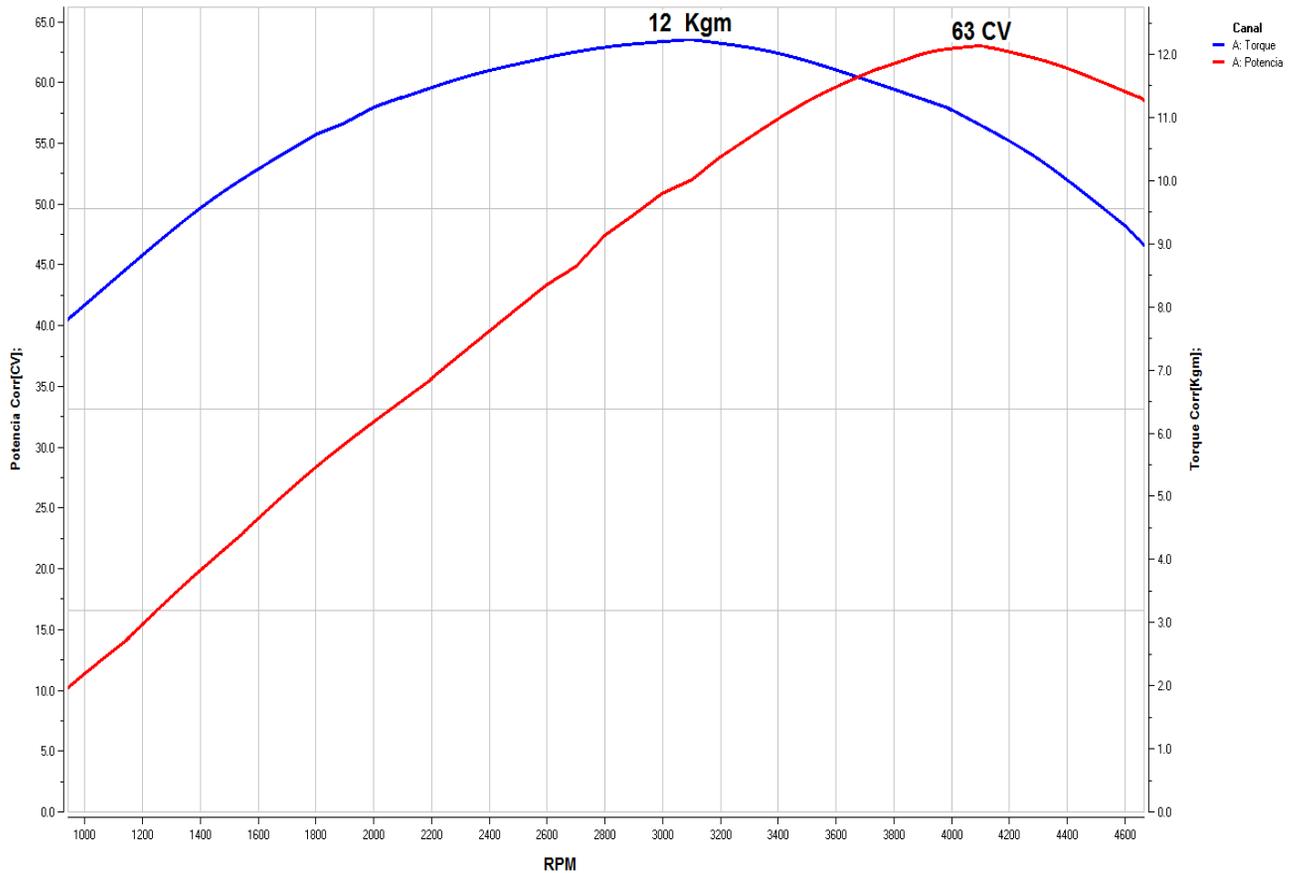
Cuadro: 9 Ensayo N° 29
 Potencia y Torque Desarrollada por el motor con mezcla de diésel y biodiesel B50
 Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Ensayo del Motor Utilizando Biodiesel B100

| Entre 900 RPM y 4700 RPM | | |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
| Promedios | 10.8 | 42.7 |
| Máximos: | 12.0 | 63.0 |
| Mínimos: | 7.6 | 9.4 |

Archivo: D:\Mediciones\B100\Ensayo-0034.ad3
Motor: Toyota 1C Automovil
Cond. Ambientales: Temp. 20.6°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 29.0%
Factor Corrección: 1.531 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105
Desde 938 RPM a 4680 RPM
Tiempo de Aceleración: 00:40.37

Entre 900 RPM y 4700 RPM
Potencia máx: 63.0 CV @ 4100 RPM
Torque máx: 12.0 Kgm @ 2900 RPM
Potencia media: 42.7 CV
Torque medio: 10.8 Kgm



Cuadro: 10 Ensayo N° 34
 Potencia y Torque Desarrollada por el motor con biodiesel B100
 Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Promedios, Máximos y Mínimos

Se muestra un resumen con los máximos y mínimos valores encontrados en más de 30 ensayos que se realizaron de manera experimental del torque, potencia y velocidad, con diesel y mezclas de B20, B50, B100. Son los mismos que están resaltados en cada columna, además se podrá ver los promedios del listado en el rango de velocidades configurado.

De manera experimental se realizaron 5 pruebas, para el funcionamiento del motor se utilizó combustible diesel y diferentes mezclas con biodiesel de donde se obtuvieron resultados máximos y mínimos de potencia y torque que serán comparados para determinar la mezcla eficiente:

Evaluación del motor utilizando Diesel

Archivo: D:\Mediciones\Diesel puro\Ensayo-0020.ad3

Motor: Toyota 1C Automovil

Cond. Ambientales: Temp. 17.2°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 33.0%

Factor Corrección: 1.522 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105

Desde 960 RPM a 4335 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:03.36

Entre 1000 RPM y 4300 RPM

| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
|------------------|------------------|-------------------|
| Promedios | 12.2 | 46.4 |
| Máximos: | 13.9 | 70.5 |
| Mínimos: | 8.0 | 11.2 |

Tabla 6: Evaluación de Torque y Potencia - Diesel
Fuente: Elaboración Propia

Evaluación del motor utilizando Biodiesel B20

Archivo: D:\Mediciones\B20\Ensayo-0025.ad3

Motor: Toyota 1C Automovil

Cond. Ambientales: Temp. 18.9°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 31.0%

Factor Corrección: 1.526 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105

Desde 946 RPM a 4374 RPM

Tiempo de Aceleración: 01:29.10

Entre 900 RPM y 4400 RPM

| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
|------------------|------------------|-------------------|
| Promedios | 11.9 | 45.7 |
| Máximos: | 13.4 | 71.5 |
| Mínimos: | 7.6 | 9.4 |

Tabla 7: Evaluación de Torque y Potencia – B20

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación del motor utilizando Biodiesel B50

Archivo: D:\Mediciones\B50\Ensayo-0029.ad3

Motor: Toyota 1C Automovil

Cond. Ambientales: Temp. 20.3°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 30.0%

Factor Corrección: 1.530 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105

Desde 943 RPM a 4561 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:57.65

Entre 900 RPM y 4600 RPM

| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
|------------------|------------------|-------------------|
| Promedios | 11.9 | 47.1 |
| Máximos: | 13.5 | 70.0 |
| Mínimos: | 7.9 | 9.7 |

Tabla 8: Evaluación de Torque y Potencia – B50

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación del motor utilizando Biodiesel B100

Archivo: D:\Mediciones\B100\Ensayo-0034.ad3

Motor: Toyota 1C Automovil

Cond. Ambientales: Temp. 20.6°C; Presion 669.3 HPa; Humedad 29.0%

Factor Corrección: 1.531 (DIN 70010) / **Momento de Inercia:** 0.105

Desde 938 RPM a 4680 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:40.37

Entre 900 RPM y 4700 RPM

| | Torque Corr[Kgm] | Potencia Corr[CV] |
|------------------|-------------------------|--------------------------|
| Promedios | 10.8 | 42.7 |
| Máximos: | 12.0 | 63.0 |
| Mínimos: | 7.6 | 9.4 |

Tabla 9: Evaluación de Torque y Potencia – B100
Fuente: Elaboración Propia

3.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS GASES RESIDUALES

Actualmente se tiene la Norma Boliviana NB 62002 que trata la calidad del Aire - Emisiones de Fuentes Móviles.

Establece los límites máximos permisibles para vehículos a diésel con motor de cuatro tiempos encendido por compresión y rige los niveles máximos permisibles de opacidad, a los cuales deben considerarse para asegurar resultados confiables en la medición de la opacidad.

| ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR (msnm) | OPACIDAD $k m^{-1}$ | OPACIDAD % |
|--|---------------------------------------|-------------------|
| 0 - 1500 | 2.44 | 65 |
| 1500 - 3000 | 2.80 | 70 |
| 3000 - 4500 | 3.22 | 75 |

Tabla 10: Límites máximos para motores diesel
Fuente: NB62002

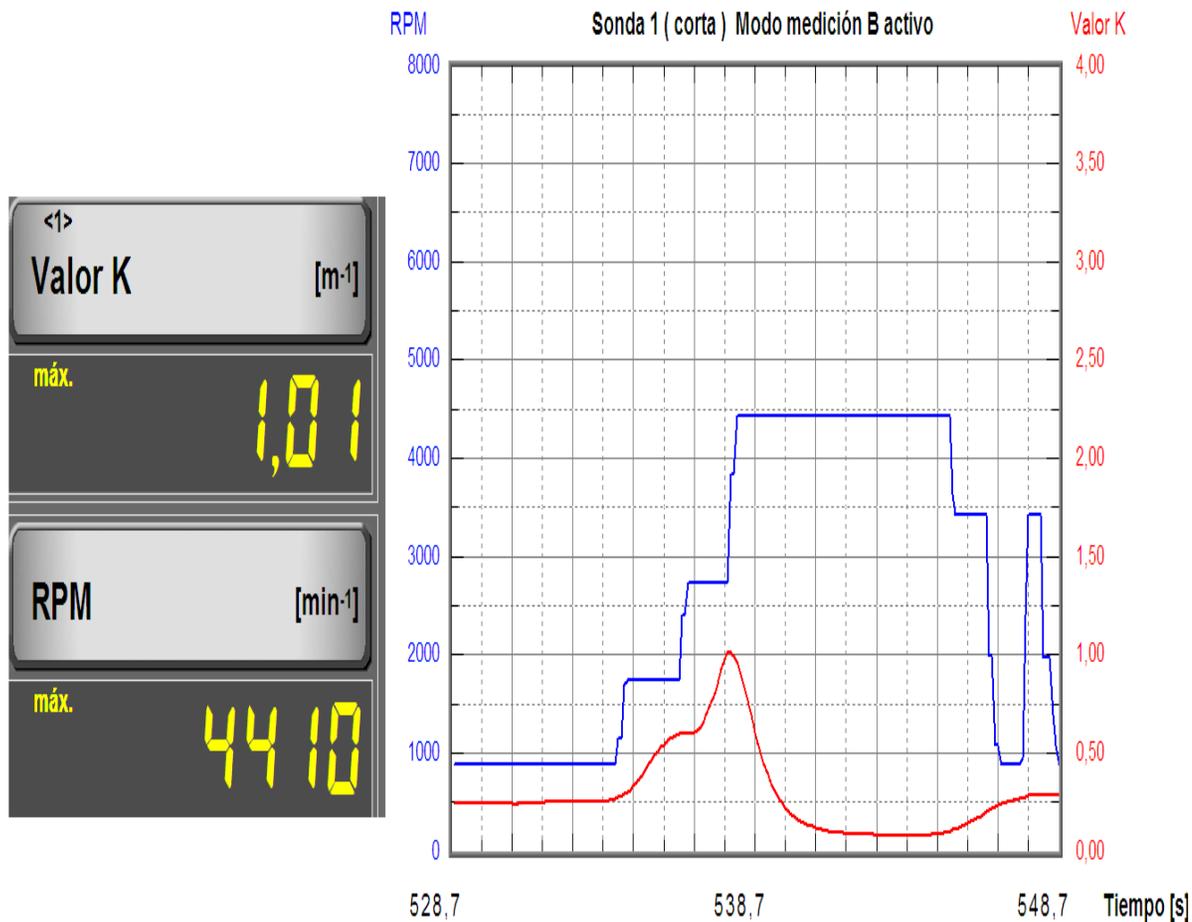
3.5.1 Medición de la Opacidad Utilizando Diesel

Para la obtención de los valores de opacidad se realizaron varias pruebas variando la velocidad hasta llegar a plena carga, donde los datos verificados se encuentran dentro de los parámetros de la norma establecida considerando el valor de (K) máximo en función a las (RPM) del motor diesel y el tiempo.

Diesel

| Velocidad (rpm) | CO |
|-----------------|-----|
| 1100 | 320 |
| 1460 | 424 |
| 1950 | 467 |
| 2500 | 448 |
| 2740 | 594 |
| 4000 | 768 |

Tabla 11: Medición de opacidad utilizando diesel
Fuente: Elaboración Propia



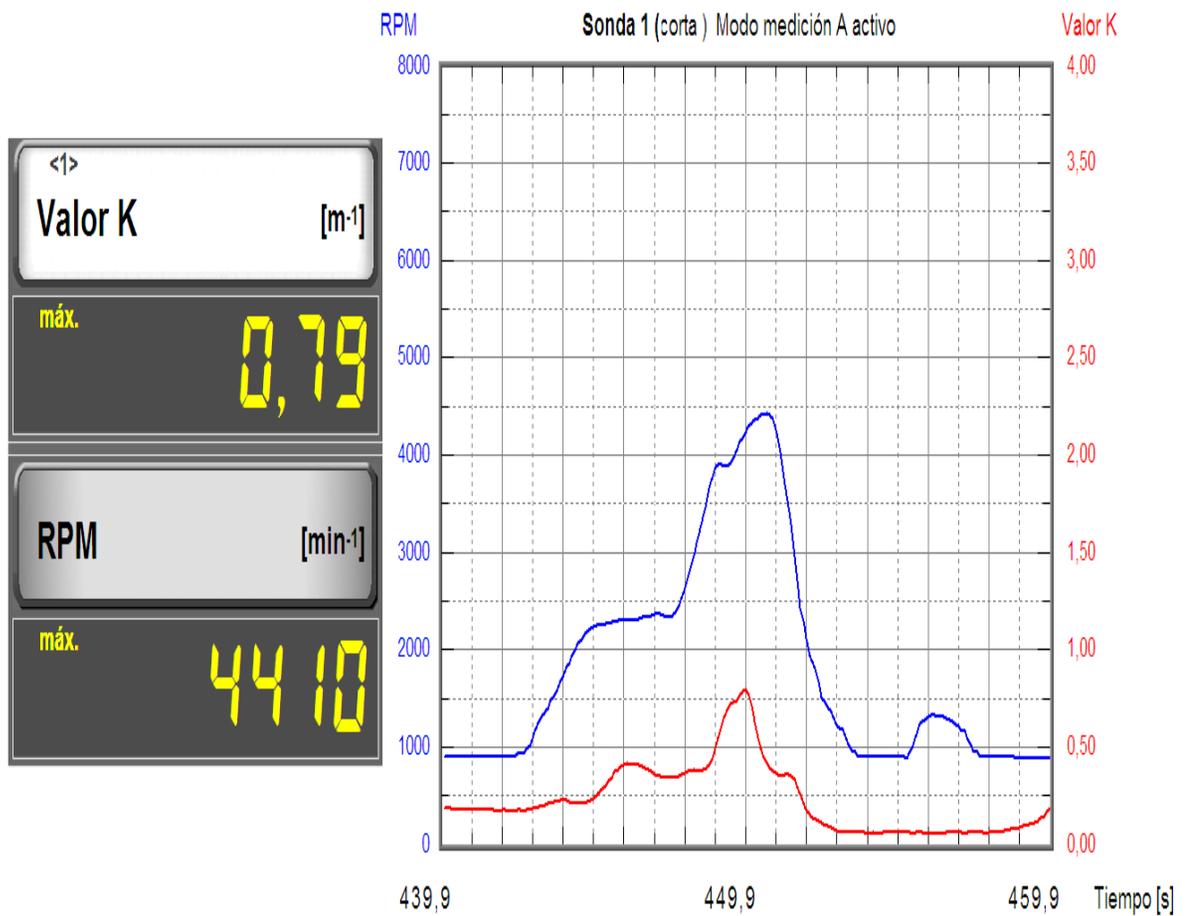
Cuadro 11: Medición de opacidad utilizando diesel
Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Medición de la Opacidad Utilizando B20

B20

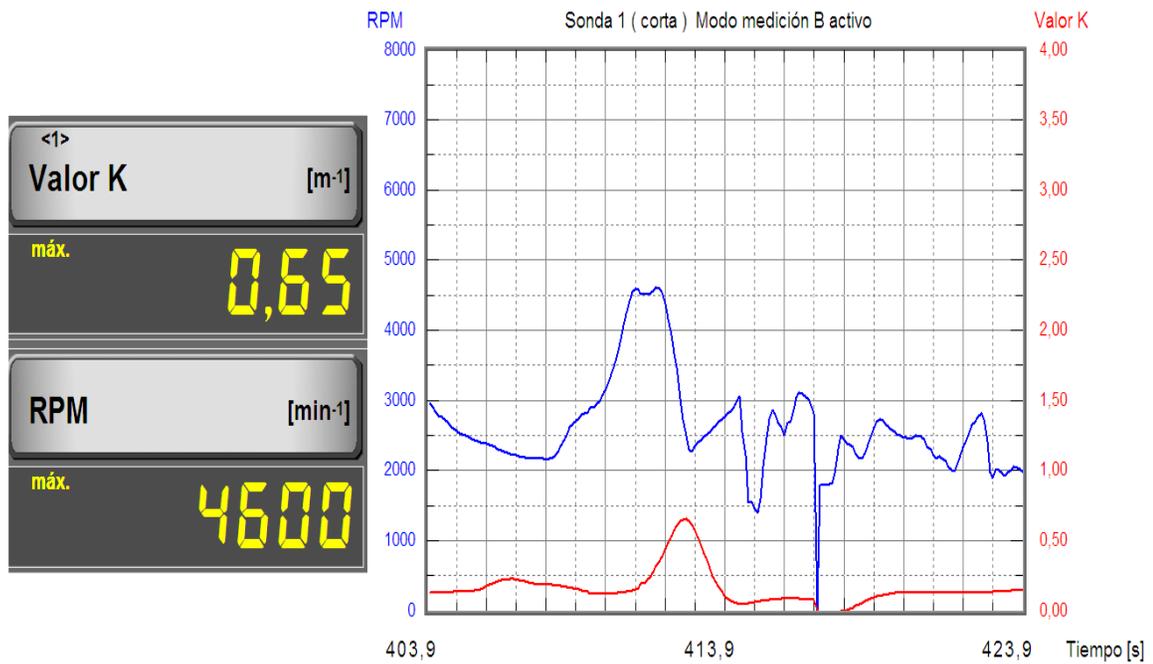
| Velocidad (rpm) | CO |
|-----------------|-----|
| 1000 | 289 |
| 1550 | 244 |
| 1980 | 212 |
| 2600 | 217 |
| 4000 | 473 |

Tabla 12: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel al 20% (B20)
Fuente: Elaboración Propia



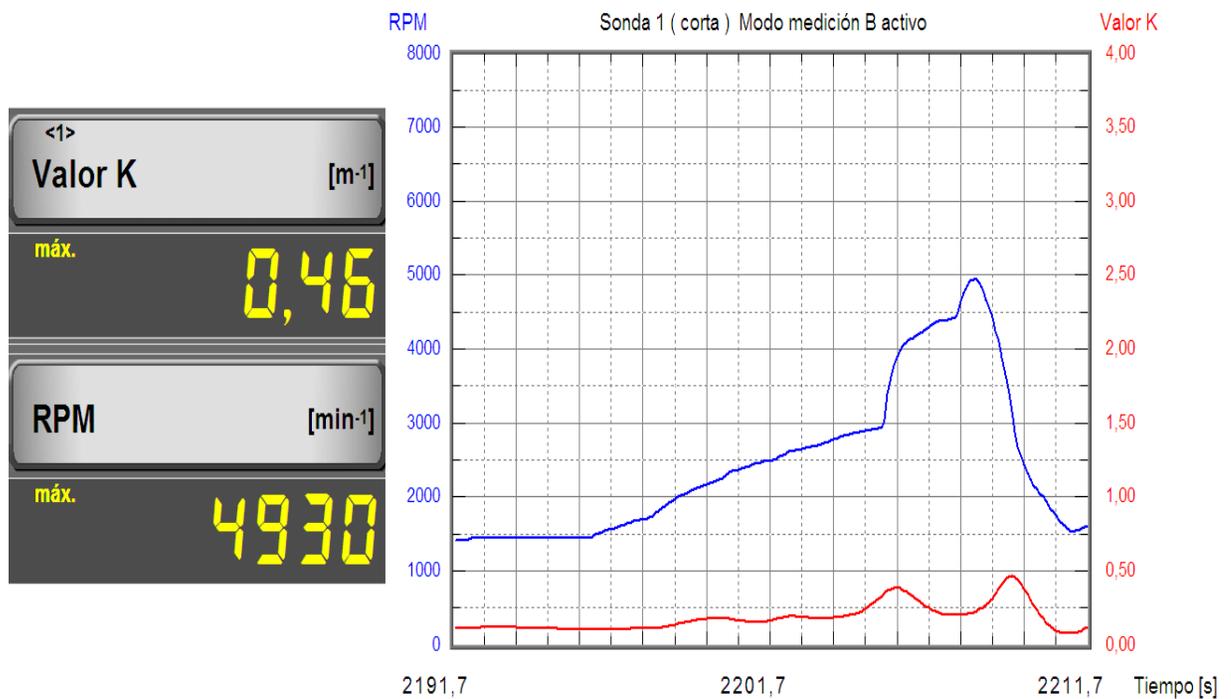
Cuadro 12: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel al 20% (B20)
Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Medición de la Opacidad Utilizando B50



Cuadro 13: Medición de opacidad utilizando diesel y biodiesel al 50% (B50)
Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Medición de la Opacidad Utilizando Biodiesel B100



Cuadro 14: Medición de opacidad utilizando biodiesel al 100% (B100)
Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Medición de NO y NOx

Medición de NO y NOx Utilizando Diesel



Figura: 32

Instrumento de medición de NO y NOx

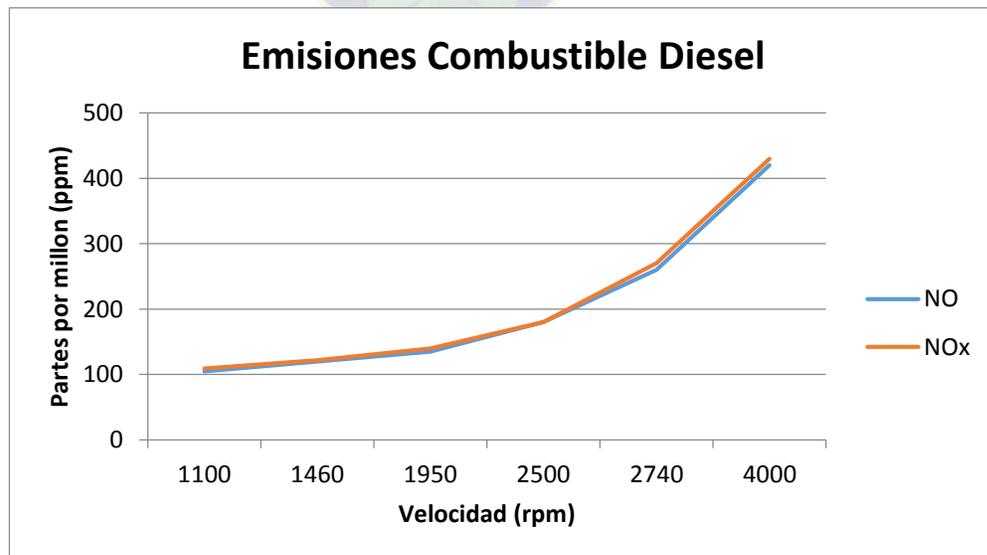
Fuente: Elaboración Propia

Diesel

| Velocidad (rpm) | NO | NOx |
|-----------------|-----|-----|
| 1100 | 105 | 109 |
| 1460 | 120 | 122 |
| 1950 | 135 | 140 |
| 2500 | 180 | 180 |
| 2740 | 260 | 270 |
| 4000 | 420 | 430 |

Tabla 13: Medición de NO y NOx utilizando diesel

Fuente: Elaboración Propia



Cuadro 15: Medición de NO y NOx utilizando diesel

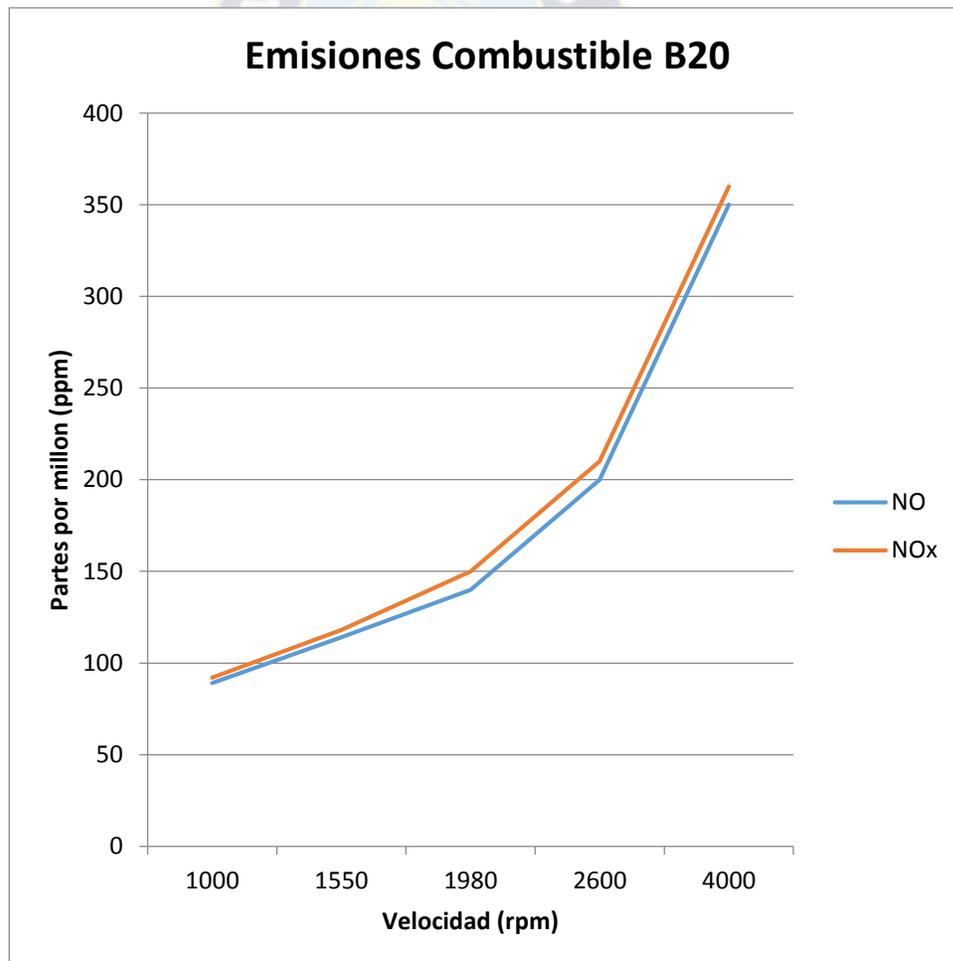
Fuente: Elaboración Propia

Medición de NO y NOx Utilizando B20

B20

| Velocidad (rpm) | NO | NOx |
|-----------------|-----|-----|
| 1000 | 89 | 92 |
| 1550 | 114 | 118 |
| 1980 | 140 | 150 |
| 2600 | 200 | 210 |
| 4000 | 350 | 360 |

Tabla 14: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 20%
Fuente: Elaboración Propia



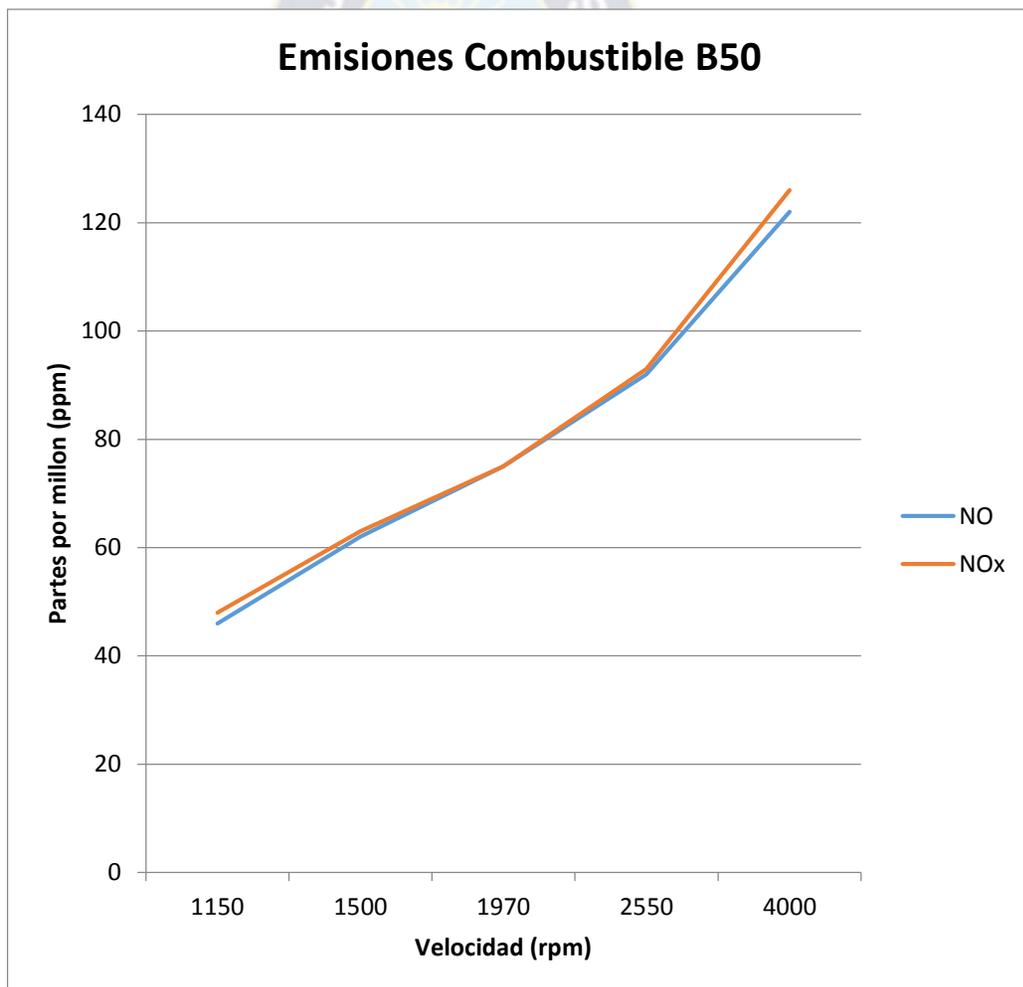
Cuadro 16: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 20%
Fuente: Elaboración Propia

✚ **Medición de NO y NOx Utilizando B50**

B50

| Velocidad (rpm) | NO | NOx |
|-----------------|-----|-----|
| 1150 | 46 | 48 |
| 1500 | 62 | 63 |
| 1970 | 75 | 75 |
| 2550 | 92 | 93 |
| 4000 | 122 | 126 |

Tabla 15: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 50%
Fuente: Elaboración Propia



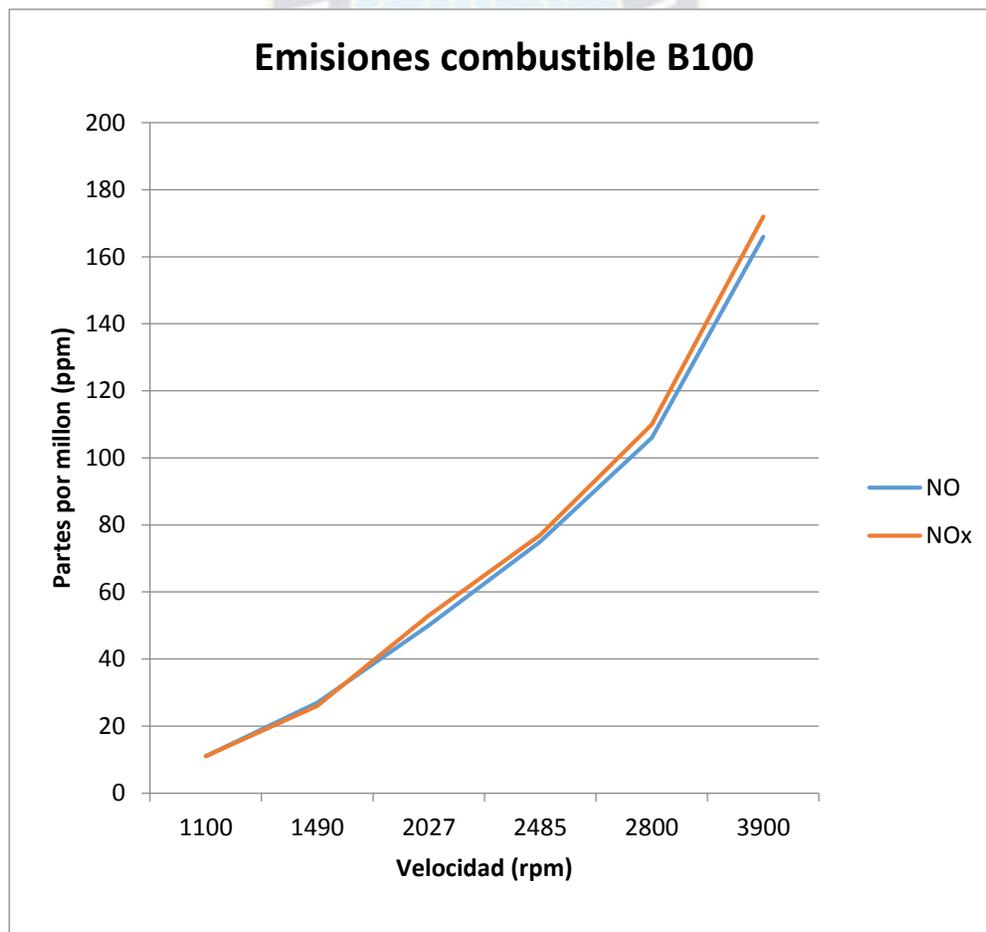
Cuadro 17: Medición de NO y NOx utilizando diesel y biodiesel al 50%
Fuente: Elaboración Propia

✚ Medición de NO y NOx Utilizando Biodiesel B100

B100

| Velocidad (rpm) | NO | NOx |
|-----------------|-----|-----|
| 1100 | 11 | 11 |
| 1490 | 27 | 26 |
| 2027 | 50 | 53 |
| 2485 | 75 | 77 |
| 2800 | 106 | 110 |
| 3900 | 166 | 172 |

Tabla 16: Medición de NO y NOx utilizando biodiesel al 100%
Fuente: Elaboración Propia



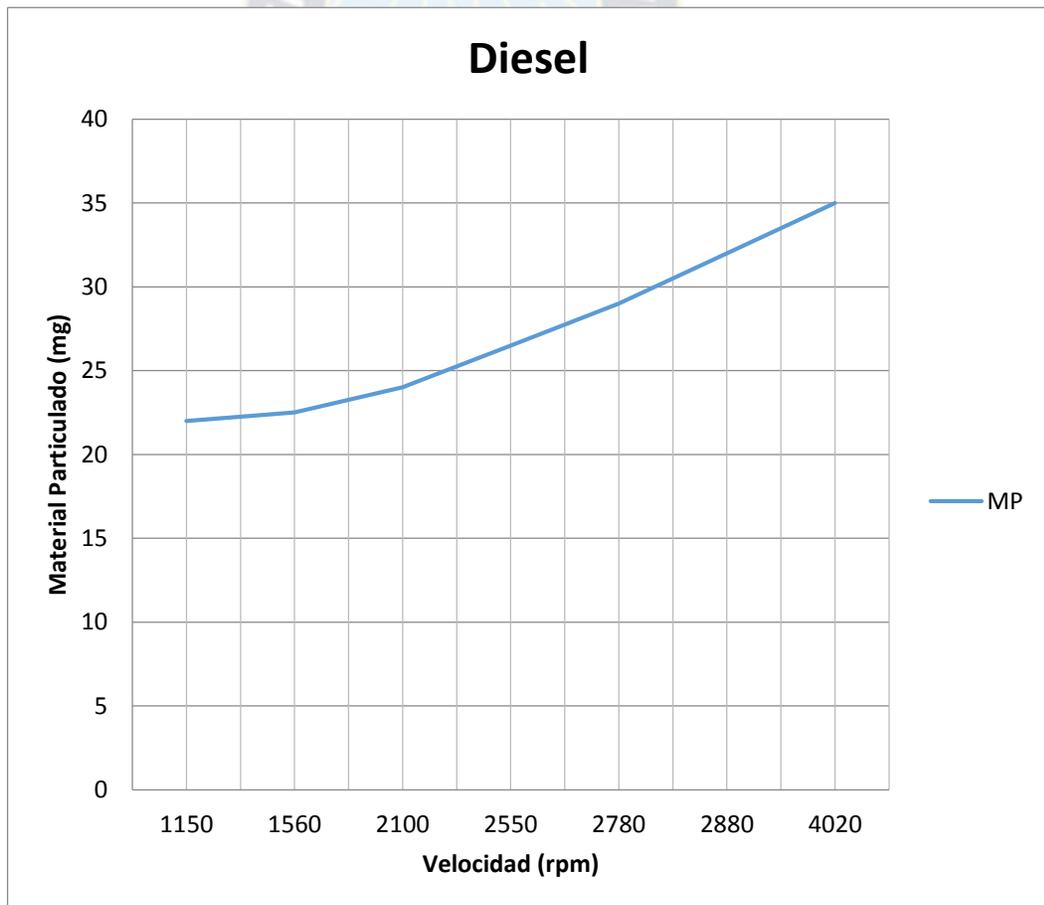
Cuadro 18: Medición de NO y NOx utilizando biodiesel al 100%
Fuente: Elaboración Propia

3.6 MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

3.6.1 Medición Utilizando Diesel Puro

| Velocidad | MP |
|-----------|------|
| 1150 | 22 |
| 1560 | 22,5 |
| 2100 | 24 |
| 2550 | 26,5 |
| 2780 | 29 |
| 2880 | 32 |
| 4020 | 35 |

Tabla 17: Medición de material particulado utilizando diesel
Fuente: Elaboración Propia

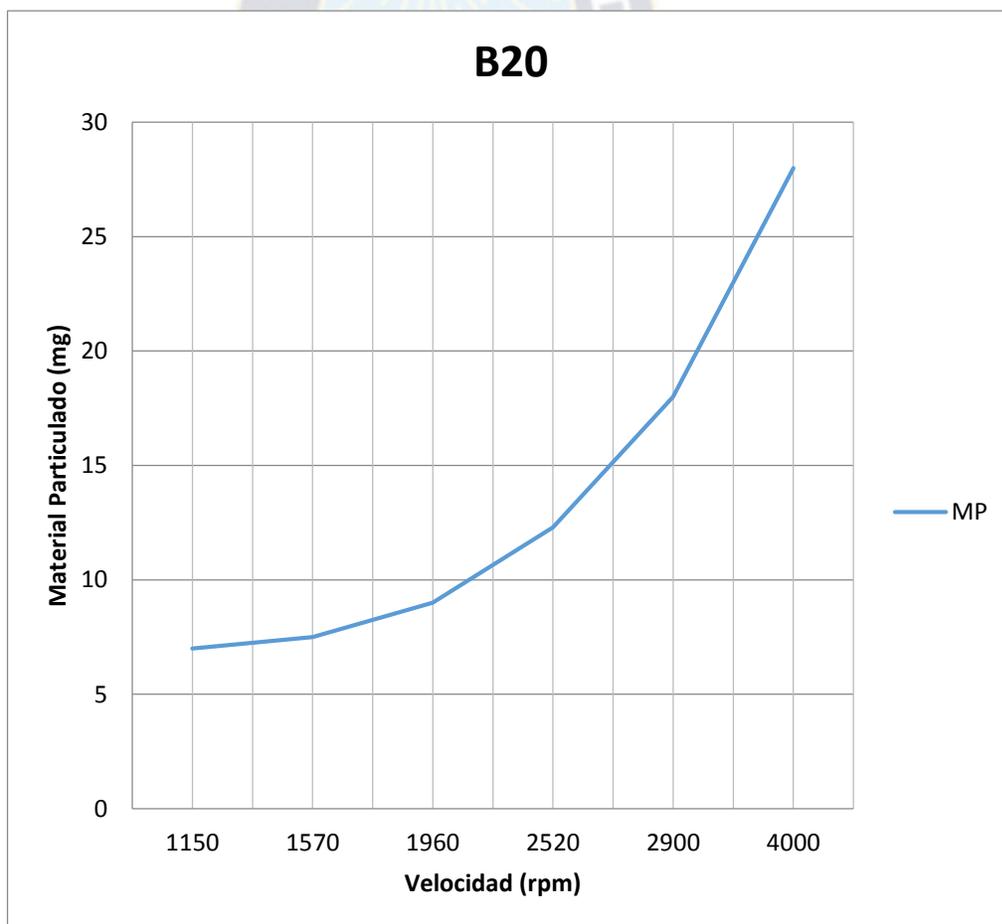


Cuadro 19: Medición de material particulado utilizando diesel
Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 Medición Utilizando B20

| Velocidad (rpm) | MP |
|-----------------|------|
| 1150 | 7 |
| 1570 | 7,5 |
| 1960 | 9 |
| 2520 | 12,3 |
| 2900 | 18 |
| 4000 | 28 |

Tabla 18: Medición de material particulado utilizando diesel y biodiesel al 20%
Fuente: Elaboración Propia

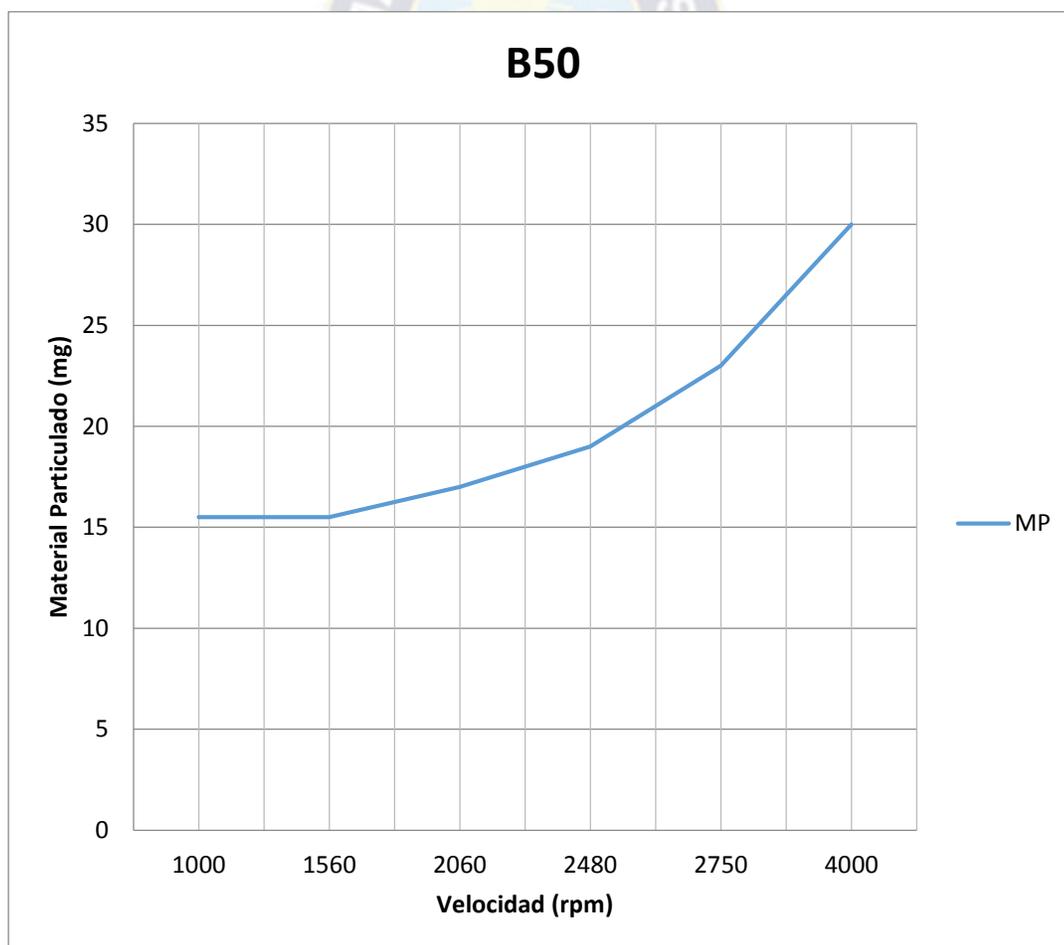


Cuadro 20: Medición de material particulado utilizando diesel y biodiesel al 20%
Fuente: Elaboración Propia

3.6.3 Medición Utilizando B50

| B50 | |
|-----------------|------|
| Velocidad (rpm) | MP |
| 1000 | 15,5 |
| 1560 | 15,5 |
| 2060 | 17 |
| 2480 | 19 |
| 2750 | 23 |
| 4000 | 30 |

Tabla 19: Medición de material particulado utilizando diesel y biodiesel al 50%
Fuente: Elaboración Propia



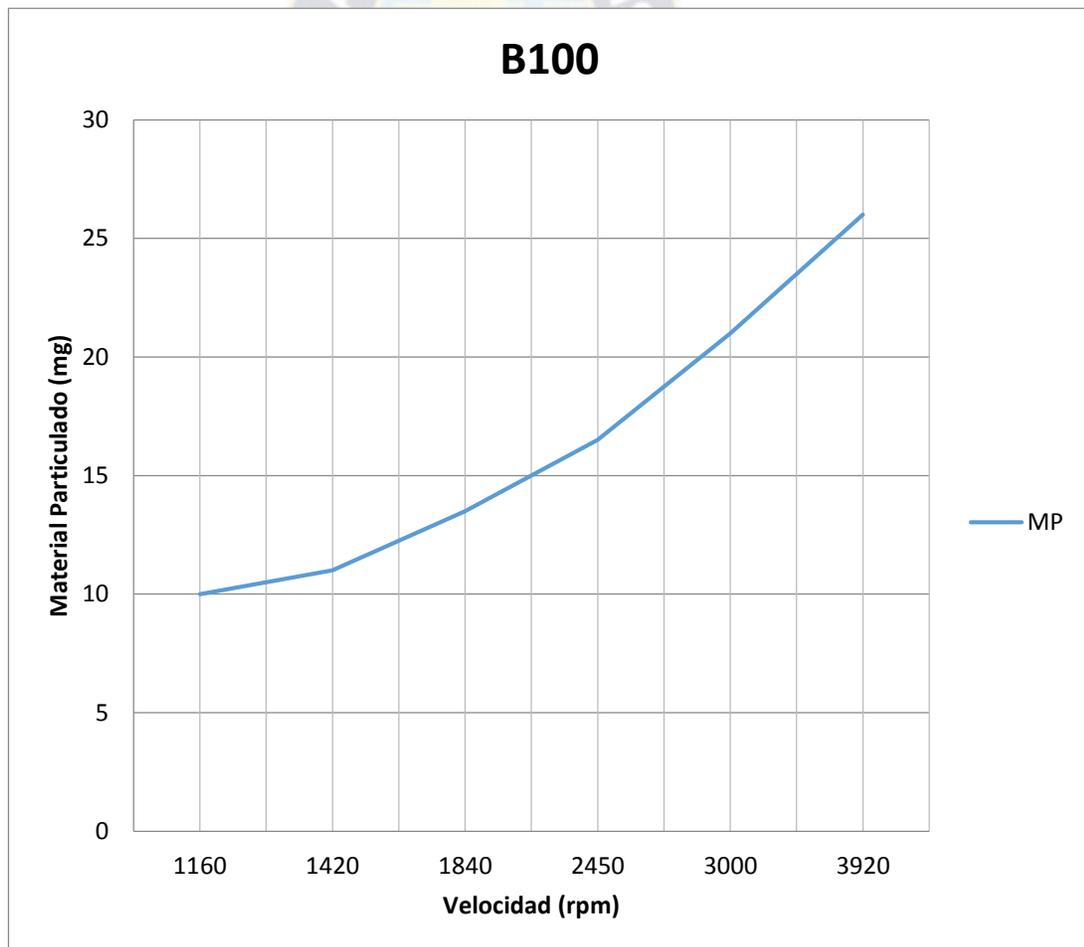
Cuadro 21: Medición de material particulado utilizando diesel y biodiesel al 50%
Fuente: Elaboración Propia

3.6.4 Medición Utilizando Biodiesel B100

B100

| Velocidad (rpm) | MP |
|-----------------|------|
| 1160 | 10 |
| 1420 | 11 |
| 1840 | 13,5 |
| 2450 | 16,5 |
| 3000 | 21 |
| 3920 | 26 |

Tabla 20: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 100%
Fuente: Elaboración Propia



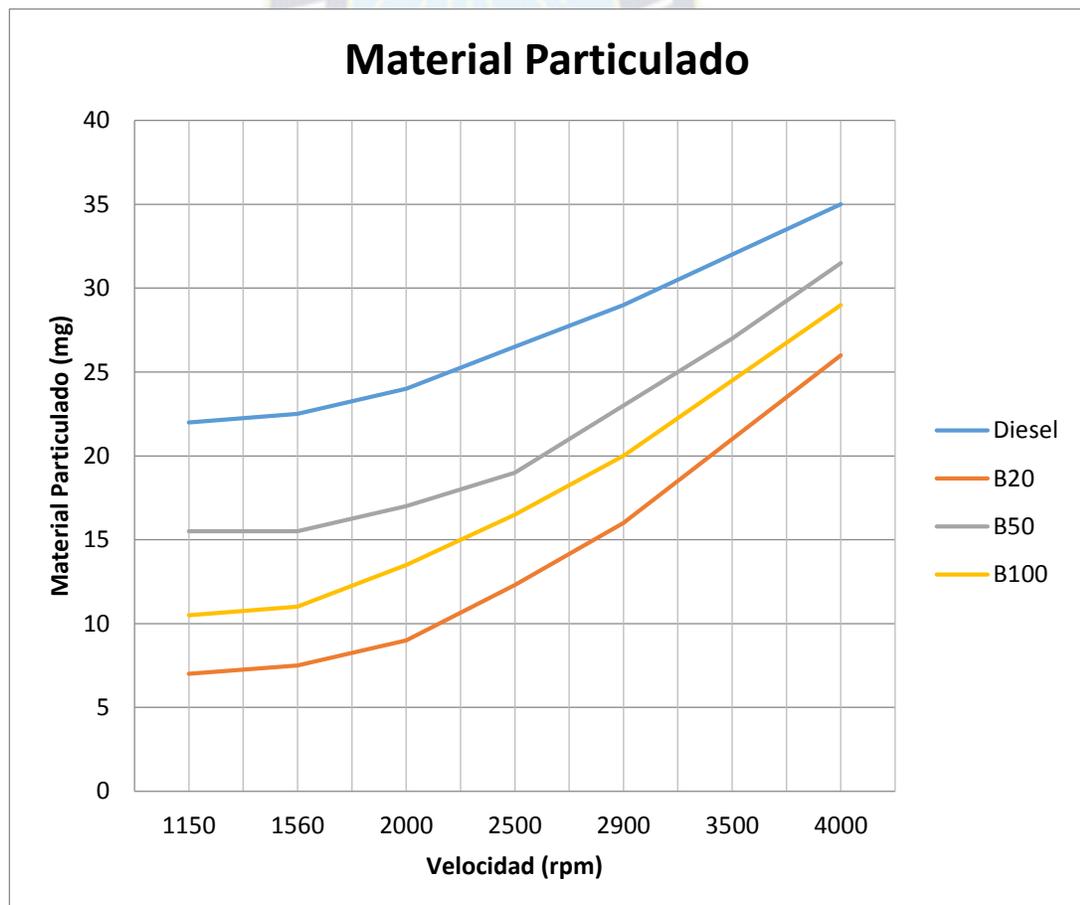
Cuadro 22: Medición de material particulado utilizando biodiesel al 100%
Fuente: Elaboración Propia

3.7 COMPARACIÓN DE ENSAYOS Y DETERMINACIÓN DE MEZCLA EFICIENTE

✚ Material particulado

| Velocidad (rpm) | Diesel | B20 | B50 | B100 |
|-----------------|--------|------|------|------|
| 1150 | 22 | 7 | 15,5 | 10,5 |
| 1560 | 22,5 | 7,5 | 15,5 | 11 |
| 2000 | 24 | 9 | 17 | 13,5 |
| 2500 | 26,5 | 12,3 | 19 | 16,5 |
| 2900 | 29 | 16 | 23 | 20 |
| 3500 | 32 | 21 | 27 | 24,5 |
| 4000 | 35 | 26 | 31,5 | 29 |

Tabla 21: Comparación de la medición de material particulado
Fuente: Elaboración Propia

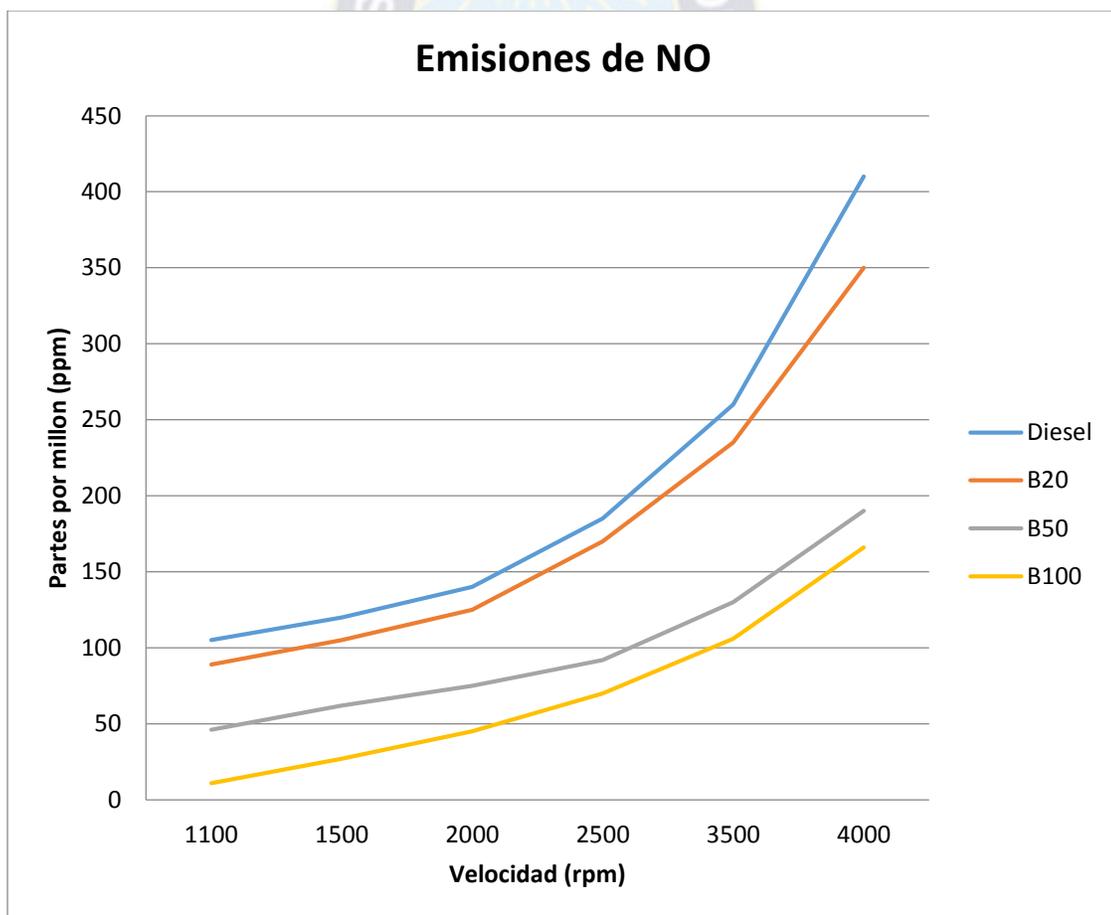


Cuadro 23: **Comparación** de la medición de material particulado
Fuente: Elaboración Propia

✚ Emisiones de Óxidos de nitrógeno NO

| NO | | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|------|
| Velocidad (rpm) | Diesel | B20 | B50 | B100 |
| 1100 | 105 | 89 | 46 | 11 |
| 1500 | 120 | 105 | 62 | 27 |
| 2000 | 140 | 125 | 75 | 45 |
| 2500 | 185 | 170 | 92 | 70 |
| 3500 | 260 | 235 | 130 | 106 |
| 4000 | 410 | 350 | 190 | 166 |

Tabla 22: Comparación de la medición de NO
Fuente: Elaboración Propia



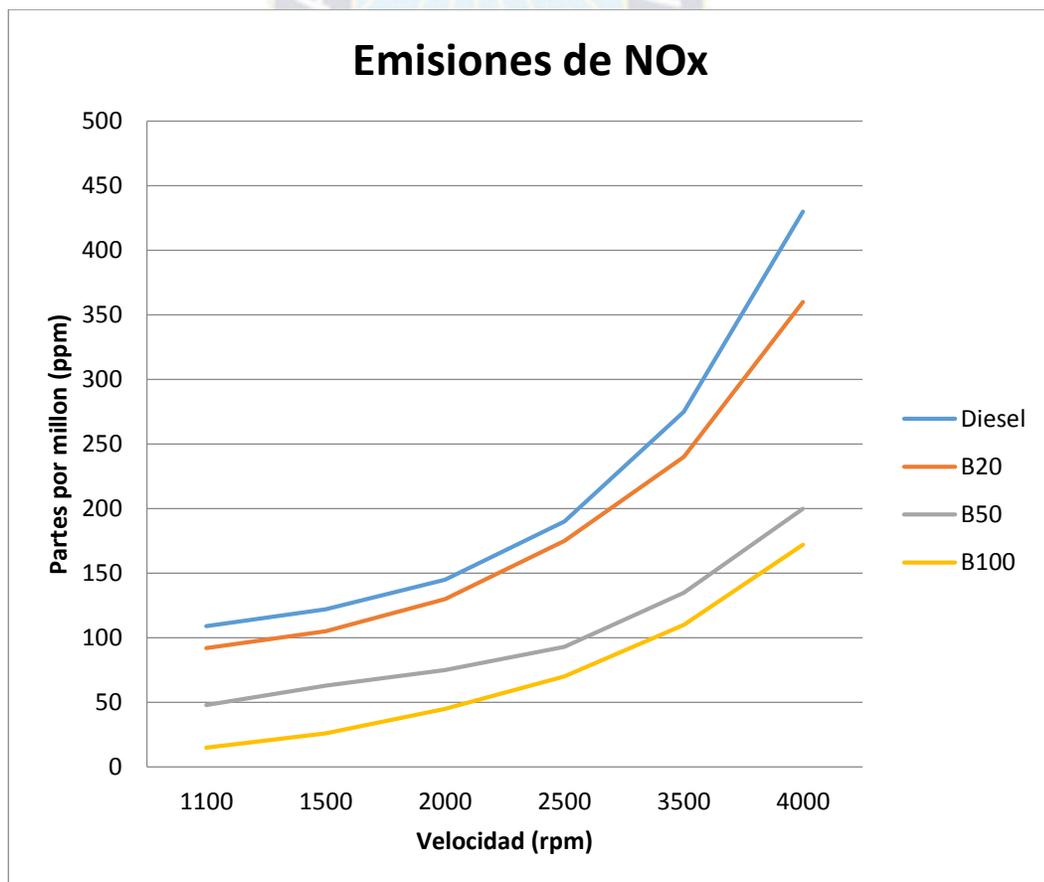
Cuadro 24: **Comparación** de la medición de NO
Fuente: Elaboración Propia

✚ Emisiones de Óxidos de Nitrógeno NOx

NOx

| Velocidad (rpm) | Diesel | B20 | B50 | B100 |
|-----------------|--------|-----|-----|------|
| 1100 | 109 | 92 | 48 | 15 |
| 1500 | 122 | 105 | 63 | 26 |
| 2000 | 145 | 130 | 75 | 45 |
| 2500 | 190 | 175 | 93 | 70 |
| 3500 | 275 | 240 | 135 | 110 |
| 4000 | 430 | 360 | 200 | 172 |

Tabla 23: Comparación de la medición de NOx
Fuente: Elaboración Propia



Cuadro 25: Comparación de la medición de NOx
Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO CUATRO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El trabajo realizado considerando el análisis comparativo del funcionamiento del motor diesel con diferentes mezclas de biodiesel, es una contribución para aplicar el biodiesel en los vehículos con motores a diesel, los resultados obtenidos demuestran que el motor no pierde su potencia ni el torque, más al contrario disminuye la contaminación del medio ambiente.

La importancia de contar y utilizar equipos como el dinamómetro y sus componentes, el analizador de gases nos permitió calcular la potencia efectiva del motor diesel Toyota 1C y el grado de contaminación de los gases en las diferentes mezclas de diesel con biodiesel.

En las proporciones que se utilizaron las mezclas de diesel-biodiesel en el motor, se observaron diferencias estadísticamente significantes en las mediciones de las emisiones de CO, CO₂, NO y NO_x, considerando la cantidad de material particulado en (mg), utilizando la mezcla B20 es donde se encuentra menor cantidad de material particulado.

Cuando el motor utiliza biodiesel en diferentes mezclas (B20, B50) el desarrollo de la potencia y la eficiencia térmica aumenta en pequeña proporción, esto se debe a que la mayor lubricidad y viscosidad del biodiesel disminuyen las pérdidas mecánicas por rozamiento.

4.2 RECOMENDACIONES

Para mejorar estos trabajos de investigación se requieren espacios adecuados para los equipos e instrumentos que cuentan los talleres de la carrera de mecánica automotriz, donde se puedan realizar pruebas con diferentes motores obteniendo una variedad de valores y parámetros que se puedan aplicar en nuestra área y nuestro contexto.

Es sumamente importante a la hora de realizar una serie de ensayos como los que se ejecutaron en el presente proyecto, desde la reparación del motor, la calibración de los equipos e instrumentos utilizados y demás factores que son importantes a la hora de obtener resultados positivos.

El presente documento puede ser utilizado como una referencia o como una herramienta que puede servir para la toma de decisiones técnicas adecuadas a la realidad de nuestro contexto (La Paz- Bolivia) respecto a las mezclas de combustible utilizado en el funcionamiento del motor, los efectos en el medio ambiente con respecto a la cantidad de combustible a utilizar en la mezcla.

Para la elaboración del trabajo, se asume las propiedades del biodiesel elaborado a partir de aceites usados, donde se recomienda considerar los resultados para vehículos con motores a diesel no sobrealimentados, siendo otra opción de ampliar la investigación realizando pruebas en motores con inyección electrónica diesel y sobrealimentados utilizando diferentes tipos de biodiesel.

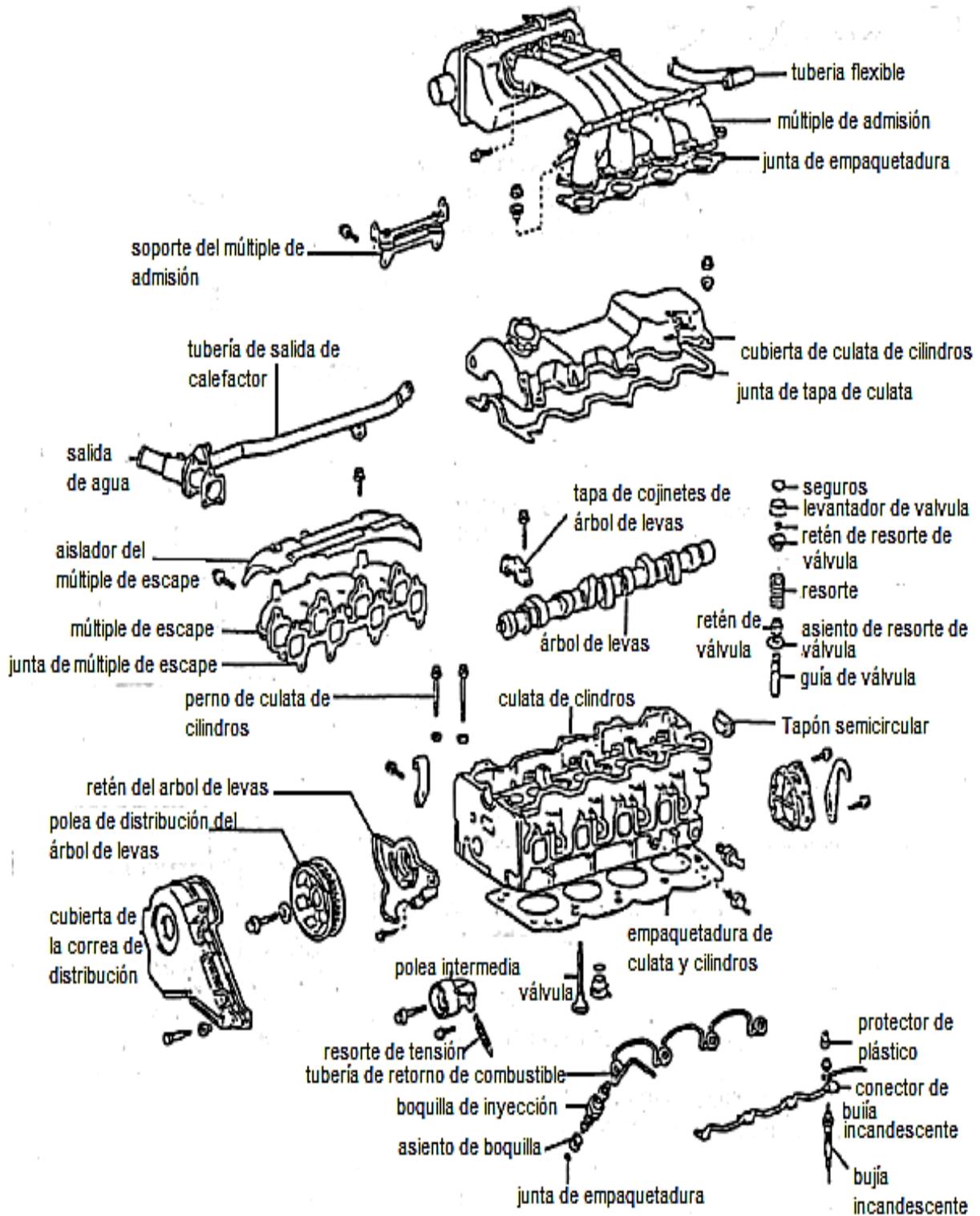
BIBLIOGRAFÍA

- Dirección General de Energía.(2003).Análisis de laboratorio de biodiésel MEM
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008).Energías renovables y eficiencia energética.
- HEYWOOD, J. (1998).Internal Combustion Engine Fundamentals. Nueva York, McGraw-Hill
- SIVASANKARAN, J. (1998).Performance of Diesel Engines at High Altitudes.
- Agudelo,J.Sanchez,C.(2006).Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento deMotores de Combustión Interna.
- Carless, J. (1998).Energía Renovable. México.
- Jóvaj, M.S. (1992).Motores del Automóvil. Moscú.
- INDECOPI. NTP. (2008). Biocombustibles Biodiesel, Especificaciones.
- TEAM. Manual de Entrenamiento, Motor diesel, Etapa 2. Volumen 6.
- Ed, May. (1988). Mecánica para Motores Diesel, McGraw-Hill, México
- LAROSA, R. (2003). Proceso para la producción de BIODIÉSEL Descripción, materias primas y servicios necesarios.
- Raymond, G.W. (1976). Motor Diesel Operación, Prueba y Evaluación, Limusa
- Manual de operación del dinamómetro hidráulico
- www.bolivianland.net
- www.biodiesel.org
- www.mwdyno.com

The logo of Universitas Major Pacensis Divi Andreae is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green landscape with a blue cross at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ANDRAE" is written around the perimeter of the circle.

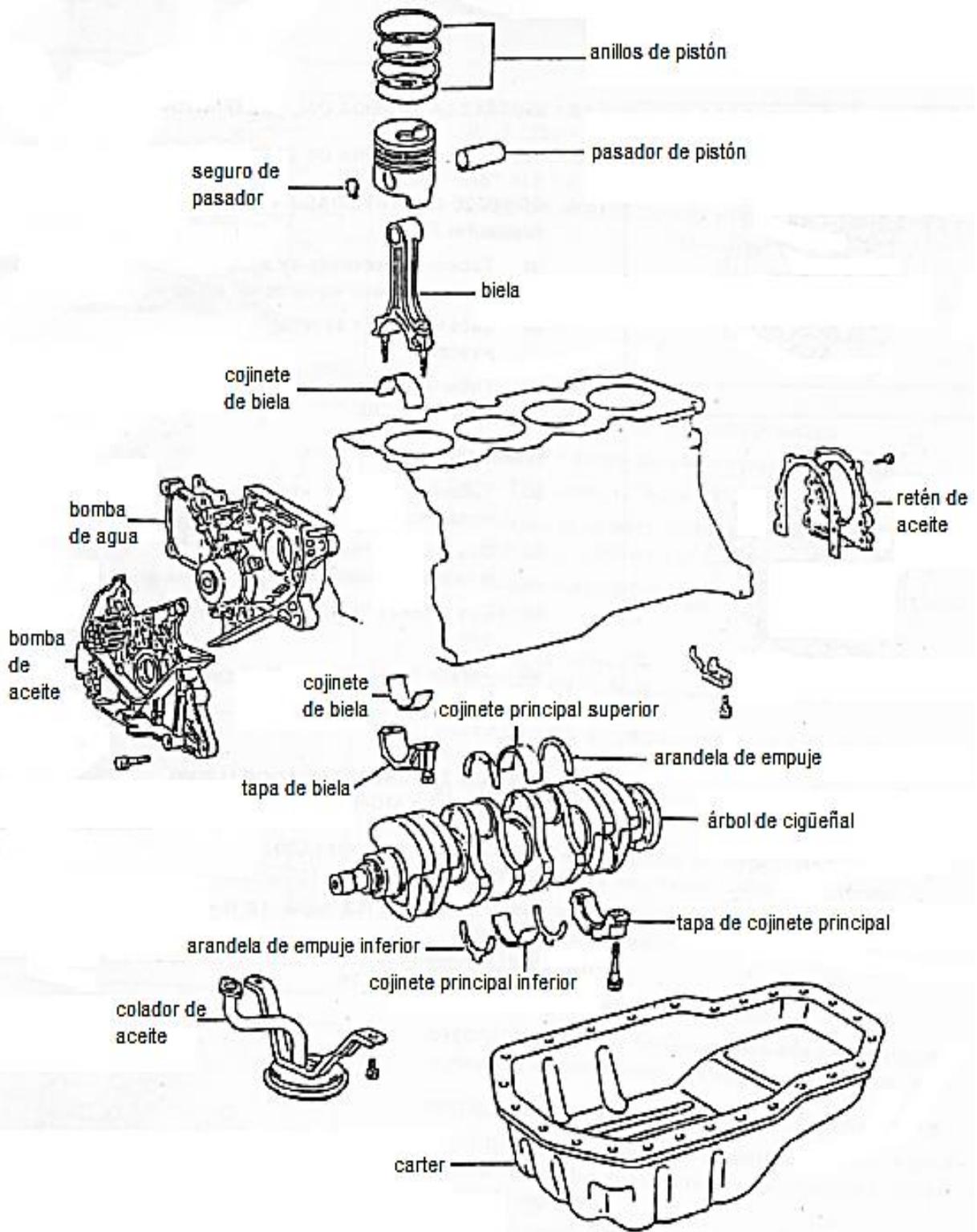
A N E X O S

Anexo 1. Partes externas del motor Diesel Toyota 1C



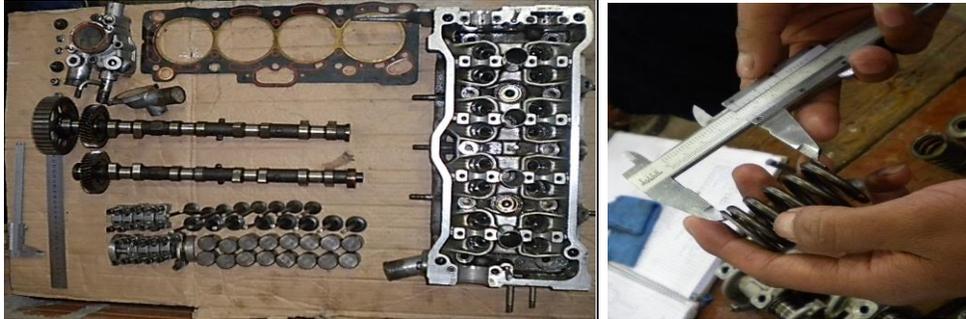
Fuente: Manual Toyota motor diesel 1C

Anexo 2. Partes internas del Bloque de cilindros motor Diesel Toyota 1C



Fuente: Manual Toyota motor diesel 1C

Anexo 2.1 Ajuste y verificación de medidas, Desmontaje y Montaje de componentes del motor



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2.2 Datos técnicos del motor y torques de apriete Toyota 1C

| MOTOR TIPO | N° CILINDROS | DIAMETRO | CARRERA | CILINDRADA | LUZ DE VALVULAS (Admisión) | LUZ DE VALVULAS (Escape) | RELACIÓN DE COMPRESIÓN |
|--|--------------|---------------------|---------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 1 C | 4 OHC | 83,0 mm | 85,0 mm | 1839 cm ³ | 0,20 - 0,30 mm | 0,25 - 0,35 mm | 23:1 |
| Potencia Máxima | | 73,64 CV / 4600 rpm | | Torque Máximo | | 14.43 kg m / 2800 rpm | |
| BLOCK DE CILINDROS | | | | | | Medidas en mm | |
| Alabeo máximo de superficie de block | | | | | | 0,20 | |
| Diámetro de cilindro - estándar | | | | | | 83,00- 83,00 | |
| Diámetro de cilindro - límite de desgaste estándar | | | | | | 83,23 | |
| Diámetro de cilindro - sobremedida 0,50 | | | | | | 83,73 | |
| Conicidad y excentricidad máxima permitida | | | | | | 0,02 | |
| Diferencia máxima de diámetro entre cilindros | | | | | | 0,05 | |
| PISTONES Y AROS | | | | | | Medidas en mm | |
| Diámetro del pistón: estándar | | | | | | 82,95 - 82,98 | |
| sobremedida 0,15 | | | | | | 83,45 - 83,48 | |
| Luz de pistón en cilindro - estándar | | | | | | 0,04 - 0,06 | |
| Luz de pistón en cilindro - límite | | | | | | 0,15 | |
| Separación entre puntas de aros de pistón: | | | | | | | |
| aro 1 | | | | | | 0,25 - 0,49 | |
| aro 2 | | | | | | 0,20 - 0,44 | |
| aceite | | | | | | 0,20 - 0,49 | |
| Huelgo entre aro y ranura en pistón - límite | | | | | | 0,20 | |
| BIELAS | | | | | | Medidas en mm | |
| Holgura de empuje - Juego axial - estándar | | | | | | 0,08-0,30 | |
| Holgura de empuje - Juego axial - límite | | | | | | 0,40 | |
| Luz de aceite de cojinete de biela - estándar | | | | | | 0,036- 0,061 | |
| Luz de aceite de cojinete de biela - límite | | | | | | 0,100 | |
| Luz de aceite del casquillo al pasador - estándar | | | | | | 0,004- 0,012 | |
| Luz de aceite del casquillo al pasador - límite | | | | | | 0,050 | |
| CIGÜEÑAL | | | | | | Medidas en mm | |
| Holgura de empuje - Juego axial - estándar | | | | | | 0,04 - 0,24 | |
| Holgura de empuje - Juego axial - límite | | | | | | 0,30 | |
| Luz de aceite de bancada - estándar | | | | | | 0,034 - 0,065 | |
| TORQUE DEL MOTOR | | | | | | | |
| Tapa de bancada | | | | | | 9,8- 11,2 mkg | |
| Tapa de biela | | | | | | 6,0-7,0 mkg | |
| Culata | | | | | | 29 Nm, 49 Nm, 90° | |
| Volante | | | | | | 8,5- 9,5 mkg | |
| Polea de cigüeñal | | | | | | 9,5- 10,5 mkg | |
| Polea impulsora de la bomba inyectora | | | | | | 6,0-7,0 mkg | |
| Polea impulsora de bomba de aceite | | | | | | 4,0- 5,5 mkg | |
| SISTEMA DE INYECCIÓN | | | | | | | |
| Orden de inyección | | | | | | 1.3-4-2 | |
| Presión de apertura de la tobera del inyector | | | | | | 142-152 / 132-142 kg/cm ² | |

Fuente: Manual Toyota motor diesel 1C

Anexo 3. Repuestos y componentes reemplazados en el motor diesel

Anexo 3.1. Bomba de agua



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.2. Juego de empaques



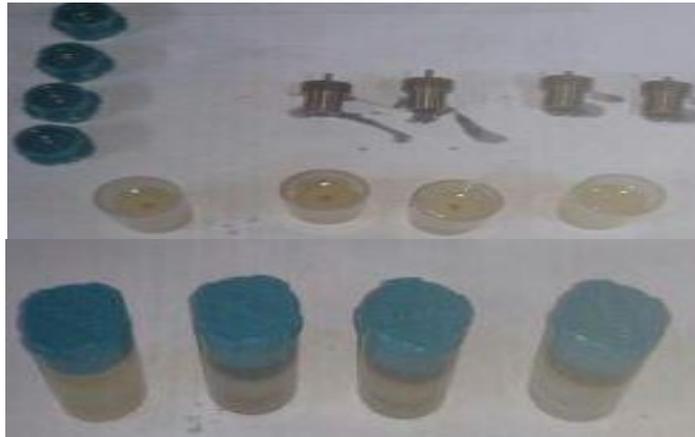
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.3. Anillos de Pistón



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.4. Toberas de inyector de espiga



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.5. Cojinetes de bielas y bancadas



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3.6. Culata rectificada con componentes nuevos



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4. Banco de pruebas Magasa



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5. Ajuste del Volumen de Inyección en ralentí



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6. Ajuste del Volumen de Inyección a Plena Carga



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7. Acoplamiento del motor diesel Toyota 1C al dinamómetro hidráulico
Modelo NHS 305



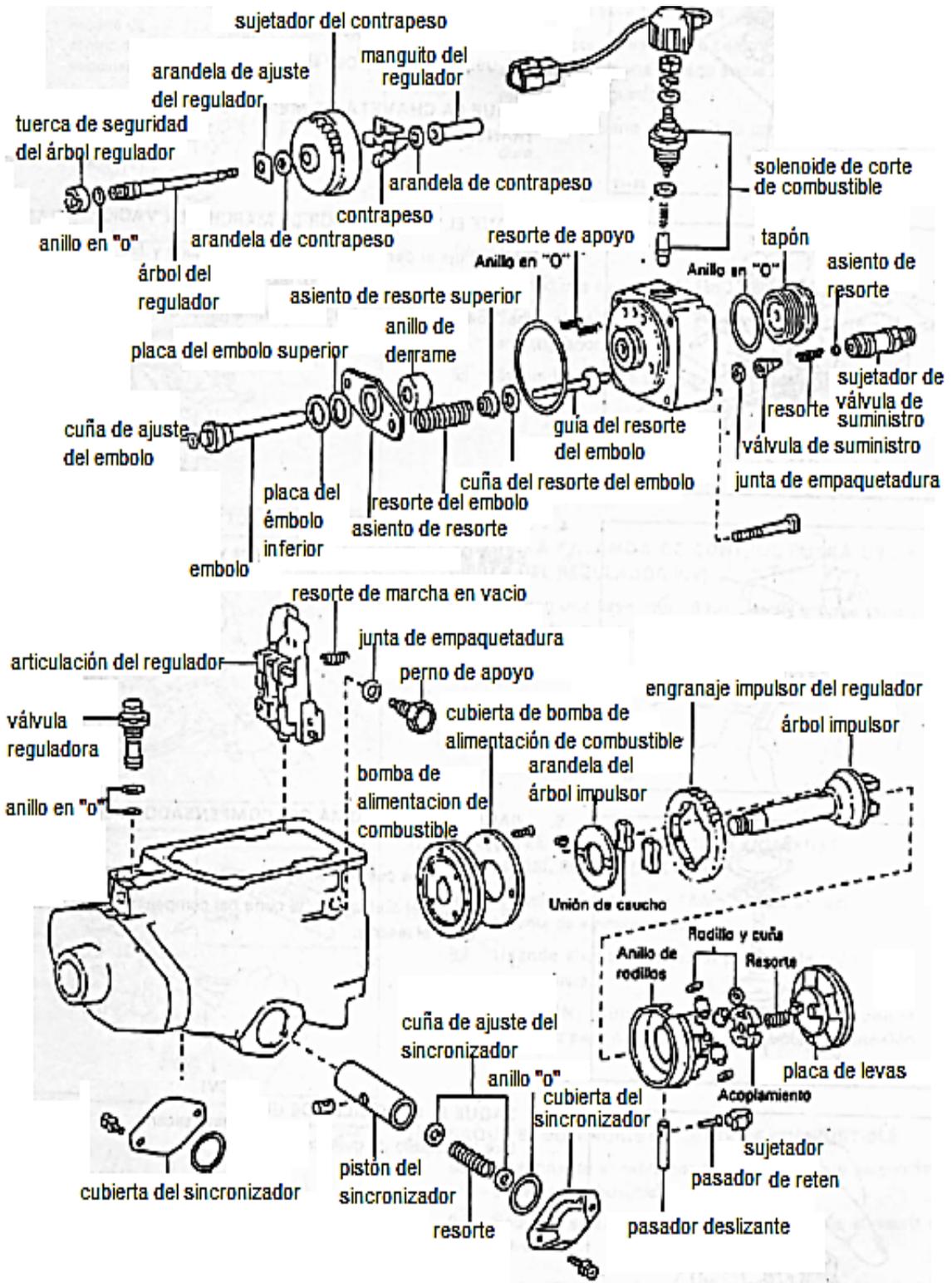
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8. Analizador de gases residuales para motores diesel



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9. Partes y componentes de bomba de inyección de combustible



Fuente: Manual Toyota motor diesel 1C