



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero
Automotriz**

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Mike Deivid Cedeño Samaniego

Tutor: Alex Fernando Llerena Mena, MSc

**Análisis del Desempeño de un Motor de Ciclo Otto con Inyección
Modificada para Etanol E-85**

Certificado de Autoría

Yo, Mike Devid Cedeño Samaniego, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Mike Devid Cedeño Samaniego

C.I.: 0917106833

Aprobación del Tutor

Yo, Alex Fernando Llerena Mena certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Alex Fernando Llerena Mena, MSc.

C.I 1804973277

Director de Proyecto

Dedicatoria

A Dios, por permitirme seguir adelante ante toda adversidad, y por brindarme, sin importar el tiempo, nuevas oportunidades para alcanzar una meta más y continuar en el camino hacia muchas otras.

A mi esposa, por recordarme constantemente que soy capaz, por impulsarme a cumplir cada uno de mis propósitos, y porque su apoyo fue parte fundamental en este logro.

A mi familia, por acompañarme siempre, por estar pendientes de mí y por no dejar que me rinda en la búsqueda de mis sueños.

Mike Cedeño

Agradecimiento

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por acompañarme siempre, tanto en los momentos de luz como en los de oscuridad; por guiarme con verdad y fortaleza, y por permitirme alcanzar una meta más en este camino de vida.

A mi esposa, por estar a mi lado día, tarde y noche, apoyándome tanto en lo laboral como en lo académico, y por creer en mí en cada paso hacia mis logros y metas.

A mi familia, por acompañarme en este largo camino y por no dejar que me rinda, sin importar cuán difícil haya sido el trayecto.

A la Universidad Internacional del Ecuador, y especialmente a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de formarme con docentes que no solo me transmitieron conocimientos, sino también valores para ser un profesional digno de esta carrera.

Al Ing. Alex Fernando Llerena Mena, mi tutor, por su valiosa orientación y acompañamiento, tanto como docente como guía, en esta etapa final del proceso académico.

Mike Cedeño

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Resumen.....	xi
Abstract	xii
Capítulo I	1
Antecedentes	1
1.1. Título de la Investigación.....	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2.2. Formulación del Problema	2
1.2.3. Sistematización del Problema	3
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivo Específicos.....	3
1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación.....	3
1.4.1. Justificación Teórica.....	4
1.4.2. Justificación Metodológica	5
1.4.3. Justificación Practica.....	5

1.4.4. Delimitación Temporal	5
1.4.5. Delimitación Geográfica.....	5
Capítulo II	7
Marco Referencial	7
2.1. Antecedentes de la Investigación	7
2.2. Marco Teórico.....	8
2.2.1. Motor Ciclo Otto.....	8
2.2.2. Biocombustibles y su Rol en el Transporte	10
2.2.3. Propiedades Fisicoquímicas del Etanol.....	10
2.2.4. Ventajas del Uso de Etanol en Motores Otto.....	11
2.2.5. Limitaciones del E-85 y Desafíos Técnicos.....	12
2.2.6. Efecto del E-85 en la Combustión y Emisiones.....	12
2.2.7. Sistemas de Inyección en Motores Otto	13
2.2.8. Sistema de Inyección y Control Electrónico	14
2.2.9. Parámetros Críticos de Inyección para Motores con E85: Presión, Sincronización y Caudal	14
2.3. Marco Conceptual	16
Capítulo III.....	20
Metodología Experimental para la Adaptación de un Motor de Ciclo Otto al Funcionamiento con Etanol E-85	20
3.1. Reconstrucción del Motor Base	20
3.2. Ensamblaje del Motor con Componentes de Alta Resistencia.....	24
3.3. Instalación del Sistema de Sobrealimentación	25

3.4. Adaptación del Sistema de Inyección y Combustible para Etanol E-85.....	28
3.5. Actualización del Sistema de Transmisión	30
3.6. Gestión Electrónica del Motor	32
Capítulo IV.....	34
Análisis Comparativo de Desempeño en Dinamómetro: Gasolina Convencional vs. Etanol E-85	34
4.1. Evaluación del Desempeño en Dinamómetro	35
4.2. Pruebas Iniciales con Gasolina Convencional.....	35
4.3. Pruebas Posteriores con Etanol E-85	36
Conclusiones	39
Recomendaciones	40
Bibliografía.....	41

Índice de Figuras

Figura 1: <i>Rectificadora Salinas</i>	6
Figura 2 <i>Ciclo Otto básico</i>	9
Figura 3: <i>Rectificación del Block para la Implementación de las Camisas Forjadas</i>	21
Figura 4: <i>Cambio de Metales</i>	22
Figura 5: <i>Instalación de Camisas Forjadas</i>	23
Figura 6: <i>Ensamblaje de Block</i>	25
Figura 7: <i>Conjunto de Sobrealimentación Armado</i>	27
Figura 8: <i>Instalación del Sistema de Bombas de Combustibles</i>	29
Figura 9: <i>Kit de Embrague</i>	31
Figura 10: <i>ECU Reprogramable y Cableado</i>	33
Figura 11: <i>Curva de Potencia y Torque - Gasolina (Configuración Original)</i>	36
Figura 12: <i>Curva de Potencia y Torque - Etanol E-85 (Motor Modificado)</i>	37

Resumen

Los investigadores esperan que este estudio dé lugar a innovaciones tecnológicas que ayuden a los talleres y laboratorios automovilísticos a realizar conversiones seguras y correctas. Estas normas deben cubrir temas importantes, incluyendo cómo elegir los inyectores adecuados, los sensores Flex Fuel, la presión de la línea y la calibración de la ECU. El etanol es polar y absorbe el agua, por lo que es muy necesario emplear partes del sistema de combustible que funcionen con E-85. Necesitamos aprender más sobre cuánto tiempo pueden durar las mangueras, bombas y juntas que tocan este biocombustible. Se ha demostrado que el uso de unidades de control electrónico (ECU) programables como la AEM Infinity funciona. Hay que estudiar más los algoritmos de control adaptativo (aprendizaje en bucle cerrado) que ayudan a los motores a funcionar mejor cuando cambia la mezcla de combustible. Los resultados del dinamómetro son buenos, pero hay que probar el ahorro de combustible, las emisiones y la estabilidad térmica del coche en el mundo real durante mucho tiempo para ver cómo funciona en diversas circunstancias de tráfico, altitud y temperatura. Un análisis coste-beneficio, un balance de carbono y una estimación de la cantidad de etanol disponible en la zona son mejores formas de averiguar cómo influirá el E-85 en las flotas comerciales o de transporte público. Se aconseja incorporar este tipo de estudios a la formación técnica y profesional para que más personas se pasen a las tecnologías de combustibles alternativos. Esta formación debería impartirse tanto a estudiantes como a técnicos que ya trabajan en este campo.

Palabras Claves: Etanol E-85; Motor de Ciclo Otto; Sistema de Inyección; ECU Programable; Sobrealimentación (Turbo)

Abstract

Researchers hope that this study will lead to new technology innovations that will help automobile workshops and labs conduct safe and correct conversions. These rules should cover important topics including how to pick the right injectors, Flex Fuel sensors, line pressure, and ECU calibration. Ethanol is polar and absorbs water, thus it's very necessary to employ portions of the fuel system that functions with E-85. We need to learn more about how long the hoses, pumps, and joints that touch this biofuel can last. Using programmable electronic control units (ECUs) like the AEM Infinity has been proven to operate. More study must be done on adaptive control algorithms (closed-loop learning) that help engines function better when the fuel mix changes. The dynamometer findings are good, but you need to test the car's fuel economy, emissions, and thermal stability in the real world for a long time to see how it functions in diverse traffic, altitude, and temperature circumstances. A cost-benefit analysis, a carbon balance, and an estimate of how much ethanol is available in the area are all better ways to figure out how E-85 will influence commercial or public transportation fleets. It is advised that this kind of study be incorporated in technical and professional training to enable more individuals to switch to alternative fuel technologies. This training should be given to both students and technicians who are already working in the field.

Keywords: E-85 Ethanol; Otto Cycle Engine; Injection System; Programmable ECU; Supercharging (Turbo)

Capítulo I

Antecedentes

1.1. Título de la Investigación

Análisis del desempeño de un motor de Ciclo Otto con inyección modificada para Etanol E-85.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

La preocupación por la sostenibilidad y la reducción de las emisiones contaminantes ha llevado a la búsqueda de combustibles alternativos que disminuyan el impacto ambiental de los motores de combustión interna (MCI).

Debido a sus características de combustión más limpia en comparación con los combustibles fósiles tradicionales, el etanol, un biocombustible derivado de fuentes renovables, ha surgido como una alternativa prometedora. No obstante, la integración efectiva del etanol como combustible principal en MCI presenta obstáculos técnicos y de optimización que aún no ha sido completamente abordados.

En este momento, los motores de combustión interna (ICE) a gasolina no pueden aprovechar completamente las propiedades químicas y físicas del etanol. Debido a esto, el potencial del etanol como una alternativa viable para su uso masivo en la industria del transporte es limitado, lo que causa problemas con el rendimiento, la eficiencia energética y la longevidad del motor.

El etanol tiene una mejor calificación de octano y produce menos CO₂, pero tiene una menor densidad energética y podría dañar algunas partes del motor. Estos son grandes problemas con la tecnología. Para que el etanol se convierta en una fuente de energía viable y duradera, es muy importante que la tecnología se desarrolle lo más rápido posible para que los motores de combustión interna que funcionan con etanol funcionen mejor.

El mayor problema es que las tecnologías actuales no hacen que el etanol funcione mejor

en los MCI, lo que significa que se desperdicia energía. En esta situación, es muy importante estudiar formas de mejorar los motores de CI adaptando tecnologías para que el etanol pueda utilizarse como combustible de manera más eficiente. Se necesita mucha investigación y desarrollo para hacer que los sistemas de inyección funcionen mejor, cambiar las características de la combustión y mejorar los materiales que entran en contacto con el etanol.

1.2.1. Planteamiento del Problema

El uso de combustibles fósiles en MCI ha ocasionado una variedad de inconvenientes tanto en el ámbito ambiental como en el económico a escala global. La dependencia de estos combustibles ha motivado la exploración de alternativas más sostenibles, debido a su impacto en el cambio climático y contaminación atmosférica.

El etanol, un tipo de biocombustible, se considera una alternativa factible gracias a su reducida emisión de carbono y su posibilidad de ser generada a partir de recursos renovables. No obstante, los MCI convencionales no se encuentran adecuadamente optimizados para lograr una eficiencia óptima, lo que resulta en una disminución del rendimiento y su impacto negativo en la economía del combustible.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de realizar ajustes tecnológicos en los motores con el fin de optimizar su eficiencia al operar con etanol, lo que resultaría en una mejora tanto en su rendimiento como en su huella ambiental.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cómo se puede optimizar el desempeño de los motores de combustión interna mediante la adaptación tecnológica para el uso eficiente de etanol E-85 como combustible principal, mejorando la eficiencia energética?

1.2.3. Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los parámetros clave del ciclo de combustión en motores de combustión interna para maximizar la eficiencia del etanol E-85 como combustible alternativo?
- ¿Qué modificaciones tecnológicas necesarias en los sistemas de inyección de combustibles y en los materiales de los componentes internos del motor, para mejorar su compatibilidad y eficiencia con el etanol?
- ¿Cómo se puede diseñar un protocolo de pruebas experimentales para medir el desempeño de motores de combustión interna adaptados para el uso de etanol E- 85?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el desempeño de un motor de ciclo Otto con modificaciones en la inyección para el uso de etanol como combustible.

1.3.2. Objetivo Específicos

- Identificar los parámetros clave del ciclo de combustión en motores de combustión interna para maximizar la eficiencia del etanol E-85 como combustible alternativo.
- Evaluar las modificaciones tecnológicas necesarias en los sistemas de inyección de combustibles y en los materiales de los componentes internos del motor, para mejorar su compatibilidad y eficiencia con el etanol.
- Realizar pruebas experimentales para medir el desempeño de motores de combustión interna adaptados para el uso del etanol E-85.

1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación

Cada vez más personas están preocupadas por cómo las emisiones de los vehículos afectan al medio ambiente. Esto ha llevado a la creación y uso generalizado de catalizadores automotrices.

Estos dispositivos están destinados a reducir la cantidad de gases contaminantes que son liberados al aire por los motores de combustión interna.

Esto ayuda a reducir la cantidad de productos químicos nocivos que generan estos motores. Por otro lado, la efectividad de un catalizador disminuye con el tiempo debido a varios factores, como el envejecimiento térmico, la contaminación por impurezas y el desgaste mecánico.

Para asegurarse de que el coche funcione de la mejor manera y cumpla con las normas ambientales, es muy importante saber exactamente cuánto tiempo durará un catalizador. Es difícil tomar decisiones informadas sobre si mantener o reemplazar un catalizador porque no hay una manera estandarizada y precisa de estimar cuánto tiempo más durará basado en un análisis de los gases de escape.

1.4.1. Justificación Teórica

La investigación sobre la optimización del desempeño de los MCI para el uso eficiente de etanol como combustible se sustenta en diversas teorías relacionadas con la termodinámica, la combustión y el desarrollo de energías. Desde el punto de vista de la termodinámica, es importante entender cómo el etanol, debido a las propiedades químicas y físicas, poder afectar el ciclo de combustión, la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes.

Además, los estudios sobre combustibles alternativos han demostrado que el etanol, al ser un combustible renovable, tiene un gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al combate contra el cambio climático. Este trabajo se basa en teorías ya establecidas de eficiencia térmica y procesos de combustión, pero también busca expandir el conocimiento al adaptar los motores para que logren un desempeño óptimo cuando operan con etanol.

1.4.2. Justificación Metodológica

La metodología planteada en esta investigación se justifica por su capacidad de abordar de manera objetiva y rigurosa el problema de optimización del desempeño de MCI mediante el uso eficiente de etanol como combustible alternativo.

Al plantear un enfoque mixto, se garantiza que los resultados sean medibles, replicables y comparables, lo que es fundamental para validar científicamente los hallazgos y generar conocimiento aplicable en la industria automotriz.

1.4.3. Justificación Práctica

Cuando piensas en cómo este estudio afecta la vida real, tendrá un impacto tanto en el sector energético como en la industria automotriz. Parece posible crear una alternativa duradera y útil a los combustibles fósiles que emplee MCI para convertir el etanol en un combustible. Además, si diseñamos tecnología que haga un mayor uso del etanol, más personas podrían utilizar este biocombustible en el transporte público. Esto sería genial para la economía y el medio ambiente.

Este estudio nos ayudará a descubrir qué necesita cambiarse en los motores que ya están en uso. Esto les facilitará la transición a opciones que sean mejores para el medio ambiente y que duren más. Esto no solo hará que los automóviles y camiones usen menos energía, sino que también podría reducir el costo de operarlos con el tiempo y dejar una huella de carbono más pequeña en el medio ambiente.

1.4.4. Delimitación Temporal

La investigación actual se lleva a cabo de mayo 2025 a septiembre de 2025. Se ha establecido esta limitación temporal para concentrar el estudio en un marco de tiempo específico.

1.4.5. Delimitación Geográfica

La investigación de campo y experimental se realiza en las instalaciones de la rectificadora

Salinas.

Figura 1

Rectificadora Salinas



Fuente: <https://maps.app.goo.gl/c8r7wSNKwmbtTwnq5>

Capítulo II

Marco Referencial

2.1. Antecedentes de la Investigación

Cada vez hay más gente preocupada por cómo afectan los combustibles fósiles al medio ambiente. Esto ha llevado a la búsqueda de alternativas ecológicas para la industria del transporte. Los biocombustibles, especialmente el etanol, se han convertido en una de las mejores opciones porque pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y funcionar con motores de combustión interna. Mucha gente piensa que el etanol E-85, que contiene un 85% de etanol y un 15% de gasolina, es un combustible ideal para los motores que funcionan con el ciclo Otto. Pero el mecanismo que controla e inyecta el motor necesita ser cambiado en algunos aspectos para que esto funcione (Silva et al., 2018).

Ha habido varias investigaciones que demuestran que el etanol tiene buenas propiedades físicas y químicas. Además, estas cosas tienen un índice de octano más alto y un proceso de combustión más eficiente que los combustibles fosilizados. Aunque así sea, la menor densidad energética y la mayor necesidad de ajuste en la interacción entre el aire y los combustibles pueden plantear problemas técnicos (Boretti, 2020). Los cambios realizados en los sistemas de instalación y el mapa de la Unidad de Control del Motor (ECU) son muy importantes para obtener el máximo rendimiento del motor cuando funciona con mezclas de E-85 (Yuksel & Yuksel, 2004).

Para cambiar los motores que se fabricaron originalmente para funcionar con gasolina a funcionar con E-85, es necesario examinar a fondo el sistema que suministra el combustible. Esto se debe a las diversas formas en que se evapora el etanol y a cómo afecta a la mezcla y a la eficiencia volumétrica del motor. Se han realizado muchas investigaciones para examinar la eficiencia térmica, el consumo específico de combustible y las emisiones de contaminantes que

realizan los motores modificados. Lin et al. (2017) realizaron uno de estos estudios. El E-85 podría hacer que los coches rápidos fueran más potentes, pero puede ser difícil de arrancar en climas fríos y las piezas pueden romperse si se eligen los materiales equivocados para instalarlo.

Además, investigaciones recientes se han centrado sobre el impacto que el E-85 ha tenido en la dinámica del conflicto, así como en las estrategias de control que se han implementado para minimizar la explosión y maximizar el rendimiento. Rakopoulos et al. (2019) afirman que es necesario modificar los periodos de inyección para aprovechar plenamente las ventajas energéticas del E-85 y reducir las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados. Esto se debe a que el E-85 permite mayores índices de compresión y un encendido más rápido sin detonación. Para sacar el máximo partido del E-85, esto es importante.

Por ello, estudiar cómo funcionan los motores con E-85 y los nuevos sistemas de inyección es un paso importante para crear soluciones de movilidad más respetuosas con el medio ambiente. El objetivo de este estudio es describir cómo se comporta termodinámica, energética y medioambientalmente un motor de ciclo Otto modificado para funcionar con E-85 mediante cambios específicos en el sistema de inyección. Este estudio se ajusta a ese concepto.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. *Motor Ciclo Otto*

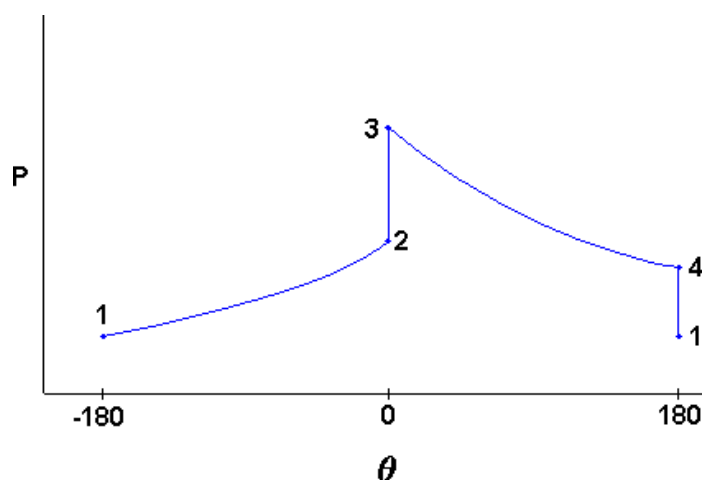
Los ciclos Otto, también conocidos como motores de encendido por chispa, tienen un cilindro que contiene una mezcla de aire comprimido y combustible. La mezcla se enciende mediante una chispa eléctrica. Estos motores pueden funcionar con otros combustibles, como el etanol, ya que son especialmente resistentes al golpeteo (alto octanaje) y se evaporan rápidamente, lo que los hace más eficientes en términos de volumen. Estos motores se fabricaron inicialmente para funcionar con gasolina, pero pueden modificarse para funcionar también con otros

combustibles.

El E-85 es una mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina. En los lugares donde se fomentan los biocombustibles, ésta es una de las opciones más extendidas. Debido a las diferencias en la estequiometría, el contenido energético y la evaporación en frío en comparación con la gasolina pura, los motores de ciclo Otto necesitan cambios en su sistema de inyección de combustible, sensores y ajustes de la ECU (Unidad de Control del Motor) (Turner et al., 2020). Para obtener los resultados deseados, es necesario realizar ciertos cambios.

Figura 2

Ciclo Otto Básico



Fuente: <https://www.engr.colostate.edu/~allan/thermo/page5/page5f.html>

El ciclo Otto es un buen ejemplo del ciclo termodinámico óptimo para motores de encendido por chispa (gasolina). El nombre fue elegido para honrar a Nikolaus Otto, un inventor alemán que creó el primer motor de encendido por chispa en 1876. En un motor Otto de cuatro tiempos, las etapas de admisión, compresión, combustión, expansión y escape ocurren una tras otra. Las etapas son las siguientes: admisión, compresión, combustión, expansión y escape.

- La admisión es la mezcla de aire y combustible que llena el cilindro.
- La compresión adiabática hace que la mezcla se comprima dentro del cilindro.

- La mezcla se quema rápidamente después de la chispa, lo que hace que la presión aumente. Esto se llama combustión, y es una buena manera de pensar en ello como añadir calor a un volumen constante.
- La carrera de potencia es cuando los gases calentados se expanden y hacen que el pistón funcione. El sistema de escape deja salir el gas extra al aire.

2.2.2. Biocombustibles y su Rol en el Transporte

Los biocombustibles son una mejor opción que los combustibles fósiles ya que son mejores para el medio ambiente y más acordes con la idea de sostenibilidad ambiental. El etanol ha sido objeto de mucha investigación por varias razones, incluyendo el hecho de que funciona con motores de chispa, tiene una alta capacidad de antidetonación y podría reducir las emisiones de monóxido de carbono cuando se produce a partir de biomasa (Kalam & Masjuki, 2018).

Muchos países, especialmente aquellos que han implementado políticas energéticas que fomentan una menor dependencia del petróleo, están interesados en utilizar mezclas de etanol y gasolina, como el E-85, que es 85% etanol y 15% gasolina. Esto es especialmente cierto en los países que han implementado estas normas. Pero usar este método conlleva muchos problemas técnicos, especialmente con motores que no fueron diseñados para funcionar con este tipo de combustible (Turner et al., 2020).

2.2.3. Propiedades Fisicoquímicas del Etanol

Entonces, para entender cómo funciona el etanol con los motores de ciclo Otto, necesitamos examinar las siguientes propiedades del etanol:

El etanol tiene un número de octano (RON) superior a 108, lo que significa que puedes utilizar relaciones de compresión más altas sin preocuparte por el golpeteo o la autoignición (Silva et al., 2018). El número de octano del etanol es más alto que el de la gasolina.

Debido a que tiene un alto calor latente de vaporización, la eficiencia volumétrica del sistema mejora. Este calor de vaporización reduce la temperatura de la mezcla aire-combustible, lo que hace que el sistema funcione mejor en general.

Rakopoulos et al. (2019) dicen que la mejor relación aire-combustible para el etanol es de aproximadamente 9:1, que es más baja que la relación de 14.7:1 que tiene la gasolina. Esta relación es muy diferente de la que posee la gasolina.

El etanol tiene un valor calorífico inferior (LHV) al de la gasolina, que está entre 43 y 44 MJ/kg. El poder calorífico inferior (PCI) del etanol es aproximadamente 26.8 MJ/kg. La gasolina arde a una temperatura mucho mayor que el etanol. Esto significa que la gasolina arde a una temperatura más alta. Heywood (2018) dice que esta diferencia significa que el etanol ocupa más espacio que otros combustibles que tienen la misma cantidad de energía disponible para ellos. Esto es cierto porque el etanol tiene más energía por unidad de volumen que otros combustibles.

Puede dañar cosas que no son a prueba de óxido porque es polar. Esto es cierto ya que puede lastimar a otras personas. Por esta razón, debes tener mucho cuidado al elegir las piezas del sistema de combustible. No puedes eludir este límite.

2.2.4. *Ventajas del Uso de Etanol en Motores Otto*

Hay varios beneficios al usar E-85 después de que el motor haya sido debidamente modificado, tales como los siguientes:

- La eficiencia térmica del motor es mejor ya que tiene un alto número de octano, lo que le permite utilizar tasas de compresión más altas (Boretti, 2020).

Los estudios han demostrado que las emisiones han disminuido (Lin et al., 2017). Estas pruebas han demostrado que las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono han disminuido considerablemente. La molécula de etanol tiene una mejor combustión y más oxígeno,

por eso se produjo esta disminución.

El etanol que proviene de la biomasa lignocelulósica podría ayudar mucho con la descarbonización al reducir las emisiones netas de carbono (Turner et al., 2020).

2.2.5. Limitaciones del E-85 y Desafíos Técnicos

Aunque el E-85 tiene algunos beneficios, usarlo en motores que originalmente fueron diseñados para funcionar con gasolina conlleva muchos problemas técnicos.

- El etanol es menos volátil que otros combustibles, lo que puede dificultar el arranque del motor cuando está frío. El etanol tiene un alto calor latente de vaporización, lo que dificulta el arranque del motor cuando está frío (Vojtíšek et al., 2021).
- El etanol necesita más combustible para generar la misma cantidad de energía, ya que tiene una menor densidad energética que otros combustibles. Esto podría llevar a que se compre más combustible en general.
- Las partes del sistema de combustible, como las bombas, mangueras y sellos, deben ser capaces de funcionar con etanol para que no se oxiden ni se desgasten. Para evitar cualquier fallo o daño prematuro, se deben cumplir estos criterios.

2.2.6. Efecto del E-85 en la Combustión y Emisiones

Varios estudios han demostrado que el uso de E-85 mejora las siguientes características de combustión:

- Es posible reducir la cantidad de emisiones de NO₂ disminuyendo la temperatura de la llama.
- Combustión más completa: El etanol contiene oxígeno, lo que ayuda a que los hidrocarburos se oxiden más rápidamente. Esto significa que se emiten menos contaminantes al aire.

- La ignición puede adelantarse ya que es difícil de detonar, lo que permite que el ciclo realice el mayor trabajo (Rakopoulos et al., 2019). Esto te permite habilitar una mayor cantidad de avance de encendido.

2.2.7. *Sistemas de Inyección en Motores Otto*

En lugar de carburadores, los motores Otto-modernos emplean dispositivos de inyección electrónica de combustible para llevar gasolina al motor. Estas tecnologías permiten cambiar la mezcla de aire y combustible con mucha precisión, lo que hace que el motor sea menos contaminante. Hay dos tipos de inyección que utilizan los motores de gasolina: inyección directa e inyección indirecta. "La inyección de combustible en el puerto," o "PFI," es otro nombre para la inyección indirecta. Esta forma de inyectar gas lo rocía en el colector de admisión antes de la válvula que permite la entrada de aire al sistema. Normalmente, hay un inyector para cada cilindro, y la inyección ocurre en un cierto orden. La inyección directa (GDI) es un método para introducir gasolina en la cámara de combustión a alta presión. Cuando usas modos de mezcla estratificada o relaciones de compresión más altas, no tienes que preocuparte por los golpes. La unidad de control electrónico (ECU) es lo que hace que el sistema funcione en ambas circunstancias. Los sensores que evalúan la temperatura, la presión, el oxígeno (lambda) y el flujo de aire determinan cuánto tiempo y cuándo funcionan los inyectores.

Si un motor tiene dos sistemas independientes, puede utilizar tanto la inyección directa como la indirecta. Esto significa que el motor funcionará mejor en más condiciones. La inyección directa utiliza menos gasolina y permite que el motor funcione mejor a diferentes temperaturas que la inyección multipunto. Necesita un equipo más complicado, como inyectores fuertes y una bomba de alta presión. En resumen, la inyección multipunto es popular ya que funciona rápidamente y no cuesta mucho. La inyección directa, por otro lado, cuesta mucho más.

2.2.8. Sistema de Inyección y Control Electrónico

El sistema de encendido electrónico en los motores Otto puede arrancar el motor en el momento preciso y con la cantidad adecuada de gas. En los sistemas modernos, una unidad de control electrónico (ECU) logra esto. Esta máquina tiene sensores que la hacen funcionar mejor y contaminar menos.

Necesitas hacer lo siguiente cuando uses E-85:

- Coloca más inyectores en el área caudal: Necesitas usar inyectores que puedan retener más o hacer que el proceso de inyección dure más porque el etanol no produce tanta energía (Plee et al., 2019).
- Para satisfacer las necesidades del E-85, es necesario reprogramar la ECU para ajustar el mapeo del tiempo de inyección, el avance del encendido, el enriquecimiento en frío y el control de lambda.
- Sensores específicos: Los sistemas de combustible flexible tienen sensores que verifican la cantidad de etanol en la gasolina. Estos sensores modifican cómo funciona el motor de inmediato (Zhu et al., 2022).

2.2.9. Parámetros Críticos de Inyección para Motores con E85: Presión, Sincronización y Caudal

Hay tres cosas que intervienen en la inyección: presión, sincronización y caudal. Si quieres usar mezclas de E85 en un motor de ciclo Otto, debes tener mucho cuidado con cómo cambias las especificaciones del sistema de inyección de combustible. Esta parte habla sobre la presión, el tiempo y la tasa de flujo de inyección, así como la investigación más reciente que respalda cada uno de estos puntos. Esta parte también habla sobre cómo estas cosas afectan la combustión, el rendimiento y las emisiones.

Presión de la inyección: Cambiar el combustible en sí es una cosa, pero la presión de inyección también es muy importante para mejorar la calidad de la mezcla aire-combustible en el cilindro y facilitar su atomización.

Una prueba con un sistema de inyección dual (gasolina y etanol por separado) indicó que una presión de inyección de etanol de un bar era la mejor para el consumo de combustible específico de freno (BSFC), que fue un 8.9% menor que presiones más altas. Además, la presión de la infusión de etanol redujo las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos en aproximadamente un 42 y un 44 por ciento, respectivamente. Basado en estos resultados, parece que una presión muy alta puede ser perjudicial. Esto podría suceder si la combinación es demasiado débil o si hay demasiada presión acumulándose en la cámara.

La inyección directa a alta presión ha funcionado bien, al igual que la inyección directa a alta presión. Un diseño de superficie de respuesta muestra que el uso de E 85 con una mayor presión de riel (Prail) en motores HD CI mejora la eficiencia térmica y reduce significativamente los niveles de NO₂ y hollín. Entonces, tanto la inyección de combustible en el puerto (PFI) como la inyección directa (DI) deben tener su presión configurada correctamente. Este ajuste depende de la configuración del motor y del tipo de inyección que se esté utilizando.

Cuando Administrar Inyecciones: El ángulo del cigüeñal en el que se descarga el cincuenta por ciento del calor, también conocido como el punto en el que ocurre la inyección, está íntimamente relacionado tanto con la tasa de eficiencia térmica como con la cantidad de emisiones. En los motores de inyección directa que funcionan con E85, tanto la presión de inyección como esta variable tienen un gran efecto en las emisiones y la eficiencia. Varias combinaciones de CA50 mostraron esto.

Las simulaciones mostraron que el avance del encendido necesita ser recalibrado para

mantener el rendimiento al cambiar de gasolina (E5) a E85 en motores de inyección de puerto. Las simulaciones utilizaron el motor de la motocicleta. Esto muestra que la inyección y el tiempo de chispa deben modificarse según el tipo de combustible que se esté utilizando para proporcionar la mayor potencia y eficiencia.

Plan para el Flujo e Inyección División: Debido a que el etanol tiene alrededor de un 34% menos de calorías que la gasolina, necesitas inyectar más para mantener la relación aire-combustible adecuada. PRI Education (2022) dice que cambiar a E85 requiere un aumento del flujo del 30 al 40 por ciento. Para asegurarse de que la carga de trabajo de un inyector esté cerca del noventa por ciento sin exceder las tasas de flujo funcionales, esto significa usar inyectores con una mayor capacidad, bombas con una mayor potencia y automatización.

Otro método se llama inyección dividida. Esto significa dividir la extracción de gasolina y etanol en dos procesos separados o dividir la inyección en etapas en general. Este método reduce la cantidad de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y material particulado (PM) en un motor PFI sobrealimentado, así como el tiempo dedicado al proceso de combustión.

Una segunda fuente confirma que presiones modestas en los inyectores de etanol (aproximadamente 1 bar) disminuyen el BSFC y las emisiones de CO y HC. Sin embargo, también propone que un enfoque dual con la cantidad adecuada de presión crea un equilibrio entre el rendimiento y la limpieza.

2.3. Marco Conceptual

Motor de Ciclo Otto es un motor de combustión interna que funciona mediante un ciclo termodinámico de cuatro tiempos. Tiene cuatro etapas: admisión, compresión, combustión-expansión y escape. Funciona utilizando una mezcla de aire y combustible que es encendida por una bujía. Esto se llama encendido por chispa. Puede proporcionar una combustión controlada y

rápida debido a su construcción, lo que lo hace adecuado para su uso en vehículos ligeros.

Etanol: a menudo conocido como alcohol etílico, es una molécula orgánica que podría utilizarse como biocombustible. Puedes obtener este químico de la biomasa de las plantas utilizando procesos de fermentación. Puede ayudar a que la combustión sea más limpia debido a su composición química. Esto significa que se liberan menos contaminantes al aire. También tiene un alto nivel de octano, lo que podría hacer que el motor funcione mejor en algunas situaciones.

E-85: Es una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina regular. Esta combinación está destinada a ser utilizada en motores que pueden funcionar tanto con gasolina como con diésel. Tiene diferentes propiedades físicas y químicas que la gasolina pura, a saber, una menor densidad de energía y una forma diferente de evaporarse. Debido a estas diferencias, es necesario cambiar el control eléctrico del motor para poder usarlo. Estas alteraciones son necesarias.

El Sistema de Inyección Electrónica de Combustible: Se encarga de dosificar y suministrar con precisión el combustible al motor, teniendo en cuenta factores como la carga, la temperatura del motor y la velocidad a la que gira. Este sistema reemplaza a los viejos carburadores, lo que facilita el control de la cantidad de combustible que se utiliza y la cantidad de contaminación que se libera. El sistema necesita ser recalibrado o modificado cada vez que se use E-85 para mantener el motor funcionando de manera eficiente.

La Unidad de Control Electrónico (ECU): También llamada "unidad de control," a veces se denomina el "cerebro" del sistema de gestión del motor. Debido a que este sistema puede recibir información de varios sensores, puede controlar cosas como el tiempo de inyección, el avance del encendido y la mezcla de aire y combustible. Debido a las propiedades únicas del etanol, la unidad de control electrónico (ECU) necesita ser reprogramada o cambiada para asegurarse de que las aplicaciones de E-85 funcionen lo mejor posible.

Relación aire-combustible (AFR): Se refiere a la cantidad de aire y combustible que se mezclan antes de que se quemen. La mejor relación estequiométrica para cada combustible es la que permite que el combustible se queme completamente. El etanol tiene una relación aire-combustible más baja que la gasolina, por lo tanto, el método de inyección necesita ser cambiado al usar E-85.

La cantidad de Octano: El valor de octano muestra qué tan bien puede un combustible resistir el golpeteo o la autoignición cuando se comprime. La gente suele decir este número como un porcentaje. Un mayor índice de octano hace posible usar relaciones de compresión más altas, lo que evita que ocurra el golpeteo. El etanol es un gran combustible para motores que necesitan mucho calor y presión porque su número de octano es mucho mayor que el de la gasolina.

Poder Calorífico Inferior" (PCI): se refiere a la cantidad de energía que se libera cuando se quema un combustible. Este número no incluye la energía que proviene del vapor de agua que se crea cuando algo se quema. El etanol tiene un valor calorífico más bajo que la gasolina, por lo tanto, necesitas más para obtener la misma cantidad de energía. Hay que tener en cuenta esto cuando se cambia un motor para que funcione con E-85.

Eficiencia Térmica: Es el porcentaje de la energía en el combustible que se transforma en trabajo que puede ser utilizado en el motor. La relación de compresión, el tipo de gasolina y las condiciones en las que se conduce el coche afectan a su eficiencia. Al ajustar las condiciones de funcionamiento del motor, es posible hacer que el etanol sea más eficiente térmicamente aprovechando su alto índice de octano. Pero esto solo es posible si esos parámetros están configurados de la mejor manera.

Flex-fuel: Es un tipo de sistema de inyección de combustible que permite a un motor funcionar con varios tipos de combustible o combinaciones de ellos, como gasolina y etanol.

Este sistema tiene sensores que pueden detectar qué tipo de combustible hay en el tanque en cualquier momento y cambiar automáticamente la configuración de los sistemas de encendido e inyección. Estos motores son flexibles, lo que facilita el cambio a biocombustibles como el E-85.

Capítulo III

Metodología Experimental para la Adaptación de un Motor de Ciclo Otto al

Funcionamiento con Etanol E-85

3.1. Reconstrucción del Motor Base

Agregar más piezas al motor existente es el primer paso en cualquier proyecto que quiera mejorar el funcionamiento. Esto es especialmente importante si deseas usar combustibles alternativos como el etanol con un 85% de etanol y añadir elementos que faciliten la inducción. El motor utilizado es un Toyota 2JZ-GE VVTi, que es una plataforma bien conocida con mucha información disponible sobre ella. También puedes hacer que funcione mejor en situaciones difíciles haciendo una serie de modificaciones controladas en su configuración.

El propósito de este paso es complementar su estructura y reforzar el motor para que cada parte interna pueda soportar las modificaciones sustanciales en la presión media de combustión, las temperaturas de operación y las cargas dinámicas que vienen con el uso de un turbocompresor de alta capacidad. E-85 es un tipo de combustible que tiene algunas características buenas, incluyendo que no produce tanto golpeteo y puede enfriarse mejor por dentro. Pero también hace que los materiales y los sistemas de combustible trabajen más duro.

También pensamos en cómo realizar las adecuaciones para usar E-85 modifica las piezas y añadimos más componentes que permitan su uso de manera beneficiosa.

La tecnología utilizada mezcla métodos de refuerzo, reparación y reconstrucción con piezas forjadas de alto rendimiento, desde la pernería hasta componentes bases como empaques y piezas de materiales más resistentes forjados y procedimientos de ensamblaje para asegurar que el conjunto del tren motriz dure mucho tiempo y funcione a favor de la potencia.

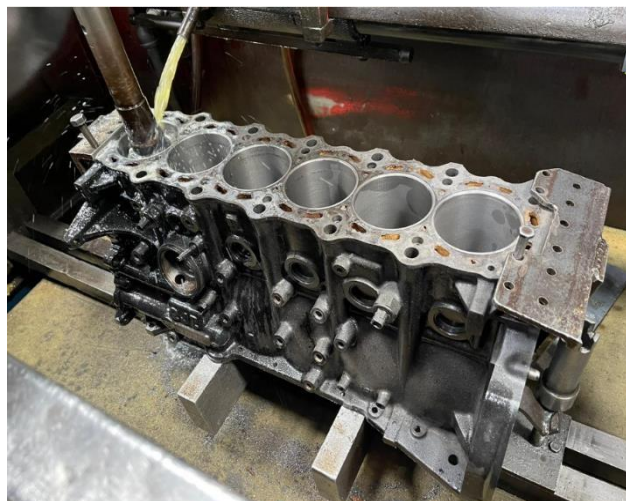
Esta sección repasa cada etapa en orden y discute por qué se eligieron los materiales, la

tecnología y las características de ensamblaje que se utilizaron para hacer un motor estándar lo suficientemente fuerte como para manejar cargas pesadas y diversos tipos de combustible.

Rectificación del Motor 2JZ-GE VVTi Turbo: El primer paso en el proceso es mecanizar todo el bloque del motor. Este paso es muy importante en el proceso de restaurar el motor a su estado operativo y listo para condiciones que requieren mucho precisión y trabajo mecánico. El bloque ha sido completamente desarmado y limpiado en el banco de trabajo. Es muy importante que los motores sobrealimentados tengan superficies planas que estén mecanizadas para que sean paralelas y sellen de manera efectiva. Para satisfacer esta necesidad, se han mecanizado el plano del bloque y los manguitos.

Figura 3

Rectificación del Block para la Implementación de las Camisas Forjadas



El rayado cruzado en los cilindros facilita mucho mantener el aceite en su lugar correcto y asentar adecuadamente los anillos del pistón mientras aún se están asentando. El recubrimiento en el exterior de la cámara de combustión ayuda a mantenerla sellada y evita que se desgaste demasiado rápido. También hace que las cosas duren más tiempo antes de romperse. En este caso, el proceso de mecanizado también restablece importantes tolerancias dimensionales (cilindro-

pistón, bloque-cojinete), lo que mantiene la estructura estable incluso cuando las presiones de combustión aumentan debido al sobrealimentador y al uso de etanol E-85, que combustiona con más energía.

Reemplazo de Chapas de Biela y Bancada: Se utilizaron cojinetes de biela y de bancada de alto rendimiento para restaurar el cigüeñal. Estos cojinetes fueron diseñados para soportar cargas radiales mayores y reducir la fatiga que proviene de la tensión repetida. Un plastigauge es una herramienta necesaria para verificar si los claros axiales y radiales están dentro de los límites del fabricante o, en algunos casos, dentro de los rangos de resistencia al desgaste, para usos de alto rendimiento.

Figura 4

Cambio de Metales



Usar lubricante para ensamblaje y aplicar el par de manera secuencial con una llave

dinamométrica de torque es necesario para asegurarse de que el ensamblaje se realice de la mejor manera posible. Esto ayuda a reducir los cambios de forma que ocurren cuando las cosas se aprietan de manera desigual. Este paso es muy importante para asegurarse de que el motor funcione bien mecánicamente durante mucho tiempo, especialmente mientras esté funcionando con E-85, que tiene condiciones de combustión más agresivas.

Sustitución de Camisas, Bielas y Pistones: En esta etapa, se colocó una camisa para turbo y esto quiere decir que soporta esfuerzos extremos y grandes presiones y esto nos dio la precisión de trabajar con tolerancias más exactas. Esto les permitió emplear pistones forjados que eran mucho más robustos de lo que necesitaban ser. Estos revestimientos no solo hacen que el bloque sea más fuerte, sino que también ayudan a disipar el calor. Los pistones están hechos de una aleación de aluminio con mucho silicio, lo que los hace más resistentes al calor y al desgaste mecánico. Esto se debe a que han sido diseñados para trabajar con etanol.

Figura 5

Instalación de Camisas Forjadas



También se utilizaron pasadores flotantes y pernos ARP forjadas para hacerlas lo más resistentes posible contra las fuertes tensiones inerciales. Esta estructura hace que sea menos probable que falle debido a que se fatiga o se dobla cuando la presión del cilindro es alta. Esto es especialmente crítico cuando el motor está sobrealimentado y el aire es rico en oxígeno, como cuando se usa E-85.

3.2. Ensamblaje del Motor con Componentes de Alta Resistencia

Después de eso, el siguiente paso esencial en el proceso de adaptación es volver a ensamblar el bloque del motor utilizando componentes que sean fuertes y hayan sido elegidos con mucho cuidado. El propósito de esto es garantizar que el sistema continúe operando regularmente incluso cuando se enfrente a condiciones difíciles. Además de esto, es esencial asegurarse de que cada uno de los componentes del tren motriz sea capaz de resistir presiones internas más altas, temperaturas de combustión más elevadas y ciclos de carga que puedan experimentar cambios a lo largo del proyecto. Esto requiere la instalación de un sistema de sobrealimentación además del uso de etanol E-85 como la principal fuente de combustible.

Este método tiene como objetivo asegurar que la construcción del motor sea más estable, prevenir fallos causados por flexión o desgaste, y sentar las bases para un control térmico y volumétrico eficiente. Estos son los objetivos de esta metodología. Incluso cuando las presiones son mucho más altas que las que había en el motor de aspiración natural que se instaló inicialmente, utilizamos tornillos más fuertes y juntas de acero de múltiples para mantener la cámara de combustión sellada.

Esto nos permite mantener la presión completa de la cámara de combustión. Además, se aplican técnicas de par progresivo y el monitoreo del patrón de apriete para mantener las tensiones distribuidas de manera uniforme y evitar que las superficies de acoplamiento sufran cambios de

forma. Esto se hace para mantener un nivel consistente de distribución de tensiones.

Figura 6

Ensamblaje de Block



Instalación de Empaquetadura para Aplicaciones Turbo: La junta de culata está hecha de acero de múltiples capas que es de acero inoxidable y es muy resistente al calor y al estrés mecánico. Este diseño de múltiples capas asegura que sellará bien incluso cuando la presión de combustión sea superior a una barra.

Para evitar que la junta y la superficie de la culata se deformen, fue necesario utilizar tornillos de culata reforzados que se apretaron en tres fases (precarga progresiva) según el patrón radial indicado por el fabricante. Para mantener la estanqueidad intacta durante los ciclos de temperatura del motor, esta regla es absolutamente importante.

3.3. Instalación del Sistema de Sobrealimentación

Para convertir un motor atmosférico en un diseño de motor de alto rendimiento, una de las modificaciones más esenciales que debe instalarse es un sistema de inducción forzada. Esta

modificación es uno de los ajustes más importantes que deben realizarse. En este punto del proceso, el objetivo es utilizar un turbocompresor para lograr la meta de aumentar la densidad del aire que se introduce en la cámara de combustión. Como consecuencia de esto, la combinación aire-combustible es capaz de llevar un mayor peso, lo que en última instancia conduce a un aumento significativo en la potencia específica del motor.

Es esencial tener en cuenta una serie de factores al seleccionar e instalar los componentes del sistema de inducción forzada. Estos factores incluyen la presión objetivo, el flujo volumétrico, la respuesta transitoria y el grado en que estos componentes son compatibles con el resto del sistema de tren motriz cuando se calienta. Cuando se trata del sistema de inducción forzada, es esencial tener en cuenta estos factores. Para el propósito de este proyecto, se eligió un turbocompresor Precisión 6466, y se instaló en un colector tubular que fue especialmente construido para lograr el nivel más alto posible de eficiencia. Se incorporaron varios componentes importantes, incluyendo la válvula de descarga, los sensores de presión, la válvula de desahogo externa y un gran intercooler de calor frontal. No solo estos componentes te permiten controlar la presión de admisión y evitar que el motor se someta a una cantidad excesiva de presión, sino que también mejoran el rendimiento del sistema cuando está operando a alta temperatura. Con respecto a la utilización de etanol E-85, esto es de suma importancia.

Dentro de esta sección, se procede con el complemento de todas las piezas de alto desempeño adicionales como turbo compresor, Intercooler, dowpipe, blow off, wastegate y sistema de inyección de mayor volumen. Esta sección proporciona una explicación de por qué se eligió cada componente en función de sus cualidades técnicas, cómo interactúa con la gestión electrónica y cómo cambia la eficiencia general del sistema. Más específicamente, esta parte habla sobre cómo cada parte del sistema trabaja en conjunto para mejorarlo. Lo mismo ocurre con los

estándares para el ensamblaje, las implementaciones y las precauciones de seguridad. Todos ellos deben estar en su lugar para asegurarse de que el sistema siga funcionando de manera confiable y segura, incluso cuando esté bajo mucha presión. Para asegurarse de que el sistema siga funcionando. Este es el caso porque el sistema necesita ser capaz de manejar el estrés.

Figura 7

Conjunto de Sobrealimentación Armado



Montaje del Turbo Precisión 6466: El turbocompresor Precisión 6466 que se instaló anteriormente tiene dos características únicas: rodamientos de bolas de cerámica y una arquitectura de caracol T4. Esta configuración es el mejor equilibrio entre la respuesta a la presión y el flujo volumétrico, lo que la hace adecuada para motores sobrealimentados con una curva de par progresiva.

Utilizamos soldadura TIG para asegurarnos de que el ensamblaje pudiera soportar el calor, y lo colocamos en un colector tubular de acero inoxidable. Se gestiona la presión del aceite en el

medio del turbo con un restrictor calibrado que forma parte de la línea de lubricación. Esto ayuda a evitar fugas y el exceso de presión.

Integración de Componentes de Control de Presión: Una válvula de descarga externa de 44 mm y una válvula de descarga de tipo pistón son parte del sistema de control de presión. El wastegate te permite controlar la presión máxima de sobrealimentación con mucha precisión, lo que detiene las sobrepresiones que podrían dañar el motor por dentro.

La válvula de descarga funciona cerrando rápidamente el acelerador, lo que libera la presión residual en la admisión y evita que el compresor se sobrecargue. La ECU utiliza sensores de presión (sensores MAP y de sobrepresión) para mantener ambas válvulas sincronizadas. La ECU lee las circunstancias de carga en tiempo real y ajusta la entrega de combustible y la ignición.

Instalación del Intercooler Greddy: El intercambiador de calor de barra y placa montado en la parte delantera reduce mucho la temperatura del aire antes de que entre en los cilindros. Esto se debe a que tiene una alta eficiencia térmica. Este enfriamiento no solo hace que la mezcla sea más densa, sino que también la hace más eficiente volumétricamente y reduce el riesgo de preignición (knock). Esto es especialmente importante cuando se utiliza etanol, que tiene un índice de octano más alto, pero también una mayor reactividad térmica.

3.4. Adaptación del Sistema de Inyección y Combustible para Etanol E-85

Hay ciertos problemas técnicos que deben solucionarse al usar etanol E-85 como combustible alternativo. Debido a estos problemas, el sistema de inyección y entrega de combustible del motor necesita muchas mejoras. El etanol tiene algunas características físicas y químicas que hacen necesario fabricar las piezas que lo dosifican y alimentan, así como el control eléctrico que lo mantiene funcionando todo el tiempo. Esta sustancia tiene un menor poder calorífico por unidad de volumen, más oxígeno y una mayor capacidad de evaporación, entre otras

cosas.

Esta parte habla sobre cómo mejorar el sistema de inyección para que funcione bien, de manera segura y consistente con diferentes cantidades de etanol, ya sea que el motor esté frío o lleno. Tiene bombas de gasolina e inyectores de alto flujo que están destinados a ser de respaldo.

También tiene líneas más grandes, reguladores de presión ajustables y filtros que pueden manejar combustibles alcohólicos, que son más cáusticos y atraen la humedad. Un sensor de combustible flexible en el sistema notifica a la unidad de control electrónico (ECU) la cantidad de etanol en la mezcla en tiempo real. Esto permite que la ECU cambie los ajustes de inyección, encendido y enriquecimiento por sí sola.

No solo estas piezas proporcionan al E-85 el combustible adicional que necesita, sino que también aseguran que el sistema siga funcionando bien durante mucho tiempo. Puedes controlar este cambio con una unidad de control electrónico programable (ECU). Este es un paso importante para aprovechar al máximo un motor cuando cambia la mezcla. Esto hará que el etanol sea un mejor biocombustible tanto para el medio ambiente como para la energía.

Figura 8

Instalación del Sistema de Bombas de Combustibles



Instalación de Inyectores de Alto Flujo: El etanol proporciona alrededor de un 34% menos de energía por unidad de volumen que la gasolina, por lo tanto, se instalaron inyectores de 1300 cc/min. Estos permiten mantener la relación estequiométrica correcta sin perder atomización. La ECU programable controla estos inyectores para que el pulso de inyección cambie automáticamente según la cantidad de etanol y la carga del motor.

Configuración del Sistema de Bombeo y Suministro: Se instaló un sistema de combustible redundante con dos bombas Walbro de 255 LPH funcionando al mismo tiempo.

Esto aseguraba que siempre hubiera un flujo, incluso cuando había mucha demanda y las líneas de combustible 8AN reducen las pérdidas por fricción, y el regulador de presión ajustable mantiene la presión diferencial constante según la presión de admisión. Los prefiltros y posfiltros mantienen las partículas fuera, lo que evita que los inyectores se obstruyan y mantiene la presión de operación sin caídas.

Incorporación de Sensor Flex Fuel: Hemos añadido un sensor Flex Fuel (espectroscopia de capacitancia) que puede decir exactamente cuánto etanol hay en la mezcla.

La ECU obtiene esta información y cambia automáticamente la sincronización del encendido, la combinación aire-combustible e incluso la forma en que arranca el motor cuando está frío. Esta tecnología permite trabajar de forma segura y eficaz con una amplia gama de combinaciones, desde gasolina hasta E-85.

3.5. Actualización del Sistema de Transmisión

Cuando cambias a un diseño sobrealimentado y utilizas combustible de etanol E-85, la potencia y el par motor del motor aumentan mucho. Esto sugiere que el sistema de transmisión debe mejorarse. Esto es necesario para asegurarse de que las ruedas reciban energía mecánica de una manera que no afecte la fiabilidad o la vida útil del conjunto. Las piezas originales del tren

motriz fueron diseñadas para manejar una carga pequeña en un motor de aspiración natural, pero no son lo suficientemente fuertes para soportar el estrés mecánico y térmico de una aplicación de alto rendimiento.

Esta sección habla sobre cómo reforzar las secciones críticas de la transmisión, comenzando con el sistema de embrague, que es donde el motor y la caja de cambios se conectan inicialmente. El sistema de embrague es la primera parte de la transmisión que necesita ser reemplazada. Instalamos un disco de embrague de alto rendimiento (Etapa 3) hecho de cerámica y resortes más rígidos. Este disco puede soportar mucha fuerza sin deslizarse, y también puede modularse bien para su uso en la calle y en la pista. Esta pieza, junto con un volante más fuerte y un mecanismo de centrado perfecto en la etapa de montaje, permite transferir el par de manera más directa. Esto reduce la cantidad de dinero que se pierde cuando los productos se rompen o resbalan.

Es muy vital mantener el sistema de transmisión actualizado para que el tren motriz se mantenga en buen estado y el ensamblaje mecánico pueda manejar la nueva demanda dinámica que el mejor motor le impone. Esta parte explica en detalle qué cambios se realizaron, por qué se hicieron y cómo se eligieron.

Figura 9

Kit de Embrague



Sustitución del Disco de Embrague: Como resultado del aumento de par que poseía el nuevo sistema, se utilizó un disco de embrague cerámico de Etapa 3. La instalación se llevó a cabo en un volante sólido y aligerado de aleación que había sido reforzado en resistencia. Al utilizar esta configuración, se mejora la capacidad de transmitir par sin comprometer la modularidad. Para asegurar que el acoplamiento sea efectivo frente a aceleraciones inesperadas, es necesario utilizar resortes que han sido reforzados y materiales que no se desgasten rápidamente cuando se exponen al calor.

3.6. Gestión Electrónica del Motor

Cuando realizas cambios sustanciales en los sistemas de propulsión actuales, como añadir sobrealimentación o utilizar combustibles alternativos como el etanol E-85, el control electrónico del motor es bastante crítico. La unidad de control programable no es como los antiguos sistemas de control, ya que puede ajustar con precisión y en tiempo real los subsistemas principales del motor. Algunos de estos subsistemas son la inyección, la ignición, la mezcla de aire y combustible, la presión de sobrealimentación y la prevención de fallos. Antes, los sistemas solo podían funcionar en ciertos escenarios y con parámetros que se habían configurado previamente.

Como parte de su renovación, decidieron instalar una ECU programable AEM Infinity 508. Hay muchas opciones y sensores externos con esta ECU. Puede manejar más de un mapa, tiene un corte de seguridad por sobrepresión, control de tracción y registro de datos en tiempo real, por nombrar algunas cosas. También funciona con sensores Flex Fuel. No solo la gestión electrónica asegura que el tren motriz funcione en su mejor nivel para la carga y el tipo de combustible, sino que también protege el motor de situaciones peligrosas como la detonación, una mezcla pobre y la sobrecarga térmica.

Esta parte te mostrará cómo configurar la unidad de control electrónico (ECU) y el sistema

de gestión, así como su funcionamiento con los sensores más importantes del motor. Esta conferencia también cubre los principios del mapeo electrónico y cómo se utiliza el control para mantener las cosas seguras, eficientes y adaptables cuando hay mucha demanda.

Figura 10

ECU Reprogramable y Cableado



La unidad AEM Infinity 508 brinda un control completo sobre la gestión electrónica del motor, incluyendo mapas tridimensionales para el corte de seguridad, la presión de sobrealimentación, la ignición y la inyección.

El arnés milspec asegura que las conexiones manejen la temperatura y la vibración, y la interfaz de usuario facilita realizar cambios en tiempo real, registrar datos y aplicar el aprendizaje en bucle cerrado para desarrollar métodos adaptativos.

Capítulo IV

Análisis Comparativo de Desempeño en Dinamómetro: Gasolina Convencional vs. Etanol

E-85

Las pruebas de dinamómetro se realizan con la intención de medir el grado en que un motor es capaz de trabajar de manera efectiva. La información específica que nos proporcionan sobre el funcionamiento del sistema de propulsión cuando se coloca en un entorno controlado es suministrada por ellos. Es necesario realizar este tipo de investigación para establecer una línea base y determinar si ha habido avances en la calibración del motor, el control electrónico y el tipo de combustible que se está utilizando.

Se investigó dos métodos distintos que pueden ser utilizados en la construcción del mismo motor. La primera configuración utiliza gasolina convencional en su forma original obtenida del fabricante, mientras que la segunda emplea etanol E-85 después de someterse a una serie de modificaciones para optimizar su rendimiento. Ambas configuraciones se describen a continuación. Durante las pruebas, que se realizaron en un dinamómetro de chasis, fue posible medir variables cruciales como la potencia, el par motor, la eficiencia de combustión y la velocidad de respuesta del sistema de inyección electrónica. Todas estas pudieron ser monitoreadas.

El propósito principal es identificar cómo la utilización de E-85 y la alteración del mapa volumétrico afectan el rendimiento del motor, específicamente la potencia máxima, el par motor a diversas RPM y la estabilidad de la curva de par. Esto se logrará analizando los datos. Para demostrar que la conversión de etanol es técnicamente factible desde el punto de vista de la medición del rendimiento, es posible medir la influencia de los cambios que se realizaron utilizando los datos obtenidos durante el proceso.

4.1. Evaluación del Desempeño en Dinamómetro

Cuando haces cambios en el motor o lo calibras, necesitas probarlo en el dinamómetro. El mismo nos permite ver adecuadamente cómo los ajustes reaccionan a las características operativas principales, como: la potencia, el par motor, la eficiencia volumétrica y el comportamiento de las emisiones.

Para la evaluar desempeño del motor se utiliza el dinamómetro antes y después de realizar las mejoras para este proyecto. Se realizaron dos cambios: Etanol E-85 y modificación del mapa volumétrico junto a la asignación con este combustible.

Se puede verificar cosas vitales utilizando el dinamómetro de chasis para simular situaciones extremas en motores modificados tales como: curva de potencia basada en la velocidad de rotación, la rapidez con la que responden los sistemas de encendido e inyección, y la composición de los gases de escape medidos por los sensores de emisiones. También se puede ajustar el mapeo electrónico para encontrar el mejor equilibrio entre velocidad, eficiencia y fiabilidad.

En esta sección habla sobre los dos componentes de las pruebas: la primera sección utilizo el motor tal como estaba con gasolina ordinaria. El motor fue mejorado para la segunda parte, y funcionó con E-85. Tal como se muestran en las figuras que evidencian los resultados y comparan la potencia y el par. Estos gráficos ilustran que el proyecto se puede realizar desde un punto de vista técnico y que el rendimiento ha mejorado.

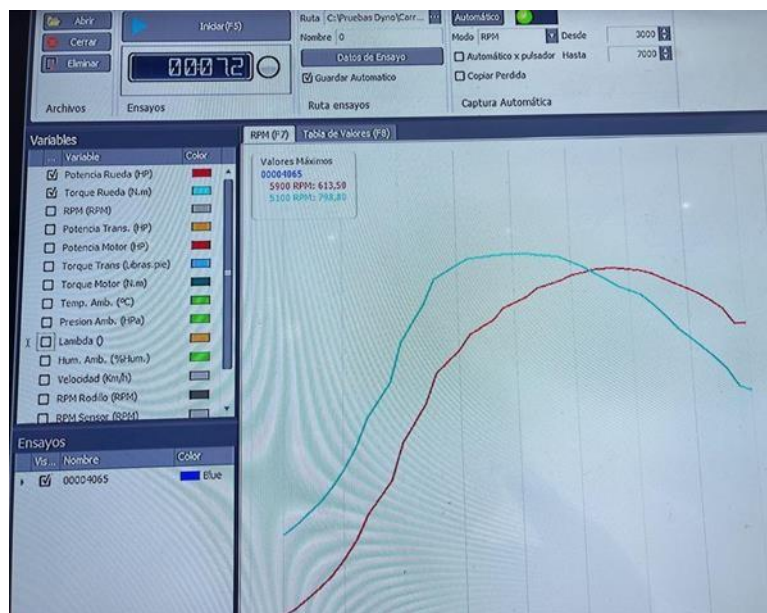
4.2. Pruebas Iniciales con Gasolina Convencional

La primera etapa fue averiguar cómo funcionaba el motor de gasolina, lo que estableció una línea base para la potencia y las emisiones. El dinamómetro de chasis, los sensores de gas y el software de recopilación han trabajado juntos para recopilar datos sobre el par, la potencia, la

relación aire-combustible.

Figura 11

Curva de Potencia y Torque – Gasolina (Configuración Original)



Par (azul/verde): El par comienza a aumentar de inmediato desde bajas RPM (alrededor de 3000) y sigue aumentando. Alcanza su punto máximo a 5100 RPM y luego disminuye lentamente. Esta curva muestra que tiene un empuje significativo en los rangos medios, lo cual es una gran característica para acelerar.

Tener potencial (rojo): El crecimiento de la potencia es más lento ya que depende del par motor y del número de revoluciones por minuto ($HP = (Par \times RPM) / 5252$).

Empieza a perder potencia después de alcanzar un pico de 613.50 caballos de fuerza a 5900 revoluciones por minuto. Esto significa que los motores de gasolina que son sobrealimentados harán esto.

4.3. Pruebas Posteriores con Etanol E-85

Cuando el sistema se aclimató completamente al E-85, obtuvo aproximadamente un 10 a 20% más de potencia. Esto se debe a que el etanol es más resistente a la detonación y puede enfriar

mejor.

Las curvas de par eran más estables y cubrían un rango más amplio, lo que demostraba que el motor era más eficiente y quemaba de manera más uniforme.

Figura 12:

Curva de Potencia y Torque - Etanol E-85 (Motor Modificado)



Par (azul/verde claro): El par comienza a aumentar a bajas RPM (alrededor de 2500), lo que significa que el par está aumentando rápidamente. Llega a su punto máximo a 4800 RPM, y luego comienza a bajar lentamente. Esta curva muestra que el empuje es mejor en el rango bajo medio, lo cual muestra la diferencia significativa ante la pasada anterior ya que comienza antes y el corte es inmediata antes del corte de revoluciones.

Potencia (roja): Toma menor tiempo ante la anterior pasada dinamómetro y esto nos permite obtener mayor potencia ya que depende del par y las revoluciones por minuto (RPM) ($HP = (Par \times RPM) / 5252$). Empieza a disminuir después de alcanzar un pico de 693.60 caballos de fuerza a 5500 revoluciones por minuto.

Así es como se evidencia que la presencia del etanol influye demasiado en la potencia;

permitió mover el tiempo de ignición y así mismo se subió el boost del turbo, evitando el knock, golpeteo de motor, y esto queda demostrado que al momento de usar E-85 se enfría mejor el cilindro y se aprovecha su poder calorífico al máximo.

Conclusiones

Se puede modificar el motor Otto para que funcione con E-85. El sistema de instalación, los materiales utilizados y la gestión electrónica se pueden modificar todos para que el etanol pudiera ser utilizado de la mejor manera posible.

Durante la investigación, se descubrió que el rendimiento total mejoró mucho, no solo en términos de potencia y eficiencia, sino también en términos de estabilidad térmica y eficiencia volumétrica, especialmente cuando había demasiada comida.

Para asegurarse de que el E-85 funcione bien con tu coche, necesitas cambiar la presión de la inyección, elegir materiales que no se corroan al entrar en contacto con el alcohol, reprogramar la unidad de control electrónico (ECU) y usar sensores especiales que midan la cantidad de etanol.

Usar E-85 en lugar de combustibles fósiles es beneficioso para el medio ambiente porque produce menos dióxido de carbono sin cambiar el rendimiento del motor.

Las instituciones de educación superior, las empresas y la industria del rendimiento automotriz pueden beneficiarse de la información que se ha aprendido, especialmente en regiones donde los materiales biocombustibles son fáciles de conseguir.

Recomendaciones

Se espera que este estudio conduzca al desarrollo de ideas tecnológicas que permitan a los talleres y laboratorios de automóviles realizar conversiones de manera segura y adecuada.

Estas regulaciones deberían incluir temas importantes como la elección de los inyectores correctos, los sensores Flex Fuel, la presión de la línea y la calibración de la ECU.

El etanol es polar e higroscópico, por lo tanto, es muy vital emplear partes del sistema de combustible que funcionen con E-85. Necesitamos averiguar más sobre cuánto tiempo pueden durar las juntas, mangueras y bombas que tocan este biocombustible.

El uso de unidades de control electrónico programables (ECUs) como el AEM Infinity ha demostrado funcionar. Debería haber más investigación sobre los algoritmos de control adaptativo (aprendizaje en bucle cerrado) que hacen que los motores funcionen mejor cuando cambia la mezcla de combustible.

Los hallazgos en el dinamómetro son buenos, pero necesitas probar la estabilidad térmica del coche, la economía de combustible y las emisiones en el mundo real durante un largo período para ver cómo funciona en diversas condiciones de tráfico, altitud y temperatura.

Para determinar cómo el E-85 afectaría a las flotas de transporte comercial o público, es mejor incluir un análisis de costo-beneficio, averiguar cuánto etanol está disponible en la zona y realizar un balance de carbono en esta investigación.

Para ayudar a que más personas cambien a tecnologías de combustible alternativo, se sugiere que este tipo de estudio se incluya en la formación técnica y profesional, y que esta formación se imparta tanto a estudiantes como a técnicos que ya están trabajando en el sector.

Bibliografía

- Boretti, A. (2020). Advantages and disadvantages of ethanol as automotive fuel. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121059. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121059>
- Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Kalam, M. A., & Masjuki, H. H. (2018). An overview of biofuel use in automotive engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 107–125. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.042>
- Lin, C.-Y., Huang, Y.-C., & Lin, Y.-L. (2017). Performance and emissions of a spark ignition engine using ethanol-gasoline blends under real driving simulation. *Applied Thermal Engineering*, 114, 867–873. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.157>
- Paz, A. S., Romero, R. J., & Martínez, D. (2020). Development and experimental validation of a reprogrammable ECU for flex-fuel spark-ignition engines. *Energy Conversion and Management*, 210, 112707. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112707>
- Plee, S. L., Mehta, D., & Abraham, J. (2019). A review of ethanol fuel injection strategies and engine control approaches. *SAE International Journal of Engines*, 12(5), 482–495. <https://doi.org/10.4271/2019-01-0112>
- Rakopoulos, C. D., Michos, C. N., & Giakoumis, E. G. (2019). Performance and emissions of SI engines fueled with ethanol–gasoline blends: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 775–785. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.050>
- Silva, R., Rosa, H., & Barbosa, F. (2018). Combustion characteristics and performance of spark ignition engines using E85. *Fuel*, 217, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.065>
- Turner, J. W. G., Pearson, R. J., & Iosefa, B. (2020). Extending the performance of SI engines

- with ethanol blends: A literature review. *Fuel*, 263, 116656.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116656>
- Vojtíšek, M., Kubát, P., & Bém, P. (2021). Cold start and fuel enrichment effects on emissions and consumption with ethanol fuels. *Fuel*, 285, 119162.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119162>
- Yüksel, F., & Yüksel, B. (2004). The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, 29(7), 1181–1191. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.11.012>
- Zhu, J., Li, J., & Zhao, Y. (2022). Adaptive fuel control strategy for SI engines with real-time ethanol content estimation. *Energy*, 238, 121676.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121676>

