

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



PROYECTO DE GRADO

NIVEL LICENCIATURA

**ESTUDIO MECÁNICO AMBIENTAL DEL MOTOR TOYOTA 5A
UTILIZANDO DIFERENTES MEZCLAS DE COMBUSTIBLES (ETANOL
– GASOLINA) EN CONDICIONES DE ALTURA.**

Presentado por: JHOVANA EDITH QUISPE HUANCA

Tutor: MSc. ING. RICARDO PAZ ZEBALLOS

LA PAZ – BOLIVIA

2020

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico enteramente a mi padre amado “DIOS” por el sustento que me ha brindado en mi vida como universitaria caminando cada día a mi lado y enseñándome sus caminos, por la oportunidad de culminar una carrera profesional, por el aliento apoyo cuidado amor, paciencia y regalarme el apoyo de la familia que me has dado mi bello papá Max Víctor y mi linda y amada mamá Amalia, y mis queridos hermanos Ronald, Jorge Luis, Rocio y mis sobrinos Damaris y Sergio.

A mi Pastor Roberto Quelca que está en la presencia de “DIOS” por instruirme en la palabra y enseñarme hacer tesoros en el cielo y a mi amigo y hermano Vlu Perez por su apoyo.

Por mucho más te agradezco Padre Celestial con todo mi corazón te la dedico.

Agradecimiento

Mis sinceros agradecimientos.

A Dios sobre todo, a mi familia, a la Facultad de tecnología, a mi tutor *MSc. Ing. Ricardo Paz Zeballos* por brindarme su apoyo y guía profesional e impulsarme a culminar el proyecto de una manera responsable, al *MSc. Ing. Luis Magne Carrasco* jefe de la unidad de refinación YPFB, al *Lic. Mario Mamani Condori* Director de Carrera por el acceso al uso de motor, a la *Lic. Patricia Duchén* de la carrera de Química Industrial por brindarme un espacio en el laboratorio de su materia para la mezcla de los combustibles, a todos mis docentes por sus enseñanzas, a mis amigas y amigos.

Agradecer también a don *Víctor* y don *Luis* por facilitarme el uso de los equipos y herramientas de almacenes.

MUCHAS GRACIAS QUE DIOS BENDIGA SUS VIDAS

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2.2. CAUSAS DEL PROBLEMA.	3
1.2.3. EFECTOS DEL PROBLEMA.....	3
1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.	5
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA,	5
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.	5
1.4.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	5
CAPÍTULO 2	6
FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. NORMAS Y REGLAMENTOS.....	6
2.2. LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y LA ALTURA.	6
2.3. EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS M.C.I..	7
2.4. EL SECTOR HIDROCARBURÍFERO.....	8
2.5. LA GASOLINA.....	9
2.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINA EN BOLIVIA.....	10
2.6. EL ETANOL.....	12
2.6.1. DEFINICIÓN	12
2.6.2. FÓRMULA QUÍMICA DEL ETANOL ANHIDRO.	14
2.6.3. PROPIEDADES DEL ETANOL	15
2.6.3.1. Volatilidad.....	15
2.6.3.2. Octanaje	15
2.6.3.3. Poder calorífico.	16
2.6.3.4. Calor de vaporización.....	17
2.6.3.5. Velocidad de la llama.	17

2.6.3.6.	Temperatura de la llama.....	18
2.6.3.7.	Contenido de energía.....	18
2.7.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SÚPER ETANOL 92.....	18
2.7.1.	ETANOL ADITIVO.....	19
2.7.2.	GASOLINA BASE.....	19
2.8.	BANCO DINAMÓMETRO ACCUDYNO NHS 305.....	21
2.8.1.	FRENO ACCUDYNO NHS 305.....	21
2.8.2.	MENÚ ADQUISICIÓN.....	21
2.8.3.	FICHA DE DATOS.....	23
2.8.4.	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS.....	23
2.8.4.1.	Temperatura.....	23
2.8.4.2.	Humedad.....	24
2.8.4.3.	Presión atmosférica.....	24
2.8.4.4.	Altitud.....	24
2.8.4.5.	Factor de corrección.....	24
2.8.5.	RANGO DEL ENSAYO.....	25
2.8.6.	GRÁFICOS.....	25
2.9.	POTENCIA Y TORQUE.....	26
2.9.1.	ÍNDICES DEL CICLO DE TRABAJO.....	26
2.9.2.	POTENCIA.....	27
2.9.3.1.	Potencia indicada.....	27
2.9.3.2.	Potencia efectiva.....	28
2.9.3.3.	Potencia neta o efectiva.....	29
2.9.3.	PAR MOTOR.....	29
2.10.	ANALIZADOR DE GASES CONTAMINANTES MAHA - MET 6.3.....	30
2.11.	GASES EMITIDOS POR EL MOTOR.....	32
2.11.1.	ÓXIDOS DE NITRÓGENO.....	32
2.11.2.	HIDROCARBUROS NO QUEMADOS.....	33
2.11.3.	MONÓXIDO DE CARBONO.....	34
2.11.4.	DIÓXIDO DE CARBONO.....	35
2.11.5.	OXÍGENO.....	36
CAPÍTULO 3.....		38
INGENIERÍA DE PROYECTO.....		38
3.1.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR.....	38
3.2.	MANTENIMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.....	38

3.2.1.	VERIFICACIÓN DE LA HOLGURA DE LAS VÁLVULAS.....	39
3.2.2.	SINCRONIZACIÓN DEL MOTOR.....	40
3.2.3.	PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.....	42
3.2.4.	PRESIÓN DE COMPRESIÓN.	43
3.3.	OBTENCIÓN DE MEZCLAS (ETANOL – GASOLINA)	44
3.3.1.	CÁLCULO DE PORCENTAJE NECESARIO SEGÚN FÓRMULA.	44
3.3.1.1.	Para obtener (E12).....	44
3.3.1.2.	Para obtener (E15).....	45
3.3.1.3.	Para obtener (E20).....	45
3.3.2.	MEZCLA DE (ETANOL – GASOLINA) EN BASE A PORCENTAJES CALCULADOS.....	46
3.3.3.	OCTANAJE DE LOS COMBUSTIBLES Y MEZCLAS.....	49
3.4.	MONTAJE Y ACOPLAMIENTO DEL MOTOR AL BANCO DE PRUEBA ACCUDYNO.....	53
3.5.	PRUEBAS DE LOS COMBUSTIBLES GASOLINA ESPECIAL E8, SÚPER ETANOL 92 Y LAS MEZCLAS E12, E15 Y E20.....	54
3.5.1.	PRUEBA DE GASES CONTAMINANTES.....	54
3.5.2.	RESULTADO DE PRUEBA DE GASES	55
3.5.3.	PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO ACCUDYNO... ..	60
3.5.3.1.	Requerimientos necesarios indispensables.	60
3.5.3.2.	Procedimiento de ensayo con el dinamómetro.....	62
3.5.3.3.	Resultado de las pruebas potencia y torque (Gasolina Especial).64	
3.5.3.4.	Resultado de las pruebas potencia y torque (Súper Etanol 92).	65
3.5.3.5.	Resultado de las pruebas potencia y torque (E12).....	66
3.5.3.6.	Resultado de las pruebas potencia y torque (E15).....	67
3.5.3.7.	Resultado de las pruebas potencia y torque (E20).....	68
CAPÍTULO 4.....		70
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....		70
4.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.		70
4.1.1.	VARIACIÓN DE POTENCIA.	70
4.1.2.	VARIACIÓN DE TORQUE.....	71
4.1.3.	VARIACIÓN DE GASES CONTAMINANTES.....	73
4.1.4.	VARIACIÓN DE POTENCIA Y TORQUE CON ANTECEDENTE DE OTRO MEDIO Y CONDICIÓN OPERATIVA DIFERENTE.	76
4.2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA.		79
CAPÍTULO 5.....		81
5.1. CONCLUSIONES.....		81

5.2. RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	85

Índice de tablas

Tabla 1	Tabla de especificaciones GASOLINA ESPECIAL.....	10
Tabla 2	Tabla de especificaciones GASOLINA PREMIUN	11
Tabla 3	Poder calorífico	17
Tabla 4	Características técnicas de calidad del etanol anhidro para su utilización como aditivo de origen vegetal.....	19
Tabla 5	Tabla de especificaciones de la GASOLINA BASE.....	20
Tabla 6	Tabla de configuración de normas de corrección del dinamómetro.	25
Tabla 7	Características técnicas del motor.....	38
Tabla 8	Holgura de las válvulas	40
Tabla 9	Presión de compresión.....	44
Tabla 10	Parámetros iniciales.	44
Tabla 11	Cantidades exactas de combustibles para el estudio.....	46
Tabla 12	Tabla de octanaje de los combustibles y mezclas.....	52
Tabla 13	Promedio de las pruebas de gases GASOLINA ESPECIAL (E8).....	56
Tabla 14	Promedio de las pruebas de gases SÚPER ETANOL 92.....	56
Tabla 15	Promedio de las pruebas de gases (E12).	56
Tabla 16	Promedio de las pruebas de gases (E15).	57
Tabla 17	Promedio de las pruebas de gases (E20).	57
Tabla 18	Datos iniciales.	62
Tabla 19	Variación de potencia respecto al de la gasolina especial [CV]	71
Tabla 20	Variación del torque respecto al de la gasolina [kg _r -m]	72
Tabla 21	Según norma boliviana NB 62002.....	73

Tabla 22	Según norma boliviana NB 62002	73
Tabla 23	Variación de gases contaminantes en comparación a la gasolina.	76
Tabla 24	Tablas de variación potencia y torque E0 (Cuenca).....	76
Tabla 25	Tablas de variación potencia y torque E15 (Cuenca).....	77
Tabla 26	Tablas de variación potencia y torque E20 (Cuenca).....	77
Tabla 27	Variación de potencia respecto al de la gasolina E0 (La Paz).....	78
Tabla 28	Variación de torque respecto al de la gasolina E0 (La Paz).....	79

Índice de figuras

Figura 1	Proceso de la obtención del Bioetanol	13
Figura 2	Menú de adquisición	22
Figura 3	Ficha de datos del ensayo	23
Figura 4	Pantalla de gráficos.....	26
Figura 5	Analizador de gases MAHA - MET 6.3.....	31
Figura 6	Relación entre NO_x y lambda.....	33
Figura 7	Relación entre HC y lambda.	34
Figura 8	Relación entre CO y lambda.	35
Figura 9	Relación entre CO_2 y lambda.....	36
Figura 10	Relación oxígeno residual y lambda.....	36
Figura 11	Relación lambda y gases en el tubo de escape.	37
Figura 12	Toyota Corrolla 5A inyección	38
Figura 13	Holgura de las válvulas	40
Figura 14	Sincronizado de motor Toyota 5A	41
Figura 15	Sincronizado de motor Toyota 5A	41
Figura 16	Sincronización de motor Toyota 5A.....	42
Figura 17	Puesta a punto del motor	43
Figura 18	Presión de compresión.....	43
Figura 19	Material de laboratorio.....	47
Figura 20	Cantidad gradual necesaria de gasolina especial base.	47
Figura 21	Cantidad necesaria de gasolina especial base.	48
Figura 22	Cantidad gradual necesaria de etanol.....	48

Figura 23	Cantidad gradual necesaria de etanol.....	49
Figura 24	Mezcla de combustibles.....	49
Figura 25	Octanaje de combustible GASOLINA ESPECIAL (E8).	50
Figura 26	Octanaje del combustible (SUPER ETANOL 92).	50
Figura 27	Octanaje de las mezclas (E12).....	51
Figura 28	Octanaje de las mezclas (E15).....	51
Figura 29	Octanaje de las mezclas (E20)......	52
Figura 30	Montaje del acoplamiento fabricado para el motor.	53
Figura 31	Acoplamiento del motor al banco de prueba accudyno.....	54
Figura 32	Analizador de emisiones MAHA.	54
Figura 33	Monitor de valores de gases medidos.....	55
Figura 34	Motor y banco dinamométrico acoplado.....	60
Figura 35	Bomba de presión	60
Figura 36	Bomba de retorno.....	61
Figura 37	Válvulas de control de torque.	61
Figura 38	Conexión del equipo de medición.	61
Figura 39	Ficha de datos inicial.....	62
Figura 40	Conexión dinamómetro y motor.	63
Figura 41	Composición y precio del súper etanol 92.....	80

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La producción de combustible de origen vegetal ya es una realidad en Bolivia, El etanol (alcohol anhidro) se utiliza como complemento de la gasolina denominada Súper Etanol 92 combustible para vehículos, El gobierno nacional y el sector agroindustrial implementaron dicho combustible para mejorar la calidad de la gasolina y diversificar la matriz energética y generar mayores empleos llegando a toda Bolivia con un volumen estimado 55 millones de litros mensuales a un precio de Bs 4,50 el litro¹.

Por otra parte el tema del impacto ambiental en estos tiempos ha dado mucho de qué hablar a nivel mundial, En Bolivia el director del proyecto Aire Limpio, responsable de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (MoniCa), indicó que los gases vehiculares provocan es el 80% de la contaminación ambiental en las ciudades, médicos del departamento de Neumología del Instituto Nacional del Tórax (INT), atribuye el 60% de los casos de cáncer pulmonar a la contaminación ambiental que producen los vehículos², el uso de combustible de origen vegetal es una alternativa para contrarrestar los mencionados porcentaje.

Sin embargo el sector agroindustrial determina que los combustibles a ser comercializados con contenido de etanol anhidro tendrán una proporción volumétrica de hasta doce por ciento (12%) de dicho aditivo de origen vegetal³, distribuido en cada departamento, en este sentido el presente trabajo tiene como objetivo realizar el estudio con diferentes mezclas de combustibles etanol - gasolina, conocer su influencia en el funcionamiento del motor desde el punto de vista mecánico (potencia y momento torsor) y ambiental (reducción de gases contaminantes) a niveles de funcionamiento en altitudes como el departamento de La Paz. Tras ejecutar dicho estudio tendremos la capacidad de recomendar en base a los resultados óptimos, el

¹ Roca, M. (2018, noviembre). Súper Etanol 92 entra al mercado boliviano y costará Bs 4,50. El Deber. Recuperado de <https://www.eldeber.com.bo/>

² Vásquez, J.A. (2018, marzo). El Instituto del Tórax informó que el 60% de los 234 pacientes con cáncer de pulmón adquirieron el mal por la inhalación de los gases vehiculares. Página Siete. Recuperado de <https://www.paginasiete.bo/>

³ Ley N° 1098. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia, Art.2., 15 de Septiembre de 2018.

rendimiento máximo en potencia, momento torsor y reducción de contaminantes, obtener conclusiones para condiciones de altura (ciudad de La Paz) según al comportamiento.

1.1. ANTECEDENTES

- Según las pruebas realizadas por Rolando Abrao Aliaga en su proyecto denominado (EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE E ÍNDICE DE EMISIONES DE UN VEHÍCULO LIVIANO FUNCIONANDO CON DOS MEZCLAS DE GASOLINA Y ETANOL (E7,8 Y E10) EN LIMA METROPOLITANA) la mezcla de etanol generó mayor eficiencia de combustión, por lo cual se presenta una ligera tendencia de incremento de CO₂ y una reducción de las emisiones de HC y CO. Además, los resultados de las emisiones con todas las mezclas realizadas en el estudio se ubicaron dentro de los rangos y límites establecidos por la legislación colombiana. Finalmente, en relación con el comportamiento de autopartes y materiales del vehículo, los resultados muestran que al aumentar la mezcla con etanol hasta E15, no hay cambios diferentes al deterioro normal de las autopartes sometidas al uso de gasolina pura (E0).
- Brasil tiene una vasta experiencia en el uso de bioetanol y es considerado un ejemplo de cómo esta experiencia puede ser exitosa. Se trata de un país de extensión continental, que viene usando el etanol como aditivo desde 1931. Su mezcla en la gasolina fue inicialmente obligatoria, usándose un grado del 5%. Hoy este valor es del 20 al 25% y puede fluctuar de acuerdo con la disponibilidad del etanol en el mercado interno.
- En Bolivia la industria Guabirá en la gestión 2018 inició oficialmente la producción de etanol para entregarlo a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB). Con esto, se inicia el proceso para la fabricación del “combustible verde” en el que se mezclará el etanol como aditivo a la gasolina. El Ministerio de Hidrocarburos, refirió la necesidad de duplicar el cultivo de caña de azúcar a fin de impulsar la producción de etanol para su uso como combustible. Agregó que se incrementarán aproximadamente 18 mil hectáreas de caña de azúcar por año hasta alcanzar una

superficie cultivada de 155 mil hectáreas adicionales al 2025 y la producción de etanol subirá de 80 millones a 380 millones de litros⁴.

- A la memoria técnica elaborado por Viviana López Serrano de la Carrera de Química Industrial de la Facultad de Tecnología cuyo título de tema es "MEJORAMIENTO DEL OCTANAJE EN LA GASOLINA PRODUCIDA POR YPFB CORPORACION, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ALCOHOL ANHIDRO" Se pudo demostrar que mediante la aplicación de alcohol anhidro a la gasolina LSR, producida por YPFB Corporación, fue mejorada, subiendo el número de octanos a más de dos puntos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1. Identificación del problema.

Comportamiento mecánico ambiental con el uso de diferentes mezclas de combustibles (Etanol - Gasolina) en condiciones La Paz: El mejoramiento de la potencia, par torsor y porcentaje de disminución de la contaminación que salen por el tubo de escape del vehículo afectando al medio ambiente y la salud actual y futura del ser humano.

1.2.2. Causas del problema.

- El uso de combustibles fósiles en su totalidad.
- Desconocimiento de la población de diferentes alternativas que podrían mejorar el rendimiento, potencia y reducir contaminantes.

1.2.3. Efectos del problema.

- Efecto de la utilización de mezcla combustible (Etanol - Gasolina) actuando en el motor, variando la potencia del motor y momento torsor, acentuado en condiciones de altura.
- Afectando a la salud y el medio ambiente.

⁴ YPFB, C. (2018, marzo) .Bolivia ingresa a la era del biocombustible y YPFB dejará de importar 80 millones de litros de gasolina. *YPFB*. Recuperado de <https://www.ypfb.gob.bo>

1.2.4. Formulación del problema de investigación.

Los aspectos descritos en efectos del problema deben ser atendidos para el cual formulamos el siguiente problema de investigación:

Optimizar el efecto de la mezcla de combustible (Etanol - Gasolina) en base a los resultados obtenidos del comportamiento mecánico que el motor rinda de igual manera el rango de contaminación mínima generada, en nuestras condiciones de altura La Paz para no especular respecto a los resultados del comportamiento del motor sometido a las distintas pruebas mencionadas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un estudio mecánico ambiental del motor Toyota 5A utilizando diferentes mezclas de combustibles (Etanol – Gasolina), Aplicando fundamento de conocimientos científicos y técnicas de información documentada, para la no especulación respecto a los resultados óptimos del comportamiento del motor sometido a las distintas pruebas de potencia, momento torsor y contaminantes en la ciudad de La Paz.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Obtener toda la información requerida al tema de proyecto por diferentes medidas y fuentes.
- b) Obtener etanol comercializado en nuestro medio para desarrollar las pruebas comparativas de rendimiento.
- c) Determinar el octanaje de cada proporción de mezcla (Etanol – Gasolina) adecuada para ser utilizada en las pruebas.
- d) Medir y optimizar la potencia, momento Torsor y contaminación producida por el motor.
- e) Realizar comparaciones de comportamiento mecánico - ambiental según los resultados obtenidos con antecedente de otro medio donde las condiciones operativas son diferentes al nuestro.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Justificación técnica,

En la actualidad ya existen datos en diversos países, pero a niveles de altura como es el caso de nuestra población no se evidencian datos técnicos de estudios del tema. Y de igual manera observaremos cómo afecta en la potencia, par torsor y la emisión con el uso de mezcla (Etanol - Gasolina) con resultados obtenidos.

1.4.2. Justificación económica.

Saber si el cambio de la matriz energética utilizando una mezcla va a ayudar a reducir las emisiones contaminantes y contribuir en la potencia una vez analizando tal situación sabiendo que la gasolina especial con 8% de alcohol anhidro a un precio de 3,74 bolivianos el litro⁵ y gasolina Súper Etanol 92 con 12 % de alcohol anhidro a un precio de 4,50 bolivianos el litro⁶. Expresaremos si el costo justifica el uso de este combustible, en caso de que no exista cambios significantes se tendrá que buscar otras alternativa

En el aspecto económico, la producción de etanol en Bolivia va incrementando por lo que el costo del etanol es más accesible tomando en cuenta que el precio del etanol E100 actualmente es más elevado que la gasolina por litro. Para lo cual en el decreto supremo N° 3672 Artículo 2 (Porcentaje de Mezcla) párrafo I. se determina que los combustibles a ser comercializados con contenido de etanol anhidro tendrán una proporción volumétrica de hasta 12% de dicho aditivo de origen vegetal.

1.4.3. Justificación ambiental.

El etanol es uno de los recursos orgánicos renovables, con el presente estudio observaremos el porcentaje de disminución en la contaminación ambiental utilizando diferentes mezclas de combustible (Etanol – Gasolina) medidas con el analizador de gases a través del cual justificaremos la reducción de impacto ambiental.

⁵ La gasolina especial tendrá 8% de alcohol anhidro. (03 de mayo de 2019). Página Siete Recuperado de <https://www.paginasiete.bo/>

⁶ Roca, M. (2018, noviembre). Súper Etanol 92 entra al mercado boliviano y costará Bs 4,50. El Deber. Recuperado de <https://www.eldeber.com.bo/>

Capítulo 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. NORMAS Y REGLAMENTOS.

Que el Artículo 348 del Decreto Supremo N° 2366, 20 de mayo de 2015, del texto Constitucional, establece que los recursos naturales, como los hidrocarburos, son de carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país.

Que el artículo 9 de la Ley N° 3058, de 17 de mayo de 2005. De hidrocarburos, dispone que el Estado establecerá la Política Hidrocarburífera del país en todos sus ámbitos: asimismo, señala que el aprovechamiento de los hidrocarburos deberá promover el desarrollo integral, sustentable y equitativo del país, garantizando el abastecimiento de hidrocarburos al mercado interno.

Incentivando la expansión del consumo en todos los sectores de la sociedad. Desarrollando su industrialización en el territorio nacional y promoviendo la exportación de excedentes en condiciones que favorezcan los intereses del Estado.

Que el inciso b) del Artículo 2 de la ley N° 1098, de 15 de septiembre de 2018, define al etanol anhidro como el aditivo de origen vegetal resultante de la deshidratación del alcohol etílico. A través de tecnologías que no dejen residuos químicos.

Que el Parágrafo II del Artículo 5 de la Ley N° 1098, señala que la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH en coordinación con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos – YPFB. Establecerán la demanda de aditivos de origen Vegetal debiendo el ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural en el marco de sus atribuciones incluir dicha demanda en los balances de productos y subproductos industriales para la determinación del saldo exportable de los mismos.

2.2. LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y LA ALTURA.

En meteorología, la presión atmosférica es algo muy importante a tener en cuenta en la predicción y el estudio del comportamiento del clima. Las nubes, los ciclones, borrascas, vientos, etc. Vienen condicionados en gran parte por los cambios en la

presión atmosférica. Sin embargo, la presión atmosférica no es algo tangible, algo que se pueda ver a simple vista, el aire pesa. El aire ofrece una resistencia cuando caminamos, corremos o vamos en un vehículo, porque, al igual que el agua, es un medio por el que transitamos. La densidad del agua es mucho mayor que la del aire, es por eso que en el agua es más dificultoso desplazarse.

De alguna forma, el aire ejerce una fuerza sobre nosotros y sobre todas las cosas. Por lo tanto, decimos que la presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire atmosférico sobre la superficie terrestre. Cuanto mayor sea la altura de la superficie terrestre respecto al nivel del mar, menor es la presión del aire por lo que la densidad del aire disminuye.⁷

2.3. EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS M.C.I.

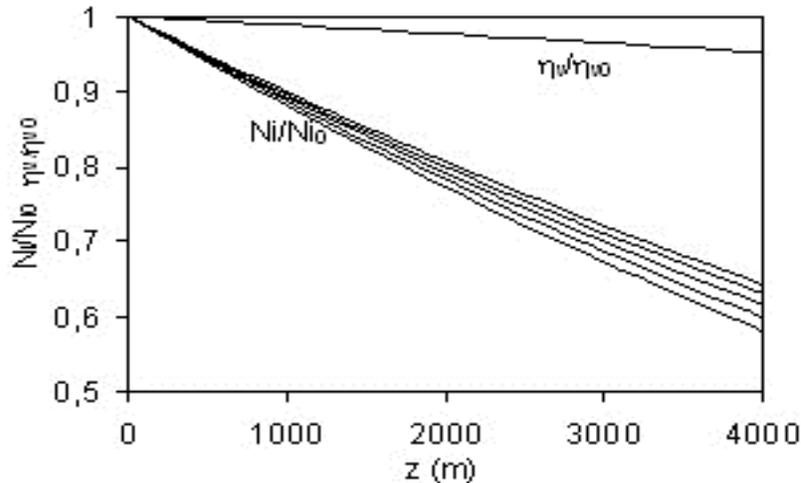
En los motores de combustión interna la disminución de la presión y la temperatura atmosférica afecta a la densidad del aire y su composición, y en consecuencia, a las prestaciones de toda máquina térmica. Este problema es más acentuado en máquinas térmicas de desplazamiento volumétrico como los motores de combustión interna alternativos, y dentro de ellos, aún más en los de aspiración natural.

El rendimiento indicado disminuye con la altitud debido principalmente a que la presión en el cilindro es menor a lo largo de todo el ciclo del motor, si bien otros efectos relacionados con la incorporación del combustible también influyen. Todo ello provoca una pérdida de potencia indicada. Aunque la potencia de pérdidas mecánicas se reduce ligeramente con la altitud debido a que la potencia de pérdidas de bombeo y la de rozamiento se reducen por la disminución de la contrapresión de escape y de presión en el cilindro respectivamente, esta disminución es mucho menos significativa que la de la potencia indicada. Por ello, algunos autores suponen el cambio en la potencia de pérdidas mecánicas como un porcentaje constante de la variación de la potencia indicada a medida que cambia la altitud (Xiaoping et al., 1996), mientras que otros directamente la desprecian (SAE J1349, 1995; Heywood, 1988), suponiendo idéntica disminución para la potencia indicada y para la efectiva. Esta última suposición

⁷ Presión atmosférica, *sistema meteorológico en red*, Recuperado de <https://www.meteorologiaenred.com/>

implica que el peso de las pérdidas mecánicas crezca frente a una potencia indicada que disminuye y que por lo tanto la pérdida relativa de potencia efectiva sea incluso mayor que la indicada y creciente al disminuir el rendimiento mecánico del motor.⁸

Gráfico 1 Efecto de la altitud sobre el rendimiento volumétrico (η_v/η_{v0}) y la potencia efectiva máxima (N_i/N_{i0}) de un motor de aspiración natural.



Fuente: Información tecnológica, (2006). *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/>.

2.4. EL SECTOR HIDROCARBURÍFERO.

Es muy importante en la economía boliviana. Aportamos gas a las termoeléctricas, a la minería, próximamente al proyecto litio, seguramente al Mutún, a la industria y al agro con la producción de urea y hoy nos convertimos en socios con el agro porque vamos a comprar grandes volúmenes de alcohol anhidro.⁹

El Instituto Nacional de Estadística (INE) reconoció el gran efecto que tiene la exportación del gas y los hidrocarburos en el crecimiento del Producto Interno Bruto del país, mientras que analistas consultados por este medio deploraron la dependencia que la economía nacional tiene de esta materia prima.

⁸Información Tecnológica, (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/>.

⁹YPFB, Medio Ambiente. Bolivia ingresa a la era del biocombustible y YPFB dejará de importar 80 millones de litros de gasolina. Recuperado de <https://www.ypfb.gob.bo/>

Ante la pregunta realizada de por qué se había reportado un crecimiento de 4,61 por ciento en octubre de 2018 (para el pago del segundo aguinaldo) y en el balance anual (de enero a diciembre) sólo se reportaba 4,22 por ciento, el INE respondió por escrito: “En el segundo semestre de 2018, las condiciones externas de nuestros principales socios comerciales, en este caso Brasil y Argentina, se deterioraron, ocasionando que la demanda de gas natural se reduzca, afectando por consiguiente a la producción del sector y el PIB en general, aspecto que se observa claramente en la tasa de crecimiento negativa del sector de hidrocarburos”.

Según el informe del PIB presentado el miércoles pasado, el sector de hidrocarburos tuvo un decrecimiento de 7,82 por ciento, el rubro que más descendió, mientras que, del otro lado, la agropecuaria es el rubro que más creció, con 6,91 por ciento.

El director de la ANH señaló también que los ingenios tienen previsto completar una inversión de 1.600 millones de dólares hasta el año 2025, monto que permitirá ampliar la frontera agrícola; aumentar equipos y maquinaria para la siembra, cosecha y transporte de caña, además de implementar o adecuar las plantas de deshidratación del alcohol para la obtención del alcohol anhidro.¹⁰

2.5. LA GASOLINA.

La gasolina está compuesto por octanos (C_8H_{18}), principalmente, y una mezcla de hidrocarburos, parafínicos, isoparafínicos, oleofínicos, nafténicos y aromáticos, que principalmente contienen moléculas con cadenas de cinco a nueve carbonos, obtenidos en diversos procesos de refinación como destilación, crackeo térmico y catalítico, reformación catalítica, alquilación e isomerización.

Se tiene distintos tipos de gasolina comercial clasificadas en función de su número de octano, en Bolivia se dispone de la gasolina especial y la gasolina premium que no contienen plomo.

El índice de octano (octanaje) de una gasolina es una medida de su capacidad antidetonante. La gasolina que tiene un alto índice de octano, produce una combustión

¹⁰ 2018/11/13. 88% de cada litro de etanol sigue subvencionado por el Gobierno recuperado por. <https://www.lostiempos.com/actualidad/economia/20181113>.

más suave y efectiva. Existen tres métodos para medir esta propiedad: Número de octano en motor (MON), Número de octano investigado (RON) y el Número de octano en marcha.

El MON es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades, mientras que RON mide la tendencia de detonación a bajas velocidades. Sin embargo, el Número de octano en marcha, es la que muestra realmente cómo se comporta el combustible en el motor en cuanto a su característica de detonación.

- La gasolina especial tiene un número de octano 85 RON
- La gasolina Premium tiene un número de octano de 95 RON

2.5.1. Características de la gasolina en Bolivia.

Tabla 1 **Tabla de especificaciones GASOLINA ESPECIAL**

Tabla de especificaciones									
Nombre del producto: GASOLINA ESPECIAL									
Prueba	VERANO (*)		INVIERNO		UNIDA D	Método ASTM			
	Min.	Max.	Min.	Max.		Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3	Altern. 4
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Informar		Informar			D 1298	D 4052		
Relación V/L = 20 (760 mmHg)	56 (133)		51 (124)		°C (°F)	D 5188	D 2533		
Tensión de vapor Reid a 100 °F (37,8 °C)	7	9	7	9,5	psig	D 323	D 4953	D 5191	
Contenido de plomo (**)		0,013		0,013	g Pb/L	D 3237	D 5059		
Corrosión lámina de cobre (3h / 50 °C)		1		1		D 130			
Gomas existentes		5		5	mg/100 mL	D 381			
Azufre total		0,05		0,05	% peso	D 1266	D 2622	D 4294	
Octanaje RON	85		85			D 2699			
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700			
Índice antidetonante (RON + MON)/2	Informar		Informar						
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo					Visual			

Apariencia	Cristalina	Cristalina		Visual				
Poder calorífico	Informar	Informar	BTU/lb	D 240				
Destilación Engler (760 mmHg)				D 86				
10 % vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)			
50 % vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)			
90 % vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)			
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)			
Residuo		2		2	% vol.			
Contenido de Aromáticos Totales		42		42	% vol.	D 1319	D 5134	D 5769 D 6729
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D 1319	D 5134	D 6729
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D 4053	D 5134	D 3606 D 5769
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D 3831		
Contenido de Oxígeno		2,7		2,7	% peso	D 2504	D 4815	
(*) Verano se define del 1° de septiembre al 31 de marzo e invierno se define del 1° abril al 31 de agosto								
(**) El contenido de plomo es un valor intrínseco de la materia prima, sin haberse adicionado cantidad alguna del mismo con fines de mejorar su octanaje								

Fuente: D. S. N°1499. Gaceta Oficial de Bolivia, 20 de febrero de 2013.Pag,11.

Tabla 2 Tabla de especificaciones GASOLINA PREMIUN

Tabla de especificaciones									
Nombre del producto: GASOLINA PREMIUM									
Prueba	VERANO (*)		INVIERNO		UNIDA D	Método ASTM			
	Min.	Max.	Min.	Max.		Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3	Altern. 4
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Informar		Informar			D 1298	D 4052		
Relación V/L = 20 (760 mmHg)	56 (133)		51 (124)		°C (°F)	D 5188	D 2533	D 4814	
Tensión de vapor Reid a 100 °F (37,8 °C)	7	9	7	9,5	psig	D 323	D 4953	D 5191	
Contenido de plomo (**)		0,013		0,013	g Pb/L	D 3237	D 5059		
Corrosión lámina de cobre (3h / 50 °C)		1		1		D 130			
Gomas existentes		5		5	mg/100 mL	D 381			
Azufre total		0,05		0,05	% peso	D 1266	D 2622	D 4294	

Octanaje RON	95		95			D 2699			
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700			
Índice antidetonante (RON + MON)/2	Informar		Informar						
Color	Violeta		Violeta			Visual			
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual			
Poder calorífico	Informar		Informar		BTU/lb	D 240			
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86			
10 % vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)				
50 % vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)				
90 % vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)				
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)				
Residuo		2		2	% vol.				
Contenido de Aromáticos Totales		48		48	% vol.	D 1319	D 5134	D 5769	D 6729
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D 1319	D 5134	D 6729	
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D 4053	D 5134	D 3606	D 5769
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D 3831			
Contenido de Oxígeno		2,7		2,7	% peso	D 2504	D 4815		
(*) Verano se define del 1° de septiembre al 31 de marzo e invierno se define del 1° abril al 31 de agosto									
(**) El contenido de plomo especificado es un valor intrínseco de la materia prima, sin haberse adicionado cantidad alguna del mismo con fines de mejorar su octanaje									

Fuente: D.S. N° 1499. *Gaceta Oficial de Bolivia*, 20 de febrero de 2013. *Pag. 12.*

2.6. EL ETANOL

2.6.1. Definición

El etanol también conocido como alcohol etílico anhidro o alcohol carburante tiene como base el alcohol, el cual es un líquido incoloro con un olor característico, mismo que contienen los licores y productos químicos.

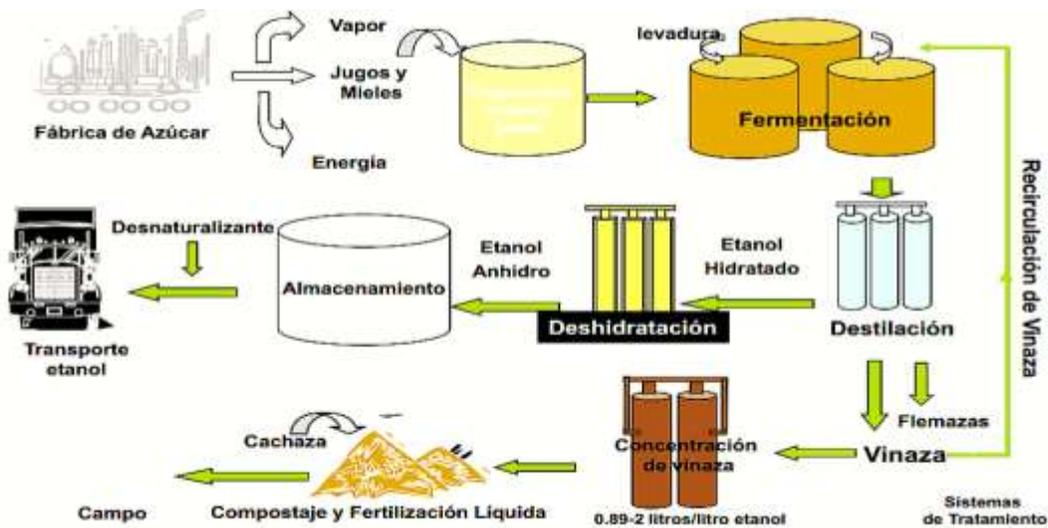
El alcohol es purificado y es obtenido mediante proceso de fermentación de azúcares, este tiene un grado alcoholímetro de 95 grados Gay-Lussac (°GL), lo cual le hace

inapropiado para mezclarlo con la gasolina. El alcohol anhidro (etanol) contiene un grado alcoholímetro de 99.5 G.L como mínimo, apto como combustible.¹¹

En relación a combustibles, es utilizado en muchos países en mezclas con gasolina, desde 5% a 85%, conocidos como E5 y E85 respectivamente. No obstante aquello, en Brasil es utilizado con una concentración del 100% en vehículos que están especialmente diseñados para eso o en vehículos cuyo diseño permite el uso de cualquier tipo de mezcla. El uso de estas mezclas se debe principalmente a que el poder calorífico del etanol es más bajo que el de la gasolina, por lo que necesita mayor cantidad de etanol para una misma utilización de combustible. Así mismo, posee mayor octanaje que la gasolina, por lo que tiene un mejor rendimiento como combustible.

El etanol se produce por la fermentación de granos, como por ejemplo: trigo, cebada, maíz, madera y caña de azúcar, o por residuos forestales y desechos sólidos como papel, alimento, basura de patio, plásticos, maderas, llantas, etc. El Etanol es un alcohol combustible con potencial de llegar a ser ampliamente usado como combustible de automóvil.

Figura 1 **Proceso de la obtención del Bioetanol**



Fuente: Guerrero, I. S. (2012). Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a etanol.

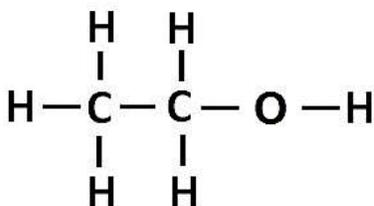
¹¹ Guerrero, I. S. (2012). *Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol.*

2.6.2. Fórmula química del etanol anhidro.

El etanol anhidro al constituirse en alcohol etílico se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua y ser compatible para mezclar con gasolinas, en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características que el corriente

El Etanol (alcohol etílico) es un hidrocarburo transparente e inflamable que se obtiene principalmente de la fermentación de materias primas ricas en azúcares. Otra forma de obtenerla es a partir de celulosa previamente hidrolizada.

Los alcoholes son aquellos compuestos cuyas moléculas se componen de carbono, hidrógeno y uno o más hidroxilos (OH); los alcoholes ligeros son líquidos miscibles con el agua, es decir, pueden mezclarse fácilmente. Existen otros alcoholes más densos o espesos como los aceites y las ceras. El etanol o alcohol etílico (CH₃-CH₂-OH) es el más común de los alcoholes y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro volátil, inflamable y soluble en agua.



Etanol (alcohol etílico)

Cadenas de carbono e hidrogeno con al menos un enlace hidroxilo OH

Para efectos prácticos se distinguen 2 tipos de Bioetanol: Etanol hidratado y anhidro. El etanol hidratado corresponde al alcohol con una concentración baja pero importante de agua. Por ejemplo, en la obtención de etanol a partir de la destilación se obtiene típicamente una concentración del 96% de etanol y 4% de agua. Por otra parte, el Etanol anhidro es obtenido a través de métodos alternativos con concentraciones superiores al 99,9%.

2.6.3. Propiedades del etanol¹²

2.6.3.1. Volatilidad

Entendemos por la capacidad de los combustibles para evaporarse bajo diferentes temperaturas y presiones. Característica esencial en el encendido del automóvil siendo esta una de las principales fuentes de emisiones de CO en los vehículos a gasolina. El Etanol es menos volátil que la gasolina, lo cual dificulta el encendido en frío, incluso a temperaturas moderadas, es decir el etanol necesita ayuda para inflamarse a bajas temperaturas.

2.6.3.2. Octanaje

El octanaje es la resistencia a la detonación de un carburante cuando se lo expone al calor y a presión en el motor, esta característica permite quemar los gases de forma uniforme y evitar la detonación prematura de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil. Actualmente, el octanaje de la gasolina especial es de 85 octanos y la súper es de 95 octanos.

Para determinar la calidad antidetonante de una gasolina, se efectúan corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen dos parámetros diferentes:

- El Research Octane Number (Número de Octano de Investigación) que se representa como RON o simplemente R y que se determina efectuando una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 125°F (51.7°C)
- El Motor Octane Number (Número de Octano del Motor) que se representa como MON o simplemente M y se obtiene mediante una corrida de prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto y con una temperatura de entrada de aire de 300°F (149°C). Para propósitos de comercialización y distribución de las gasolinas, los productores determinan el

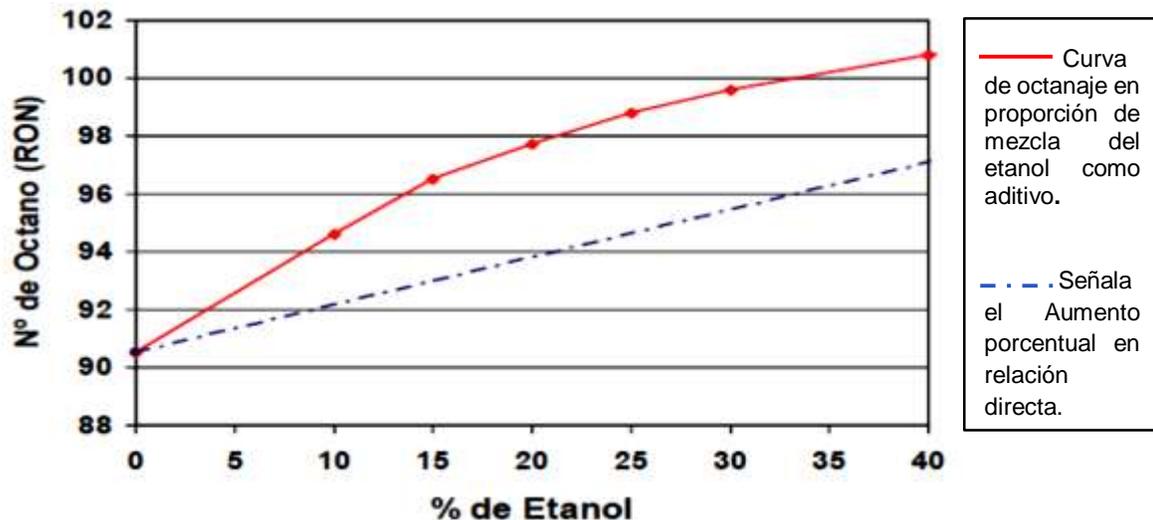
¹² Guerrero, I. S. (2012). *Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol.*

octanaje comercial, como el promedio de los números de octano de investigación (RON) y el octano del motor (MON), de la siguiente forma:

$$\text{Número de octano comercial} = \frac{\text{RON} + \text{MON}}{2} = \frac{\text{R} + \text{M}}{2}$$

El etanol tiene mayor número de octanaje que la gasolina, siendo este de 115 a 120 octanos. Experimentos muestran que el octanaje aumenta significativamente en relación directa con el aumento porcentual de alcohol a la gasolina base.

Gráfico 2 **Octanaje de mezcla % del etanol como aditivo.**



fuelle: Guerrero, I. S. (2012). Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a etanol.

2.6.3.3. Poder calorífico.

Poder Calorífico de una sustancia o combustible se define como la cantidad de calor que se genera, por kilogramo o metro cúbico de esa sustancia, al oxidarse de forma completa.

La mayoría de los combustibles son compuestos de carbono e hidrógeno, que al arder se combinan con el oxígeno formando dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), Las unidades más usuales para medir el poder calorífico, es decir, el calor generado en la reacción son:

Kcal/kg; kcal/m³; BTU/lb; BTU/pie³

El poder calorífico siempre se mide por unidad de masa o unidad de volumen de combustible que se ha oxidado (quemado).

El vapor de agua (H₂O) que se genera en una reacción de oxidación (o combustión) es debida, bien por la combustión del hidrógeno presente en la composición del combustible, o bien, procedente de la misma humedad adherida al propio combustible.¹³

Tabla 3 **Poder calorífico**

	Gasolina	Bioetanol	Unidades
Densidad	0,75	0,792	Kg/lit @15 °C
Poder Calorífico	43000	28000	KJ/Kg

fuentes: Universidad católica de Chile, matriz energética de biocombustibles.

2.6.3.4. Calor de vaporización.

Es la cantidad de calor que se debe agregar a un gramo de líquido para que pase al estado de vapor a temperatura constante. El calor de vaporización es 3 veces mayor que la gasolina, mientras mayor sea el calor de vaporización mejor es la habilidad de enfriamiento lo cual facilita una mezcla más densa y mejora el rendimiento volumétrico; así mayor cantidad de mezcla alcanza los cilindros y por consiguiente su potencia aumenta. A pesar de estos beneficios, el inconveniente del alto calor de vaporización son los arranques en frío.¹⁴

2.6.3.5. Velocidad de la llama.

La velocidad a la cual se propaga la llama a través de la mezcla estequiometría, puede afectar el correcto funcionamiento y la cantidad de emisiones. Es así que a altas velocidades de la llama permiten una combustión completa. Sin embargo, los motores de pistón no son capaces de crear las condiciones de homogeneidad entre aire y

¹³ Tablas de poder calorífico, Recopilado por: https://ingemecanica.com/poder_calorifico.html#tabla1

¹⁴ Guerrero, I. S. (2012). *Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol*.

gasolina para quemarla el ciento por ciento, lo que causa emisiones de monóxido de carbono.¹⁵

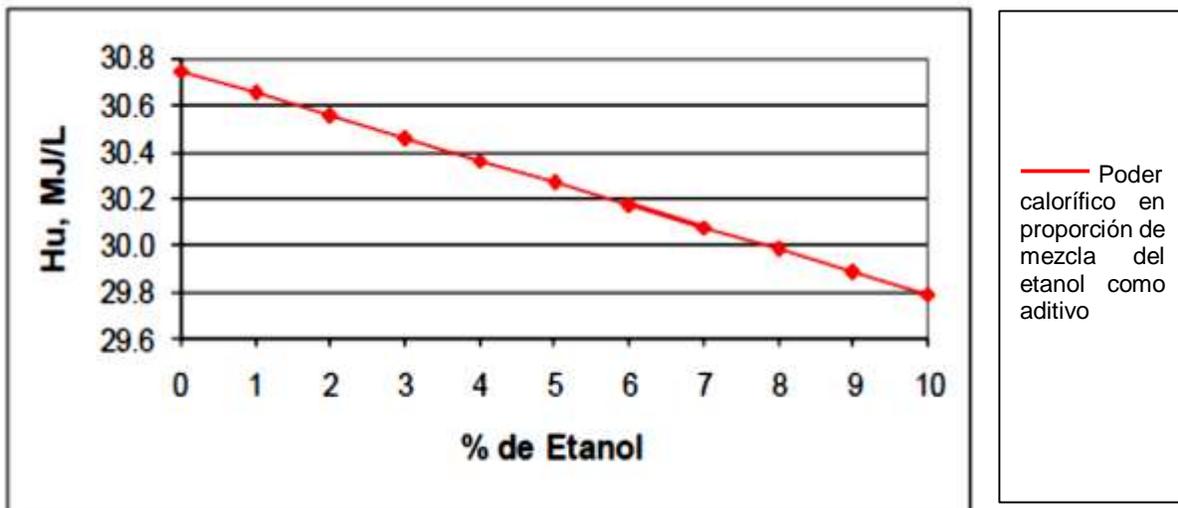
2.6.3.6. Temperatura de la llama.

Una baja temperatura contribuye a reducir los niveles de óxido de nitrógeno, y el etanol tiene la temperatura menor que la de la gasolina.¹⁶

2.6.3.7. Contenido de energía.

El contenido energético del etanol es menor que el de la gasolina a fin de lograr la misma eficiencia, el motor tiene que consumir mayor cantidad de etanol. Se requiere aproximadamente 1.5 galones de etanol para hacer funcionar un auto, comparados con lo que puede hacer un galón de gasolina. Esta diferencia es importante cuando se compara precio del etanol vs. Precio de gasolina.¹⁷

Gráfico 3 Poder Calorífico.



Fuente: Guerrero, I. S. (2012). Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a etanol.

2.7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SÚPER ETANOL 92.

Para lo cual el decreto supremo N° 3672 Artículo 2 (Porcentaje de mezcla) párrafo I. se determina que los combustibles a ser comercializados con contenido de etanol

¹⁵ Guerrero, I. S. (2012). *Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol*.

¹⁶ *Ibid.*, pág.14

¹⁷ *Ibid.*, pág.14

anhidro tendrán un proporción volumétrica de hasta 12% de dicho aditivo de origen vegetal (gasolina base + etanol aditivo).

2.7.1. Etanol aditivo.

Tabla 4 **Características técnicas de calidad del etanol anhidro para su utilización como aditivo de origen vegetal.**

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	LIMITE	METODO	
			NBR	ASTM
Aspecto	-	Claro y libre de impurezas	Visual	
Acidez total, máx.	mg/L	30	16047	D1613 D7795
Conductividad eléctrica, máx.	µs/m	300	10547	D1125
Densidad a 68°F(20 °C)	g/cm ³	0,7915 máx.	5992 15639	D4052
Graduación Alcohólica	% vol	99,5 min.	5992 15639	D891
Contenido de Etanol, min.	% vol	98	16041	D5501
Contenido de agua, máx.	% vol	0,5	15531 15888	E203, E1064
Contenido de Metanol, máx.	% vol	0,5	16041	D5501
Residuo de evaporación, máx.	mg/100ml	5	8644	-
Cloruros	mg/Kg	1	10894	D7328 D7319
Sulfato, máx.	mg/Kg	4	10894	D7328 D7319

Fuente: R.M. N° 120-18. (03 de octubre de 2018) .*Ministerio de Hidrocarburos. Pag, 2.*

Artículo Segundo. - La Agencia Nacional de Hidrocarburos y Yacimiento Petrolíferos Fiscales Bolivianos quedan encargados de la ejecución y cumplimiento de la presente resolución ministerial, en el marco de su cooperación.

2.7.2. Gasolina base.

Que el informe técnico ministerio de hidrocarburos Inf. 008/ 2018 del 2 de octubre 2018, elaborado por el Viceministerio de Industrialización, Comercialización, Transporte y Almacenaje de Hidrocarburos del Ministerio de Hidrocarburos; concluye que los datos presentados sustentan las especificaciones de calidad de la gasolina base para su uso

en la mezcla AOV y constituir una gasolina con etanol anhidro RON 92 estable que se formule en Bolivia de acuerdo a lo establecido en la Ley N° 1098. (ARTÍCULO PRIMERO).

Tabla 5 Tabla de especificaciones de la GASOLINA BASE

Tabla de especificaciones
Nombre del producto: **GASOLINA BASE**

Prueba	Especificaciones				Unidad	Método ASTM		
	VERANO(*)		INVIERNO			Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.				
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Informar		Informar			D 1298	D 4052	
Relación V/L = 20 (760 mmHg)	51(124)		51(124)		°C (°F)	D 5188	D 2533	D 4814
Tensión de vapor Reid a 100°F (37,8°C)	7,0	11,5	7,0	11,5	psig	D 323	D 5191	D 6378
Corrosión lámina de cobre (3h/50°C)		1		1		D 130		
Azufre total		0,05		0,05	% peso	D 1266	D4294	
Octanaje RON	85		85			D 2699		
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700		
Índice antidetonante (RON+MON)/2	Informar		Informar					
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo					Visual		
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual		
Poder calorífico	Informar		Informar		BTU/lb	D 2890		
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86		
10% vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)			
50% vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)			
90% vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)			
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)			
Residuo		2		2	% vol.			
Contenido de Aromáticos Totales		42		42	% vol.	D 1319	D 6730	
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D 1319	D 6730	
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D 3606	D 5769	D 6730
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D 3831		
Contenido de Oxígeno		2,7		2,7	% peso	D 4815	D 6730	

(*) Verano se define del 1° de septiembre al 31 de marzo e invierno se define del 1° de abril al 31 de agosto.

ASTM = Norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales

Fuente: R.M. N° 121-18. (03 de octubre de 2018) .Ministerio de Hidrocarburos. Pag, 2.

2.8. BANCO DINAMÓMETRO ACCUDYNO NHS 305

Existen diversos tipos de dinamómetros los cuales se diferencian principalmente por su principio de funcionamiento. Para este proyecto se utilizará un dinamómetro hidráulico, Accudyno es un sistema destinado a medir la potencia, el torque y otros parámetros de motores realizando ensayos por barrido (aceleración o desaceleración) o punto por punto. Mediante el uso de sensores, amplificadores y una placa de adquisición de datos captura en tiempo real las diversas variables del motor almacenándolas en un archivo. Estos datos pueden tabularse o graficarse para su posterior análisis. También puede imprimir un informe con los datos ingresados para su presentación o enviar el archivo por correo electrónico.

El sistema permitirá compensar las variaciones de temperatura, presión atmosférica y humedad y obtener la potencia normalizada utilizando el Factor de Corrección. El mismo se calcula automáticamente a partir de los datos ingresados manualmente o mediante una central atmosférica.

Usted encontrará una descripción detallada de estas y otras características del sistema a continuación

2.8.1. Freno Accudyno NHS 305.

El freno hidráulico Accudyno NHS 305 permite medir torque, potencia y otros parámetros del motor realizando ensayos dinámicos, también permite la medición de curvas características del motor a gasolina, diésel, estándar y de competición en una amplia gama de 1000 HP. La medición se realiza cargando el motor en sus distintos estados, regulación la apertura de la válvula VCH (control de la mariposa del acelerador), permitiendo realizar mediciones dinámicas.

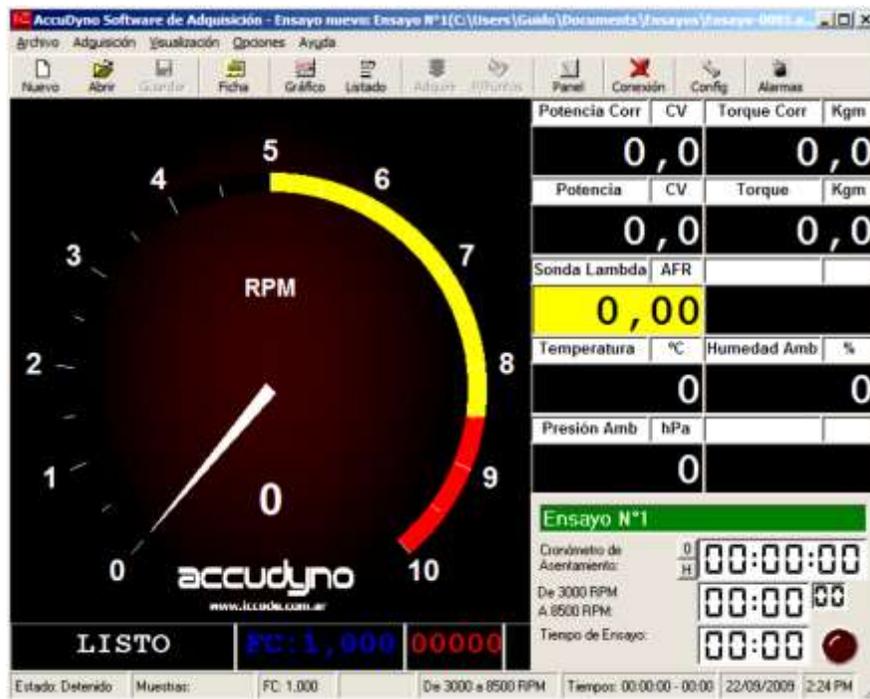
Su diseño y terminación hacen del freno NHS 305, sea una herramienta de medición confiable, robusta, de bajo mantenimiento, con la sensibilidad y operatividad requerida por usuarios más exigentes.

2.8.2. Menú adquisición

Iniciar (F1): tiene la misma función que el botón Adquirir.

Por Puntos (F2): tiene la misma función que el botón P/Puntos.

Figura 2 Menú de adquisición



Fuente: Manual dinamómetro Accudyno NHS 305.

a) Tacómetro

Tacómetro indicador de rpm. El fondo del tacómetro cambia de color al alcanzarse el límite de rpm establecido en fin de sección 2. Esto actúa a modo de Indicador de RPM Máxima.

b) Panel de Instrumentos

Aquí se pueden visualizar las variables adquiridas desde el motor como torque o temperatura. También se puede visualizar las variables calculadas indirectamente como potencia, torque y potencia corregidos por factor de corrección atmosférica.

Cada uno de estos instrumentos es configurable en:

- Escala o calibración
- Colores
- Límites y colores de alarma

- Precisión decimal

2.8.3. Ficha de datos

La ficha de datos contiene información relativa al archivo, motor y condiciones de ensayo. Esta deberá completarse cada vez que realice un ensayo. Cuanta más información ingrese, más detallada será la impresión del listado y mayores datos tendrán cuando desee consultar un archivo guardado. De todos modos, los únicos datos que debe cambiar obligatoriamente entre ensayos son nombre y/o número de ensayo.

La información que usted ingresa se conserva entre ensayos para que no tenga que volver a escribirla. Además puede recuperar la información de la Ficha de Datos de otros ensayos, a modo de "plantillas".

Figura 3 **Ficha de datos del ensayo**

The screenshot shows a software dialog box titled "Ficha de Datos". At the top, there are fields for "Ubicación:" (Argentina), "Fecha:" (22/09/2009), "Hora:" (15:27), and a checkbox for "Cronómetro". Below this, the dialog is divided into several sections. "Datos Generales" includes "Nombre:" (Nombre de Ensayo), "Número:" (1), "Archivo:" (C:\Users\Guido\Documents\Ensayo), "Ubicación..." button, "Cliente:", and "Observaciones:" (a yellow text area). "Condiciones Atmosféricas" includes "Temperatura:" (25,0 °C), "Humedad:" (0 %), "Presión At:" (990,00 HPa), "Altitud:" (0 m), and "Factor de Corrección" (FC: 1,000). "Datos del Motor" includes "Marca:", "Modelo:", and "Categoría:". "Rango del Ensayo" includes "RPM Inicial:" (3000 RPM) and "RPM Final:" (8500 RPM). At the bottom are buttons for "Guardar...", "Recuperar...", "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar".

Fuente: Manual dinamómetro Accudyno NHS 305.

2.8.4. Condiciones Atmosféricas.

2.8.4.1. Temperatura.

Temperatura de la sala de ensayo, la misma se introduce automáticamente.

2.8.4.2. Humedad.

Humedad de la sala de ensayo. Si usted posee una central atmosférica, la misma se introducirá automáticamente según las normas especificadas siempre se considera la temperatura del aire ambiente, la presión ambiente y la humedad relativa del aire para el cálculo a realizar.

2.8.4.3. Presión atmosférica.

Presión atmosférica en el lugar del ensayo. Si usted posee una central atmosférica, la misma se introducirá automáticamente registra mediante la caja de interfaces y sirve para la extrapolación de la potencia del motor según normas.

2.8.4.4. Altitud.

Altitud de la sala de ensayo sobre el nivel del mar. Este cuadro permite determinar la presión absoluta en caso de que usted haya ingresado la presión compensada. Si usted ingresa la presión absoluta, el valor de altitud no se utiliza, por lo cual se deshabilita este cuadro.

2.8.4.5. Factor de corrección.

Valor de factor de corrección atmosférico calculado utilizando la información climática lectura introducida automáticamente en La Paz.

- P = Presión atmosférica lectura tomada en el banco de pruebas (668 mmHg)
- Presión del aire ambiente La Paz (p = 670 mmHg)
- Temperatura ambiente La Paz T = 17°C = 290K

El mismo se calcula con varias normas diferentes que pueden seleccionar en la pantalla de configuración. En la ciudad de La Paz seleccionando la norma de corrección SAEJ1349 obteniendo como Factor de corrección (Ka =1.133)

Tabla 6 **Tabla de configuración de normas de corrección del dinamómetro.**

• DIN 70020	⇒	$K_a = \frac{1013}{p[\text{mbar}]} \cdot \left(\frac{T[\text{K}]}{293} \right)^{0,5}$
• EWG 80/1269	⇒	$K_a = \left(\frac{990}{p[\text{mbar}]} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T[\text{K}]}{298} \right)^{0,6}$
• ISO 1585	⇒	$K_a = \left(\frac{990}{p[\text{mbar}]} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T[\text{K}]}{298} \right)^{0,6}$
• SAE J1349	⇒	$K_a = \left(\frac{990}{p[\text{mbar}]} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T[\text{K}]}{298} \right)^{0,6}$
• JIS D1001	⇒	$K_a = \left(\frac{990}{p[\text{mbar}]} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T[\text{K}]}{298} \right)^{0,6}$

Fuente: Manual dinamómetro Accudyno NHS 305.

2.8.5. Rango del ensayo

a) RPM Inicial

Velocidad a la cual se comenzará el ensayo.

b) RPM Final

Velocidad a la cual se finalizará el ensayo. Puede ser mayor o menor a la RPM inicial según la forma en que se realice el ensayo, es decir, por aceleración o por desaceleración.

2.8.6. Gráficos

En datos adquiridos representados en una gráfica de ejes cartesianos. En el eje horizontal siempre estará la velocidad del motor en RPM y en los ejes verticales podrá elegir la variable a representar. Podrá representar una o varias Simultáneamente.

También podrá representar gráficamente los valores obtenidos en distintos ensayos para poder compararlos.

Al ingresar a la sección gráficos verá el gráfico adquirido actualmente que se dibujará con las opciones predeterminadas y se colocará en los ejes con una escala que permita su completa visualización. Ver fig.4

Figura 4 **Pantalla de gráficos**



Fuente: Manual dinamómetro Accudyno NHS 305.

2.9. POTENCIA Y TORQUE

El sistema de indicación del banco de pruebas realiza las mediciones de parámetros potencia y torque:

2.9.1. Índices del ciclo de trabajo ¹⁸

Índices indicados y efectivos del motor. Los principales caracterizan la perfección del ciclo a realizar en cuanto al aprovechamiento del motor y están vinculados con la calidad de organización de los procesos; los segundos consideran además el grado de perfección mecánica del motor.

¹⁸ M.S.Jóvaj, Motores De Automóvil .Editorial Moscú.

2.9.2. Potencia

Se define la potencia en general como el trabajo desarrollado en la unidad de tiempo, dando sus unidades en: 1CV = 0,736 kW; 1kW = 1,36 CV.¹⁹

Fórmula 1 Potencia.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F * S}{t} = F * V$$

P = Potencia [$\frac{Nm}{s}$; W]

W = trabajo [Nm]

F = Fuerza [N]

S = Distancia [m]

t = Tiempo [s]

2.9.3.1. Potencia indicada.

Es el trabajo indicado en (Nm) ejecutado por un cilindro en un ciclo, es.

Fórmula 2 Trabajo indicado.

$$L_i = P_i \times V_h$$

P_i = Presión media indicada (Pa)

V_h = Volumen de trabajo del cilindro $V_h = \frac{\pi D^2 S}{4}$ (cm³), (m³)

D = Diámetro del cilindro (m)

S = Carrera del pistón (m)

¹⁹ M.S.Jóvaj, Motores De Automóvil .Editorial Moscú.

El número de ciclos de trabajo realizados por el motor en 1s es igual a $2n/T$ donde (n es la frecuencia de rotación del cigüeñal en rps; $2n$, el número de carrera del pistón por segundo; τ , el número de carreras del pistón por ciclo) La potencia indicada (en W) de un cilindro

Fórmula 3 Potencia indicada.

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

$$N_i = \frac{P_i * i * V_h * n}{120}$$

N_i = Potencia indicada (kW)

P_i = Presión indicada (MPa)

i = número de cilindros del motor.

Para el motor a cuatro tiempos $\tau = 4$

2.9.3.2. Potencia efectiva.

Es la potencia que puede obtenerse en el cigüeñal del motor se denomina efectiva. La potencia efectiva N_e en la magnitud de la potencia que se gasta en las pérdidas mecánicas N_i , es decir:

Fórmula 4 Potencia efectiva

$$N_e = N_i - N_m$$

La potencia gastada en pérdidas mecánicas, así como la potencia efectiva, lo mismo que la indicada, se acostumbra referirlas a la unidad de volumen de trabajo del cilindro y expresarlas en unidades convencionales de presión p_m y p_e .

Expresado P_e en MPa, V_h en lts, n en rpm, obtendremos la fórmula de la potencia efectiva (en kW):

Fórmula 5 **Potencia efectiva**

$$N_e = \frac{2 * P_e * V_h * n * i}{10^3 * \tau}$$

N_e = Potencia efectiva (kW)

P_e = Presión efectiva (MPa)

i = Número de cilindros del motor

Para el motor a cuatro tiempos $\tau = 4$

2.9.3.3. Potencia neta o efectiva.

Es la potencia obtenida en un cigüeñal o volante de inercia y en un banco de pruebas o dinamómetro portátil, dotado el mismo con los elementos y accesorios normales de funcionamiento, necesarios para el fin previsto. El equipamiento requerido para la determinación de la potencia efectiva, según las normas equivalentes DIN 70020, SAE J 1349, y puede calcularse por la siguiente ecuación:

Fórmula 6 **Potencia neta o efectiva**

$$P_e = \frac{M_M * n}{9550}$$

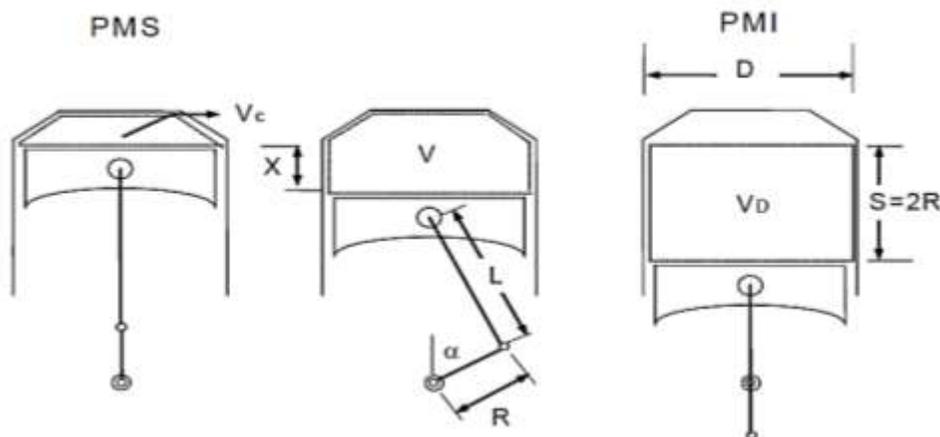
M_M = Par motor [Nm]

P_e = potencia neta o efectiva [kW]

n = número de revoluciones [1/min]

2.9.3. Par motor

El par motor o torque, es el producto de una fuerza aplicada a cierta distancia de un punto, cuyo resultado, es un giro de ese punto. En el motor la fuerza tangencial y la distancia, es longitud del radio de la manivela de cigüeñal.



Fórmula 7 **Par Motor**

$$M_M = F_T * R$$

MM = Par motor [Nm]

FT = Fuerza Tangencial [N]

R = Radio de la manivela de cigüeñal [m]

2.10. ANALIZADOR DE GASES CONTAMINANTES MAHA - MET 6.3.²⁰

El analizador de gases MET 6.3 concilia la tecnología de medición de gases de gasolina y diésel en una compacta carcasa. Tiene como aplicación comprobador de gases, múltiples posibilidades para el diagnóstico de gases de escape. En su equipamiento completo facilita la conexión de la sonda de gases al vehículo para la medición simultánea de HC, CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, NO_x, coeficiente de opacidad y concentración de masa de partículas. Gracias al desarrollo de prueba claro y sencillo asistido por PC mostrando en el monitor los valores de los gases emitidos en el tubo de escape, el MET 6.3 son especialmente adecuados para una utilización móvil.

²⁰ MANUAL MAHA (EMISSION MEASUREMENT TECHNOLOGY_MET_6.3) GASOLINA – DIESEL. Pag. 2.

Figura 5 Analizador de gases MAHA - MET 6.3



Fuente: Manual maha (emission measurement technology_MET_6.3) .

- Análisis de los componentes de gases HC, CO, CO₂, O₂, Lambda (calculado), CO corregido (calculado), opcionalmente NO, NO₂, NO_x
- Análisis de los gases diésel, coeficiente de opacidad (valor K), concentración de masa de partículas
- Un equipo ideal para uso móvil: Pequeño, ligero, alimentación de corriente desde el vehículo, conexiones inalámbricas al OBD y analizador de emisiones (opcional), maletín (opcional)
- Manejo guiado por menú y procedimiento de prueba sencillo (PC)
- Sólo una sonda con conexión rápida patentada para todos los tipos de motor
- Tapas de servicio grandes y de fácil acceso para un mantenimiento sencillo
- Notificación automática cuando los filtros o el sensor de O₂ deben cambiarse
- MAHA Wireless OBD: inalámbrico, ligero y de fácil manejo
- Alimentación de red y alimentación desde la red de a bordo del vehículo (10-30V)

2.11. GASES EMITIDOS POR EL MOTOR. ²¹

La relación ideal de aire-combustible en los motores de encendido por chispa es 14,66:1. Esto es conocido gracias a la ecuación estequiométrica bajo una perfecta combustión de aire-combustible. De dicha reacción química, se obtiene dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y nitrógeno (N_2), los cuales son los productos más completos de la combustión. Por consiguiente, si nosotros medimos los gases de escape en un motor de encendido por chispa y encontramos solamente CO_2 , H_2O y N_2 ; nosotros podemos asumir que el motor ha estado operando en niveles óptimos de una combustión ideal. Pero, como la combustión interna en motores no es del 100% eficiente, otras especies son formadas en la cámara de combustión y expulsadas por el motor. Los productos de combustión producidas que se encuentran en el mundo real son los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Hidrocarburos (HC)
- Oxígenos (O_2)

El monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos producidos en la combustión, y expulsados del motor por el tubo de escape, están relacionadas con problemas para la salud y medio ambiente.

2.11.1. Óxidos de nitrógeno

El nitrógeno ocupa cerca del 78 % del aire atmosférico terrestre en volumen; y por consiguiente, cerca del 78% del aire en la cámara de combustión es nitrógeno. Este gas inerte no contribuye o retrae a la combustión. Cuando el nitrógeno y oxígeno se combinan forman óxidos perjudiciales para la salud, tales como el nítrico (NO) y el

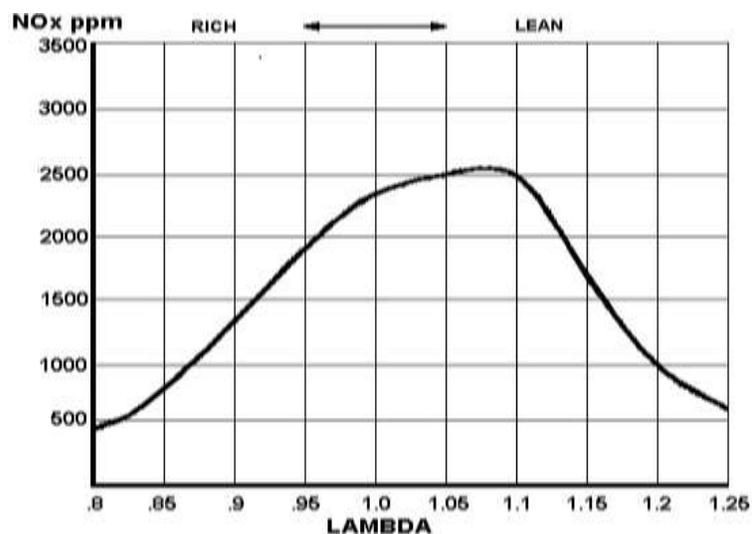
²¹ Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

dióxido de nitrógeno (NO_2). Esto es posible cuando ambos elementos gaseosos son calentados por encima de $1371\text{ }^\circ\text{C}$.

Bajo ciertas condiciones del motor, la temperatura de combustión dentro de la cámara puede exceder $1371\text{ }^\circ\text{C}$ que combina oxígeno y nitrógeno, lo cual forma NO_x .

La Figura 7 muestra la concentración de NO_x en función al factor lambda. En dicha figura se observa que las emisiones más elevadas de NO_x están situadas para mezclas ligeramente pobres con factor lambda alrededor de 1,08. Por otro lado, las emisiones de NO_x no afectan el rendimiento del motor; en cambio, algunos dispositivos usados para prever la formación de éste pueden afectar el rendimiento y contribuir a altos niveles de HC y CO, en caso no sea controlado adecuadamente.

Figura 6 **Relación entre NO_x y lambda.**



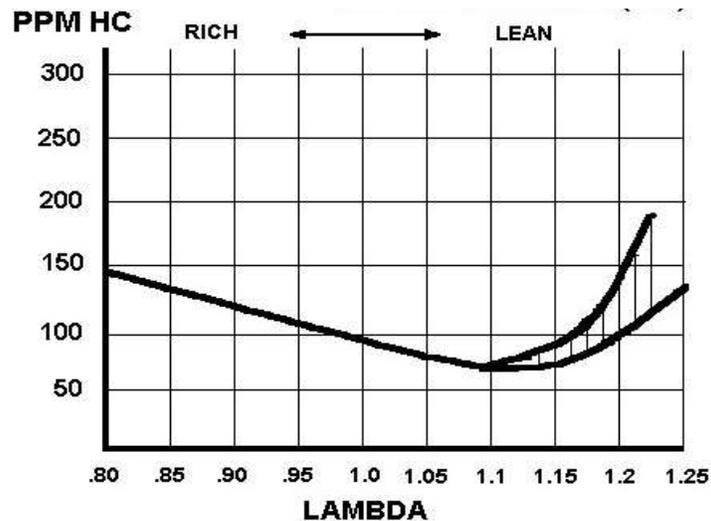
Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

2.11.2. Hidrocarburos no quemados.

Los hidrocarburos no quemados (HC) son componentes orgánicos formados por átomos de hidrógeno y carbono; dichos hidrocarburos no quemados son gases productos de una combustión incompleta en los motores de encendido por chispa. Esto es debido a que la gasolina no es quemada completamente y, por tanto, expulsada en los gases de escape, lo cual se mide en partículas por millón (ppm). Los niveles de HC, debido a la combustión, varían de acuerdo a la relación aire-

combustible. Esto se puede observar en la Figura 8, la cual muestra la relación de HC en función al factor lambda donde se observa que las emisiones de HC más bajas es para mezclas de aire-combustible ligeramente pobres (lambda de 1.05 a 1.15). Finalmente, los niveles de emisiones de HC del motor depende del diseño de éste; y la gasolina evaporada desde el depósito ó tanque de combustible son, también, fuentes de emisiones de HC.

Figura 7 **Relación entre HC y lambda.**



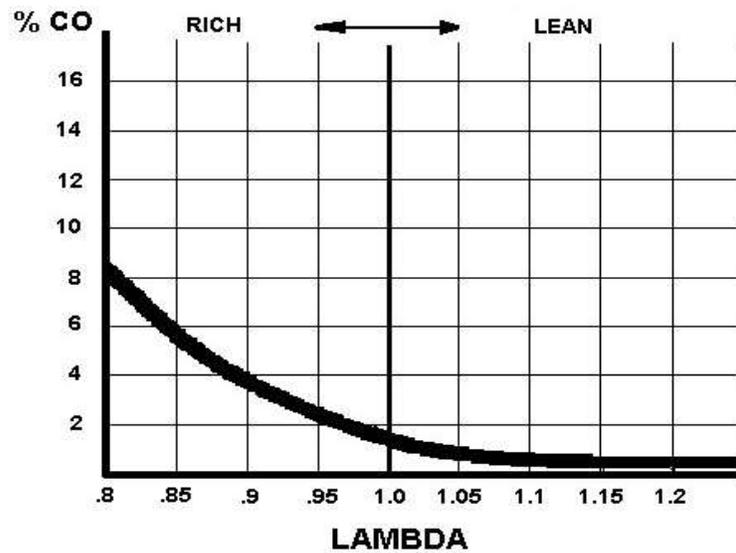
Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna.* Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

2.11.3. Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO) es un producto formado cuando la combustión presenta un volumen con baja concentración de oxígeno (mezcla rica de combustible). Además, el carbono dentro de la cámara de combustión es suministrado por el combustible; mientras que el oxígeno proviene del aire inducido. La Figura 8 muestra que las emisiones de CO decrecen para un factor lambda cada vez más alto; en cambio, dichas emisiones se incrementa para un factor lambda cada vez más bajo. Por esta razón, CO es un buen indicador del uso de mezclas ricas, pero un mal indicador para mezclas pobres.

Estos hechos presentados en Figura 7 y Figura 8 hacen que el contenido de HC y CO sean buenos indicadores para el rendimiento del motor y eficiencia del catalizador.

Figura 8 Relación entre CO y lambda.



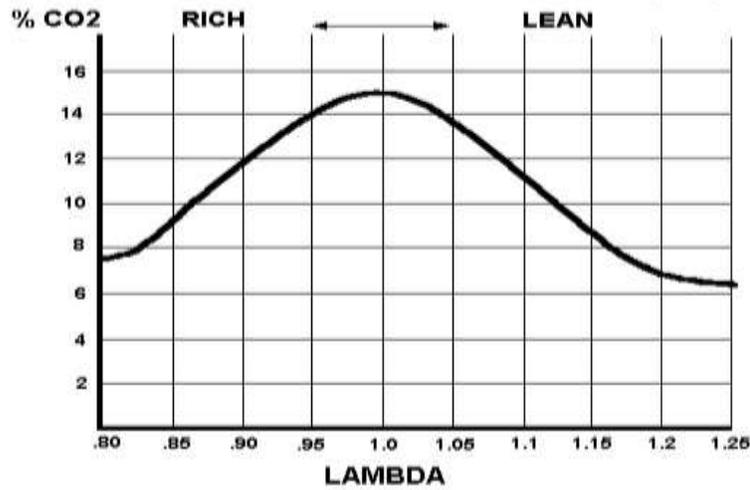
Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna.* Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

2.11.4. Dióxido de carbono

Dióxido de carbono (CO_2) es la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno (oxígeno molecular) durante la combustión, y también, es producto de la oxidación de CO en el catalizador. A diferencia de las emisiones de CO, el CO_2 es inofensivo; es más, los mamíferos expulsamos CO_2 al ambiente debido a la respiración. El CO_2 es un buen indicador de la eficiencia de combustión porque su volumen obtenido es un indicativo de una mezcla estequiométrica.

En la Figura 9, se observa que el porcentaje de CO_2 varía de acuerdo la mezcla aire-combustible alcanzando su valor máximo para una mezcla estequiométrica y disminuyendo su concentración cuando la mezcla es rica o pobre de acuerdo al factor lambda.

Figura 9 Relación entre CO₂ y lambda

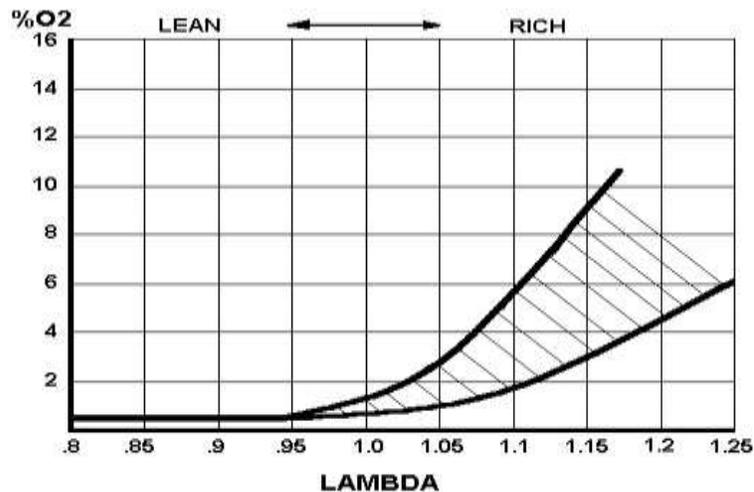


Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

2.11.5. Oxígeno

El oxígeno (O₂) ocupa el 21% de la composición del aire en la atmósfera; por ende, la misma composición en el aire de la cámara de combustión. Los niveles de O₂ residuales, producto de los gases de escape, pueden ser un indicador que la mezcla aire-combustible es rica o pobre durante la combustión. Por otro lado, la Figura 10 muestra que el O₂ es bien bajo para mezclas ricas, ya que todo el oxígeno es consumido, mientras para mezclas pobres siempre queda residuo de oxígeno.

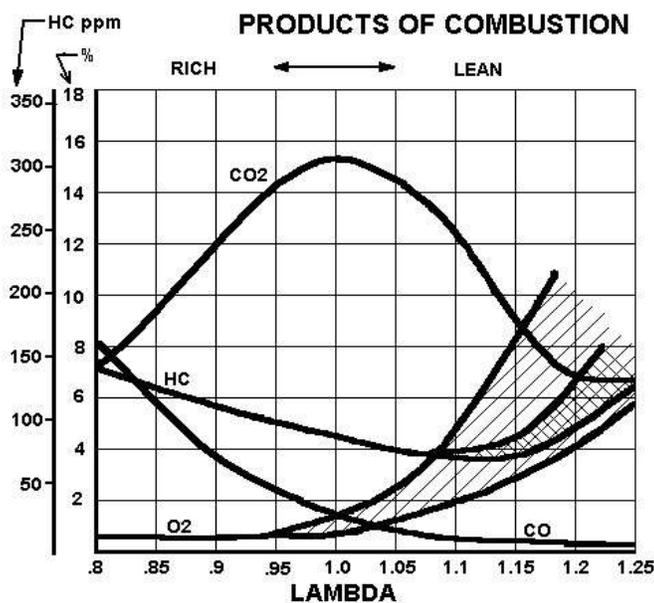
Figura 10 Relación oxígeno residual y lambda.



Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

La Figura 11 agrupa todos los resultados de la Figura 7 a 10. Aquí se muestra la relación que existe entre la mezcla aire-combustible y los gases del tubo de escape del vehículo. Además, se puede observar que los niveles de HC son bajos cuando la mezcla aire-combustibles tiende a ser ideal porque la mayor parte del combustible es consumido durante la combustión. Por un lado, una composición de mezcla pobre o rica puede ser ocasionada debido a problemas de inyección de combustible, lo que causa que el HC incremente debido a una combustión incompleta. Por otro lado, Los gases de CO_2 aumentan cuando la relación aire-combustible es ideal y decrece cuando son mezclas ricas o pobres. Finalmente, observamos que los niveles de CO son aproximadamente cero cuando la mezcla tiende a ser pobre ya que se produce una combustión mucho más completa, contrariamente a lo que ocurre con el O_2 , ya que se produce oxígeno residual.

Figura 11 Relación lambda y gases en el tubo de escape.



Fuente: Información tecnológica. *Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento del motores de combustión interna*. Vol.17. Recuperado por <https://scielo.conicyt.cl/>.

Capítulo 3

INGENIERÍA DE PROYECTO

3.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR.

Tabla 7 Características técnicas del motor

TOYOTA COROLLA 5A INYECCIÓN	
Descripción Característica	
Motor	5A
Modelo	1996
Combustible	Gasolina
Método de preparación de la mezcla	Inyección
Válvulas	16
Potencia Máxima	75 KW :100 HP/ 5600rpm
Torque Máximo	138 Nm ; 102Lbf-ft/ 4400 rpm

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Toyota Corrolla 5A inyección



Fuente: Elaboración propia.

3.2. MANTENIMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.

Debido que el motor Toyota 5A estuvo parado un buen tiempo sin uso, el cual la carrera de Mecánica Automotriz me facilitó para la realización del presente proyecto.

Por lo cual realizamos el respectivo mantenimiento, previamente verificamos el estado actual tanto en sensores y actuadores. El motor Toyota 5A es un motor muy conocido y no muy complejo lleva sensores principales comerciales sensor (Map, Tps, Detonación, Oxígeno, Temp. de Agua, Temp. de Aire, Cigüeñal, Velocidad). Con la ayuda del multímetro siguiendo el manual Toyota donde indica según el tipo y pinera que lleva, el voltaje que debe marcar si está en el rango de funcionamiento y los actuadores comandadas por la unidad de control ECU las cuales reciben órdenes para ejecutarlas en los sistemas del motor (inyectores, solenoide de bomba de gasolina y motor de arranque, termostato, regulador de presión de combustible, válvula IAC control de aire, módulo de encendido) sometiendo a pruebas de funcionamiento a cada una en las cuales los inyectores se encontraron taponados las mismas no pulverizaban. Realizamos mantenimiento de los propios y los siguientes cambios:

- Cambio de aceite del motor (SAE 15W40).
- Cambio de inyectores
- Cambio de bujías.
- Limpieza del cuerpo obturador.
- Limpieza de riel de presión.
- Cambio de filtro de combustible.
- Cambio de filtro de aceite.

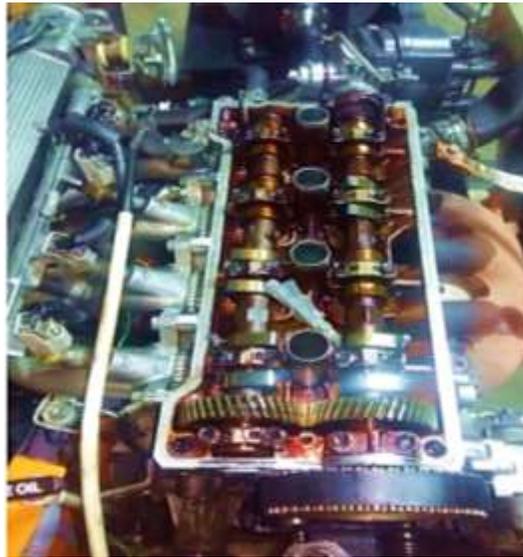
3.2.1. Verificación de la holgura de las válvulas.

Juego que existe entre la leva del árbol y el asiento (disco o copa) de válvulas, con la ayuda de láminas calibradas y moviendo el cigüeñal quien está conectada por medio de la correa con el árbol de levas, siguiendo el orden de encendido orientado por el giro del motor tomamos las siguientes medidas de juego (ver tabla 8) las cuales están en el rango según manual Toyota (véase anexo 5).

Tabla 8 **Holgura de las válvulas**

VÁLVULAS	HOLGURA [mm]
Admisión	0,20 - 0,21
Escape	0,29- 030

Figura 13 **Holgura de las válvulas**

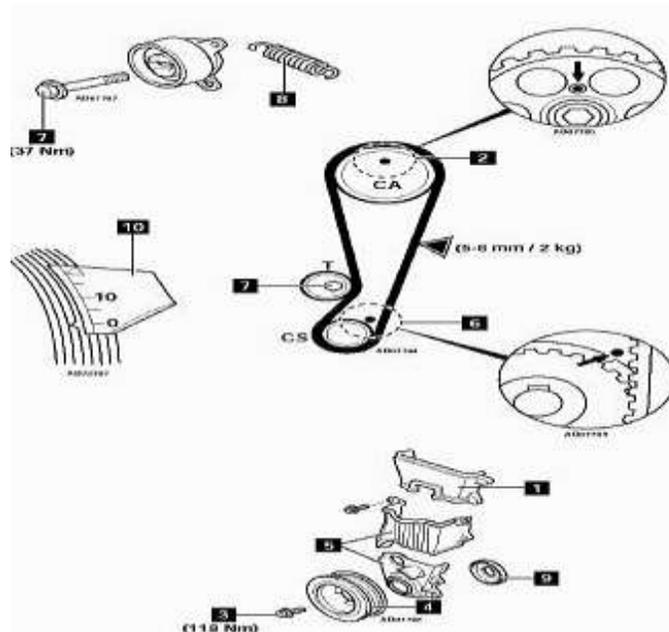


Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Sincronización del motor.

Para empezar debemos asegurarnos que el pistón del cilindro No 1 el primero de la izquierda viendo el motor con la cubierta de los árboles de levas abiertas, se encuentre en el Punto Muerto Superior (PMS), procedimos a sacar la correa y a alinear a punto según las marcas de referencia correspondiente (ver figuras 14).

Figura 14 Sincronizado de motor Toyota 5A



Fuente: Manual Toyota 5A

Figura 15 Sincronizado de motor Toyota 5A



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 **Sincronización de motor Toyota 5A**



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Puesta a punto del motor.

Se verificó que el motor se encuentre a temperatura normal de funcionamiento en ralentí, con la ayuda de la lámpara de punto alineamos a dichas marcas que están graduadas en intervalos de a 5 grados de rotación del cigüeñal antes del punto muerto superior graduando aflojar los dos bulones (regulador) que fijan al distribuidor a la tapa de cilindros con el fin de poder girar al mismo. Girándolo lentamente en sentido anti horario estamos adelantando el encendido y en sentido horario, lo estamos atrasando. Una vez que logramos ubicar a las marcas en la posición deseada (15° APMS) debemos volver a ajustar los dos bulones que ajustan el distribuidor a la tapa de cilindros.

Figura 17 **Puesta a punto del motor**



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. **Presión de compresión.**

Hicimos funcionar el motor para que el sistema alcance una temperatura adecuada. Siguiendo el procedimiento para obtener la presión de cada cilindro, con un manómetro de presión se obtuvo los valores siguientes (tabla 9).

Figura 18 **Presión de compresión.**



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 **Presión de compresión.**

N° CILINDRO	PRESION (PSI)
1	145
2	140
3	145
4	145

Fuente: Elaboración propia.

3.3. OBTENCIÓN DE MEZCLAS (ETANOL – GASOLINA)

Con la ayuda del laboratorio de la carrera de química, docente Lic. Patricia Duchén quien me facilitó el ambiente de la Facultad de Tecnología, colaborándome con su tiempo y conocimiento realizamos los cálculos y mezcla correspondientes con instrumentos que nos ayudaron a ser exactos.

3.3.1. Cálculo de porcentaje necesario según fórmula.

Utilizamos como gasolina base, gasolina especial con contenido de 8 % de etanol y etanol puro del 98%. Para realizar las mezclas realizamos un cálculo matemático restando los porcentajes indicados.

Tabla 10 **Parámetros iniciales.**

	Porcentaje de etanol inicial
Gasolina especial	8 % de etanol
Etanol	con 98% y 2% de impurezas , 98% <i>etanol puro</i> → 100 %

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1. Para obtener (E12).

Si existe 8 cm³ de etanol en 100 cm³ de gasolina base, añadimos 4 cm³ de etanol puro requerido para obtener 12 cm³

4 cm³ de etanol puro requerido → 98cm³ etanol puro

x % cuanto equivale de etanol puro requerido al → 100%etanol puro

$$x = \frac{4\text{cm}^3 \text{ etanol puro requerido} \times 100\text{cm}^3 \text{ etanol puro}}{98 \text{ cm}^3 \text{ etanol puro}}$$

$$x = 4.1 \text{ cm}^3 \text{ de etanol puro requerido}$$

Se necesita 4.1 cm³ de etanol puro requerido y 95.9 cm³ de Gasolina Especial.

3.3.1.2. Para obtener (E15).

Si existe 8 cm³de etanol en 100 cm³ de gasolina base, añadimos 7 cm³ de etanol puro requerido para obtener 15 cm³

7cm³ de etanol puro requerido → 98cm³ etanol puro

x % cuanto equivale de etanol puro requerido al → 100%etanol puro

$$x = \frac{7\text{cm}^3 \text{ etanol puro requerido} \times 100\text{cm}^3 \text{ etanol puro}}{98 \text{ cm}^3 \text{ etanol puro}}$$

$$x = 7,14 \text{ cm}^3 \text{ de etanol puro requerido}$$

Se necesita 7,14 cm³ de etanol puro requerido y 92.86 cm³ de Gasolina Especial.

3.3.1.3. Para obtener (E20).

Si existe 8 cm³de etanol en 100 cm³ de gasolina base, añadimos 12 cm³ de etanol puro requerido para obtener 20 cm³

12 cm³ de etanol puro requerido → 98cm³ etanol puro

x % cuanto equivale de etanol puro requerido al → 100%etanol puro

$$x = \frac{12\text{cm}^3 \text{ etanol puro requerido} \times 100\text{cm}^3 \text{ etanol puro}}{98 \text{ cm}^3 \text{ etanol puro}}$$

$$x = 12,24 \text{ cm}^3 \text{ de etanol puro requerido}$$

Se necesita 12,24cm³ de etanol puro requerido y 87,76 cm³ de Gasolina Especial.

3.3.2. Mezcla de (etanol – gasolina) en base a porcentajes calculados.

La mezcla de los combustibles lo realizamos en el laboratorio de química con instrumento que nos ayudaron hacer precisos.

Tabla 11 **Cantidades exactas de combustibles para el estudio.**

V/V 5000cm ³ /5000cm ³ 5lts/5lts	GASOLINA ESPECIAL (E°S° San Pedro)		SUPER ETANOL 92 (E°S° San Pedro)		Mezclas de gasolina especial como base y porcentajes de etanol					
	cm ³	Con contenido inicial de base %	cm ³	Con contenido inicial de base %	E12		E15		E20	
cm ³					%	cm ³	%	cm ³	%	
GASOLINA ESPECIAL v/v	4600	etanol 8 %	4400	etanol 12 %	4795	etanol 12 %	4643	etanol 15 %	4388	etanol 20 %
ETANOL V / V (Planta YPFB)	400	gasolina 92 %	600	gasolina 88 %	205	gasolina 88 %	357	gasolina 85 %	612	gasolina 80 %

Fuente: Elaboración propia.

Materiales utilizados:

- 2 Probetas graduadas de 1000 cm³
- 1 Probetas graduadas de 500cm³
- 2 Probetas graduadas de 30 cm³
- 2 Probetas graduadas de 10 cm³
- 2 pipetas
- Embudos

Figura 19 **Material de laboratorio**



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento:

- Limpiar las probetas con los mismos combustibles
- Con el método visual tomar las medidas correspondientes, envases limpios de impurezas introducimos así mismo el etanol y luego la gasolina en volúmenes correspondientes al cálculo lo realizamos para cada porcentaje de mezclas (véase figura 24).

Figura 20 **Cantidad gradual necesaria de gasolina especial base.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 **Cantidad necesaria de gasolina especial base.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22 **Cantidad gradual necesaria de etanol.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23 Cantidad gradual necesaria de etanol.



Fuente: Elaboración propia.

- Para la combinación de las mezclas dejamos reposar 1 semana en un ambiente cerrado a temperatura mínima.

Figura 24 Mezcla de combustibles.

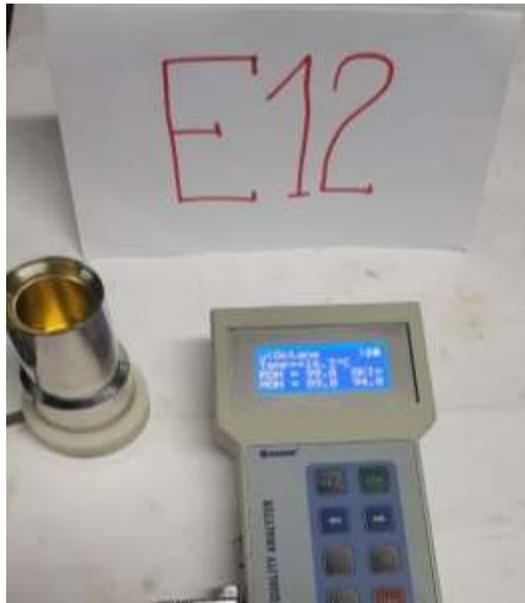


Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Octanaje de los combustibles y mezclas.

Se obtuvo los valores correspondientes de octanaje en los diferentes tipos de mezclas incluyendo de la gasolina especial y el súper etanol 92 ya comercializados en estaciones de servicio.

Figura 27 Octanaje de las mezclas (E12).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 Octanaje de las mezclas (E15).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29 Octanaje de las mezclas (E20).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Tabla de octanaje de los combustibles y mezclas.

	RON	MON	N° OCTANO COMERCIAL= $\frac{RON+MON}{2}$	Imagen
GASOLINA ESPECIAL E°S° San Pedro	93,6	83,9	88,6	
SUPER ETANOL 92 E°S° San Pedro	114,3	103,8	109	
E12	99,8	89,8	94,8	
E15	106,3	96,7	101,5	
E20	118,3	106,9	112,7	

Fuente: Elaboración propia.

3.4. MONTAJE Y ACOPLAMIENTO DEL MOTOR AL BANCO DE PRUEBA ACCUDYNO.

Para acoplar el movimiento del dinamómetro a la salida del cigüeñal conectado ambos por medio de un acople flexible que permita una cierta deflexión respecto de la línea del centro del motor y el dinamómetro permitiendo su desplazamiento axial , utilizamos una cubierta de embrague retiramos los resortes de diafragmas y solo usamos la cubierta para unirla con pernos al volante de inercia y también usamos una copa para triceta para adaptar al acople flexible , llevando al torno la cubierta de embrague soldamos una plancha de 0,5 mm de espesor en forma circular soldando el borde, ubicamos y centramos la copa para triceta al centro de la plancha del extremo del acople flexible unida mediante una brida y sujeta por pernos (ver figura 30,31)

Figura 30 **Montaje del acoplamiento fabricado para el motor.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31 **Acoplamiento del motor al banco de prueba accudyno.**



Fuente: Elaboración propia.

3.5. PRUEBAS DE LOS COMBUSTIBLES GASOLINA ESPECIAL E8, SÚPER ETANOL 92 Y LAS MEZCLAS E12, E15 Y E20.

3.5.1. Prueba de gases contaminantes.

Para esta prueba, se utilizó el equipo analizador de emisiones MAHA. (Véase fig.32)

Figura 32 **Analizador de emisiones MAHA.**



Fuente: Elaboración propia.

- El analizador de gases se tuvo que someter a una calibración previa antes de iniciar las pruebas.
- El motor se dejó operando con el combustible a ser probado por un tiempo aproximado de 30 min para cada cambio de combustible tiempo durante el cual se verificó limpiar los residuos de combustible atreídos en las líneas del sistema de alimentación y del depósito de combustible.
- Conectando el analizador de gases verificamos los rangos de temperatura, presión y velocidad (r.p.m.)
- Comprobar que el analizador respecto al motor se encontrara en condiciones normales para llevar a cabo las mediciones, se realizó la interacción entre el equipo analizador y el sistema adquisidor de datos, pudiendo así monitorear el comportamiento de las emisiones.
- El primer combustible que se analizó fue la gasolina de referencia; los resultados de esta prueba fueron comparados con los resultados de las demás mezclas combustibles para establecer criterio de comportamiento de cada parámetro medido.
- Los gases que analizó el equipo de emisiones fueron los siguientes: CO, HC, O₂, CO₂ y NO_x.

Figura 33 **Monitor de valores de gases medidos.**



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Resultado de prueba de gases.

Las pruebas se realizaron 10 veces para cada mezcla en función a las rpm del motor el cual sacamos los promedios en las siguientes tablas:

Tabla 13 Promedio de las pruebas de gases GASOLINA ESPECIAL (E8).

GASOLINA ESPECIAL (E8)					
n (rpm)	CO (%)	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %	λ
1000	0,123	290,25	6,7	11,3	
1500	0,140	261,75	7,6	10,3	
2000	0,153	221,5	8,2	9,3	
2500	0,165	210,25	8,7	8,5	
3000	0,273	193,88	9,7	6,7	1,16
3500	0,447	181,5	11,1	4,9	1,135
4000	0,529	169,38	11,9	3,4	1,06
4500	0,673	145,88	13,0	2,5	1,03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Promedio de las pruebas de gases SÚPER ETANOL 92.

SÚPER ETANOL 92					
n (rpm)	CO (%)	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %	λ
1000	0,076	236,8	6,7	11,2	
1500	0,100	217,8	7,6	9,7	
2000	0,118	204,8	8,6	8,2	
2500	0,168	189,8	9,7	7,5	
3000	0,270	187,6	11,1	6,7	
3500	0,442	184,4	12,1	5,6	1,14
4000	0,526	184	13,1	4,7	1,082
4500	0,698	180,8	13,7	3,8	1,022

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Promedio de las pruebas de gases (E12).

MEZCLA (E12)					
n (rpm)	CO (%)	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %	λ
1000	0,120	251,67	6,8	11,1	
1500	0,138	211,33	8,1	9,0	
2000	0,180	200,00	9,0	7,7	

2500	0,300	190,67	9,6	7,0	
3000	0,378	187,67	10,8	5,9	
3500	0,465	186,00	11,9	4,5	1,246
4000	0,553	181,67	12,9	2,5	1,061
4500	0,590	179,67	13,3	1,5	1,031

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16 Promedio de las pruebas de gases (E15).

MEZCLA (E15)					
n (rpm)	CO (%)	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %	Λ
1000	0,095	259,00	6,7	10,6	
1500	0,118	253,67	7,3	10,5	
2000	0,13	221,33	8,4	9,0	
2500	0,273	186,33	9,0	8,4	
3000	0,323	184,67	10,1	7,1	
3500	0,443	182,00	11,7	4,8	1,158
4000	0,548	180,33	12,6	3,2	1,09
4500	0,588	175,00	13,2	2,3	1,036

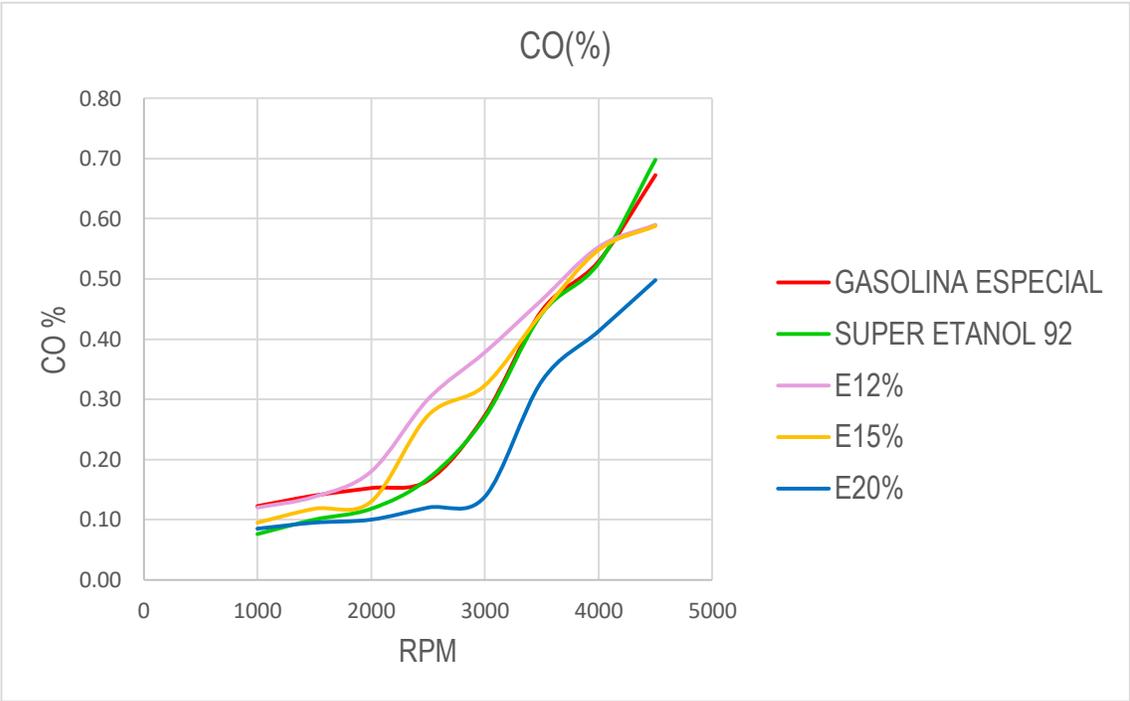
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Promedio de las pruebas de gases (E20).

MEZCLA (E20)					
n (rpm)	CO (%)	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %	Λ
1000	0,085	252,75	6,8	11,1	
1500	0,095	231,25	7,4	10,0	
2000	0,1	210,00	8,5	8,7	
2500	0,12	190,25	9,2	7,7	
3000	0,138	181,75	10,2	6,2	
3500	0,39	174,75	11,7	4,2	1,178
4000	0,413	168,75	12,8	2,7	1,101
4500	0,498	163,75	13,3	1,8	1,05

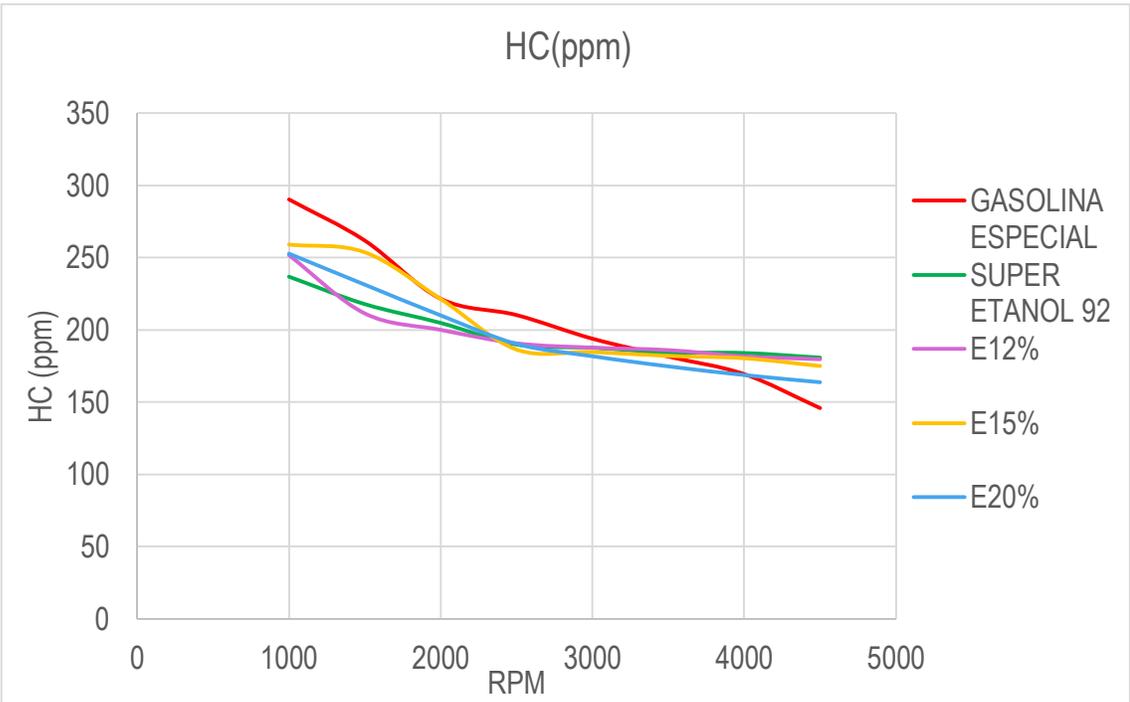
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4 Gráfico de promedio de los combustibles y mezclas (CO%).



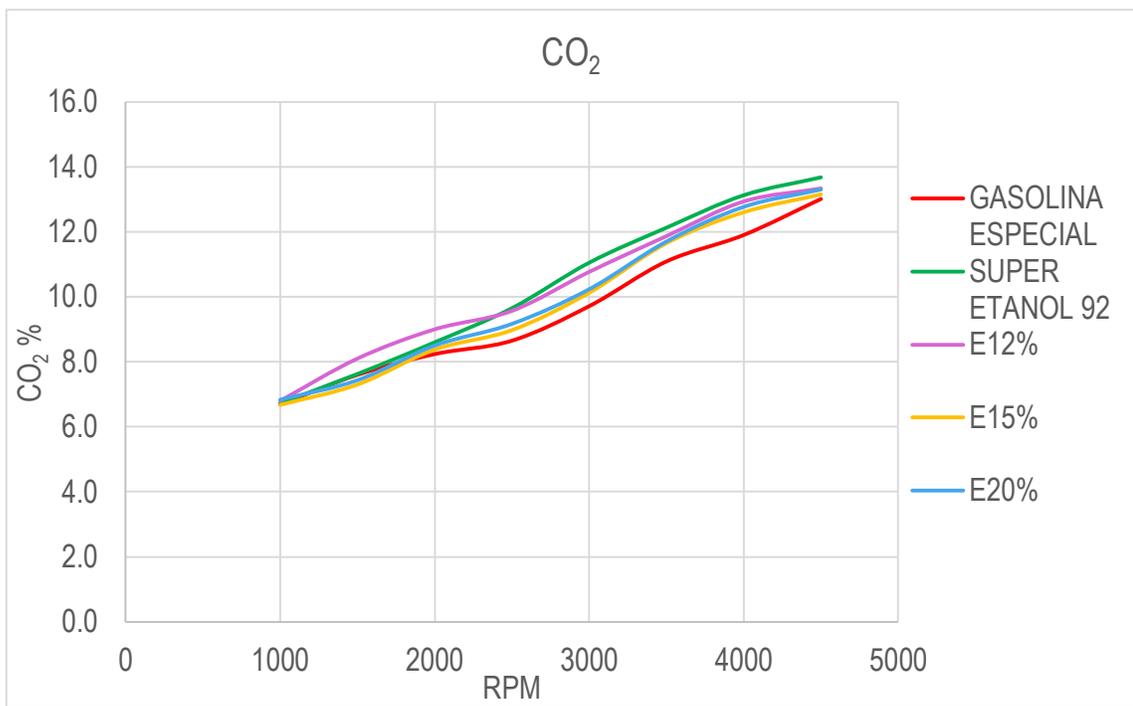
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5 Gráfico de promedio de los combustibles y mezclas (HCppm).



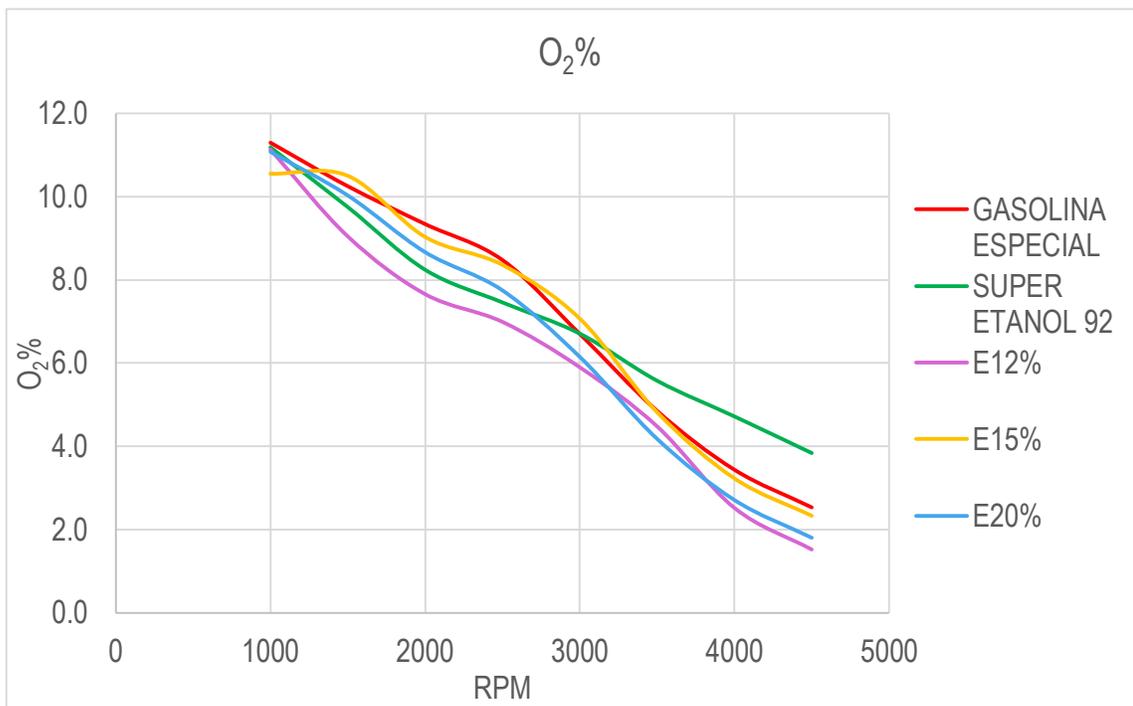
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6 Gráfico de promedio de los combustibles y mezclas (CO₂).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7 Gráfico de promedio de los combustibles y mezclas (O₂).



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Pruebas de potencia y torque en el banco dinamométrico. Accudyno.

Figura 34 **Motor y banco dinamométrico acoplado.**



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.1. Requerimientos necesarios indispensables.

- Una vez conectado el motor con el dinamómetro, comprobar que el lugar a realizar el ensayo esté en orden y fuera de riesgos.
- Verificar el correcto funcionamiento de las bombas hidráulica del sistema de frenado por agua del banco dinamómetro, las conexiones del circuito de alimentación y las válvulas de control.

Figura 35 **Bomba de presión**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36 **Bomba de retorno.**



Fuente: Elaboración propia.

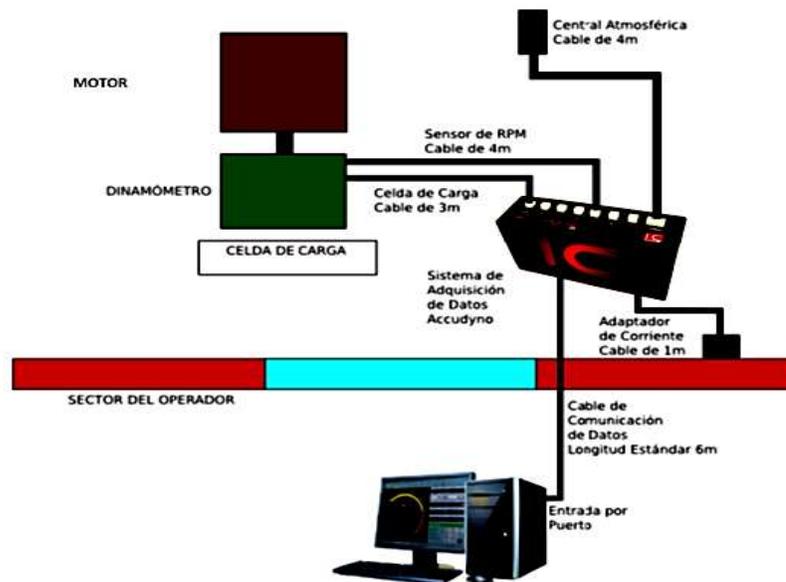
Figura 37 **Válvulas de control de torque.**



Fuente: Elaboración propia.

- Verificar que los sensores capturen y muestre en el panel de control las condiciones del ambiente como ser densidad y humedad del aire.

Figura 38 **Conexión del equipo de medición.**



Fuente: www.iccode.com.ar.

3.5.3.2. Procedimiento de ensayo con el dinamómetro.

- Encender el motor y esperar que caliente hasta que llegue a su temperatura de funcionamiento.
- Datos a introducir, nombre del ensayo, rpm inicial, rpm final y la altura a la que se encuentra :

Figura 39 Ficha de datos inicial

Fuente: www.iccode.com.ar.

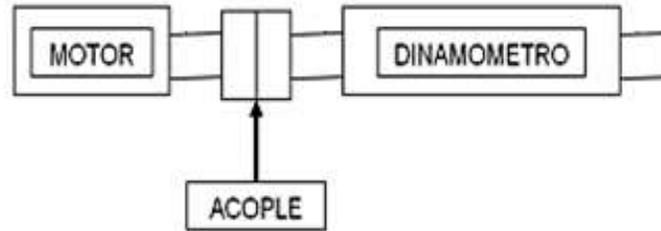
Tabla 18 Datos iniciales.

DATOS INICIALES	
T ° del aceite del motor	(70-80) ° C
RPM Inicial	1000
RPM Final	5500 rpm, que aunque no es una condición típica de operación del motor, es a la que entrega su máxima potencia.
Altura en La Paz Aprox.	3650 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

- En cuanto a los datos climáticos actuales temperatura, humedad y presión, se cuenta con el módulo de central atmosférica, estos datos se cargarán automáticamente.
- Mediciones a obtener en el eje de salida del motor son los valores de la potencia y el torque.

Figura 40 **Conexión dinamómetro y motor.**

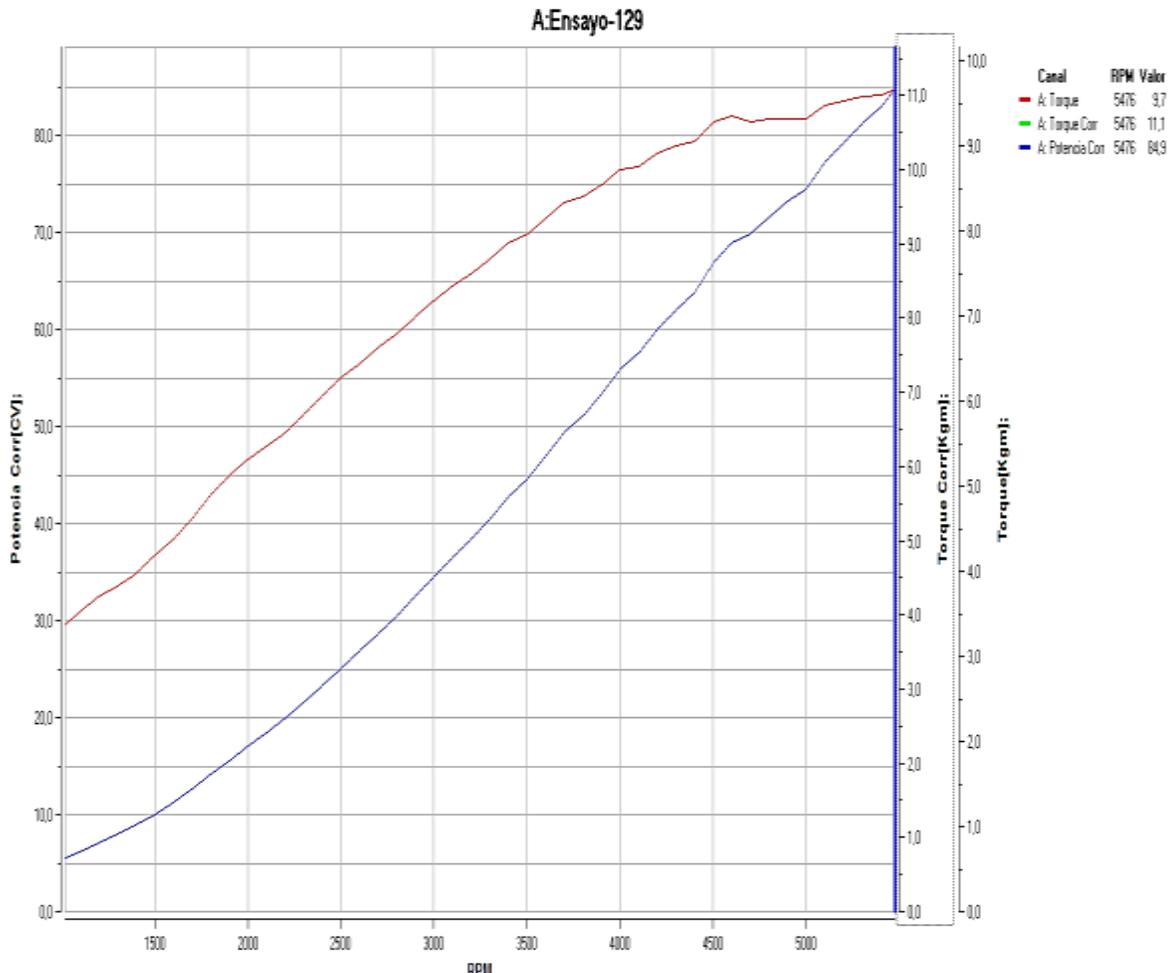


Fuente: Conexión de bloques.

- Tomamos un método de medición de punto a punto este consiste en ubicar a cierto grado de giro de la perilla de control de torque del dinamómetro, aceleramos progresivamente el motor desde una velocidad de 1000 hasta 5500 rpm para adquirir una serie de datos estabilizados por el pulsador de adquisición de datos capturando puntos inicial y punto final en base a rpm.
- Luego de realizar el ensayo disminuimos gradualmente el acelerador hasta el ralenti del motor para estabilizar la temperatura alcanzada.
- Dejar a parámetros iniciales para el siguiente ensayo, es importante mantener el mismo nivel de temperatura del motor en todas las pruebas a realizar por el cual en cada ensayo esperamos que el motor baje a su temperatura inicial.
- Para cada cambio de combustible hicimos funcionar el motor por un tiempo considerable y filtramos, no quedando residuos de combustible atreídos en las líneas del sistema de alimentación y del depósito de combustible.

3.5.3.3. Resultado de las pruebas potencia y torque (Gasolina Especial).

Gráfico 8 Ensayo de potencia y torque (Gasolina Especial).



Motor: TOYOTA 5A Gasolina

Cond. Ambientales: Temp. 20,9°C; Presion 661,7 mmHg; Humedad 31,0%

Factor Corrección: 1,146 (SAE J1349/2004) / **Momento de Inercia:** 0,105

Desde 1001 RPM a 5497 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:22.33

Tiempo de Asentamiento: 00:34

Duración del Ensayo: 00:26

Entre 1000 RPM y 5500 RPM

Potencia máx: **85,3 CV** @ 5500 RPM

Torque máx: **11,1 Kgm** @ 5500 RPM

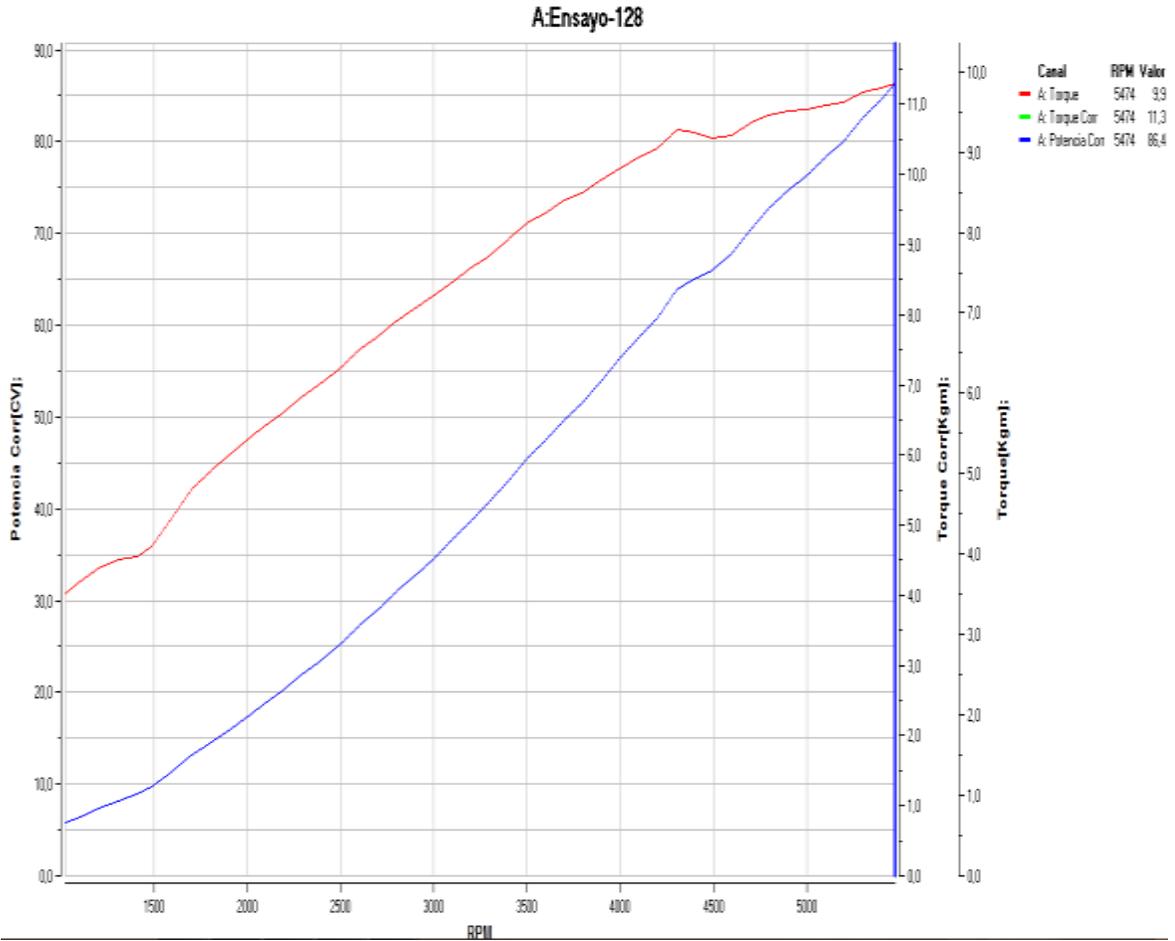
Potencia media: **41,5 CV**

Torque medio: **8,2 Kgm**

Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

3.5.3.4. Resultado de las pruebas potencia y torque (Súper Etanol 92).

Gráfico 9 Ensayo de potencia y torque (Súper Etanol 92)



Motor: TOYOTA 5A Gasolina

Cond. Ambientales: Temp. 20,8°C; Presion 661,7 mmHg; Humedad 35,0%

Factor Corrección: 1,147 (SAE J1349/2004) / **Momento de Inercia:** 0,105

Desde 1001 RPM a 5498 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:27.02

Tiempo de Asentamiento: 00,40

Duración del Ensayo: 00:29

Entre 1000 RPM y 5500 RPM

Potencia máx: **86,9 CV** @ 5500 RPM

Torque máx: **11,3 Kgm** @ 5500 RPM

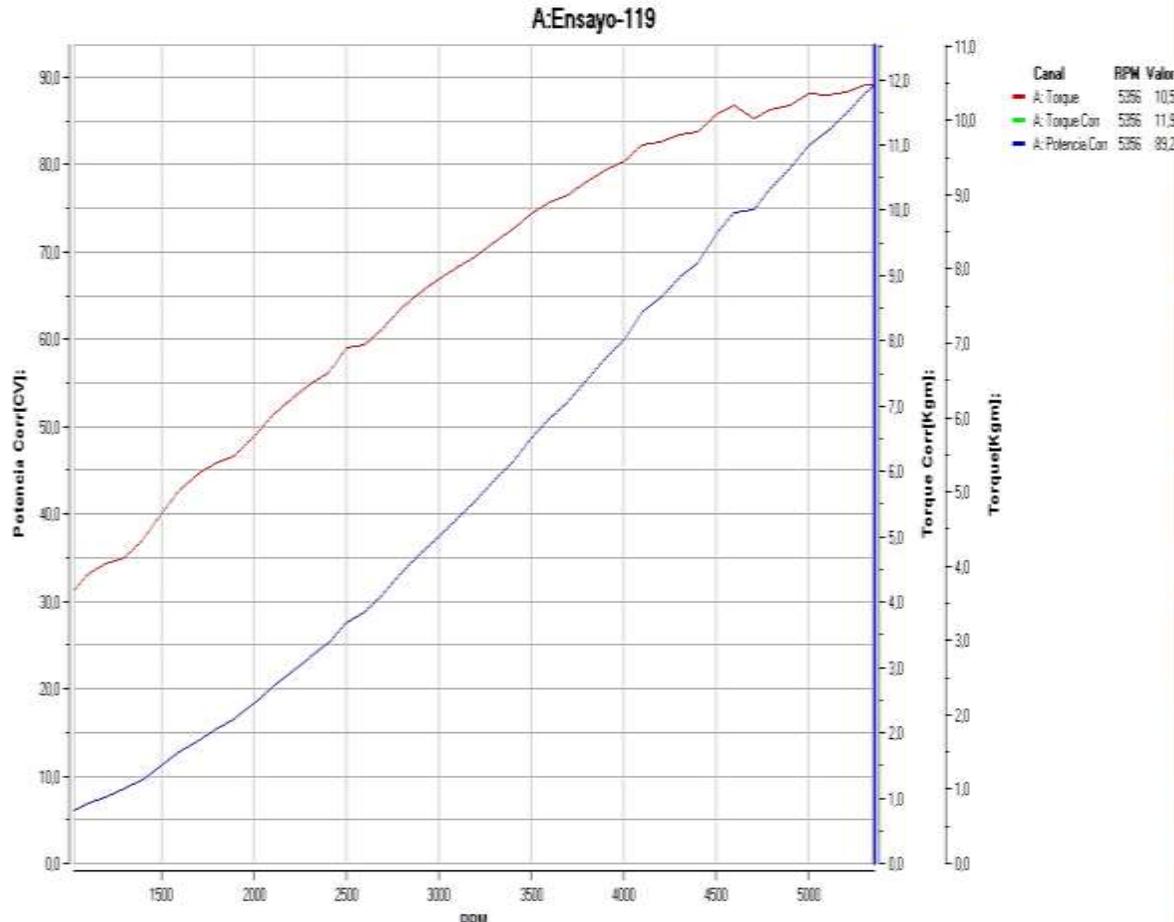
Potencia media: **42,1 CV**

Torque medio: **8,3 Kgm**

Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

3.5.3.5. Resultado de las pruebas potencia y torque (E12).

Gráfico 10 Ensayo de potencia y torque (E12)



Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

Motor: TOYOTA 5A Gasolina

Cond. Ambientales: Temp. 19,7°C; Presion 664,9 mmHg; Humedad 35,0%

Factor Corrección: 1,137 (SAE J1349/2004) / **Momento de Inercia:** 0,105

Desde 1005 RPM a 5362 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:22.34

Tiempo de Asentamiento: 00:31

Duración del Ensayo: 00:27

Entre 1000 RPM y 5400 RPM

Potencia máx: **90,1 CV** @ 5400 RPM

Torque máx: **12,0 Kgm** @ 5400 RPM

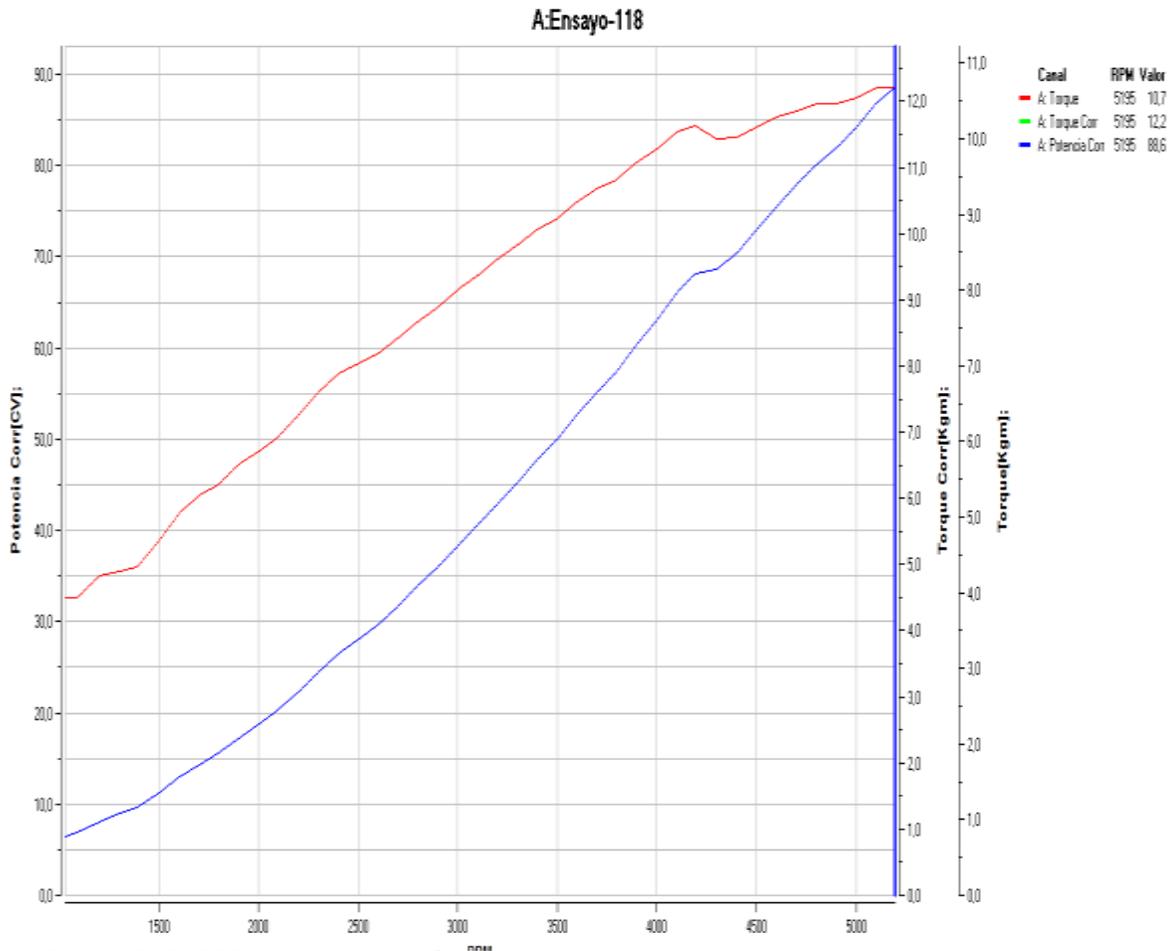
Potencia media: **44,0 CV**

Torque medio: **8,9 Kgm**

Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

3.5.3.6. Resultado de las pruebas potencia y torque (E15)

Gráfico 11 Evaluación de ensayo potencia y torque (E15)



Motor: TOYOTA 5A Gasolina

Cond. Ambientales: Temp. 19,8°C; Presion 661,7 mmHg; Humedad 36,0%

Factor Corrección: 1,144 (SAE J1349/2004) / **Momento de Inercia:** 0,105

Desde 1003 RPM a 5230 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:24.33

Tiempo de Asentamiento: 00:39

Duración del Ensayo: 00:27

Entre 1000 RPM y 5200 RPM

Potencia máx: **88,7 CV** @ 5200 RPM

Torque máx: **12,2 Kgm** @ 5200 RPM

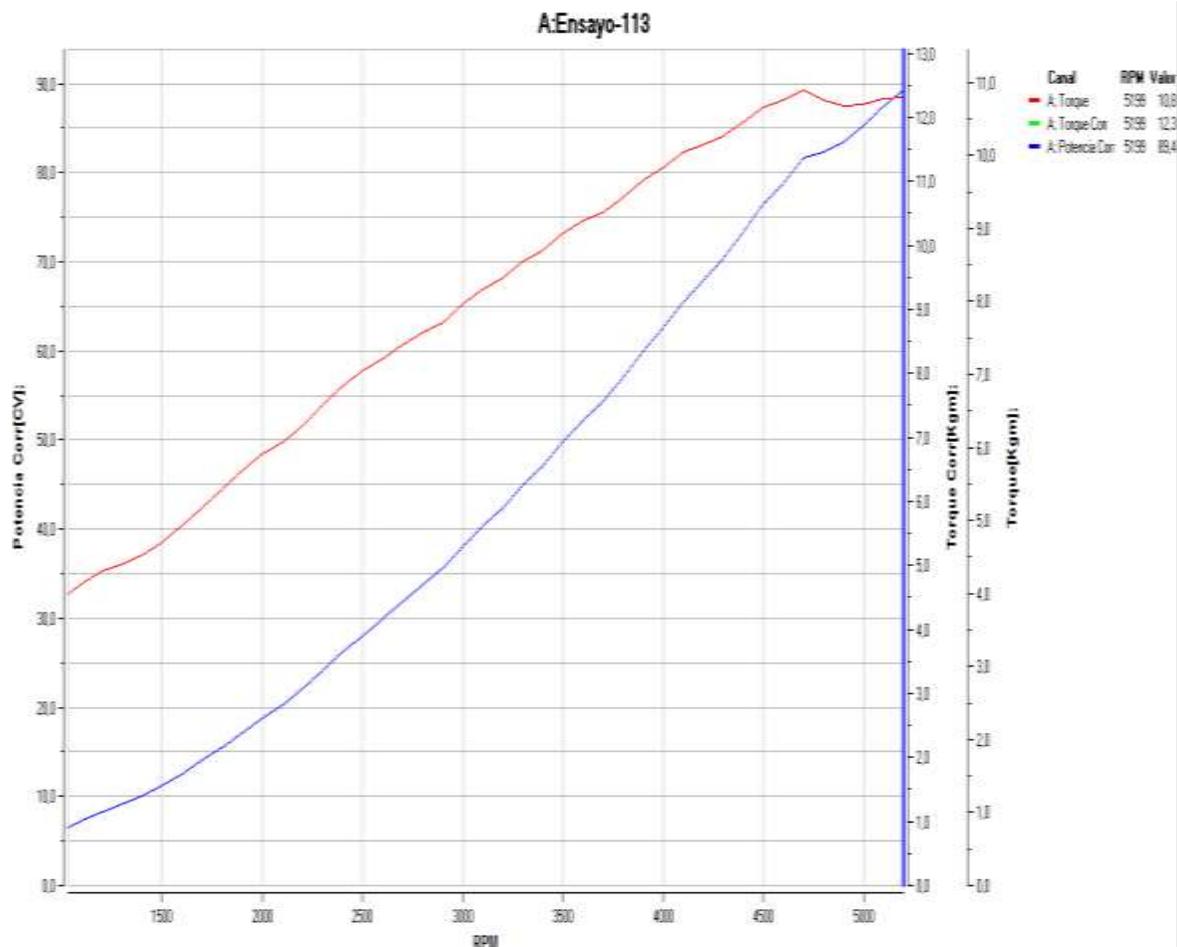
Potencia media: **43,2 CV**

Torque medio: **9,0 Kgm**

Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

3.5.3.7. Resultado de las pruebas potencia y torque (E20).

Gráfico 12 Evaluación de ensayo potencia y torque (E20)



Motor: TOYOTA 5A Gasolina

Cond. Ambientales: Temp. 19,9°C; Presion 661,7 mmHg; Humedad 22,0%

Factor Corrección: 1,140 (SAE J1349/2004) / **Momento de Inercia:** 0,105

Desde 1013 RPM a 5237 RPM

Tiempo de Aceleración: 00:23.46

Tiempo de Asentamiento: 00:37

Duración del Ensayo: 00:25

Entre 1000 RPM y 5200 RPM

Potencia máx: **89,4 CV** @ 5200 RPM

Torque máx: **12,4 Kgm** @ 4700 RPM

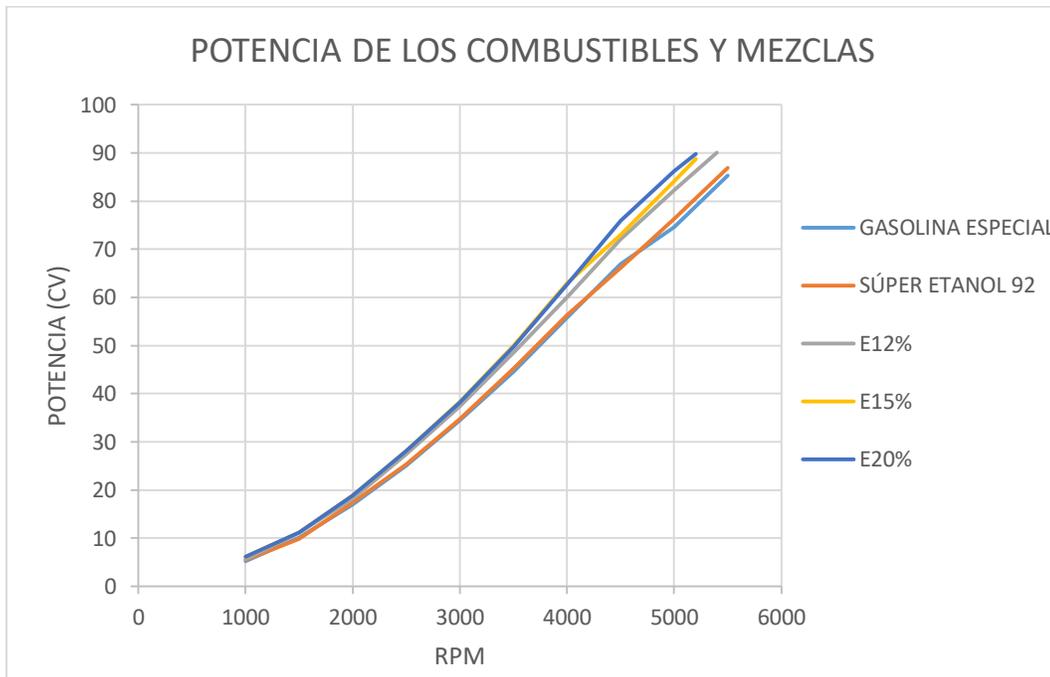
Potencia media: **43,5 CV**

Torque medio: **9,0 Kgm**

Fuente: Datos adquiridos del equipo representados en una gráfica.

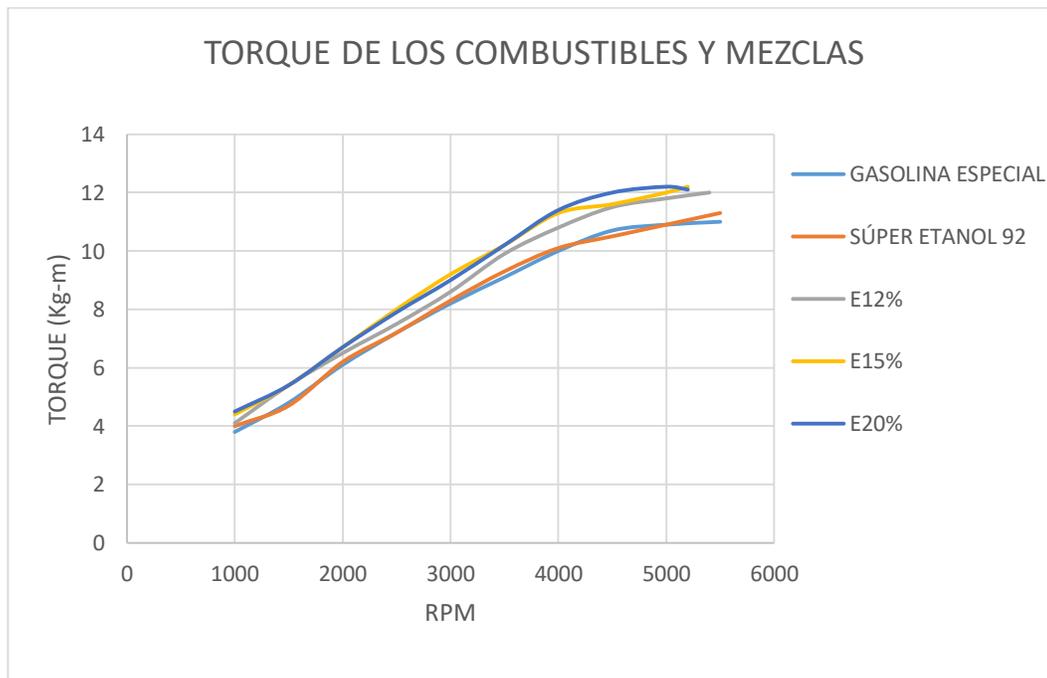
3.5.3.8. Gráficas de comparación de potencia y torque de los combustibles y mezclas.

Gráfico 13 Potencia de los combustibles y mezclas



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14 Torque de los combustibles y mezclas.



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

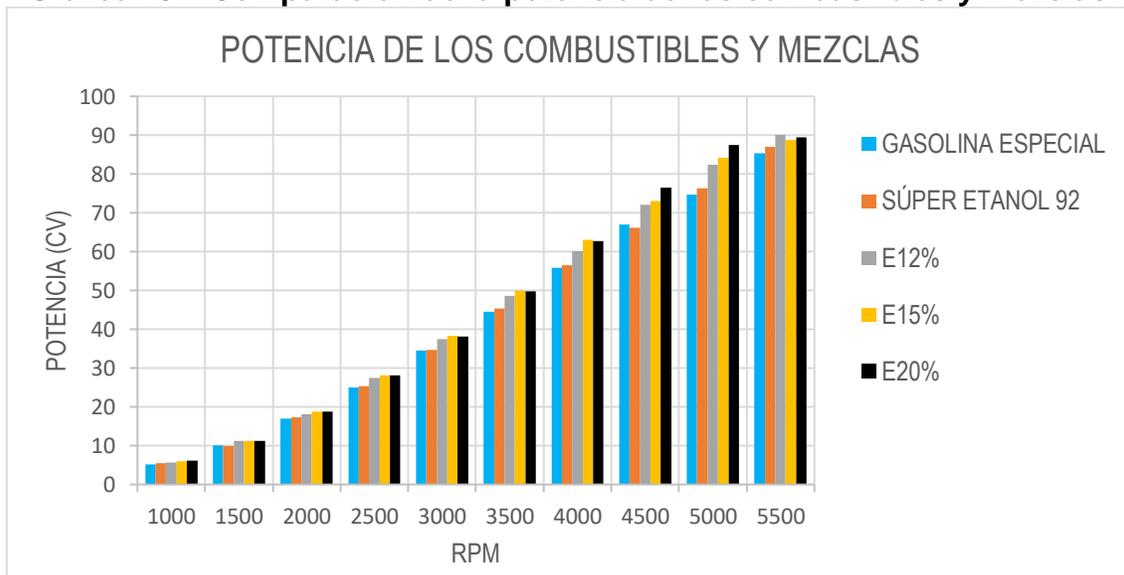
4.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.

Para comprender las diferencias que existen estadísticamente según los datos obtenidos utilizaremos el método de análisis que se basa en comprender los resultados de los ensayos realizados que obtenemos al aplicar el uso de todas las mezclas. Realizando la comparación de las mezclas respecto a la gasolina especial.

4.1.1. Variación de potencia.

De los ensayos realizados en el dinamómetro se pudo obtener la información que se muestra en el Tabla 19, en el cual observamos que existe poca variación de potencia en un rango de operación de 1000 a 5500 rpm, el combustible súper etanol 92 varía en 0,45 [CV] casi no produce mayor potencia en comparación a la gasolina especial pero si la mezcla E12 aumenta en un 3,39 [CV] la potencia en comparación a la gasolina especial, la mezcla E15 aumenta en 4,2 [CV] la mezcla E20 produce un aumento de potencia de 10 [CV] aproximadamente que muestra el gráfico 15, a 5000 rpm, mientras que a 5500 rpm no se nota un mayor aumento de la potencia en comparación a la gasolina especial.

Gráfico 15 **Comparación de la potencia de los combustibles y mezclas.**



Fuente: Elaboración de gráfico con la ficha de evaluación del dinamómetro.

Tabla 19 Variación de potencia respecto al de la gasolina especial [CV]

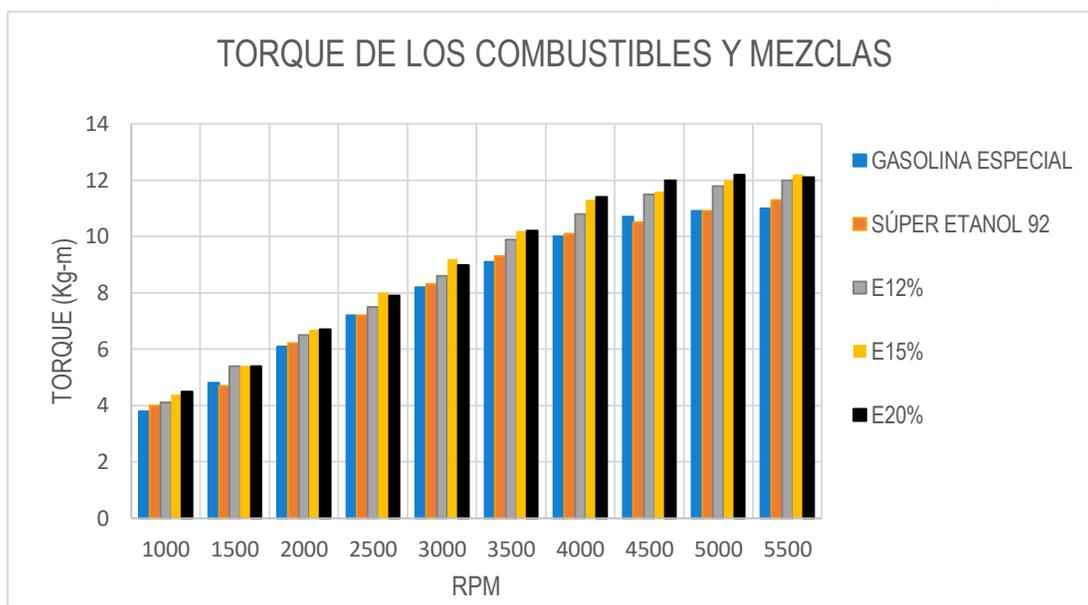
VARIACIÓN DE POTENCIA RESPECTO AL DE LA GASOLINA E0									
RPM	Gasolina Especial E0 [CV]	Súper Etanol 92 [CV]	Variación Súper Etanol 92 [CV]	Mezcla E12 [CV]	Variación E12 [CV]	Mezcla E15 [CV]	Variación E15 [CV]	Mezcla E20 [CV]	Variación E20 [CV]
1000	5,3	5,5	0,2	5,7	0,4	6,1	0,8	6,2	0,9
1500	10,1	9,9	-0,2	11,2	1,1	11,2	1,1	11,2	1,1
2000	17	17,4	0,4	18,2	1,2	18,8	1,8	18,8	1,8
2500	25,1	25,3	0,2	27,5	2,4	28,1	3	28,1	3
3000	34,5	34,7	0,2	37,4	2,9	38,3	3,8	38,1	3,6
3500	44,6	45,3	0,7	48,6	4	50	5,4	49,8	5,2
4000	55,9	56,4	0,5	60,1	4,2	63	7,1	62,7	6,8
4500	66,9	66,1	-0,8	72,1	5,2	73	6,1	75,9	9
5000	74,6	76,3	1,7	82,3	7,7	84,1	9,5	86,3	11,7
5500	85,3	86,9	1,6	90,1	4,8	88,7	3,4	89,8	4,5
		Prom.	0,45 ↑	Prom.	3,39 ↑	Prom.	4,2 ↑	Prom.	4,76 ↑

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Variación de torque.

Observamos que el torque al igual que la potencia varia en proporción mínimas empezando desde los (1000 – 5000) rpm, del combustible y las mezclas siguientes: Súper etanol 92, E12, E15 y E20 a altas rpm varía de (0,2 a 0,3)[Kg_r-m],(0,3 a 1) [Kg_r-m], (0,6 a 1,2) [Kg_r-m] y (0,7 a 1,1) [Kg_r-m] respectivamente con respecto a la gasolina especial.

Gráfico 16 **Gráfica de comparación de torque de los combustibles y mezclas**



Fuente: Elaboración de gráfico con la ficha de evaluación del dinamómetro.

Tabla 20 **Variación del torque respecto al de la gasolina [kg-m]**

VARIACIÓN DE TORQUE RESPECTO AL DE LA GASOLINA E0									
RPM	Torque Gasolina Especial E0 [Kg-m]	Torque Súper Etanol 92 [Kg-m]	Variación Súper Etanol 92 [Kg-m]	Torque Mezcla E12 [Kg-m]	Variación E12 [Kg-m]	Torque Mezcla E15 [Kg-m]	Variación E15 [Kg-m]	Torque Mezcla E20 [Kg-m]	Variación E20 [Kg-m]
1000	3,8	4	0,2	4,1	0,3	4,4	0,6	4,5	0,7
1500	4,8	4,7	-0,1	5,4	0,6	5,4	0,6	5,4	0,6
2000	6,1	6,2	0,1	6,5	0,4	6,7	0,6	6,7	0,6
2500	7,2	7,2	0	7,5	0,3	8	0,8	7,9	0,7
3000	8,2	8,3	0,1	8,6	0,4	9,2	1	9	0,8
3500	9,1	9,3	0,2	9,9	0,8	10,2	1,1	10,2	1,1
4000	10	10,1	0,1	10,8	0,8	11,3	1,3	11,4	1,4
4500	10,7	10,5	-0,2	11,5	0,8	11,6	0,9	12	1,3
5000	10,9	10,9	0	11,8	0,9	12	1,1	12,2	1,3
5500	11	11,3	0,3	12	1	12,2	1,2	12,1	1,1
		Prom,	0,07 ↑	Prom.	0,63 ↑	Prom.	0,92 ↑	Prom.	0,96 ↑

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Variación de gases contaminantes.

En lo que es contaminación existe variación en los gases (CO%) este varía según a bajas y altas rpm y al porcentaje de etanol añadido E12, E15 y E20 disminuyendo respectivamente obteniendo la gráfica de la (tabla 24) en lo que decimos que la E20 reduce un pequeño porcentaje de (CO%) respecto a la gasolina especial en los gases CO₂, HC y O₂ se mantienen casi constantes véase las tablas 23 ,24 y 25.

Tabla 21 Según norma boliviana NB 62002

Año de fabricación	Gasolina			GNV		
	CO %	HC ppm		CO %	HC ppm	
		Mayor 1800 msnm	Menor 1800 msnm		Mayor 1800 msnm	Menor 1800 msnm
Hasta 1997	6	650	600	2.5	650	600
1998 a 2004	2.5	450	400	2.5	450	400
Desde 2005	0.5	125	125	0.5	125	125

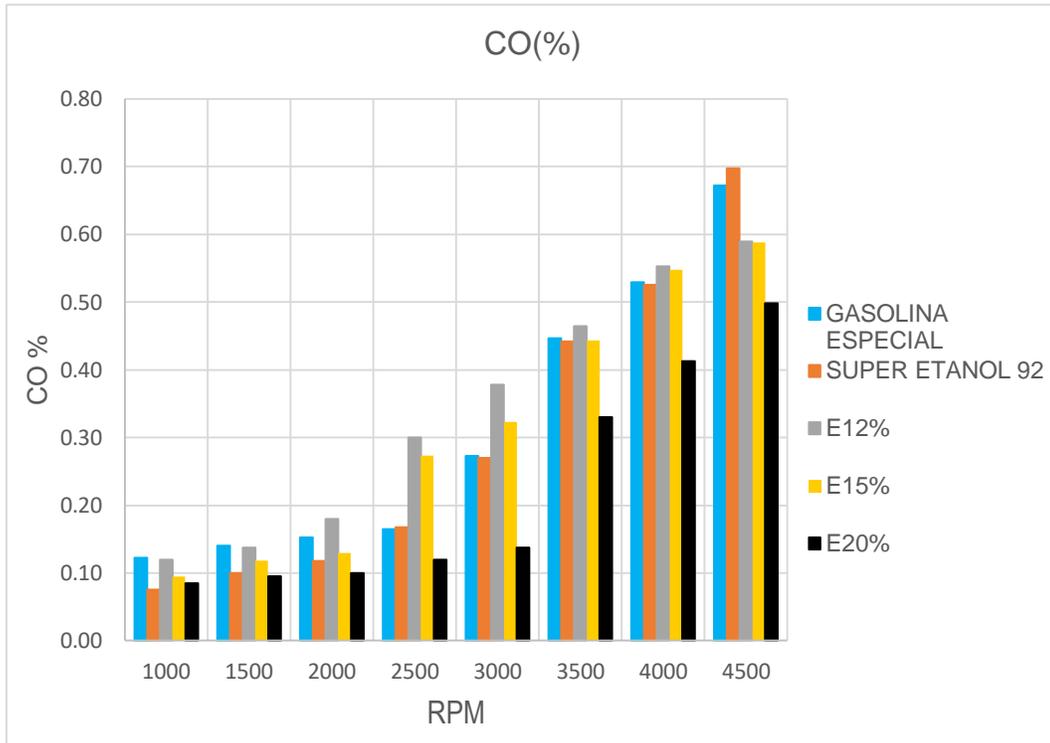
Fuente: Limite máximos permisibles de gases de escape, NB 62002.

Tabla 22 Según norma boliviana NB 62002

Gasolina			
Carburador		Inyección	
CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %
> 10.5	< 6	> 12.5	< 6

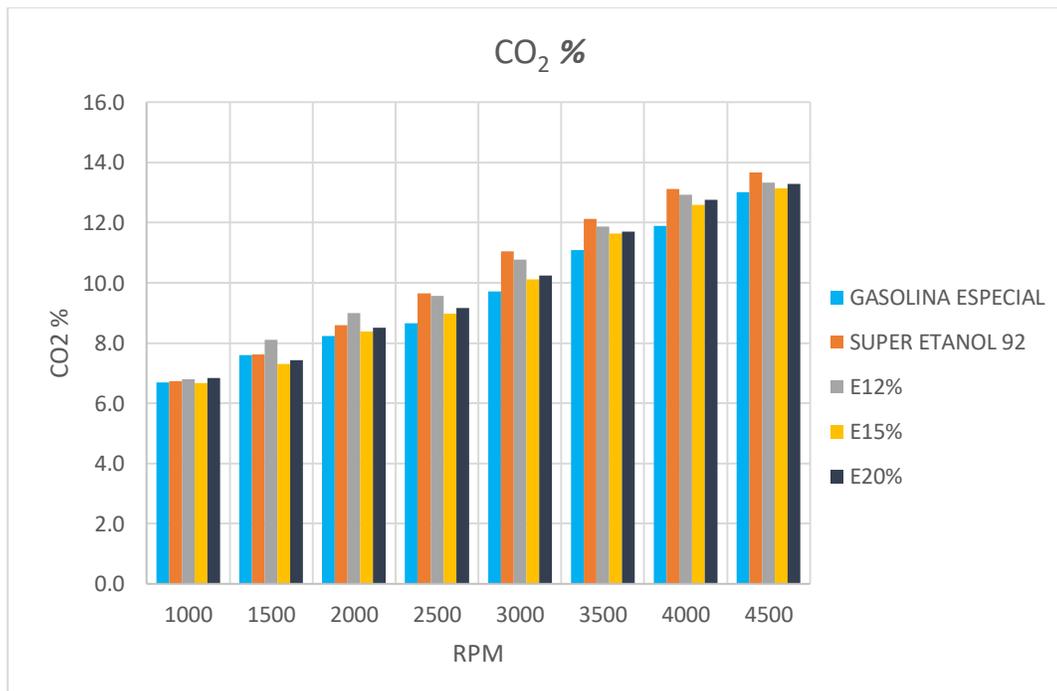
Fuente: Limite máximos permisibles de gases de escape, NB 62002.

Gráfico 17 Variación de (CO%)



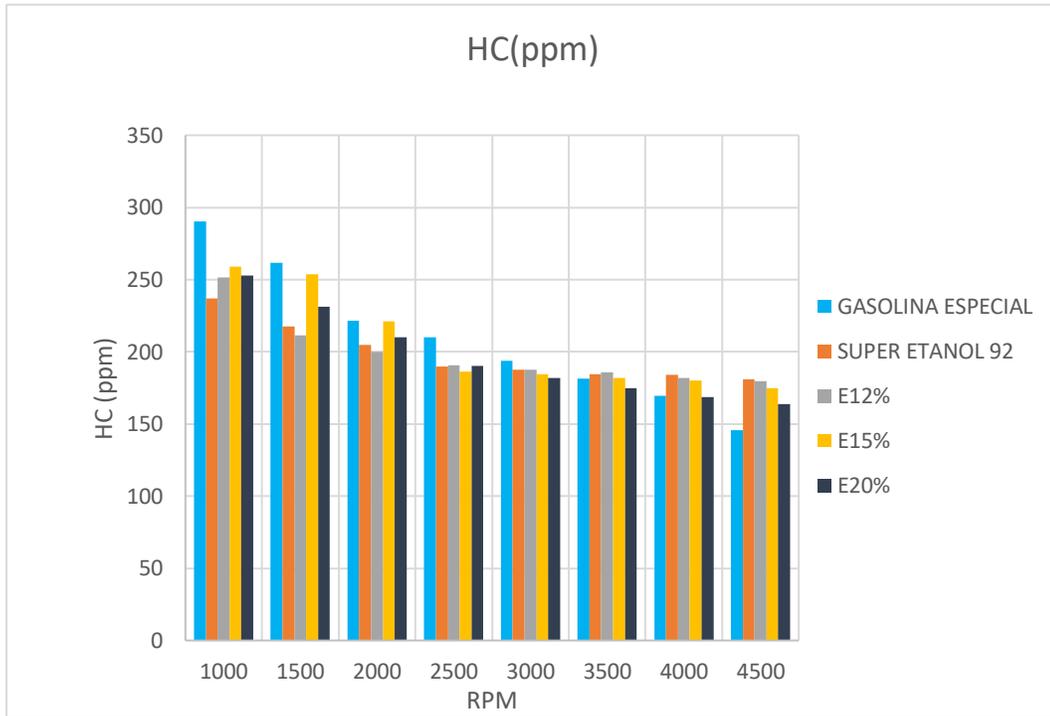
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18 Variación de (CO₂%)



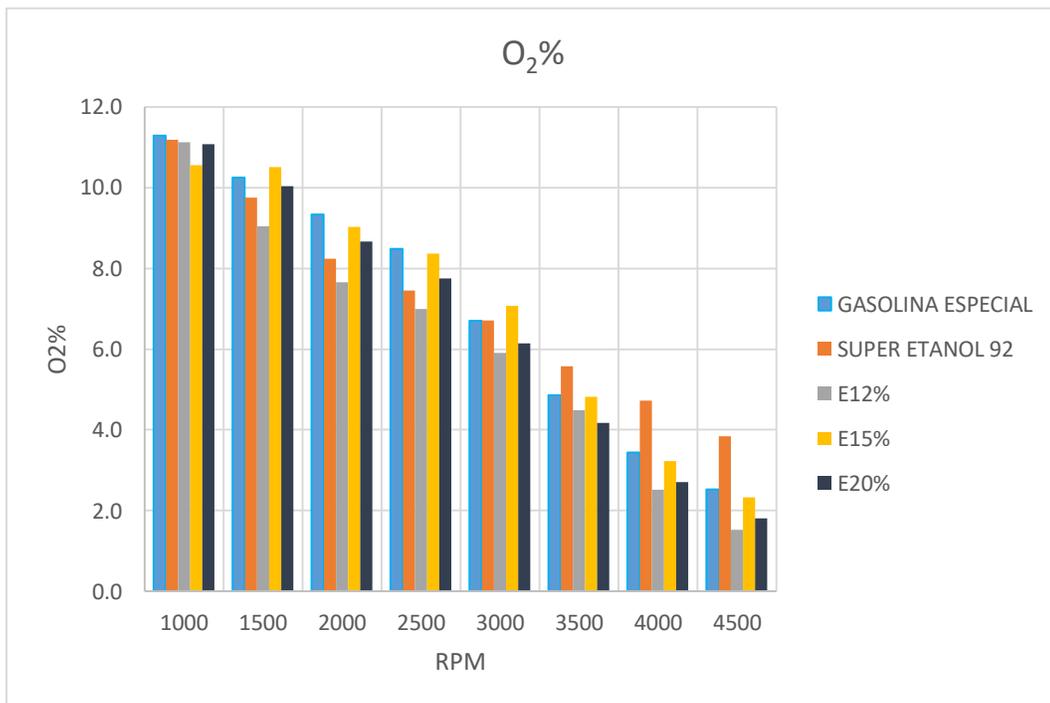
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 19 Variación de (HC(ppm))



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 20 Variación de (O₂%)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Variación de gases contaminantes en comparación a la gasolina.

MEZCLA	COMPARACION RESPECTO A LA GASOLINA			
	CO%	HC (%)	CO ₂ %	O ₂ %
Súper Etanol 92	0,013 ↓	11,049 ↓	0,71 ↑	0,074 ↑
E12	0,028 ↑	10,715 ↓	0,68 ↑	0,955 ↓
E15	0,002 ↑	4,007 ↓	0,25 ↑	0,124 ↓
E20	0,092 ↓	12,643 ↓	0,38 ↑	0,565 ↓

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Variación de potencia y torque con antecedente de otro medio y condición operativa diferente.

TABLA DE VARIACION POTENCIA – TORQUE		
País	Cuenca – Ecuador	La paz – Bolivia
Motor	Nissan Datsun J15 1976 Potencia Máxima 57Kw; 76 HP/5600rpm. Torque Máximo 86 Lbf-ft ;12kg _f -m / 3400 rpm	Toyota Corolla 5A 1996 Potencia Máxima 75 KW :100 HP/ 5600rpm Torque Máximo 138 Nm ; 102Lbf-ft 14kg _f -m/ 4400 rpm
Altitud	2250 m.s.n.m.	3650 m.s.n.m.

Tabla 24 Tablas de variación potencia y torque E0 (Cuenca).

ECUADOR RESULTADO(E0)		
n (U/Min)	Potencia (CV)	Torque (kgf.m)
2050	27,89	9,83
2200	30,32	9,95
2400	33,25	10,01
2600	35,81	9,95
2800	38,29	9,88
3000	39,47	9,5
3200	40,47	9,1
3400	41,72	8,87
3600	42,74	8,58
3800	43,27	8,22
4000	43,67	7,88
4200	43,98	7,56
4400	44,58	7,32
4600	44,87	7,05
4800	44,8	6,75
5000	44,57	6,45
5130	43,36	6,14

Fuente: Sarate y Naranjo (2011).Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador.

Tabla 25 Tablas de variación potencia y torque E15 (Cuenca).

ECUADOR RESULTADOS (E15)		
n (U/Min)	Potencia (CV)	Torque (kgf.m)
2030	28,17	10,2
2200	31,11	10,34
2400	34,02	10,3
2600	36,88	10,27
2800	39,23	10,11
3000	40,67	10,01
3200	42,44	9,53
3400	44,49	9,38
3600	46,1	9,16
3800	47,77	8,99
4000	48,55	8,66
4200	48,45	8,22
4402	46,95	7,6
4600	46,59	7,2
4705	46,9	7,08

Fuente: Sarate y Naranjo (2011).Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador.

Tabla 26 Tablas de variación potencia y torque E20 (Cuenca)

RESULTADO (E20)		
n (U/Min)	Potencia (CV)	Torque (kgf.m)
2015	27,74	10,02
2200	30,83	10,16
2400	33,58	10,12
2600	36,38	10,09
2800	38,75	9,96
3000	40,64	9,73
3200	42,36	9,49
3400	44,32	9,33
3600	45,97	9,13
3800	49,16	9,24
4000	51,16	9,12
4200	50,28	8,53
4400	48,66	7,89
4580	47,45	7,39

Fuente: Sarate y Naranjo (2011). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador.

Tabla 27 Variación de potencia respecto al de la gasolina E0 (La Paz).

VARIACIÓN DE POTENCIA RESPECTO AL DE LA GASOLINA E0									
RPM	Gasolina Especial [CV]	Súper Etanol 92 [CV]	Variación Súper Etanol 92 [CV]	Mezcla E12 [CV]	Variación E12 [CV]	Mezcla E15 [CV]	Variación E15 [CV]	Mezcla E20 [CV]	Variación E20 [CV]
1000	5,3	5,5	0,2	5,7	0,4	6,1	0,8	6,2	0,9
1500	10,1	9,9	-0,2	11,2	1,1	11,2	1,1	11,2	1,1
2000	17	17,4	0,4	18,2	1,2	18,8	1,8	18,8	1,8
2500	25,1	25,3	0,2	27,5	2,4	28,1	3	28,1	3
3000	34,5	34,7	0,2	37,4	2,9	38,3	3,8	38,1	3,6
3500	44,6	45,3	0,7	48,6	4	50	5,4	49,8	5,2
4000	55,9	56,4	0,5	60,1	4,2	63	7,1	62,7	6,8
4500	66,9	66,1	-0,8	72,1	5,2	73	6,1	75,9	9
5000	74,6	76,3	1,7	82,3	7,7	84,1	9,5	86,3	11,7
5500	85,3	86,9	1,6	90,1	4,8	88,7	3,4	89,8	4,5
		Prom.	0,45 ↑	Prom.	3,39 ↑	Prom.	4,2 ↑	Prom.	4,76 ↑

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Variación de torque respecto al de la gasolina E0 (La Paz).

VARIACIÓN DE TORQUE RESPECTO AL DE LA GASOLINA E0											
RPM	Torque Gasolina Especial [Kg·m]	Torque Súper Etanol 92 [Kg·m]	Variación Súper Etanol 92 [Kg·m]	Torque Mezcla E12 [Kg·m]	Variación E12 [Kg·m]	Torque Mezcla E15 [Kg·m]	Variación E15 [Kg·m]	Torque Mezcla E20 [Kg·m]	Variación E20 [Kg·m]		
1000	3,8	4	0,2	4,1	0,3	4,4	0,6	4,5	0,7		
1500	4,8	4,7	-0,1	5,4	0,6	5,4	0,6	5,4	0,6		
2000	6,1	6,2	0,1	6,5	0,4	6,7	0,6	6,7	0,6		
2500	7,2	7,2	0	7,5	0,3	8	0,8	7,9	0,7		
3000	8,2	8,3	0,1	8,6	0,4	9,2	1	9	0,8		
3500	9,1	9,3	0,2	9,9	0,8	10,2	1,1	10,2	1,1		
4000	10	10,1	0,1	10,8	0,8	11,3	1,3	11,4	1,4		
4500	10,7	10,5	-0,2	11,5	0,8	11,6	0,9	12	1,3		
5000	10,9	10,9	0	11,8	0,9	12	1,1	12,2	1,3		
5500	11	11,3	0,3	12	1	12,2	1,2	12,1	1,1		
Prom,			0,07 ↑	Prom.		0,63 ↑	Prom.		0,92 ↑	Prom.	0,96 ↑

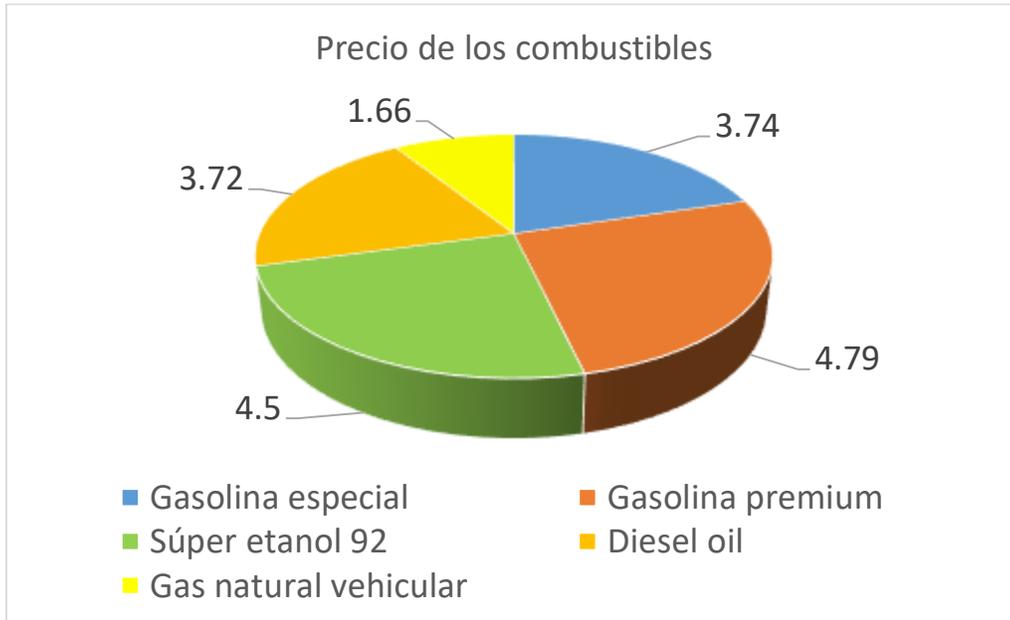
Fuente: Elaboración propia.

4.2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA.

La preocupación del gobierno es el crecimiento del producto interno bruto ofrecer mayor demanda de hidrocarburos a los demás países usando la materia prima que hay en Bolivia haciendo que la economía de Bolivia incremente gracias al sector agropecuario y al manufacturero, que demandan gran cantidad de mano de obra.

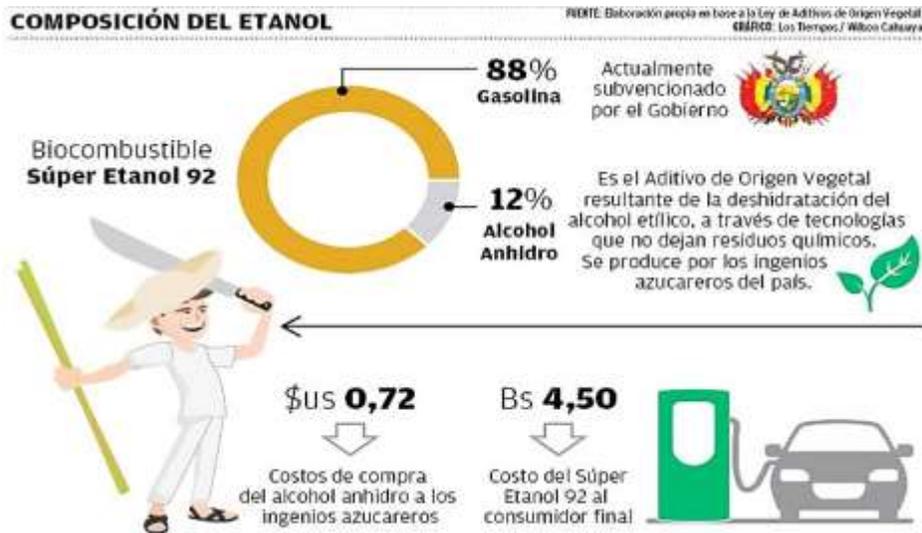
En cuanto a los precios por el momento el costo del nuevo combustible súper etanol 92 es de 4,50 bs/lit (Ver figura 41) a diferencia de la gasolina especial que tiene un costo de 3,74 bs/lit. (Ver gráfico 21). Con una demasía de costo de 0.76 bs/lit a diferencia de la gasolina especial con lo que respectan los resultados debido a que no existen variaciones notables a comparación de la gasolina especial por el cual decimos que es por el tema de subvención. El gobierno quiere reducir subvención con importación de crudo para producir la gasolina en Bolivia.

Gráfico 21 **Precio de los combustibles en Bolivia.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 41 **Composición y precio del súper etanol 92**



Fuente: En base a la ley de aditivos de origen vegetales recuperado por. <https://www.lostiempos.com/actualidad/economia/20181113>.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con la puesta a punto del motor Toyota 5A logramos verificar y corregir las deficiencias mecánicas del motor obteniendo una mejor eficiencia de trabajo y listo para ser sometido a pruebas.
- Los principales parámetros que definen la capacidad de un motor son la potencia y el torque, indicando su desempeño. En las pruebas de potencia realizada, con el uso de las mezclas de combustibles observamos que la potencia se mantiene constante de los diferentes tipos de mezclas gasolina etanol con relación a la gasolina especial, excepto con la mezcla E20 notamos un incremento de 11,7 [CV] a 5000 rpm en comparación a la gasolina especial.
- El combustible súper etanol 92 comercializado en comparación a la gasolina especial no presenta gran diferencia en cuanto a potencia.
- En lo que respecta al torque no existe notables diferencias de incremento debido que los valores son casi constantes en todas las pruebas, excepto con la mezcla E20 notamos un pequeño incremento de 1,3 [Kg·m] a 5000 rpm en comparación a la gasolina especial.
- Si bien los biocombustibles pueden emitir menos gases nocivos al combustionar, ya sea en mezclas porcentuales con la gasolina. El estudio muestra que el porcentaje de reducción de los CO disminuye en la mezcla E20 de 0,092 % en comparación de la gasolina especial, las emisiones en las demás mezclas no tienen gran variación.
- El combustible súper etanol 92 emite un 0,05% menos de CO a bajas rpm y en altas rpm incrementa 0,002% en comparación a la gasolina especial.
- Las pruebas realizadas corroboraron que el etanol es un buen potenciador del octanaje, en las muestras estudiadas el número de octano reportado aumentó con la adición de etanol E12, E15 y E20 en base a la gasolina especial que contiene E8

- Se puede ver claramente según los resultados obtenidos que no existe un aumento considerable de potencia en el funcionamiento del motor cuando se utilizan diferentes mezclas de gasolina – etanol, esto debido a que si bien el etanol mejora el octanaje del combustible, pero su poder calorífico es inferior al de la gasolina por lo cual esto no ayuda a aumentar la energía producida en el proceso de combustión lo cual genera la potencia del motor.
- Por medio de un análisis investigativo y práctico logramos obtener mezclas de gasolina con etanol en diferentes proporciones elaboradas en el laboratorio, sin causar daños a los elementos del motor.
- También se realizó la mezcla con E12 que según tabla de especificación del combustible Súper Etanol 92 tendría 12% de etanol y los resultados que se muestran en la tabla 19 y tabla 20 mostrando una diferencia en potencia y torque de (1000 a 5000) rpm del combustible Súper Etanol 92 es de (-0,2 a 1,6) [CV] (0,2 a 0,3) [Kg_f-m] y de la mezcla E12 es de (0,4 a 4,8) [CV] (0,3 a 1)[Kg_f-m] respectivamente a comparación de la gasolina especial.
- No se evidencian registros de datos reales ensayados en vehículos en algún otro proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuros proyectos se puedan realizar un cambio de relación de compresión cepillando la culata, u otros motores con características diferentes a fin de notar la ventaja del aumento de octanaje al utilizar diferentes mezclas de combustible gasolina - etanol.
- Verificar el porcentaje de etanol de la mezcla de combustible comercializado por yacimientos, ya que se pudo evidenciar que se realiza una mezcla nada precisa por lo que el porcentaje de octanaje de algunas estaciones de servicio varían entre sí.
- Considerar la recomendación de los fabricantes del automóvil, es no utilizar grandes concentraciones de etanol en la gasolina debido a que la gran mayoría

de los motores no están diseñados para su funcionamiento por que provocarían daños a componentes del sistema de alimentación de combustible.(Anexo 3)

- Con los resultados obtenidos podemos decir que la mejor mezcla a utilizar en este tipo de motor es la E20. Con esta concentración hay un incremento en la potencia y los gases emitidos al medio ambiente se mantienen al igual que los demás combustibles.

BIBLIOGRAFÍA

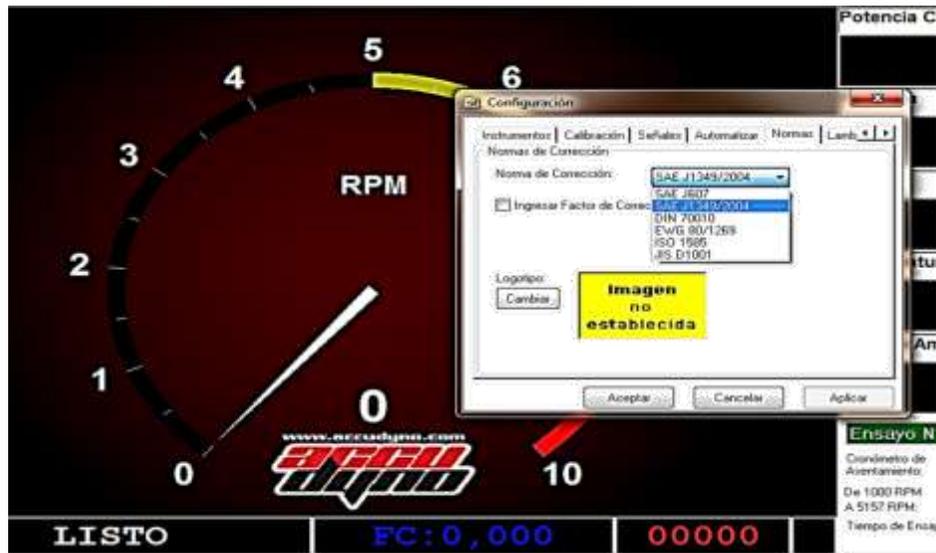
- 1098, L. N. (15 de Septiembre de 2018). Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia . *Artículo 2* , pág. 2.
- Cardona, J. F. (28 de Septiembre de 2017). *Motores e Inyección Electrónica*. Obtenido de WWW.MECANICOAUTOMOTRIZ.ORG.
- CEPAL, N. (2006). *Especificaciones de la calidad del etanol carburante y del gasohol (mezcla de gasolina y etanol) y normas técnicas para la infraestructura*. Mexico: CEPAL.
- Fisicoquimicas, E. d. (2002). *Jaime Torres; Daniel Molina ; Carlos Pinto ; Fernando Rueda*. Colombia: F. Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 2.
- Galvão, A. M. (2008). *Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: 1° edicion.
- Guerrero, I. S. (2012). *Biocombustibles: Conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol*. Perú: Tesis de Editorial Perú.
- Jójvaj, M. S. (1982). *Motores del automóvil*. Lima-Perú: MIR-MOSCÚ.
- Neumeyer, F. (20 de 09 de 2017). *SANTA CRUZ ECONÓMICA DIGITAL*. Obtenido de www.santacruzecomomico.com.bo.
- Osinergmin. (2010). *Boletín Informativo trimestral* . Perú: OSINERGMIN.
- Pérez, R. (2013). Contaminación Atmosférica. *Contraloría General del Estado*, 14.
- Roca, M. (Jueves 1 de Noviembre de 2018). Súper Etanol 92 entra al mercado boliviano y costará Bs 4,50. *El Deber*, pág. <https://www.eldeber.com.bo>.
- Rodríguez, J. (28 de Septiembre de 2012). Tierra y Derecho observatorio de los derechos sobre la tierra en el Perú. *Red de Observatorio de la Tierra*.
- Vásquez, J. A. (jueves 22 de marzo de 2018). El Instituto del Tórax informó que el 60% de los 234 pacientes con cáncer de pulmón adquirieron el mal por la inhalación de los gases vehiculares. *Red MoniCa: Carros producen el 80% de la contaminación urbana*.

ANEXOS

ANEXO 1 Solicitud de información de características técnicas a YPFB.



ANEXO 2 Normas de configuración del sistema accudyno.



ANEXO 3 Manual de usuario Nissan.

INFORMACIÓN SOBRE GASOLINERA

COMBUSTIBLE RECOMENDADO:

Use gasolina normal sin plomo con un octanaje de al menos 87 AKI (Índice antidetonante) (número de octanos de ensayo 91).

PRECAUCIÓN

- El uso de un combustible distinto del especificado puede afectar de manera adversa al sistema de control de emisiones y la cobertura de la garantía.
- Bajo ninguna circunstancia se debe usar gasolina con plomo, ya que daña el catalizador de tres vías.
- No use combustible E-85 en el vehículo. El vehículo no está diseñado para funcionar con combustible E-85. El uso de combustible E-85 puede dañar los componentes del sistema de combustible y no está cubierto por la garantía limitada para vehículos nuevos NISSAN.

Si desea más información, consulte "Capacidades y combustible/lubricantes recomendados" en la sección "Información técnica para el consumidor".

ACEITE DEL MOTOR RECOMENDADO:

Motor VQ40DE

- Marca de certificación API
- Grado API SL, conservador de energía
- Grado ILSAC GF-III
- Viscosidad SAE 10W-30
- Viscosidad SAE 5W-30

Consulte "Número de viscosidad SAE recomendado" en la sección "Información técnica para el consumidor" de este manual.

PRESIÓN DE LAS LLANTAS EN FRÍO:

Consulte la etiqueta de las llantas.

La etiqueta generalmente está situada en el pilar central del lado del conductor. Para obtener más información, consulte "Ruedas y llantas" en la sección "Mantenimiento y recomendaciones preventivas".

PROCEDIMIENTO DEL PERIODO DE ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VEHÍCULOS NUEVOS:

Durante los primeros 2,000 km (1,200 millas) de uso del vehículo, siga las recomendaciones descritas en la información del "Programa de asentamiento" de la sección "Arranque y conducción" de este manual. Siga estas recomendaciones para la confiabilidad y el ahorro futuros de este vehículo nuevo. Si no las sigue, se pueden provocar daños en el vehículo o acortar la vida útil del motor.

Fuente: Manual de usuario vehículos NISSAN.

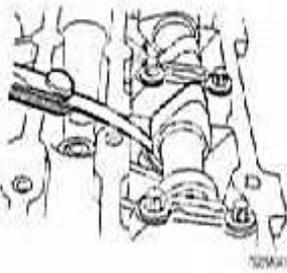
ANEXO 4 Poder calorífico de las principales fuentes energéticas.

Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas						
Tipo de combustible	PCI (kJ/kg)	PCI (kWh/kg)	PCI (cal/kg)	PCI (Btu/lb)	PCI (segundos de HRC)	PCS (cal/m ³)
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo crudo	42.75	11.82	19.150	1.959	
	Materias primas de refinación	50.89	14.08	22.550	2.303	
	MLP	45.99	12.75	19.990	2.040	
	Propano	46.20	12.83	11.063	1.196	81.27
	Gasoleno	44.76	12.44	19.723	2.023	119.48
	Gasoleno	42.89	11.91	19.210	1.970	21.300
	Gasolina	43.89	12.19	19.510	1.981	0.6544
	Gasolina aviación	43.99	12.19	19.510	1.981	0.7337
	Gasoleno autovehículo	42.47	11.80	19.170	1.970	0.6407
	Otros gasoleros	42.47	11.80	19.170	1.970	
	Fuelóleo	39.88	11.06	9.550	0.950	
	Alquitran	39.88	11.06	9.550	0.950	
	Nafta	43.89	12.19	19.510	1.981	
	Lubricantes	39.88	11.06	9.550	0.950	
	Coque de petróleo	31.00	8.60	7.840	0.784	
COIL	45.10	12.53	19.800	2.000		
Gases	Gas natural	50.00	13.89	11.973	1.197	81.274
	Etileno	47.51	13.20	11.260	1.126	
	Gas de refinación	45.36	12.57	11.820	1.182	
	Gas de coque					19.01
	Gas de alto horno					2.66
	Biogás en general					21.77
	Biogás pobre					15.51
	Biogás de vertedero					30
	Biogás de depuradora					28
	Biogás de 500 metros					6.507
Carbones	Antracita eléctrica	19.23	5.34	4.234	0.4234	
	Antracita industrial	24.40	6.78	5.829	0.5829	
	Antracita otros sectores de consumo final	26.10	7.25	6.235	0.6235	
	Hulla eléctrica	22.00	6.28	5.299	0.5299	
	Hulla residencial	26.55	7.37	6.059	0.6059	
	Hulla otros hornos	26.55	7.37	6.059	0.6059	
	Hulla industrial	24.10	6.69	5.757	0.5757	
	Hulla otros sectores de consumo final	26.86	7.46	6.417	0.6417	
	Carbón subbituminoso	13.37	3.71	3.194	0.3194	
	Lignito	13.34	3.71	3.194	0.3194	
	Coque de coque	26.86	7.46	6.417	0.6417	
	Alquitran de coque	30.00	8.33	7.185	0.7185	
	Biomasa en general	14.12	3.92	3.382	0.3382	
	Leña y raras	16.87	4.67	3.896	0.3896	
	Leñas de pino	16.84	4.66	3.891	0.3891	
Leñas de pino y cultivos agrícolas	16.84	4.66	3.891	0.3891		
Leñas de otros y cultivos agrícolas	16.79	4.65	3.886	0.3886		
Cortizas	16.24	4.53	3.850	0.3850		
Asfín de pino triturado (humedad <20%)	15.07	4.19	3.488	0.3488		
Residuos de paja	15.66	4.35	3.735	0.3735		
Otros residuos forestales	13.82	3.84	3.330	0.3330		
Biomasa de la industria forestal	14.00	3.90	3.497	0.3497		
Biomasa agrícola	17.53	4.85	4.090	0.4090		
Semilleros de vid	17.70	4.90	4.208	0.4208		
Residuos de uva	17.57	4.87	4.193	0.4193		
Huesos de aceituna	16.72	4.65	3.886	0.3886		
Orujo	16.79	4.66	3.891	0.3891		
Orujo de uva	16.53	4.59	3.849	0.3849		
Cascaros de frutos secos	16.40	4.50	3.778	0.3778		
Cascaros de cereales	15.75	4.35	3.650	0.3650		
Cáscara de almendra (humedad <20%)	15.90	4.42	3.684	0.3684		
Paja de cereales	13.20	3.67	3.180	0.3180		
Zorro de maíz (humedad <20%)	16.24	4.53	3.850	0.3850		
Otros residuos agrícolas	13.82	3.84	3.330	0.3330		
Peso de café	20.14	5.59	4.590	0.4590		
Marro de café	25.06	6.96	5.800	0.5800		
Residuo molinero de café	8.14	2.26	1.950	0.1950		
Palleta en general	16.45	4.57	3.849	0.3849		
Palleta de madera (humedad <16%)	16.04	4.48	3.734	0.3734		
Carbón vegetal	16.87	4.67	3.891	0.3891		
Biorrefractarios	Bioetanol	26.93	7.48	6.449	0.6449	0.5591
	Bioetanol	36.90	10.25	8.807	0.8807	0.7682

Fuente: Tablas de poder calorífico, *Recopilado por*.

https://ingemecanica.com/poder_calorifico.html#tabla1

ANEXO 5 Parámetros de calibración de válvulas.



Shim No.	Thickness	Shim No.	Thickness
02	2.500 (0.0984)	20	2.950 (0.1161)
04	2.550 (0.1004)	22	3.000 (0.1181)
06	2.600 (0.1024)	24	3.050 (0.1201)
08	2.650 (0.1043)	26	3.100 (0.1220)
10	2.700 (0.1063)	28	3.150 (0.1240)
12	2.750 (0.1083)	30	3.200 (0.1260)
14	2.800 (0.1102)	32	3.250 (0.1280)
16	2.850 (0.1122)	34	3.300 (0.1299)
18	2.900 (0.1142)		

Exhaust valve clearance (cold):

0.20 – 0.30 mm (0.008 – 0.012 in.)

Example: A 2.800 mm shim is installed
and the measured clearance

Fuente: Manual de reparación TOYOTA.

ANEXO 6 Evaluación potencia y torque GASOLINA ESPECIAL

RPM	Torque Corr[Kgm]	Potencia Corr[CV]	RPM Motor (M)[RPM]
1000	3,8	5,3	1000
1100	4,1	6,2	1100
1200	4,3	7,1	1200
1300	4,4	8,0	1300
1400	4,6	8,9	1400
1500	4,8	10,1	1500
1600	5,0	11,2	1600
1700	5,3	12,6	1700
1800	5,6	14,1	1800
1900	5,9	15,6	1900
2000	6,1	17,0	2000
2100	6,3	18,4	2100
2200	6,5	19,8	2200
2300	6,7	21,5	2300
2400	6,9	23,3	2400
2500	7,2	25,1	2500
2600	7,4	26,8	2600
2700	7,6	28,7	2700
2800	7,8	30,4	2800
2900	8,0	32,5	2900
3000	8,2	34,5	3000
3100	8,4	36,5	3100
3200	8,6	38,4	3200
3300	8,8	40,5	3300
3400	9,0	42,8	3400
3500	9,1	44,6	3500
3600	9,3	46,9	3600
3700	9,6	49,3	3700
3800	9,6	51,2	3800
3900	9,8	53,4	3900

4000	10,0	55,9	4000
4100	10,0	57,5	4100
4200	10,2	59,9	4200
4300	10,3	62,0	4300
4400	10,4	63,9	4400
4500	10,7	66,9	4500
4600	10,7	68,9	4600
4700	10,7	69,9	4700
4800	10,7	71,6	4800
4900	10,7	73,2	4900
5000	10,7	74,6	5000
5100	10,9	77,3	5100
5200	10,9	79,3	5200
5300	11,0	81,3	5300
5400	11,0	83,0	5400
5500	11,1	85,3	5500

Fuente: *Sistema de Adquisición de Datos AccuDyno desarrollado por www.iccode.com.ar.*

ANEXO 7 Evaluación potencia y torque SUPER ETANOL 92.

RPM	Torque Corr[Kgm]	Potencia Corr[CV]	RPM Motor (M)[RPM]
1000	4,0	5,5	1000
1100	4,2	6,4	1100
1200	4,4	7,4	1200
1300	4,5	8,2	1300
1400	4,5	8,9	1400
1500	4,7	9,9	1500
1600	5,1	11,4	1600
1700	5,5	13,1	1700
1800	5,8	14,5	1800
1900	6,0	15,9	1900
2000	6,2	17,4	2000
2100	6,4	18,9	2100
2200	6,6	20,3	2200
2300	6,9	22,0	2300
2400	7,0	23,6	2400
2500	7,2	25,3	2500
2600	7,5	27,2	2600
2700	7,7	29,0	2700
2800	7,9	30,9	2800
2900	8,1	32,8	2900
3000	8,3	34,7	3000
3100	8,5	36,6	3100
3200	8,7	38,7	3200
3300	8,9	40,8	3300
3400	9,1	43,2	3400
3500	9,3	45,5	3500
3600	9,4	47,5	3600
3700	9,6	49,7	3700
3800	9,7	51,6	3800
3900	9,9	54,0	3900
4000	10,1	56,4	4000
4100	10,3	58,7	4100
4200	10,4	60,8	4200
4300	10,6	63,8	4300
4400	10,6	65,1	4400
4500	10,5	66,1	4500
4600	10,6	67,8	4600
4700	10,7	70,5	4700
4800	10,8	72,7	4800

4900	10,9	74,6	4900
5000	10,9	76,3	5000
5100	11,0	78,3	5100
5200	11,0	80,1	5200
5300	11,2	82,6	5300
5400	11,2	84,7	5400
5500	11,3	86,9	5500

Fuente: [Sistema de Adquisición de Datos AccuDyno desarrollado por www.iccode.com.ar](http://www.iccode.com.ar).

ANEXO 8 Evaluación potencia y torque E12.

RPM	Torque Corr[Kgm]	Potencia Corr[CV]	RPM Motor (M)[RPM]
1000	4,1	5,7	1000
1100	4,4	6,8	1100
1200	4,6	7,7	1200
1300	4,7	8,5	1300
1400	5,0	9,7	1400
1500	5,4	11,2	1500
1600	5,7	12,8	1600
1700	6,0	14,2	1700
1800	6,1	15,4	1800
1900	6,3	16,6	1900
2000	6,5	18,3	2000
2100	6,9	20,1	2100
2200	7,1	21,8	2200
2300	7,3	23,5	2300
2400	7,5	25,2	2400
2500	7,9	27,5	2500
2600	7,9	28,8	2600
2700	8,2	30,9	2700
2800	8,5	33,3	2800
2900	8,8	35,4	2900
3000	8,9	37,4	3000
3100	9,1	39,5	3100
3200	9,3	41,5	3200
3300	9,5	43,8	3300
3400	9,7	46,1	3400
3500	9,9	48,6	3500
3600	10,1	50,9	3600
3700	10,2	52,9	3700
3800	10,4	55,4	3800
3900	10,6	57,8	3900
4000	10,8	60,1	4000
4100	11,0	63,0	4100
4200	11,0	64,8	4200
4300	11,2	67,0	4300
4400	11,2	68,8	4400
4500	11,5	72,1	4500
4600	11,6	74,5	4600
4700	11,4	74,9	4700
4800	11,5	77,4	4800
4900	11,6	79,5	4900

5000	11,8	82,3	5000
5100	11,8	83,7	5100
5200	11,8	85,8	5200
5300	11,9	88,1	5300
5400	12,0	90,1	5400

Fuente: *Sistema de Adquisición de Datos AccuDyno desarrollado por www.iccode.com.ar.*

ANEXO 9 Evaluación potencia y torque E15.

RPM	Torque Corr[Kgm]	Potencia Corr[CV]	RPM Motor (M)[RPM]
1000	4,4	6,1	1000
1100	4,5	7,0	1100
1200	4,8	8,1	1200
1300	4,9	8,9	1300
1400	5,0	9,8	1400
1500	5,4	11,2	1500
1600	5,8	12,9	1600
1700	6,0	14,3	1700
1800	6,2	15,6	1800
1900	6,5	17,3	1900
2000	6,7	18,8	2000
2100	6,9	20,3	2100
2200	7,3	22,3	2200
2300	7,6	24,4	2300
2400	7,9	26,4	2400
2500	8,0	28,1	2500
2600	8,2	29,7	2600
2700	8,4	31,7	2700
2800	8,7	33,9	2800
2900	8,9	36,0	2900
3000	9,2	38,3	3000
3100	9,4	40,6	3100
3200	9,6	42,9	3200
3300	9,8	45,2	3300
3400	10,1	47,8	3400
3500	10,2	50,0	3500
3600	10,5	52,7	3600
3700	10,7	55,2	3700
3800	10,8	57,4	3800
3900	11,1	60,4	3900
4000	11,3	63,0	4000
4100	11,5	66,1	4100
4200	11,6	68,1	4200
4300	11,4	68,7	4300
4400	11,5	70,4	4400
4500	11,6	73,0	4500
4600	11,8	75,5	4600
4700	11,9	77,8	4700
4800	12,0	80,2	4800
4900	12,0	81,9	4900
5000	12,0	84,1	5000

5100	12,2	86,9	5100
5200	12,2	88,7	5200

Fuente: [Sistema de Adquisición de Datos AccuDyno desarrollado por www.iccode.com.ar](http://www.iccode.com.ar).

ANEXO 10 Evaluación potencia y torque E20.

RPM	Torque Corr[Kgm]	Potencia Corr[CV]	RPM Motor (M)[RPM]
1000	<u>4,5</u>	<u>6,2</u>	<u>1000</u>
1100	4,7	7,2	1100
1200	4,9	8,2	1200
1300	5,0	9,1	1300
1400	5,2	10,1	1400
1500	5,4	11,2	1500
1600	5,6	12,6	1600
1700	5,9	14,0	1700
1800	6,2	15,6	1800
1900	6,5	17,2	1900
2000	6,7	18,8	2000
2100	6,9	20,3	2100
2200	7,2	22,0	2200
2300	7,5	24,1	2300
2400	7,8	26,2	2400
2500	8,0	28,1	2500
2600	8,2	29,9	2600
2700	8,4	31,8	2700
2800	8,6	33,8	2800
2900	8,8	35,6	2900
3000	9,1	38,1	3000
3100	9,3	40,3	3100
3200	9,5	42,4	3200
3300	9,7	44,9	3300
3400	9,9	47,2	3400
3500	10,2	49,8	3500
3600	10,4	52,2	3600
3700	10,5	54,4	3700
3800	10,7	57,0	3800
3900	11,0	60,0	3900
4000	11,2	62,7	4000
4100	11,5	65,5	4100
4200	11,6	67,9	4200
4300	11,7	70,3	4300
4400	11,9	73,2	4400
4500	12,2	76,4	4500
4600	12,3	78,8	4600
4700	12,4	81,6	4700
4800	12,3	82,3	4800
4900	12,3	83,4	4900
5000	12,2	85,2	5000
5100	12,2	87,5	5100
5200	12,1	89,8	5200

Fuente: [Sistema de Adquisición de Datos AccuDyno desarrollado por www.iccode.com.ar](http://www.iccode.com.ar).

ANEXO 11 Fotografías de taller

