

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

EFFECTOS DE LA COMPOSICIÓN DE MEZCLAS
GASOLINA - ALCOHOL EN UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA

FRANCISCO JOSÉ RUIZ MUÑOZ

SANTIAGO – CHILE
2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**EFFECTOS DE LA COMPOSICIÓN DE MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL
EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

**EFFECTS OF THE COMPOSITION OF MIXTURES GASOLINE - ALCOHOL
IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE.**

Francisco José Ruiz Muñoz

Santiago, Chile
2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**EFECTOS DE LA COMPOSICIÓN DE MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL
EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Memoria para optar al título profesional
de Ingeniero Agrónomo.
Mención: Producción Animal

Francisco José Ruiz Muñoz

PROFESOR GUÍA	Calificaciones
Sr. Ian Homer B. Dr. Ingeniero Agrónomo	6,9
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Misael Gutiérrez D. Ingeniero Mecánico, M. Sc.	6,5
Sra. Ljubica Galletti G. Ingeniero Agrónomo.	6,5

Santiago, Chile
2007

Dedicado con mucho cariño a mamá, Santa Corita, tía Cecilia
y a la Comunidad Científica Internacional.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que, directa o indirectamente, me han aguantado durante estos añitos. A mis amigos de la U, los búfalos mojados (pops, canario, roger, pacheco, roquita y tantos otros), con quienes me tomé la vida como se debe, con harinita por la mañana y con destilao por la tarde. También a sus familias, en especial a los gorditos quienes me adoptaron al ver que era cabro de campo (pero no de las chacras).

También al doc Ian, que aunque siempre le entendí menos de la mitad de lo que decía, siempre tuvo la paciencia de repetirlo unas siete veces. Todas las personas del taller de maquinaria, ya que sin ellos no hubiese podido montar el dichoso banco de pruebas, los otros tesistas; la tía Eve, Patrick y Miss Villa Alegre (J. S.).

Un especial agradecimiento a mi madre en la capital, la tía Cecilia de la Maza, quien siempre me apoyo en los momentos de flaqueza, diciéndome que era un burro en el hipódromo.

No puedo dejar de lado al glorioso Departamento de Producción Animal, en sus pasillos conocí a muchos grandes personajes, profesores y alumnos, con quienes comparto el cariño por las vacas.

Finalmente, gracias a mi familia por haberme criado, allá por Cauquenes Maule, así que todas las críticas diríjanlas a ellos, a mi madre, a Santa Corita, Daniel y Tomás.

Muchas gracias a todos, nos veremos en algún rodeo o trilla por ahí.

ÍNDICES

RESUMEN	1
PALABRAS CLAVES	1
ABSTRACT	2
KEYWORDS	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	6
Objetivo principal	6
Objetivo secundario	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar del Estudio	7
Materiales	7
Métodos	7
Implementación de un banco de pruebas para motores.....	7
Ensayo de mezclas alcohol-gasolina.....	8
Curvas de comportamiento.....	9
Comparación específica entre las diferentes mezclas.....	9
Otros ensayos.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Implementación del banco de pruebas.....	11
Comparación de las curvas de los diferentes tratamientos.....	12
Comparación específica entre las diferentes mezclas.....	16
Resistencia.....	17
Potencia.....	18
Temperatura de gases de escape.....	19
Consumo combustible.....	20
Otros ensayos.....	22
Análisis de una mezcla 10%.....	22
Utilización de un generador.....	23
Pruebas en motor usado.....	24
CONCLUSIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Potencia calculada.....	19
Cuadro 2: Temperatura medida (° C).....	20
Cuadro 3: Consumo ml/hora.....	21
Cuadro 4: Consumo específico por watt / hora (ml/W*h).....	21
Cuadro 5: Comparación entre gasohol (10%) (T ₃) y gasolina 95 octanos (T ₁).....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: a) Dinamómetro en base a bomba de agua. b) Dinamómetro en base a generador.....	11
Figura 2: Comportamiento de un motor de 5,5 HP al variar la carga (A) sobre éste.....	12
Figura 3: a) mezclas correspondientes a cada tratamiento b) separación de fases en mezcla sin agitar.....	13
Figura 4: Resistencia generada (Amperaje v/s rpm) en los distintos tratamientos.....	14
Figura 5: Diagrama de un cilindro.....	15
Figura 6: Potencia generada en los distintos tratamientos.....	16
Figura 7: W calculado con el testigo original (T_1).....	17
Figura 8: Amperaje medido a 3700 rpm, en los distintos tratamientos.....	17
Figura 9: Voltaje medido a 3700 rpm, en los distintos tratamientos.....	18
Figura 10: W calculado, medido en los diferentes tratamientos.....	19
Figura 11: Temperatura medida en los diferentes tratamientos.....	20
Figura 12: Consumo de combustible (mL/hr).....	21
Figura 13: Consumo por watt / hora (mL/W*h).....	22
Figura 14: Potencia generada en los distintos tratamientos (generador).....	23
Figura 15: a) compactadora con motor usado b) ensayos con motor usado.....	24
Figura 16: W calculado con el testigo original (T_1) en motor usado.....	24
Figura 17: W calculado en motor usado.....	25
Figura 18: Resistencia a 2700 rpm, en motor usado.....	25
Figura 19: Consumo por watt / hora (mL/W*h) en motor usado.....	26
Figura 20: Temperatura de los tratamientos en motor usado.....	26

RESUMEN

La utilización del alcohol como combustible en motores de encendido por chispa, no es una idea moderna. De hecho, cuando Otto patenta su motor en 1861 (Márquez, 1995) el combustible elegido fue el alcohol, precediendo así a la gasolina y demás derivados del petróleo.

Sin embargo, en una época del petróleo abundante y barato, pronto la gasolina desbanca al alcohol, recuperando éste su protagonismo en épocas de escasez.

Hoy en día, tanto los precios del crudo, como los problemas del medio ambiente, rápidamente llevan a los gobiernos a buscar la forma de sustituir el uso de combustibles fósiles por energías renovables.

El objetivo de la presente investigación, es determinar la óptima composición de mezcla entre gasolina y etanol, la cual será utilizada en un motor sin modificar, midiendo en éste los efectos en las prestaciones del mismo (potencia, consumo, temperatura de los gases de escape), para lo cual hubo que construir un banco de pruebas con un generador eléctrico conectado a un motor de 5,5 HP en dónde se realizaron las distintas mediciones.

Si bien, no hubo una mezcla que destacara por sí sola, los mejores resultados se obtuvieron al agregar hasta un 15% de etanol, manteniendo la potencia y consumo desarrollados por el motor, al usar éste gasolina pura, y con menor temperatura de los gases de escape.

PALABRAS CLAVE

Etanol, gasohol, biocombustibles.

ABSTRACT

Title: Effects of the composition of mixtures gasoline - alcohol in an internal combustion engine.

The use of alcohol like fuel at internal combustion engines is not a modern idea. In fact, when Otto patented his motor in 1861 (Márquez, 1995) the chosen fuel was alcohol, preceding the gasoline and other derivatives of petroleum.

Nevertheless, at time of abundant and cheap petroleum, soon the gasoline supplants the alcohol, recovering this one its protagonism at times of shortage.

Nowadays, as much the prices of crude, like the problems of environment, quickly take to the governments to quest the form to replace the fossil fuel by renewable energies.

The objective of the present research, it's to determine the optimal composition of mixture between gasoline and ethanol, measuring his effects in the engine work (power, fuel consumption, leakage gas temperature), for which was necessary to build a testing bank with an electrical generator connected to an engine of 5,5 HP, where the different measurements were realized.

Don't was a mixture that emphasized for itself alone, but the better results were obtained al to add to a 15% of ethanol, maintaining the power and consumption developed by the engine, al to use this pure gasoline, and with smaller temperature of the escape gases.

KEYWORDS

Ethanol, gasohol, biocombustibles.

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles por el hombre es, sin duda, uno de los rasgos de su condición humana, prueba de esto es que una vez ocurrida la conquista del fuego por los primitivos, su evolución entra en una vertiginosa carrera hasta el presente.

Sin embargo, los estudios relacionados con el calentamiento global de la tierra establecen que el uso de los hidrocarburos fósiles como combustibles, son los responsables del 80% de los aumentos de la temperatura del planeta, la que podría subir, en promedio, casi 6° C en los próximos 100 años. Este sería el aumento más rápido de temperatura de los últimos 10.000 años, lo que indica que el calentamiento podrá seguir acelerándose de no tomar medidas para disminuir el efecto invernadero y la fuerte contaminación ambiental (Barriga, 2001).

La presión sobre los recursos naturales ha aumentado de manera significativa, y tanto los sistemas de agua dulce, como las tierras de cultivo, los bosques, las pesquerías y la diversidad biológica, muestran signos de estrés a escala local, regional y mundial.

Desde que en 1859 Edwin Drake perforó el primer pozo de petróleo en Pensilvania (Anónimo, 2006a), el uso de ésta compleja mezcla de hidrocarburos ha ido en aumento, llegando a ser la principal fuente de energía de los países desarrollados en los últimos 50-60 años.

Esta situación podría cambiar si se utilizaran fuentes alternativas de energía y combustible que permitieran un aprovechamiento más racional de los recursos renovables, redujeran la contaminación ambiental, y disminuyeran la dependencia de una sola fuente de abastecimiento para mover los medios de transporte y equipos de producción (UNFPA, 2001). Además combatiría las fuertes fluctuaciones experimentadas en el precio del petróleo a nivel mundial durante los últimos 18 meses, precios que tienen una gran incidencia en los niveles de competitividad de muchas empresas insertas en un mundo globalizado.

El alza en los precios del crudo después de los atentados terroristas de septiembre de 2001 en Estados Unidos, representa una variación monumental frente a la tendencia observada durante el año 2000 y anteriores.

“En este contexto, los países con economías que dependen fuertemente del sector hidrocarburos tienen mayor posibilidad de controlar sus recursos, lo que suele otorgarles mayor poder económico y político. Por ejemplo, el petróleo y gas proveen entre 30% y 50% de los ingresos del gobierno en Venezuela y Ecuador” (Gremone y Lutereau, 2006).

En cambio la fuerte dependencia de Chile de proveedores externos, ya que se importa aproximadamente el 90% del petróleo que consume el país (ENAP, 2005), hace muy sensible a muchas actividades económicas nacionales. Además sobre el 60% del petróleo importado se destina al sector transporte (CONAMA, 2005), el cual ha aumentado su consumo en más de cuatro veces en las últimas dos décadas, contribuyendo fuertemente a la contaminación ambiental.

En los últimos años, se han estudiado diversas alternativas a los combustibles fósiles, tales como el Biodiésel, y el uso de gasolinas mezcladas con etanol.

El etanol (alcohol etílico, alcohol de grano), de acuerdo al Laboratorio de Energía Renovable, perteneciente al Departamento Nacional de Energías de Estados Unidos (Department of Energy's Alternative Fuels), es un “líquido incoloro, claro, con un olor agradable característico”. Corresponde al alcohol bebestible, el ingrediente activo en la cerveza, vino y bebidas alcohólicas (Addison, 2005).

El uso del alcohol como sustituto de la gasolina no es un descubrimiento de fin de siglo. En ciertas épocas en que todavía se desconocían las mejoras que había de experimentar posteriormente la gasolina, se creyó que podría ser útil sustituirla por otros combustibles, es así como varios de los primeros automóviles utilizaban alcohol. De hecho Henry Ford diseñó su famoso modelo “T” para que funcionara con alcohol, aludiendo a que era el combustible del futuro (Anónimo, 2004; Addison, 2005), pero las compañías petroleras no pensaron de igual forma (Anónimo, 2004). Más adelante, la crisis del petróleo de los setenta le daría nueva vida al etanol.

El uso a gran escala de alcohol etílico como combustible alternativo para vehículos de combustión interna se inicia en Brasil con la crisis petrolera de 1973, y plantea una interesante forma de resolver las deficiencias energéticas provenientes del petróleo. El proyecto vive actualmente la crítica situación originada por los fluctuantes precios del petróleo, y la falta de una política de prioridades para una industria que hace al país autosuficiente energéticamente, además con una tecnología renovable y ciertamente sustentable (Anónimo, 1999).

En Brasil, con un precio muy por debajo al de la gasolina, el etanol representa cerca del 18% del total del combustible utilizado en transporte en ese país (IANSA, 2006a).

En Estados Unidos, hoy en día, se usan más de 15 millones de galones de etanol limpio certificado, cifra que equivale a un 12% de las ventas anuales de combustibles en ese país (Addison, 2005)

En términos ambientales, la adición del alcohol carburante a la gasolina aumenta su poder de combustión y restringe la contaminación ambiental por metales pesados.

El etanol se produce primariamente por la fermentación del almidón de granos (maíz) o del azúcar de caña. Es más usado como un oxigenador (reduciendo así las emisiones de CO, el cual es mucho más tóxico que el CO₂) en la gasolina reformulada y en una mezcla de gasolina llamada "gasohol" (Anónimo, 2005).

Hoy en día, se está estudiando la posibilidad de obtener etanol a partir de “lignocelulósicos”. La idea es elaborarlo con las partes fibrosas de las plantas, lo que permite el uso de rastrojos agrícolas, tales como la paja del trigo, la caña del maíz, restos de plantas de raleos, desechos forestales y de huertos frutales, productos orgánicos, como papeles que son parte de la basura, y que tienen la ventaja de no contar con gastos de producción, sino sólo de recolección y transporte (Vildósola, 2006).

“La empresa petroquímica Shell dijo hoy que considera que la producción de biocarburantes a partir de materias primas de uso alimentario es “moralmente

inaceptable” mientras en el mundo existan necesidades. Curiosamente, Shell es la primera empresa en el mundo comercializadora de biocarburantes fabricados con granos y, al igual que otras empresas, está investigando la generación de éstos a partir de madera y paja” (SNA, 2006).

El etanol se ha utilizado en otras instancias como un realzador del octanaje en reemplazo de MTBE (metilterbutiléter) (Anónimo, 2005), lo que permite una mayor compresión y mayor potencia para la misma cilindrada de motor y cantidad de combustible empleado (Arias-Paz, 1952; Rubió, 2005).

El gasohol puede quemarse en los motores a gasolina, en cambio para quemar etanol puro se necesitan motores especializados.

Wagner (2004) y Addison (2005) señalan los siguientes beneficios del uso del etanol:

- Es combustible renovable extraído de las plantas, lo que reducirá la dependencia de las importaciones de petróleo.
- No es un combustible fósil, por lo tanto en la manufacturación y quema de éste no se incrementa el efecto invernadero, puesto que el CO₂ liberado durante la combustión es el mismo que previamente se tomó durante el crecimiento de la planta.
- Provee de alto octanaje a costos inferiores que un aditivo fabricado para gasolinas.
- Las mezclas de etanol pueden usarse en todos los motores bencineros sin modificaciones.
- Cuando el etanol es mezclado con la gasolina, el octanaje del combustible sube más de 3 puntos, sin la ayuda de aditivos.
- El etanol es biodegradable, sin efectos dañinos en el medio ambiente, y las emisiones de hidrocarburos (los principales causantes de la degradación de la capa de ozono) se reducen drásticamente.
- El etanol con alto contenido de oxígeno reduce los niveles de monóxido de carbono mas que cualquier otro oxigenante; entre un 25 a 30% menos, según la Enviromental Protection Agency (US EPA) (citado por Addison, 2005).
- El etanol puede reducir las emisiones netas de dióxido de carbono en un 100%, basándose en un ciclo completo de vida.

Wagner (2004) menciona también aspectos negativos del uso del alcohol:

- Desfavorablemente tiende a aumentar las emisiones de aldehídos.
- Absorbe agua y causará separación de fase en las mezclas de gasolina si es que el agua entra en los sistemas de distribución, almacenamiento y combustible del vehículo.

La posible producción de biocombustibles, específicamente etanol, aparece como una real alternativa para el sector agrícola no exportador, dándole un nuevo impulso a una superficie importante de hectáreas.

Junto a esto no deben olvidarse los rendimientos de remolacha que ostenta Chile, ubicándolo entre los tres países líderes en esta materia (IANSA, 2006b), y considerando un “commodity” como es el azúcar, sumado a las últimas crisis sufridas por los productores, se abre una nueva alternativa para un rubro importantísimo para la zona centro sur del país.

La presente investigación contribuye a la información disponible sobre las mezclas de alcohol y gasolina, puesto que se trata de uno de los primeros estudios realizados en el país sobre este tema y, considerando que las condiciones ambientales influyen de forma significativa en el comportamiento de las mezclas, los resultados obtenidos en otros países pueden variar al ser utilizados en Chile.

Hipótesis

En el marco de esta investigación, la hipótesis establece que la mezcla alcohol – gasolina tiene efectos positivos (es decir, que no ocurran mermas en el rendimiento y potencia del motor), hasta ciertos niveles de mezclas.

Objetivos

Objetivo principal

El objetivo será la formulación de la mezcla más apropiada de gasolina con etanol, basado en las respuestas de las prestaciones del motor (consumo, potencia, temperatura de gases).

Objetivo secundario

Desarrollar algún sistema que permita medir en forma dinamométrica el comportamiento del motor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio - Taller de Mecanización Agrícola, perteneciente al Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

Los materiales utilizados para preparar las mezclas y así proceder a las distintas mediciones, fueron etanol 96°, gasolina de 95 octanos (recomendado en el manual de instrucciones del motor), un voltímetro, un termómetro digital Jumo, y un tacómetro digital Photo Type DT-2234B.

Para hacer las mediciones, con los materiales anteriormente nombrados, se usó un motor bencinero Jonnesway SPE 160 (5,5 HP), un motor Robin EY20-3 (5,0 HP) también bencinero, una bomba de agua de pistones marca Parada B-C2C, y un generador de corriente eléctrica Honda E2500E, con motor bencinero de la misma marca, modelo G 65 (6-8 HP).

Métodos

Implementación de un banco de pruebas para motores

Ante las necesidades de probar el efecto de los diferentes combustibles en un motor, fue necesario implementar algún mecanismo para ofrecer cargas variables (a aceleraciones constantes), realizando una labor semejante a un freno dinamométrico. La utilización de dinamómetros permite la generación de curvas de torque versus revoluciones del motor, para lo cual en cada uno de los tratamientos a medida que se fueron aumentando las cargas, se midieron en el motor las revoluciones por minuto entregadas. Se probaron dos posibilidades para dicho equipo, uno de ellos es el método propuesto por FAO (1994), en el cual se conecta el motor a ensayar a una bomba de riego, y mediante variaciones del caudal se calcula la potencia entregada al líquido, la que es función de la carga y la tasa de entrega.

El otro método, es conectando el motor a un generador, bajo el supuesto que el aplicar diferentes resistencias de corriente, equivale a aplicar cargas al motor¹. De esa forma, se conectaron al generador en forma creciente ampolletas de diferente consumos: 0, 235, 500, 735, 1000, 1235, 1500, 1735, 2000, 2235, 2500, 2735 W, los cuales corresponderían a diferentes resistencias al generador (variación del amperaje).

¹ Gutiérrez, M. 2006. Ingeniero Mecánico, M. Sc., Universidad de Chile. Comunicación personal.

La determinación de la *carga en el freno* se realizó en el generador mediante la medición del *amperaje* lo que es función de la resistencia eléctrica ofrecida por las luces al generador, y por ende, al motor; en el caso de la bomba de agua, mediante la variación en las válvulas instaladas en la cañería de entrada y salida de la bomba, se puede cambiar la carga dinámica sobre ésta, y por ende, sobre el motor conectado a ella (FAO; 1994).

Con los datos de la resistencia y de revoluciones es posible la obtención de los valores de *potencia* entregados por el motor, la que correspondería en un freno al torque por la velocidad angular obtenida:

Puesto que se utilizará un generador como freno, García (2004) describe que la potencia esta definida como:

$$P = V * I * \cos\phi \quad (1)$$

Donde:

P = Potencia en watts (W)

V = Voltaje o tensión aplicado en Volt (V)

I = Valor de la corriente en ampere (A)

$\cos \phi$ = Coseno de phi o factor de potencia (1 para el caso del generador utilizado)

De esa forma, la potencia será calculada mediante la medición, en forma simultánea del amperaje y del *voltaje*, para de esta forma obtener los watts reales entregados por el generador ($W_{calculado} = amperaje \times voltaje$).

En cada una de las cargas se midió además la temperatura de los gases de escape para estimar la eficiencia de combustión

Para el cálculo del consumo se procedió a tomar el tiempo en el cual se consumían 25 cm³ de combustible, valores extrapolados a una hora para la obtención del parámetro de *consumo horario* (mL/h). Posteriormente se procedió al cálculo del *consumo específico*, en donde se relaciona el consumo por unidad de potencia generada (ml/W*h).

Para la realización de este ensayo con el motor Jonnesway (motor nuevo), éste fue montado en un tractor Gibson utilizado antiguamente para labores de jardinería en el Campus Antumapu, haciéndosele trabajar en un comienzo por unas 30 horas, para que se soltara un poco. Posteriormente mediante poleas y correas se conectó al freno (bomba o generador) para la obtención de las curvas

Ensayo de mezclas alcohol-gasolina

Se ensayaron en el motor diferentes mezclas de gasolina con alcohol, desde un rango de 0% hasta 30% de alcohol, valor un poco superior al máximo recomendado por distintos autores (Márquez, 1995; IANSA, 2006a).

Así la conformación de los tratamientos es la siguiente (ver fotografía en Figura 3a):

- T₁ – T₈ correspondiente al testigo inicial y final, solamente gasolina.
- T₂ mezcla compuesta por un 5% de etanol y 95% de gasolina.
- T₃ mezcla compuesta por un 10% de etanol y 90% de gasolina.
- T₄ mezcla compuesta por un 15% de etanol y 85% de gasolina.
- T₅ mezcla compuesta por un 20% de etanol y 80% de gasolina.
- T₆ mezcla compuesta por un 25% de etanol y 75% de gasolina.
- T₇ mezcla compuesta por un 30% de etanol y 70% de gasolina.

Curvas de comportamiento. Para los ensayos con los distintos combustibles, el motor se hizo andar aproximadamente 20 minutos con gasolina para que éste alcanzase una temperatura de funcionamiento. Simultáneamente se prepararon 1,5 litros de cada mezcla, las cuales fueron ensayadas en forma sucesiva. Para el ensayo de las mezclas, se procedió a la instalación de un pequeño depósito graduado (para medir consumo) para que cumpliera la función de estanque. Se llenaba inicialmente el depósito y se dejaba consumir por parte del motor para así asegurarse que en el carburador de este no quedasen restos de la mezcla anterior, a continuación se rellenaba cuantas veces fuese necesario para hacer las mediciones a las diferentes cargas (dos cargas por estanque), midiéndose al motor la carga aplicada según el método utilizado y las revoluciones del motor, junto a la temperatura del gas de escape.

Comparación específica entre las diferentes mezclas. Para una comparación en más detalle entre las curvas, se seleccionará un punto específico en la curva del tratamiento testigo (100% gasolina), punto que corresponda a las revoluciones para obtener la potencia máxima calculada del motor.

Como no es posible en las distintas mezclas lograr un valor exacto de revoluciones, mediante la adición de cargas sin modificar la aceleración, se consideró una interpolación entre los datos observados a la revolución inferior y superior a ese punto.

De esa forma en los puntos superiores e inferiores se extrajeron los datos ya mencionados de torque y los del motor como revoluciones y temperatura de los gases de escape, agregándose la medición del consumo (tiempo transcurrido en consumirse 25 cm³).

Otros ensayos

Análisis comparativo. Se seleccionó una de las mezclas que mostró los mejores resultados, para luego realizar un análisis químico de algunos de sus parámetros más representativos como: octanaje, volumen expresado en porcentaje del residuo de la destilación, y las temperaturas de destilación intermedia y final, para compararlas con las de una gasolina de 95 octanos.

Otros ensayos. Para ver el efecto de las distintas mezclas, también se procedió a realizar ensayos con otros motores, señalados a continuación:

i) Con un grupo electrógeno. Todas estas mezclas también fueron probadas en un generador de corriente eléctrica con motor propio, y de esta forma, realizar mediciones en un equipo de uso común en sectores rurales y observar los efectos que, eventualmente, hubiesen tenido las diferentes mezclas.

ii) Ensayos con motor usado. Para ver el comportamiento de las mezclas en un motor usado, y así observar las diferencias con respecto a las curvas obtenidas en el motor nuevo, se procedió a hacer las mediciones en el motor Robin EY20-3 (5 HP), proveniente de una placa compactadora.

Todas las mediciones realizadas en esta investigación, se hicieron en forma unitaria, es decir sin repeticiones, ya que normalmente éstas no se realizan en pruebas dinamométricas; de hecho, para las homologaciones de los tractores se realiza un solo ensayo, puesto que se trata de mediciones confiables².

No se consideró el *rendimiento mecánico* (R_m) del motor, que corresponde al cociente entre la *potencia efectiva* (P_{ef}), que corresponde a la medida en el eje, con las pérdidas que han ocurrido por el roce y los acoples de las piezas, y la *potencia indicada* (P_i), que es la obtenida en el cilindro luego de la explosión del combustible, y que considera además la cilindrada (número de pistones, la carrera del mismo, y la superficie expuesta a la explosión)³:

$$R_m = P_{ef} * P_i^{-1} \quad (2)$$

$$P_i > P_{ef}$$

Para efectos prácticos, sólo se consideró la potencia efectiva desarrollada por el motor.

² Homer, I. 2006. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Comunicación personal.

³ Gutiérrez, M. 2006. Ingeniero Mecánico, M. Sc., Universidad de Chile. Comunicación personal

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implementación del banco de pruebas

La utilización de la metodología propuesta por FAO (1994) (Figura 1a), no dio buenos resultados para las condiciones que se disponían, porque la conexión del motor a la bomba era en forma directa, sin contar con algún mecanismo de embrague que permitiese una conexión gradual, por ese motivo el motor no podía arrancar ya que la bomba le significaba mucha carga para el encendido manual (mediante correa). Originalmente, esta bomba estaba conectada a un motor trifásico de 10 HP.

La otra metodología ensayada mediante la utilización de un generador (Figura 1b), no presentó el mismo problema, pues el generador en el momento de ser encendido (sin carga en éste) no ofrece mucha resistencia, permitiendo de ese modo el arranque del motor. Sin embargo, simultáneamente se debió encender el motor original del generador (sin conexión mecánica entre ellos) ya que estaban eléctricamente conectados.



Figura 1 a) Dinamómetro en base a bomba de agua b) Dinamómetro en base a generador

Como se aprecia en la gráfica siguiente (Figura 2), al ir aumentando las cargas éstas provocan una disminución de las revoluciones del motor como era de esperar. No se midió a más de 2735 W puesto que el motor utilizado se detenía al ser sometido a mayores cargas.

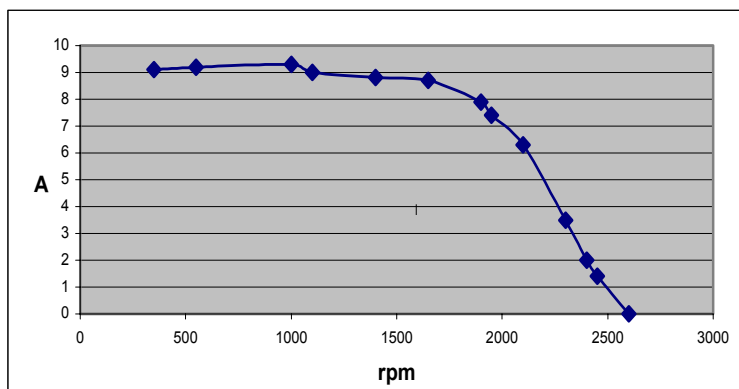


Figura 2: Comportamiento de un motor de 5,5 HP al variar la carga (A) sobre éste.

Como se aprecia en la Figura 2, la curva obtenida refleja el comportamiento teórico que debería tener un motor al ir aumentando las cargas sobre éste, por lo cual el freno implementado cumpliría correctamente su función, de actuar como un freno dinamométrico.

De todas maneras, deben considerarse algunos parámetros del generador que afectarían el funcionamiento del motor, siendo alguno de ellos:

- el generador, originalmente se encontraba conectado, también mediante poleas y correa, a un motor de 6-8 HP, por lo que nunca fue exigido al límite al estar conectado al motor de 5,5 HP.

- El propio funcionamiento del generador ya provoca una carga sobre el motor, independientemente de la carga que se le exija al generador. Tampoco fueron consideradas las pérdidas de potencia por la conexión mediante poleas y correa del motor al generador, cercana a un 10% aproximadamente⁴ pero que serían uniforme en todos los tratamientos, por ende, no tendría influencia al hacer comparaciones entre curvas.

Comparación de las curvas de los diferentes tratamientos

Al utilizar alcohol hidratado (96°), la literatura indica que el agua puede provocar separación de fases (Wagner, 2004), lo que queda de manifiesto al observar la Figura 3b, dónde se aprecia claramente la mala homogenización de la mezcla recién hecha, previo a la agitación. Es importante considerar esto, para evitar problemas de funcionamiento del motor, puesto que mientras éste consuma gasolina pura, no presentará problemas, pero cuando empiece a consumir solo etanol, el motor se detendrá.

Las mediciones desde T₁ a T₅ se realizaron sin problemas, pero luego el motor comenzó a comportarse de manera inestable, ahogándose, deteniéndose y no arrancando ni siquiera con el testigo inicial.

⁴ Representante de la marca (Álvaro Casanova Maquinarias) 2006. Comunicación personal.



Figura 3: a) mezclas correspondientes a cada tratamiento. b) separación de fases en mezcla sin agitar.

Posteriormente, cuando se logró hacerlo partir, se procedió a continuar con las mediciones restantes, observándose una considerable merma en las rpm desarrolladas (se mantuvieron las condiciones de regulación de los ensayos anteriores), por lo que se debió aumentar la aceleración, para lograr de ese modo volver a obtener una aceleración sin carga de 3900 rpm aproximadamente, cifra que coincide con las mediciones efectuadas con carga cero (0 W) en ensayos anteriores, pero que originó una variación en los datos obtenidos a partir de ese momento.

En la figura 4, se muestran las distintas curvas de resistencia obtenidas al ir variando el porcentaje de alcohol presente en la mezcla, donde en general se aprecia una tendencia a la estabilidad en toda la curva, salvo el caso del T₇, en que a resistencias intermedias la curva presenta un notorio comportamiento irregular. Llama la atención el hecho que T₈ muestre mayores rpm generadas, en comparación a los otros tratamientos en el tramo cercano a las 3700 rpm, lo que se podría deber a que el motor estaba a una mayor temperatura que el testigo inicial, con lo cual hay una menor gradiente de ésta, perdiéndose menos calor (al estar más caliente, es menor la pérdida de temperatura a través del cilindro-pistón)⁵.

Es importante señalar que el sistema de enfriado del motor, al tratarse de un artefacto de pequeño tamaño, es por aire impulsado, con lo cual el motor está mucho más propenso a recalentarse.

En la misma Figura, en la zona comprendida entre 3900 rpm y 3500 rpm, se aprecia como varía la resistencia generada. Según Márquez (1998), esta modificación se debería a la variación en el combustible inyectado a medida que se modifican las cargas externas y el aumento del par motor⁶ generado es a consecuencia de la mejora en el llenado de los cilindros (relación aire/combustible más favorable).

Con respecto a T₇ (30% etanol) (Figura 4), a las 3700 rpm que corresponde al punto en que se obtiene la máxima potencia en el motor, el menor valor obtenido por esta curva, y el comportamiento errático que sigue posteriormente, se debería al mayor octanaje de

⁵ Homer, I. 2006. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Comunicación personal.

⁶ Par motor: Fuerza de rotación en el cigüeñal que puede ejercer un motor, adaptándose a las variaciones de las fuerzas externas (Márquez, 1998).

la mezcla lo que la hace más resistente a la detonación, con lo cual se afectaría la regulación del motor. Comportamiento similar se aprecia con las mezclas que poseen más de un 15% de etanol.

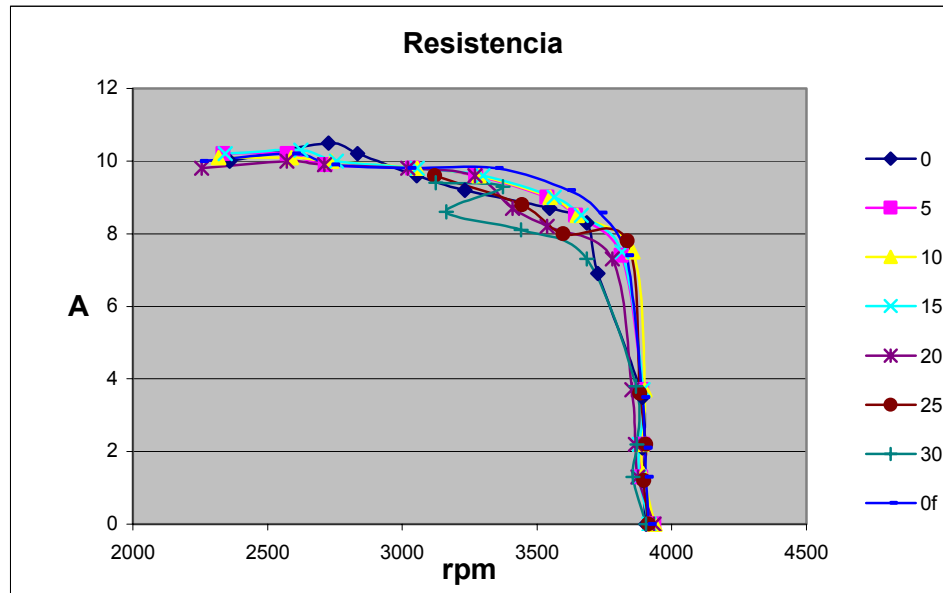


Figura 4: Resistencia generada (A v/s rpm) en los distintos tratamientos

El hecho que ocurra un aumento en el octanaje, afecta la puesta a punto del motor, debido a que el combustible será más resistente a la detonación, por lo cual la combustión no ocurrirá cuando el pistón se encuentre en el punto muerto superior, sino que después de haber alcanzado la máxima compresión, cuando el pistón va desplazándose al punto muerto inferior, con la consecuente pérdida de energía, por lo cual habría que adelantar el punto de ignición.

Por otro lado, afectará la relación de compresión del motor (ρ) que corresponde a⁷:

$$\rho = (q + \varepsilon) * \varepsilon^{-1} \quad (3)$$

Donde:

ρ = Relación de compresión del motor

q = Volumen de la cámara de admisión del cilindro (V2 en Figura 5)

ε = Volumen de la cámara de combustión del cilindro (V1 en Figura 5)

⁷ Gutiérrez, M. 2006. Ingeniero Mecánico, M. Sc., Universidad de Chile. Comunicación personal

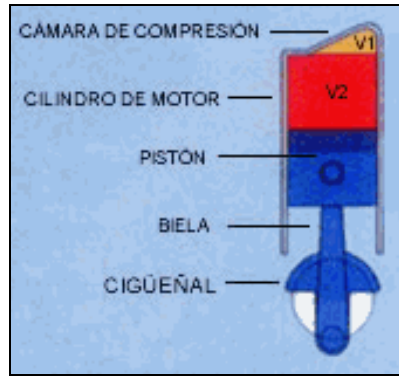


Figura 5: Diagrama de un cilindro (TODOMOTORES, 2006).

Por otro lado, la relación de compresión está muy relacionada al rendimiento térmico del combustible (Rt), que corresponde a⁸:

$$Rt = 1 * (1 - \rho^{K-1})^{-1} \quad (4)$$

Donde:

Rt = Rendimiento térmico

ρ = Relación de compresión del motor

K = Constante del calor específico del combustible

$$K = Cp * Cv^{-1} \quad (5)$$

Donde:

Cp = Calor específico del combustible a presión constante

Cv = Calor específico del combustible a volumen constante

Con respecto a la detención del motor en T_6 y T_7 , al acercarse a las 3000 rpm, ésta puede ser atribuida a la relación estequiométrica del combustible utilizado, la cual se explica en detalle más adelante, en donde, al aumentar el combustible inyectado al cilindro (para compensar el aumento en la resistencia a que es sometido el motor (par motor), junto a la merma energética del combustible a medida que aumenta la proporción de etanol), disminuye la cantidad de aire por unidad de combustible, y junto al incremento del octanaje afectan el buen funcionamiento del motor, por una desregulación de éste⁹.

Con respecto a la potencia generada ($W = \text{amperaje} \times \text{voltaje} \times \cos \phi (I)$), en la Figura 6 se pueden apreciar las curvas obtenidas para los distintos tratamientos, donde las curvas son semejantes, sobretodo a altas y bajas revoluciones, y más variables en las revoluciones cercanas a las potencias máximas respectivas. La curva 30% es más variable por lo anteriormente explicado en el cálculo de la resistencia (variaron los amperajes). Las mayores potencias generadas por el motor se presentaron en los tratamientos T_8 (0% etanol), y la correspondiente al T_4 (15% etanol). La mayor potencia generada en T_8 , en relación al testigo inicial, se atribuye al hecho que el motor estaba a mayor temperatura, situación explicada en párrafos anteriores. De no ser así,

⁸ Gutiérrez, M. 2006. Ingeniero Mecánico, M. Sc., Universidad de Chile. Comunicación personal.

⁹ Representante de la marca (Álvaro Casanova Maquinarias). 2006. Comunicación personal.

este aumento en T_8 , vendría explicada por algún tipo de efecto acumulativo de las mezclas.

En la Figura 6, se puede contemplar que la variabilidad entre las diferentes mezclas está relacionada en los rangos de revoluciones donde el motor trabajó en valores en torno a la potencia máxima suministrada por él. Este es el punto donde se debería notar más claro el efecto entre las diferentes mezclas, como de la capacidad del regulador del motor de poder entregar la potencia máxima del mismo.

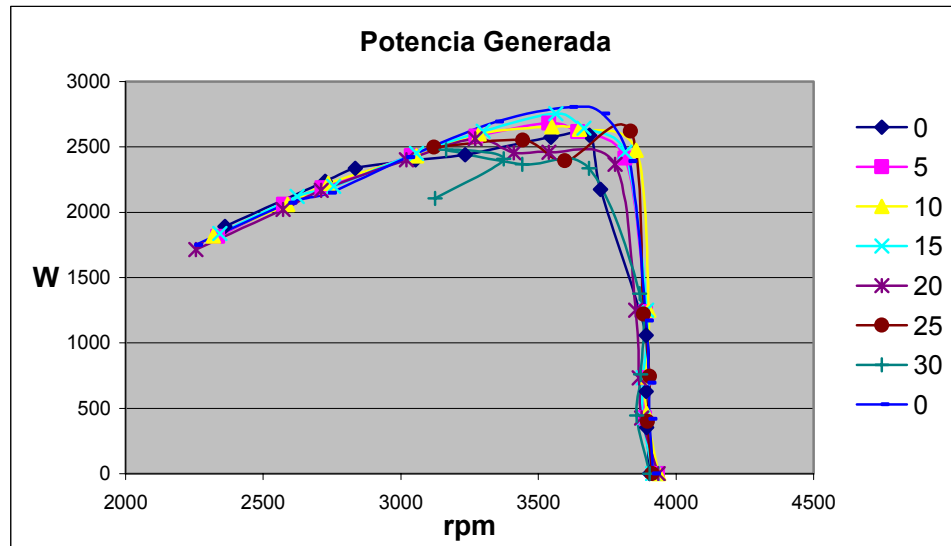


Figura 6: Potencia generada en los distintos tratamientos.

Comparación específica entre las diferentes mezclas

Para realizar una comparación más específica entre las distintas mezclas, en la curva de potencia obtenida con la gasolina, se seleccionó el punto de inflexión de la curva, correspondiente a la potencia máxima obtenida, y que corresponde a 3700 rpm (Figura 7), como se puede apreciar, a medida que van aumentando las cargas, hay un aumento lineal entre la potencia calculada versus una disminución de las revoluciones del motor, para luego de alcanzar su potencia máxima a las 3700 rpm y posteriormente se aprecia una disminución de la potencia a medida que siguen bajando las revoluciones, fenómeno explicado por algún mecanismo de autorregulación de aceleración de los motores de pequeño tamaño. Comportamiento similar ocurre en motores Diesel, lo cual corresponde al punto en que deja actuar el regulador de la bomba inyectora, y que corresponde a las revoluciones nominales del motor, donde se consigue la máxima potencia¹⁰.

¹⁰ Homer, I. 2006. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Comunicación personal.

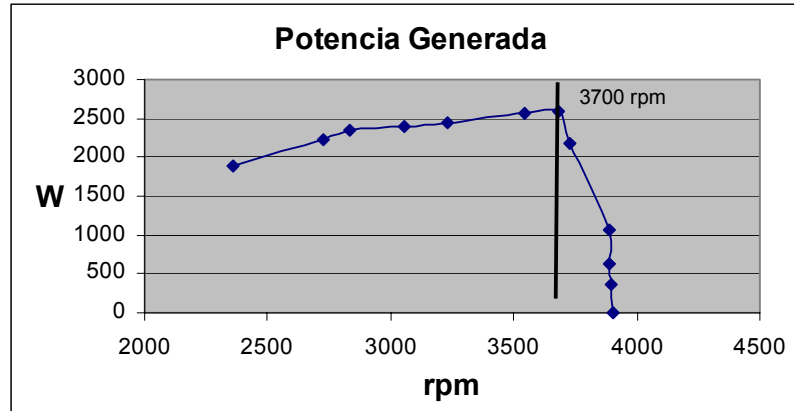


Figura 7: W calculado con el testigo original (T_1).

El método utilizado de interpolar las revoluciones por minuto inferiores y superiores, inmediatamente contiguas a las 3700 rpm, presentó el inconveniente que se supone una línea recta entre ellas, pero, como se ve en la Figura 7, esto no es así (es un punto más alto), y dependiendo de cuán cerca o lejos estén los 3700 de los dos puntos considerados, puede generarse una distorsión entre los datos.

Resistencia

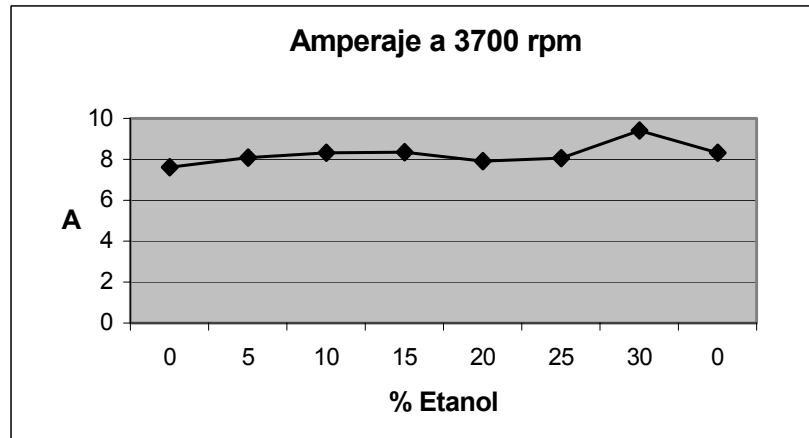


Figura 8: Amperaje medido a 3700 rpm, en los distintos tratamientos.

El amperaje o resistencia (Figura 8), se incrementa levemente hasta T_4 , cayendo posteriormente mientras que el voltaje logrado, se mantiene casi constante en los tres primeros tratamientos (Figura 9), para mostrar una leve merma en el T_4 , y luego una brusca caída, volviendo al valor inicial en T_8 , de lo cual se deduce que el aumento de la potencia producida en los primeros tratamientos, es a causa del aumento del amperaje (es decir, de la resistencia), y el comportamiento prácticamente estable del voltaje, y la caída de los watts calculados en los tratamientos posteriores a T_4 (Figura 7), se deben a una brusca disminución en el voltaje y amperaje generados, siendo más significativa en el primero de éstos.

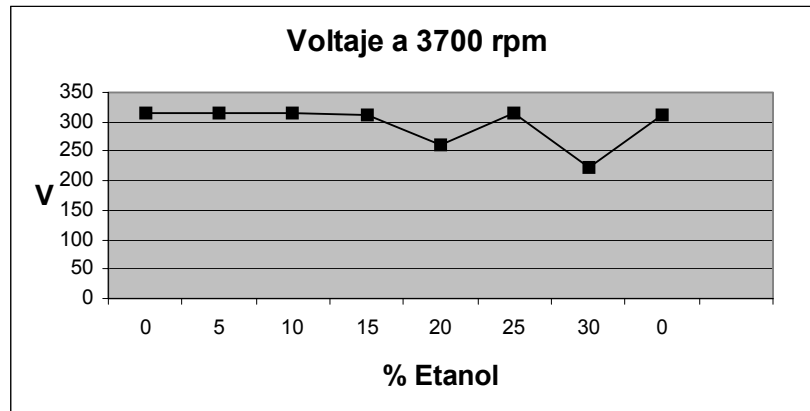


Figura 9: Voltaje medido a 3700 rpm, en los distintos tratamientos.

Potencia

La potencia generada en T_6 es notoriamente superior a la producida en T_5 (Cuadro 1 y Figura 10), lo que se debe exclusivamente al aumento en la aceleración, por lo que no debe considerarse como el comportamiento normal del motor, en relación a los tratamientos anteriores.

En la Figura 10 se aprecia un incremento en la potencia generada, desde T_1 a T_4 (0 a 15% de etanol), situación que concuerda con Rubió (2005) quien afirma que el etanol durante su combustión, aumenta el calor de vaporización, produciendo una mayor potencia respecto de la gasolina. La posterior disminución se debe a la **relación estequiométrica** (relación de compresión, la cual viene dada por la cantidad de aire utilizada en comparación a la unidad de combustible quemado), la que es 12 a 1 para el alcohol y 10 a 1 para la gasolina (Márquez, 1995), es decir, se necesita más aire para quemar 1 litro de etanol que 1 litro de gasolina. Así, al aumentar la proporción de alcohol presente en cada mezcla, también debería incrementarse la cantidad de aire entregada a ésta, pues cualquier factor que afecte la cantidad de aire que entre al cilindro será causa de que la combustión se realice peor y la presión media de los cilindros disminuya, con el consecuente descenso en el par motor. Así, cuando se pretende inyectar mucho combustible en un cilindro con un volumen determinado, al ser cada vez menor el oxígeno que corresponde a cada unidad de combustible, éste se quemará peor, con lo cual el motor necesitará mayor volumen de combustible, aumentando los gastos de funcionamiento para el mismo trabajo producido (Márquez, 1995). Para evitar esta situación, sería necesario regular la relación aire/combustible (carburar el motor), de manera que se alcance la correcta relación estequiométrica.

Por otro lado, como se verá más adelante, el aumento del contenido de etanol en la mezcla, produce un incremento en el octanaje, aspecto que debería ser corregido modificando la puesta a punto del motor.

Al observar el Cuadro 1, se aprecia que en T_3 se genera la mayor potencia (2622,26 W), lo que equivale a un incremento de un 9,306% (223,25 W), respecto del primer tratamiento (gasolina pura), con una disminución de un 1,35% en el consumo horario (28,43 mL/hr) (Cuadro 3). Al considerar el consumo específico por watt, se observa una merma de un 9,75% (0,085 mL/W*hr) (Cuadro 4).

Cuadro 1: Potencia calculada.

Tratamientos	W calculado
T ₁ (0% etanol, 100% gasolina)	2399,01
T ₂ (5% etanol, 95% gasolina)	2540,27
T ₃ (10% etanol, 90% gasolina)	2622,26
T ₄ (15% etanol, 85% gasolina)	2611,57
T ₅ (20% etanol, 80% gasolina)	2066,52
T ₆ (25% etanol, 75% gasolina)	2534,84
T ₇ (30% etanol, 70% gasolina)	2105,60
T ₈ (0% etanol, 100% gasolina)	2602,80

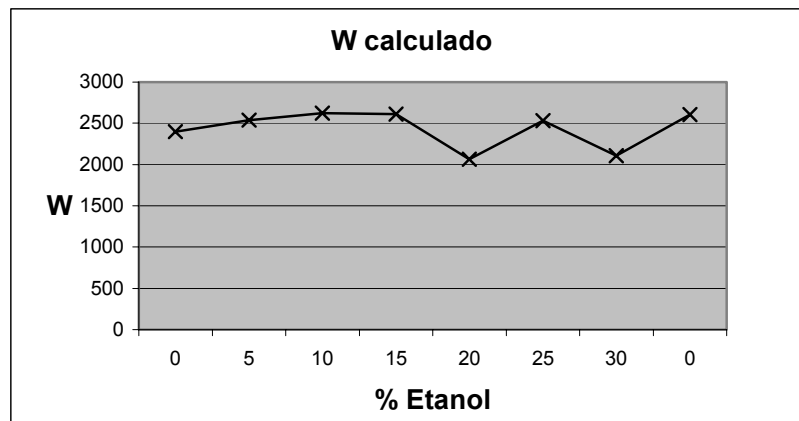


Figura 10: W calculado, medido en los diferentes tratamientos.

La potencia generada en el cuarto tratamiento (T₄), corresponde a un incremento de un 8,86% (212,55 W) (Cuadro 1), cifra que es menor a la mostrada por T₃, comentada en el párrafo anterior, pero con el menor consumo de combustible por hora (2050,06 mL/hr) (Cuadro 3), lo que equivale a una disminución de un 2% (41,93 ml/hr), y, con respecto al consumo específico por watt generado (Cuadro 4), una baja del orden del 9,98% (0,08 mL/W*hr), situando a este tratamiento (T₄) como el más económico para generar potencia (Figura 13).

Esto concuerda con lo indicado por IANSA (2006a), quienes sostienen que se puede utilizar hasta esta proporción de mezcla sin la necesidad de realizar alguna transformación mecánica en el motor.

Temperatura de gases de escape

Se observa una disminución en la temperatura de los gases de escape, a medida que aumenta la proporción de etanol en cada mezcla (Figura 11). Esto se debería a que el poder calorífico del etanol es de 5.829 Kcal/Kg y el de la gasolina es de 10.500 Kcal/Kg (De Dios, C.A., 1996; NASAMAX, 2006), es decir, el poder calorífico del etanol es aproximadamente un 60% del de la gasolina. Después del problema de arranque que tuvo el motor, que se detuvo en T₅, se aprecia que, si bien T₆ mantiene la tendencia en la temperatura, en T₇ la situación es distinta, variando notoriamente los resultados con respecto a lo observado. Este notable incremento en la T° (Figura 11),

con la disminución en la potencia (Figura 10), es atribuible al aumento en el octanaje del combustible utilizado, con lo cual se afecta la regulación del motor ya que la explosión ocurrirá más tarde, cuando el pistón esté en la fase de descenso, con la consecuente pérdida de potencia.

Aunque la segunda ley de la termodinámica dice que, para una máquina, es imposible convertir en trabajo toda la energía calórica suministrada (Greene y Lucas, 1969), éste incremento de temperatura también puede deberse a que haya disminuido la eficiencia del motor, por una posible dilatación de los materiales debido a un recalentamiento, y se esté perdiendo una buena parte de la energía suministrada en forma de calor.

Cuadro 2: Temperatura medida (° C).

Tratamientos	T °C medida
T ₁ (0% etanol, 100% gasolina)	192,82
T ₂ (5% etanol, 95% gasolina)	197,35
T ₃ (10% etanol, 90% gasolina)	195,46
T ₄ (15% etanol, 85% gasolina)	194,60
T ₅ (20% etanol, 80% gasolina)	180,00
T ₆ (25% etanol, 75% gasolina)	181,52
T ₇ (30% etanol, 70% gasolina)	233,00
T ₈ (0% etanol, 100% gasolina)	191,00

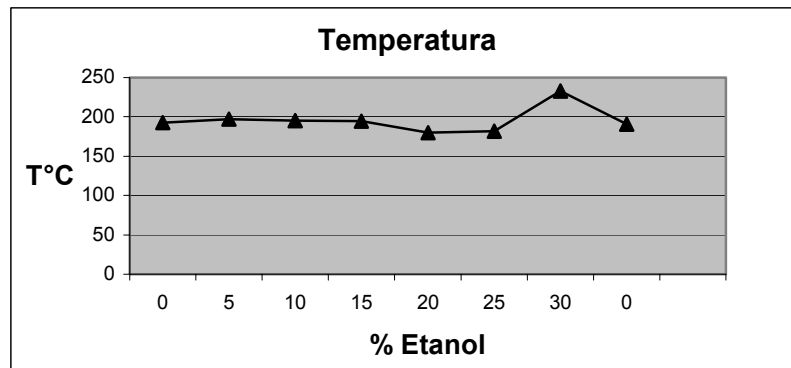


Figura 11: Temperatura medida en los diferentes tratamientos.

Consumo combustible

El incremento en el consumo de combustible observado en mezclas con más de 15% de etanol (T₄) (Cuadro 3, Figura 12), se debería a que, al poseer este combustible menor poder calorífico, el motor tiende a compensar la merma energética aumentando el volumen de mezcla utilizado, de acuerdo a lo indicado por NASAMAX (2006), pero en T₇ hay una brusca disminución en el consumo de combustibles, lo que se debería al mecanismo interno de regulación de la relación estequiométrica (explicada anteriormente), por lo que el motor consumiría menos y así aprovecharía de mejor manera el aire que tiene, y de esta forma continuaría funcionando, pero con la disminución en potencia observada en gráficas anteriores (Figura 10).

Cuadro 3: Consumo mL/hora.

Tratamientos	Consumo mL/hora
T ₁ (0% etanol, 100% gasolina)	2091,99
T ₂ (5% etanol, 95% gasolina)	2099,54
T ₃ (10% etanol, 90% gasolina)	2063,56
T ₄ (15% etanol, 85% gasolina)	2050,06
T ₅ (20% etanol, 80% gasolina)	2518,32
T ₆ (25% etanol, 75% gasolina)	2573,93
T ₇ (30% etanol, 70% gasolina)	1561,95
T ₈ (0% etanol, 100% gasolina)	1987,41

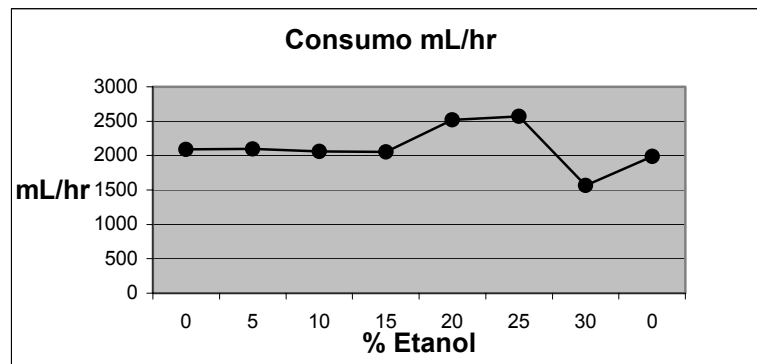


Figura 12: Consumo de combustible (mL/hr).

El **consumo específico medido en watts** (mL/W*h) (Figura 13), se muestra relativamente estable hasta T₄ (15 % etanol), pero luego hay un significativo aumento al ser utilizado con 20% de etanol, situación atribuida a regulaciones internas del motor para así mantener la relación estequiométrica, para posteriormente tender a estabilizarse, lo que coincide con la menor potencia generada (Figura 10).

Cuadro 4: Consumo específico por watt / hora (mL/W*h).

Tratamientos	Consumo mL/W*h
T1 (0% etanol, 100% gasolina)	0,872
T2 (5% etanol, 95% gasolina)	0,826
T3 (10% etanol, 90% gasolina)	0,786
T4 (15% etanol, 85% gasolina)	0,784
T5 (20% etanol, 80% gasolina)	1,218
T6 (25% etanol, 75% gasolina)	1,015
T7 (30% etanol, 70% gasolina)	0,741
T8 (0% etanol, 100% gasolina)	0,763

Suponiendo que el motor en el que fueron realizadas las mediciones trabajase por un período de 1000 horas con la mezcla T₄ (15% de etanol), con un consumo por hora de 2050,06 mL (Cuadro 3) de combustible (2,05 L), por el sólo hecho de ocupar una mezcla con un 15% de etanol, ahorrará 0,3075 L (0,15*2,05) de gasolina por hora, es decir, 307,50 L por 1000 horas de trabajo, lo que equivale a \$202.335 pesos (base \$658/L de gasolina de 95 octanos, al 17/08/2006). Por su parte, los 307.50 L de etanol utilizados equivaldrían a \$164.512 pesos (\$535/L de etanol), es decir \$37.823 pesos de ahorro.

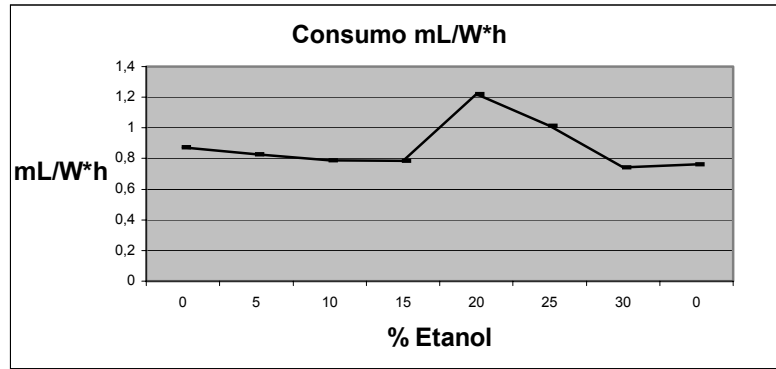


Figura 13: Consumo por watt / hora (mL/W*h).

Junto a lo anterior, no se debe dejar de lado el efecto monetario de comprar gasolina de 93 octanos y llevarla a 97 octanos (hay \$40 pesos de diferencia en el mercado). Este efecto es el que las petroquímicas buscan, para reemplazar la adición de MTBE, derivado del crudo que además es de un alto valor comercial, es decir, se reducen los costos de producir gasolinas con alto octanaje.

Otros ensayos

Análisis de una mezcla 10%: Como se aprecia en el Cuadro 5, al agregarle alcohol en un 10%, la mezcla sufre una serie de variaciones que tendrán una ingerencia importante en el comportamiento del motor, como por ejemplo hay un aumento del octanaje de 4,2 puntos, lo que implica un retardo en la explosión de la gasolina, lo que habría que compensar con un adelanto del reglaje del motor, de tal forma que el inicio de la explosión ocurra antes.

Cuadro 5: Comparación entre gasohol (10%) (T₃) y gasolina 95 octanos (T₁)

Análisis	Unidad	Método	gasohol 10% etanol	Gasolina 95 octanos*
Destilación 10% Recup.	°C	NCH-66	57.5	70
Destilación 50% Recup.	°C	NCH-66	97.5	121
Destilación 90% Recup.	°C	NCH-66	161.0	177
Punto final de destilación	°C	NCH-66	199.5	225
Destilación (Recuperado)	% v/v	NCH-66	97.6	
Destilación (Residuo)	% v/v	NCH-66	1.3	2.0
Número de octano Research	N.O.R.	NcH-2146	99.2	95

* Fuente: COPEC,2006

La curva de destilación de la gasolina indica a qué temperatura una gasolina comienza a evaporarse, y a cual lo hará completamente, puesto que éste combustible, al ser una mezcla de varios productos, no tiene un punto fijo de ebullición (Anónimo, 2006b). La curva de destilación influye sensiblemente en el comportamiento del motor. Es así como una gasolina pobre en fracciones que se evaporan presentará problemas para el arranque del motor en invierno, y tomará más tiempo el llevar al motor a la temperatura de régimen (de funcionamiento normal), con una menor potencia desarrollada. Por el contrario, gasolinas demasiado ricas en fracciones volátiles, pueden originar el descebamiento del carburador al haber altas temperaturas, o bien el congelamiento del

combustible en los conductos de pequeño diámetro, con bajas temperaturas. Si, por otro lado, la gasolina posee exceso de fracciones poco volátiles, ello puede dar lugar a una dilución del aceite del cárter (debido a los hidrocarburos menos volátiles que no se queman bien y se cuelean a lo largo de los pistones) y la formación de depósitos en la cámara de combustión (Anónimo, 2006b).

En el Cuadro 5 se aprecian los distintos niveles de destilación, y en todos la recuperación del combustible ocurre a una menor temperatura con la mezcla que contenía etanol. Los valores indicados para la gasolina de 95 octanos, corresponden a los máximos permitidos por la legislación chilena (COPEC, 2006). El hecho que la mezcla contenga alcohol explica la destilación a menor temperatura, puesto que éste último es más volátil que la gasolina, como se ha señalado anteriormente.

Utilización de un generador: Como experimento extra, se procedió a ver el efecto que generaba la utilización de las diferentes mezclas de gasohol en el generador como tal, o sea éste conectado a su propio motor.

Una vez efectuadas las mediciones, se observó (Figura 14) que las curvas no mostraban gran diferencia entre sí, situación atribuible a la mayor potencia desarrollada por el motor del generador (6-8 HP), y al limitado rango de cargas disponible (3500 watts) para la realización de los ensayos. A su vez, el generador tiene un sistema de autorregulado que en forma automática actúa sobre el motor, aspecto que distorsiona el comportamiento de éste, y por ende no permitiría ver diferencias entre los tratamientos debido a las variaciones en la aceleración¹¹.

Si se hubiera contado con un espectro más alto de cargas como para poder exigir al generador hasta el límite, el número de aparatos eléctricos necesarios para consumir toda la corriente generada hubiera sido enorme, junto con los posibles daños que pudiesen haber provocados al generador.

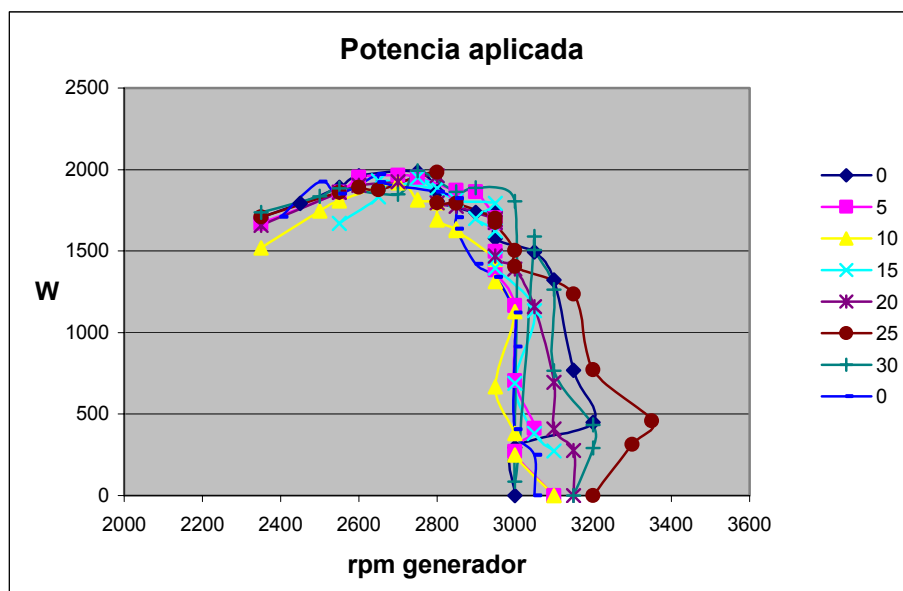


Figura 14: Potencia generada en los distintos tratamientos (generador).

¹¹ Homer, I. 2006. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Comunicación personal.

Pruebas en motor usado: Adicionalmente, con el fin de observar el comportamiento de las mezclas en un motor utilizado previamente para otras labores, se procedió a realizar otra serie de mediciones, con el motor proveniente de una placa compactadora.



Figura 15 a) compactadora con motor usado. b) ensayos con motor usado.

Como se aprecia en la Figura 16, la máxima potencia generada por el motor se obtiene a las 2700 rpm, por lo que éste será el punto a utilizar para comparar los distintos tratamientos.

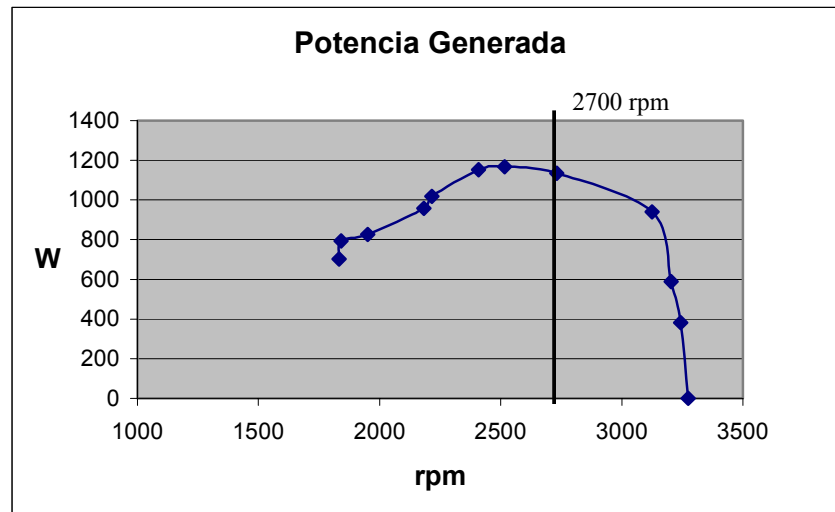


Figura 16: W calculado con el testigo original (T_1) en motor usado.

Al observar en la Figura 17, y compararla con la Figura 10, el tramo comprendido entre la mezcla con 25 % de etanol y el testigo final, se aprecia la similitud entre ambas curvas, con la brusca caída de T_6 (25 % etanol) a T_7 (30 % etanol). Nótese que, a diferencia del resultado obtenido con el motor nuevo, después de T_4 (15 % etanol) la potencia mantiene la tendencia de leve ascenso observada, y la brusca caída vista en la Figura 10 se debe a un problema netamente del motor utilizado, el recalentamiento, ya que, como se dijo anteriormente, el sistema de enfriado de los motores de pequeño tamaño es por aire, y luego de haberse mantenido funcionando por un largo rato, y con mezclas que elevaron significativamente el octanaje, el motor se vio severamente afectado.

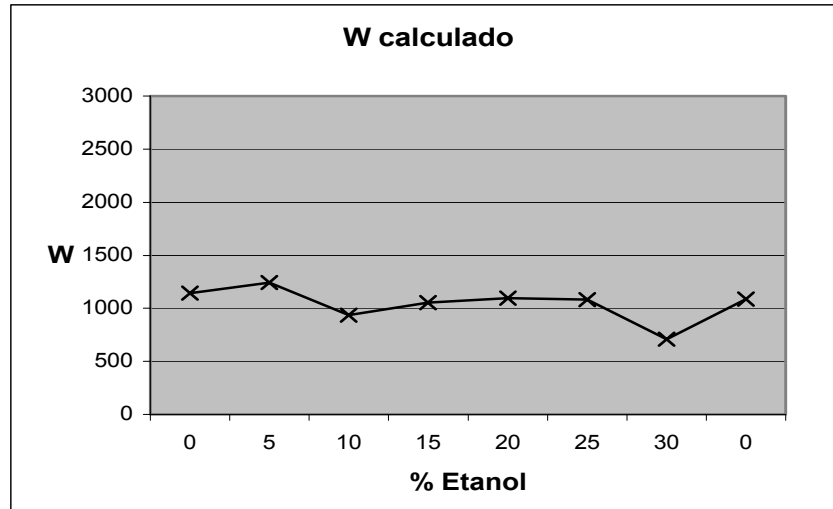


Figura 17: W calculado en motor usado.

Por su parte, el motor utilizado para realizar la última gama de mediciones, es decir el motor “viejo”, no llegó a recalentarse, puesto que la comparación entre las diferentes mezclas se realizó solo a 2700 rpm, en circunstancias que para el motor nuevo se realizó la curva completa con cada mezcla, y luego se optó por hacer las comparaciones en el punto de potencia máxima, es decir a 3700 rpm.

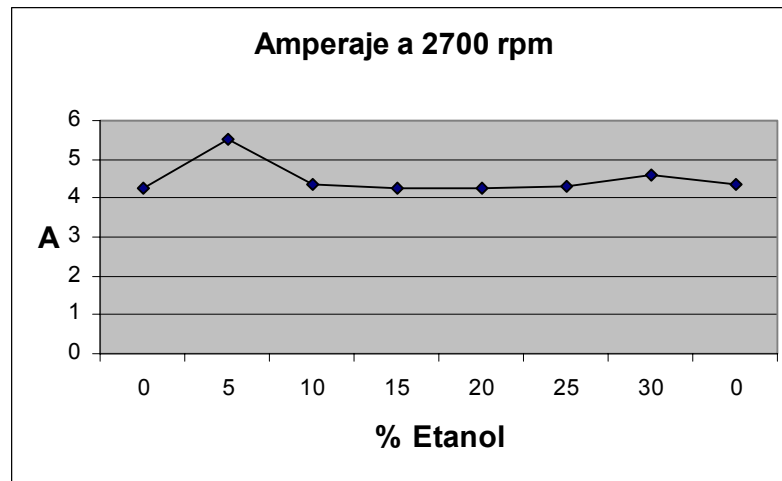


Figura 18: Resistencia a 2700 rpm, en motor usado.

El alza en la potencia generada en T_2 (5 % etanol) (Figura 17), se debe a la elevada resistencia medida en ese punto (Figura 18), lo que sólo es un efecto del generador, no debiéndose al motor¹².

El motor usado no mostró un funcionamiento uniforme, con constantes caídas en las revoluciones, en parte por burbujas de aire que quedaron en el depósito de combustible, ingresando posteriormente al motor, y en parte al estado de desgaste del motor (en la compactadora), lo que explica las variaciones en el consumo (Figura 19).

¹² Homer, I. 2006. Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Comunicación personal.

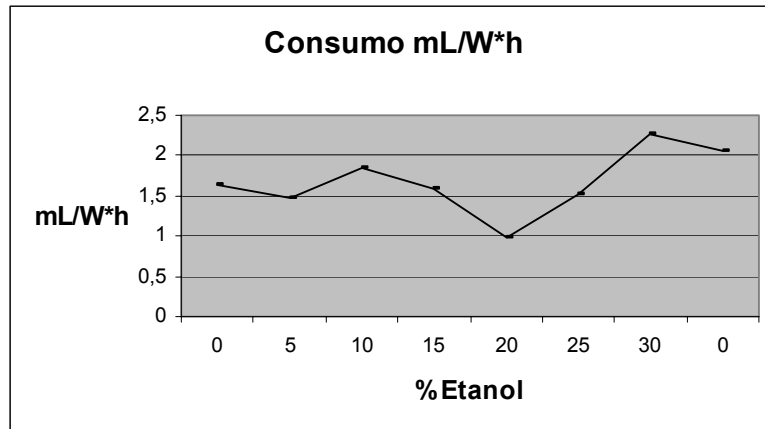


Figura 19: Consumo por watt / hora (mL/W*h) en motor usado.

La temperatura (Figura 20) muestra un alza notable en T_2 (5% etanol), la que coincide con el incremento en la resistencia observada en el mismo tratamiento (Figura 18), para luego descender hasta T_4 , y luego mostrar un comportamiento similar a la observada con el motor nuevo (Figura 11).

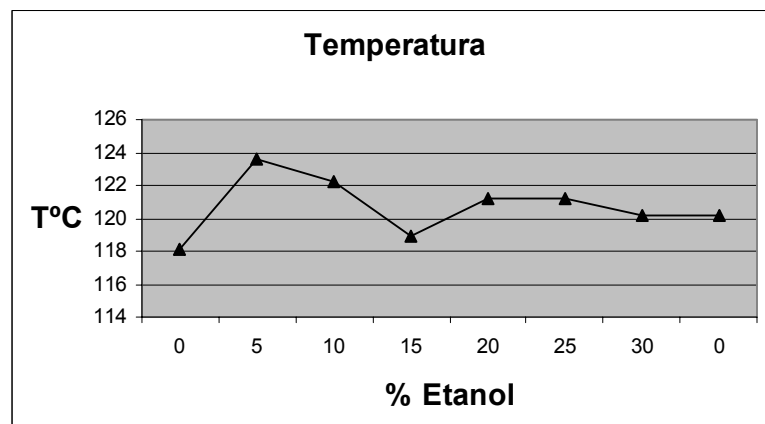


Figura 20: Temperatura de los tratamientos en motor usado.

Quizás, si se hubiesen realizado repeticiones con los distintos motores, se notaría una tendencia más clara en el comportamiento de éstos.

CONCLUSIONES

Una vez realizadas las mediciones y analizados los datos, se puede concluir que no hubo una notoria diferencia en el comportamiento mostrado por los motores, en el rango comprendido entre 0% y 15% de etanol, destacando las mezclas con 10 y 15%, sin registrarse variaciones notorias en la potencia y consumo, junto a una leve disminución de la temperatura al escape, lo que coincide plenamente con la hipótesis planteada para la realización de ésta investigación

De lo recientemente expuesto se desprende que la utilización y producción de etanol, es totalmente factible desde el punto de vista del desempeño del motor, lo que quedó de manifiesto una vez concluida esta investigación.

Es importante conocer el octanaje óptimo que cada fabricante de motores recomienda, y al usar mezclas de gasolina con etanol, es necesario utilizar una gasolina con índice octano menor, para no sobrepasar en gran magnitud lo indicado para un determinado motor.

Junto a lo anterior, también se cumplió el objetivo secundario ya que la implantación del banco de pruebas con el freno dinamométrico fue un éxito, al utilizar los distintos motores con el generador de corriente eléctrica, puesto que permitió la realización de las mediciones de los distintos tratamientos para su posterior comparación. A esto se suma el hecho que para las próximas investigaciones relacionadas a los biocombustibles, el módulo de pruebas ya estará construido, lo que evidentemente facilitará en gran medida la tarea.

BIBLIOGRAFÍA

- Addison, K., 2005. Etanol Fuel. Disponible en: <http://journeytoforever.org/ethanol.html>. Consultado el 01-08-2006.
- Anónimo, 1999. Gasohol: un asunto controversial. Universidad Autónoma de México. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/1999/05/24/cien-gasohol.html>. Consultado el 10-01-2006. Publicado el 24-05-1999.
- Anónimo, 2004. De tripas corazón...y de caña, gasolina. Grupo León Jimenes. Disponible en: http://www.glj.com.do/leoncito/eneromarzo2004/leoncito_tecnologia.htm. Consultado el 10-01-2006.
- Anónonimo, 2005. Disponible en: <http://www.arubras.com.ar/productos/MTBE.html>. Consultado el 25-08-2006.
- Anónimo, 2006a. Petróleo. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Petr%C3%B3leo>. Consultado el 25-08-2006.
- Anónimo, 2006b. Gasolina. Disponible en: <http://campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/gasolina/gasolina.htm>. Consultado el 26-12-2006
- Arias-Paz, M., 1952. Manual de Automóviles, 1952, 18ª ed. Editorial Dossat, S.A., Madrid, España. 687p.
- Barriga, C. 2001. Bio-Combustibles: Nueva Alternativa para el Mundo. Economía Agraria, volumen 6, 2001. p437-446.
- CONAMA, 2005. Temas ambientales, aire. Disponible en: <http://www.conama.cl>. Consultado el 19-11-2005. Publicado el 10-05-2005.
- COPEC, 2006. Combustibles. Disponible en <http://www.copec.cl>. Consultado el 13-09-2006.
- De Dios, C.A., 1996. Secado de granos y secadoras. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S04.htm>. Consultado el 10-08-2006.
- ENAP. 2005. Transporte Urbano. Disponible en: www.enap.cl . Consultado el 19-11-2005. Publicado el 30-11-2004.
- FAO. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 110, 1994.
- García, J., 2004. Qué es la potencia eléctrica. Disponible en <http://www.asifunciona.com>. Consultado el 25-10-2006.

- Greene, A. B., Lucas, G.G., 1969. Energy Losses. The Testing of Internal Combustion Engines, 1969. 2nd ed. The English Universities press Ltd., London, UK. p136.
- Gremone, L. y Lutereau, P., 2006. El ciclo de precios del petróleo y la relación entre gobiernos y empresas privadas. Diario Financiero, 08-08-2006. p34.
- IANSA, 2006a. La agricultura como fuente energética. Gestión & Tecnología N° 12, julio 2006. p34-36.
- IANSA, 2006b. Los mejores agricultores remolacheros del 2005. Gestión & Tecnología N° 12, julio 2006. p23-27.
- Márquez, L. 1995. Los biocarburantes: Limitaciones y perspectivas In Energías Renovables, Instituto de Ingenieros de España (Comité de la Energía y Recursos Naturales) ISBN 84-7834-262-
- Márquez, L. 1998. Comparando: ¿Qué potencia tiene este tractor?. Agrotécnica abril 1998.25-35 p.
- NASAMAX, 2006. Frequently Asked Questions. Disponible en: http://nasamax.com/racing/en/bio_ethanol_1.asp. Consultado el 10-08-2006.
- Rubió, G., 2005. Los Biocombustibles: Situación actual, análisis y perspectivas de la producción en MERCOSUR y del comercio con la UE. Disponible en: http://www.fao.org/sd/dim_en2/docs/working1_es.doc. Consultado el 10-08-2006. Publicado el 24-03-2005.
- SNA, 2006. Emailnoticias N° 452, 14-07-2006.
- TODOMOTORES, 2006. Compresión de motor. Disponible en http://www.todomotores.cl/mecanica/relacion_compresion.htm. Consultado el 26-12-2006.
- UNFPA, 2001. El Estado de la Población Mundial 2001. Disponible en www.unfpa.org . Consultado el 19-11-2005.
- Vildósola E., P., 2006. Producción de biocombustibles: El agro aprieta el acelerador. Revista del Campo N° 1568, 31-07-2006. pA10-A11.
- Wagner, M. 2004. Etanol. Disponible en www.cleanairnet.org . Consultado el 22-10-2005.