

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECÁNICA Y MINAS

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC

**“INFLUENCIA DEL HIDRÓGENO EN EL DESARROLLO DE LA
POTENCIA DEL MOTOR MODELO HONDA EP650 GASOLINERO”**

PRESENTADO POR:

Bach. FARID CAITUIRO VALENZUELA

Bach. JOSÉ WILLIANS FLOREZ CONDORI

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

ASESOR:

ING. ARTURO MACEDO SILVA

**CUSCO - PERÚ
2013**

AGRADECIMIENTO

Queremos en primer lugar agradecer a Dios, a nuestros padres, hermanos y las personas que nos brindaron todo su apoyo.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento y reconocimiento especial a los ingenieros:

- Ing°, Arturo Macedo Silva, asesor de la tesis.
- Ing°, Alfonso Huamán Valencia.

Por el apoyo y asesoramiento profesional que nos brindaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Nuestro sincero y eterno agradecimiento:

A todos los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica quienes nos transmitieron sus conocimientos y experiencias durante nuestro proceso de formación.

RESUMEN

La energía es uno de los factores principales que lleva a un país a su desarrollo, por este motivo, con este estudio se pretende conocer el uso del hidrógeno como combustible para el futuro, siendo para este proyecto la utilización del hidrógeno en su variedad HHO como aditivo enriquecedor. Este proyecto se realizó con la finalidad de observar y registrar la influencia del hidrógeno en el desarrollo de la potencia del motor honda modelo EP650 realizado en la ciudad del cusco a una altura 3360 msnm.

Con las investigaciones, pruebas desarrolladas y analizadas en el presente trabajo se determinó que con la utilización de la mezcla gasolina-HHO se obtiene una mejor combustión dentro de la cámara de combustión, lo que da como resultado una disminución de la emisión de gases contaminantes hacia el medio ambiente y de consumo de combustible, así como también un incremento en la potencia del Generador. Para la presente investigación se implementó un banco de pruebas el cual se utilizó para la obtención de datos.

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo del estudio "influencia del hidrógeno en el desarrollo de la potencia del motor modelo honda EP650", se desarrollan los siguientes temas:

Capítulo I: Referente a la formulación del problema en base al cual se identificó el problema, asimismo se desarrolla la hipótesis las que verifican una vez desarrollada la tesis, finalmente encontramos la justificación del estudio del Hidrógeno en los motores encendidos por chispa.

Capítulo II: Referente al marco teórico, está dividido en tres etapas, la primera etapa trata sobre la teoría básica de los motores de combustión interna, en cuanto se refiere a su evaluación, determinación de parámetros y ciclos de funcionamiento. En la segunda parte estudiaremos al Hidrogeno desde su composición, presencia en la naturaleza, formas de generación, aplicación en motores de combustión interna.

Capítulo III: En este capítulo describimos la problemática actual de los combustibles fósiles y el futuro de los motores de combustión interna.

Capítulo IV: en este capítulo se describe el desarrollo de la experimentación, el procesamiento y análisis de los datos obtenidos al utilizar la gasolina y la mezcla gasolina-HHO.

INDICE

Capítulo I

INFLUENCIA DEL HIDRÓGENO EN LA POTENCIA DEL GENERADOR HONDA EP650

1.1.	Problema Objeto de Investigación	01
1.2.	Formulación del problema	02
1.3.	Justificación del estudio	03
1.4.	Limitaciones y restricciones de la investigación	03
1.5.	Alcances	03
1.6.	Objetivos de la investigación	04
	Objetivo general	04
	Objetivos específicos	04
1.7.	Hipótesis	04
1.8.	Variables e indicadores	04
	Variable independiente	04
	Variable dependiente	04
1.9.	Metodología	04
	Técnicas de recolección de datos	04
	Procesamiento de datos	05
	Técnicas de análisis de datos	05

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Fundamento teórico de los motores de combustión interna de encendido por chispa	06
2.1.1	Definición	06
2.1.2	Clasificación de los motores de combustión interna	06
2.1.3.	Ciclo termodinámico	07
2.1.3.1.	Ciclo teórico Otto	07
2.1.3.2.	Ciclo real	09
2.1.4.	Evaluación de motores de combustión interna	10
2.1.5.	Frenos dinamométricos	11
2.1.5.	Propiedades geométricas del motor reciprocante	11
2.1.6.	Parámetros de funcionamiento de los MCI	12
2.2.	El alternador síncrono	14
2.2.1.	Perdidas	14
2.2.2.	Rendimiento	15

2.3.	Combustibles	16
2.3.1	Clases de combustibles	16
2.3.1.1	Combustibles sólidos	16
2.3.1.2.	Combustibles líquidos	17
2.3.1.3.	Combustibles gaseosos	17
2.3.2.	Composición química de los combustibles	18
2.3.3.	Características de los combustibles para MEP	19
2.3.3.1.	Poder calorífico	19
2.3.3.2.	Peso específico	19
2.3.3.3.	Volatilidad	19
2.3.3.4.	Presión de vapor	19
2.3.3.5.	Resistencia a la detonación	19
2.4.	Combustión	20
2.4.1.	Combustión con aire	21
2.4.2.	Combustión ideal para un motor de ciclo Otto	22
2.4.3.	Relación aire-combustible (a/c)	22
2.5.	Hidrogeno concepto y generalidades	23
2.5.1.	Propiedades generales del hidrógeno	24
2.5.2.	Isótopos	26
2.5.3.	Hidrógeno como vector energético	27
2.5.4.	Generación de hidrógeno	27
2.6.	Tecnologías del hidrógeno	28
2.6.1.	Pilas de combustible	28
2.6.2.	Almacenamiento	29
2.6.2.1.	Almacenamiento de hidrógeno gas comprimido	30
2.6.2.2.	Hidrógeno líquido criogénico	31
2.6.2.3	Almacenamiento solido de hidrógeno	32
2.6.2.4.	Escenarios de introducción	33
2.7.	La economía del hidrógeno	34
2.7.	Obtención de hidrógeno	35
2.7.1.	Generación de hidrógeno a partir de combustibles fósiles	36
2.7.1.1.	Reformado de gas natural	36
2.7.1.2.	Oxidación parcial de hidrocarburos	36
2.7.2.	Generación de hidrógeno a partir de energías renovables	37
2.7.2.2.	Uso de energía eólica para producir hidrógeno	37
2.7.2.3.	Foto-electrólisis	38
2.7.2.4.	Producción biofotolítica de hidrógeno	39

2.8.	Electrolisis	39
2.8.1.	Definición	39
2.8.2.	Descripción del proceso de electrolisis	40
2.8.3.	El oxihidrógeno - hho o gas de Brown	41
2.8.4.	Características del hho	44
2.8.5.	Generador de hho	45
2.8.5.1	Celdas húmedas	46
2.8.5.2	Celdas secas	47
2.8.6.	Electrolito	48
2.8.6.1.	Tipos de electrolito	48
2.8.7.	Termodinámica del hho	48
2.9.	Hidrogeno aplicación en motores de combustión interna	50
2.9.1.	Conceptos generales	50
2.9.2.	Relación de combustión aire-hidrógeno	50
2.9.3.	Evolución técnica de los motores de gasolina a hidrógeno	53
2.9.3.1.	Control del aceite del motor	53
2.9.3.2	Culata y refrigeración	53
2.9.3.3.	Sistemas de ignición	54
2.9.3.4.	Cambios estructurales	54
2.9.3.5.	Sistemas de suministro de combustible	55
2.9.3.6.	Ventilación del cárter del motor	56
2.9.3.7.	Sistema de escape	56
2.9.3.8.	Aceite lubricante	57
2.9.4.	Potencia obtenida	57

Capítulo III

PROBLEMÁTICA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.1.	Normatividad TIER.	59
3.1.1.	Normativa sobre los combustibles.	63
3.2.	Normatividad TIER en el Perú.	63
3.3.	Tecnologías de control de emisiones.	65
3.3.1.	Sistema de ventilación positiva del cárter pcv.	66
3.3.2.	Sistema de control de emisiones evaporativas.	66
3.3.3.	Sistema de recirculación parcial de los gases de escape (EGR).	67
3.3.4.	Sistema de inyección de aire al tubo de escape.	68
3.3.5.	El convertidor catalítico.	69
3.3.6.	El sistema SCR (reducción catalítica selectiva)	70

3.4. Efectos contaminantes de los motores de combustión interna.	71
3.4.1. Gases inofensivos.	71
3.4.2. Gases contaminantes.	72
3.5. El agotamiento del petróleo.	73
3.6. El petróleo en el Perú.	76
3.6.1. El Perú país dependiente del petróleo	79

Capítulo IV

ESTUDIO EXPERIMENTAL

4.1. Equipos	81
4.1.1. Motor honda modelo ep650	81
4.1.2. Equipo generador de hho	83
4.1.3. analizador de gases	86
4.2. Instrumentos de medición	86
4.3. Adaptaciones y/o modificaciones	89
4.3.1. Ingreso de aire-hho	89
4.3.2. Tubo de escape	91
4.4. Toma de datos	93
4.4.1. Toma de datos de los principales parámetros del generador eléctrico	93
4.4.2. Resultados obtenidos	94
4.4.3. Procesamiento de los datos	95
4.4.3.1. Potencia eléctrica del generador	95
4.4.3.2. Tensión de corriente alterna CA (V)	97
4.4.3.3. Intensidad de corriente alterna (A)	98
4.4.3.4. Frecuencia de corriente alterna (Hz)	99
4.4.3.5. Revoluciones por minuto del generador (rpm)	100
4.4.3.6. Temperatura de gases de escape	102
4.4.3.7. Tiempo de consumo de gasolina	103
4.4.3.8. Desarrollo de potencia en función de las rpm	104
4.5. Parámetros de desempeño del motor.	106
4.6. Toma de datos de emisión de gases	114
4.6.1. Resultados del analizador	114
4.6.2. Procesamiento de datos	121
4.7. Desempeño ambiental	132
4.7.1. Emisiones de CO ₂ .	133
4.7.2. Emisiones de CO.	134

4.8. Costo de la experimentación

136

Conclusiones

Recomendaciones

Anexos

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

- **AdBlue:** solución al 32,5% de urea y agua purificada no tóxica, incolora e inodora
- **Aleación 316:** Es una aleación de acero inoxidable con Níquel-Cromo y contenido en Molibdeno. Esta aportación incrementa su resistencia a la corrosión, mejorando su respuesta ante picaduras en entornos clorados, y le proporciona mayor dureza a elevadas temperaturas.
- **Alternador síncrono:** maquinas eléctricas que se emplean para generar la corriente monofásica y trifásica.
- **Anión:** Un anión es un ion (o ión) con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.
- **Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- **Catión:** Un catión es un ion (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones.
- **Cenit:** Punto culminante o momento de apogeo de una persona o de una cosa.
- **Combustible:** Sustancia química con carácter reductor, capaz de reaccionar con el oxígeno (o con otro oxidante) de forma rápida y exotérmica.
- **Composición química:** Caracterización química de una sustancia, indica la proporción de los componentes que conforman la sustancia.
- **Curva de destilación:** Indica la temperatura a la cual se evapora un determinado porcentaje de combustible, tomando una muestra de referencia.
- **Cracking:** En química, cracking o craqueo es la descomposición de una molécula compleja en otras más pequeñas

- **Densidad o peso específico:** Relación existente entre una masa de combustible y el volumen que ocupa en unas condiciones de referencia de presión y temperatura dadas.
- **Densidad relativa:** Es la relación existente entre el peso específico del combustible y entre el peso específico de un elemento de referencia. Para sólidos y líquidos el elemento de referencia es el agua (1000 kg/m^3), y para gases es el aire ($1,293 \text{ kg/m}^3$).
- **Dosado estequiométrico:** Es la relación entre la cantidad de aire y la de combustible necesario para que se produzca la combustión completa y sin que falte ni sobre comburente.
- **Energía:** En física, «energía» se define como la capacidad para realizar un trabajo.
- **Estado:** Son los estados en los que se encuentra la materia, estos estados son: sólido, líquido, gaseoso y plasma.
- **Entalpía:** Es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que se puede intercambiar con su entorno.
- **Entropía:** Es una propiedad termodinámica que se utiliza para medir la degradación de la energía que se produce en los diversos procesos en los que interviene.
- **Fragilización:** Pérdida de resistencia y ductilidad inducida por el hidrógeno que puede derivar en la iniciación o propagación de fracturas mecánicas
- **Ión:** Es una sub-partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra.
- **Isótopo:** Isótopo significa "*mismo lugar*", es decir, especie química de un elemento (con un nº de protones, o nº atómico (Z), determinado) cuyos átomos

están constituidos en su núcleo por un cierto número de neutrones, siendo diferente y característico para cada isótopo.

- **Número de Octano (N.O.):** Número normalizado para caracterizar la resistencia de un combustible para llegar a producir detonación o autoencendido en un motor de referencia.
- **Masa molecular:** Es la suma de los pesos atómicos de los átomos que forman una molécula. Su conocimiento permite calcular el dosado estequiométrico en la mezcla aire y combustible en la reacción de combustión
- **Par motor.** Es el momento aplicado al freno del eje motor y significa el momento de torsión del eje cigüeñal.
- **Poder calorífico del combustible:** Capacidad de un combustible para ceder calor mediante una reacción ideal de oxidación.
- **Poder calorífico inferior del combustible (PCI):** Es la cantidad de calor producido por la combustión teórica y completa de una unidad de masa o volumen del combustible sin que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.
- **Poder calorífico superior del combustible (PCS):** Es la cantidad de calor producido por la combustión teórica y completa de una unidad de masa o volumen de combustible suponiendo que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.
- **Potencia:** Es el trabajo que realiza el motor por unidad de tiempo.
- **TIER:** Es un conjunto de normas que definen las emisiones y protocolos de pruebas para vehículos automotores utilizadas en USA y otros países
- **Viscosidad:** La viscosidad es una medida de la fluidez de un elemento, y depende de la temperatura a la que se mida.

- **Punto de inflamación (nivel de ignición):** Temperatura a partir de la cual una mezcla de combustible y aire es capaz de iniciar la reacción.
- **Presión de vapor:** Es la presión ejercida por el vapor de un líquido cuando se encuentra en equilibrio de fase.
- **Volatilidad:** Propiedad que se mide igual que la presión de vapor. Registra de manera indirecta el contenido de los componentes volátiles que brindan la seguridad del producto durante su transporte y almacenamiento.
- **Límites de inflamabilidad:** La cantidad de aire precisa para que se produzca la combustión es más o menos variable y tiene unos límites llamados de inflamabilidad.
- **Poder calorífico inferior de la mezcla:** Es la cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de la mezcla de combustible y aire sin que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.
- **Temperatura de flama adiabática:** Es la máxima temperatura a la que llega la combustión de la mezcla aire-combustible sin pérdidas de calor.
- **Trabajo:** Es una forma de energía en tránsito, o sea, energía siendo transferida a través de la frontera de un sistema.

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras

<i>A</i>	<i>Masa atómica.</i>
<i>AC</i>	<i>Corriente alterna.</i>
<i>A/C</i>	<i>Relación aire-combustible.</i>
<i>AIE</i>	<i>Agencia internacional de energía.</i>
<i>ASPO</i>	<i>Asociación para el estudio del pico del petróleo y el gas.</i>
<i>α</i>	<i>Coefficiente de exceso de aire.</i>
<i>B²</i>	<i>Diámetro del cilindro o calibre</i>
<i>bpd</i>	<i>barriles por día.</i>
<i>C</i>	<i>Carbono.</i>
<i>°C</i>	<i>Grado centígrado.</i>
<i>CO₂</i>	<i>Dióxido de carbono.</i>
<i>CO</i>	<i>Monóxido de carbono.</i>
<i>C₈H₁₈</i>	<i>Octano</i>
<i>DC</i>	<i>Corriente directa o corriente continua.</i>
<i>DEF</i>	<i>Fluido para gases de escape diésel.</i>
<i>EPA</i>	<i>Agencia de Protección Medio ambiental Estadounidense.</i>
<i>EGR</i>	<i>Recirculación de gases de escape.</i>
<i>ε</i>	<i>Relación de compresión.</i>
<i>f</i>	<i>Frecuencia.</i>
<i>GM</i>	<i>General Motors.</i>
<i>GNC</i>	<i>Gas natural comprimido</i>
<i>GLP</i>	<i>Gas licuado de petróleo.</i>
<i>HHO:</i>	<i>Oxihidrógeno.</i>
<i>H.F.P.</i>	<i>Plataforma europea del hidrogeno.</i>

H_2	Hidrógeno.
HCHO	Formaldehído para Pasajeros.
H_2O	Agua químicamente pura.
Hp	horse power.
IA	Grupo 1 A de elementos de la tabla periódica
I + D	Investigación y desarrollo.
K	kelvin.
Kg	kilogramo.
L	Carrera.
l	Cantidad real de aire que ingresa al cilindro en kg.
L	Cantidad real de aire que ingresa al cilindro en kmol.
l_0	Cantidad de aire teóricamente necesaria para para la combustión de un kilogramo de carburante en kg.
L_0	Cantidad de aire teóricamente necesaria para para la combustión de un kilogramo de carburante en kmol.
msnm:	Metros sobre el nivel del mar.
M	Masa molar.
MACI	Motores alternativos de combustión interna.
MCI	Motor de combustión interna.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
N	Número de moles.
N_2	Nitrógeno
NMHC	Hidrocarburos no metano.
NMOG	Gases orgánicos no metano.
N_e	Potencia al freno.
N_I	Potencia indicada.
N_F	Potencia de fricción.

n_m	<i>Rendimiento mecánico.</i>
<i>N.O</i>	<i>Número de octano.</i>
NO_x :	<i>Óxidos de nitrógeno.</i>
η_v	<i>Rendimiento volumétrico o coeficiente de llenado</i>
<i>OBD</i>	<i>Sistemas de diagnóstico a bordo.</i>
O_2	<i>Oxígeno.</i>
<i>PCI</i>	<i>Poder calorífico inferior.</i>
<i>PCS</i>	<i>Poder Calorífico Superior.</i>
<i>PM</i>	<i>Particulados.</i>
<i>PMS</i>	<i>Punto muerto superior.</i>
<i>PMI</i>	<i>Punto muerto inferior.</i>
<i>ppm</i>	<i>Partes por millón</i>
<i>PCV</i>	<i>Sistema de ventilación positiva del cárter.</i>
<i>rpm</i>	<i>Revoluciones por minuto</i>
<i>THC</i>	<i>Hidrocarburos totales.</i>
<i>SCR</i>	<i>Reducción Catalítica Selectiva</i>
<i>u.m.a</i>	<i>Unidad de masa atómica.</i>
<i>ULSD</i>	<i>Diesel ultra bajo en azufre.</i>
<i>VA</i>	<i>Válvula de admisión.</i>
<i>VE</i>	<i>Válvula de escape.</i>
V_a	<i>Cilindrada unitaria.</i>
V_c	<i>Volumen muerto o volumen ocupado.</i>
<i>w</i>	<i>Watts.</i>

Capítulo I

GENERALIDADES

1.1. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.

La sociedad actual en la que se desarrolla el hombre se ha forjado con el uso de la energía, durante el pasado siglo el carbón el petróleo el gas natural y la electricidad, han transformado la condición humana, pero con el aumento de la población mundial ha aumentado la demanda de energía que no puede ser satisfecha solamente con los combustibles fósiles.

Actualmente el 97% de la energía primaria que se consume en el mundo, 22% es carbón, 40% es petróleo y 23% es gas natural. Estas generan contaminación y no son renovables, siendo el principal consumidor de petróleo y gas natural los motores de combustión interna (estacionarios y automoción).

Los motores de combustión interna son máquinas térmicas directas, estos son capaces de convertir la energía térmica de un fluido compresible obtenida mediante un proceso de combustión, en energía mecánica. Como resultado de este proceso de combustión se generan gases de combustión que son fundamentalmente el dióxido de carbono y los óxidos nitrosos. Es por ello que los motores de combustión interna tienen gran responsabilidad en los niveles de emisión de sustancias que provocan el "efecto invernadero", trayendo como consecuencia cambios climáticos.

Debido a todos estos antecedentes de los combustibles fósiles utilizados en motores de combustión interna, se está desarrollando la utilización de energías y combustibles más limpios y eficientes, como pueden ser las energías: eólica, fotovoltaica, biomasa, biocombustibles, geotérmica, mareomotriz etc. entre estas aparece el hidrógeno como un vector energético, el atractivo del hidrógeno radica en la variedad de métodos para producirlo y en la diversidad de sistemas de generación de energía para utilizarlo, principalmente su efecto no contaminante.

Entendemos por vector energético a un portador de energía que se debe producir a partir de fuentes primarias, esto se debe a que las moléculas de hidrógeno no se encuentran en forma natural en la tierra y para generarlas necesitamos una materia prima (moléculas que contengan hidrógeno) y energía renovable o no renovable para obtener las moléculas de hidrógeno a partir de la materia prima.

Actualmente existen dispositivos que utilizan el hidrógeno como combustible principal, entre estos tenemos a las pilas de combustible que son dispositivos electroquímicos que convierten directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica, en presencia de un oxidante (aire u oxígeno)

El hidrógeno es el elemento más ligero y más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del universo y en 90% en número de átomos, en condiciones normales es un elemento gaseoso reactivo, insípido, incoloro e inodoro. Las propiedades que contribuyen a usarlo como combustible son: amplia gama de inflamabilidad, baja energía de ignición, pequeña distancia de apagado, temperatura de auto ignición elevada, alta velocidad de llama en condiciones estequiometrias, elevada difusividad y muy baja densidad.

La importancia que tiene el hidrógeno en los motores de combustión interna es que puede utilizarse en motores gasolineros y diesel actuando como un aditivo enriquecedor de la mezcla aire combustible (gasolina), produciendo una combustión más completa y limpia.

Por otro lado las potencias de los motores de combustión interna disminuyen con el incremento de la altura debido a la baja cantidad de oxígeno, pero no se tiene estudios de cómo afectaría a esa reducción de potencia introduciendo hidrógeno a la mezcla de aire y gasolina.

Sería necesario saber en qué porcentaje se incrementa la potencia al utilizar el hidrógeno como aditivo en la gasolina.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Luego de haber descrito brevemente la situación que atravesamos tanto energética y medio ambiental el problema puede ser formulado con la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo influye en la potencia del motor modelo honda EP650 el hidrógeno como aditivo en la gasolina?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

La presente investigación "Cómo influye la inclusión del hidrógeno en la mezcla con gasolina en la potencia del motor modelo Honda EP650 gasolinero" es importante porque no se tiene estudios de la mezcla hidrógeno gasolina y cómo afecta este a la potencia del motor en nuestro ámbito geográfico siendo este nuestro punto de partida.

La contribución teórica de esta investigación está dirigida a ampliar el conocimiento sobre el estudio del hidrógeno como un vector energético en la región y especialmente en nuestra universidad y que sirva de base teórica para futuras investigaciones que se puedan realizar sobre este tema.

Desde el punto de vista práctico nos servirá de banco de pruebas para verificar las variaciones de potencia producidas por las mezclas de hidrógeno y gasolina.

1.4. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

- La presente investigación se limita al análisis cómo influye la inclusión del hidrógeno como aditivo en la gasolina en el desarrollo de la potencia del motor modelo Honda EP650 gasolinero de baja cilindrada, cuyos resultados se limitarán a las características propias de este tipo de motor.
- El motor no cuenta con un catalizador de gases de escape.
- No se realizarán análisis y pruebas de fluidos.
- Se desconoce el grado de pureza del Hidrógeno obtenido.

1.5. ALCANCES.

Para el desarrollo experimental se implementara un módulo el cual constara de un motor de combustión interna y una celda seca para la producción de hidrógeno mediante electrolisis en su variedad oxihidrógeno (HHO), además de otros dispositivos que ayudaran al desarrollo de la investigación.

El presente trabajo servirá de base a futuras investigaciones en lo que respecta al uso de combustibles alternativos en motores de combustión interna ciclo Otto.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

OBJETIVO GENERAL.

Conocer las variaciones de potencia del motor de combustión interna Honda modelo EP650 gasolinero mediante la inclusión de hidrógeno como aditivo en la gasolina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Describir planteamientos teóricos directamente relacionados con el hidrógeno.
2. Describir la problemática actual de los motores de combustión interna.
3. Proponer al hidrógeno como aditivo en la mezcla con la gasolina y analizar la influencia del hidrógeno en la combustión.
4. Evaluar las variaciones de potencia en el motor modelo Honda EP650 con el hidrogeno como aditivo.

1.7. HIPOTESIS.

La inclusión del hidrógeno como aditivo en la gasolina mejoraría la potencia en el motor modelo Honda EP650.

1.8. VARIABLES E INDICADORES.

VARIABLE INDEPENDIENTE.

- Porcentaje de hidrógeno [Moles, Kg]
- Porcentaje de gasolina [Moles, Kg]

VARIABLE DEPENDIENTE.

- Potencia [HP]

1.9. METODOLOGÍA.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Las técnica a utilizar por conveniente es el método experimental para la recolección de datos, donde se realizará la mezcla gasolina-HHO, también se

hará comparaciones entre los resultados obtenidos entre la gasolina y la mezcla gasolina-HHO, se analizará las consecuencias que generan en la variable dependiente (potencia). Estos datos serán aplicados, codificados y preparados para el análisis.

- La potencia de salida del generador se ha de medir en consumo de energía eléctrica, a través de un tablero de luces.

Los instrumentos para la recolección de datos a utilizar serán:

- Tacómetro, pinza amperimétrica, termómetro, anemómetro.
- Analizador de gases, para medir los % de hidrógeno y Gasolina.

PROCESAMIENTO DE DATOS.

Los datos recolectados serán procesados mediante análisis de curvas, tablas comparativas, de los cuales obtendremos la tendencia y comportamiento de la potencia.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.

Se verificarán los resultados en función de los resultados obtenidos en la experimentación, clasificando los datos que aumentaron y que disminuyeron.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR CHISPA.

2.1.1 DEFINICIÓN.

El motor de combustión interna (MCI) es un conjunto de mecanismos completamente sincronizados que aprovechan la energía calorífica de los combustibles (gasolina, petróleo, alcohol y gas), para obtener una energía mecánica de movimiento circular. Se les denominan de combustión interna porque el proceso químico de combustión ocurre en el interior del motor y los gases, producto de éste, al expandirse por el calor generado, ejercen la fuerza que proporciona la potencia mecánica.

Los motores de combustión interna son aquellos en los cuales la transmisión de trabajo se efectúa mediante un desplazamiento lineal recíprocante.

Según el cual un émbolo se desliza dentro de un cilindro, hacia atrás y hacia adelante transmitiendo fuerza a la flecha motriz, por lo general mediante un simple mecanismo de biela manivela.

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Los motores de combustión interna se pueden clasificar atendiendo las siguientes características a saber:

1. Según el campo de aplicación pueden ser:
 - a. Estacionarios, que son utilizados en grupos electrógenos, en el accionamiento de equipos de bombeo, en los oleoductos y gaseoductos, en la agricultura, etc.
 - b. De transporte, los que se instalan en automóviles, tractores, aviones, barcos, locomotoras y demás máquinas y medios de transporte.
2. Por el método de inflamación de la sustancia de trabajo los motores se dividen en: Motores de encendido por chispa eléctrica (de carburador, a gas, con

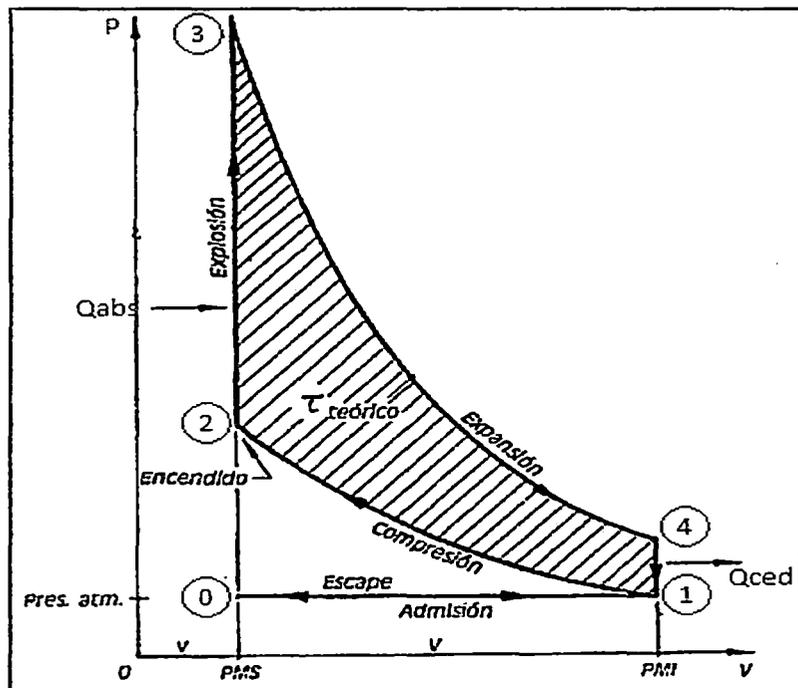
inyección de combustible) y motores de ignición por compresión (Diesel, diesel-gas, etc.).

3. Por el método de regulación de la potencia – Motores de regulación cuantitativo y motores de regulación cualitativa.
4. Por el método de formación de la mezcla, motores con formación externa de la mezcla y motores con formación interna de la mezcla.
5. Según el método de enfriamiento de los motores se dividen en: refrigerados por líquido y refrigerados por aire.
6. Según el ciclo de trabajo, existen los MCI de dos tiempos y de cuatro tiempos.

2.1.3. CICLO TERMODINÁMICO.

2.1.3.1. CICLO TEÓRICO OTTO.

En los ciclos ideales se supone que el fluido operante está constituido por aire y que este se comporta como un gas perfecto.



Fuente: professionalautomotive.com

Fig.2-1. Diagrama del ciclo de Otto Teórico.

Las diferentes evoluciones que componen el ciclo teórico son:

Admisión: proceso 0-1. No es un proceso termodinámico. El pistón se desplaza desde el PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior). La válvula de

admisión, VA se encuentra abierta. El pistón realiza una carrera completa el cilindro se llena con mezcla aire/combustible. Al final de la admisión (en el PMI).

Compresión: proceso 1-2. Es un proceso termodinámico, con las dos válvulas cerradas (VA y válvula de escape VE), el pistón se desplaza desde el PMI al PMS para elevar la temperatura de la mezcla. Se comprime la mezcla aire/combustible. Es un proceso reversible adiabático. La compresión requiere trabajo negativo a entropía constante (proceso isentrópico).

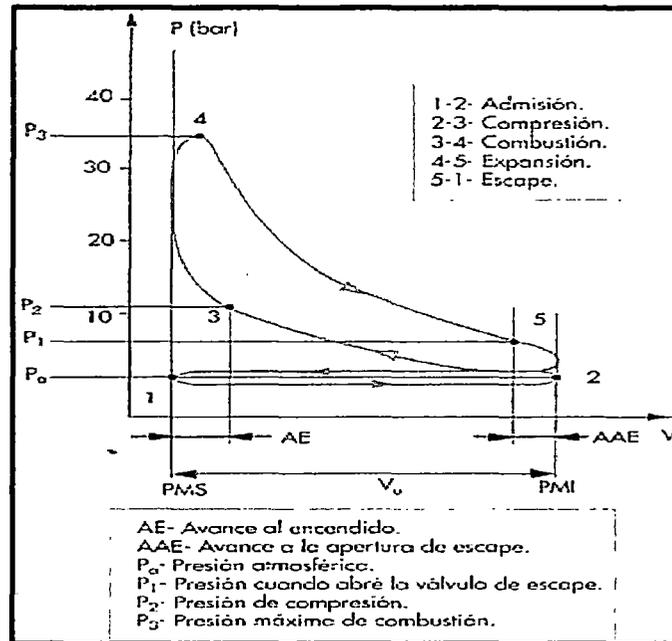
Encendido: proceso 2-3. Es un proceso termodinámico, cuando el pistón llega al PMS, se enciende la chispa en la bujía y se quema la mezcla en la cámara de combustión aumentando la temperatura y la presión de los gases de 2 a 3. Se entrega calor (q_a) al ciclo a volumen constante (proceso isométrico), y el pistón se mantiene en el PMS.

Expansión: proceso 3-4. Es un proceso termodinámico, con las dos válvulas cerradas el pistón se desplaza desde el PMS al PMI. Es un proceso isentrópico, el proceso genera trabajo positivo.

Escape: proceso 4-1. No es un proceso termodinámico en teoría esta caída de presión es instantánea y ocurre cuando se abre la válvula de escape, se entrega calor (q_b) del ciclo al exterior a volumen constante (proceso isométrico).

Nota: Los procesos termodinámicos se caracterizan por realizar trabajo y por la transferencia de calor los cuales se pueden analizar, los procesos de admisión y escape no producen un trabajo significativo el cual pueda considerarse, carecen de cualquier significado físico y termodinámico, estos dos procesos (admisión y escape) son fundamentales únicamente en la renovación del fluido operante del ciclo Otto.

2.1.3.2. CICLO REAL



Fuente: professionalautomotive.com

Fig. 2-2. Diagrama del ciclo de Otto Real.

Podemos observar que en ciclo teórico del motor de combustión, en el momento de la admisión la presión se mantiene (en la situación que se encuentre a nivel del mar) a 1 atmósfera de presión de forma constante. En realidad esto no sucede así, porque el pistón baja tan rápido que se produce vacío; es entonces cuando el aire empieza a entrar a través de la válvula de admisión, pero no hay una atmósfera de presión, sino algo menos por lo que ya tenemos pérdida de presión en la admisión. Es por eso, que la válvula de admisión se le retrasa el cierre, y esta válvula comienza a cerrar, en el ciclo práctico, cuando el pistón empieza a subir para facilitar el llenado lo máximo posible. En el ciclo teórico sin embargo, esa válvula debería cerrar cuando el pistón se encuentra en el PMI.

Si seguimos con la compresión vemos que llega a un valor máximo cuando se produce el avance de encendido y la mezcla inflama. En realidad no disponemos de tanta compresión o tanta fuerza en ese momento porque la admisión, como hemos mencionado antes, ha sido un poco deficiente.

En el momento de la combustión, cuando empieza a expandirse el cilindro hacia el punto muerto inferior, observamos un descenso de presión, ya que al aumentar el volumen en el cilindro disminuye la presión y por tanto la temperatura. En el ciclo real este descenso de temperatura es mucho más acusado, ya que existen

pérdidas de calor y además se produce un avance en la apertura de la válvula de escape antes incluso de que el pistón llegue al punto muerto inferior para que los gases comiencen a salir un poco antes de tiempo y asegurar una inercia inicial al pistón.

Seguidamente, cuando el pistón sigue con su fase de escape, en el ciclo teórico llega un punto en que la válvula de escape cierra y la de admisión continúa cerrada, pero esto en realidad no es así, y hay un momento, conocido como solapo, en el que ambas válvulas permanecen abiertas por un breve periodo de tiempo.

Esto es debido a que cómo se producen pérdidas de energía durante la expansión de los gases, y la admisión puede que no se haga a fondo, es posible que se produzca un ligero vacío que afecte a la inercia inicial del motor, es por eso que cuando el pistón llega al punto muerto superior en la fase de escape, la válvula de escape aún no ha cerrado del todo y la de admisión comienza a abrir. Esto favorece que la entrada de aire fresco obligue a los gases calientes a terminar de salir por la válvula de escape y facilitando además la inercia del motor.

2.1.4. EVALUACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Las principales pruebas experimentales son aquellas, que sirvan para determinar los valores del par motor, presión media efectiva, potencia desarrollada, potencia absorbida por el rozamiento, consumo específico del combustible, los diferentes rendimientos, la composición de los gases de escape, también para examinar el desarrollo de fenómenos termodinámicos (por ejemplo los valores de la presión en el cilindro, la composición de los gases de escape, el calor sustraído por la refrigeración, etc.) y de efectuar mediciones que permiten modificar los factores que tienen influencia sobre las características del motor sobre el funcionamiento de cada uno de sus sistemas auxiliares.

Los componentes básicos de los bancos de prueba son:

1. Freno con su mecanismo de medición de potencia
2. Tablero de control con instrumentos de medición
3. Sistemas auxiliares: arranque, alimentación de aire, alimentación de combustible, lubricación, refrigeración y evaluación de gases de escape.

2.1.5. FRENOS DINAMOMÉTRICOS.

Los frenos son los encargados de crear un par resistente que es el que proporciona la carga al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar las distintas condiciones operativas del motor, para medir la potencia que desarrolla el motor, los frenos disponen de un dispositivo llamado dinamómetro.

Se han desarrollado varios tipos de frenos basados en distintos principios, los más difundidos son:

- a. Frenos de fricción mecánica.
- b. Frenos hidráulicos.
- c. Frenos eléctricos.

En los frenos eléctricos, para determinar la potencia efectiva se puede utilizar generadores de corriente eléctrica. Así por ejemplo si se acopla un motor térmico a un dinamo conectado a una resistencia eléctrica, la potencia del motor se utilizara en accionarla. Esta potencia se puede determinar midiendo con un voltímetro y un amperímetro la potencia eléctrica suministrada por el dinamo, en este método debe tenerse en cuenta, que existirán pérdidas por rozamiento, por efecto del aire y pérdidas eléctricas dependientes de la carga en el generador por lo que la medida no es muy precisa. Esto hace que sea mucho más común medir la potencia del motor indirectamente a través del par motor.

Los frenos eléctricos son los medidores de potencia más prácticos en todos aquellos casos en que es posible su aplicación. En la actualidad se emplea en gran escala por su sensibilidad y su precisión para la medición de potencia y par con pequeñas cargas.

2.1.5. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL MOTOR RECIPROCANTE.

Los siguientes parámetros definen la geometría básica de un motor recíprocante:

- **Calibre:** así se llama al diámetro interior del cilindro que se expresa en mm.
- **Carrera:** Es la longitud o espacio recorrido por el pistón, al desplazarse del PMS al PMI, se expresa en mm.
- **Cilindrada:** Así se expresa al volumen ocupado por el cilindro entre su PMS y su PMI, se expresa en cm^3 y se calcula multiplicando la superficie del pistón por su carrera.

$$V_d = \frac{\pi B^2 L}{4}; \quad cm^3 \quad (2.1)$$

Donde:

V_d = Cilindrada unitaria, en cm^3

B^2 = Diámetro del cilindro o calibre, en cm

L = Carrera, en cm

- **Relación de compresión (ε):** La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible. La relación de compresión define el máximo rendimiento posible para la transformación de la energía de combustión contenida en el combustible en energía mecánica sobre el eje del motor.

$$\varepsilon = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.2)$$

V_d es volumen desplazado o barrido, en cm^3 y V_c es el volumen muerto, o volumen ocupado por la cámara de compresión, en cm^3 .

2.1.6. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MCI.

a. POTENCIA.

Es el trabajo que realiza el motor por unidad de tiempo.

- **POTENCIA AL FRENO. (N_e):** Es la potencia disponible en el eje motor, llamada también potencia efectiva, esta es posible obtener sabiendo el par motor y la velocidad de giro del cigüeñal. El par motor se mide con un dispositivo frenante, que aplicado al eje motor se opone al par motor y permite medir su valor.
- **POTENCIA INDICADA (N_I):** La potencia indicada es aquella que entrega los gases producidos en la combustión al empujar el pistón.
- **POTENCIA DE FRICCIÓN (N_F):** Es aquella que se usa para vencer la fricción en los cojinetes, émbolos, y otras partes mecánicas del motor además en la inducción de la carga aire-combustible y en la expulsión de los gases de escape, antes que se entregue potencia a través del eje de salida.

La potencia al freno es menor que la inducida, en una cantidad igual a la potencia consumida en la fricción del motor.

$$N_I = N_e + N_f, \text{ Watt} \quad (2.3)$$

b. PAR MOTOR.

Es el momento aplicado al freno del eje motor y significa el momento de torsión del eje cigüeñal. El par motor representa la capacidad del motor para producir trabajo.

c. RENDIMIENTO MECÁNICO (η_m)

La relación entre la potencia producida por el motor (potencia efectiva N_e) y la potencia total desarrollada dentro de él (potencia indicada N_I) se conoce como rendimiento mecánico.

d. PRESIÓN MEDIA EFECTIVA (p_e)

- **PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO**

Se define como la presión teórica promedio ejercida por el motor sobre el eje de salida durante un ciclo completo de operación. Para el motor de 4 tiempos la potencia es entregada al cigüeñal cada dos revoluciones la carrera de compresión y la fricción consumen parte de la potencia del cigüeñal.

- **PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA (p_i)**

Puede definirse como la presión teórica constante que supuestamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor (proceso de expansión), para producir una potencia igual a la indicada.

e. CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (g_e)

Indica el flujo de masa de combustible que el motor consume en relación con la potencia que produce. Es un parámetro comparativo que muestra cuanta eficiencia convierte un motor de combustión en trabajo.

f. RENDIMIENTO TÉRMICO EFECTIVO (η_e)

El rendimiento térmico efectivo de un motor es la relación que existe entre la potencia desarrollada en el eje y la potencia aprovechada del combustible.

g. RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE (A/C)

Es la relación que existe entre el flujo de aire y el flujo de combustible que entra al motor.

Esta relación puede obtenerse con gran precisión mediante análisis químico de los gases de escape. Sin embargo también puede determinarse efectuando las mediciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado. Se ha encontrado experimentalmente que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía.

h. COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE (α)

La relación entre la cantidad real de aire que ingresa al cilindro del motor (l , *kg* o L , en kmol), y la cantidad teóricamente necesario para la combustión de un kilogramo de carburante (l_o , *kg* o L_o , kmol), se denomina coeficiente de exceso de aire y se designa con la letra α .

si $\alpha = 1 \rightarrow$ Mezcla estequiométrica.

si $\alpha < 1 \rightarrow$ Insuficiencia de oxígeno, la mezcla se denomina rica.

si $\alpha > 1 \rightarrow$ Exceso de oxígeno, la mezcla se denomina pobre.

i. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO O COEFICIENTE DE LLENADO (η_v)

Es la razón entre la cantidad de carga fresca que se encuentra en el cilindro al inicio de la compresión real, es decir, al instante en que se cierran los órganos del intercambio de gases, y aquella cantidad de carga fresca que podría llenar la cilindrada (volumen de trabajo del cilindro) en las condiciones de admisión.

Las condiciones de admisión para los motores de cuatro tiempos sin sobre alimentación son la presión P_o y la temperatura T_o del medio ambiente.

2.2. EL ALTERNADOR SÍNCRONO.

Los alternadores también llamados generadores síncronos son las máquinas eléctricas que se emplean para generar la corriente monofásica y trifásica.

El alternador transforma la energía mecánica en eléctrica.

2.2.1. PÉRDIDAS.

En la transformación de potencia mecánica en eléctrica o viceversa, una fracción de la potencia transformada se convierte en calor y es prácticamente inutilizable,

por lo que se la denomina abreviadamente, pérdidas de la máquina. En la maquina eléctrica se observaran las siguientes pérdidas:

- a. Pérdidas en el hierro.
- b. Pérdidas en el cobre o en aluminio.
- c. Pérdidas mecánicas, si existen órganos en movimiento.

Las pérdidas en los aislantes (perdidas dieléctricas) son en todas las maquinas rotativas insignificantes.

a. PÉRDIDAS MECÁNICAS.

Comprenden las perdidas por rose en los cojinetes, en el aire, las escobillas y la potencia absorbida por el ventilador.

Estas pérdidas son función de la velocidad tangencial del rotor aumentando más o menos rápidamente con esta y también con el volumen del rotor.

b. PÉRDIDAS EN EL HIERRO.

Estas pérdidas por histéresis y por corrientes parasitas de Foucault se producen en los materiales magnéticos de las máquinas.

Las pérdidas por histéresis representan la energía transformada en calor a causa de la magnetización cíclica del hierro.

Las pérdidas por corriente parasitas o corrientes de Foucault, debidas a las corrientes inducidas en el hierro.

c. PÉRDIDAS EN EL COBRE Y POR CONTACTO.

Corresponden a las perdidas por efecto Joule en los devanados y en los contactos deslizantes entre escobillas y colector.

d. PÉRDIDAS ADICIONALES.

Estas pérdidas corresponden, por una parte, al incremento de pérdidas en el hierro que se tiene en las maquinas eléctricas, cuando están en carga, y, por otra parte, al incremento de pérdidas por efecto Joule en el cobre, como consecuencia de la desigual distribución de la corriente en la sección del conductor por efecto de corrientes parasitas inducidas que se superponen a la corriente de carga.

- Las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el hierro son perdidas fijas que aparecen en la maquina siempre que no dependan de la carga. Las

pérdidas mecánicas dependerán de la velocidad y las pérdidas en el hierro dependen de la tensión de la máquina.

- En cambio las pérdidas en el cobre se denominan pérdidas variables ya que son función de la carga.

2.2.2. RENDIMIENTO.

Para la rentabilidad el empleo de toda la máquina es de gran importancia el valor de su rendimiento, y de ahí el interés de su determinación exacta. En el caso de generadores eléctricos esta dado por la relación:

$$\eta = \frac{\textit{potencia cedida}}{\textit{potencia cedida} + \textit{pérdidas}} \quad (2.4)$$

2.3. COMBUSTIBLES.

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor poco a poco. Supone la liberación de una energía de su forma potencial (energía de enlace) a una forma utilizable sea directamente (energía térmica) o energía mecánica (motores térmicos) dejando como residuo calor (energía térmica), dióxido de carbono y algún otro compuesto químico. En general se trata de sustancias susceptibles de quemarse.

2.3.1. CLASES DE COMBUSTIBLES.

Los combustibles para motores endotérmicos pueden clasificarse en sólidos, líquidos y gaseosos.

2.3.1.1. COMBUSTIBLES SÓLIDOS.

Los combustibles sólidos no tienen aplicación práctica, porque las tentativas hechas para introducirlos pulverizados en los motores han puesto en evidencias graves inconvenientes funcionales, tales como desgaste y la corrosión de los cilindros y el agarrotamiento de las válvulas a causa de las cenizas que no pueden ser totalmente anuladas. Son combustibles sólidos el carbón vegetal, la leña, el coque de turba, el lignito, el carbón fósil o antracita, etc.

2.3.1.2. COMBUSTIBLE LÍQUIDOS.

Son los usados casi exclusivamente en automoción. Los combustibles líquidos pueden ser obtenidos de hidrocarburos derivados del petróleo u obtenidos de la biomasa (bioetanol, biometanol), Los derivados del petróleo se clasifican en dos grandes categorías a saber:

- **Carburantes**, que son usados sobre todos en motores de encendido por chispa: Gasolina, alcoholes (metanol).
- **Petróleos**, usados en los motores de encendido por compresión. Diesel 2. Los principales combustibles derivados de la biomasa son: El bioetanol, el biometanol, etc.

A continuación se describen los combustibles líquidos más usados en los motores de encendido por chispa:

- **Gasolina.** Las gasolinas son mezclas de aproximadamente cuarenta hidrocarburos principales y muchos otros en pequeñas cantidades.

En las gasolinas predominan el hexano, heptano, isooctano y pentano.

Para cálculos de combustión de gasolina, se supone satisface la fórmula molecular: C_8H_{18}

- **Etanol.** Obtenido mediante fermentación y posterior destilación de sustancias vegetales.
- **Metanol.** Obtenido a partir del Oxido de carbono e Hidrogeno, mediante catálisis y alta presión, se utiliza mezclado con etanol.
- **Gases líquidos**, metano, butano, propano, obtenidos de gases naturales, o en procesos de cracking o hidrogenación de hidrocarburos.

2.3.1.3. COMBUSTIBLES GASEOSOS.

Los combustibles gaseosos presentan casi completa combustión y de gran limpieza. Los productos de su combustión no poseen componentes de azufre, por lo que no causan efectos nocivos en el ambiente. Se pueden clasificar en líquidos (butano, propano) y en gases permanentes (metano) dependiendo de si pueden licuar a temperatura ambiente. Entre los combustibles gaseosos usados en motores encendidos por chispa están: Gas Natural Comprimido (GNC- CH_4),

Gas Licuado de Petróleo (GLP), Biogás, Hidrógeno (H_2). A continuación se muestra un cuadro general de la clasificación de los combustibles.

Tabla 2-1. Clasificación general de los combustibles industriales.

CLASIFICACION DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES			
SÓLIDOS	NATURALES	Madera y Residuos Vegetales	
		Carbón	Turberas
			Lignitos
			Huiles
	Antropocénico		
	ARTIFICIALES	Coque (Carbono y Petróleo)	
Aglomerados y Briquetas			
Carbono Vegetal			
LÍQUIDOS	Alcoholes	Naturales (Fermentación e hidrólisis)	
		Artificiales	
	Residuos	Lágrimas Negras	
	Derivados del Petróleo	Gasoleos	
GASEOSOS	Residuos	Fuel-Gas	
	Gas Natural	Diferentes Familias	
	Gas Licuado de Petróleo	Propano y Butano	
	Artificiales o Elaborados	Gas de Alto Hornos	
		Gas Coque	
		Gas Pobre	
		Gas de Agua	
		Gas Ciudad	
Biogás			

Fuente: Wikipedia.

2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS COMBUSTIBLES.

Se denomina composición química del combustible al contenido másico o volumétrico de cada elemento en el combustible. La composición química del combustible líquido se ha adoptado expresar en unidades de masa. Por ejemplo, 1 kg de isooctano (C_8H_{18}) contiene 0.842 kg de carbono (C) y 0,158 kg de hidrógeno. Para 1 kg de combustible líquido compuesto de carbono (C), Hidrógeno (H) y oxígeno (O), con ausencia de azufre, se puede escribir:

$$C + H + O_C = 1kg. \tag{2.5}$$

El combustible gaseoso, empleado para los motores de automóviles, está compuesto de una mezcla de diferentes gases, unos carburantes y otros inertes. Se ha adoptado expresar su composición en unidades volumétricas o en moles.

$$\sum C_n H_n O_r + N_2 = 1 \quad (2.6)$$

2.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP)

2.3.3.1. PODER CALORÍFICO.

La principal característica de un combustible es su poder calorífico, que es el calor desprendido por la combustión completa de una unidad de masa (kilogramo) de combustible. El poder calorífico es también la capacidad energética de un combustible, y su valor varía en función del contenido de carbono e hidrógeno.

2.3.3.3. VOLATILIDAD.

Es una de las características principales del combustible, depende de su composición fraccionada, de la tensión de los vapores, de la tensión superficial y del calor de vaporización. Se define como una medida de la facilidad con que un combustible se evapora.

2.3.3.4. PRESIÓN DE VAPOR.

La presión de vapor de un combustible es también una medida de la volatilidad de dicho combustible, ya que presiones de vapor elevadas indican que un combustible puede formar fácilmente burbujas de vapor en el sistema de alimentación.

2.3.3.5. RESISTENCIA A LA DETONACIÓN.

Es la tendencia del combustible a la combustión detonante, que es variable para diferentes combustibles en función a su estructura. La resistencia a la detonación de un combustible se evalúa por su número de octano (N.O)

Finalmente el combustible, que se suministre junto con el aire a través de la válvula de admisión, deberá fácilmente evaporarse y formar una mezcla homogénea con aire aspirado.

Es indispensable que el periodo del proceso de combustión de carburante en el cilindro sea pequeño.

Además de los principales requerimientos indicados hace falta que el combustible empleado:

- Garantice un rápido y seguro arranque del motor independientemente de la temperatura del medio exterior.
- Permita realizar el proceso de combustión sin formación de sarro y carbonilla sobre las superficies de la cámara de combustión.
- Contribuya a disminuir el desgaste y corrosión del espejo del cilindro, de los anillos del embolo y del pistón.
- Asegure las condiciones de una completa y oportuna combustión y la disminución de la cantidad de componentes tóxicos en los productos de la combustión.

Los combustibles que mejor satisfacen dichos requerimientos son los líquidos y gaseosos. El combustible sólido se puede emplear en los motores de combustión interna solo después de una previa gasificación en un equipo generador de gas.

2.4. COMBUSTIÓN.

Se denomina proceso de combustión a un proceso de oxidación brusca o violenta de los elementos oxidables de una sustancia de características particulares, denominada combustible, mediante la cual la energía química del combustible se transforma en energía interna de los productos del proceso.

La presencia del oxígeno, ya sea puro o como constituyente del aire y el combustible no son garantía de que el proceso de combustión se efectúe; además de la presencia de ellos se requiere de un conjunto de condiciones, sin las cuales, a un nivel adecuado, puede no haber combustión, o esta efectuarse sólo parcialmente.

La combustión va acompañada también de la emisión de luz, que depende de la temperatura alcanzada en la reacción. Por ser este un fenómeno complejo.

2.4.1. COMBUSTIÓN CON AIRE.

Los procesos de combustión en la práctica no se realizan con oxígeno puro, sino que se utiliza el aire atmosférico que contiene oxígeno.

La combustión con oxígeno puro se reversa para los ensayos en laboratorio, ejemplo: determinación del poder calorífico de un combustible, soplete oxiacetilénico por cuanto para corte o soldadura se requiere que la temperatura de la flama adiabática se alta. El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, argón, bióxido de carbono, neón, hidrógeno, helio y vapor de agua (éste último en proporciones que varían con las condiciones atmosféricas). La composición del aire estándar es la siguiente:

Tabla 2-2. Composición del aire atmosférico.

Aire	% en volumen		% en peso	
	Real	Uso	Real	Uso
Nitrógeno	78.3	79	75.45	76.8
Oxígeno	20.99	21	23.20	23.2
Argón	0.94	0	1.3	0.0
CO ₂	0.03	0	0.05	0.0
Otros	0.01	0	0.00	0.0
Peso molecular (kg/kmol.)			28.967	29.00

Fuente: Tecnun.

En los cálculos de combustión es suficiente considerar que el aire está compuesto por 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno.

En la siguiente tabla se muestra los pesos moleculares de los componentes del aire atmosférico.

Tabla 2-3. Pesos moleculares de los principales elementos que componen el aire atmosférico.

Elemento	Peso molecular
Oxígeno	32.00
Nitrógeno	28.16
Argón	39.944
Bióxido de carbono	44.003

Fuente: Tecnun.

2.4.2. COMBUSTIÓN IDEAL PARA UN MOTOR DE CICLO OTTO.

Es aquella combustión completa en la que el oxígeno suministrado es el mínimo indispensable. Se entiende que todas las condiciones para que tal cosa suceda, se dan durante el proceso.

La ecuación estequiometría de la combustión ideal con 100% de aire teórico que se produce en un motor Otto es.



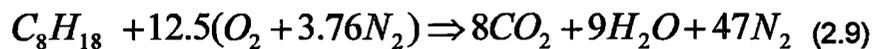
$$C \Rightarrow 8 = x$$

$$H \Rightarrow 18 = 2y \Rightarrow y = 9$$

$$O_2 \Rightarrow at = x + \frac{y}{2} \Rightarrow at = 12.5$$

$$N_2 \Rightarrow at(3.76) = z = 47$$

La ecuación estequiometría igualada es:



2.4.3. RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE (A/C).

La relación aire Combustible (A/C) se define como la cantidad de masa de aire que se requiere para quemar completamente una masa de combustible es decir:

$$\frac{A}{C} = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{aire}}{(NM)_C + (NM)_H} \quad (2.10)$$

Dónde:

N = número de moles.

M= masa molar.

Reemplazando en la ecuación (2.10).

$$\frac{A}{C} = \frac{12.5(4.76 \times 29)_{\text{aire}}}{(8 \times 12)_C + (18 \times 1)_H} = 15.136 \text{ [kg aire / kg combustible]}$$

$$\frac{A}{C} = 15.136 \text{ [kg aire / kg combustible]}$$

2. 5. HIDRÓGENO CONCEPTO Y GENERALIDADES.

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H¹, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (H₂) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable, la mayor parte de la masa de un átomo de hidrógeno se concentra en su núcleo. Los protones, como es sabido, tienen carga eléctrica positiva, mientras que los electrones tienen carga eléctrica negativa juntas las cargas asociadas al protón y el electrón de cada átomo de hidrógeno se cancelan la una a la otra, de modo que los átomos individuales de hidrógeno son eléctricamente neutros. El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, es el elemento más ligero y más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del Universo y el 90% en número de átomos.

En la corteza terrestre es el noveno más abundante en masa aunque en número de átomos esa abundancia es mayor. En combinación con otros elementos se encuentra ampliamente distribuido en la Tierra, en donde el compuesto más abundante e importante del hidrógeno es el agua, H₂O.

El hidrógeno se halla en todos los componentes de la materia viva y de muchos minerales. También es parte esencial de todos los hidrocarburos y de una gran variedad de otras sustancias orgánicas, como por ejemplo la mayor parte de los ácidos. Pero sin embargo raramente se encuentra libre y aislado en la naturaleza.

El hidrógeno fue descubierto por el químico británico Henry Cavendish (1731-1810). En un artículo presentado ante la Real Sociedad de Londres, en 1776 demostró que se formaba en la reacción del ácido sulfúrico con los metales y más tarde, descubrió que el hidrógeno era un elemento independiente que se combinaba con el oxígeno para formar agua. Como estos elementos todavía no tenían nombre, los llamo "aire sustentador de la vida" al oxígeno y "aire inflamable" al hidrógeno. Pero fue el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier quien le dio finalmente el nombre de hidrógeno, que proviene del francés

Hydrogène que significa productor de agua (hidro-geno, debido a una de sus reacciones más características, arde en presencia de oxígeno para dar agua).

El primer uso práctico del hidrógeno fue militar, el químico Guyton de Norveau, miembro del Comité de Salvación Pública, una de las facciones enfrentadas en el conflicto que había estallado en Francia tras la toma de Bastilla en 1793, sugirió que el hidrógeno podía producirse en grandes cantidades para hacer globos de reconocimiento. El primer generador de hidrógeno fue construido en un campamento militar situado en las afueras de París en 1794. En la década de 1920 comenzó a producirse hidrógeno con fines comerciales en Europa y Norteamérica. La primera en hacerlo fue la compañía canadiense Electrolyser Corporation Limited.

El hidrógeno comenzó a ser utilizado como combustible de aviación en los años veinte y treinta. Los ingenieros alemanes lo empleaban como combustible secundario de los dirigibles que realizaban el transporte comercial de pasajeros a través del Atlántico. En los años treinta y cuarenta el hidrógeno era utilizado en Alemania e Inglaterra como combustible experimental para automóviles, camiones, locomotoras e incluso submarinos y torpedos silenciosos.

Hoy en día se producen globalmente más de 500 000 millones de metros cúbicos de hidrógeno, buena parte se emplea como materia prima química para la obtención de productos como fertilizantes basados en el amoníaco y para la hidrogenación de aceites orgánicos comestibles derivados de la soja, el pescado, y los cereales. En la actualidad cerca del 95% del hidrógeno que es producido en el mundo es extraído del gas natural por medio de un proceso de reformación de vapor.

2.5.1. PROPIEDADES GENERALES DEL HIDRÓGENO.

Su número atómico Z es 1 ($Z=1$) con estados de oxidación +1 y -1, pertenece al grupo 1 (o IA) del sistema periódico y posee un peso atómico de 1.00794 u.m.a. (unidad de masa atómica), superior a 1 por la coexistencia de varios isótopos.

Sus puntos de ebullición y fusión son los más bajos de todas las sustancias químicas o elementos, a excepción del helio. Su punto de fusión es de $-259.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 14\text{ K}$) y su punto de ebullición de $-252.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 20\text{ K}$). A $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y bajo 1 atmósfera de presión tiene una densidad de 0.089 g/l. El hidrógeno se encontrará en estado

líquido por debajo de su punto de ebullición, a $- 252.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se encontrará en estado sólido por debajo de su punto de fusión, a $- 259.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica.

A continuación se muestra el siguiente cuadro con las propiedades del hidrógeno.

Tabla 2-4. Propiedades generales del hidrógeno.

Densidad del hidrógeno gas	0.0899 kg/Nm ³
Densidad del hidrógeno líquido	0.0708 kg/L
Densidad energética del hidrógeno gas	10.8 MJ/Nm ³
Densidad energética del hidrógeno líquido	8.495 MJ/L
Punto de ebullición	20.28 K
Punto de fusión	14.02 K
Poder calorífico inferior PCI hidrógeno gas	119.972 MJ/kg
Poder calorífico superior PCS hidrógeno gas	141.890 MJ/kg
Poder calorífico inferior PCI hidrógeno líquido	10.783 MJ/Nm ³
Poder calorífico superior PCS hidrógeno líquido	12.745 MJ/Nm ³
Límites de explosión	4 - 75% de H ₂ en el aire
Límites de detonación	18.3 – 59.0% de H ₂ en el aire
Temperaturas de combustión espontánea	858 K
Capacidad calorífica específica	Cp= 14.33 J/(kgK)
	Cv=10.12 J/(kgK)
Coefficiente de difusión	0.61 cm ² /s
No es tóxico, ni contaminante, ni corrosivo, ni cancerígeno, ni radiactivo	
No es explosivo, ni tiene auto-ignición, ni se descompone	
Es más ligero que el aire y se diluye rápidamente hacia arriba	
Tiene una llama prácticamente invisible	

Fuente: SEAS Internacional.

El hidrógeno líquido fue obtenido por primera vez por el químico británico James Dewar en 1898. Es incoloro (excepto en capas gruesas, que adquiere un aspecto azul pálido) y tiene una densidad relativa de 0.070 Kg/l. Si se deja evaporar rápidamente bajo poca presión se congela transformándose en un sólido incoloro.

Como la mayoría de los elementos gaseosos, el hidrógeno es diatómico (sus moléculas contienen dos átomos). A temperaturas ordinarias es una molécula relativamente poco reactiva a menos que sea activada de alguna manera, pero a altas temperaturas se disocia en átomos libres siendo muy reactivo. El hidrógeno molecular reacciona con el oxígeno para formar agua, siendo la reacción extraordinariamente lenta a temperatura ambiente, pero acelerada con un catalizador o con una chispa eléctrica se realiza con violencia explosiva.



2.5.2. ISÓTOPOS.

Cada elemento químico se caracteriza por el número de protones de su núcleo, que se denomina número atómico (Z). Así, el hidrógeno (1H) tiene un protón, el carbono (6C) tiene 6 protones y el oxígeno (8O) tiene 8 protones en el núcleo. El número de neutrones del núcleo puede variar. Casi siempre hay tantos o más neutrones que protones. La masa atómica (A) se obtiene sumando el número de protones y de neutrones de un núcleo determinado. Sin embargo, un mismo elemento químico puede estar constituido por átomos diferentes que, teniendo todos los mismos números atómicos, contienen distinto número de neutrones.

Estos átomos se denominan isótopos del elemento en cuestión. Isótopo significa "*mismo lugar*", es decir, especie química de un elemento (con un nº de protones, o nº atómico (Z), determinado) cuyos átomos están constituidos en su núcleo por un cierto número de neutrones, siendo diferente y característico para cada isótopo.

El átomo de hidrógeno, símbolo H, consta de un protón en su núcleo, cuya carga está equilibrada por un electrón. Posee tres isótopos naturales que son:

- El protio H^1 : sin neutrones, es el más abundante 99.98%.
- El deuterio H^2 : con un neutrón, se encuentra en la naturaleza en menos de un 0.02%.
- El tritio H^3 : dos neutrones, es radiactivo y está en pequeñas cantidades sólo en capas altas de la atmósfera. Puede producirse artificialmente para usos médicos (trazadores).

2.5.3. HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO.

Se denomina vector energético a aquellas sustancias o dispositivos que almacenan energía, de tal manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada. Se diferencian de las fuentes primarias de energía en que, a diferencia de éstas, se trata de productos manufacturados, en los que previamente se ha invertido una cantidad de energía mayor para su elaboración.

Las moléculas de hidrógeno (H_2) no se encuentran en abundancia de forma natural en la Tierra y para generarlas necesitamos una materia prima (moléculas que contengan hidrógeno) y energía primaria (renovable o no) para obtenerlas.

El vector energético que más atención está acaparando es el hidrógeno, postulando como posible candidato para sustituir al petróleo como combustible en automoción. Multitud de asociaciones ecologistas defienden el empleo del hidrógeno por ser un combustible limpio. Sin embargo, el hidrógeno, por su carácter de vector energético, sólo puede ser considerado limpio si proviene a su vez de fuentes de energía limpias.

2.5.4. GENERACIÓN DE HIDRÓGENO.

El hidrógeno actualmente sigue obteniéndose a partir de fuentes no renovables, principalmente gas natural, debido al precio de mercado. El principal proceso a partir de energías renovables es el de la electrólisis del agua, la gran ventaja es la viabilidad del proceso a largo plazo, ya que casi cualquier fuente de energía puede valer, o mejor dicho, existen ya procesos para obtener hidrógeno a partir de cualquier fuente de energía (renovable y no renovable) y agua.

En el caso de obtención a partir de agua se obtiene de forma convencional mediante electrólisis (aplicar corriente eléctrica a una disolución acuosa). En el caso del gas natural, y en general, de combustibles fósiles, mediante reformado con vapor (una recombinación química). Actualmente el 95% de los 500 mil millones de metros cúbicos de hidrógeno producido en el mundo lo son a partir del reformado de gas natural. El resto se obtiene como subproducto en la fabricación del cloro, por electrólisis.

Las opciones más interesantes para la producción de hidrógeno en el futuro serán la electrólisis a alta presión, la termólisis (ruptura de la molécula de agua con calor) solar por ciclos termoquímicos, y la gasificación de biomasa y de carbón

(con captura y secuestro de CO₂). Existen incluso conceptos más a futuro, como la fotólisis (ruptura de la molécula de agua mediante la luz), y la producción por algas y microorganismos vivos.

2.6. TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO.

Se presentan a continuación las principales tecnologías relacionadas con el hidrógeno.

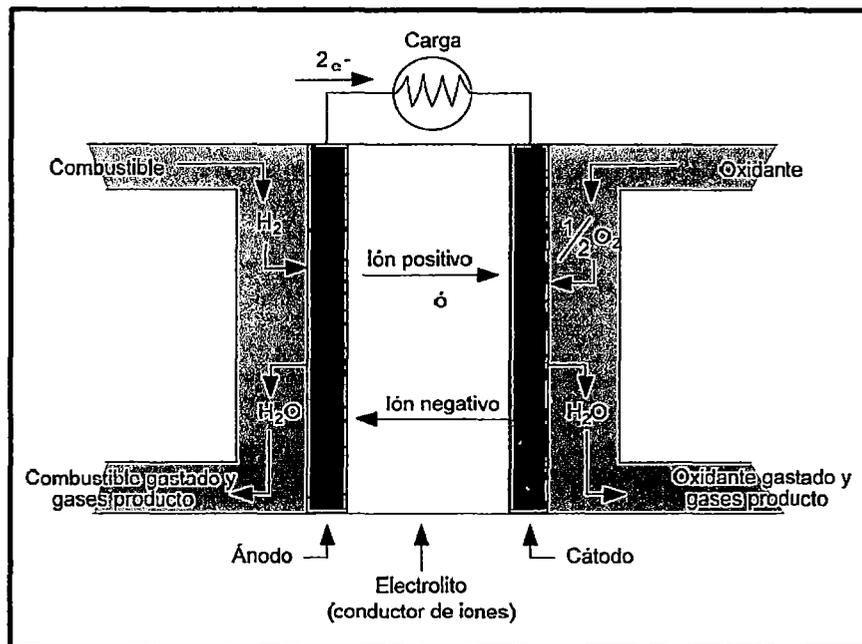
2.6.1. PILAS DE COMBUSTIBLE.

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica, en presencia de un oxidante (aire u oxígeno).

La utilización de las pilas de combustible es el gran potencial de usar el hidrógeno frente a los combustibles convencionales. Su principal ventaja es un alto rendimiento en el proceso de obtención de energía en comparación con los sistemas de combustión (máquinas térmicas).

La eficiencia de los motores está limitada por la termodinámica, ya que el proceso de obtención de trabajo útil necesita de transferencia de calor entre dos focos, con pérdidas intrínsecas a su funcionamiento (ciclo de Carnot). Por otra parte, esto implica la transformación de calor en energía mecánica y, a continuación, en eléctrica para su distribución y/o almacenamiento, con las consiguientes pérdidas por transformación. Las pilas de combustible sin embargo no tienen las limitaciones de una máquina térmica (son dispositivos electroquímicos) y además convierten directamente energía química en energía eléctrica, llegando a obtener entre 2 y 3 veces más rendimiento. Además no producen residuos contaminantes ni ruido.

Una pila de combustible se compone de varias celdas, todas iguales, donde se produce la combinación del hidrógeno con el oxígeno a través de una membrana semipermeable a los iones (electrolito). La reacción es electroquímica, no de combustión (no arde ni explota), por lo que no está sometida al límite que marca la segunda Ley de la Termodinámica. Por esa razón se pueden, teóricamente, alcanzar eficiencias eléctricas de hasta el 80%, frente al 40% para centrales térmicas convencionales y el 60% para ciclos combinados.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig.2-4. Esquema de una celda de combustible individual.

2.6.2. ALMACENAMIENTO.

El almacenamiento de hidrógeno es quizás el principal problema técnico a los que se enfrenta el desarrollo de esta tecnología, ya que a pesar de que el hidrógeno posee un alto poder calorífico por unidad de peso (tres veces mayor al de la gasolina), debido a su baja densidad, su poder calorífico por unidad de volumen es muy bajo.

En forma gaseosa, a presión, requiere de grandes volúmenes de almacenamiento, con el consiguiente gasto de materiales para la construcción de recipientes.

En el sector de la automoción, el almacenamiento del hidrógeno es como gas fundamentalmente, aunque también se usa el hidrógeno líquido a muy bajas temperaturas debido a su mayor densidad energética o soluciones intermedias como los gases crio-presurizados.

El hidrógeno gas se usa en automoción a una presión de 350 bares, sin embargo ya existen los primeros vehículos movidos a 700 bares consiguiendo unas altas autonomías.

El hidrógeno líquido requiere volúmenes para el almacenamiento mucho menores, pero consume grandes cantidades de energía (casi el 30% de la energía que se utiliza en la producción).

Otro método de almacenamiento lo constituye la formación de hidruros metálicos o no metálicos. De esta forma pueden almacenarse grandes cantidades de hidrógeno en pequeños volúmenes.

No existe aún un método que resuelva completamente el problema del almacenamiento, por lo que cada uno de ellos se emplea según las posibilidades y su utilización final. No obstante, el uso cada vez mayor del hidrógeno plantea la necesidad de contar con formas seguras y económicas de almacenamiento.

El objetivo de un sistema de almacenamiento de hidrógeno es aumentar la densidad, de forma que se tenga la máxima cantidad posible de masa en el menor volumen.

Las diferentes formas de almacenar el hidrogeno son:

- **Almacenamiento de hidrógeno:** Gas comprimido.
- **Almacenamiento de hidrógeno:** Estado líquido.
- **Almacenamiento de hidrógeno:** Estado sólido.

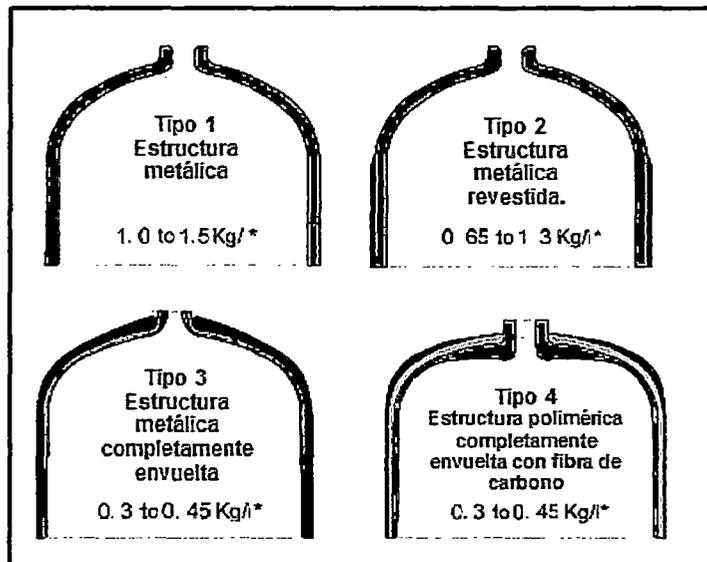
2.6.2.1. ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO GAS COMPRIMIDO.

El almacenamiento en forma de hidrógeno gas comprimido es el método más extendido debido a ser una tecnología muy desarrollada y madura, con bajos costes tanto del proceso de compresión como de los componentes y equipos asociados.

Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno gas comprimido han ido evolucionando de acuerdo a los objetivos de:

- Disminuir el peso total del sistema.
- Aumentar la presión de trabajo.
- Mejorar el sistema de seguridad y los ciclos de vida.
- La evolución se ha conseguido con el desarrollo de depósitos cada vez mejores, que se clasifican de acuerdo a los materiales que lo componen y a su estructura.

- **Tanque tipo 1:** toda la estructura es metálica.
- **Tanque tipo 2:** la estructura es metálica embobinada sólo circunferencialmente con una resina de materiales compuestos de fibras de carbono, en la parte central del cilindro.
- **Tanque tipo 3:** la estructura es metálica totalmente embobinada con una resina de materiales compuestos de fibras de carbono.
- **Tanque tipo 4:** la estructura la componen polímetros de alta densidad (por ejemplo polietileno de alta densidad) y está totalmente embobinado con fibra de carbono.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig.2-5. Distintos tipos de tanques existentes.

2.6.2.2. HIDRÓGENO LÍQUIDO CRIOGÉNICO

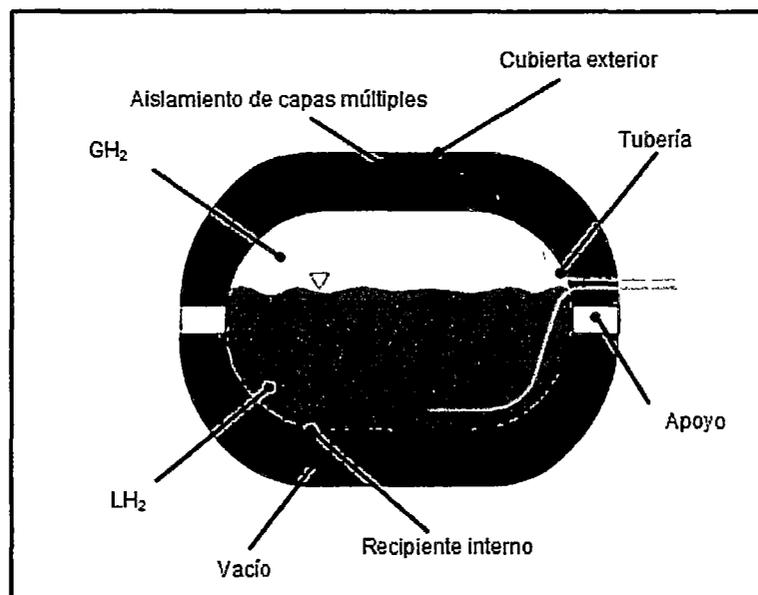
La densidad energética del sistema mejora cuando el hidrógeno se almacena en forma de hidrógeno líquido.

Los recipientes de hidrógeno líquido se componen principalmente de un depósito interior, un sistema de aislamiento intermedio y un armazón exterior. El depósito interior tiene que ser resistente al efecto de fragilización del hidrógeno, impermeable al hidrógeno y resistente a las temperaturas de operación (20 K).

Además, a causa de los grandes cambios de temperatura cuando el depósito está lleno o vacío, hay que tener en cuenta la expansión y contracción del material.

Respecto a la capa de aislamiento intermedia, puede ser de dos tipos principalmente:

- El primer tipo es mediante una chapeta de aislamiento a presión de vacío consistente en capas de Mylar, aluminio u otro compuesto con una baja emisividad y alta reflectividad, separadas por capas de fibras de vidrio.
- El segundo tipo es mediante un aislamiento rígido de espumas (foam).
- El armazón exterior es de acero o aluminio y debe presentar una alta resistencia a la abrasión.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig.2-6. Tanque de hidrógeno líquido.

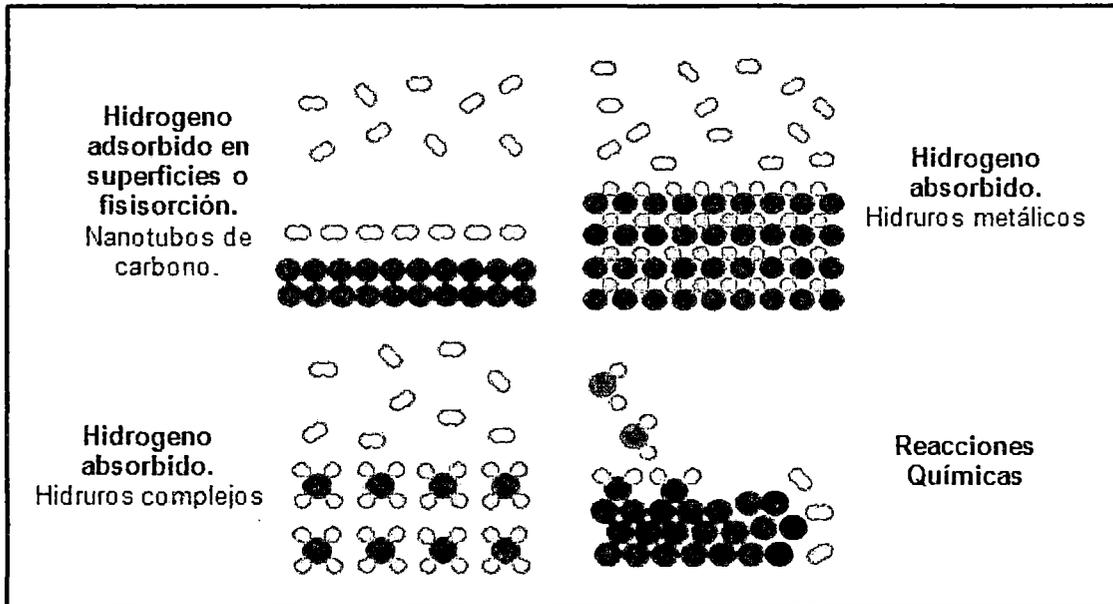
2.6.2.3. ALMACENAMIENTO SÓLIDO DE HIDRÓGENO.

Se denomina almacenamiento sólido a aquél en el que la molécula de hidrógeno pasa a formar parte de un sustrato sólido debido a un mecanismo, que puede ser principalmente de tres tipos:

- Fisorción o adsorción de hidrógeno en materiales en su superficie. En este proceso, las moléculas de hidrógeno gas interaccionan con las moléculas o átomos de la superficie del material, que puede ser sólido o líquido.
- Absorción de hidrógeno en hidruros metálicos o hidruros complejos. Los átomos de hidrógeno se introducen en el interior del material, ocupando los intersticios.

La reacción de hidrógeno gas con un metal es un proceso de absorción. En este proceso los átomos de hidrógeno ceden un electrón a la estructura metálica.

- Mediante reacción química, almacenamiento de hidrógeno basado en metales y agua.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig. 2-7. Almacenamiento en sólidos por distintos proceso.

2.6.2.4. ESCENARIOS DE INTRODUCCIÓN.

El desarrollo futuro de sistemas que usen hidrógeno como combustible dependerá de los avances logrados en la búsqueda de un método seguro y eficiente de almacenamiento y transporte de hidrógeno, ya que no existe ningún método que resuelva totalmente ese problema, relacionado directamente con las mismas ventajas que sus propiedades físico-químicas aportan.

La tecnología de producción de energía eléctrica a partir del hidrógeno avanza rápidamente y su aplicación esta cada día más cerca. La introducción del hidrógeno en el sistema energético actual incluye sin duda el empleo de las pilas de combustible.

El hidrógeno y las pilas de combustible han sido considerados de importancia estratégica como un suministro sostenible y seguro de energía.

Por todas esas razones las investigaciones sobre las múltiples tecnologías de pilas de combustible están en pleno auge.

Esa diversificación abre la vía a numerosas posibilidades de energía no contaminante, que van desde vehículos hasta centrales eléctricas, pasando por aplicaciones portátiles.

La actualmente desaparecida HFP (Plataforma Europea del Hidrógeno) fijó unos objetivos a medio plazo que se han situado en 2020. Según sus previsiones, para entonces se venderán en Europa entre 400 000 y 1 800 000 coches de hidrógeno al año, alrededor de 250 millones de pequeños dispositivos electrónicos a pila (con una potencia media de 15 W) y 100 000 generadores eléctricos portátiles (10 kW); además habrá ya entre 100 000 y 200 000 sistemas domésticos (unos 3 kW) e industriales (350 kW) basados en estas tecnologías.

2.7. LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO.

Parte de la historia de la humanidad y de los cambios sociales acaecidos en el tiempo se pueden explicar considerando las diversas formas de obtener y gestionar la energía. La primera Revolución Industrial está asociada al carbón y a la máquina de vapor; la segunda al petróleo y al motor de combustión interna y, la tercera se plantea que podría ser la del hidrógeno.

El término economía del hidrógeno responde a una visión de futuro donde este gas, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el amplio mundo de las necesidades energéticas de la sociedad. La economía de hidrógeno es un modelo económico energético alternativo al uso de combustibles fósiles, en el cual la energía, para su uso básico en los medios de transporte, se almacena como hidrógeno. El hidrógeno se ha propuesto como sustituto de los combustibles fósiles como la gasolina y el diésel (gasóleo) utilizados actualmente en automóviles y como sistema de almacenamiento de energías renovables.

La visión de la economía del hidrógeno se basa en la expectativa de que el hidrógeno pueda producirse a partir de recursos autóctonos, de forma económica y medioambientalmente aceptable y en que las tecnologías de uso final del hidrógeno ganen una cuota de mercado significativa.

En la medida que se alcancen estas expectativas, una economía del hidrógeno beneficiará al mundo, proporcionando una mayor seguridad energética y una mayor calidad medioambiental. Sin embargo, alcanzar este objetivo requiere

superar muchos desafíos técnicos, sociales y políticos, siendo quizás los últimos de más relevancia que el primero.

- **¿CÓMO SURGE?**

El concepto de la economía del hidrógeno surge en los años setenta en Estados Unidos, en un seminario para analizar la situación energética que se preveía para el año 2000, vale pena señalar que el primer organismo que utilizó la expresión "Economía del Hidrógeno" fue General Motors (GM), el principal fabricante de automóviles en el mundo, lo hizo en 1970, cuando los ingenieros de GM comenzaron a ver en el hidrógeno el posible combustible del futuro. Treinta años más tarde, después de que un buen número de esfuerzos pioneros hayan demostrado la viabilidad de un futuro basado en el hidrógeno, el director ejecutivo de GM para los Vehículos de Tecnologías Avanzadas, Robert Purcell, decía ante los miembros congregados en la reunión anual de la Asociación Nacional de Industrias Petroquímicas y Refinerías que "nuestro proyecto a largo plazo es una economía basada en el hidrógeno". Precisamente hasta esas fechas se consideraba todavía una perspectiva lejana y quedaba prácticamente a nivel de investigación dentro de las universidades y centros tecnológicos.

Pero cada vez se le ha dado más importancia al hecho de que los combustibles fósiles son un recurso finito y no renovable en escalas cortas de tiempo, por lo que en un momento u otro se llegará al límite de extracción.

Por otra parte, hay otro factor importante a nivel social que favorece la economía del hidrógeno, y es la creciente preocupación por la contaminación, el calentamiento global y la búsqueda de fuentes de energía respetuosas con el medio ambiente.

2.7. OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO.

El hidrógeno actualmente sigue obteniéndose a partir de fuentes no renovables, principalmente gas natural, debido al precio de mercado. El principal proceso a partir de energías renovables es el de la electrólisis del agua, la gran ventaja es la viabilidad del proceso a largo plazo, ya que casi cualquier fuente de energía puede valer, o mejor dicho, existen ya procesos para obtener hidrógeno a partir de cualquier fuente de energía (renovable y no renovable) y agua.

Actualmente la mayor parte del hidrógeno mundial (95%) es obtenido a partir de combustibles fósiles, principalmente por reformado de gas natural que representa en torno al 75%, y solamente un 4% es obtenido por electrólisis. Esto es debido principalmente a que actualmente la electrólisis resulta ser un proceso más caro que cualquier otro de obtención de hidrógeno a partir de combustibles fósiles.

2.7.1. GENERACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES.

2.7.1.1. REFORMADO DE GAS NATURAL.

El reformado de gas natural mediante vapor de agua es el método más barato y extendido de obtención de hidrógeno. Este proceso está basado en la reacción del metano con el vapor de agua a alta temperatura sobre un lecho de catalizador. Generalmente el gas natural se convierte en H_2 y CO (gas de síntesis) mediante un reactor de reformado por vapor. Estos reactores dan el mayor porcentaje de hidrógeno de entre todos los tipos de reformado.

Generalmente los gaseoductos de gas natural contienen odorizantes que a su vez contienen azufre como mercaptanos, disulfuros, u odorizantes comerciales para la detección de fugas, entonces el proceso debe iniciarse primeramente por una fase de desulfuración. Esto generalmente se logra con un eliminador de azufre de óxido de zinc y el posible uso de un hidrodesulfurador, si se requiriese.

El proceso se realiza a alta temperatura (840-950 °C) y presión moderada (20-30 bar) y el gas de síntesis puede llegar a contener entre el 16% y el 20% de CO_2 , que hay que separar bien por metanización (convertir el CO_2 a metano) u otros procesos de separación.

Finalmente se debe de mencionar que este proceso produce unos 7 Kg de CO_2 por Kg de hidrógeno, lo que hace necesario el desarrollo de otros métodos menos contaminantes y el uso de separadores de CO_2 .

2.7.1.2. OXIDACIÓN PARCIAL DE HIDROCARBUROS.

También puede usarse un reformador de oxidación parcial para la conversión de combustibles gaseosos, pero no produce tanto hidrógeno como los reformadores por vapor. Por ejemplo, un reformador de oxidación parcial alimentado con metano obtendría sólo un 75% del hidrógeno que se produciría con un reformador por vapor.

La oxidación parcial utiliza crudo pesado como fuente de energía primaria, en este proceso se queman hidrocarburos con oxígeno para formar un gas que contiene CO, CO₂ e hidrógeno. Por consiguiente, los reformadores de oxidación parcial generalmente se usan sólo con combustibles líquidos, que no son adecuados para los reformadores por vapor.

El proceso es a alta temperatura (1200-1500 °C) y alta presión (20-90 bar.), y en general no precisa de catalizadores debido a estas altas temperaturas.

La conversión del gas de síntesis se realiza a menudo en dos o más etapas cuando los niveles de CO son altos. Una primera etapa de alta temperatura permite altas velocidades de reacción, mientras un convertidor de baja temperatura proporciona una mayor conversión.

Un reactor de desplazamiento de etapa única es capaz de convertir del 80% al 95% de CO. Como esta reacción es algo exotérmica, los sistemas de etapas múltiples deben tener intercambiadores de calor inter-etapas.

2.7.2. GENERACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES.

A continuación se describen los procesos más importantes de generación de hidrógeno mediante energías renovables.

2.7.2.2. USO DE ENERGÍA EÓLICA PARA PRODUCIR HIDRÓGENO.

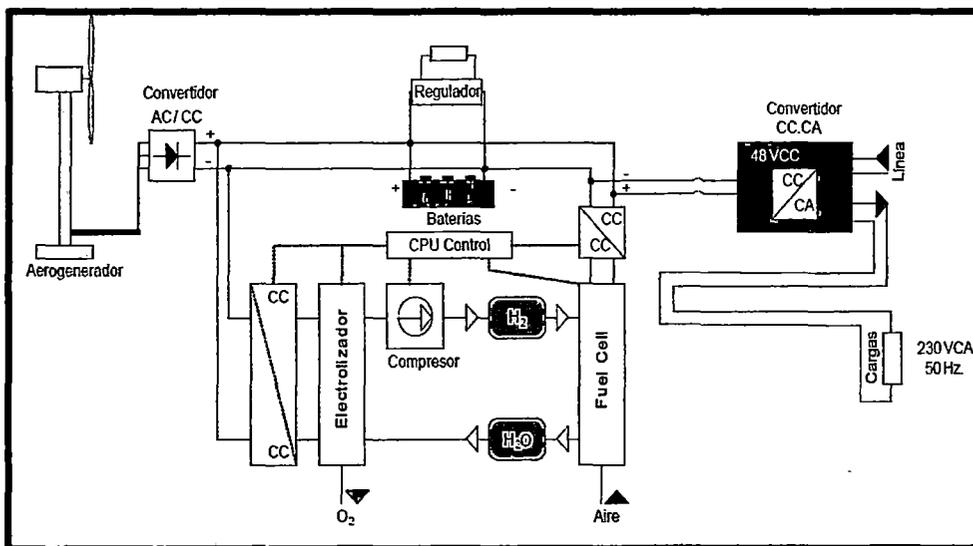
La necesidad de almacenamiento eléctrico derivada de la naturaleza intermitente y aleatoria del viento se ha resuelto tradicionalmente con baterías y el apoyo de grupos electrógenos.

Actualmente, debido al gran desarrollo del sector eólico en diferentes regiones del mundo, existe dificultad para gestionar la energía eólica vertida a la red por los aerogeneradores, que está alcanzando una gran penetración en el mix energético de estas regiones. Los desarrollos tecnológicos orientados a corregir esta variabilidad se enfocan hacia la predicción y el almacenamiento de la energía eléctrica que el parque eólico entrega a la red.

La combinación de almacenamiento de hidrógeno, con su producción por medio de un electrolizador y su reconversión a electricidad mediante pilas de combustible es una de las tecnologías con más opciones de futuro, aplicable

incluso a pequeña escala (sistemas aislados entre 1–5kW). A esto hay que añadir el abaratamiento y la mayor fiabilidad de la electrónica de potencia asociada, para la conversión de corriente continua a corriente alterna de red.

En la producción de hidrógeno a partir de energía eólica hay que considerar tres equipos fundamentales: los generadores eólicos, el electrolizador y la pila de combustible. La figura siguiente muestra el proceso de producción de hidrógeno a partir de la energía eólica. El sistema permite suministrar energía eléctrica a través de los aerogeneradores en condiciones normales de viento, o a través de la reserva de hidrógeno cuando hay calmas prolongadas.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig. 2-8. Proceso de producción de hidrógeno a partir de energía.

2.7.2.3. FOTOELECTRÓLISIS.

Los sistemas fotovoltaicos unidos a electrolizadores están comercialmente disponibles. Los sistemas ofrecen una mayor flexibilidad, produciendo energía desde las células fotovoltaicas e hidrógeno desde el electrolizador.

La fotoelectrólisis directa representa una alternativa avanzada a la anterior, uniendo los dos sistemas en un único aparato.

Básicamente, este procedimiento aprovecha la energía solar (radiación solar) directamente, sin convertirla en electricidad previamente, para disociar la molécula de agua y en definitiva producir hidrógeno. En estos procesos se emplean materiales fotovoltaicos y semiconductores que al ser expuestos a la luz producen

una diferencia de potencial eléctrico, lo que provoca la escisión de la molécula de agua. Actualmente las investigaciones están encaminadas al desarrollo de materiales con mayor efectividad.

2.7.2.4. PRODUCCIÓN BIOFOTOLÍTICA DE HIDRÓGENO.

La realización de un proceso tecnológico práctico para la producción de hidrógeno a partir de luz, agua, dióxido de carbono y algas (producción fotobiológica), será la mayor fuente biológica de energía renovable y sustentable, sin emisiones de gases con efecto invernadero ni contaminación medioambiental.

La producción de hidrógeno por biofotólisis, también citada como fotodisociación biológica del agua, se refiere a la conversión de agua y energía solar (utilizada) a hidrógeno y oxígeno usando microorganismos, comúnmente microalgas y/o cianobacterias.

Esta producción de hidrógeno está basada en dos etapas: fotosíntesis y producción catalizada de hidrógeno por hidrogenasas, por ejemplo, en las algas verdes. Sin embargo aún se necesitan muchos estudios en esta área y es de vital importancia conocer el proceso natural de producción de hidrógeno.

2.8. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE PROCESOS ELECTROLÍTICOS ELECTROLISIS.

2.8.1 DEFINICIÓN.

La electrólisis es un proceso electroquímico en el cual, a partir de agua y electricidad, se obtiene hidrógeno y oxígeno.

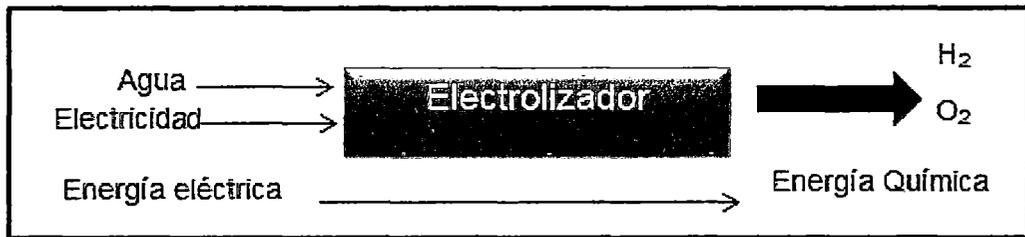


El uso de la electricidad, como fuente energética para la producción de hidrógeno es limpio y seguro.

La electrólisis es un método que permite la producción de hidrógeno de manera limpia, siempre y cuando la energía que se utilice para el proceso provenga de fuentes renovables.

Los métodos de obtención de hidrógeno vía electrólisis se basan en la disociación de la molécula de agua con un aporte externo de energía eléctrica.

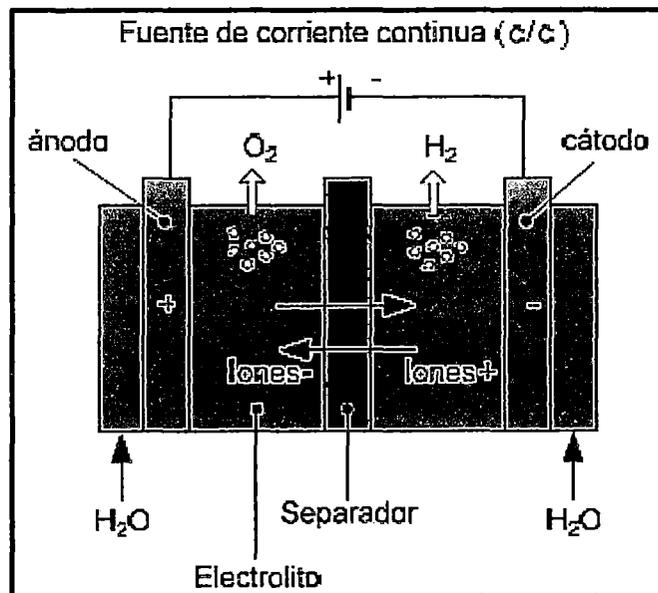
2.8.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELECTRÓLISIS.



Fuente: SEAS Internacional.

Fig. 2-9. Proceso de electrólisis.

La descomposición electroquímica del agua o electrólisis se usa extensivamente para la producción industrial de grandes volúmenes de hidrógeno. Consiste en hacer reaccionar sus iones en electrodos polarizados, utilizando corriente continua, obteniéndose como resultado en la zona catódica hidrógeno molecular en estado gaseoso y en la zona anódica oxígeno en iguales condiciones.



Fuente: Seas internacional.

Fig. 2-10. Esquema de un Electrolizador.

La electrólisis se da en un electrolito, una solución acuosa o de sales fundidas, que permite la transferencia de iones entre los electrodos, pero no el paso de electrones (es dieléctrico).

Dependiendo del tipo de electrólito se requiere de una membrana separadora que impida que el H_2 y O_2 producidos se recombinen de nuevo.

El fundamento de las reacciones electroquímicas que se producen en los electrolizadores se podría resumir de la siguiente manera:

- Cuando una corriente eléctrica pasa a su través disocia el enlace químico del agua.
- Se generan un ión positivo y otro negativo.
- Los iones positivos y negativos atraviesan el electrolito en sentidos opuestos, en dirección al cátodo y ánodo respectivamente.
- En contacto con el electrodo los iones positivos se reducen en el cátodo y los iones negativos se oxidan en el ánodo formándose las moléculas de gas.

Los electrolizadores son dispositivos que requieren poco mantenimiento al no tener partes móviles y son bastante silenciosos.

El principal problema de la obtención de hidrógeno a partir de la descomposición electroquímica del agua es el alto costo energético, por lo que se precisa contar con fuentes primarias accesibles, de bajo costo y preferiblemente no fósil.

2.8.3. EL OXIHIDRÓGENO - HHO O GAS DE BROWN.

También conocido como Oxhídrico, Gas de Brown. Es un gas compuesto de Oxígeno e hidrógeno, es una mezcla de ambos gases también llamada OXIHIDRÓGENO, se libera en una proporción estequiometría de 2 a 1 hidrógeno y oxígeno; la misma proporción que el agua. Es decir 2mol de hidrógeno y 1 mol de Oxígeno.

El agua a través de un proceso electroquímico como la electrólisis se puede transformar el agua en un gas (HHO) que tiene tres veces más potencia que la gasolina y además no contamina en absoluto.

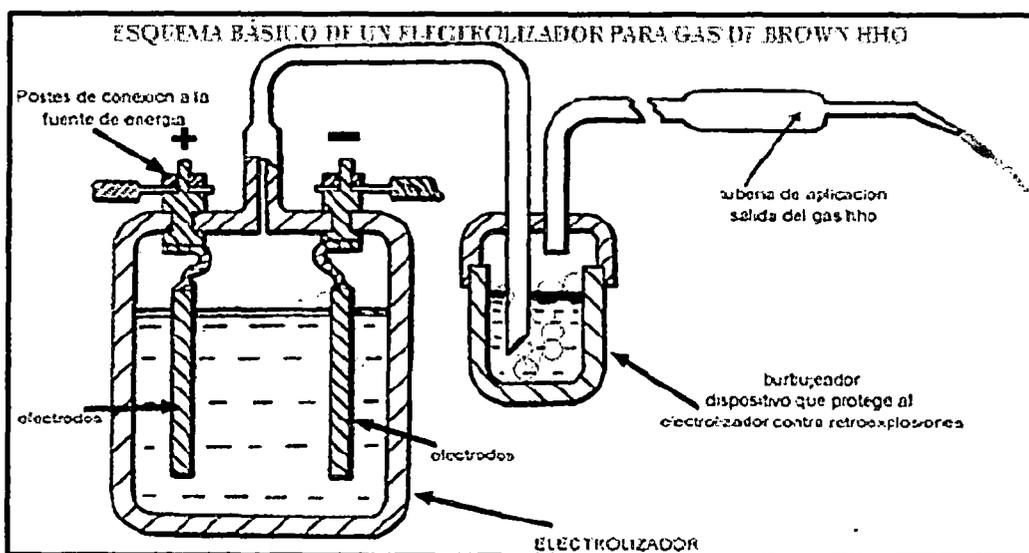
Este gas presenta la característica de que debe ser producido en el momento de su uso (no se puede almacenar). Podemos usarlo como combustible para sopletes, para calderas de calefacción y agua caliente e incluso para mover un coche como sustituto de la gasolina. Sin contaminación y sin coste.

Cuando la electricidad fluye a través del agua, entre dos placas metálicas que están sumergidas en ella, la molécula del agua (H_2O) es dividida en sus átomos que la componen, hidrógeno y oxígeno mediante el proceso de electrolisis, con la ayuda de energía eléctrica de corriente directa (DC) que recorre del polo positivo al negativo desde una batería o fuente. Esta corriente fluye desde las placas metálicas a través del agua por las sales disueltas que se encuentran en ella, pasando por diferentes configuraciones de las placas, más un catalizador que puede ser hidróxido de potasio, el cual facilita y provoca la reacción química del agua, mientras no haya corriente el catalizador no actúa para producir la reacción.

El generador de gas de Brown (HHO) se basa en las leyes de Michael Faraday que dice:

1.-La masa de sustancia liberada en una electrolisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha pasado a través del electrólito masa = equivalente electroquímico, por la intensidad y por el tiempo ($m = c I t$).

2.- Las masas de distintas sustancia liberadas por la misma cantidad de electricidad son directamente proporcionales a sus pesos equivalentes.



Fuente: Elobservatoriodeltiempo.wordpress.com

Fig. 2-11. Esquema Básico de un electrolizador para Gas de Brown HHO.

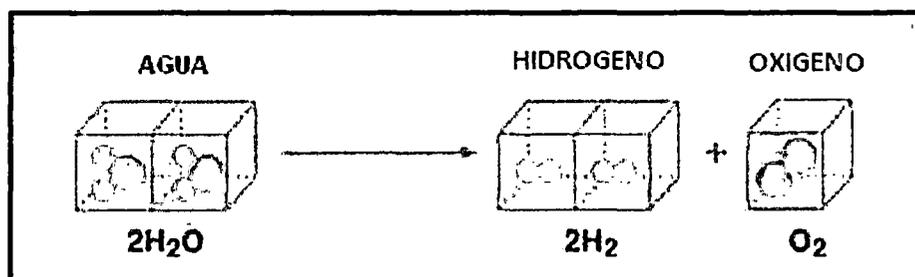
En la fig. 2-11 Se indican los componentes básicos de un generador de gas de Brown

(HHO) y la protección contra la retro explosión que se debe tener cuando su aplicación es directa, Consta de las siguientes partes:

1. Borne positivo.
2. Borne negativo.
3. Electrolizador.
4. Electrodo positivo (ánodo).
5. Electrodo negativo (cátodo).
6. Deposito que protege al electrolizador.
7. Tubería de salida del gas de Brown (HHO).

En términos generales el agua no es conductor de la corriente, pero como tiene sales disueltas, o se añade un catalizador llamado electrolito, el cual permite que la corriente fluya entre los polos positivo y negativo de las placas, iniciando la electrolisis que hace que se separe el hidrógeno del oxígeno.

El hidrógeno y el oxígeno separados por este proceso forman un gas hidrógeno, hidrógeno y oxígeno (plasma cuarto estado de la materia donde los componentes se presentan en forma atómica), por ello la terminología gas de Brown (HHO).



Fuente: Manual Azul del HHO .

Fig. 2-12. Descomposición del Agua.

En 1960 el investigador Yull Brown, llegó a la conclusión que el gas obtenido de la electrolisis del agua se podría utilizar sin separarlo y se popularizó con el nombre de "Gas de Brown" (HHO). Esta es una diferencia fundamental entre los métodos que usan este gas como combustible y el que utilizan exclusivamente el hidrógeno guardado en cilindros.

Existen métodos diferentes para obtener el plasma de hidrógeno y oxígeno como combustible para utilizar en los vehículos. Además se construyen electrolizadores especiales alimentados con grandes cantidades de corriente directa, sin importar el voltaje, para obtener cantidades mayores de estos gases para la industria. Se observa que en este proceso se separan las moléculas del agua en oxígeno sacándolo y desechándolo del lado positivo (ánodo) y el hidrógeno se conduce hacia fuera del lado negativo (cátodo).

La diferencia principal entre el "Gas de Brown", el oxígeno e hidrógeno separados después de la electrolisis es que el gas Brown HHO no puede ser presurizado y almacenado, porque es muy volátil y estallará si se intenta comprimirlo. La ventaja de este gas de Brown (HHO) es que puede ser producido en cantidades necesarias para la aplicación. La energía intrínseca del gas obtenido, dinamiza el proceso de combustión dentro del motor, rompiendo literalmente las moléculas de hidrocarburos (gasolina, diesel, biocombustible...) haciéndolas quemar más rápidamente y eficientemente, de modo que al combustionar mejor los hidrocarburos se consigue mayor energía de la gasolina, menos emisiones de hidrocarburos sin quemar, menos gases contaminantes y mayor potencia del motor.

El investigador Yull Brown también llegó a la conclusión que este gas se podría utilizar para los proceso de la combustión de los vehículos. Esta tecnología se aplicara a vehículos a gasolina de carburador e inyección, convirtiéndolo en vehículo dual, desarrollando un sistema de adaptación tomando en cuenta las medidas de seguridad para la instalación de este sistema que producirá solo el gas necesario sin tener excesos peligrosos.

2.8.4. CARACTERÍSTICAS DEL HHO.

El Oxihidrógeno puede hacer autoignición a una presión atmosférica de 1 atmosfera (medio ambiente) y a 570°C, suministrando calor sin chispa, la energía mínima requerida para hacer autoignición con una chispa es con al menos 20 microjoules.

Cuando hace ignición la mezcla de gases de HHO se convierte en vapor de agua y cede energía en forma de calor, liberando 241.8 Kilojoules de energía solo por cada mol de hidrógeno quemado. La velocidad de combustión es entre 2.65 m/s a

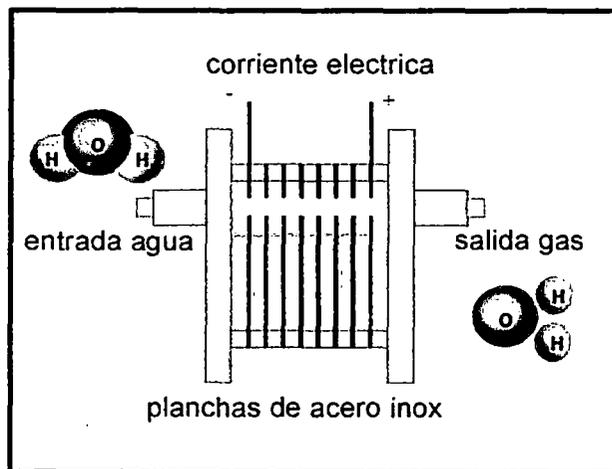
3.25 m/s como se puede ver es una velocidad increíblemente rápida, por esto el uso de dispositivos de seguridad como arrestaflamas y burbujeadores.

La temperatura de la flama que se genera varía según la manera en que haga combustión sin embargo la máxima temperatura es cercana a los 2800°C que es 700°C más caliente que la flama de hidrógeno en el aire.

Esta mezcla de gases HHO, puede obtenerse por la electrolisis del agua en la que por medio de la corriente o amperes se disocian las moléculas hidrógeno y oxígeno.

2.8.5. GENERADOR DE HHO.

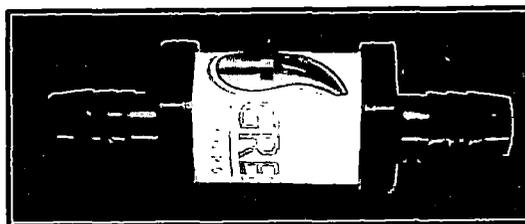
Un generador de HHO o hidrógeno es propiamente un reactor o equipo, compuesto de planchas de acero inoxidable separadas paralelamente, la solución de agua con electrolito que está en contacto con las placas es donde tiene lugar la electrolisis. A diferencia de una electrolisis convencional donde los productos son H_2 y O_2 por separado, la reacción resultante de este es HHO, siendo este último muy explosivo, para ello se debe contar con implementos de seguridad como un arresta-flamas (flash back) y burbujeador para poder limpiar el gas del electrolito.



Fuente: greenh2ofuel.com

Fig. 2-13. Generador de HHO.

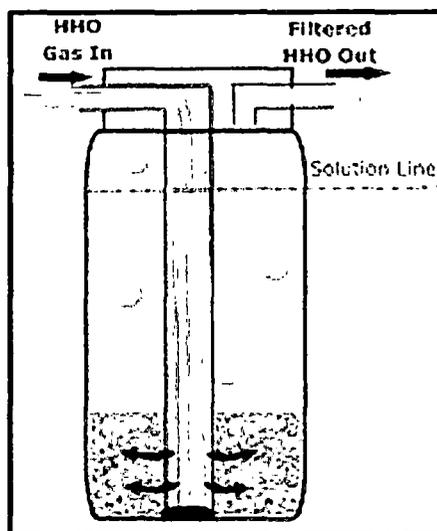
- a) **Arrestaflamas (Flash Back):** Es un dispositivo de seguridad, sirve para extinguir una llama en un conducto.



Fuente: greenh2ofuel.com

Fig. 2-14. Arresta flamas.

- b) **Burbujeador (bubbler):** Contiene agua en su interior y sirve para limpiar el HHO del electrolito.



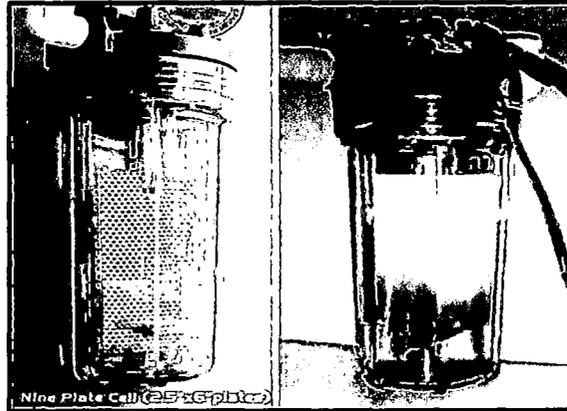
Fuente: amazon.com

Fig. 2-15. Burbujeador.

2.8.5.1 CELDAS HUMEDAS.

Son las más sencillas de construir. Están constituidas por láminas de acero y de separadores de plástico. También las hay de tipo espiral de acero. En las fotos se pueden ver distintos tipos de celdas.

Ventajas: Menos costosas, Desventajas: Se recalientan rápidamente, no existe flujo de agua, el material pvc actúa como aislante.



Fuente: GreenEnergetix.com

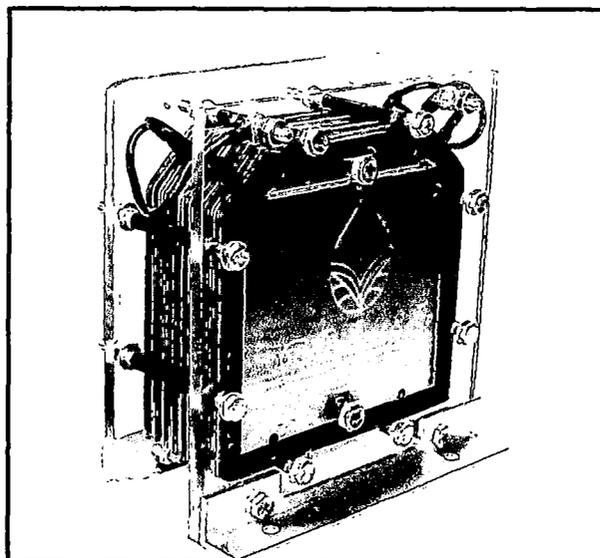
Fig. 2-16. Celda Húmeda.

2.8.5.2 CELDAS SECAS - DRY CELL.

Son un diseño más eficiente que una celda húmeda, el agua pasa por el interior de la celda y sale convertida en gas, se diferencian en cuanto a la forma, prácticamente es un paquete cuadrado.

Las láminas deben ser de acero inoxidable preferiblemente de aleación 316 o 304 el grosor entre 0,8 y un milímetro. Los separadores de plástico o neopreno para separar las placas aproximadamente un milímetro.

Las placas pueden ir conectadas al polo positivo al negativo o a ninguno siendo neutra. Existen distintas configuraciones dependiendo del número de celdas.



Fuente: amazon.com

Fig. 2-17. Celda seca (Dry Cell).

2.8.6. ELECTROLITO.

Un electrólito es una sustancia que puede someterse a la electrolisis (la descomposición en disolución a través de la corriente de electricidad). Los electrolitos contienen iones libres que actúan como conductores eléctricos.

El electrolito es importante porque es lo que usan generadores de hidrógeno para mantener la tensión correcta a través de las placas y para llevar la corriente eléctrica a partir de una placa a otra. Ellos hacen que el agua se comporte mejor como conductor porque el agua pura es un aislante. No realizará ninguna conducción de corriente. La mayoría del agua contiene minerales que son conductores. Los minerales en más cantidad, mejor se llevará a cabo la conexión. Pero cuando se trata de generadores de hidrógeno, se necesita minimizar o eliminar las impurezas en el agua que contaminan las superficies de los electrodos que detienen el proceso químico de la electrolisis.

2.8.6.1. TIPOS DE ELECTROLITO.

Existen infinidad de sustancias para preparar un electrolito:

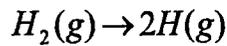
- KOH (hidróxido de potasio o sosa potásica).
- NaHCO₃ (Bicarbonato de Sodio)
- NaOH (Hidróxido de Sodio o Sosa Caustica)
- K₂CO₃ (Carbonato de Potasio), vinagre blanco, etc.

2.8.7. TERMODINÁMICA DEL HHO.

La termodinámica de la combustión del HHO o gas oxihidrógeno monoatómico así como diatómico se detallará a continuación: cuando el oxígeno diatómico convencional (O₂) e hidrógeno (H₂) (gases de tanque) van a hacer combustión primero deben tener rotos sus enlaces, separarlos o estar separados. (Electrolisis) esto consume energía; la energía entonces se libera cuando los átomos de hidrógeno y de oxígeno se recombinan en H₂O (hacen combustión). La cantidad total de energía liberada es la suma de estas dos energías, donde una tiene signo + (consume) y la otra signo - (libera).

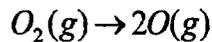
Mientras que el calor de la combustión para H₂ diatómico convencional se muestra en las tablas termodinámicas, los valores para el monoatómico $2H + O \rightarrow H_2O$

no se muestran y se calculan de la siguiente manera: la disociación para obtener hidrógeno diatómico en forma de gas de hidrógeno atómico (consume energía)



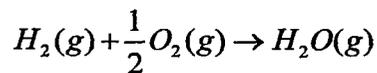
$$\Delta H^\circ = 217.998kJ$$

La disociación para obtener oxígeno diatómico en forma de gas de oxígeno atómico (consume energía)



$$\Delta H^\circ = 249.18kJ$$

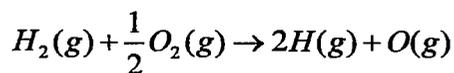
La combustión del H_2 diatómico y el O_2 para formar vapor de agua (libera energía):



$$\Delta H^\circ = -241.826kJ \text{ (Tabla)}$$

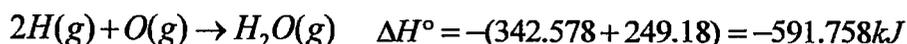
Valores derivados ó calculados:

La disociación de H_2 diatómico y O_2 en su forma monoatómica (consume energía):

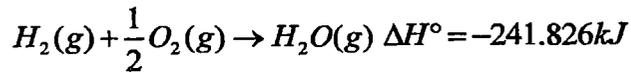


$$\Delta H^\circ = 217.988 + \frac{1}{2}249.18 = 342.578kJ$$

La combustión del hidrógeno monoatómico y oxígeno para formar vapor de agua (libera energía):



Conclusión: la combustión de oxihidrógeno diatómico para formar vapor de agua (libera energía)



La combustión del oxihidrógeno monoatómico (libera energía)



La combustión de cierta cantidad (por peso) de oxihidrógeno libera cerca de 2.45 veces más energía, si el oxihidrógeno es monoatómico en vez de diatómico, el oxihidrógeno monoatómico tiene 2 veces el volumen para el mismo peso del oxihidrógeno diatómico esto significa que en la combustión de un litro de oxihidrógeno monoatómico se libera cerca de 1.23 más energía que en el mismo volumen de oxihidrógeno diatómico. Sin embargo la energía consumida para disociar un litro de oxihidrógeno monoatómico de agua es la mitad de lo que se necesita para disociar un litro de oxígeno e hidrógeno gaseoso diatómico.

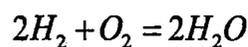
2.9. HIDRÓGENO APLICACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

2.9.1. CONCEPTOS GENERALES.

Los MACI de hidrógeno son motores de encendido por chispa, esto es, del mismo concepto que los motores de gasolina, y muy similares a los derivados para gas natural, llegando a utilizarse los mismos componentes o levemente adaptados. De hecho, las modificaciones afectan al inyector del gas y a la programación de la centralita que controla la inyección y el encendido, aparte, claro está del depósito de combustible. La capacidad de los MACI de hidrógeno para quemar limpiamente y operar eficientemente se debe a las singulares características de combustión del hidrógeno. Paradójicamente, estas mismas características son las que imponen retos técnicos en el diseño y control de los MACI debido a la fácil aparición de fenómenos indeseados como el pre-encendido el retroceso de llama, etc.

2.9.2. RELACIÓN DE COMBUSTIÓN AIRE-HIDRÓGENO.

La combustión teórica o estequiométrica del hidrógeno y el oxígeno se da como:



Moles de H_2 para una combustión completa = 2 moles

Moles de O₂ para una combustión completa = 1 mol

Puesto que el aire es utilizado como oxidante, en vez del oxígeno, el nitrógeno que forma parte del aire debe ser incluido en los cálculos:

Moles de N₂ en el aire = Moles de O₂ · (79% N₂ en el aire / 21% O₂ en el aire)

$$= 1 \text{ mol de O}_2 \cdot (79\% \text{ N}_2 \text{ en el aire} / 21\% \text{ O}_2 \text{ en el aire})$$

$$= 3.762 \text{ moles de N}_2$$

Número de moles del aire = Moles de O₂ + moles de N₂

$$= 1 + 3.762$$

$$= 4.762 \text{ moles de aire}$$

Peso del O₂ = 1 mol de O₂ · 32 g/mol

$$= 32 \text{ g}$$

Peso del N₂ = 3.762 moles de N₂ · 28 g/mol

$$= 105.33 \text{ g}$$

Peso del aire = peso del O₂ + peso del N₂

$$= 32\text{g} + 105,33 \text{ g}$$

$$= 137.33 \text{ g}$$

Peso del H₂ = 2 moles de H₂ · 2 g/mol

$$= 4 \text{ g}$$

La relación estequiométrica de aire/combustible (A/C) para el hidrógeno y el aire es:

A/C basado en la masa: = masa del aire/masa del combustible

$$= 137,33 \text{ g} / 4 \text{ g}$$

$$= 34.33: 1$$

$$\text{A/C basado en volumen:} = \frac{\text{Volumen}_{(moles)} \text{aire}}{\text{Volumen}_{(moles)} \text{hidrogeno}}$$

$$= 4.762 / 2$$

$$= 2.4: 1$$

Porcentaje de espacio ocupado en la cámara de combustión por una mezcla estequiométrica de hidrógeno:

$$\begin{aligned} \% H &= \text{volumen (moles) de } H_2 / \text{volumen total} \\ &= \text{volumen } H_2 / (\text{volumen aire} + \text{volumen de } H_2) \\ &= 2 / (4.762 + 2) \\ &= 29.6\% \end{aligned}$$

Los cálculos demuestran que la relación estequiométrica o químicamente necesaria de aire/combustible, en términos másicos, para la combustión completa de hidrógeno es de 34:1. Esto significa que, para producir una combustión completa, por cada gramo de combustible serán necesarios 34 g de aire. Esta es una relación mucho más elevada que la requerida en motores de gasolina (14,7:1).

Puesto que el hidrógeno es un combustible gaseoso en condiciones ambientales, desplazará mayor parte del volumen de la cámara de combustión que un combustible líquido. Por lo tanto, el aire podrá ocupar menos espacio de la cámara de combustión.

En condiciones estequiométricas, el hidrógeno desplaza cerca del 30% del volumen total de la cámara de combustión, en comparación con cerca del 1 – 2% desplazado en el caso de la gasolina.

2.9.3. EVOLUCIÓN TÉCNICA DE LOS MOTORES DE GASOLINA A HIDRÓGENO.

La principal ventaja de utilizar el hidrógeno en motores de combustión interna es que podemos aprovechar toda la experiencia tecnológica acumulada en este campo.

Tengamos en cuenta que la configuración del propio motor de hidrógeno es conceptualmente la misma que la de los motores de combustión interna alternativos de combustibles clásicos (con sus cilindros, pistones, cigüeñal, sistema de refrigeración y demás elementos constructivos). De esta manera, a la hora de desarrollar un motor de combustión interna de hidrógeno podemos partir de una base de conocimientos desarrollada durante muchas décadas.

No obstante, deberemos realizar una serie de modificaciones en los actuales motores de combustión interna para adaptarlos a funcionar con hidrógeno, debido, precisamente, a las particulares características de este. Estas modificaciones serán las siguientes:

2.9.3.1. CONTROL DEL ACEITE DEL MOTOR.

Uno de los objetivos principales de este tipo de motores es reducir drásticamente las emisiones contaminantes. Por este motivo, se pretende minimizar el consumo de aceite, que, al fin y al cabo, acaba quemándose en la cámara de combustión, produciendo sus consiguientes emisiones. Para tratar de evitarlo se deberá:

- Cuidar mucho más las tolerancias de cilindridad y rugosidad, además de utilizar otro tipo de aceite más adecuado.
- Utilizar un tipo de pistones diferentes con tal de disminuir la expansión térmica.
- En algunas aplicaciones se utilizan aleaciones de aluminio – silicio hipereutécticas.

2.9.3.2. CULATA Y REFRIGERACIÓN.

En los motores de combustión interna de hidrógeno se utilizará un tipo de culata especialmente diseñada. Como ya se ha mencionado en puntos anteriores, el hecho de utilizar el hidrógeno como combustible nos obliga a tener en cuenta una serie de aspectos, como su baja energía de ignición y su amplio margen de inflamabilidad.

Debido a esto, hay que evitar las zonas excesivamente calientes en la cámara de combustión del motor, con lo que deberemos:

- Incrementar el flujo de refrigerante en las proximidades de la bujía y de las válvulas de escape (para evitar que provoquen el pre-encendido del combustible).
- Deberemos prestar especial atención a la temperatura de las válvulas de escape, puede usarse sodio en su interior, también mecanizar la cámara de combustión y aumentar la relación de compresión.
- Utilizar stellita en los asientos de las válvulas para que sean mucho más duros superficialmente y aumentar así su resistencia al desgaste.

2.9.3.3. SISTEMAS DE IGNICIÓN.

Debido al bajo límite de energía de ignición del hidrógeno, es fácil producir su ignición, y se pueden aprovechar los sistemas de ignición de los motores de combustión interna de gasolina.

Las bujías para los motores de hidrógeno deben estar clasificadas como frías y cuyos extremos no sean de platino. Una bujía fría es aquella que transfiere el calor desde el extremo de la misma a la cabeza del pistón de manera más rápida que una de tipo caliente. Esto significa que la posibilidad de que la punta de la bujía produzca la ignición de la mezcla de aire/combustible es reducida. Las bujías de tipo caliente están diseñadas para mantener una cierta cantidad de calor, con lo que no se acumulan restos carbonosos. Puesto que el hidrógeno no contiene carbón, las bujías de tipo caliente no presentan un interés especial en este tipo de motores.

Las bujías de platino tampoco son recomendables, ya que el platino podría actuar como catalizador de la ignición.

La parte del hueco de la bujía, en el extremo donde salta la chispa, se rebaja en masa con la finalidad de mejorar la eficiencia eléctrica. Para optimizar el sistema, se suelen usar bobinas separadas para cada bujía.

2.9.3.4. CAMBIOS ESTRUCTURALES.

Debido al aumento de la compresión, deberemos realizar una serie de cambios estructurales para que los motores puedan funcionar con hidrógeno, por ejemplo:

- Reforzar todos aquellos elementos que transmitan fuerza, como bulones de los pistones, cigüeñal y bielas.
- Es posible que se deba modificar también la posición de los segmentos debido a estas sobrepresiones.

2.9.3.5. SISTEMAS DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.

Existen tres sistemas de suministro de hidrógeno al motor: **carburación, por conducto e inyección directa.**

- **Carburación.**

El método más simple de entregar combustible al motor es utilizando un carburador. Además de resultar el método más simple, es el que mejor permite pasar de un motor de gasolina a un motor de hidrógeno. Otra ventaja que supone emplear la carburación en un motor de combustión interna de hidrógeno es que no se requiere una presión de suministro del combustible tan elevada como en otros métodos de suministro.

- **Sistemas de inyección por conducto (PIF, "Port Injection Fuel")**

El sistema de suministro de combustible por conducto inyecta el combustible directamente dentro del conducto de admisión en cada orificio de admisión, en vez de introducir el combustible en un único punto. Normalmente, el combustible se inyecta en el conducto después del inicio de la carrera de admisión. De esta manera se reducen las posibilidades de que se produzca el pre-encendido del hidrógeno, ya que el aire que haya entrado en la cámara de combustión habrá enfriado algo el recinto y por consiguiente todos aquellos puntos o zonas calientes que pudieran comportarse como fuente de ignición.

- **Inyección directa (DI, "Direct Injection")**

Los motores más sofisticados de combustión interna de hidrógeno utilizan sistemas de inyección directa en el cilindro durante la carrera de compresión. En la inyección directa, la válvula de admisión se encuentra cerrada cuando se inyecta el combustible, evitando así por completo el problema del pre-encendido durante la carrera de admisión. Consecuentemente, no se producirá retroceso de llama hacia el conducto de admisión.

2.9.3.6. VENTILACIÓN DEL CÁRTER DEL MOTOR.

La ventilación del cárter del motor resulta mucho más importante en los motores de combustión interna de hidrógeno que en los de gasolina.

Como en los motores de gasolina, el combustible sin quemar puede filtrarse por los aros del pistón y entrar en el cárter del motor. Puesto que el hidrógeno tiene un límite de energía de ignición más bajo que la gasolina, el hidrógeno que no se haya quemado y que pueda entrar en el cárter del motor tiene una alta probabilidad de incendiarse. Se debe prevenir la acumulación de hidrógeno en esa zona mediante la ventilación.

Una ignición dentro del cárter motor puede dar como resultado un simple ruido o acabar incendiando el motor. Cuando el hidrógeno se incendia dentro del cárter del motor, lo que ocurre es que se produce una subida repentina de la presión. Para aliviar esta presión debe instalarse una válvula de descarga de presión.

Los gases de escape también se pueden filtrar a través de los aros del pistón hacia el cárter del motor. Puesto que las emisiones que se producen en la combustión del hidrógeno en un motor son vapor de agua, el agua puede condensarse en el cárter del motor si no tenemos una ventilación adecuada. Si se llegase a mezclar el agua condensada con el aceite del motor, se reduciría su capacidad de lubricación, dando como resultado un mayor desgaste del motor, además de que se podrían llegar a formar hidrocarburos.

2.9.3.7. SISTEMA DE ESCAPE.

El principal problema que nos encontraremos en el sistema de escape es la gran cantidad de agua que generará la combustión del hidrógeno en el interior del motor. El sistema de escape deberá estar diseñado de tal manera que el agua generada pueda circular a través de él y sea expulsada por la salida del sistema.

Así pues, los sistemas de exhaustación o escape deberán estar diseñados de tal manera que vayan descendiendo paulatinamente desde el bloque motor hasta el punto de salida, prestando especial atención en el diseño del silenciador, que deberá realizar su función sin permitir que el agua quede estancada en su interior.

De este modo, se recomienda el uso de aceros inoxidable para la construcción de los tubos de escape y silenciadores.

2.9.3.8. ACEITE LUBRICANTE.

Uno de los problemas que nos podemos encontrar con el aceite lubricante es que, debido a la gran cantidad de agua generada por el motor al consumir hidrógeno, el aceite pueda quedarse pegado a las paredes de los cilindros, anulando así su función de lubricar.

Por otro lado, es necesario reducir al máximo las emisiones de hidrocarburos (que pueden llegar a formarse debido a la reacción del hidrógeno con el aceite del motor, al haberse descompuesto éste último), con lo que se tratará de utilizar lubricantes sintéticos de baja volatilidad a elevadas temperaturas.

2.9.5. POTENCIA OBTENIDA.

La potencia obtenida en un motor de hidrógeno dependerá de la relación aire/combustible y del sistema de inyección de combustible utilizado.

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, la relación estequiométrica aire/combustible para el hidrógeno es 34:1. Con esta relación aire/combustible, el hidrógeno desplazará el 29% del volumen de la cámara de combustión, dejando el 71% restante para el aire. Como resultado, el contenido en energía de esta mezcla será menor que si el combustible fuese gasolina (puesto que la gasolina es un líquido, ocupará un volumen mucho menor en la cámara de combustión, permitiendo que entre mayor cantidad de aire).

Puesto que tanto el método de carburación como la inyección en el conducto de admisión mezclan el aire y el combustible antes de que entren en la cámara de combustión, estos sistemas limitaran la potencia teórica máxima obtenible a aproximadamente un 85% de la obtenida en los motores de gasolina. Para los sistemas de inyección directa, que mezclan el combustible con el aire después de que la válvula de admisión se haya cerrado (disponiendo de esta manera la cámara de combustión del 100% de aire), la potencia máxima a la salida del motor puede ser aproximadamente un 15% mayor que la de los motores de gasolina.

Por lo tanto, dependiendo de la manera en que hayamos introducido el combustible en la cámara de combustión, la potencia máxima a la salida de un motor de hidrógeno podrá ser un 15% mayor o menor que en el caso de un motor de gasolina con una relación aire/combustible estequiométrica. Sin embargo, con una relación aire/combustible estequiométrica, la temperatura de la combustión

será muy elevada, dando como resultado la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x), que es un agente contaminante como ya veremos en el siguiente capítulo. Puesto que una de las razones de utilizar motores de hidrógeno es la de no emitir agentes contaminantes a la atmósfera, éstos estarán diseñados para funcionar con mezclas de aire/combustible pobres, y no con una relación estequiométrica.

Los motores e hidrógeno se diseñan para funcionar con dos veces más aire del teóricamente requerido para producir una combustión completa. Con esta relación aire/combustible, la formación de NO_x se reduce casi a cero. Desafortunadamente, este hecho reducirá también la potencia máxima a la salida hasta más o menos la mitad de la que se conseguiría con un motor de gasolina de las mismas características. Para compensar la pérdida, los motores de hidrógeno son generalmente más grandes que los motores de gasolina y/o se equipan con turbocompresores o sobrealimentadores.

Capítulo III

PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

No hay duda de que el petróleo y sus derivados que se utilizan hoy en día son los causantes de muchos de los males que aquejan a nuestra sociedad, en particular si vemos que muchas de nuestras ciudades envueltas de una nube formada por todo tipo de vapores nocivos, emanados como producto de la actividad humana, especialmente por la quema de hidrocarburos dentro de motores de combustión interna que constituye la principal fuente de contaminación de la atmósfera. En su aspecto más tangible e inmediato, los gases resultantes de la quema de hidrocarburos polucionan el aire de las grandes ciudades donde es más intensa la concentración de los motores de combustión interna.

3.1. NORMATIVIDAD TIER.

Es un conjunto de normas que definen las emisiones y protocolos de pruebas para vehículos automotores utilizadas en U.S.A y otros países. Después de la segunda guerra mundial, California y muchos otros estados de U.S.A. comenzaron a promulgar leyes para intentar regular la contaminación del aire producida por una sociedad en crecimiento que estaba comprando vehículos, construyendo fábricas, construyendo calles y autopistas a tasas enormes.

La Agencia de Protección Medio ambiental Estadounidense (EPA según sus siglas en inglés) ha liderado la implementación de las distintas normas sobre emisiones aplicables a los vehículos desde la entrada en vigor del Tier 1 en el año 1996. En la Unión Europea la primera etapa ("Stage I") fue promulgada en 1977 puesta en práctica en 1999. Las normas estadounidenses Tier 1, Tier 2, Tier 3 y Tier 4 de la EPA se han armonizado con las normas europeas para permitir el comercio libre.

Uno de los principales requisitos que tiene un vehículo, antes de ser comercializado, es que debe cumplir una serie de requisitos, entre los cuales se encuentran las normas de emisiones. En este sentido, dependiendo el país de destino, existen diferentes sistemas, principalmente europeos y americanos.

Las normas establecidas mediante los Tiers definen los niveles máximos de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y de partículas (PM), así como de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). La evolución registrada a lo largo de las distintas fases resulta especialmente notable en cuanto a los niveles máximos de emisión en óxidos de nitrógeno (NO_x) y en partículas (PM) que se reducirán a menos de un 5% de los definidos en el Tier 1 cuando se implemente completamente la fase del Tier 4.

Desde la implementación del Tier 2 se utiliza una estrategia de tres niveles de cumplimiento. Se hace uso de una evaluación de pre-producción para certificar los vehículos antes de la venta; se utiliza una evaluación de producción en la línea de ensamblaje para la evaluación temprana en la producción de los vehículos. Finalmente, la evaluación en-uso se utiliza para verificar el debido mantenimiento de vehículos después de varios años de uso.

A continuación se describe brevemente cada una de estas normas.

Tier 1: Publicada en 1991 y aplicada progresivamente entre 1994 y 1997, establecieron límites de emisión a 80 000 y 160 000 kilómetros tanto para vehículos que utilizan gasolina y diesel. Exigieron una incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo o OBD, que monitorean el desempeño del catalizador y de los otros sistemas de control de emisiones para indicar cuando estos no funcionan adecuadamente.

Los límites que establecieron son:

Para la gasolina:

- a los 80 000 km:
 - 0.25 – 0.45 g/ km de hidrocarburos totales (HTC),
 - 2.11-3.11 g/km de CO,
 - 0.25 a 0.68 g/km de No_x
 - 0.050 a 0.065 g/km de partículas.
- a los 160 000 km
 - 0.497 g/km de hidrocarburos totales (HTC),
 - 2.610-4.537g/km de CO,

0.373-0.951 g/km de No_x ,

0.062-0.075 g/km de partículas.

Para el diesel:

- a los 80 000 km

2.11 g/km de CO

0.62 g/km de No_x ,

0.062-0.05 g/km de partículas.

- a los 160 000 km

2.11-2.74 g/km de CO

0.62 g/km de No_x ,

0.05-0.062 g/km de partículas.

Tier 2: Publicada en 1999 y aplicada progresivamente entre 2004 y 2009, su principal característica es que los límites de emisiones por contaminantes no discriminan el tipo de combustible ni el tamaño de los vehículos, vale decir, se aplica la misma norma para todos por igual, lo que representa un salto importante en cuanto a la exigencia tecnológica que deben incorporar los vehículos además de agregar algunas categorías nuevas en su caracterización. La Tier 2 introduce límites numéricos más estrictos de emisión en relación con los anteriores requisitos de la Tier 1 y una serie de modificaciones adicionales que han establecido normas más estrictas para los vehículos más grandes.

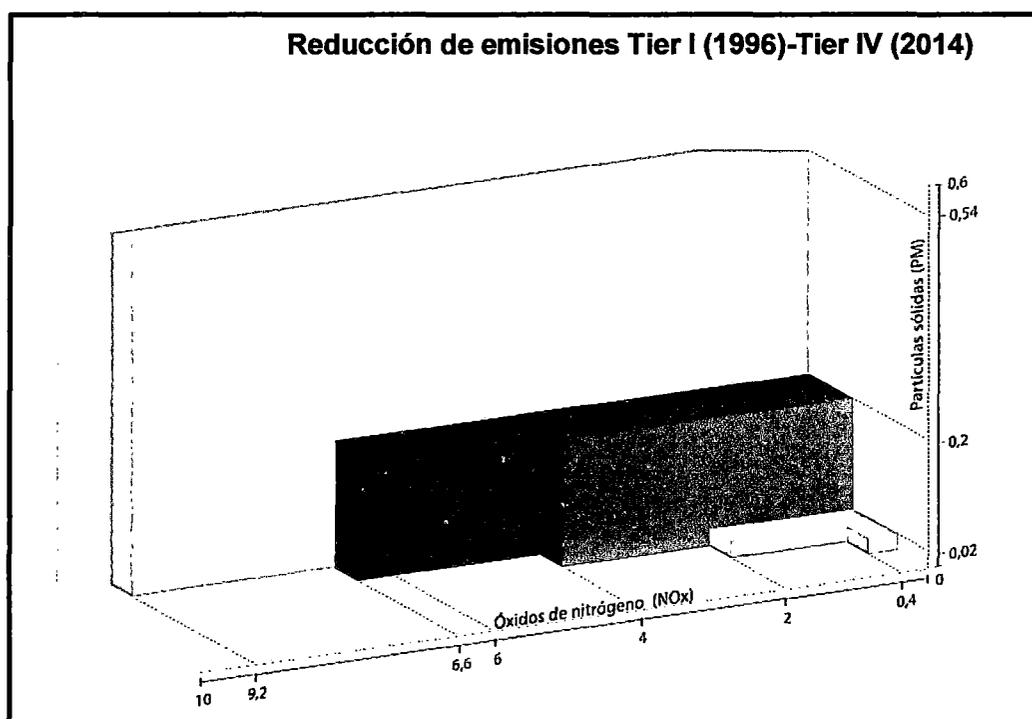
Los mismos límites de emisión son aplicables a todos los vehículos, independientemente del combustible que utilizan, es decir, los vehículos alimentados por gasolina, diesel, combustibles alternativos o todos deben cumplir las mismas normas. Los vehículos con grandes motores (por ejemplo camiones ligeros) tienen que usar tecnologías más avanzadas de control de emisiones que los vehículos con motores más pequeños para poder cumplirlas.

La norma Tier 2 ha traído nuevos requerimientos para la calidad de los combustibles. Exigen combustibles más limpios por los dispositivos avanzados de post tratamiento de emisiones (por ejemplo, catalizadores y filtros de partículas) que se necesitan para cumplir la normativa.

Los niveles de azufre en la gasolina el programa requieren que la mayoría de las refinerías e importadores deben cumplir en la gasolina niveles estándar de azufre de 120 ppm y un límite de 300 ppm a partir de 2004. Desde 2006, el promedio estándar se ha reducido a 30 ppm, con un tope de 80 ppm de azufre. En La calidad de los combustibles diesel el nivel máximo de azufre de 15 ppm (conocido como el diesel ultra bajo en azufre, ULSD) a partir de junio de 2006.

Tier 3: Publicada el 2006 y aplicada progresivamente a partir del 2010 en adelante. Las normas propuestas reducirán los niveles de azufre en la gasolina en más del 60%, hasta entre 30 a 10 partes por millón (ppm), y los de óxidos de nitrógeno en un 80%.

Tier 4: Que se irán introduciendo paulatinamente a lo largo del período 2008-2015. En comparación con los niveles Tier 3, las normativas Tier 4 exigen una reducción del 90% en el nivel de partículas sólidas y del 50% en el nivel de NO_x. Además, las normativas Tier 4 Final, que entrarán en vigor en 2014, exigen una reducción adicional del 40% en los niveles de NO_x, lo cual implica la reducción de los niveles de partículas sólidas y NO_x hasta 90% prácticamente cero.



Fuente: Motores Caterpillar.

Fig. 3-1. Reducción de emisiones Tier.

Leyenda.

 1996 Tier 1/Fase I	 2006 Tier 3/Fase III A
 2004 Fase II	 2011 Tier 4 Interim/Fase III B
 2004 Tier 2	 2014 Tier 4 Final/Fase IV

3.1.1. NORMATIVA SOBRE LOS COMBUSTIBLES.

Los criterios de emisiones definidos en los distintos niveles han de estar acompañados con una reducción en los niveles de sulfuros contenidos en el combustible. La necesidad de esta reducción se debe a que parte de los sulfuros se convierten en sulfatos en el proceso de combustión, y estos sulfatos se incluyen en las partículas emitidas (PM), mientras que otra parte de los sulfuros es emitida en forma de óxidos de azufre (SO_x) también asociados a problemas de polución. La reducción en los niveles de sulfuros es imprescindible para la adopción de tecnologías para reducción de emisiones, la recirculación de gases de escape (EGR), los sensores de NO_x y los tratamientos posteriores. Esta necesidad puede asimilarse al requerimiento de reducir los niveles de plomo en las gasolinas cuando se implantaron los convertidores catalíticos.

Cada una de las normas Tiers impone medidas más rigurosas para tratar varios elementos contaminantes. El objetivo de las directivas es reducir los agentes contaminantes que se producen cuando un motor quema combustible. Los requisitos se centran principalmente en la materia en partículas (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), ya que estos son los elementos contaminantes más relevantes en los motores, especialmente en los motores diésel. La reducción de ambos contaminantes de forma simultánea representa un desafío interesante, ya que reducir uno de ellos implica un incremento del otro. Esto se debe a que los óxidos de nitrógeno se generan a altas temperaturas mientras que las partículas surgen a bajas temperaturas.

3.2. NORMATIVIDAD TIER EN EL PERÚ.

La contaminación de las grandes ciudades es generada principalmente por fuentes móviles especialmente los de flota de vehículos; la mayor preocupación que generan estas fuentes son las emisiones que contienen material particulado de 2.5 micras que

siendo tan pequeñas ingresan con mayor facilidad a los pulmones; así también los precursores de Ozono, Hidrocarburos y Óxidos de Nitrógeno.

El parque automotor es el responsable del 70% de la contaminación existente en el Perú y el porcentaje restante se le atribuye a las industrias estacionarias, advirtió la Dirección de Calidad ambiental del Ministerio del Ambiente (Minam).

Dentro de los retos presentados para el país, es introducir combustibles con bajo contenido de azufre como pre-requisito para usar las nuevas tecnologías que reducen significativamente las emisiones vehiculares, así mismo incluir controles para reducir problemas con adulteración de combustibles como el uso de aditivos y keroseno con alto contenido de azufre, contar con un plan de transporte, introducir y poner en práctica normas de emisiones más estrictas para todos los automóviles, camiones, y autobuses vendidos en el país.

En el Perú las emisiones contaminantes de los vehículos que ingresan y operan en el SNTT están sujetas a los límites máximos establecidos por el Decreto Supremo N° 047-2001-MTC y Modificado por DS N° 026-2006-MTC (22.Jul.2006), 009-2012-MINAM (18.Dic.12) y 004-2013-MINAM (30.May.2013). Las normas Tier consideradas son la Tier 0, Tier 1 y Tier 2, siendo los años de aplicaciones los siguientes:

Tier 0: entre los años de 2003-2006.

Tier 1: entre los años de 2007-2015.

Tier 2: entre los años 2016 en adelante.

A continuación se muestra la siguiente tabla de los límites máximos permisibles de emisiones de gases de combustión.

Tabla 3-1. Límites máximos permisibles de emisiones VEHÍCULOS DE PASAJEROS (LDV) 12 asientos.

Año aplicación (**)	Norma	Directiva	Tipo de Motor	CO [g/mi]	HC+NOx [g/mi]	THC [g/mi]	NMHC [g/mi]	NOx [g/mi]	PM [g/mi]
2003-2006	Tier 0 o mayor	US83LDV US87LDV	Gasolina	3,40	-	0,41	-	1,00	-
			Diesel	3,40	-	0,41	-	1,00	0,20
2007 a 2015	Tier 1 o mayor	US94	Gasolina	3,40	-	0,41	0,25	0,40	0,08
			GNV	3,40	-	-	0,25	0,40	0,08
			GLP	3,40	-	0,41	0,25	0,40	0,08
			Diesel	3,40	-	0,41	0,25	1,00	0,08
Año aplicación (**)	Norma	Directiva	Casillero (***)	Tipo de Motor	CO [g/mi]	NMOG [g/mi]	HCHO [g/mi]	NOx [g/mi]	PM [g/mi]
2016 en adelante	Tier 2 o mayor	FTP	Bin 5	Todos los combustibles	4,20	0,090	0,018	0,07	0,01
			Bin 4		2,10	0,070	0,011	0,04	0,01
			Bin 3		2,10	0,055	0,011	0,03	0,01
			Bin 2		2,10	0,010	0,004	0,02	0,01
			Bin 1		0,00	0,000	0,000	0,00	0,00

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

(**) El Año de Aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la fecha de incorporación al país.

(***) No será aceptable la incorporación de aquellos vehículos cuyo Bin sea superior a 5.

(LDV: Light-Duty Vehicle / LDT: Light-Duty Truck / DI: Motores de Inyección Directa / IDI: Motores de Inyección Indirecta)

NMHC: Hidrocarburos no metano.

THC: Hidrocarburos totales.

CO: Monóxido de Carbono.

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

NMOG: Gases orgánicos no metano.

PM: Particulados.

HCHO: Formaldehído para Pasajeros.

3.3. TECNOLOGÍAS DE CONTROL DE EMISIONES.

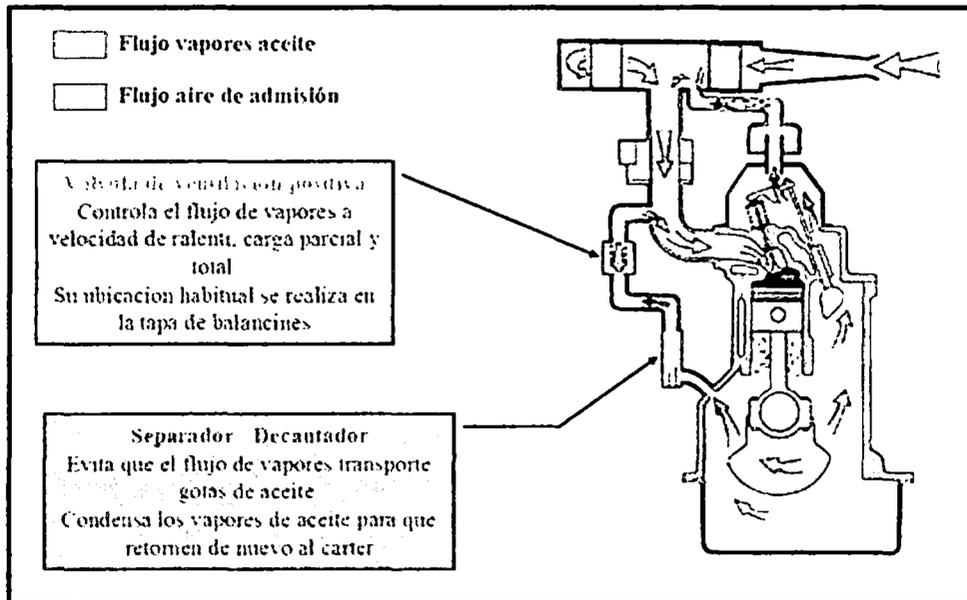
La función primordial de los sistemas de control de emisiones es la de disminuir la salida de los gases contaminantes, en unos porcentajes determinados por leyes expedidas para tal fin en cada país donde inclusive se especifica para cada ciudad. Con el fin de cumplir las normas de emisiones establecidas por los TIERs los fabricantes de motores de combustión interna desarrollaron las siguientes tecnologías de control de emisiones:

- Sistema de ventilación positiva del cárter pcv.
- Sistema de control de emisiones evaporativas.
- Sistema de recirculación parcial de los gases de escape (EGR).
- Sistema de inyección de aire al tubo de escape.
- El convertidor catalítico.
- El sistema SCR (reducción catalítica selectiva).

3.3.1. SISTEMA DE VENTILACIÓN POSITIVA DEL CÁRTER PCV.

La ventilación positiva del cárter es un sistema que fue desarrollado para remover vapores dañinos del motor y prevenir que esos vapores sean expedidos a la atmósfera. El sistema PCV lleva a cabo esto mediante un cabezal de vacío para retirar los vapores del cárter hacia el múltiple de admisión. De ahí los vapores son llevados junto con la mezcla aire-combustible a la cámara de combustión en donde son quemados. El flujo o circulación dentro del sistema está controlado por la válvula PCV. La válvula PCV es efectiva como un sistema de ventilación del cárter y como un mecanismo de control de contaminación.

La parte más crítica del sistema PCV es la válvula de control de flujo, comúnmente llamada válvula PCV. El propósito de la válvula PCV es regular el flujo de vapores del cárter al múltiple de admisión. Esto es necesario para proporcionar la ventilación adecuada del cárter sin desajustar la mezcla aire-combustible para la combustión.



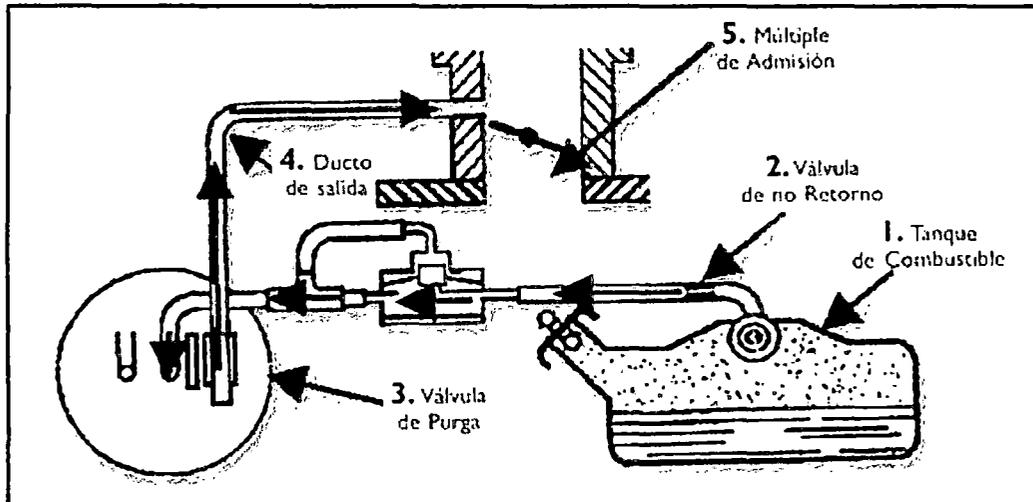
Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

Fig. 3-1. Sistema de ventilación positiva del cárter.

3.3.2. SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES EVAPORATIVAS.

Este sistema evita que los vapores generados en los depósitos de combustible salgan a la atmósfera, reteniéndolos o condensándolos en un canister o caja de carbón activado, para que posteriormente sean introducidos a la cámara de combustión y puedan ser utilizados. De esta forma se disminuye emisión de hidrocarburos livianos, causantes de la formación de smog en la atmósfera.

Este sistema cuenta con una válvula de salida de vapores del tanque, que regula el paso hacia el canister, y una válvula de purga conectada al múltiple de admisión o una electroválvula controlada por el computador en los vehículos con sistemas electrónicos, que permite que por vacío el vapor condensado salga del canister.



Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

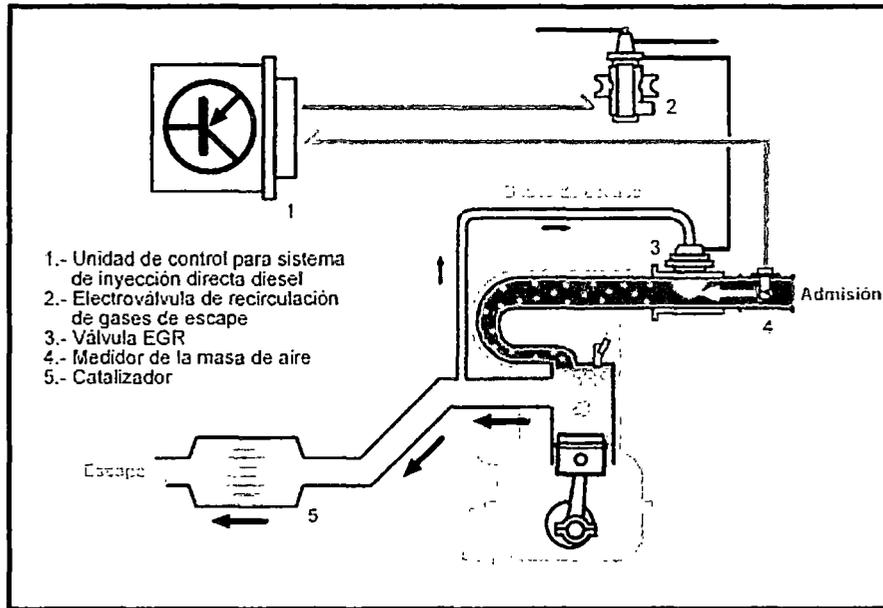
Fig. 3-2. Sistema de control de emisiones evaporativas.

3.3.3. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN PARCIAL DE LOS GASES DE ESCAPE (EGR).

Es uno de los sistemas más complejo e importante; su función primordial es la de disminuir la cantidad de óxidos de nitrógeno que salen de la cámara de combustión, introduciendo una parte de los gases de escape nuevamente al motor, para que el CO_2 absorba el calor y la temperatura de la cámara disminuya. Se utiliza principalmente en los motores Diesel, donde no es posible la utilización de convertidores catalíticos de tres vías para el control de las emisiones de CO , HC y NO_x .

El sistema de Recirculación de Gases de Escape (EGR) está diseñado para reducir la cantidad de óxidos de nitrógeno (NO_x) creados en la cámara de combustión durante períodos que por lo regular resultan en temperaturas de combustión elevadas.

La EGR, interconecta el múltiple de escape con el de admisión, y su apertura está controlada por la cantidad de vacío que llega a la cámara superior de ésta, haciendo deflectar un diafragma que abre la válvula en el extremo inferior.

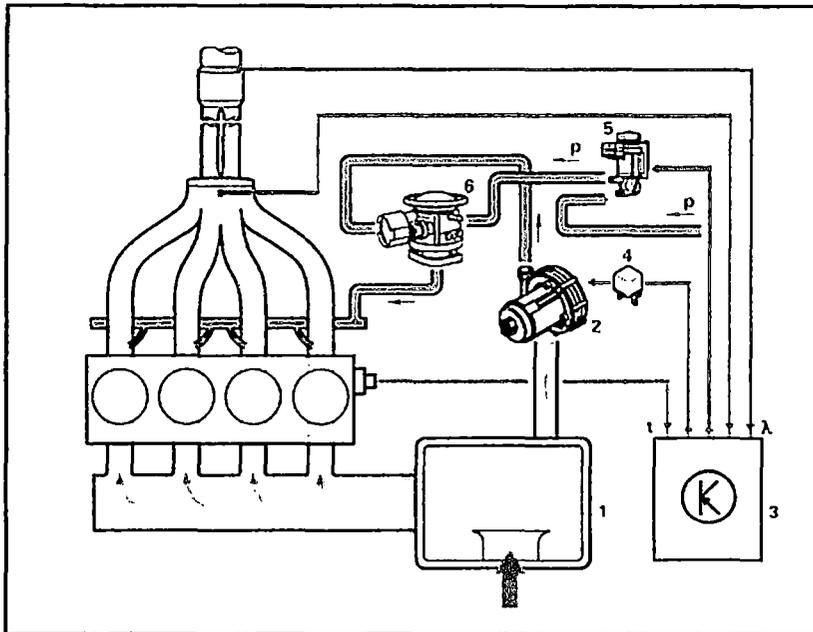


Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

Fig. 3-3. Esquema de recirculación de gases de escape.

3.3.4. SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE AL TUBO DE ESCAPE.

El sistema de inyección de aire en el escape es un dispositivo postcombustión, cuyo objetivo es introducir un cierto volumen de aire en el colector de escape, con el fin de completar la combustión de los gases expulsados del cilindro, antes de su salida al exterior. El oxígeno aportado de esta manera se combina fácilmente con los hidrocarburos que salen del cilindro sin quemar a gran temperatura, completando su combustión, y con el monóxido de carbono, transformándolo en bióxido de carbono. Así, pues, este sistema reduce el contenido de HC y CO de los gases de escape. Los motores que trabajan con mezcla rica son los que necesitan del sistema de inyección de aire, ya que no se quema todo el combustible en los cilindros, sobre todo cuando el motor arranca en frío, durante los primeros kilómetros. Por lo tanto el sistema de inyección de aire en el escape se utiliza en los motores Otto (gasolina) y no en los motores Diesel, que trabajan con mezclas pobres con exceso de aire.



Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

Fig. 3-4. Esquema de componentes de inyección de aire al escape.

Como se aprecia en la figura inferior a partir del filtro de aire (1) la bomba de aire secundario (2) sopla aire adicional directamente detrás de las válvulas de escape durante el arranque del motor

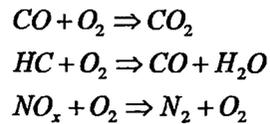
El sistema trabaja en acción conjunta de los siguientes componentes:

- Unidad de control del motor (3)
- Relé para bomba de aire secundario (4)
- Bomba de aire secundario (2)
- Válvula de control de aire secundario (5)
- Válvula combinada (6).

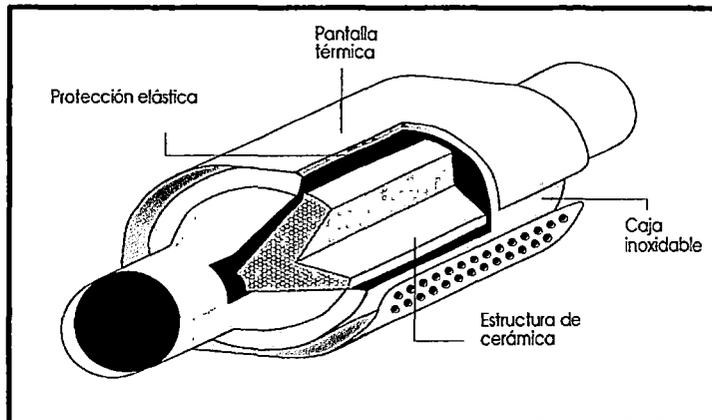
3.3.5. EL CONVERTIDOR CATALÍTICO.

La función del convertidor catalítico es la de evitar la salida de gran porcentaje de gases contaminantes a la atmósfera, generando en su interior una combustión de baja presión y por reacciones químicas de sus componentes. Específicamente evita la salida de más de un 90% de CO, HC y NOx.

Está compuesto por un monolito cerámico, el cual lleva incrustado materiales catalizantes como el rodio, el paladio y el platino, que permiten realizar dos reacciones de oxidación:

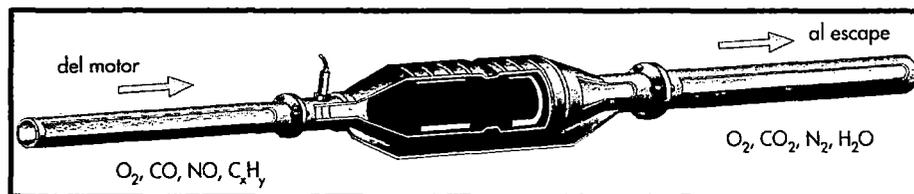


De esta forma, un vehículo puede estar equipado con un catalizador de oxidación o con dos catalizadores, uno de reducción seguido de uno de oxidación, o con un catalizador de tres vías que hace las tres reacciones pero en una sola unidad.



Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

Fig. 3-5. Esquema de componentes del convertidor catalítico.



Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

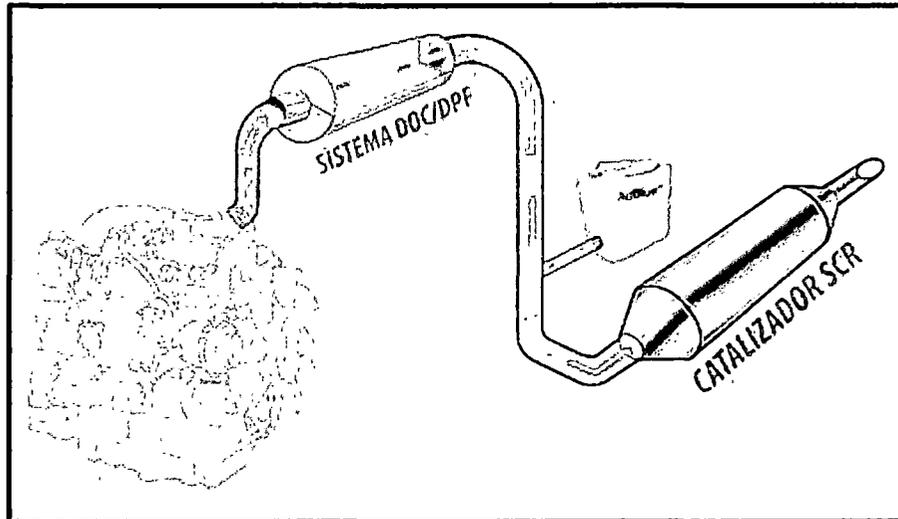
Fig. 3-6. Convertidor catalítico.

3.3.6. EL SISTEMA SCR (REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA)

El sistema SCR aplica una presión mayor a la inyección de combustible y optimiza la combustión para mejorar el aprovechamiento del carburante y la respuesta. Esto disminuye la formación de partículas pero incrementa la cantidad de NO_x en los gases de escape. Los gases de escape son tratados mediante la inyección de una solución de urea, AdBlue, en el flujo de los gases. Esto convierte los gases de escape en nitrógeno y agua, que resultan inocuos para el medio ambiente.

AdBlue es una solución al 32,5% de urea y agua purificada no tóxica, incolora e inodora. Al ser inyectada en el flujo de los gases de escape convierte estos gases en nitrógeno y agua, elementos que son medioambientalmente seguros. AdBlue se

utiliza como parte del sistema SCR para reducir la cantidad de NOx en los gases de escape. AdBlue se denomina DEF (fluido para gases de escape diésel) en Estados Unidos.



Fuente: aficionadosalamecanica.net/escape

Fig. 3-7. Esquema del sistema scr (reducción catalítica selectiva).

Las ventajas de SCR son:

- Emisiones reducidas de partículas.
- Eficiencia del combustible mejorada.
- Potencia, par y aceleraciones mejorados.
- Intervalos de mantenimiento más largos.

3.4. EFECTOS CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Los gases emitidos por un motor de combustión interna a gasolina, son principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes.

Los primeros están formados fundamentalmente, por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y gases contaminantes con el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y plomo.

3.4.1. GASES INOFENSIVOS.

Son los que no alteran la naturaleza y son:

a) **El Nitrógeno** es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que se respira en una concentración del 79%.³ Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el Nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de Óxidos de Nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente.

b) **El Oxígeno** es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%.⁴ Si su mezcla es demasiado rica o pobre, el oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de los hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape.

c) **El Vapor de agua** se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape.

3.4.2. GASES CONTAMINANTES.

Son los que alteran el medio ambiente entre estos se tiene:

- **El Dióxido de Carbono** producido por la combustión del carbono con el oxígeno debido al incremento desmesurado del Dióxido de Carbono en la atmósfera está produciendo variaciones climáticas (efecto invernadero), por el aumento del parque industrial y automotriz resultando nocivo en grandes concentraciones para los seres vivos. Se estima que se produce CO_2 y llega a la atmósfera entre 35 a 40 millones de toneladas anuales.
- **El Monóxido de Carbono**, se produce por la falta de oxígeno en la combustión y hace que no se queme completamente, formándose monóxido y dióxido de carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones de CO en el escape indica la existencia de una mezcla rica. En concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en Carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores al 0.3 % de CO en volumen resulta ser mortal.
- **Los Hidrocarburos**, dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos, como por ejemplo el benceno que es tóxico y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios.

Si la concentración es alta provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas, siendo causante del cáncer. Su presencia se debe a los componentes no

quemados de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y Fenoles.

La presencia simultánea de Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno y la degradación atmosférica conduce a la formación del smog fotoquímico, de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

- **Los Óxidos de Nitrógeno** se producen por las altas temperaturas el nitrógeno y el oxígeno moleculares pueden combinarse para formar óxido nítrico por ello se ha incrementado en gran medida la presencia de este gas en la atmósfera, y en el aire puede convertirse, en ácido nítrico produciendo así lluvia ácida. Además participan en la depleción de la capa de ozono.

Este gas no sólo irrita la mucosa sino que en combinación con los Hidrocarburos y la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida contaminando grandes extensiones desde lugar donde se produce.

3.5. EL AGOTAMIENTO DEL PETRÓLEO.

Si eliminamos los combustibles fósiles de la ecuación humana, la civilización industrial moderna dejaría de existir. Calentamos nuestras casas y oficinas con combustibles fósiles, mantenemos en funcionamiento nuestras fábricas y nuestros sistemas de transporte con combustibles fósiles, iluminamos nuestras ciudades y nos comunicamos a distancia con electricidad generada a partir de combustibles fósiles, cultivamos nuestros alimentos con la ayuda de combustibles fósiles, tratamos nuestras enfermedades con medicamentos derivados de combustibles fósiles almacenamos nuestros excedentes en contenedores de plástico y embalajes hechos de combustibles fósiles y manufacturamos nuestra ropa y aparatos domésticos con la ayuda de productos petroquímicos. Prácticamente todos los aspectos de la vida moderna extraen su energía de los combustibles fósiles, derivan materialmente de ellos o reciben su influencia de algún otro modo.

La disponibilidad del petróleo en el futuro está a debate. Lo que gira en torno a dicha discusión no es la posibilidad del agotamiento del mismo; después de todo, estamos ante un recurso no renovable que tarde o temprano llegará a su fin. El tema es definir cuándo la producción mundial de petróleo empezara a declinar, así como las señales mediante las cuales se puede vislumbrar tal agotamiento.

Cada vez son más los expertos mundiales en geología que sostienen que nos encontramos en la antesala de una verdadera crisis petrolera y cuando esta llegue será permanente. Si la producción mundial de petróleo tocara techo en algún momento de los años siguientes, seguido poco tiempo después por el gas natural, ello provocaría una serie de efectos en cadena que podrían llegar a poner en riesgo buena parte de nuestra vida industrial.

A pesar de que todavía queda un poco más de la mitad del petróleo convencional que la naturaleza creó, va a ser cada vez más difícil y caro extraerlo, porque el petróleo fácil y barato de producir ya se consumió.

Técnicamente una escasez se define cuando un producto no alcanza a satisfacer la demanda, y eso es lo que está ocurriendo en el mercado mundial de petróleo, aunque esta escasez no se debe a problemas críticos en la producción (oferta) de petróleo en el mundo, pues la capacidad de extracción continúa creciendo, "hasta ahora," pero a un ritmo mucho más pausado que el de la demanda.

Los geólogos están de acuerdo en que hasta el momento se han extraído de la tierra más de 875 000 millones de barriles de petróleo, casi todos en los últimos 140 años de la era industrial. Actualmente se descubre sólo un barril de petróleo por cada cinco que se consumen a nivel mundial.

El petróleo representa casi 40% de la energía que consumimos globalmente y es, por mucho, el combustible que hace posible al mundo como lo conocemos, el 22% al carbón y el 23% al gas natural. La energía nuclear y la hidroeléctrica aportan el 7% adicional cada una. Mientras que las energías, geotérmica, solar y eólica, así como la madera y los residuos sólidos, apenas representan el 1%. El consumo de energía es setenta veces mayor ahora que al comienzo de la era de los combustibles.

El petróleo es una de las sustancias más versátiles que se pueden encontrar en la naturaleza. Un barril de petróleo puede producir:

Gasolina suficiente para conducir más de 320 kilómetros con un coche de tamaño mediano; suficiente combustible destilado para conducir más de 64 kilómetros con un camión de gran tonelaje, casi 70 kilovatios-hora en una central eléctrica, asfalto para elaborar unos 4 litros de alquitrán; cerca de 2 kilos de lápices de carboncillo, cera para 170 velas de cumpleaños, lubricantes para elaborar más de un litro de aceite de motor.

El paso a una civilización basada en los combustibles fósiles fue más rápido que ningún otro cambio de régimen energético en la historia del mundo. El petróleo es la partida más importante en la balanza comercial de la mayoría de los países.

La industria petrolera es el negocio más importante del mundo, con un valor estimado de entre dos y cinco billones de dólares. Está formada por un vasto complejo que incluye yacimientos petrolíferos, plataformas petrolíferas marinas, miles de kilómetros de oleoductos, gigantescos barcos petroleros, refinería, sistemas informatizados de gestión del flujo energético hacia los consumidores finales, estaciones de servicio y miles de compañías dedicadas a la elaboración de productos petroquímicos, que van desde lubricantes y fertilizantes hasta plásticos y medicinas. Según las proyecciones de la EIA sobre la demanda diaria global de petróleo aumentará de 80 millones a 120 millones de barriles al día antes del 2020, un aumento del 50% en menos de veinte años. Será difícil encontrar y extraer 40 millones de barriles adicionales de petróleo barato por día.

En la actualidad hay alrededor 1500 yacimientos petrolíferos grandes y gigantes en el mundo. Entre todos contienen el 94% de todo el petróleo crudo conocido. Los 400 yacimientos más importantes contienen entre el 60% y 70% del total, Los principales países productores de petróleo son:

Tabla 3-2. Principales países productores de petróleo en el mundo.

Países productores	% de producción Mundial	Producción en millones de barriles al día
Arabia Saudí	13%	10,41
Rusia	12%	9,98
USA	8%	6,88
Irán	5%	4,40
China	4%	3,9
México	4%	3,48
Canadá	4%	3,31
UAE	3%	2,91
Kuwait	3%	2,61
Venezuela	3%	2,61
Nigeria	3%	2,60
Libia	2%	1,7

Fuente: Wikipedia.

Tabla 3-3. Principales países consumidores de petróleo en mundo.

Países Consumidores	% de producción Mundial	Producción en millones de barriles al día
USA	24%	10,41
China	9%	9,98
Japón	6%	6,88
India	3%	4,40
Rusia	3%	3,9
Alemania	3%	3,48
Corea del sur	3%	3,31
Canadá	3%	2,91
Brasil	3%	2,61
Arabia Saudí	3%	2,61

Fuente: Wikipedia

3.6. EL PETRÓLEO EN EL PERÚ.

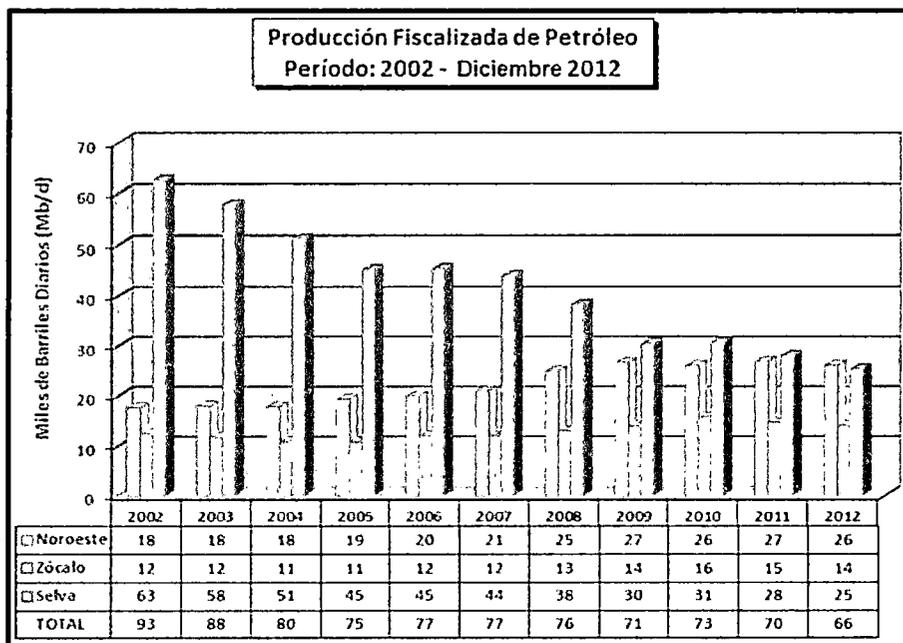
El Perú no es un país productor de petróleo. La máxima producción se alcanzó en los años 80 y apenas se superaron los 200 mil barriles diarios. Hoy se comprueba que la dependencia externa de crudo asociada a la brecha entre producción y demanda nacional se incrementa, lo que puede resultar angustiante y condicionar seriamente las actividades económicas del Perú.

Según los datos estadísticos de Perupetro, a finales de 2012, la producción de petróleo crudo en el Perú es algo más de 64 mil barriles diarios de petróleo, la tabla 3-4. El acumulado anual de producción apenas supera los 24 millones de barriles.

Tabla 3-4. Producción anual de petróleo en el Perú.

Compañía	Lote	PRODUCCIÓN	
		Diciembre 2012 BPD	Enero-Diciembre 2012 (Acumulado barriles)
Plus petrol Norte	1-AB	15099	5626366
Petrobras Energía	X	14070	5178101
Savia Perú S.A.	Z-2B	9738	4305400
Plus petrol Norte	8	8955	3542046
Olympic Perú INC	Z-1	3449	1223614
BPZ	XIII	3547	1221880
Interoil	III	2014	819715
SAPET	VII/VI	3641	1223903
Otros		3671	1254551
Total		64184	24395576

Fuente: Perupetro.



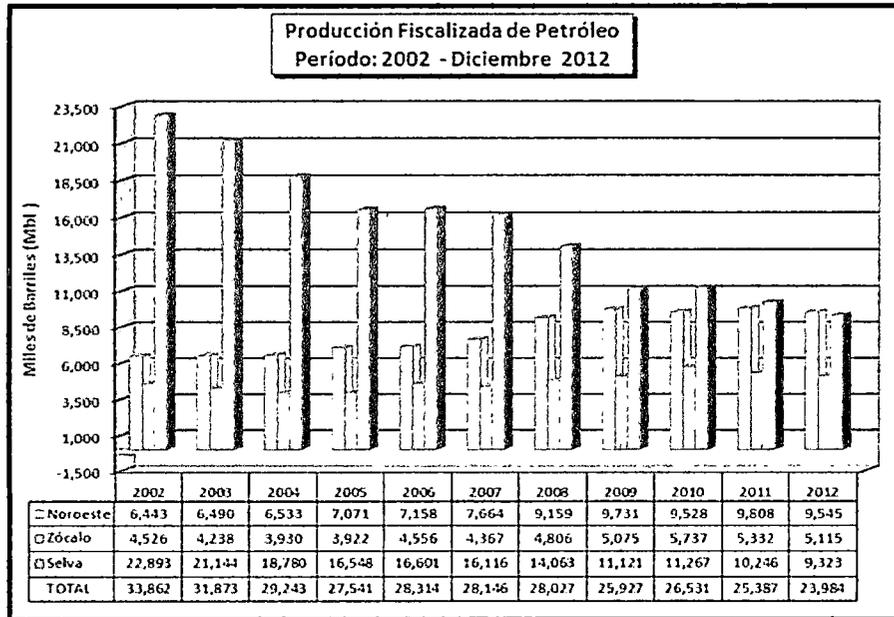
Fuente: Perupetro.

Fig. 3-2. Producción de petróleo crudo en el Perú en el año 2012, Perupetro.

La situación no es novedosa. La producción del crudo convencional en el Perú se reduce gradualmente desde el año 1980. 32 años de reducción continua de la producción de petróleo en el Perú no convence a la clase dirigente nacional para iniciar un proceso serio y planificado de transición hacia un modelo energético desacoplado del petróleo.

En el gráfico 3-2. se observa que del año 2002 al 2012, la producción nacional se ha reducido en 27 mil barriles diarios. En el 2006 y 2007 se incrementó la producción en 2 mil barriles diarios, pero los siguientes años se reinició una importante reducción de la producción nacional. Por otro lado, entre el 2002 y 2012, la producción de crudo convencional se ha reducido en 10 millones de barriles anuales, gráfico 3-3. No es difícil deducir que el Perú experimenta una inexorable reducción del principal recurso energético del país, deslizándose peligrosamente hacia una dependencia energética nunca antes imaginada e incrementando la vulnerabilidad energética del país.

Se observa que la producción en la selva presenta una incesante reducción. Es muy probable, incluso, que los tan publicitados nuevos descubrimientos en la selva no permitan recuperar la producción de años anteriores.



Fuente: Perupetro.

Fig. 3-3. Producción anual de petróleo crudo en el Perú entre el año 2002 y 2012

Referente al contenido de azufre cabe precisar que en nuestro país el máximo permitido en el combustible diesel es de 50 ppm de azufre, según la resolución ministerial n° 139-2012-MEM-DM, del Ministerio de Energía y Minas. Sin embargo, muchas veces el petróleo que importa el Perú contiene azufre en muy altas proporciones y se distribuye en estaciones de dudosa reputación. Por eso, el conductor debería conocer cuáles son las consecuencias que acarrea el consumir este diesel, tanto para el medio ambiente, como para el estado de su motor.

Si bien es cierto que adquirir diesel de esta calidad significa un ahorro significativo, a la larga los elementos contaminantes de este combustible irán destruyendo la bomba de inyección del tanque de combustible y, del mismo modo, las válvulas del motor. Y si esto no termina de convencernos, quizás el medio ambiente nos importe aún menos, aun cuando los daños ambientales generen un mayor impacto en nuestras vidas.

En la actualidad, cada vez más se comercializa diesel y gasolina con ppm de azufre bastante bajos y prestigiosas empresas del rubro, como Repsol y la nacional Petroperú, vienen ajustando más su producción a las disposiciones del estado. Uno de esos esfuerzos, por ejemplo, es el Proyecto de Modernización de la Refinería de Talara.

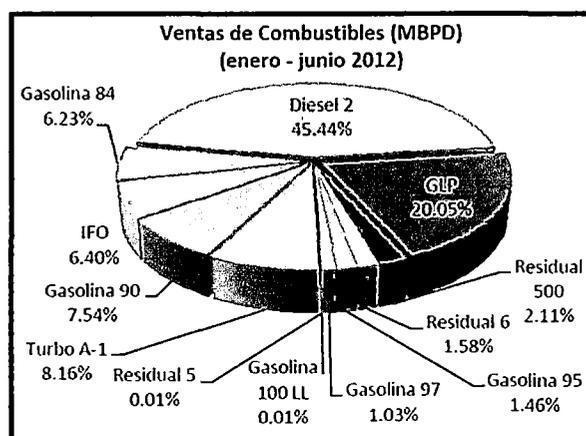
La iniciativa, cuyo fin es construir una planta que permita la producción de diesel y gasolina con no más de 50 ppm, tuvo sus orígenes el 2007 y se tiene pensado culminarla en el 2016.

3.6.1. EL PERÚ PAÍS DEPENDIENTE DEL PETRÓLEO

Mientras la producción de crudo nacional se reduce inexorablemente, la demanda de derivados de petróleo se incrementa a un ritmo preocupante. Según datos del Osinergmin, entre enero y junio del año 2012, la demanda promedio de productos derivados de petróleo superó los 200 mil barriles diarios.

En Gráfico3-4, se observa que la demanda conjunta de diesel y GLP supera el 65% del consumo total de derivados de petróleo. El crecimiento económico del país y el creciente número de nuevos automóviles ha disparado la demanda de petróleo. El incremento del consumo y la reducción de la producción, aumenta el volumen de importaciones de petróleo y derivados, acentuando la dependencia energética del Perú de recursos fósiles externos.

En el 2010, el Perú ocupaba el puesto 14 en el mundo por porcentaje de dependencia del petróleo. Es muy probable que actualmente el Perú se encuentre en el Top 10 de países adictos al petróleo. Tres países europeos del Top 10 - España, Grecia y Portugal - sufren terribles recesiones económicas a causa de la excesiva dependencia del petróleo extranjero. La excesiva dependencia del petróleo adquiere una dimensión escandalosa y es el problema más grave del Perú.



Fuente: Perupetro.

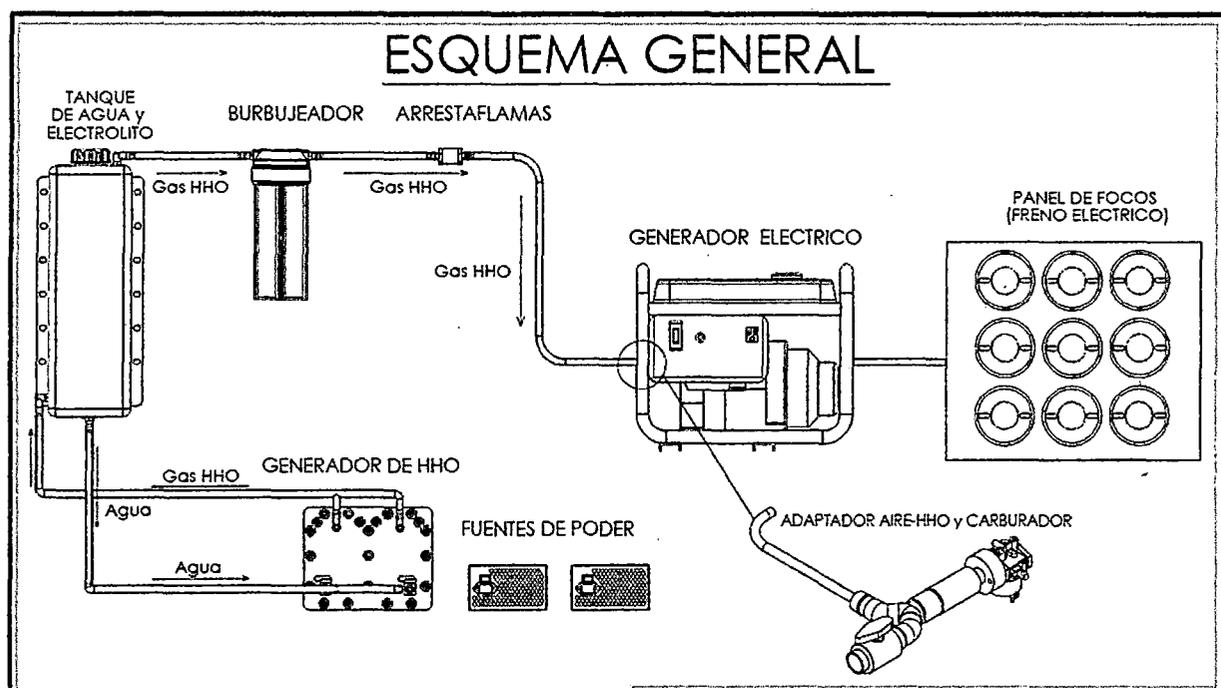
Fig. 3-4. Demanda diaria de combustibles Líquidos en el Perú entre enero y julio.

Capítulo IV

ESTUDIO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se desarrolla la descripción de la experimentación en sus dos etapas, siendo estas la toma de datos de los principales parámetros de funcionamiento del motor y la toma de datos de emisión de gases de combustión. También se realiza el procesamiento, análisis de los datos obtenidos en la experimentación y la descripción de los instrumentos, materiales que se emplearon para la realización de las pruebas experimentales.

Las pruebas se realizaron en un generador eléctrico provisto de un motor de combustión interna a carburador, el HHO se obtuvo de un electrolizador.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-1. Esquema general.

4.1. EQUIPOS.

4.1.1. MOTOR HONDA MODELO EP650

CARACTERÍSTICAS:

- Dimensiones y pesos.

Tabla 4-1. Dimensiones y pesos del generador honda Modelo EP650.

Modelo	EP650
Longitud total	415 mm.
Ancho total	310 mm.
Altura total	360 mm.
Peso seco	22.0 kg.
Peso operativo	26 kg.

Fuente: Honda Motor, manual de mantenimiento.

- Datos del motor:

Tabla 4-2. Datos del motor del generador Honda modelo EP650.

Modelo	GE100
Tipo	4-tiempos, válvula lateral, monocilíndrico.
Cilindrada	$V_H=76.4\text{cm}^3$
Carrera	$S=46\text{mm}$.
Diámetro	$D=46\text{mm}$.
Potencia Máxima	0.88 kw/3000 rpm (1.2Ps/3000rpm) 50Hz 1.0 kw/3600 rpm (1.4 Ps/3600 rpm) 60Hz
Torque Máximo	2.7 Nm/3000 rpm
Relación de compresión	E=5.2:1
Consumo de combustible	476g/kW (350g/Hp h)
Sistema de refrigeración	Aire forzado
Sistema de encendido	Magneto transistorizado.
Tiempo de encendido	20° B.T. D.C (fijo)
Tipo de bujía de encendido	BMR-4A (NGK)
Carburador	Tipo horizontal, válvula de Mariposa
Capacidad de aceite	0.35 l.
Sistema de arranque	Arrancador de retroceso
Capacidad del tanque de combustible	4.7 l.
Combustible recomendado	Gasolina de 90 octanos.
Aceite lubricante recomendado	SAE 10W-30 o SAE 10W-40
Dirección rotacional	Anti-horario (Visto desde el generador)

Fuente: Honda Motor, manual de mantenimiento.

- Datos del generador:

Tabla 4-3. Datos del generador honda Modelo EP650.

Ítem	Modelo tipo	EP650		
		R	S	L
Tipo de generador		2 polos, tipo de campo magnético giratorio		
Estructura del generador		Auto ventilado, tipo diprrrof.		
Método de excitación		Auto-excitado		
Sistema de regulación de voltaje		Condensador de compensación		
Fase		Monofásico		
Dirección de rotación		Anti-horario visto desde el generador		
Máxima salida		550 VA	650 VA	650 VA
Salida Nominal		450 VA	550 VA	550 VA
Frecuencia nominal		50 Hz	60 Hz	60 Hz
Voltaje Nominal		220 V	220 V	120 V
Corriente nominal		2.0 A	2.5 A	4.6 A
Factor de potencia		1.0		
Tasa de variación de voltaje	Momentáneo	20% o menos		
	Medio	15 % o menos		
	Tiempo promedio	3 sec. o menos		
Tasa de variación de frecuencia	Momentáneo	12% o menos		
	Medio	7 % o menos		
	Tiempo promedio	3 sec. o menos		
Consumo de combustible (con carga nominal)		0.47 l/hr.	0.59 l/hr.	
Nivel de ruido		59 dB (A) a 7m.	62 dB (A) a 7m	

Fuente: Honda Motor, manual de mantenimiento.

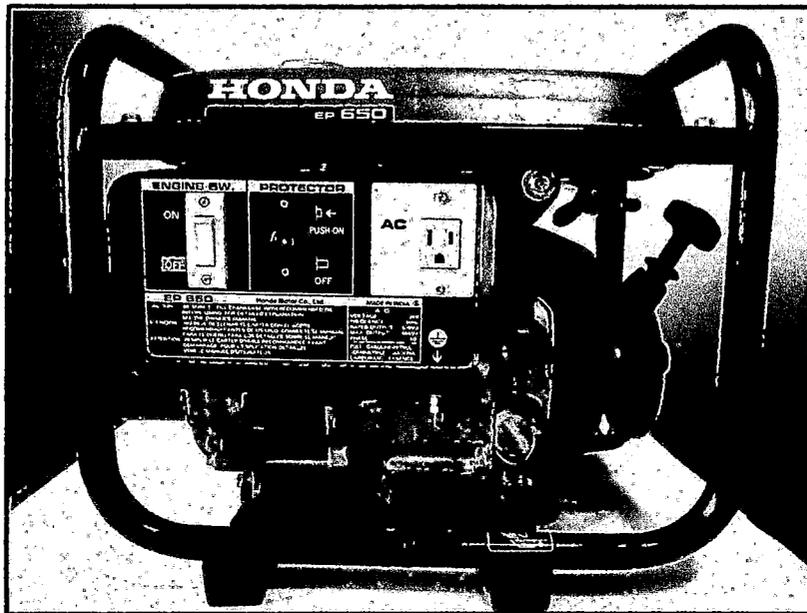


Fig. 4-1. Generador honda modelo EP650.

4.1.2. EQUIPO GENERADOR DE HHO.

a. características:

Tabla 4-4. Características del generador de HHO.

Modelo	GFx4 38
Número de placas	38 placas.
Dimensión de placas	4x6 pulgadas
Área de superficie activa por placa	13.6 pulg²
Material de placa	Acero inoxidable
Producción	2-2.5 litros por minuto como máximo
Amperaje máximo	40-45 amperios

Fuente: Green H2O fuel.

b. Accesorio del generador de hidrogeno:

- Deposito contenedor de solución agua destilada y electrolito.
- Burbujeador.
- Arrestaflamas.
- Mangueras.
- Uniones.
- Abrazaderas.
- Cables.

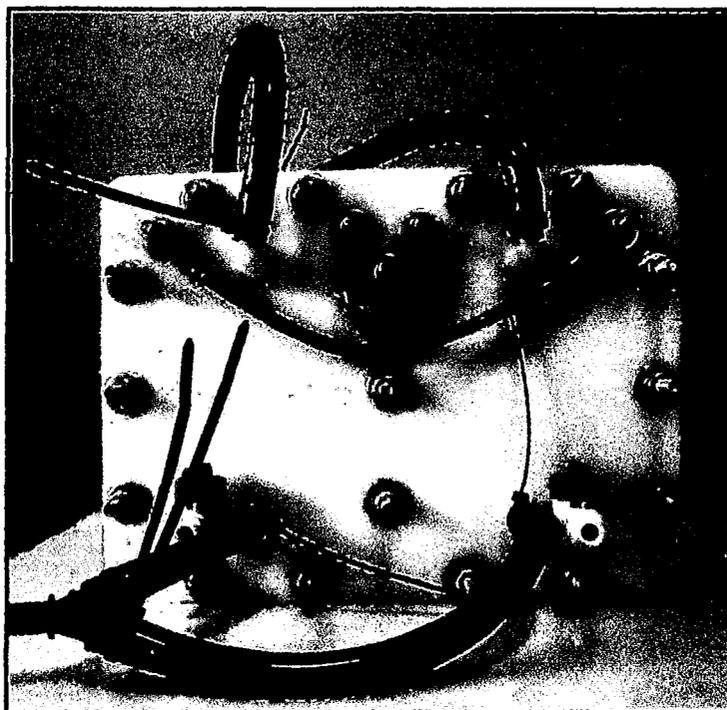


Fig. 4-2. Generador de HHO.

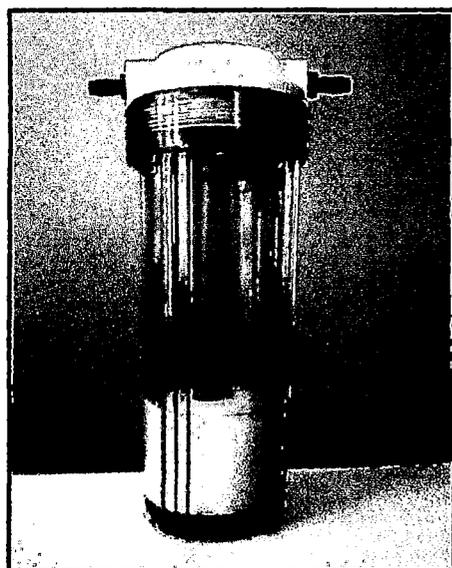


Fig. 4-3. Burbujeador de HHO



Fig. 4-4. Tanque contenedor de solución agua destilada-electrolito

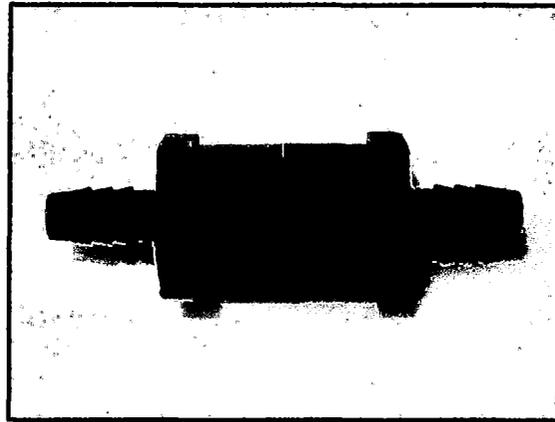


Fig. 4-5. Arresta flamas.

c. Fuentes reales de pc:

Tabla 4-5. Características de la Fuente real de PC.

Modelo	MXP4-400W
Corriente Continua de Salida	
Voltaje	Corriente
+12V	20.0A
+5V	18A
Corriente alterna de ingreso	220V, 5A

Fuente: MICRONICS.

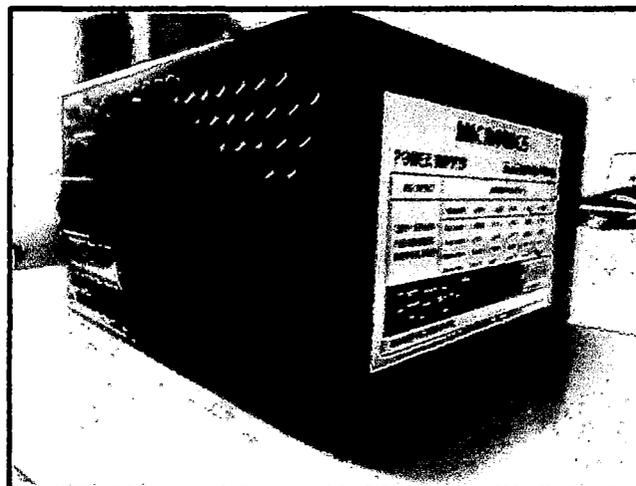


Fig. 4-6. Fuente real de pc.

4.1.3 ANALIZADOR DE GASES.

Este analizador permite medir la densidad del HC, los porcentajes de CO, CO₂, O₂ en los gases de escape del generador, el cual evalúa automáticamente el rendimiento de la combustión del generador.

4.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.

- a. Panel de focos (cada foco es de 100W)
- b. Tacómetro digital laser.
- c. Pinza amperimétrica.
- d. Multímetro Digital.
- e. Anemómetro.
- f. Termocuplas.

- a. Instrumento para medir potencia eléctrica: se ha utilizado un panel de 10 focos, en la experimentación solo se encendieron hasta un máximo de 6 focos.

Marca(foco)	Euroluz
Modelo	Bombilla incandescente
Potencia	100 W

- b.- Instrumento para medir la revoluciones del motor: se ha utilizado un tacómetro digital

Marca	VICTOR
Modelo	DM6236P
Rango de medición	Por contacto rev: 0.5~19999 RPM
	Sin contacto rev: 2.5~99999 RPM

- c.- Instrumento para medir la tensión eficaz de corriente alterna: Se ha utilizado una pinza amperimétrica.

Marca	KONSTAR
Modelo	KS-2802.
Rango	Medida de Voltaje DC: 400mV-1000V
	Medida de voltaje AC: 400mV-750V

d.- Instrumento para medir la temperatura: se ha utilizado un multímetro digital.

Marca	Prasek
Modelo	PR-75C
Rango	Temperatura (°C):-40°C-1000°C
	Temperatura (°F):-40°C-1832°F

e.- Instrumento para medir la velocidad del aire: se ha utilizado un anemómetro digital.

Marca	BRUNTON
Modelo	ADC PRO
Resolución	0.1 m/s
Unidades	m/s, km/h, mph, nudos, ft/s

A continuación se muestran fotografías de los instrumentos utilizados:

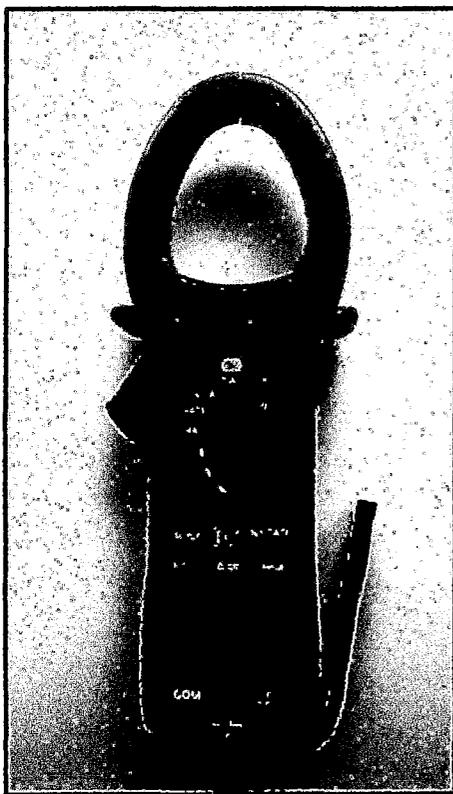


Fig. 4-6. Pinza amperimetrica.

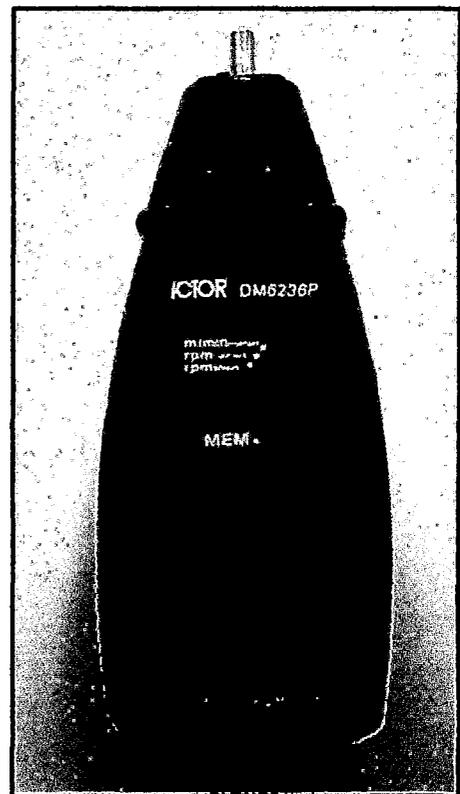


Fig. 4-7. Tacómetro digital.

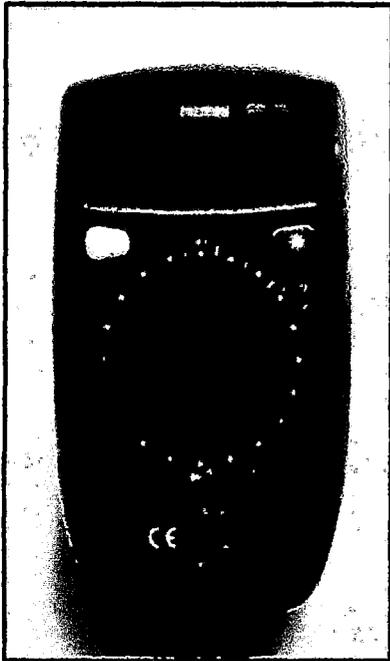


Fig. 4-8. Multimetro digital.

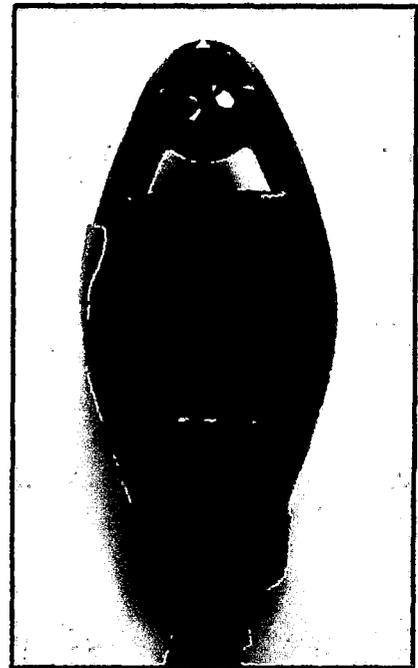


Fig. 4-9. Anemómetro digital.

INSUMOS:

- Agua Destilada.
- Electrolito-KOH (Soda potásica).



Fig. 4-10. Agua destila y electrolito.

4.3. ADAPTACIONES Y/O MODIFICACIONES.

La presente experimentación tiene adaptaciones necesarias, las cuales permitieron realizar la experimentación, estas adaptaciones se realizaron en el sistema de admisión y en el sistema de gases de escape.

4.3.1. INGRESO DE AIRE-HHO.

El cambio radica esencialmente en sustituir el filtro de aire (Foto 4-11), que está conectado con la mariposa de admisión del carburador (Foto 4-12), con el nuevo ingreso (Foto 4-13), que también está conectado con la mariposa de admisión del carburador de aire (Foto 4-14).

Es nuevo accesorio nos permite regular la entrada de aire y básicamente forzar el ingreso del nuevo combustible (HHO). Con esta adaptación se está aprovechando la aspiración natural del motor.

A continuación se describe con imágenes la adaptación realizada.



Fig. 4-11. Vista lateral del generador honda modelo EP650.

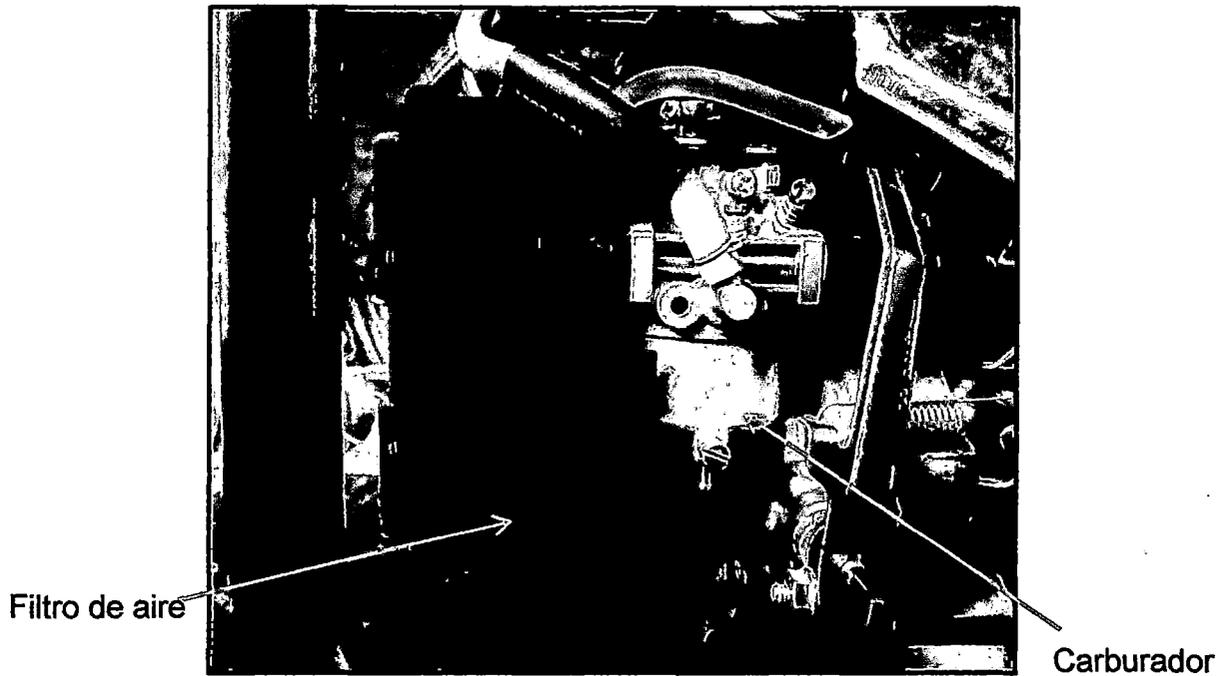


Fig. 4-12. Vista Posterior del generador honda modelo EP650. La fig. 4-12. Muestra la conexión original del filtro de aire con la mariposa de admisión de aire del carburador.



Fig. 4-13. Vista Posterior del generador honda modelo EP650. La fig. 4-13. Se muestra el adaptador de ingreso de aire-HHO. La manguera verde es el ingreso de HHO.

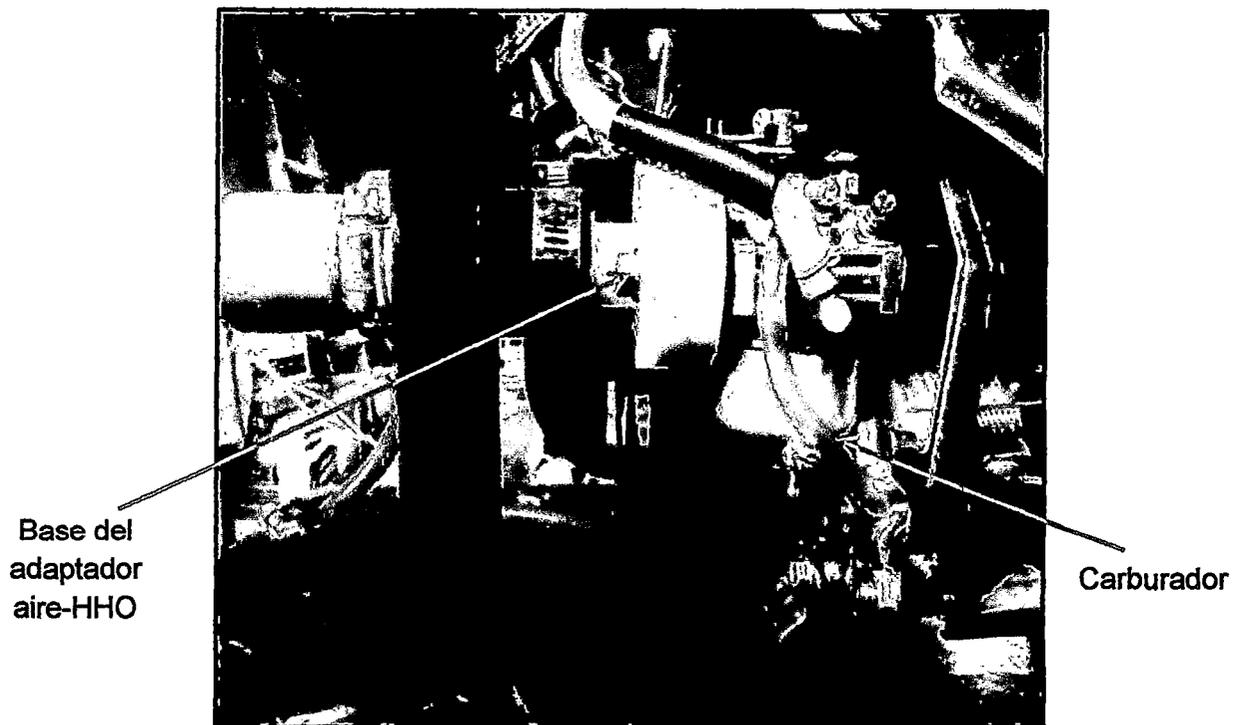


Fig. 4-14. Vista Posterior del generador honda modelo EP650
La fig. 4-14. Se aprecia la nueva conexión donde la base del adaptador aire-HHO está conectada con la mariposa de admisión de aire del carburador.

4.3.2. TUBO DE ESCAPE.

En este punto se sustituyó el tubo de escape original (Foto 4-15) con el objetivo de incrementar el diámetro y la longitud (Foto 4-16) para la introducción de la sonda de medición de medición de gases combustión, ya que en su estado original no se lograba introducir dicha sonda. A continuación se describe con imágenes la adaptación realizada.

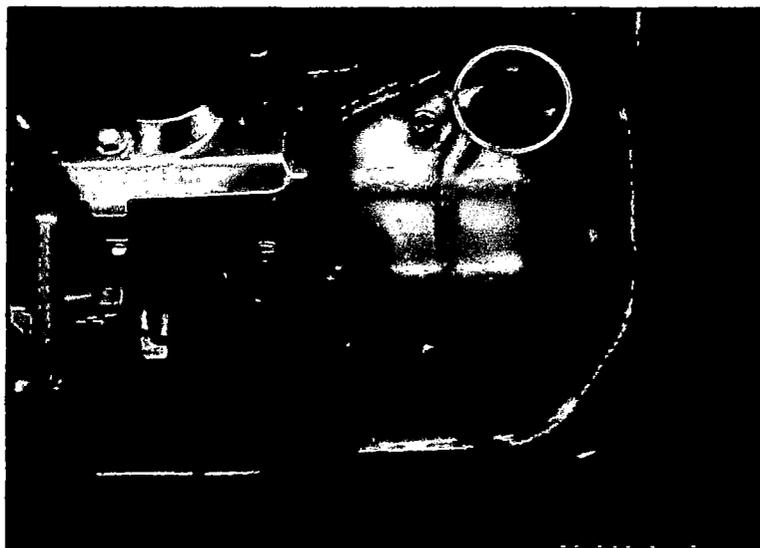


Fig. 4-15. Tubo de escape original.

La fig. 4-15, muestra en el círculo rojo el diámetro y longitud original del tubo de gases de escape, cuyas respectivas dimensiones son insuficientes para la introducción de la sonda de medición de gases de escape.

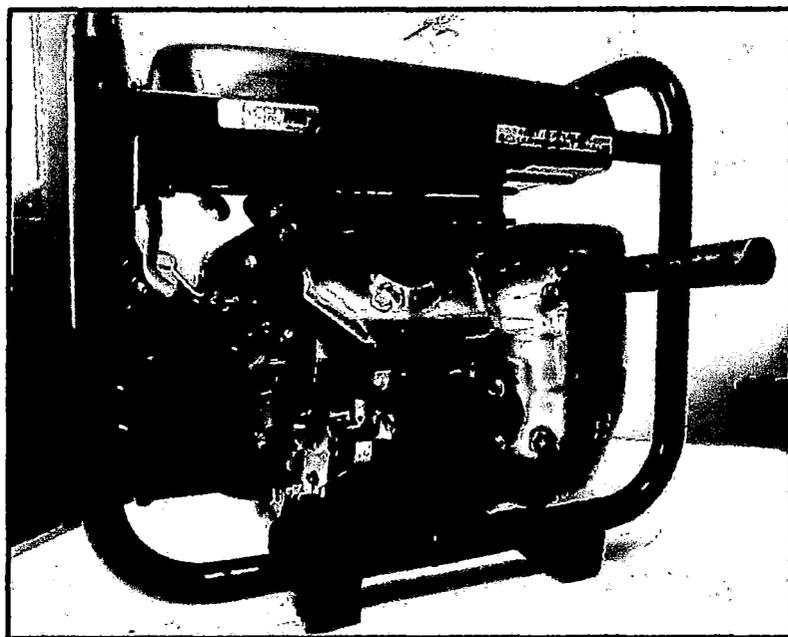


Fig. 4-16. Tubo de escape modificado.

La fig. 4-16, muestra el nuevo tubo de escape adaptado, donde se aprecian un diámetro y longitud mayores.

4.4. TOMA DE DATOS.

4.4.1. TOMA DE DATOS DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL GENERADOR ELÉCTRICO.

La obtención de datos consta de 3 etapas y son:

- Generación y almacenamiento momentáneo de HHO.
- Pruebas experimentales y toma de datos con 100% de gasolina.
- Pruebas experimentales y toma de datos con la mezcla gasolina-HHO.

A. Generación y almacenamiento momentáneo de HHO.

Procedimiento:

Para la generación de HHO por electrolisis se debe mezclar agua destilada y electrolito en nuestro caso KOH, el cual mezclamos en una proporción de 2litros de agua destilada con 200gr de electrolito KOH. Esta solución se introduce en el tanque y por medio de mangueras llega al electrolizador. El electrolizador opera con corriente continua hasta los 45 Amp. para lo cual se utilizaron dos fuentes reales de PC de 20 Amp c/u los que se unieron en paralelo para obtener el amperaje más adecuado para la generación de HHO. La solución que se encuentra en el tanque tiende a calentarse a medida que el amperaje aumenta, es así que al encender las fuentes solo entregan alrededor de 20amp, y a medida que se calienta la solución también aumenta el amperaje, tiempo calculado para este proceso donde se alcanza el valor de 40amp es de 50 minutos aproximadamente. Mediante una manguera el gas producido por el electrolizador es devuelto nuevamente al tanque donde existe una salida en la parte superior que conecta con el burbujeador en donde el gas es limpiado de restos de electrolito, para luego ser almacenado momentáneamente en una pelota de pilates.

B. Pruebas experimentales y toma de datos con 100% de gasolina:

Procedimiento:

La toma de datos se realizó mediante un tablero de focos (freno eléctrico) como indicador de potencia, en nuestro caso se hizo el encendido de hasta 6 focos partiendo desde el voltaje inicial que entrega el generador sin carga. Para medir los parámetros como son: voltaje, amperaje, frecuencia, rpm, temperatura de gases de escape, se tomó el tiempo en el cual el motor consume 100ml de

combustible en cada prueba, tanto para la gasolina como para la mezcla gasolina – HHO.

- Se procede a calentar el motor durante 10min para que se estabilice y alcance la temperatura óptima.
- Estando funcionando el motor sin carga se procede a tomar los datos, para luego encender un foco del tablero (freno eléctrico), para tomar los datos y así progresivamente hasta llegar al 6to foco.
- Se tomaron los valores máximos y mínimos que los instrumentos de medición registran, posteriormente se obtuvo el promedio con el cual se realizaron los cálculos.

C.- Pruebas experimentales y toma de datos con la mezcla gasolina-HHO.

Al igual que se hizo las pruebas con gasolina también se repiten con la mezcla gasolina-HHO, en el cual se le incorpora el adaptador de aire-HHO por el filtro de aire.

- Se procede a calibrar el adaptador de aire HHO, con la ayuda de un multímetro digital a su voltaje original (con filtro de aire original).
- En cada prueba se apertura la válvula de paso del HHO.

4.4.2. RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se muestran los resultados correspondientes para la gasolina y la mezcla gasolina-HHO.

Tabla 4-6. Resultados obtenidos del generador eléctrico con 100% gasolina.

Carga	Tensión (V)	Corriente(I)	Frecuencia(Hz)	Temperatura(°C)	RPM	Tiempo(min)	Consumo de combustible (ml)
0	233.0	0.00	60.60	265	3620	13:15	100
1	227.0	0.44	59.80	294	3570	12:16	100
2	223.5	0.87	58.65	315	3520	11:20	100
3	219.0	1.31	57.85	323	3480	10:54	100
4	193.5	1.67	55.15	326	3320	10:00	100
5	168.0	1.87	49.40	299	2960	11:15	100
6	130.5	2.00	45.90	277	2660	12:51	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-7. Resultados obtenidos del generador eléctrico con la mezcla gasolina-HHO

Carga	Tensión (V)	Corriente (I)	Frecuencia (Hz)	Temperatura (°C)	RPM	Tiempo (min)	Consumo de combustible (ml)
0	245.50	0.00	61.75	190	3710	21:20	100
1	237.50	0.44	61.00	219	3660	18:28	100
2	233.50	0.87	60.05	254	3610	14:24	100
3	224.50	1.31	58.70	304	3520	11:08	100
4	215.00	1.68	56.80	302	3410	10:32	100
5	188.50	1.97	52.10	323	3200	10:44	100
6	160.50	2.10	48.00	285	2880	12:24	100

Fuente: Elaboración propia.

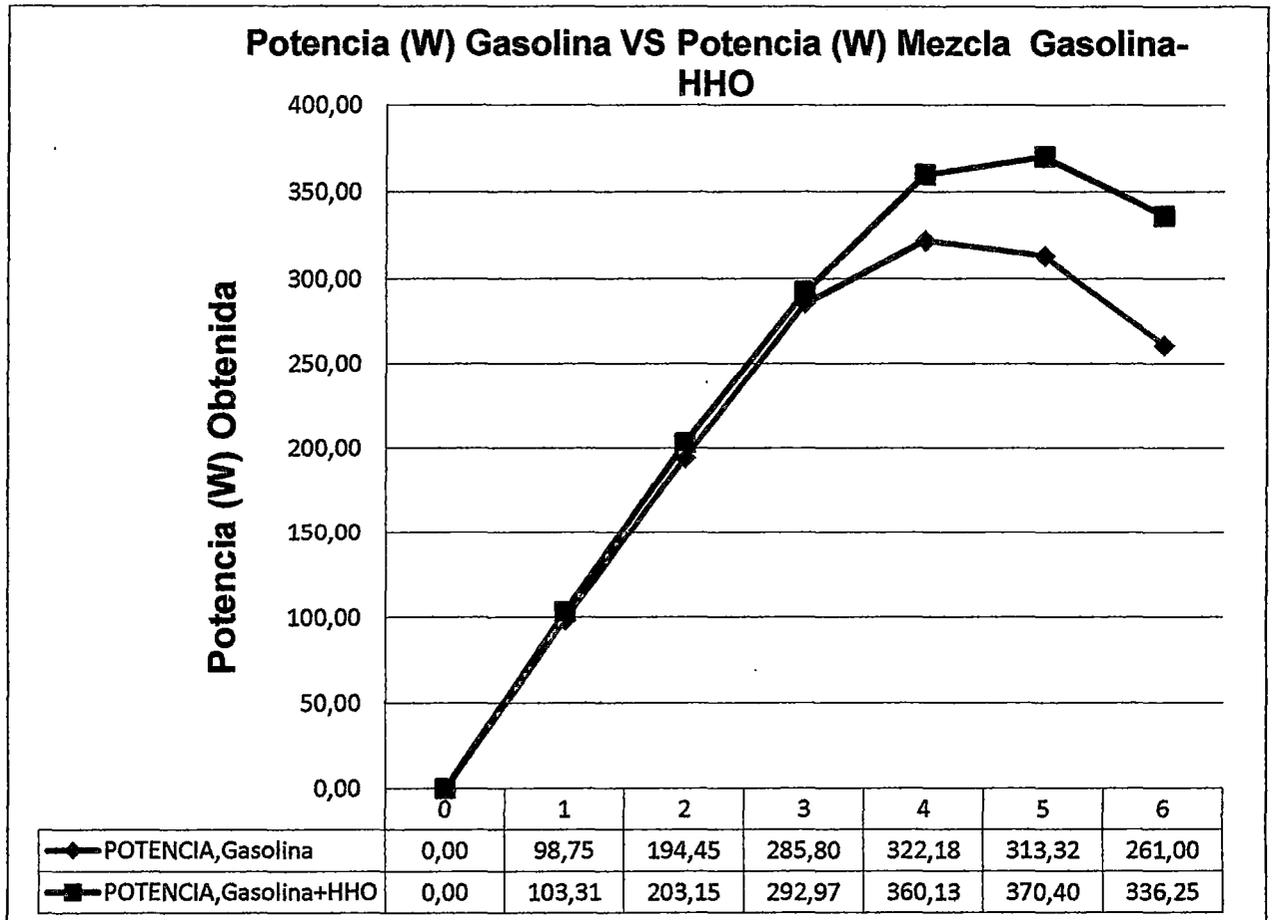
4.4.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

4.4.3.1. POTENCIA ELÉCTRICA DEL GENERADOR.

Tabla 4-8. Comparación de potencias obtenidas Gasolina, Mezcla Gasolina-HHO

Carga	POTENCIA(Watt), Gasolina	POTENCIA(Watt), Gasolina-HHO
0	0.00	0.00
1	98.75	103.31
2	194.45	203.15
3	285.80	292.97
4	322.18	360.13
5	313.32	370.40
6	261.00	336.25

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-1. Potencia (Watt) Gasolina VS Potencia (Watt) Mezcla Gasolina-HHO.

Referente a la generación de potencia, de la tabla 4-8. y su respectivo gráfico 4-1. se encontraron diferencias en toda la generación de la curva de potencia, siendo más significativas a partir de la carga de 4 focos, donde la potencia utilizando gasolina es de 322.18 Watts contra 360.13 Watts generados por la mezcla gasolina-HHO, también se muestra la potencia máxima utilizando gasolina se da con una carga de 4 focos, mientras que la potencia máxima de la mezcla gasolina-HHO se da con una carga de 5 focos.

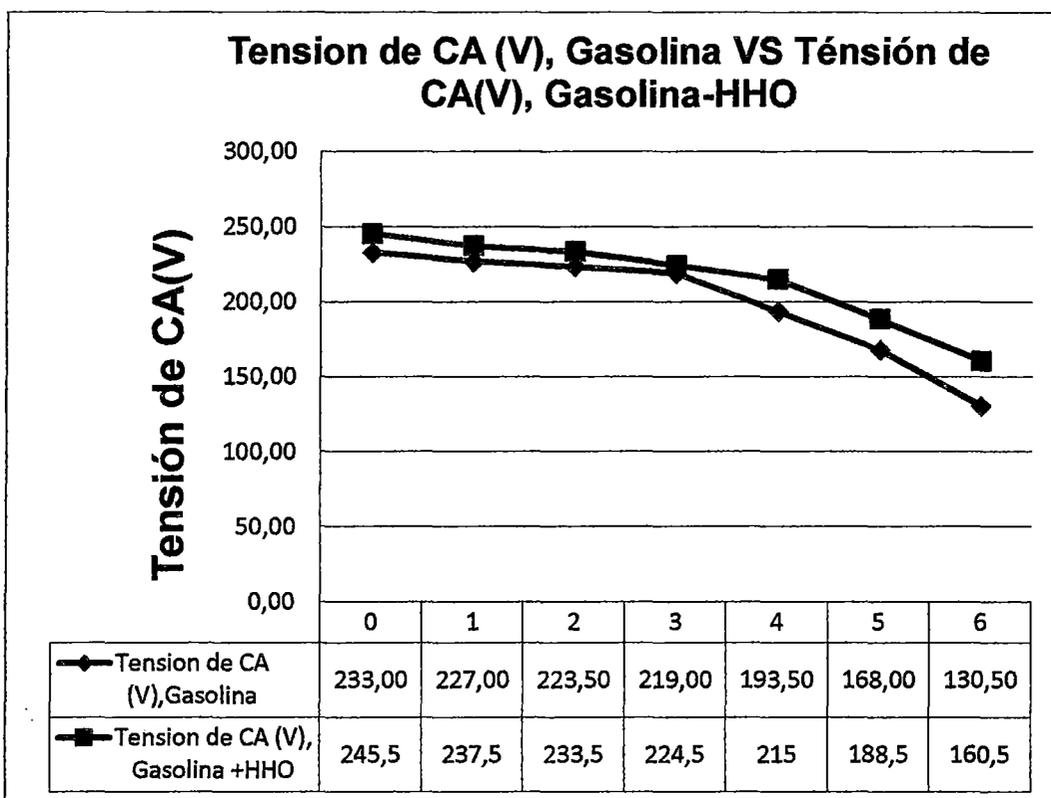
Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO registró un incremento de potencia en el generador. La energía intrínseca del HHO dinamiza el proceso de combustión dentro del motor, rompiendo literalmente las moléculas de hidrocarburos haciéndolas quemar más rápido y eficientemente, de modo que al combustionar mejor los hidrocarburos se consigue mayor energía de la gasolina y esto se traduce en una mayor potencia.

4.4.3.2. TENSION DE CORRIENTE ALTERNA CA (V).

Tabla 4-9. Comparación Tensiones de CA (V) Gasolina, Mezcla Gasolina-HHO.

Carga	Tensión de CA (V), Gasolina	Tensión de CA (V), Gasolina-HHO
0	233.00	245.5
1	227.00	237.5
2	223.50	233.5
3	219.00	224.5
4	193.50	215
5	168.00	188.5
6	130.50	160.5

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-2. Tensión de CA (V), gasolina VS Tensión de CA (V), Mezcla Gasolina-HHO.

Referente a la tabla 4-9. Y su respectiva grafica 4-2. se encontraron diferencias en toda la generación de la curva de tensión de CA(V), teniendo como máxima tensión generada por la gasolina el valor de 233 Voltios, contra los 245.5 Voltios generada por la mezcla gasolina-HHO. Debemos indicar que se considera una tensión eficiente cuando se encuentra por encima de los 200 voltios, observamos que la

tensión generada con gasolina solo resulta eficiente hasta una carga de 3 focos con un valor de 219 voltios, mientras que la tensión generada con la mezcla gasolina-HHO es eficiente hasta una carga de 4 focos con un valor de 215 voltios.

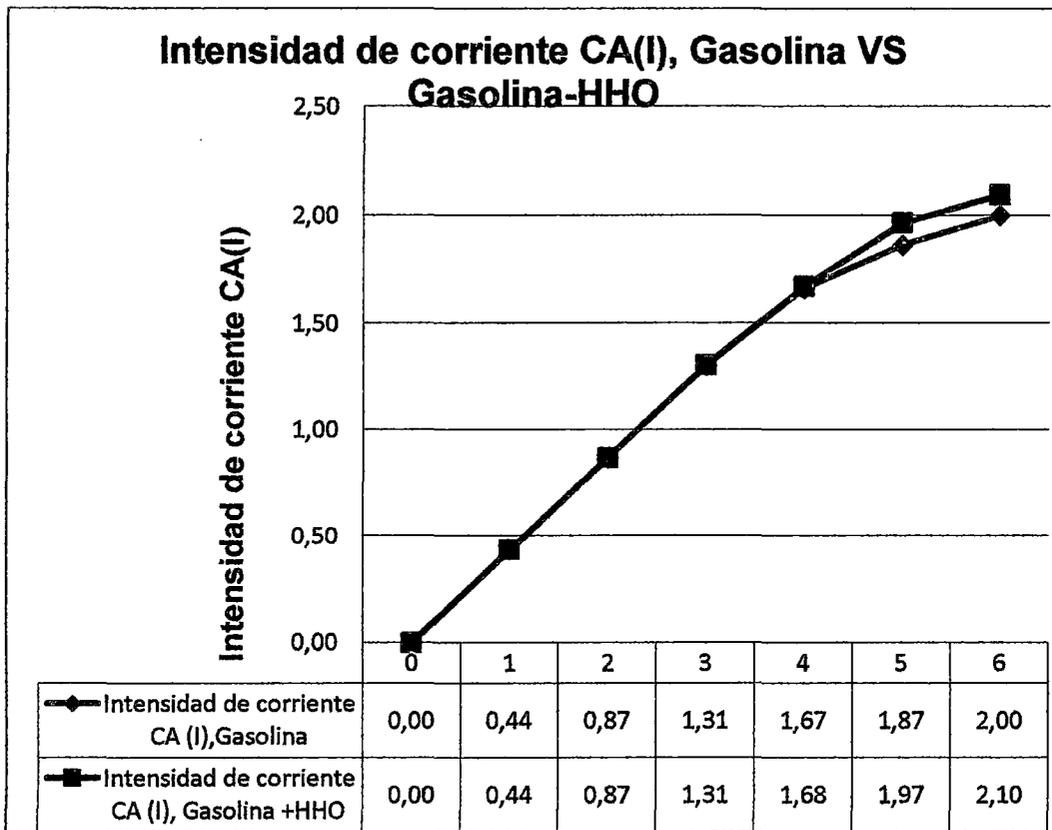
Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO registró un incremento de en la tensión de CA (V) resultando esta eficiente hasta una carga de 4 focos con relación a la tensión generada por la gasolina. El voltaje está en función de la velocidad angular mecánica (rpm) y el campo magnético, el HHO al mejorar la combustión entrega un mayor trabajo mecánico lo cual implica el incremento de las rpm y el campo magnético, debido a este hecho se registran mayores tensiones con la mezcla gasolina- HHO.

4.4.3.3. INTENSIDAD DE CORRIENTE ALTERNA (A).

Tabla 4-10. Comparación Tensiones de CA (V) Gasolina, Mezcla Gasolina-HHO.

Carga	Intensidad de corriente CA (I), Gasolina	Intensidad de corriente CA (I), Gasolina-HHO
0	0.00	0.00
1	0.44	0.44
2	0.87	0.87
3	1.31	1.31
4	1.67	1.68
5	1.87	1.97
6	2.00	2.10

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

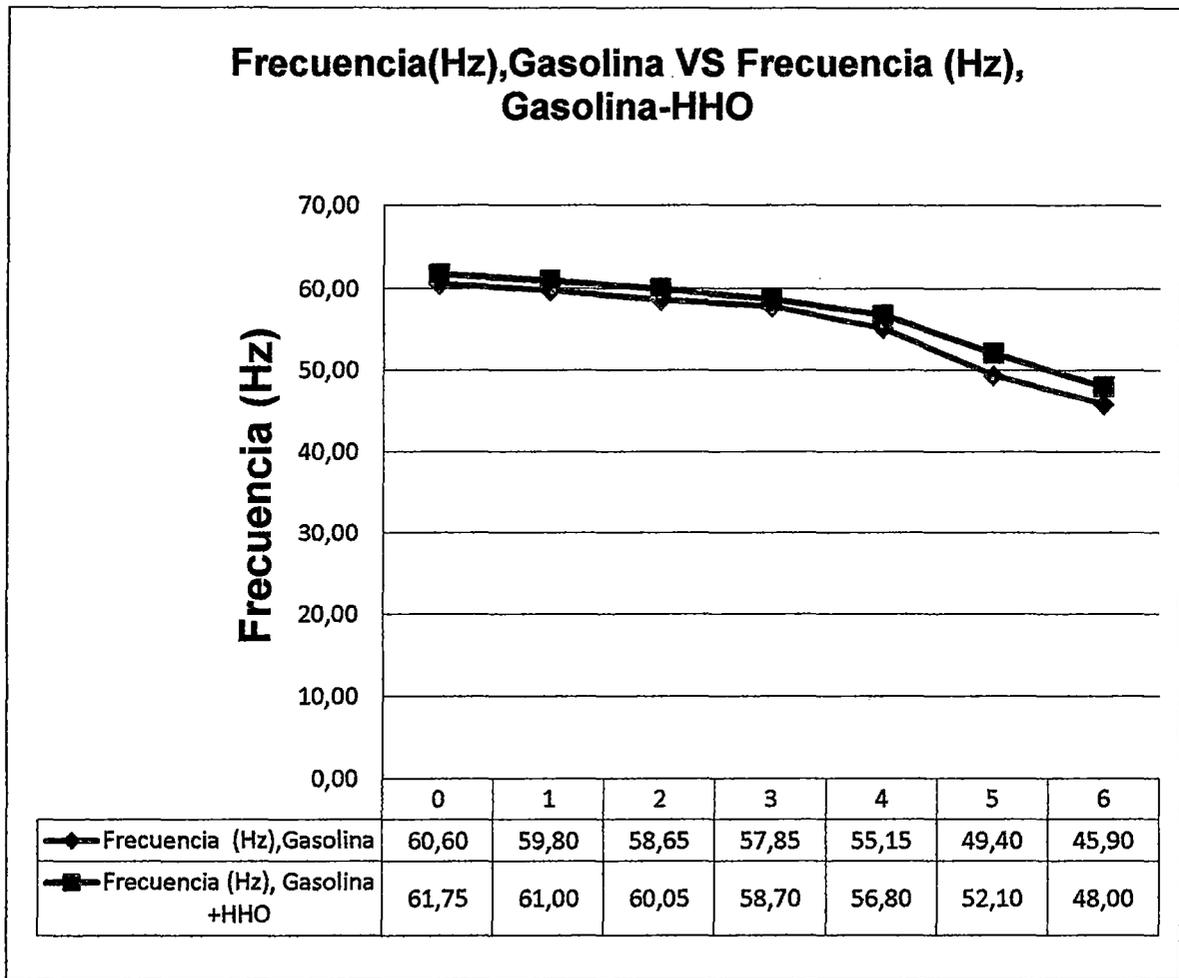
Fig. 4-3. Intensidad de corriente alterna CA (I), Gasolina VS Intensidad de corriente CA (I), Gasolina-HHO

4.4.3.4. FRECUENCIA DE CORRIENTE ALTERNA.

Tabla 4-11. Comparación Frecuencia (Hz), gasolina VS. mezcla Gasolina-HHO.

Carga	Frecuencia (Hz), Gasolina	Frecuencia (Hz), Gasolina-HHO
0	60.60	61.75
1	59.80	61.00
2	58.65	60.05
3	57.85	58.70
4	55.15	56.80
5	49.40	52.10
6	45.90	48.00

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

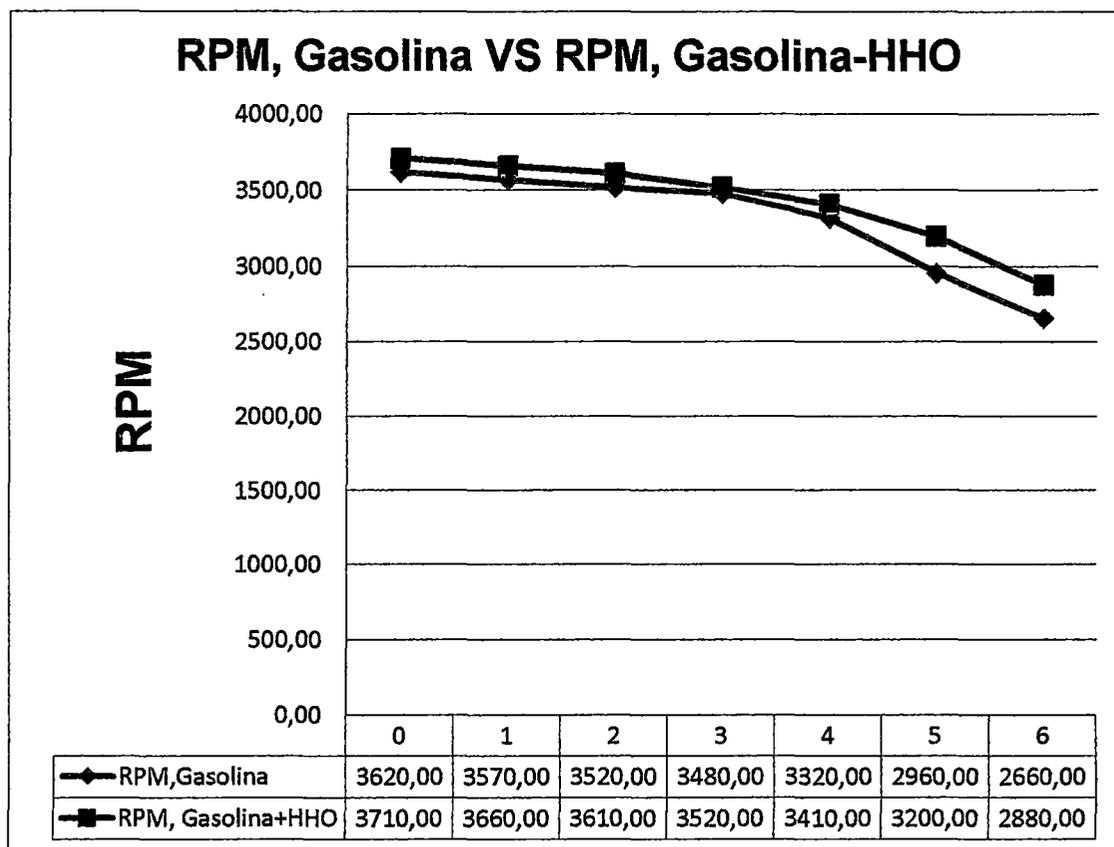
Fig. 4-4. Intensidad de corriente alterna CA (I), Gasolina VS Intensidad de corriente CA (I), Gasolina-HHO

4.4.3.5. REVOLUCIONES POR MINUTO DEL GENERADOR (RPM).

Tabla 4-12. RPM, gasolina VS. RPM Gasolina-HHO.

Carga	RPM Gasolina	RPM, Gasolina-HHO
0	3620.00	3710.00
1	3570.00	3660.00
2	3520.00	3610.00
3	3480.00	3520.00
4	3320.00	3410.00
5	2960.00	3200.00
6	2660.00	2880.00

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Fig. 4-5. RPM (Hz), gasolina VS. RPM (Hz) Mezcla Gasolina-HHO.

Referentes a la tabla 4-11 y su respectiva gráfica 4-4. se observan diferencias en la generación de la curva de frecuencia, teniendo como frecuencia generada por la gasolina el valor de 60.6 Hz, contra los 61.75 Hz generado por la mezcla gasolina-HHO y referente a la tabla 4-12 y su respectiva gráfica 4-5. Se observan diferencias en la generación de la curva de RPM, teniendo como RPM máxima generada por la gasolina el valor de 3620 RPM, contra los 3710 RPM generada por la mezcla gasolina-HHO. Debemos indicar que existe una relación directamente proporcional entre la frecuencia y las RPM, por lo que a mayores valores de RPM se obtienen mayores valores de frecuencia.

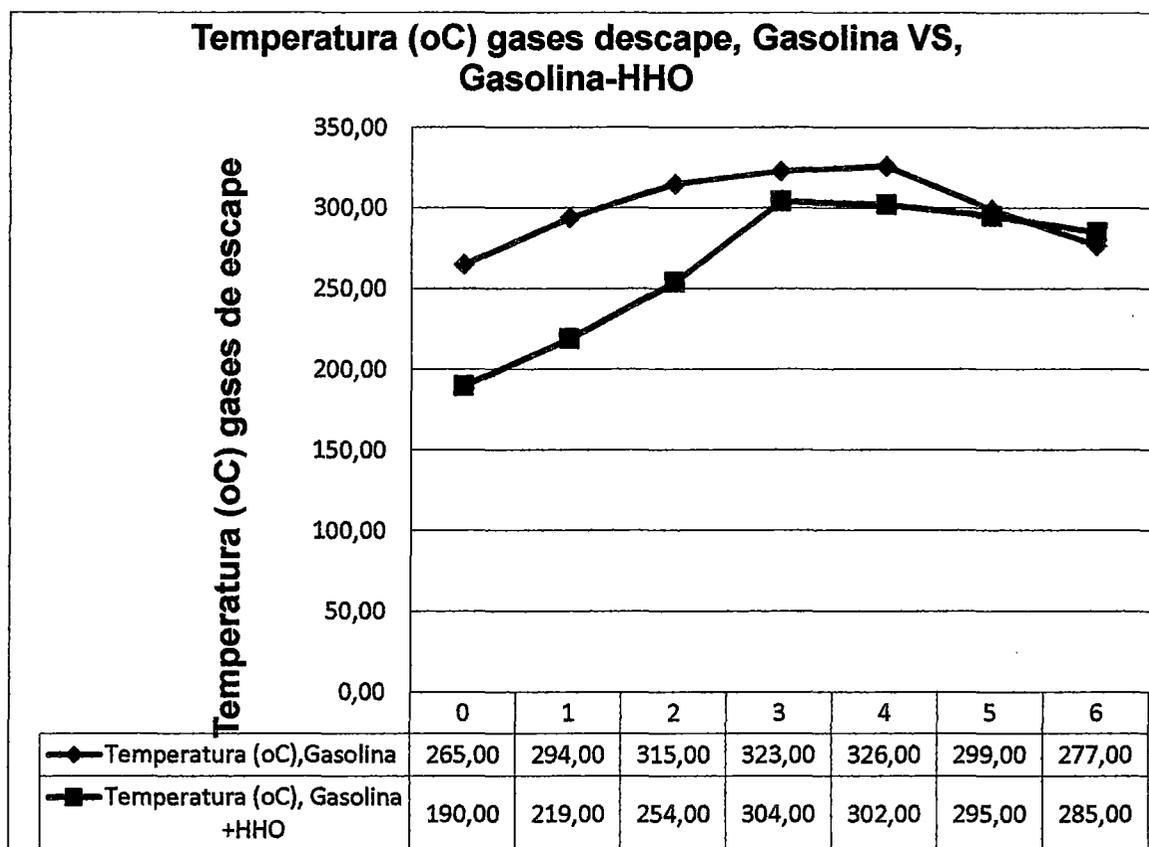
Se consideran RPM eficientes alrededor de los valores 3400RPM a 3600 RPM y frecuencia eficiente alrededor de los valores 55.8Hz a 60Hz. Se observa para la frecuencia tabla 4-11, grafica 4-4 y RPM tabla 4-12, grafica 4-5 los valores ideales son eficientes hasta una carga de 3 focos para gasolina y una carga de 4 focos para la mezcla gasolina-HHO. Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO incremento el valor de las RPM y por consiguiente los valores de la frecuencia se incrementaron con respecto a los valores generados al utilizar gasolina.

4.4.3.6. TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE.

Tabla 4-13. Temperatura (°C) de gases de escape, gasolina VS. Gasolina-HHO.

Carga	Temperatura (°C) de gases de escape, Gasolina	Temperatura (°C) de gases de escape, Gasolina-HHO
0	265.00	190.00
1	294.00	219.00
2	315.00	254.00
3	323.00	304.00
4	326.00	302.00
5	299.00	295.00
6	277.00	285.00

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-6. Temperatura (°C) gases de escape, Gasolina VS Gasolina-HHO

Referente a la tabla 4-13 y su respectiva gráfica 4-6. se observan diferencias en la generación de la curva de Temperatura de gases de escape, encontrándose la temperatura máxima producida por la gasolina en una carga de 4 focos el valor de 326 °C y para la mezcla gasolina-HHO un valor de 304°C en una carga de 3 focos.

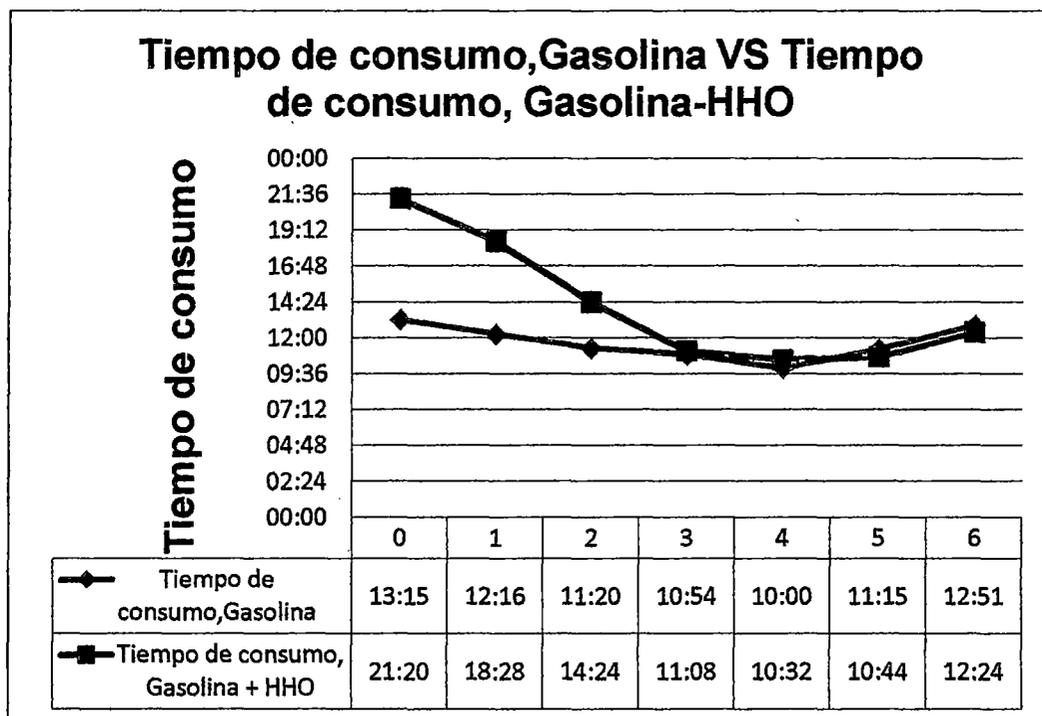
Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO disminuye la temperatura de gases de escape, refrigerando el motor. El HHO al dinamizar el proceso de combustión trae como consecuencia una disminución de átomos de carbono en los gases de escape lo que implica que la disminución de temperatura de gases, además al extraerse una mayor cantidad de energía del combustible, esta se transforma en energía mecánica que en calor liberado en los gases de escape.

4.4.3.7. TIEMPO DE CONSUMO DE GASOLINA.

Tabla 4-14. Tiempo de consumo, gasolina VS. Tiempo de consumo de gasolina-HHO

Carga	Tiempo de consumo (min), Gasolina	Tiempo de consumo (min), Gasolina-HHO
0	13:15	21:20
1	12:16	18:28
2	11:20	14:24
3	10:54	11:08
4	10:00	10:32
5	11:15	10:44
6	12:51	12:24

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-7. Tiempo de consumo, gasolina VS. Tiempo de consumo, gasolina-HHO

Referente a la tabla 4-14 y su respectiva grafica se observan diferencias en la generación de curvas de tiempo de consumo de combustible (100ml por cada encendido de foco), teniendo como valores de consumo máximo 10:00 min para la gasolina y 10:32 min para la mezcla gasolina-HHO, ambos valores en la carga número 4. Además se observa que hasta la carga número 4, existe un ahorro de combustible siendo más significativo en la carga número 1 y 2. Para la carga número 5 y 6 se nota un incremento en el consumo de la mezcla gasolina-HHO, esto debido que a mayores revoluciones producido por la mezcla mayor consumo de gasolina.

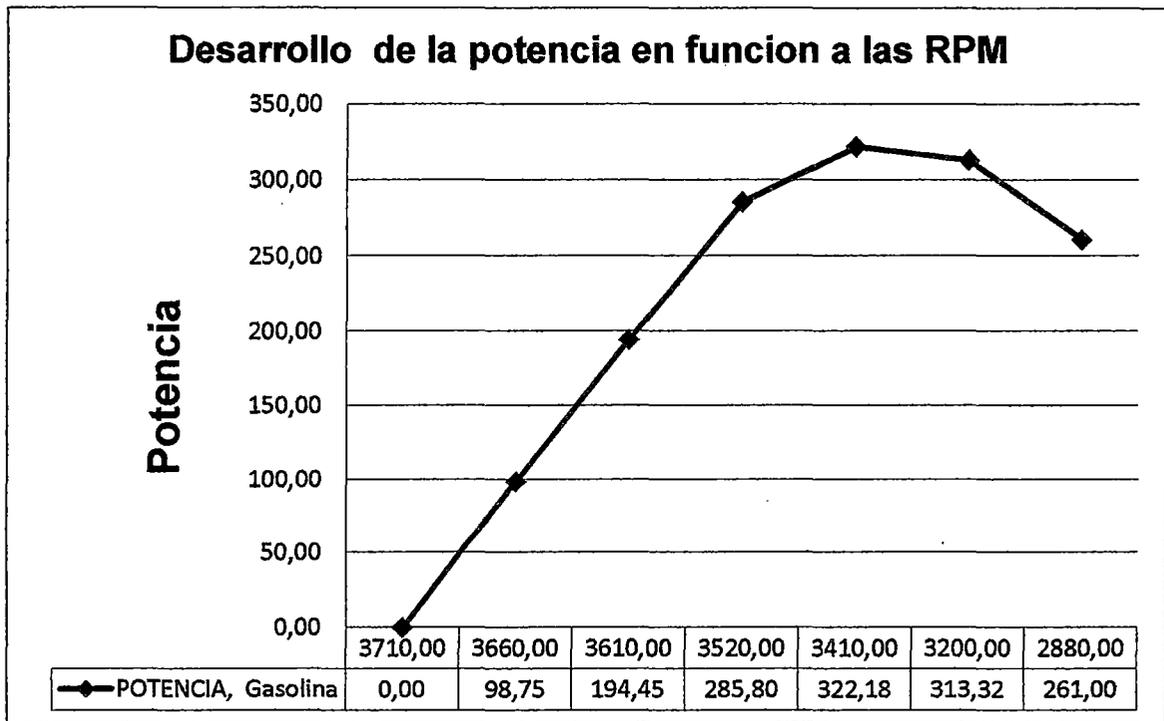
Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO disminuye el consumo de combustible hasta cierto, para nuestro caso una carga de 4 focos.

4.4.3.8. DESARROLLO DE POTENCIA EN FUNCIÓN DE LAS RPM.

Tabla 4-15. Desarrollo de potencia en función de las RPM

Carga	POTENCIA, Gasolina	RPM, Gasolina
0	0.00	3620.00
1	98.75	3570.00
2	194.45	3520.00
3	285.80	3480.00
4	322.18	3320.00
5	313.32	2960.00
6	261.00	2660.00

Fuente: Elaboración propia.



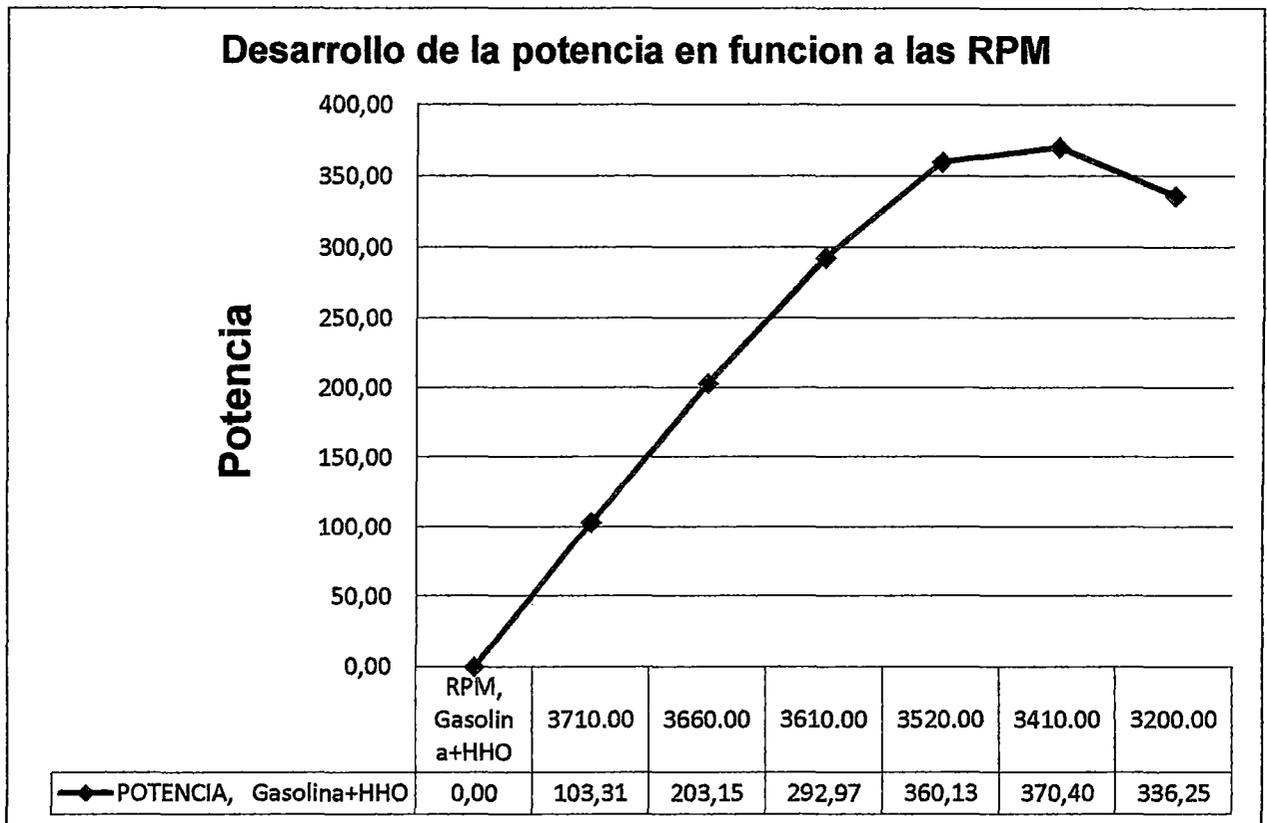
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-8. Desarrollo de la potencia en función de las RPM, gasolina.

Tabla 4-16. Desarrollo de potencia en función de las RPM

Carga	POTENCIA, Gasolina-HHO	RPM, Gasolina-HHO
0	0.00	3710.00
1	103.31	3660.00
2	203.15	3610.00
3	292.97	3520.00
4	360.13	3410.00
5	370.40	3200.00
6	336.25	2880.00

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-9. Desarrollo de la potencia en función de las RPM, gasolina-HHO.

4.5. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR.

4.5.1. POTENCIA ELÉCTRICA CEDIDA POR EL GENERADOR.

$$P_{elec} = V_{ca} I_{ca}, \text{ en } W$$

Dónde:

V_{ca} : Tensión de corriente alterna eficaz, en voltios (V)

I_{ca} : Intensidad de corriente alterna eficaz, en amperes (I)

4.5.2. RENDIMIENTO DEL GENERADOR.

$$\eta_g = \frac{P_{elec}}{P_{elec} + p}$$

Dónde:

P_{elec} : Potencia cedida por el generador, en W

P : Perdidas en el alternador, en W

4.5.3. POTENCIA AL FRENO DEL MOTOR.

$$N_e = \frac{P_{elec}}{\eta_g}, \quad W$$

Dónde:

P_{elec} : Potencia eléctrica útil del generador; en W

η_g : Rendimiento del generador.

4.5.4. MOMENTO EFECTIVO DEL MOTOR.

$$M_e = \frac{60}{2\pi} \frac{N_e}{n}, \quad \text{en } Nm$$

Dónde:

N_e : Potencia al freno del motor en W

n : Velocidad rotacional del cigüeñal, en rpm.

4.5.5. PRESIÓN MEDIA EFECTIVA DEL MOTOR.

$$P_{me} = \frac{60 N_e x}{V_h n}, \quad \text{en } MPa$$

Dónde:

V_h : cilindrada del motor,

x : Número de revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida, por cilindro; 2 para un motor con ciclo de cuatro carreras y 1 para un motor con ciclo de dos carreras.

$$\therefore x = 2rev$$

4.5.6. CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE.

- Para la gasolina:

$$G_c = 3.6 \rho_g \frac{V_g}{t_g}, \quad \frac{kg}{h}$$

También:
$$G_c = 3.6 \frac{V_g}{t_g}, \quad l/h$$

Dónde:

V_g : Volumen de gasolina consumido, en cm^3

$$V_g = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Dónde:

D : Diámetro del envase cilíndrico que contiene gasolina, en cm .

h : Altura del envase referido a la gasolina consumida, en cm .

ρ_g : Densidad de la gasolina.

- Densidad en estado líquido : $\rho_g = 0.72 - 0.74 g/cm^3 = 0.72 - 0.74 kg/lit$
- Densidad en estado gaseoso: $\rho_g = 5.08 kg/lit$

t_g : Tiempo de consumo del volumen de gasolina, en seg .

4.5.7. CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.

$$g_c = 10^6 \frac{G_c}{N_e}, \quad [g/kW - h]$$

4.5.8. CONSUMO HORARIO DE AIRE.

$$G_a = 0.36 \rho_a v_a A_{ad}, \quad [kg/h]$$

Dónde:

v_a : Velocidad del aire, en m/s

A_{ad} : Área de la sección de ingreso al mezclador de gas, en cm^2

ρ_a : Densidad del aire, se calcula con la fórmula:

$$\rho_a = 1.293 \frac{P_o}{760} \frac{273}{T_o + 273},$$

P_o : Presión barométrica:

$$P_o = 686mbar.$$

$$P_o = 514.7mmHg$$

T_o : Temperatura atmosférica, en °C

4.5.9. COEFICIENTE DE LLENADO (EFICIENCIA VOLUMÉTRICA).

$$\eta_v = \frac{10^6}{60} \frac{\tau G_a}{V_h \rho_a n}$$

Dónde:

τ : Número de tiempos del motor, en nuestro caso: $\tau = 4$

V_h : Cilindrada del motor $V_h = 76.4cm^3$

4.5.10. COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE.

$$\alpha = \frac{G_a}{G_c l_o}$$

Dónde:

G_a : Consumo horario de aire, kg / h

G_c : Consumo horario de combustible, kg / h

l_o : Cantidad teórica necesaria para combustionar totalmente $1kg$ de combustible:

Para la gasolina: $l_o = 14.7kg_{aire} / kg_{gasolina}$

4.5.11. EFICIENCIA EFECTIVA DEL MOTOR.

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u g_e}$$

Dónde:

g_e : Consumo específico de combustible, en $g / kw - h$

H_u : Poder calorífico bajo del combustible (inferior)

Para la gasolina: $H_u = 44.4MJ / kg$

4.5.12. CANTIDAD TOTAL DE CALOR DISPONIBLE POR UNIDAD DE TIEMPO.

$$Q_c = \frac{10^4 G_c H_u}{36}, \text{ en } W$$

Dónde:

G_c : Consumo horario de combustible, en kg/h

H_u : Poder calorífico del combustible, en MJ/kg

4.5.13. CALOR TRANSFORMADO EN CALOR ÚTIL O EFECTIVO.

$$Q_e = N_e, \text{ en } W$$

Dónde:

N_e : Potencia efectiva del motor, en W

- Calor útil relativo:

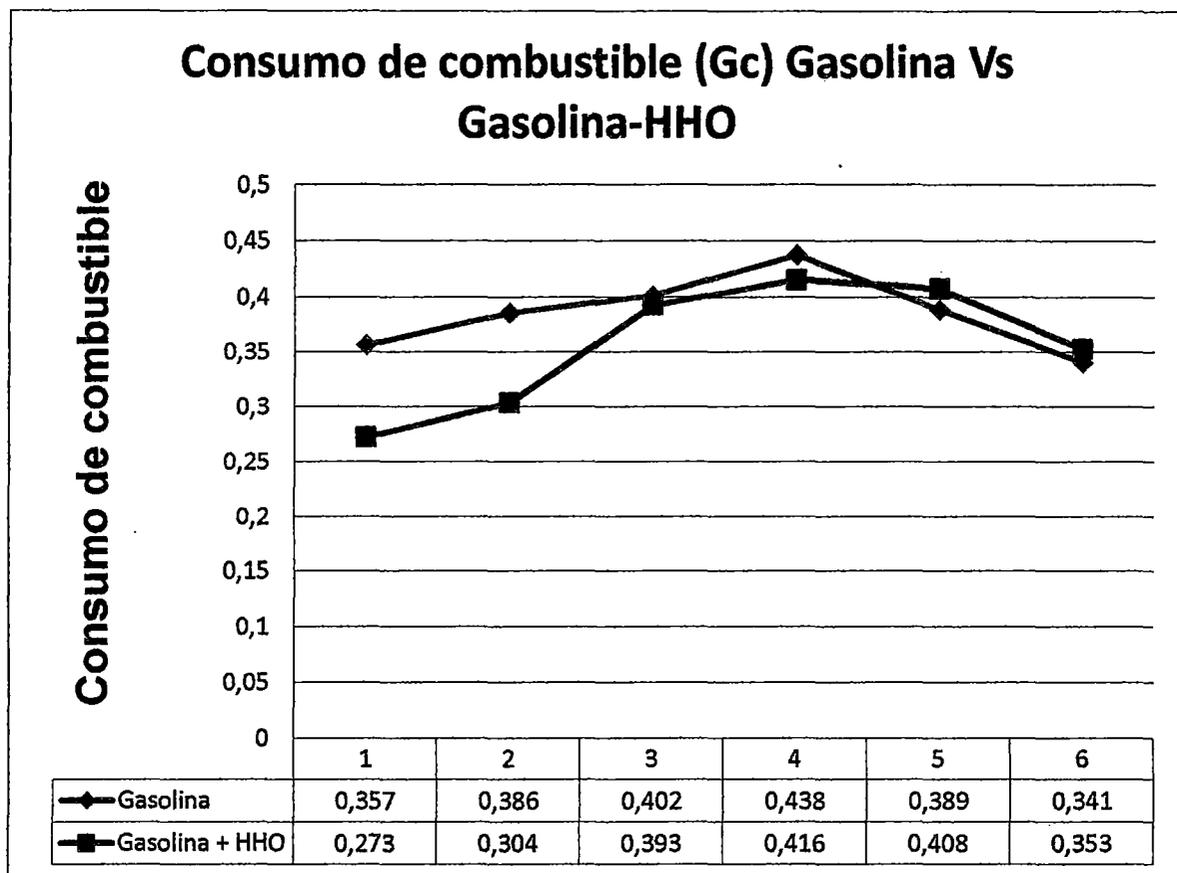
$$q_e = \frac{Q_e}{Q_c} 100, (\%)$$

- **CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE G_c**

Tabla 4-17. Consumo Horario de Combustible.

Carga	Gasolina	Gasolina- HHO
1	0.357	0.273
2	0.386	0.304
3	0.402	0.393
4	0.438	0.416
5	0.389	0.408
6	0.341	0.353

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

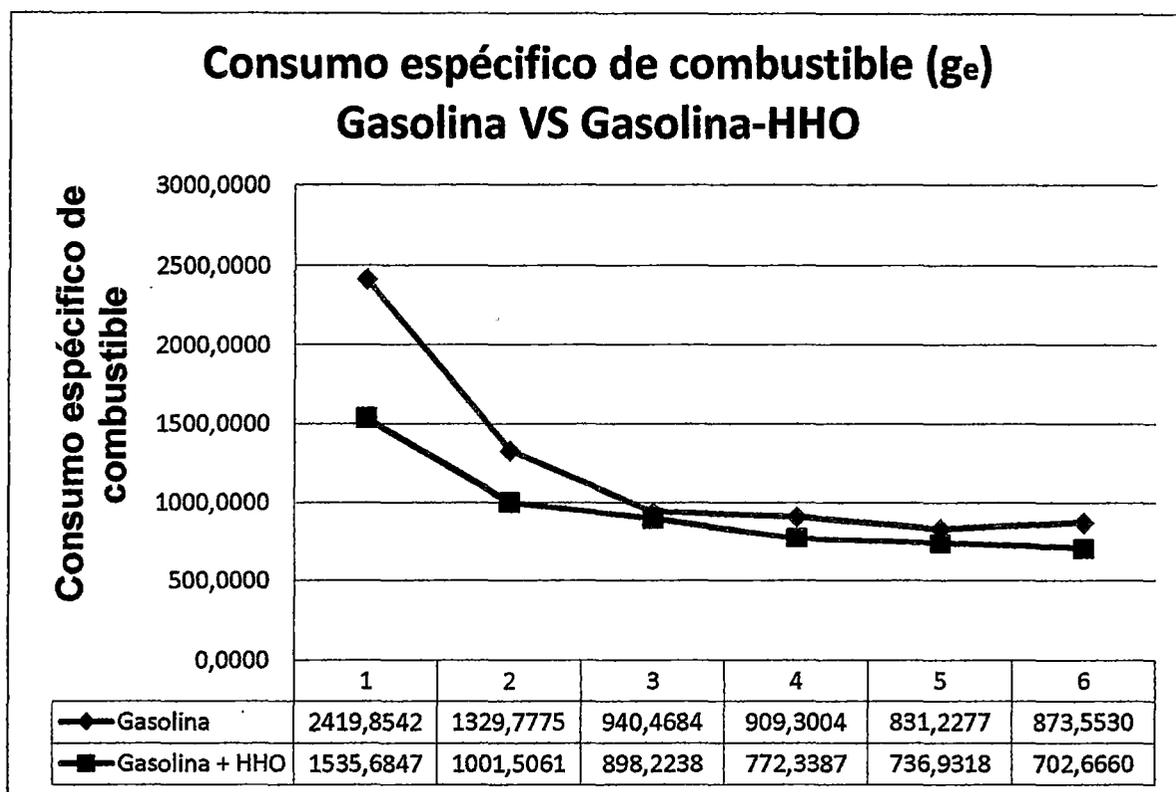
Fig. 4-10. Consumo Horario de Combustible.

• **CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE g_e**

Tabla 4-18. Consumo Específico de Combustible.

Carga	Gasolina	Gasolina-HHO
1	2419.8542	1535.6847
2	1329.7775	1001.5061
3	940.4684	898.2238
4	909.3004	772.3387
5	831.2277	736.9318
6	873.5530	702.6660

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. Consumo específico de Combustible.

Referente a la tabla 4-17, 4-18 y sus respectiva grafica 4-10,4-11, se observan diferencias en la generación de curvas de consumo de combustible, se observa que hasta la carga número 4, existe un ahorro de combustible siendo más significativo en la carga número 1 y 2. Para la carga número 5 y 6 se nota un incremento en el consumo de la mezcla gasolina-HHO, esto debido que a mayores revoluciones producido por la mezcla mayor consumo de gasolina.

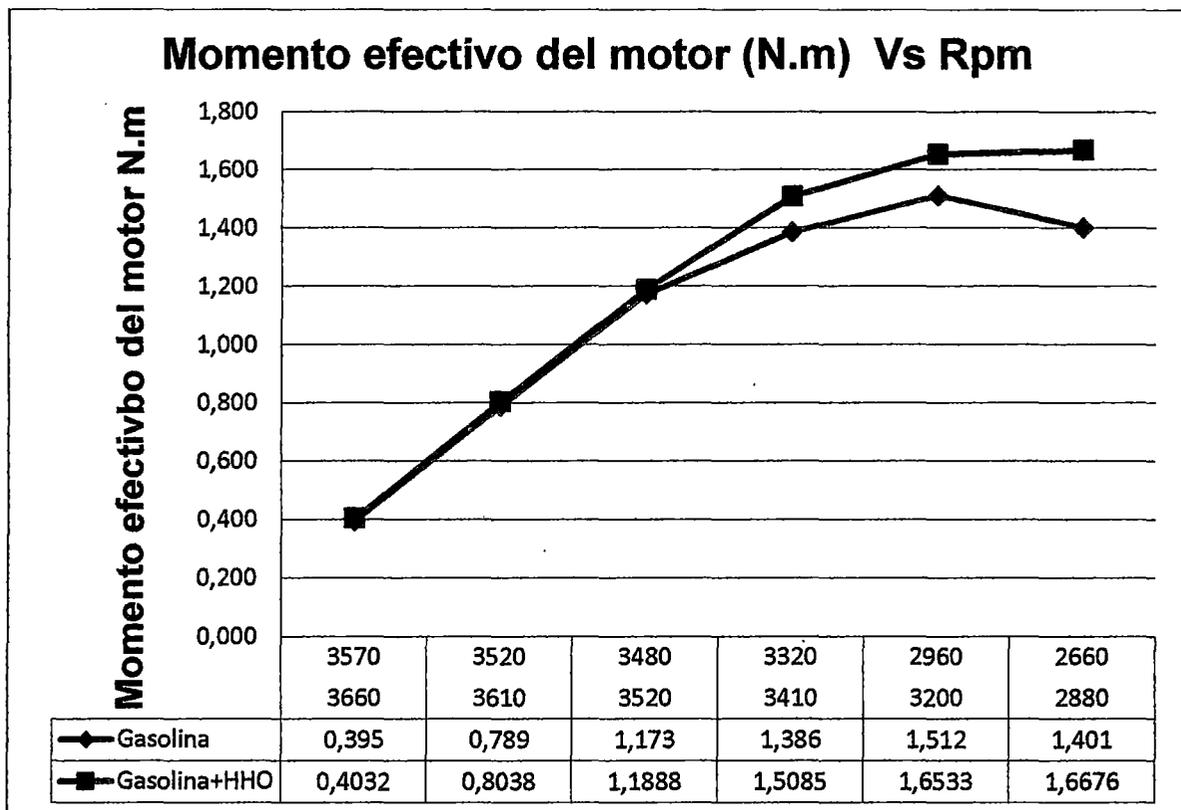
El consumo específico de combustible está en función del consumo horario de combustible y la potencia efectiva, por lo que la mezcla gasolina-hho, necesita menos combustible para generar la misma potencia.

• **Momento efectivo del motor**

Tabla 4-19. Momento efectivo del motor.

Carga	Gasolina-HHO	Gasolina	Gasolina-HHO	Gasolina
	N.m	N.m	rpm	rpm
1	0.4032	0.395	3660	3570
2	0.8038	0.789	3610	3520
3	1.1888	1.173	3520	3480
4	1.5085	1.386	3410	3320
5	1.6533	1.512	3200	2960
6	1.6676	1.401	2880	2660

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-11. Momento efectivo del motor.

Referente a la tabla 4-19 y su grafica 4-12, se observan diferencias en la generación de curvas de momento efectivo, el torque es máximo utilizando la mezcla en la carga Nro.6 a 2880 rpm con un torque 1.67 Nm, y para la gasolina en la carga Nro. 5 a 2960 rpm con un torque de 1.51Nm, lo que significa que la utilización del hho mejora el torque acercándose a su torque de diseño.

4. 6. TOMA DE DATOS DE EMISIÓN DE GASES.

a.- PROCEDIMIENTO.

Esta prueba se realizó en el centro de inspecciones técnicas del instituto tecnológico Túpac Amaru. En esta prueba se utilizó un panel de focos (Freno eléctrico), se hizo el encendido de hasta 6 focos partiendo desde el voltaje inicial que entrega el generador sin carga tanto para gasolina como para la mezcla gasolina-HHO

- Se procede a calibrar el analizador de gases conforme lo establece el fabricante.
- Se procede a calibrar el motor con la ayuda del multímetro digital a su voltaje original.
- Se Procedió a calentar el motor durante minutos para que el motor se estabilice y alcance la temperatura óptima.
- Se introdujo la sonda de medición de gases de combustión por el tubo de escape.
- Se procede a variar la mezcla para cada prueba desde el voltaje inicial (cero focos) hasta el encendido de los 6 focos.
- Se procedió a tomar los datos, en nuestro caso se registró mediante una cámara filmadora, el cual fue revisado posteriormente para obtener los datos.

4.6.1. RESULTADOS DEL ANALIZADOR.

Seguidamente se muestran en imágenes los resultados del analizador de gases:

a.- Sin carga.

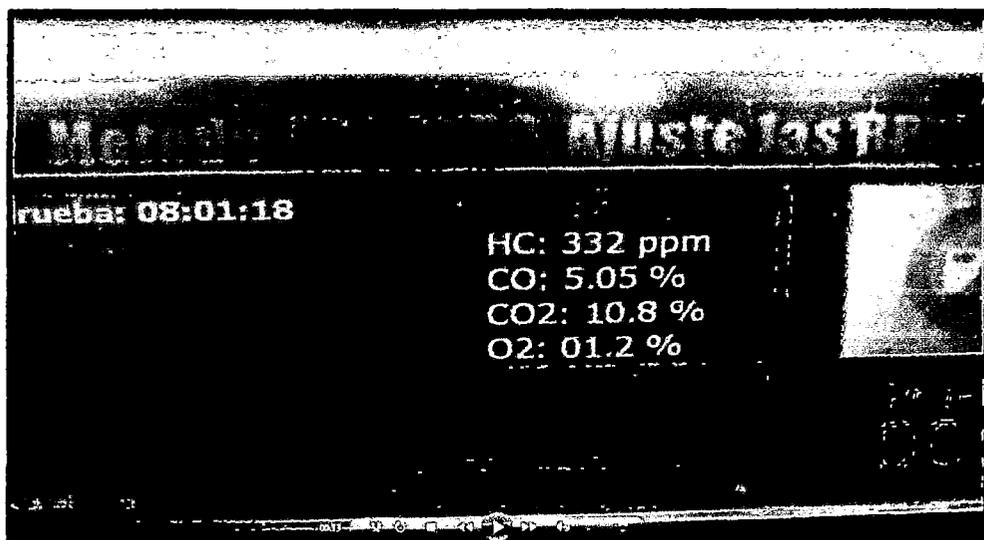


Fig. 4-16. Resultados de análisis de gases para gasolina sin carga.

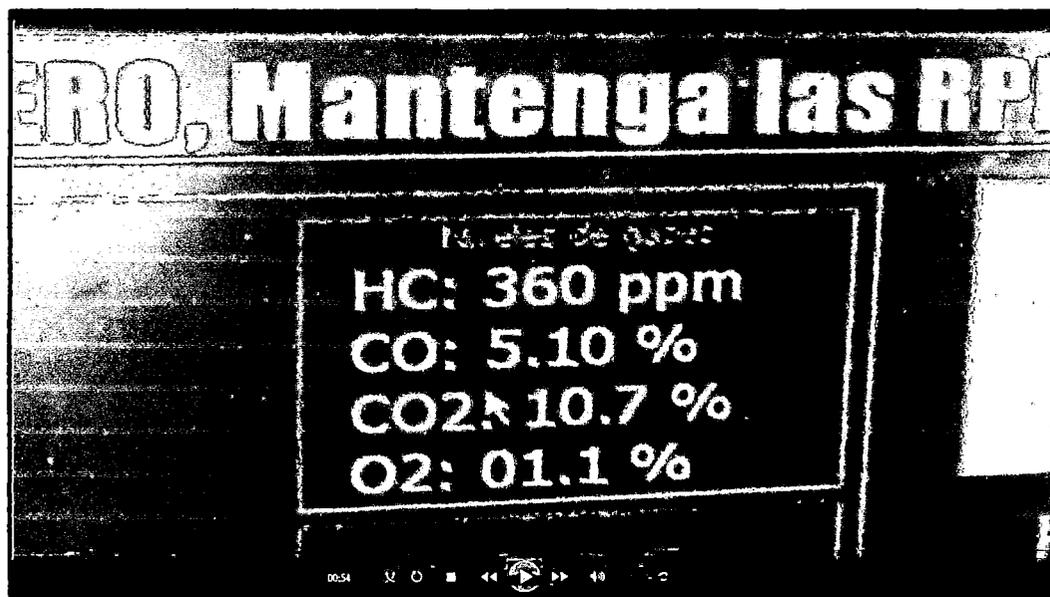


Fig. 4-17. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO sin carga.

b.- Para una carga de un foco:

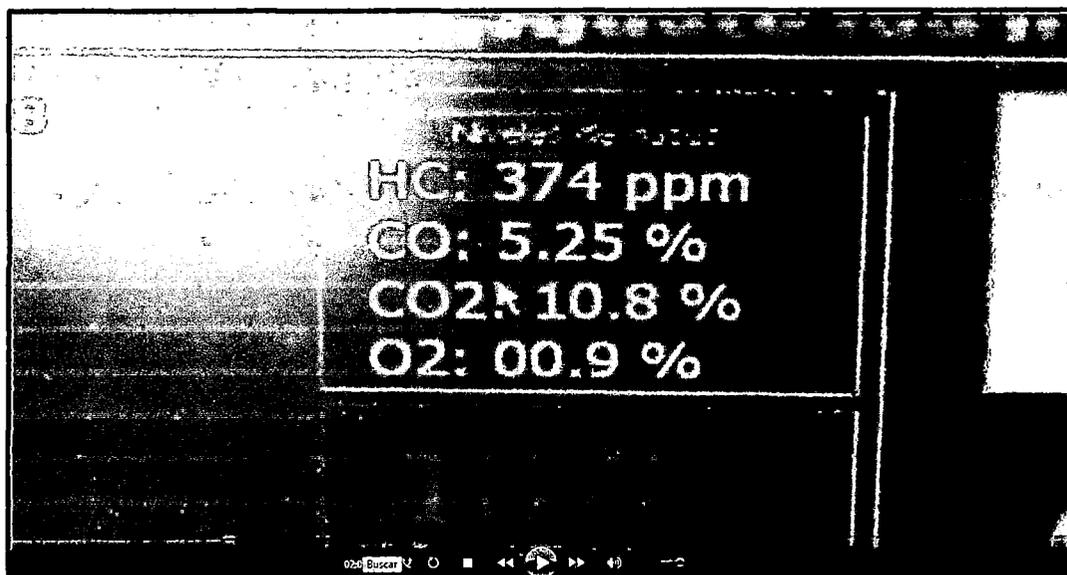


Fig. 4-18. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de un foco.

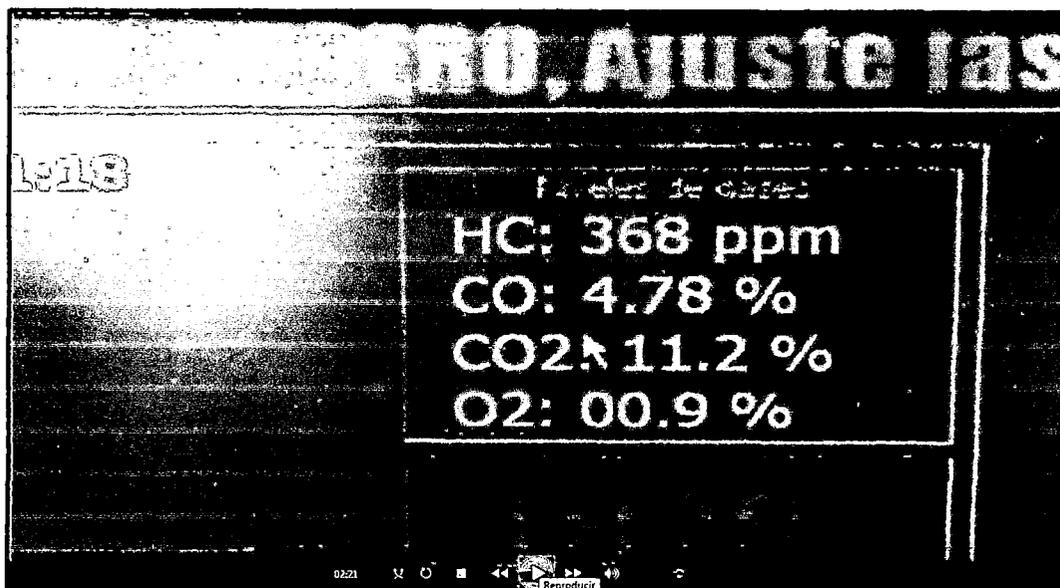


Fig. 4-19. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de un foco.

c.- Para una carga de dos focos:

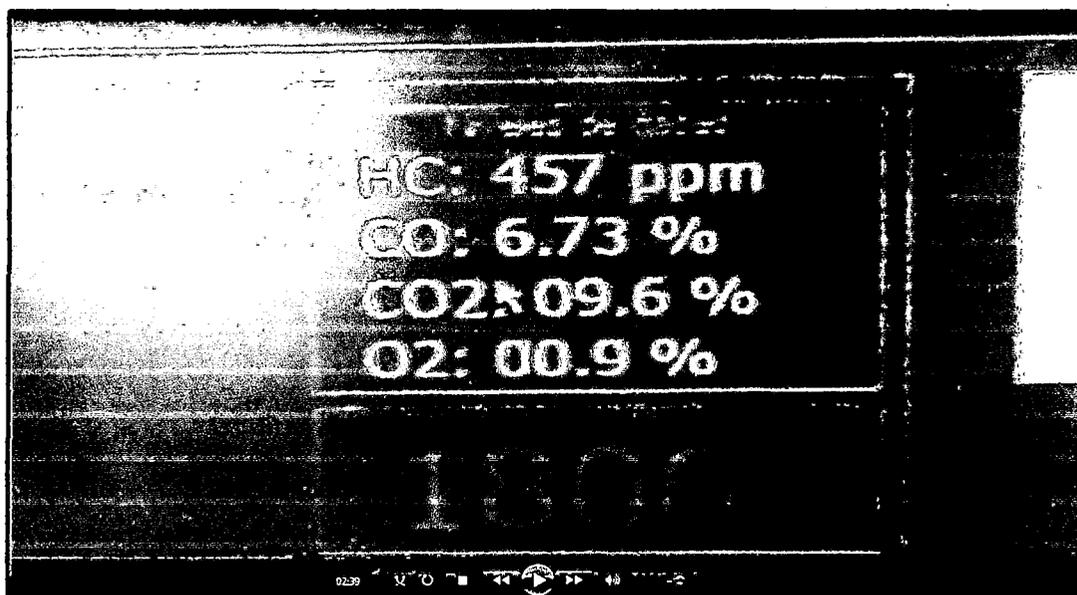


Fig. 4-20. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de dos focos.

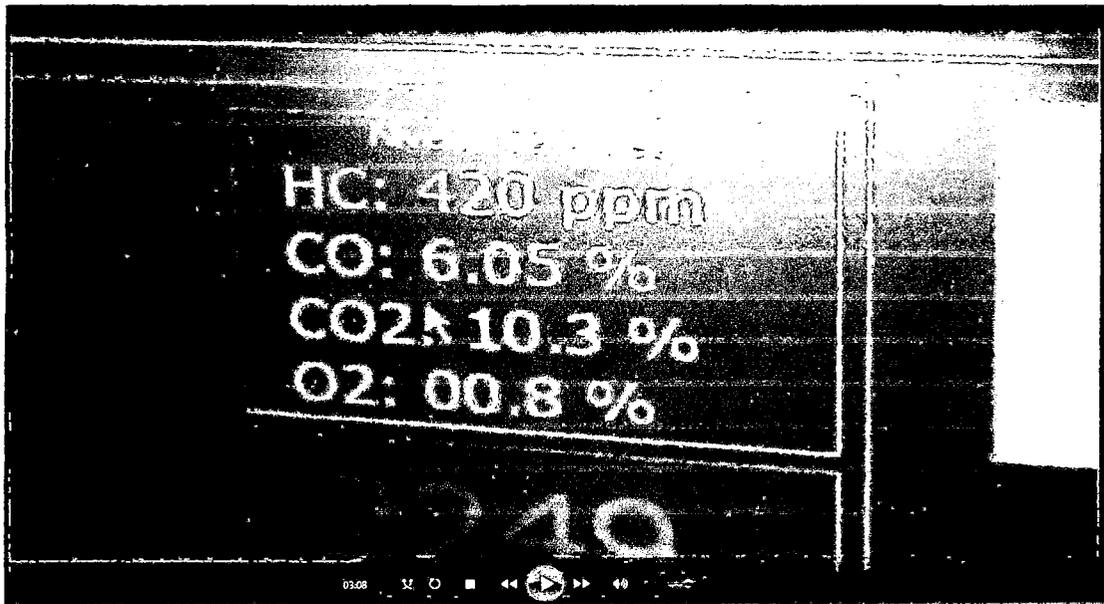


Fig. 4-21. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de dos focos.

d.- Para una carga de tres focos:

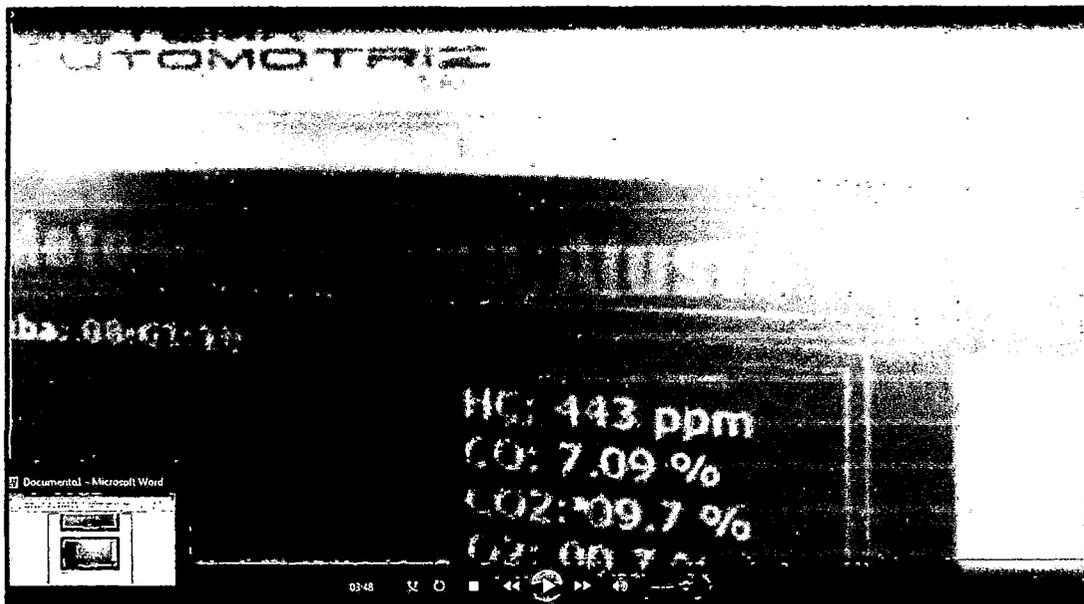


Fig. 4-22. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de focos.

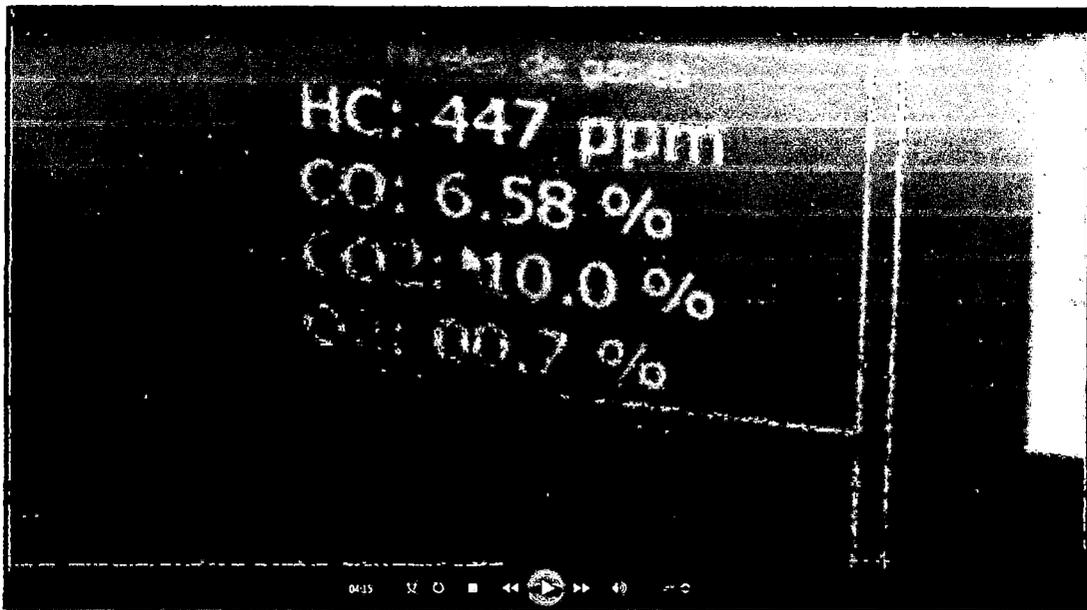


Fig. 4-23. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de tres focos.

e.- Para una carga de cuatro focos:

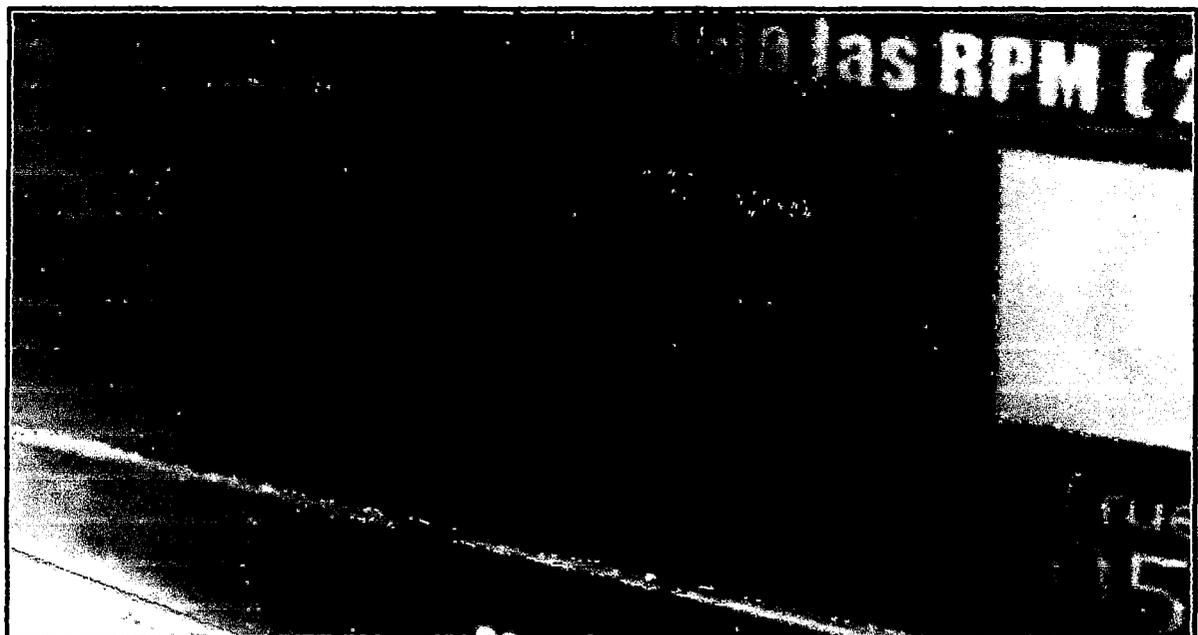


Fig. 4-24. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de cuatro focos.

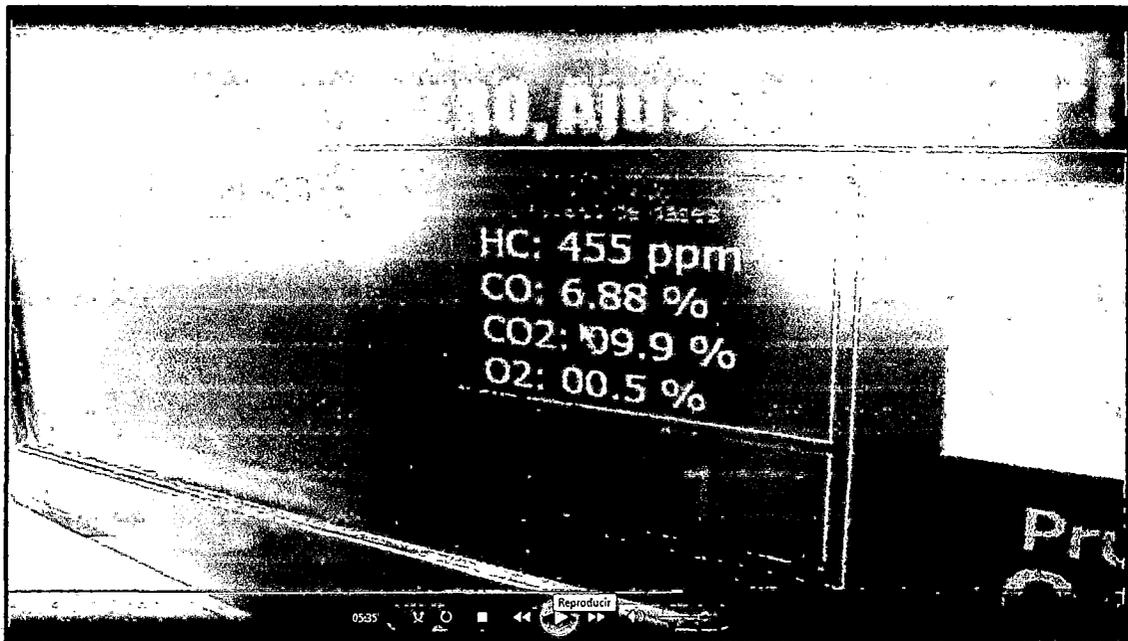


Fig. 4-25. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de cuatro focos.

f.- Para una carga de cinco focos:

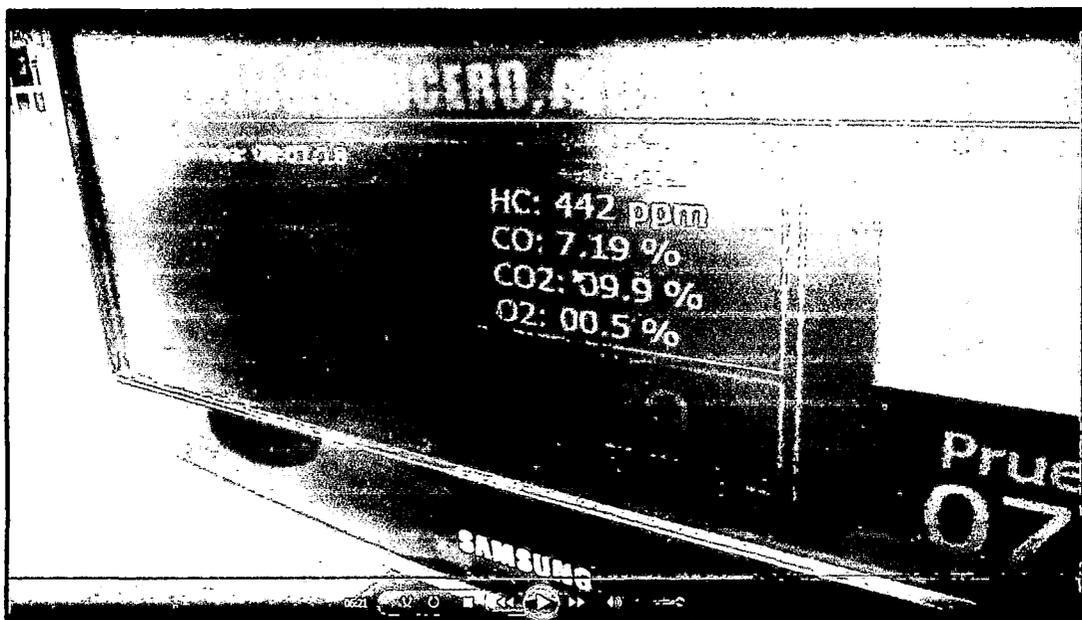


Fig. 4-26. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de cinco focos.

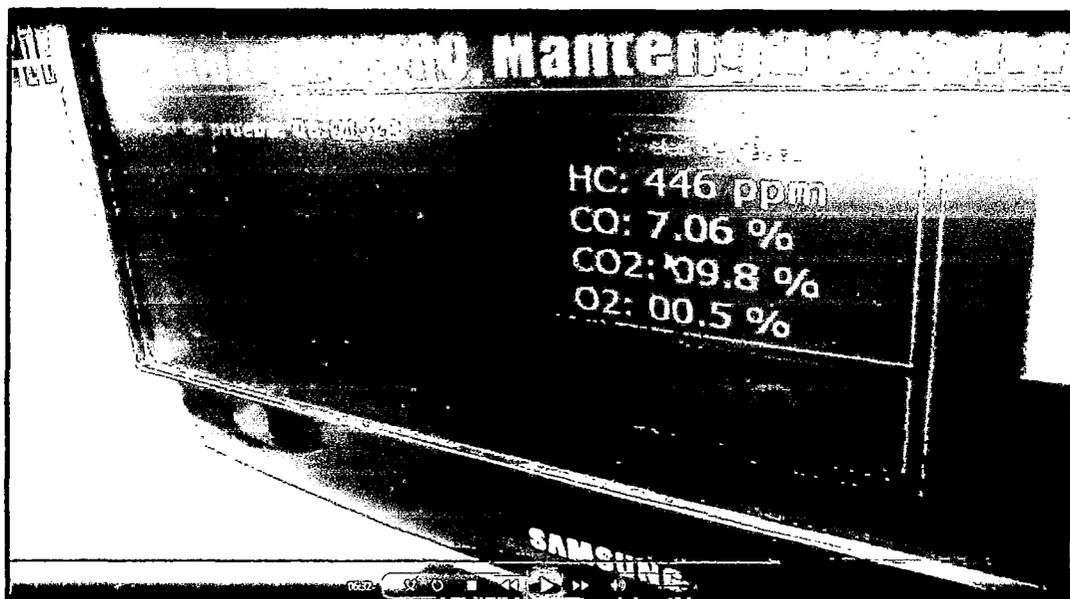


Fig. 4-27. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de cinco focos.

g.- Para una carga de seis focos:

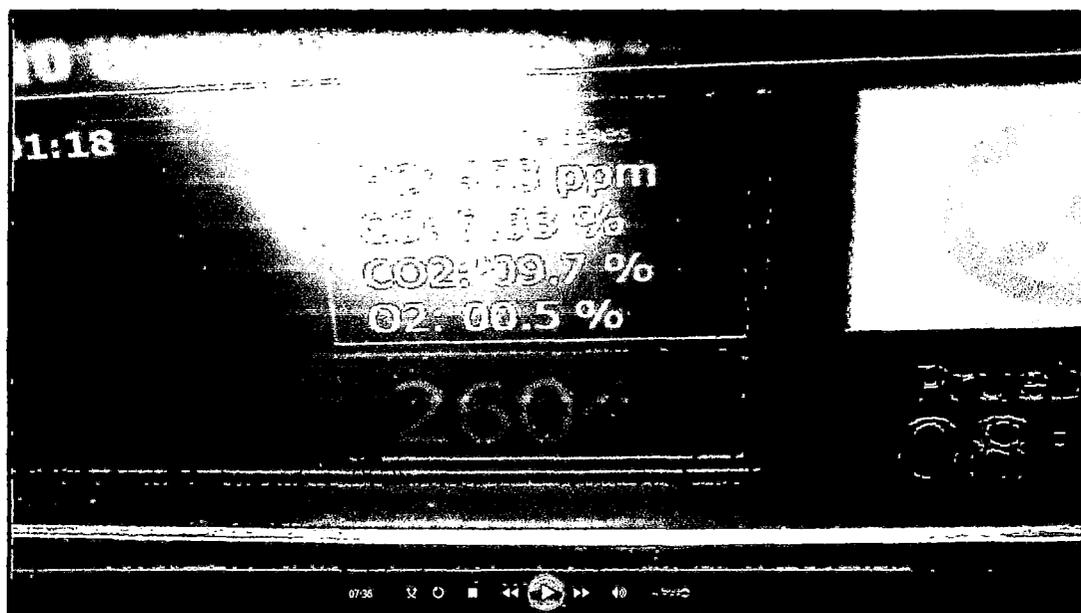


Fig. 4-28. Resultados de análisis de gases para gasolina con carga de seis focos.

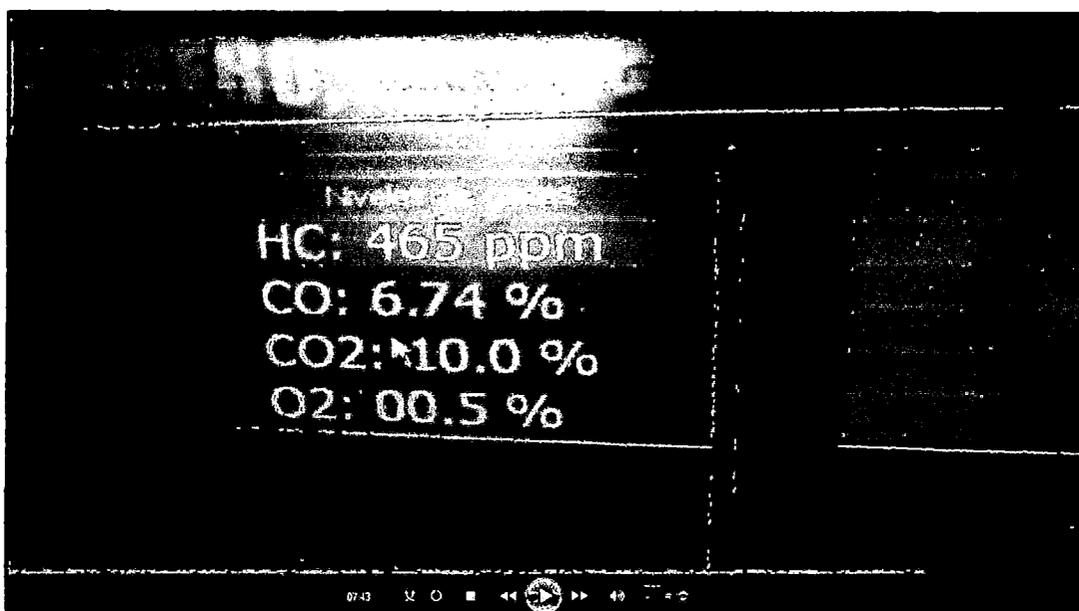


Fig. 4-29. Resultados de análisis de gases para gasolina-HHO con carga de seis focos.

RESULTADOS OBTENIDOS:

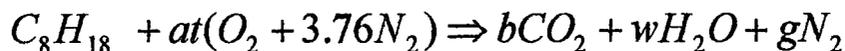
Tabla 4-20. Resultados obtenidos del analizador de gases.

N° de focos	Gasolina				Gasolina-HHO			
	PPM	CO%	CO ₂ %	O ₂ %	PPM	CO%	CO ₂ %	O ₂ %
0	332	5.05	10.8	1.2	349	4.04	11.2	1.1
1	374	5.25	10.8	0.9	368	4.78	11.2	0.9
2	457	6.73	9.6	0.9	420	6.05	10.0	0.7
3	443	7.09	9.7	0.7	447	6.58	10.0	0.7
4	443	7.0	10.0	0.6	455	6.88	9.9	0.5
5	442	7.19	9.9	0.5	446	7.06	9.8	0.5
6	458	7.33	9.7	0.5	465	6.74	10.0	0.5

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. PROCESAMIENTO DE DATOS:

La ecuación estequiometria de la combustión ideal con 100% de aire teórico que se produce en un motor Otto es:



La relación aire Combustible (A/C) es:

$$\frac{A}{C} = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{aire}}{(NM)_C + (NM)_H}$$

La entalpia de combustión se determina en base a la ecuación estequiometria real obtenida anteriormente:

$$h_c = \left[\left(N \bar{h}_f \right)_{CO_2} + \left(N \bar{h}_f \right)_{CO} + \left(N \bar{h}_f \right)_{H_2O} \right] - \left(N \bar{h}_f \right)_{C_8H_{18}}$$

Dónde:

N_p = Numero de moles de los productos

$\bar{h}_{f,p}^{\circ}$ = Entalpias de los productos

N_r = Numero de moles de los reactivos

$\bar{h}_{f,r}^{\circ}$ = Entalpias de los reactivos

$$h_c = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^{\circ} - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^{\circ}$$

En base a la ecuación estequiometrica real se determina la temperatura de la llama adiabática con la siguiente ecuación.

$$H_{prod} = H_{react} = \sum N_p (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_p = \sum N_r (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_r$$

A continuación se realiza el cálculo de la ecuación estequiometrica, relación aire-combustible, entalpia de la combustión y flama adiabática.

a.- Sin carga, cero (0) focos:

Tabla 4-21. Resultados obtenidos del analizador de gases sin carga.

	Gasolina	Gasolina-HHO
CO	5.05 %	4.04 %
CO ₂	10.8%	11.4%
O ₂	1.2%	1.01%

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener nuestros resultados primero debemos empezar realizando la ecuación estequiométrica real a partir de los datos obtenidos del analizador de gases:

- **Gasolina:**

De la tabla 4-21. Obtenemos los volúmenes en porcentaje para él CO , CO_2 y O_2 .

La ecuación real de combustión:



Igualando cada componente:

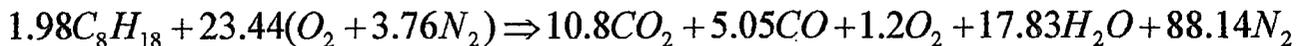
$$C \Rightarrow 8x = 10.8 + 5.05 \Rightarrow x = 1.98$$

$$H \Rightarrow 18x = 2w \Rightarrow w = 9x = 9(1.98) \Rightarrow w = 17.83$$

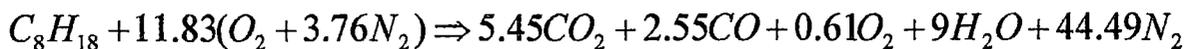
$$O_2 \Rightarrow a = \frac{10.8 \times 2 + 5.05 + 1.2 \times 2 + 17.83}{2} \Rightarrow a = 23.44$$

$$N_2 \Rightarrow 2a(3.76) = 2g \Rightarrow g = 23.44(3.76) \Rightarrow g = 88.14$$

La ecuación estequiométrica es igual a:



Se divide todo para 1.98 para obtener un mol de combustible.



Hallando la relación Aire-Combustible

$$\frac{A}{C} = \frac{11.83(4.76 \times 29)_{aire}}{(12 \times 8)_C + (1 \times 18)_H} = 14.33$$

$$\frac{A}{C} = 14.33 [\text{kg aire/kg combustible}]$$

Hallando la entalpia de combustión: para este cálculo se utilizó la tabla TABLA D-7. Entalpia de formación.

$$h_c = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^{\circ} - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^{\circ}$$

$$h_c = \left[\left(5.45 \text{Kmol} \times (-393520) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + 2.55 \text{Kmol} \times (-110530) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} + 0.61 \text{Kmol} \times (-285830) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right] - \left[(1 \text{Kmol} \times (-249950) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}) \right]$$

$$h_c = 4749367.95 \frac{\text{kJ}}{\text{Kmol}}$$

Hallando la temperatura de la flama adiabática:

En base a la ecuación estequiométrica real se determina la temperatura de la llama adiabática con la siguiente ecuación.

$$H_{prod} = H_{react} = \sum N_p (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_p = \sum N_r (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_r$$

Sustituyendo los valores de las tablas de productos y reactantes en la ecuación se tiene.

$$5.45 \bar{h}_{CO_2}^{\circ} + 2.55 \bar{h}_{CO}^{\circ} + 9.00 \bar{h}_{H_2O}^{\circ} + 0.61 \bar{h}_{O_2}^{\circ} + 44.49 \bar{h}_{N_2}^{\circ} = 4906457 \text{KJ/Kmol}$$

Con el valor de la entalpia obtenida anteriormente y utilizando las Tablas D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, obtenemos producto de la interpolación el valor de:

$$T = 2207.35 \text{ K}$$

Gasolina - HHO:

De la tabla 4-20 obtenemos los volúmenes en porcentaje para él CO , CO_2 y O_2 .

La ecuación real de combustión:



Igualando cada componente:

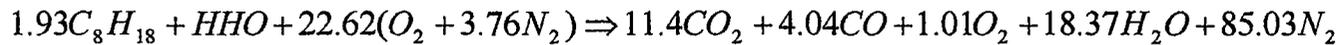
$$C \Rightarrow 8x = 11.4 + 4.04 \Rightarrow x = 1.93$$

$$H \Rightarrow 18x + 2 = 2w \Rightarrow w = 9x + 1 = 9(1.93) + 1 \Rightarrow w = 18.37$$

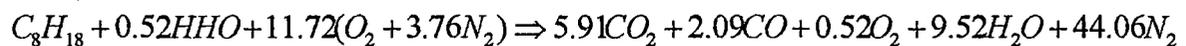
$$O_2 \Rightarrow a = \left(\frac{11.4 \times 2 + 4.04 + 1.01 \times 2 + 18.37}{2} \right) - 1 \Rightarrow a = 22.62$$

$$N_2 \Rightarrow 2a(3.76) = 2g \Rightarrow g = 22.62(3.76) \Rightarrow g = 85.03$$

La ecuación estequiométrica es igual a:



Se divide todo para 1.93 para obtener un mol de combustible:



Hallando la relación Aire-Combustible.

$$\frac{A}{C} = \frac{11.72(4.76 \times 29)_{aire}}{(12 \times 8)_C + (1 \times 18)_H + (0.52 \times 2)_{HHO} + (0.52 \times 16)_{HHO}} = 13.12$$

$$\frac{A}{C} = 13.12 \text{ [kg aire/kg combustible]}$$

Hallando la entalpia de combustión: para este cálculo se utilizó la tabla TABLA D-7.

Entalpia de formación.

$$h_c = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^\circ - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^\circ$$

$$h_c = \left[\left(5.91 \text{Kmol} \times (-393520) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(2.09 \text{Kmol} \times (-110530) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(0.52 \text{Kmol} \times (-285830) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) \right] -$$

$$\left[\left(1 \text{Kmol} \times (-249950) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(0.52 \text{Kmol} \times (-136310) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) \right]$$

$$h_c = 4955778.65 \frac{\text{kJ}}{\text{Kmol}}$$

Hallando la temperatura de la flama adiabática:

En base a la ecuación estequiométrica real se determina la temperatura de la llama adiabática con la siguiente ecuación.

$$H_{prod} = H_{react} = \sum N_p (\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^o)_p = \sum N_r (\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^o)_r$$

Sustituyendo los valores de las tablas de productos y reactantes en la ecuación se tiene.

$$5.91 \bar{h}_{CO_2} + 2.09 \bar{h}_{CO} + 9.52 \bar{h}_{H_2O} + 0.52 \bar{h}_{O_2} + 45.03 \bar{h}_{N_2} = 5099539.04 \text{ KJ/Kmol}$$

Con el valor de la entalpia obtenida anteriormente y utilizando las Tablas D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, obtenemos producto de la interpolación el valor de:

$$T = 2243.24 \text{ K}$$

Para una carga de un (1) foco:

Tabla 4-22. Resultados obtenidos del analizador de gases para un foco.

	Gasolina	Gasolina - HHO
CO	5.25%	4.78 %
CO ₂	10.8%	11.2%
O ₂	0.9%	0.9%

Fuente: Elaboración propia.

Gasolina:

De la tabla 4-22 obtenemos los volúmenes en porcentaje para él CO, CO₂ y O₂.

La ecuación real de combustión:



Igualando cada componente:

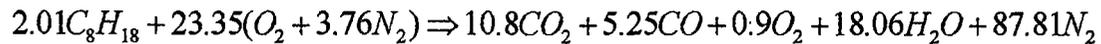
$$C \Rightarrow 8x = 10.8 + 5.25 \Rightarrow x = 2.01$$

$$H \Rightarrow 18x = 2w \Rightarrow w = 9x = 9(2.01) \Rightarrow w = 18.06$$

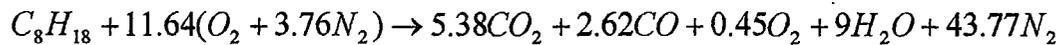
$$O_2 \Rightarrow a = \frac{10.8 \times 2 + 5.25 + 0.9 \times 2 + 18.06}{2} \Rightarrow a = 23.35$$

$$N_2 \Rightarrow 2a(3.76) = 2g \Rightarrow g = 23.35(3.76) \Rightarrow g = 87.81$$

La ecuación estequiométrica es igual a:



Se divide todo para 2.01 para obtener un mol de combustible.



Hallando la relación Aire-Combustible.

$$A/C = \frac{11.64(4.76 \times 29)_{aire}}{(12 \times 8)_C + (1 \times 18)_H} = 14.09$$

$$A/C = 14.09 \text{ [kg aire/kg combustible]}$$

Hallando la entalpia de combustión: para este cálculo se utilizó la tabla TABLA D-7.

Entalpia de formación.

$$h_c = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^{\circ} - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^{\circ}$$

$$h_c = \left[\left(5.38 \text{Kmol} \times (-393520) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + 2.62 \text{Kmol} \times (-110530) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} + 0.45 \text{Kmol} \times (-285830) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right] - \left[(1 \text{Kmol} \times (-249950) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}) \right]$$

$$h_c = 4730145.42 \frac{\text{kJ}}{\text{Kmol}}$$

Hallando la temperatura de la flama adiabática:

En base a la ecuación estequiométrica real se determina la temperatura de la llama adiabática con la siguiente ecuación.

$$H_{prod} = H_{react} = \sum N_p (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_p = \sum N_r (\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_r$$

Sustituyendo los valores de las tablas de productos y reactantes en la ecuación se tiene.

$$5.38 \bar{h}_{CO_2}^{\circ} + 2.62 \bar{h}_{CO}^{\circ} + 9.00 \bar{h}_{H_2O}^{\circ} + 0.45 \bar{h}_{O_2}^{\circ} + 43.77 \bar{h}_{N_2}^{\circ} = 4879596 \text{KJ/Kmol}$$

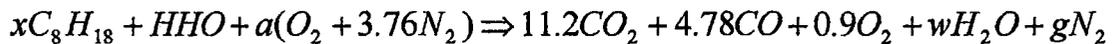
Con el valor de la entalpia obtenida anteriormente y utilizando las Tablas D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, obtenemos producto de la interpolación el valor de:

$$T=2223.22 \text{ K}$$

Gasolina - HHO:

De la tabla 4-22 obtenemos los volúmenes en porcentaje para él CO , CO_2 y O_2 .

La ecuación real de combustión:



Igualando cada componente:

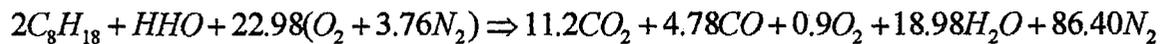
$$C \Rightarrow 8x = 11.2 + 4.78 \Rightarrow x = 2.00$$

$$H \Rightarrow 18x + 2 = 2w \Rightarrow w = 9x + 1 = 9(2.00) + 1 \Rightarrow w = 18.98$$

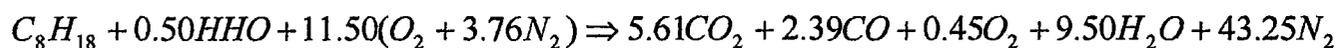
$$O_2 \Rightarrow a = \left(\frac{11.2 \times 2 + 4.78 + 0.9 \times 2 + 18.98}{2} \right) - 1 \Rightarrow a = 22.98$$

$$N_2 \Rightarrow 2a(3.76) = 2g \Rightarrow g = 22.98(3.76) \Rightarrow g = 86.40$$

La ecuación estequiométrica es igual a:



Se divide todo para 2 para obtener un mol de combustible:



Hallando la relación Aire-Combustible.

$$\frac{A}{C} = \frac{11.50(4.76 \times 29)_{aire}}{(12 \times 8)_C + (1 \times 18)_H + (0.50 \times 2)_{HHO} + (0.50 \times 16)_{HHO}} = 12.91$$

$$\frac{A}{C} = 12.91 \text{ [kg aire/kg combustible]}$$

Hallando la entalpia de combustión: para este cálculo se utilizó la tabla TABLA D-7.

Entalpia de formación.

$$h_c = H_{prod} - H_{react} = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^\circ - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^\circ$$

$$h_c = \left[\left(5.61 \text{Kmolx}(-393520) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(2.39 \text{Kmolx}(-110530) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(0.45 \text{Kmolx}(-285830) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) \right] - \left[\left(1 \text{Kmolx}(-249950) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) + \left(0.50 \text{Kmolx}(-136310) \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) \right]$$

$$h_c = 4868340.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

Hallando la temperatura de la flama adiabática: En base a la ecuación estequiométrica real se determina la temperatura de la llama adiabática con la siguiente ecuación.

$$H_{prod} = H_{react} = \sum N_p (\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h})_p = \sum N_r (\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h})_r$$

Sustituyendo los valores de las tablas de productos y reactantes en la ecuación se tiene.

$$5.61 \bar{h}_{CO_2} + 2.39 \bar{h}_{CO} + 9.50 \bar{h}_{H_2O} + 0.45 \bar{h}_{O_2} + 44.20 \bar{h}_{N_2} = 5004602.3 \text{KJ/Kmol}$$

Con el valor de la entalpia obtenida anteriormente y utilizando las Tablas D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, obtenemos producto de la interpolación el valor de:

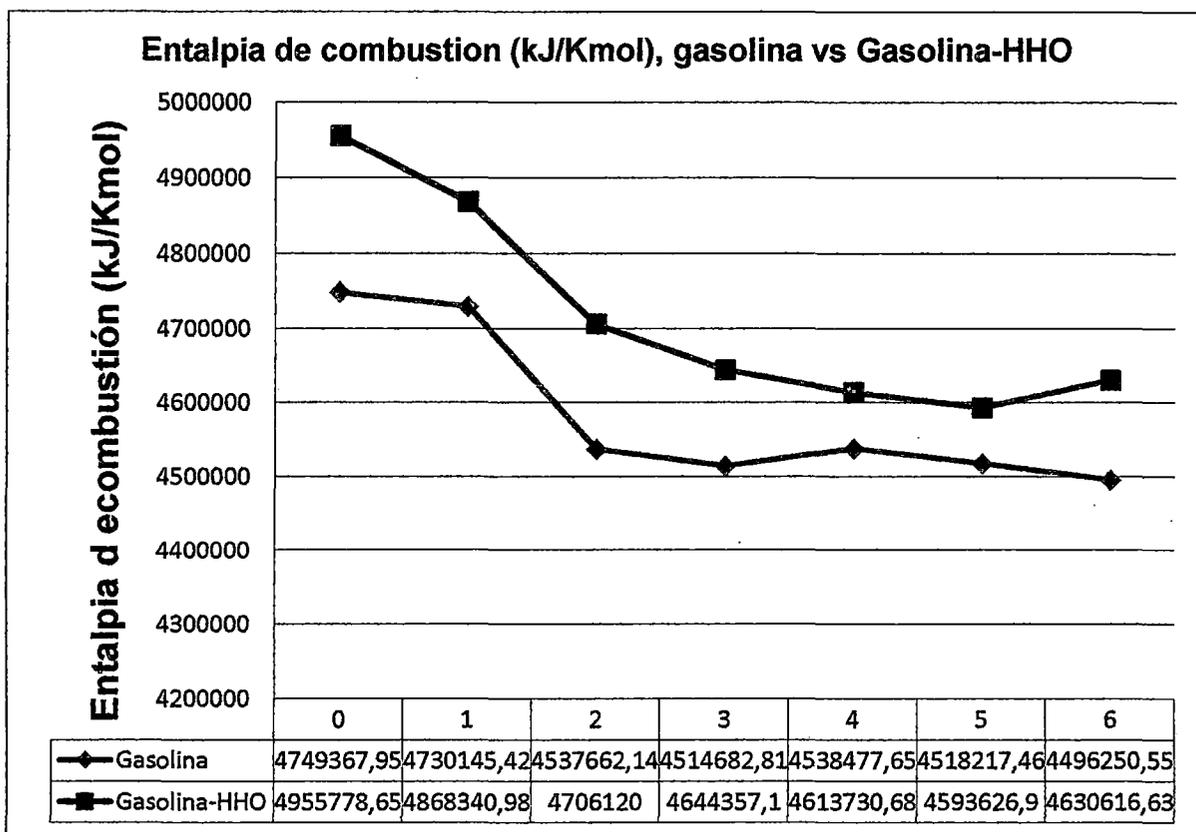
$$T = 2237.88 \text{K}$$

A continuación se muestra las tablas de los resultados del procesamiento de datos, de entalpia de combustión, flama adiabática, relación aire combustible y cantidad de número de moles de aire tanto para la gasolina y la mezcla gasolina-HHO.

Tabla 4-23. Tabla comparativa entre entalpias de combustión.

N° de focos	Gasolina	Gasolina - HHO
	$h_c \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right]$	$h_c \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right]$
0	4749367.95	4955778.65
1	4730145.42	4868340.98
2	4537662.14	4706120.00
3	4514682.81	4644357.10
4	4538477.65	4613730.68
5	4518217.46	4593626.90
6	4496250.55	4630616.63

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

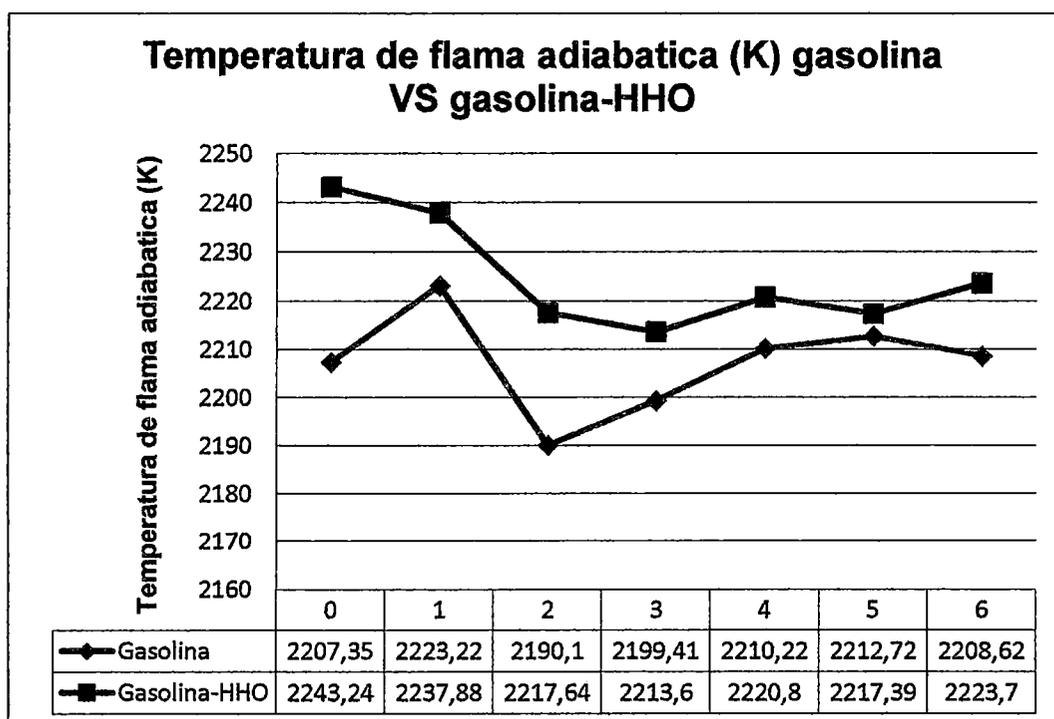
Fig. 4-13. Entalpia de combustión, gasolina VS Gasolina-HHO.

De la tabla 4-19 y su correspondiente grafico 4-13. La entalpia de combustión utilizando la mezcla gasolina-HHO presenta mayores valores en toda la curva, este hecho se debe a que el HHO aporta energía en el proceso de combustión. Lo que indica que al utilizar la mezcla gasolina-HHO se obtiene mayores valores de entalpia de combustión.

Tabla 4-24. Tabla comparativa entre flamas adiabáticas.

Nº de focos	Gasolina	Gasolina - HHO
	$T_{gasolina} (K)$	$T_{gasolina-HHO} (K)$
0	2207.35	2243.24
1	2223.22	2237.88
2	2190.10	2217.64
3	2199.41	2213.60
4	2210.22	2220.80
5	2212.72	2217.39
6	2208.62	2223.70

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-14. Temperatura de flama adiabática, gasolina VS Temperatura de flama adiabática, gasolina-HHO

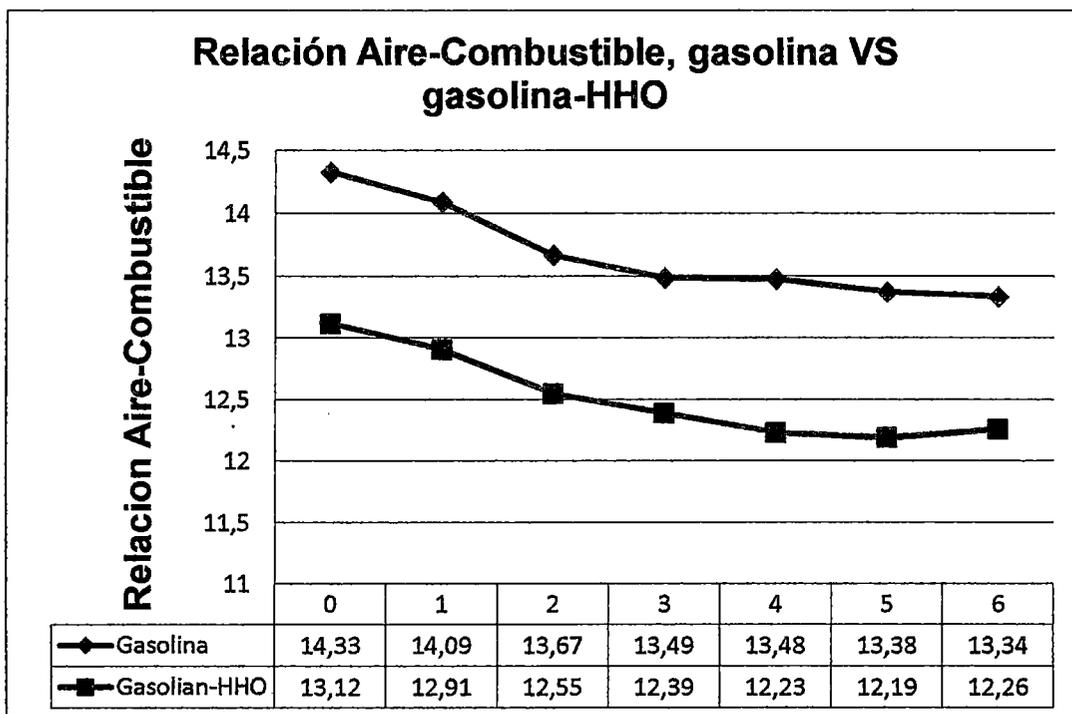
Referente a la tabla 4-20 y su respectivo gráfico 4-14, se observa que la mezcla gasolina-HHO, presenta valores mayores en toda la curva con referencia a la gasolina, esto debido a que la entalpia de combustión está relacionada directamente, teniendo valores para la mezcla gasolina-HHO, este hecho se debe a que el HHO, aporta su energía en la combustión.

Lo que indica que al utilizar la mezcla gasolina-HHO se obtiene mayores valores de temperatura de flama adiabática.

Tabla 4-25. Tabla comparativa entre relación aire combustible.

N° de focos	Gasolina	Gasolina - HHO
	A/C	A/C
0	14.33	13.12
1	14.09	12.91
2	13.67	12.55
3	13.49	12.39
4	13.48	12.23
5	13.38	12.19
6	13.34	12.26

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-15. Relación Aire-Combustible, gasolina VS gasolina-HHO.

Referente a la tabla 4-21 y su respectivo gráfico 4-15, obtenemos que la curva de la gasolina presenta mayores valores con respecto a la mezcla, esto debido a que el HHO ocupa un volumen dentro de la cámara de combustión, desplazando al aire.

4.7. DESEMPEÑO AMBIENTAL.

La problemática ambiental hoy tiene una dimensión global, es decir involucra a todo el planeta, el calentamiento global y el efecto invernadero son fenómenos que actualmente se están presentando y con el transcurso de los años se acrecentaran sino hacemos algo al respecto.

Se llama efecto invernadero al fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar, este fenómeno es esencial para la vida proporcionando la temperatura y el clima adecuados. La mayoría de los gases invernadero, como el CO₂, metano y óxido nitroso, están normalmente presentes en la atmósfera debido a procesos naturales.

El efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana. Actualmente el CO₂ y CO presente en la atmósfera está creciendo de

modo no natural por las actividades humanas, principalmente por la combustión de carbón, petróleo y gas natural que está liberando el carbono almacenado en estos combustibles fósiles.

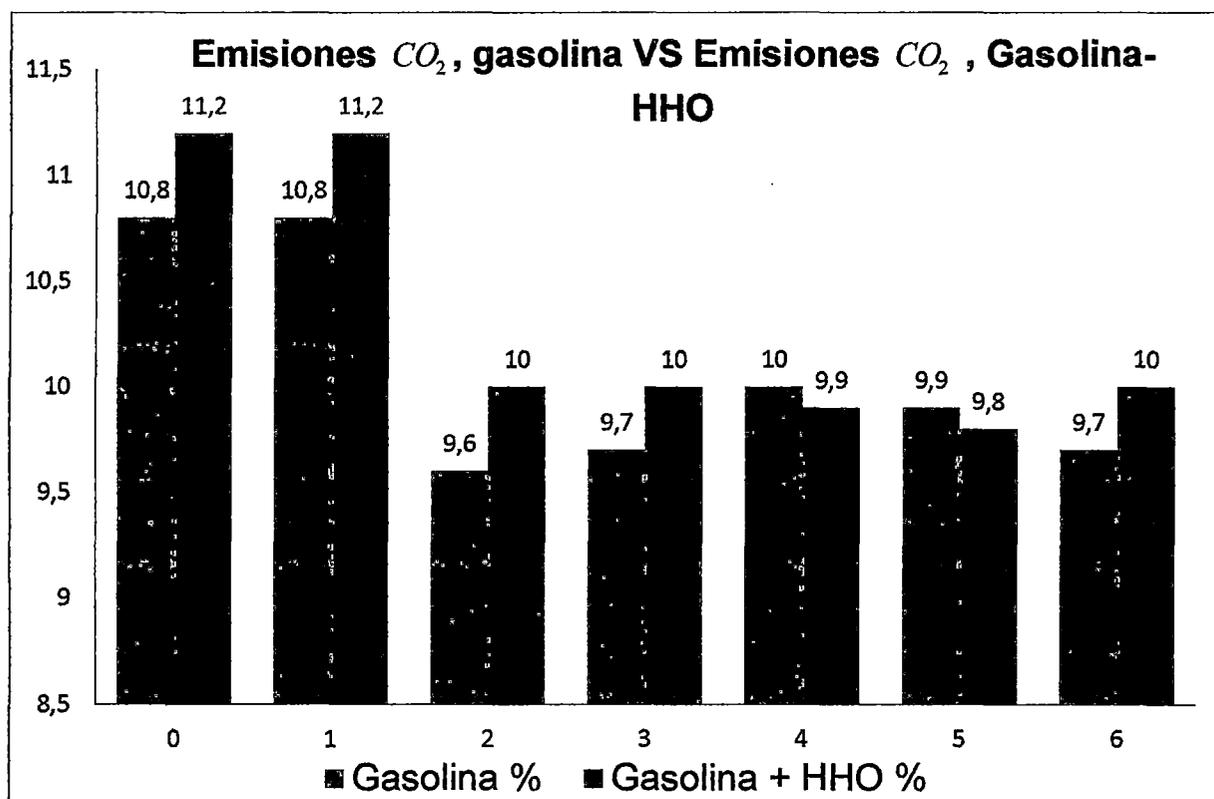
A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4-26. Tabla comparativa entre relación aire combustible.

Carga	Gasolina	Gasolina - HHO
	CO ₂ %	CO ₂ %
0	10.8	11.2
1	10.8	11.2
2	9.6	10
3	9.7	10
4	10	9.9
5	9.9	9.8
6	9.7	10

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1 EMISIONES DE CO₂.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-16. Emisiones CO₂, gasolina VS Emisiones CO₂, gasolina-HHO.

Referente a la tabla 2-26 y su respectivo gráfico 4.16. se observan un incremento en de los porcentajes de CO_2 , teniendo como valores máximos 10.8 % para la gasolina con una carga de cero focos, respecto al valor de 11.2% para la mezcla gasolina-HHO. Debemos indicar que en una combustión ideal todo el carbono contenido en el combustible debe convertirse en CO_2 , en la medida que se incremente el porcentaje de CO_2 se mejora la combustión.

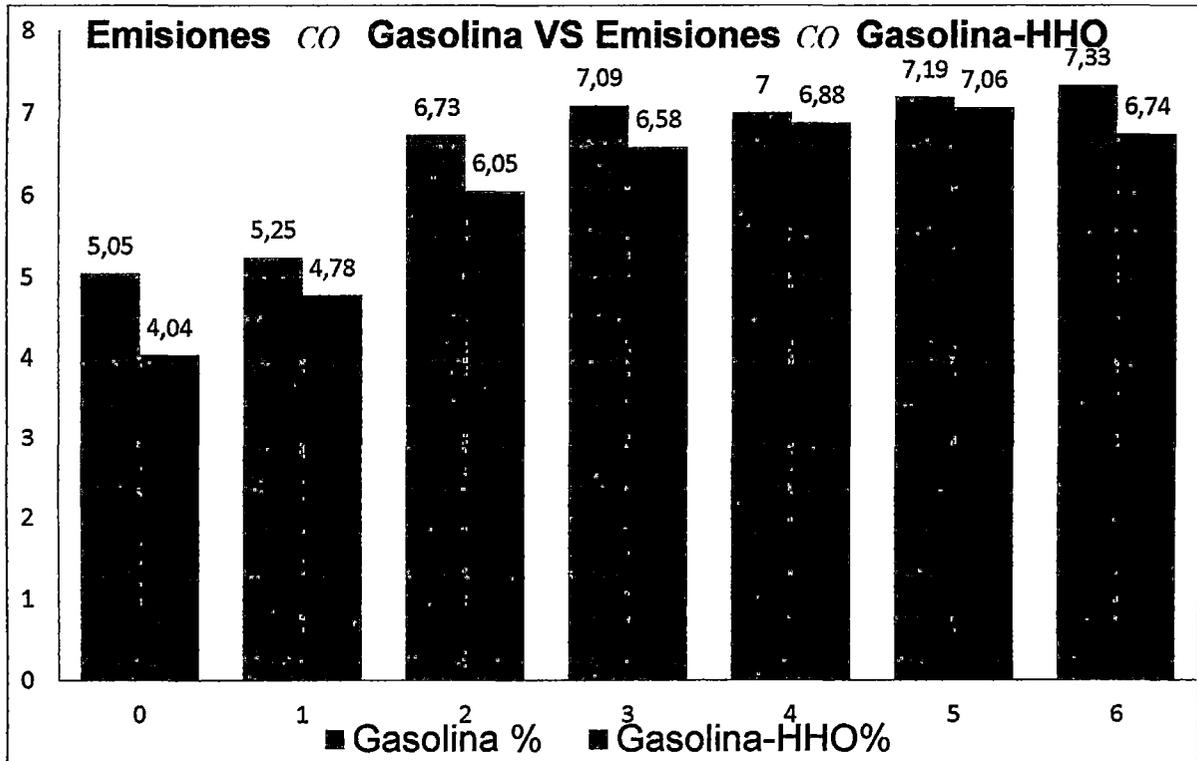
Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO mejora la combustión de la gasolina.

4.7.2. EMISIONES DE CO.

Tabla 4-27. Tabla comparativa entre relación aire combustible.

Carga	Gasolina	Gasolina - HHO
	CO %	CO %
0	5.05	4.04
1	5.25	4.78
2	6.73	6.05
3	7.09	6.58
4	7	6.88
5	7.19	7.06
6	7.33	6.74

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4-17. Emisiones CO , gasolina VS Emisiones CO , gasolina-HHO.

Referente a la tabla 2-27 y su respectivo gráfico 4.17. se observan un descenso de los porcentajes de CO , teniendo como valores máximos 7.33 % para la gasolina con una carga de seis (6) focos, respecto al valor de 6.88% para la mezcla gasolina-HHO para una carga de cuatro (4) focos. Este porcentaje de CO se debe a la mala combustión dentro de la cámara de combustión, en la medida que se disminuya el porcentaje de CO se mejora la combustión.

Lo que indica que la mezcla gasolina-HHO mejora la combustión de la gasolina reduciendo el porcentaje de CO .

Finalmente referente a las tablas 4-26, 4-27 y las gráficas 4-16, 4-17 se observa un mejoramiento en la combustión del motor del generador.

4.8 COSTO DE LA EXPERIMENTACIÓN.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Costo total
generador de luz	honda	ep650	2	Und.	1000	2000.00
kit generador de HHO	Greenfuel	GfX4 38 plate	1	kit	1000	2560.00
fuentes de poder	micronics	MXP4-400W	3	Und.	150	450.00
bastidor			1	Pza.	250	250.00
agua destilada			16	lt	3	48.00
KOH			1	lb	100	100.00
ertalon			20	cm	5	100.00
focos	euroluz		10	Und.	2.5	25.00
sokets	euroluz		10	Und.	1.3	13.00
interrutor			10	Und.	1.8	18.00
cable			20	Und.	0.6	12.00
cinta aislante	3M		5	Und.	2.5	12.50
enchufe			1	Und.	3	3.00
termo magnético			1	Und.	15	15.00
fabricación en ertalon			5	Pza.	30	150.00
galonera			1	Und.	27	27.00
aceite motor	honda		3	Lt.	30	90.00
lentes de seguridad			2	Und.	7	14.00
cable poder			3	Und.	6	18.00
tacómetro	Victor		1	Und.	200	200.00
manguera			1	Und.	10.5	10.50
sellador			1	Und.	8	8.00
manguera 3/4			10	m.	2	20.00
válvula esferica 1/2			1	Und.	5	5.00
Conexión T pbc			1	Und.	2	2.00
pinza amperimetrica	konstar	ks 2802	1	Und.	150	150.00
rodajes			2	Und.	5	10.00
gasolina			10	Gln.	11.5	115.00
mueble			1	Pza.	400	400.00
varios					300	300.00
					SI.	7126.00

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. La inclusión del hidrógeno en su estado de HHO incrementa la potencia nominal del motor Honda modelo EP650 de 322.18W a 360.13W que equivale al 11.8% de incremento de potencia nominal. El oxihidrogeno dinamiza el proceso de combustión, rompiendo literalmente las moléculas de hidrocarburos haciéndolos quemar más rápidamente y eficientemente, extrayendo una mayor cantidad de energía del combustible que se traduce en mayor potencia.
2. La oferta de potencia nominal del generador Honda EP650 a nivel del mar es de 550W, sin embargo durante la experimentación a una altura de 3300 m.s.n.m. se registró una potencia nominal de 322.18W para una carga de 400W.
3. Las emisiones de CO₂ del motor utilizando la gasolina son de 10% en volumen, mientras que las emisiones de CO₂ utilizando hidrógeno en su estado HHO son de 9,9% para una carga de 400W. Al quemarse mejor el combustible se produce una mayor cantidad de CO₂ que libera alrededor de 3.5 veces más energía que cuando se forma CO.
4. Las emisiones de CO son de 7% en volumen utilizando la gasolina mientras que utilizando hidrógeno en su estado HHO son de 6.88% lo que equivale a una reducción del 1.174% para este parámetro. Cuanto menor sea la producción de CO significa que una mayor cantidad de hidrocarburo se está convirtiendo en CO₂ lo que significa una mejor combustión.
5. Para una carga nominal de 400 W se produce 9 moles de vapor de agua al utilizar gasolina, mientras que para la misma carga se tiene una proporción de mezcla de 1 mol de gasolina y 0.48 moles de hidrogeno en su forma HHO que produce 9.48 moles de vapor de agua, lo que equivale a un incremento de 5.33% de vapor de agua al utilizar el HHO. El HHO al combustionar dentro de la cámara, ayuda a que una mayor parte del hidrogeno presente en el hidrocarburo se convierta en vapor de agua y no en hidrocarburos no combustionados.

RECOMENDACIONES

- Hacer más estudios referentes a la generación y empleo del Hidrogeno.
- Diseñar un sistema de ventilación del carter para evitar explosiones dentro de este, al utilizar el gas HHO.
- Diseñar un mezclador similar al de los sistemas GLP para introducir el Hidrogeno al motor.
- Diseñar un sistema variable para adelantar o retrasar el salto de chispa.
- Utilizar una fuente variable tanto para corriente y voltaje, este hará que se tenga una producción del gas HHO controlado.

ANEXOS

PAGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.seas.es/>

<http://www.ariema.com/>

<http://agrupasuma.com/forum/topics/instituto-internacional-de-hho>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>

<http://aeh2.org/>

<http://reyhidrogeno.blogspot.com>

http://grupos.emagister.com/experimento_hidrogeno/5621

www.greenfuelh2o.com

www.honda.com.pe

<http://www.panacea-bocaf.org/hydroxygas.htm>

<http://www.hhoforums.com/>

http://www.youtube.com/watch?v=tC_LrrZcx38&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=Yd8RJLi-9IA>

<http://www.youtube.com/watch?v=z1SAojDB-Uc>

<http://www.hho4free.com/>

<http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible/>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis>

<http://www.energia2012.es>

BIBLIOGRAFIA

1. Jovaj, M. S. "Motores el Automovil"
Moscú, Editorial MIR, 1986.
2. Heywood, John B. "Internal combustion Engine fundamentals". New York, Editorial McGraw-Hill Book Company, 1988.
3. Orlin, A. S. "Motores de Combustion Interna". Rusia, Editorial Construccion de máquinas, 1985.
4. Alvarez Florez, Jesus Andres, Ismael Callejon Agramunt. "Motores Alternativos de Combustion Interna", Barcelona, Editorial Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2005.
5. Alonzo Perez, Jose Manuel. "Tecnicas del Automovil". Madrid, España, Ediciones Paranifo, S.A. 2009.
6. Willard W. Pulkrabek. "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", New Jersey , editorial Prentice Hall, 2002.
7. Macedo Silva, Arturo, "Diseño de Motores de Combustion Interna". Perayoc, Editorial PRAMPESUR, Marzo 2002.
8. Seas Internacional "Tecnologías de Hidrogeno y Pilas de Combustible". España, Editorial SEAS Internacional.
9. Aguer Hortal, Mario. "El Hidrogeno, Fundamento de un Futuro Equilibrado". España , ediciones Dias de Santos S.A. 2005.
10. Rifkin Jeremy. "La Economía del Hidrogeno".New York, editorial Paidós, 2000.
11. Schifter Isaac. "Usos y Abusos de las Gasolinas". México DF, editorial La ciencia, 1998.
12. Broun Lemay Bursten. "Quimica y la Ciencia Central", New York, editorial PEARSON,2005.
13. Yunus A. Cengel "Termodinamica",
14. Fabrega Ramos Marc, "Hidrogeno Aplicación en Motores de Combustión Interna", Barcelona, Editorial Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2009.
15. A. Prades, Carlos. "Una Alternativa Energetica y Ambiental" España, Cathedra Juridica ,2006.
16. Granillo, Carlos. "Hidrogenesis". México,
17. Sofia Flores, "Balance de Energía y Materia",

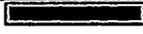
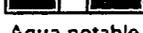
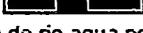
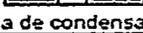
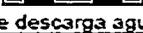
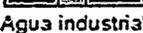
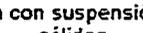
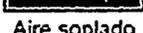
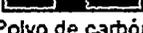
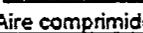
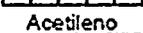
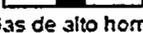
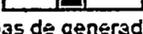
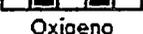
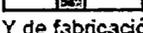
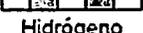
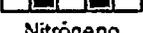
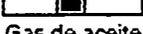
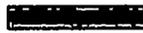
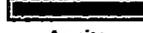
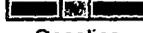
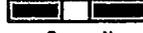
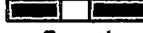
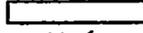
ANEXO B. REFERENTE AL CAPITULO II

TABLA B-1. IDENTIFICACION DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO A PRESIÓN

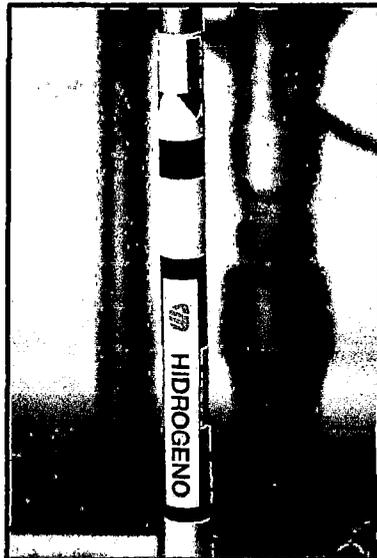
Gas	Fórmula química	Cuerpo (A)	Ojiba (B)	Franja (C)
Inflamables combustibles				
Acetileno	$\text{CH}=\text{CH}$	Rojo	Marrón	Marrón
Bromuro de vinilo (R1140B1)	$\text{CH}_2=\text{CH Br}$	Rojo	Verde	Blanco
Butadieno 1,3	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Rojo	Blanco	Gris
Buteno, 1 (butileno 1)	$\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}=\text{CH}_2$	Rojo	Blanco	Naranja
Ciclopropano	C_3H_6	Rojo	Naranja	Naranja
Cisbuteno, 2 (cistubileno)	$\text{CH}_3 \text{CH CH CH}_3$	Rojo	Blanco	Naranja
Cloruro de etilo (R-160)	$\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{Cl}$	Rojo	Blanco	Azul
Cloruro de metilo (R-40)	$\text{CH}_3 \text{Cl}$	Rojo	Verde	Verde
Cloruro de vinilo (R-1140)	$\text{CH}_2=\text{CH Cl}$	Rojo	Verde	Naranja
Deuterio	D_2	Rojo	Rojo	Rojo
1,1 difluoretano (R152A)	$\text{CH}_3 \text{CH F}_2$	Rojo	Gris	Marrón
1,1 difluoretileno (R1132A)	$\text{CH}_2=\text{CF}_2$	Rojo	Gris	Marrón
Difluor. 1,1 cloro; 1 etano (R142B)	$\text{CH}_3 \text{C Cl F}_2$	Rojo	Gris	Marrón
Dimetil silano	$\text{C}_2 \text{H}_6 \text{Si}$	Rojo	Verde	Violeta
Etano	$\text{C}_2 \text{H}_6$	Rojo	Blanco	Blanco
Etileno	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Rojo	Violeta	Violeta
Fluoruro de vinilo (R1141)	$\text{CH}_2=\text{CH F}$	Rojo	Blanco	Violeta
Hidrógeno	H_2	Rojo	Rojo	Rojo
Isobutano (metilpropano)	$(\text{CH}_3)_2 \text{CH CH}_3$	Rojo	Azul	Azul

Fuente: SEAS Internacional.

TABLA B-2. IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS TRANSPORTADAS POR TUBERIAS

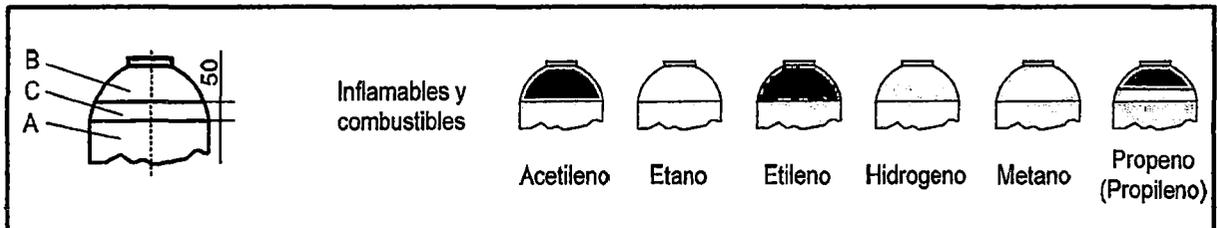
Aplicación para:	Color de señalización	Colores para señalización de tuberías	Din 2403
Vapor	Rojo	 Vapor saturado hasta 6 Atm	 Vapor sobrealeintado a más de 25 Atm
		 Vapor sobrecalentado hasta 25 Atm	 Vapor de descarga
Agua	Verde	 Agua caliente	 Agua salina o madre
		 Agua potable	 Agua de río agua potable
		 Agua de condensación	 Agua de descarga agua sucia
		 Agua industrial	 Agua con suspensión de sólidos
Aire	Azul	 Aire soplado	 Polvo de carbón
		 Aire caliente	 Aire de descarga
		 Aire comprimido	
Gas	Amarillo	 Gas de alto homo purificado	 Acetileno
		 Gas de alto homo	 Ácido carbónico
		 Gas de generador	 Oxígeno
		 Gas ilum. Y de fabricación de coke	 Hidrógeno
		 Gas de agua	 Nitrógeno
		 Gas de aceite	 Amoniaco
Ácido	Naranja	 Ácido	 Ácido concentrado
Alcalíes	lila	 Alcalíes	 Alcalíes concentrados
Aceite	Marrón	 Aceite	 Gasolina
		 Gas-oil	 Benzol
		 Aceite de añquitrán	
Alquitrán	Negro	 Alquitran	
Vacio	Grís	 Vacío	 Alto vacío

Fuente: SEAS Internacional.



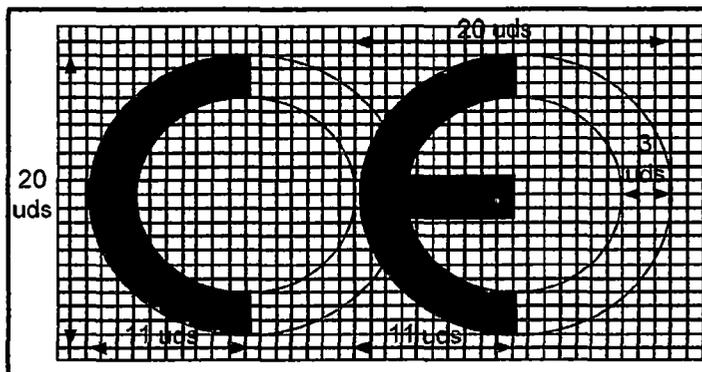
Fuente: SEAS Internacional.

FIGURA B-1. Identificación de una tubería de hidrogeno. Estación de servicio de hidrogeno de Valdespartera (Zaragoza)



Fuente: SEAS Internacional.

FIGURA B-2. Identificación de sistemas de almacenamiento de Hidrógeno



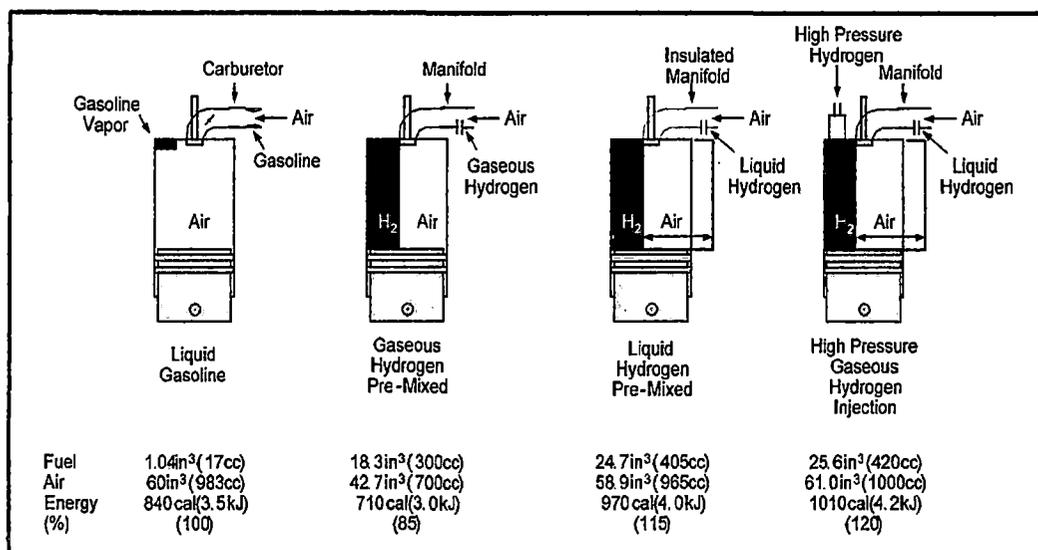
Fuente: SEAS Internacional.

FIGURA B-3. Marcado CE

TABLA B-3. NORMAS PUBLICADAS POR EL ISO/TC 197

Normas Publicadas por el Comité Técnico Internacional Tecnologías del Hidrógeno (ISO/TC 197)	
ISO 13.984:1.999	Liquid hydrogen - Land vehicle fuelling system interface
ISO 13.985:2.006	Liquid hydrogen - Land vehicle fuel tanks
ISO 14687:1.999/Cor 1:2.001	Hydrogen fuel - Product specification
ISO/TS 14.687-2:2.008	Hydrogen fuel – Product specification - Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles
ISO/PAS 15.594:2.004	Airport hydrogen fuelling facility operations
ISO/TS 15.869:2.009	Gaseous hydrogen and hydrogen blends - Land vehicle fuel tanks
ISO/TR 15.916:2.007	Basic considerations for the safety of hydrogen systems.
ISO 16.110-1:2.007	Hydrogen generators using fuel processing technologies - Part 1: Safety
ISO 16110-2:2010	Hydrogen generators using fuel processing technologies- Part 2: Test methods for performance
ISO/TS 16.111:2.006	Transportable gas storage devices - Hydrogen absorbed in reversible metal hydrides
ISO 17.268:2.006	Compressed hydrogen surface vehicle refuelling connection devices
ISO TS 20.100:2.008	Gaseous hydrogen - Fuelling stations
ISO 22.734 - 1:2.008	Hydrogen generators using water electrolysis process: Part 1: Industrial and commercial applications
ISO/CD 14.687 - 2 (IS)	Hydrogen Fuel — Product Specification — Part 2: PEM fuel cell applications for road vehicles
ISO/NP 14.687 - 3	Hydrogen Fuel — Product Specification — Part 3: PEM fuel cell applications for stationary appliances

Fuente: SEAS Internacional.



Fuente: SEAS Internacional.

Figura B-4. COMPARACIÓN DE VOLÚMENES Y CONTENIDO EN ENERGÍA PARA MOTORES DE HIDRÓGENO Y DE GASOLINA.

ANEXO D. REFERENTE AL CAPITULO IV

TABLA D-1. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL NITRÓGENO N₂

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	600	17.563	12.574	212.066
220	6.391	4.562	182.639	610	17.864	12.792	212.564
230	6.683	4.770	183.938	620	18.166	13.011	213.055
240	6.975	4.979	185.180	630	18.468	13.23	213.541
250	7.266	5.188	186.370	640	18.772	13.45	214.018
260	7.558	5.396	187.514	650	19.075	13.671	214.489
270	7.849	5.604	188.614	660	19.380	13.892	214.954
280	8.141	5.813	189.673	670	19.685	14.114	215.413
290	8.432	6.021	190.695	680	19.991	14.337	215.866
298	8.669	6.190	191.502	690	20.297	14.56	216.314
300	8.723	6.229	191.682	700	20.604	14.784	216.756
310	9.014	6.437	192.638	710	20.912	15.008	217.192
320	9.306	6.645	193.562	720	21.220	15.234	217.624
330	9.597	6.853	194.459	730	21.529	15.46	218.059
340	9.888	7.061	195.328	740	21.839	15.686	2184.72
350	10.180	7.270	196.173	750	22.149	15.913	218.889
360	10.471	7.478	196.995	760	22.460	16.141	219.301
370	10.763	7.687	197.794	770	22.772	16.37	219.709
380	11.055	7.895	198.572	780	23.085	16.599	220.113
390	11.347	8.104	199.331	790	23.398	16.83	220.512
400	11.64	8.314	200.071	800	23.714	17.061	220.907
410	11.932	8.523	200.794	810	24.027	17.292	221298
420	12.225	8.733	201.499	820	24.342	17.524	221.684
430	12.518	8.943	202.189	830	24.658	17.757	222.067
440	12.811	9.153	202.863	840	24.974	17.99	222.467
450	13.105	9.363	203.523	850	25.292	18.224	222.822
460	13.399	9.574	204.170	860	25.610	18.459	223.194
470	13.693	9.786	204.803	870	25.928	18.695	223.562
480	13.988	9.997	205.424	880	26.248	18.931	223.927
490	14.285	10.210	206.033	890	26.568	19.168	224.288
500	14.581	10.423	206.630	900	26.890	19.407	224.647
510	14.876	10.635	207.216	910	27.210	19.644	225.002
520	15.172	10.848	207.792	920	27.532	19.883	225.353
530	15.496	11.062	208.358	930	27.854	20.122	225.701
540	15.766	11.277	208.914	940	28.178	20.362	226.047
550	16.064	11.492	209.461	950	28.501	20.603	226.389
560	16.363	11.707	209.999	960	28.826	20.844	226.728

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-1. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL NITRÓGENO N₂(CONTINUACIÓN)

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$
1000	30.129	21.815	228.057	1760	56.227	41.594	247.396
1020	30.784	22.304	228.706	1780	56.938	42.139	247.798
1040	31.442	22.795	229.344	1800	57.651	42.685	248.195
1060	32.101	23.288	229.973	1820	58.363	43.231	248.589
1080	32.762	23.782	320.591	1840	59.075	43.777	248.979
1100	33.426	24.28	231.199	1860	59.709	44.324	249.365
1120	34.092	24.78	231.799	1880	60.504	44.873	249.748
1140	34.76	25.282	232.391	1900	61.22	45.423	250.128
1160	35.43	25.786	232.973	1920	61.936	45.973	250.502
1180	36.104	26.291	233.549	1940	52.654	46.524	250.874
1200	36.777	26.779	234.115	1960	63.381	47.075	251.242
1220	37.452	27.308	234.673	1980	64.09	47.627	251.607
1240	38.129	27.819	235.223	2000	64.81	48.181	251.969
1260	38.807	28.331	235.766	2050	66.612	49.567	252.858
1280	39.488	28.845	236.302	2100	68.417	50.957	253.726
1300	40.17	29.361	236.831	2150	70.226	52.351	254.578
1320	40.853	29.378	237.353	2200	72.04	53.749	255.412
1340	41.539	30.398	237.867	2250	73.856	55.149	256.227
1360	42.227	30.319	238.376	2300	75.676	56.553	257.027
1380	42.915	31.441	238.878	2350	77.496	57.958	257.81
1400	43.605	31.964	239.375	2400	79.32	59.366	258.58
1420	44.295	32.489	239.865	2450	81.149	60.779	259.332
1440	44.988	33.014	240.35	2500	82.981	62.195	260.073
1460	45.682	33.543	240.827	2550	84.814	63.613	260.799
1480	46.377	34.071	241.301	2600	86.65	65.033	261.512
1500	47.073	34.601	241.768	2650	88.488	66.455	262.213
1520	47.771	35.133	242.228	2700	90.328	67.88	262.902
1540	48.47	35.665	242.685	2750	92.171	69.306	263.577
1560	49.168	36.197	243.137	2800	94.014	70.734	264.241
1580	49.869	36.732	243.585	2850	95.859	72.163	264.895
1600	50.571	37.268	244.028	2900	97.705	73.593	265.583
1620	51.275	37.806	244.464	2950	99.566	75.028	266.17
1640	51.98	38.344	244.896	3000	101.407	76.454	266.793
1660	52.686	38.884	245.324	3050	103.26	77.902	267.404
1680	53.393	39.424	245.747	3100	105.115	79.341	268.007
1700	54.099	39.965	246.166	3150	106.972	80.782	268.601
1720	54.807	40.507	246.58	3200	108.83	82.224	269.186
1740	55.516	41.049	246.99	3250	110.69	83.668	269.763

Fuente: Termodinamica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-2. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL OXÍGENO O₂

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	600	17.929	12.94	226.346
220	6.404	4.575	196.171	610	18.25	13.178	226.877
230	6.694	4.782	197.461	620	18.572	13.417	227.4
240	6.984	4.989	198.696	630	18.895	13.657	227.918
250	7.275	5.197	199.885	640	19.219	13.898	228.429
260	7.566	5.405	201.027	650	19.544	14.14	228.932
270	7.858	5.613	202.128	660	19.87	14.383	229.43
280	8.15	5.822	203.191	670	20.197	14.626	229.92
290	8.443	6.032	204.218	680	20.524	14.871	230.405
298	8.862	6.203	205.033	690	20.854	15.116	230.885
300	8.736	6.242	205.213	700	21.184	15.364	231.358
310	9.03	6.453	206.177	710	21.514	15.611	231.827
320	9.325	6.664	207.112	720	21.845	15.859	232.291
330	9.62	6.877	208.02	730	22.177	16.107	232.748
340	9.916	7.09	208.904	740	22.51	16.357	233.201
350	10.213	7.303	209.765	750	22.844	16.607	233.649
360	10.511	7.518	210.604	760	23.178	16.859	234.091
370	10.809	7.733	211.423	770	23.513	17.111	234.528
380	11.109	7.949	212.222	780	23.85	17.364	234.96
390	11.409	8.166	231.002	790	24.186	17.618	235.387
400	11.711	8.384	213.765	800	24.523	17.872	385.81
410	12.012	8.603	214.51	810	24.861	18.126	236.23
420	12.314	8.822	215.241	820	25.199	18.382	236.644
430	12.618	9.043	215.955	830	25.537	18.637	237.055
440	12.923	9.264	216.656	840	25.877	18.893	237.462
450	13.228	9.487	217.342	850	26.218	19.15	237.864
460	13.525	9.71	218.016	860	26.559	19.408	238.264
470	13.842	9.935	218.676	870	26.899	19.666	238.66
480	14.151	10.16	219.326	880	27.242	19.925	239.051
490	14.46	10.386	219.963	890	27.584	20.185	239.439
500	14.770	10.614	220.589	900	27.928	20.445	239.823
510	15.082	10.842	221.206	910	28.272	20.706	240.203
520	15.395	11.071	221.812	920	28.616	20.967	240.58
530	15.708	11.301	222.409	930	28.96	21.228	240.953
540	16.022	11.533	222.997	940	26.306	21.491	241.323
550	16.338	11.765	223.576	950	29.652	21.754	241.686
560	16.654	11.998	224.146	960	29.999	22.017	242.052
570	16.971	12.232	224.708	970	30.345	22.28	242.411
580	17.290	12.467	225.262	980	30.692	22.544	242.768

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-2. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL OXÍGENO O₂ (CONTINUACIÓN)

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
1000	31.389	23.075	243.471	1760	58.88	44.247	263.861
1020	32.088	23.607	244.164	1780	59.624	44.825	264.283
1040	32.7889	24.142	244.844	1800	60.371	45.406	264.701
1060	33.49	24.677	245.513	1820	61.118	45.986	265.113
1080	34.194	25.214	246.171	1840	61.866	46.568	265.521
1100	34.899	25.753	246.818	1860	62.616	47.151	265.925
1120	35.606	26.294	247.454	1880	63.365	47.734	266.326
1140	36.314	26.836	248.081	1900	64.116	48.319	266.722
1160	37.023	27.379	248.698	1920	64.868	48.904	267.115
1180	37.743	27.923	249.307	1940	65.62	49.49	267.505
1200	38.447	28.469	249.906	1960	66.374	50.078	267.891
1220	39.162	29.018	250.497	1980	67.127	50.665	268.275
1240	39.877	29.568	251.079	2000	67.881	51.253	268.655
1260	50.594	30.118	251.653	2050	69.772	52.727	269.588
1280	41.312	30.67	252.219	2100	71.668	54.208	270.504
1300	42.033	31.224	252.776	2150	73.573	55.697	271.399
1320	42.753	31.778	253.325	2200	75.484	57.192	272.278
1340	43.745	32.334	253.868	2250	77.397	58.69	273.136
1360	44.198	32.891	254.404	2300	79.316	60.193	273.891
1380	44.523	33.449	254.932	2350	81.243	61.704	274.809
1400	45.648	34.008	255.454	2400	83.174	63.219	275.625
1420	46.374	34.567	255.968	2450	85.112	64.742	276.424
1440	47.102	35.129	256.475	2500	87.057	66.271	277.207
1460	47.831	35.692	256.978	2550	89.004	67.802	277.979
1480	48.561	36.256	257.474	2600	90.956	69.339	278.378
1500	49.292	36.821	257.965	2650	92.916	70.883	279.485
1520	50.024	37.387	258.45	2700	94.881	72.433	280.219
1540	50.756	37.952	258.928	2750	96.852	73.987	280.942
1560	51.49	38.52	259.402	2800	98.826	75.546	281.654
1580	52.224	39.088	259.87	2850	100.808	77.112	282.357
1600	52.961	39.658	260.333	2900	102.793	72.682	283.048
1620	53.696	40.227	260.791	2950	104.785	80.258	283.728
1640	54.434	40.799	261.242	3000	106.78	81.837	284.399
1660	55.172	41.37	261.69	3050	108.778	83.419	285.06
1680	55.912	41.944	262.132	3100	110.784	85.009	285.713
1700	56.652	42.517	262.571	3150	112.795	86.601	286.355
1720	57.394	43.093	263.005	3200	114.809	88.203	286.989
1740	58.136	43.669	263.435	3250	11.827	89.204	287.614

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

**TABLA D-3. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL DIÓXIDO DE CARBONO CO₂
(CONTINUACIÓN)**

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	600	22.228	17.291	243.199
220	6.601	4.772	202.966	610	22.754	17.683	243.983
230	6.938	5.026	204.464	620	22.231	18.076	244.758
240	7.28	5.285	205.92	630	23.709	18.471	245.524
250	7.627	5.548	207.377	640	24.19	18.869	246.282
260	7.979	5.817	208.717	650	24.674	19.27	247.032
270	8.335	6.091	210.062	660	25.16	19.672	247.773
280	8.697	6.369	211.376	670	25.648	20.078	248.507
290	9.063	6.651	213.685	680	26.138	20.484	249.233
298	9.364	6.885	213.915	690	26.631	20.894	249.952
300	9.431	6.939	215.146	700	27.127	21.305	250.663
310	9.807	7.23	216.351	710	27.622	21.719	251.368
320	10.186	7.526	217.534	720	28.121	22.134	252.065
330	10.57	7.826	218.694	730	28.622	22.522	253.755
340	10.959	8.131	219.831	740	29.124	22.972	253.439
350	11.351	8.439	220.948	750	29.629	23.393	254.117
360	11.748	8.752	22.044	760	20.135	23.817	254.787
370	12.148	9.068	223.122	770	30.644	24.242	255.452
380	12.552	9.392	224.182	780	31.154	24.669	256.11
390	12.96	9.718	225.225	790	31.665	25.097	256.762
400	13.372	10.046	226.25	800	32.179	25.527	257.408
410	13.787	10.378	226.25	810	32.694	25.969	258.048
420	14.206	10.714	227.258	820	33.212	26.394	258.682
430	14.628	11.053	228.252	830	33.73	26.829	259.311
440	15.054	11.393	229.23	840	34.251	27.267	259.934
450	15.483	11.742	230.194	850	34.773	27.706	260.551
460	15.916	12.091	231.144	860	35.296	28.125	261.164
470	16.351	12.444	232.08	870	35.821	28.588	261.77
480	16.791	12.8	233.004	880	36.347	29.031	262.371
490	17.232	13.158	233.196	890	36.876	29.476	262.968
500	17.678	13.521	234.814	900	37.405	29.922	263.559
510	18.126	13.885	235.7	910	37.935	30.369	264.146
520	18.576	14.253	236.575	920	38.467	30.818	264.728
530	19.029	14.622	237.439	930	39	31.268	265.304
540	19.485	14.996	238.292	940	39.535	31.719	265.877
550	19.945	15.372	239.135	950	40.07	32.171	266.444
560	20.407	15.751	239.962	960	40.607	32.625	267.007
570	20.870	16.131	240.789	970	41.145	33.081	267.566
580	21.337	16.515	241.602	980	41.685	33.537	268.119

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-3. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL DIÓXIDO DE CARBONO CO₂(CONT)

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
1000	42.769	34.455	269.215	1760	86.42	71.787	301.543
1020	43.859	35.378	270.293	1780	87.612	72.812	302.217
1040	44.953	36.306	271.354	1800	88.806	73.840	302.884
1060	46.051	37.238	272.400	1820	90.000	74.868	303.544
1080	47.153	38.174	273.430	1840	91.196	75.897	304.198
1100	48.258	39.112	274.445	1860	92.394	76.929	304.845
1120	49.369	40.057	275.444	1880	93.593	77.962	305.487
1140	50.484	41.006	276.430	1900	94.793	78.996	306.122
1160	51.602	41.957	277.403	1920	95.995	80.031	306.751
1180	52.724	42.913	278.361	1940	97.197	81.067	307.374
1200	53.848	43.871	297.307	1960	98.401	82.105	307.992
1220	54.977	44.834	280.238	1980	99.606	83.144	308.604
1240	56.108	45.799	281.158	2000	100.804	84.185	309.210
1260	57.244	46.768	282.066	2050	103.835	86.791	310.401
1280	58.381	47.739	282.962	2100	106.864	89.404	312.160
1300	59.522	48.713	283.847	2150	109.898	92.023	313.589
1320	60.666	49.691	284.722	2200	112.939	94.648	314.988
1340	61.813	50.672	285.586	2250	115.984	97.277	316.356
1360	62.963	51.656	286.439	2300	119.035	99.912	317.695
1380	64.116	52.643	287.283	2350	122.091	102.552	319.011
1400	65.271	53.631	288.106	2400	125.152	105.197	320.302
1420	66.427	54.621	288.934	2450	128.219	107.849	321.566
1440	67.586	55.614	289.743	2500	1312.29	110.504	322.808
1460	68.748	56.609	290.542	2550	134.368	113.166	324.026
1480	66.911	57.606	291.333	2600	137.449	115.832	325.222
1500	71.078	58.606	292.114	2650	140.533	118.500	326.396
1520	72.246	59.609	292.888	2700	143.620	121.172	327.549
1540	73.417	60.613	292.654	2750	146.713	123.849	238.684
1560	74.590	61.620	294.411	2800	149.808	126.528	329.800
1580	76.767	62.630	295.161	2850	152.908	129.212	330.896
1600	76.944	63.741	295.901	2900	156.009	131.898	331.975
1620	78.123	64.653	296.632	2950	159.117	134.589	333.037
1640	79.203	65.668	297.356	3000	162.226	137.258	334.084
1660	80.486	66.592	298.072	3050	165.341	139.982	335.114
1680	81.570	67.702	298.781	3100	168.456	142.681	336.126
1700	82.856	68.721	299.482	3150	171.576	145.385	337.124
1720	84.043	69.742	300.117	3200	174.695	148.089	338.109
1740	85.231	70.764	300.863	3250	177.822	150.801	339.069

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-4. PROPIEDADES DE GAS IDEAL MONÓXIDO DE CARBONO CO

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	600	17.611	12.622	218.204
220	6.391	4.562	188.683	610	17.915	12.843	218.708
230	6.683	4.771	189.98	620	18.221	13.066	219.205
240	6.975	4.979	191.221	630	18.527	13.289	219.695
250	7.266	5.188	192.411	640	18.833	13.512	220.179
260	7.558	5.396	193.554	650	19.141	13.736	221
270	7.849	5.604	194.654	660	19.449	13.962	221.127
280	8.14	5.812	195.713	670	19.758	14.187	221.592
290	8.432	6.02	196.735	680	20.068	14.414	22.052
298	8.669	6.19	197.543	690	20.378	14.641	222.505
300	8.723	6.229	197.723	700	20.69	14.87	222.953
310	9.014	6.437	198.678	710	21.002	15.099	223.396
320	9.306	6.645	199.603	720	21.315	15.328	223.833
330	9.597	6.854	200.5	730	21.628	15.558	224.265
340	9.889	7.062	201.371	740	21.643	15.789	224.692
350	10.181	7.271	202.217	750	22.258	16.022	225.115
360	10.473	7.48	203.04	760	22.573	16.255	225.533
370	10.765	7.689	203.842	770	22.89	16.488	225.947
380	11.058	7.899	204.622	780	23.208	16.723	226.357
390	11.351	8.108	205.383	790	23.526	16.957	226.762
400	11.644	8.319	206.125	800	23.844	17.193	22.162
410	11.938	8.529	206.85	810	24.194	17.429	227.559
420	12.232	8.74	207.549	820	24.483	17.665	227.952
430	12.526	8.951	208.252	830	24.803	17.902	228.339
440	12.821	9.163	208.929	840	25.124	18.14	228.724
450	13.116	9.375	209.593	850	25.446	18.379	229.106
460	13.412	9.587	210.243	860	25.768	18.617	229.482
470	13.708	9.8	210.88	870	26.061	18.858	229.856
480	14.005	10.014	211.504	880	26.415	19.099	230.227
490	14.302	10.228	212.117	890	26.74	19.341	230.593
500	14.6	10.443	212.719	900	27.066	19.583	230.957
510	14.898	10.658	213.31	910	27.392	19.826	231.317
520	15.197	10.874	213.89	920	27.719	20.07	231.674
530	15.497	11.09	214.46	930	28.046	20.314	232.028
540	15.797	11.307	215.02	940	28.375	20.559	232.379
550	16.097	11.524	215.572	950	28.703	20.805	232.727
560	16.399	11.743	216.115	960	29.033	21.051	233.072
570	16.701	11.961	216.649	970	29.362	21.298	233.413
580	17.003	12.181	217.175	980	29.693	21.545	233.752

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

**TABLA D-4. PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL MONOXIDO DE CARBONO CO
(CONTINUACIÓN)**

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
1000	30.355	22.041	234.421	1760	56.756	42.123	253.991
1020	31.020	22.540	235.039	1780	57.473	42.673	254.398
1040	31.688	23.041	235.728	1800	58.191	43.225	254.797
1060	32.357	23.544	236.364	1820	58.91	43.778	255.194
1080	33.029	24.049	236.992	1840	59.629	44.331	255.587
1100	33.702	24.577	237.609	1860	60.351	44.886	255.976
1120	34.377	25.065	238.217	1880	61.072	45.441	256.361
1140	35.054	25.575	238.817	1900	61.794	45.997	256.743
1160	35.733	26.088	239.407	1920	62.516	46.552	257.122
1180	36.406	26.602	239.989	1940	63.238	47.108	257.497
1200	37.095	27.118	240.663	1960	63.961	47.665	257.868
1220	37.780	27.637	241.128	1980	64.684	48.221	258.236
1240	38.466	28.160	241.686	2000	65.408	48.78	258.6
1260	39.154	28.678	242.236	2050	67.224	50.179	259.494
1280	39.844	29.201	242.78	2100	69.044	51.584	260.37
1300	40.534	29.725	243.316	2150	70.864	52.998	261.226
1320	41.226	30.251	243.844	2200	72.688	54.396	262.065
1340	41.919	30.778	244.366	2250	74.516	55.089	262.887
1360	42.613	31.306	244.88	2300	76.345	57.222	263.692
1380	43.309	31.836	245.388	2350	78.178	58.64	264.48
1400	44.007	32.367	245.889	2400	80.015	60.06	265.253
1420	44.707	32.900	246.385	2450	81.852	61.482	266.012
1440	45.408	33.434	246.876	2500	83.692	62.906	266.755
1460	46.110	33.9781	247.36	2550	85.537	64.335	267.485
1480	46.813	34.508	247.839	2600	87.383	65.766	268.202
1500	47.517	35.046	248.312	2650	89.32	67.197	268.905
1520	48.222	35.584	248.778	2700	91.077	68.628	269.596
1540	48.928	36.124	249.24	2750	92.93	70.066	270.285
1560	49.635	36.665	249.695	2800	94.784	71.504	270.943
1580	50.334	37.207	250.147	2850	96.639	72.945	271.602
1600	51.053	38.75	251.033	2900	98.495	74.383	272.429
1620	51.763	38.293	251.47	2950	100.352	75.825	272.884
1640	52.472	38.837	251.901	3000	102.21	77.267	273.508
1660	53.184	39.382	252.329	3050	104.073	78.215	274.123
1680	53.895	39.927	252.129	3100	105.939	80.164	274.73
1700	54.609	40.474	252.751	3150	107.802	81.612	275.326
1720	55.323	41.023	253.169	3200	109.667	83.061	275.914
1740	56.039	41.572	253.582	3250	111.5340	84.513	276.494

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición

TABLA D-5. PROPIEDADES DE GAS IDEAL HIDRÓGENO H₂

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	1440	42.808	30.835	177.41
260	7.37	5.209	126.636	1480	44.092	31.786	178.291
270	7.657	4.000	127.719	1520	45.384	32.746	179.153
280	7.945	5.412	128.765	1560	46.683	33.713	179.995
290	8.233	5.617	129.775	1600	47.990	34.667	180.820
298	8.468	5.822	130.574	1640	49.303	35.668	181.632
300	8.522	5.959	130.754	1680	50.622	36.654	182.428
320	9.100	6.027	132.621	1720	51.947	37.646	183.208
340	9.680	6.440	134.378	1760	53.279	38.645	183.973
360	10.262	6.853	136.039	1800	54.618	39.652	184.724
380	10.843	7.268	137.612	1840	55.962	40.663	185.463
400	11.426	7.684	139.106	1880	57.311	41.680	186.190
420	12.010	8.100	140.529	1920	58.668	42.705	186.904
440	12.594	8.518	141.888	1960	60.031	43.735	187.607
460	13.179	8.936	143.187	2000	61.400	44.771	188.297
480	13.764	9.355	144.432	2050	63.119	46.074	189.148
500	14.350	9.773	145.628	2100	64.847	47.386	189.979
520	14.935	10.193	146.775	2150	66.584	48.708	190.796
560	16.107	10.611	148.945	2200	68.328	50.037	191.598
600	17.280	11.451	150.968	2250	70.080	51.373	192.385
640	18.453	12.291	152.863	2300	71.889	52.716	193.159
680	19.630	13.133	154.645	2350	73.608	54.069	193.921
720	20.807	13.976	156.328	2400	75.383	55.429	194.669
760	21.988	14.821	157.923	2450	77.168	56.798	195.403
800	23.171	15.669	159.440	2500	78.960	58.175	196.125
840	24.359	16.520	160.891	2550	80.755	59.554	196.837
880	25.551	17.375	162.277	2600	82.558	60.941	197.539
920	26.747	18.235	163.607	2650	84.368	62.335	198.229
960	27.948	19.098	164.884	2700	86.186	63.737	198.907
1000	29.154	19.966	166.114	2750	88.008	65.144	199.575
1040	30.354	20.839	167.300	2800	89.838	65.558	200.234
1080	31.580	21.717	168.449	2850	91.671	67.976	200.885
1120	32.802	22.601	169.560	2900	93.512	69.401	201.527
1160	34.028	23.490	170.636.0	2950	95.358	70.831	202.157
1200	35.262	24.384	171.682	3000	97.211	72.268	202.778
1240	36.502	25.284	172.698	3050	99.065	73.707	203.391
1280	37.749	26.192	173.687	3100	100.926	75.152	203.995
1320	39.002	27.106	174.652	3150	102.793	76.604	204.592
1360	40.263	28.027	175.593	3200	104.667	78.061	205.181
1400	41.530	28.955	176.510	3250	106.545	79.523	205.765

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-6. PROPIEDADES DE GAS IDEAL VAPOR DE AGUA H₂O

T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$	T K	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	\bar{s}° $kJ/kmol.K$
0	0	0	0	600	20.402	15.413	212.92
220	7.295	5.466	178.576	610	20.765	15.693	213.529
230	7.628	5.715	180.054	620	21.13	15.975	214.122
240	7.961	5.965	181.471	630	21.495	16.257	214.707
250	8.294	6.215	182.813	640	21.861	16.541	215.285
260	8.627	6.466	184.139	650	22.23	16.826	215.856
270	8.961	6.716	185.399	660	22.6	17.112	216.419
280	9.296	6.968	186.616	670	22.97	17.399	216.976
290	9.631	7.219	187.791	680	23.342	17.688	217.527
298	9.904	7.425	188.72	690	23.714	17.978	218.071
300	9.966	7.472	188.928	700	24.088	18.268	218.61
310	10.302	7.725	190.03	710	24.464	18.561	129.142
320	10.639	7.978	191.098	720	24.84	18.854	219.688
330	10.976	8.232	192.136	730	25.218	19.148	220.189
340	11.314	8.487	193.144	740	25.597	19.444	220.707
350	11.652	8.742	194.125	750	26.977	19.741	221.215
360	11.992	8.998	195.081	760	26.358	20.039	221.72
370	12.331	9.255	196.012	770	26.741	20.339	222.221
380	12.672	9.513	196.92	780	27.125	20.639	222.207
390	13.014	9.771	197.807	790	27.51	20.941	223.207
400	13.356	10.03	198.673	800	27.896	21.245	223.693
410	13.699	10.29	199.521	810	28.284	31.549	224.174
420	14.043	10.551	200.35	820	28.672	21.855	224.651
430	14.388	10.813	201.16	830	29.062	22.162	225.123
440	14.734	11.075	201.955	840	29.454	22.47	225.592
450	15.08	11.339	202.734	850	29.846	22.779	226.057
460	15.428	11.603	203.497	860	30.240	23.09	226.517
470	15.777	11.869	204.247	870	30.635	23.402	226.973
480	16.126	12.135	204.982	880	31.032	23.415	227.426
490	16.477	12.403	205.705	890	32.429	24.049	227.875
500	16.828	12.671	206.413	900	31.828	24.345	228.321
510	17.181	12.94	207.112	910	32.228	24.662	228.763
520	17.534	13.211	207.799	920	32.629	24.98	229.202
530	17.889	13.482	208.475	930	33.032	25.3	229.637
540	18.245	13.755	209.139	940	33.436	25.621	230.07
550	18.601	14.028	209.795	950	33.841	25.943	230.499
560	18.959	14.303	210.44	960	34.247	26.265	230.924
570	19.318	14.579	211.075	970	34.653	26.588	231.347
580	19.678	14.856	211.702	980	35.061	26.913	231.757
590	20.039	15.134	212.32	990	35.472	27.24	232.184

Fuente: Termodinamica Yunus Cengel 6ta Edición

TABLA D-6. PROPIEDADES DE GAS IDEAL VAPOR DE AGUA H₂O (CONTINUACIÓN)

T k	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.k$	T k	\bar{h} $kJ/kmol$	\bar{u} $kJ/kmol$	s° $kJ/kmol.k$
1000	35.882	27.568	232.597	1760	70.535	55.902	258.151
1020	36.709	28.228	233.415	1780	71.523	56.723	258.708
1040	37.542	28.895	234.223	1800	72.513	57.547	259.262
1060	38.380	29.567	235.020	1820	73.507	58.375	259.811
1080	39.223	30.243	235.806	1840	74.506	59.207	260.357
1100	40.071	30.925	236.584	1860	75.506	60.042	260.898
1120	40.923	31.611	237.352	1880	76.511	60.880	261.436
1140	41.780	32.301	238.110	1900	77.517	61.720	261.969
1160	42.642	32.997	238.859	1920	78.527	64.564	262.497
1180	43.509	33.698	239.600	1940	79.540	63.411	263.022
1200	44.380	34.403	240.333	1960	80.555	64.259	263.542
1220	45.256	35.112	241.051	1980	81.573	65.111	264.059
1240	46.137	35.827	241.773	2000	82.593	65.965	264.571
1260	47.022	36.546	242.482	2050	85.156	68.111	265.838
1280	47.912	37.270	243.183	2100	87.735	70.275	267.081
1300	48.807	38.000	243.877	2150	90.330	72.454	268.301
1320	49.707	38.732	244.564	2200	92.940	74.649	269.500
1340	50.612	39.470	245.243	2250	95.562	76.855	270.679
1360	51.521	40.213	245.915	2300	98.199	79.076	271.839
1380	52.434	40.960	246.582	2350	100.846	81.308	272.978
1400	53.351	41.711	247.241	2400	103.508	83.553	274.098
1420	54.273	42.466	247.895	2450	106.183	85.811	275.201
1440	55.198	43.226	248.543	2500	108.868	88.082	276.286
1460	56.128	43.989	249.185	2550	111.565	90.364	277.354
1480	57.062	44.756	249.820	2600	114.273	92.656	278.407
1500	57.999	45.528	250.450	2650	116.991	94.958	279.441
1520	58.942	46.304	251.074	2700	119.717	97.269	280.462
1540	59.888	47.084	251.693	2750	122.453	99.588	280.464
1560	60.838	47.868	252.305	2800	125.198	101.917	282.453
1580	61.792	48.655	252.912	2850	127.952	104.256	283.249
1600	62.748	49.445	253.513	2900	130.717	106.605	284.390
1620	63.709	50.240	254.111	2950	133.486	108.959	285.338
1640	64.675	51.039	254.703	3000	136.264	111.321	286.273
1660	65.643	51.841	255.290	3050	139.051	113.692	287.194
1680	66.614	52.640	255.873	3100	141.846	116.072	288.102
1700	67.589	53.455	256.450	3150	144.648	118.458	288.999
1720	68.567	54.267	257.022	3200	147.457	120.851	289.884
1740	69.550	55.083	257.589	3250	150.272	123.250	290.756

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

TABLA D-7. ENTALPIA DE FORMACION, ENTROPIA ABSOLUTA.

Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
Acetileno	C ₂ H ₂ (g)	+226,730	+209,170	200.85
Agua	H ₂ O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282.59
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(l)	-277,690	-174,890	160.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(g)	-200,670	-162,000	239.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(l)	-238,660	-166,360	126.80
Amoniaco	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192.33
Benceno	C ₆ H ₆ (g)	+82,930	+129,660	269.20
n-butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310.12
Carbón	C(s)	0	0	5.74
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	-393,520	-394,360	213.80
n-dodecano	C ₁₂ H ₂₆ (g)	-291,010	+50,150	622.83
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229.49
Etileno	C ₂ H ₄ (g)	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	0	130.68
Hidrógeno	H(g)	+218,000	+203,290	114.72
Hidroxilo	OH(g)	+39,460	+34,280	183.70
Metano	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186.16
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Nitrógeno	N ₂ (g)	0	0	191.61
Nitrógeno	N(g)	+472,650	+455,510	153.30
n-octano	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	+16,530	466.73
n-octano	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	O ₂ (g)	0	0	205.04
Oxígeno	O(g)	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232.63
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269.91
Propileno	C ₃ H ₆ (g)	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188.83

Fuente: De JANAF, *Thermochemical Tables*, Midland, MI, Dow Chemical Co., 1971. *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; y *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953.

Fuente: Termodinámica Yunus Cengel 6ta Edición.

ANEXO E.

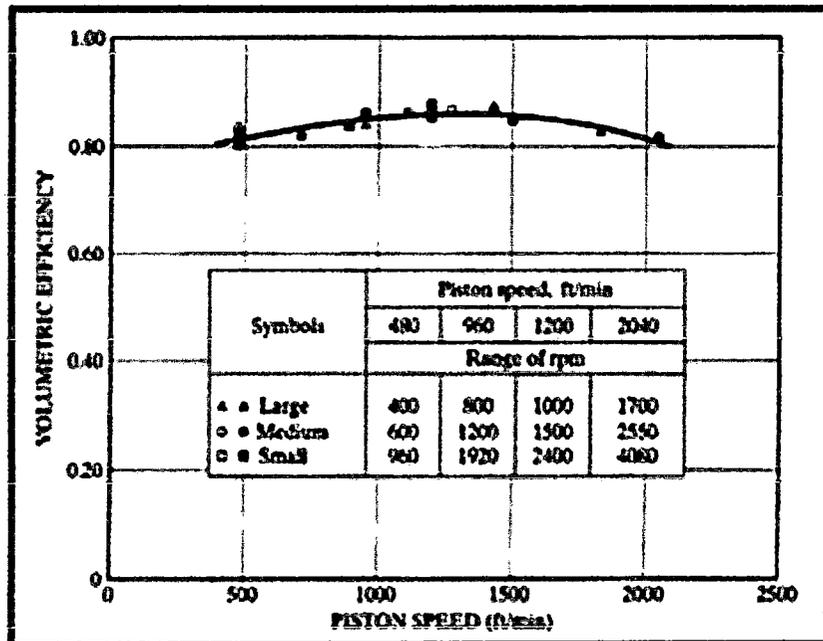
TABLA E-1. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES.

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	4,5	600

(3) Vehículos menores de 50 cc no requieren prueba de emisiones.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Gráfico. E-2. VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA CON LA VELOCIDAD DEL PISTÓN.



Fuente: Dialnet. Diseño de un mezclador aire-biogás, Fabio Andrés Bermejo Altamar, Wilman Antonio Orozco Lozan.

ANEXO F. PARAMETROS CALCULADOS

TABLA F-1. GASOLINA.

Pot. Electrica	perdidas	$\eta_s [W]$	$Ne [W]$	$Me [Nm]$	$P_{nc} [MPa]$	$G_c [Kg/h]$	$g_c [g/kW-h]$	$G_s [Kg/h]$	η_v	α	η_c	$Q_c [W]$	$Q_s [W]$
98.70	48.86	0.67	147.56	0.395	0.065	0.357	24.198.542	56.881	0.845	1.066	0.0335	4403.80	147.56
194.40	96.23	0.67	290.63	0.789	0.130	0.386	13.297.775	55.752	0.840	0.965	0.0610	4766.47	290.63
285.80	141.47	0.67	427.27	1.173	0.194	0.402	9.404.684	54.463	0.830	0.907	0.0862	4955.96	427.27
322.20	159.49	0.67	481.69	1.386	0.229	0.438	9.093.004	51.332	0.820	0.784	0.0892	5402.00	481.69
313.30	155.08	0.67	468.38	1.512	0.250	0.389	8.312.277	45.208	0.810	0.777	0.0975	4801.78	468.38
261.00	129.20	0.67	390.20	1.401	0.232	0.341	8.735.530	40.125	0.800	0.787	0.0928	4203.89	390.20

TABLA F-2. MEZCLA GASOLINA-HHO

Pot. Electrica	perdidas	$\eta_s [W]$	$Ne [W]$	$Me [Nm]$	$P_{nc} [MPa]$	$G_c [Kg/h]$	$g_c [g/kW-h]$	$G_s [Kg/h]$	η_v	α	η_c	$Q_c [W]$	$Q_s [W]$
103.31	51.14	0.67	154.45	0.403	0.067	0.237	15.356.847	56.881	0.824	1.604	0.0286	5402.53	154.45
203.15	100.56	0.67	303.71	0.804	0.133	0.304	10.015.061	55.752	0.819	1.226	0.0438	6928.24	303.71
292.97	145.02	0.67	437.99	1.189	0.196	0.393	8.982.238	54.463	0.821	0.926	0.0489	8961.08	437.99
360.13	178.26	0.67	538.39	1.508	0.249	0.416	7.723.387	51.332	0.798	0.826	0.0568	9471.52	538.39
370.40	183.35	0.67	553.75	1.653	0.273	0.408	7.369.318	45.208	0.749	0.741	0.0596	9295.03	553.75
336.25	166.44	0.67	502.69	1.668	0.276	0.353	7.026.660	40.125	0.739	0.760	0.0625	8045.70	502.69

ANEXO G.

$$V_h = 76.4 \text{ cm}^3$$

$$\rho_o = 0.827 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_v = 0.85$$

$$n = 3600$$

$$\tau = 2$$

$$SxD = 46x46\text{mm}$$

$$\alpha = 1$$

$$l_o = 14.95$$

CONSUMO DE AIRE (G_{aire})

$$G_{aire} = V_h \rho_o \eta_v \frac{n}{\tau} i$$

$$G_{aire} = 0.0764 \times 0.827 \times 0.85 \times \frac{3600}{2} \times \frac{60}{1000}$$

$$G_{aire} = 5.80 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (G_{comb})

$$G_{comb} = \frac{G_{aire}}{\alpha l_o}$$

$$G_{comb} = \frac{5.80}{1 \times 14.95}$$

$$G_{comb} = 0.388 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$G_{comb} = 388 \frac{\text{gr}}{\text{hr}}$$

cilindrada	76,4	cm3	$\dot{m}_a = 3600 \eta_v V_h i \rho_o \frac{n}{120}$						
								teorico	experimental
nro tiempos	4	T							
vol comb	100	ml							
Temp	17	°K							
presion bar.	686	mbar	rpm	ma kg/hr	Gc kg/hr	Gc kg/hr	error %		
	514,7	mmHg	3620	5,832	0,390	0,331	15,27		
Densidad aire	0,827	kg/m3	3570	5,752	0,385	0,357	7,19		
Hu	44,4	MJ/kg	3520	5,671	0,379	0,386	1,88		
carrera	0,046	m	3480	5,607	0,375	0,402	7,14		
nv	0,85		3320	5,349	0,358	0,438	22,42		
i	1		2960	4,769	0,319	0,389	22,05		
R a/c	14,95		2660	4,286	0,287	0,341	18,90		

ANEXO H. HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES.

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.



Hoja de Datos de Seguridad de Materiales

Pág. 1 de 4
Edición: Mayo 2012

1. PRODUCTO

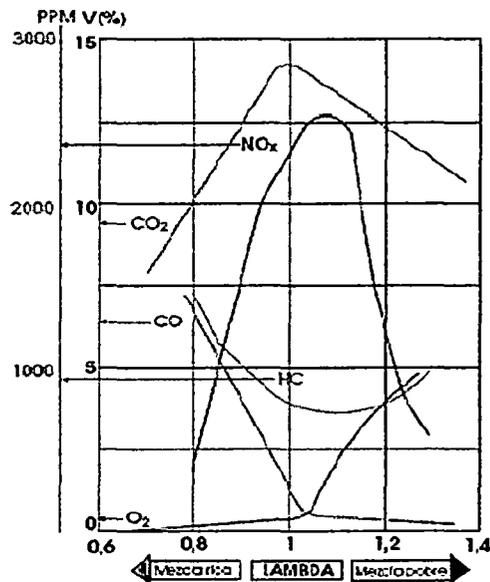
NOMBRE : DIESEL B5 S-50
NOMBRE COMERCIAL : DIESEL ULTRA PETROPERÚ

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

FÓRMULA	: Mezcla de Diesel N°2 con contenido máx de azufre de 50 ppm + 5% Biodiesel B100
APARIENCIA, COLOR, OLOR	: Líquido claro y brillante, color visual ámbar y olor característico.
GRAVEDAD ESPECÍFICA 15.6/15.6°C	: 0.82 – 0.87 aprox.
PUNTO DE INFLAMACIÓN, °C	: 52 mín.
LÍMITES DE INFLAMABILIDAD, % vol. en aire:	De 1.3 a 6.0
PUNTO DE AUTOIGNICIÓN, °C	: 257 aprox.
SOLUBILIDAD EN AGUA	: Insignificante
FAMILIA QUÍMICA	: Hidrocarburos (Derivado de petróleo).
COMPOSICIÓN	: Mezcla de 95% Diesel N°2 con contenido máx de azufre de 50 ppm + 5% Biodiesel B100.

Fuente: PetroPeru.com.pe

ANEXO. CURVA TÍPICA EMISIÓN GASES EN FUNCIÓN DE LAMBDA PARA UN MOTOR GENÉRICO ANTES DEL CATALIZADOR.



Fuente: wikipedia.com

ANEXO I. FICHA DE SEGURIDAD DEL HIDROGENO

TABLA F-1. FICHA DE SEGURIDAD.

 <p>FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO EN ARAGÓN</p>	<p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	<p>Página: 1 de 3</p>
		<p>Edición Revisada:</p> <p>Fecha: 10/10/2006</p> <p>Sustituye a la versión del:</p>
<p>HIDRÓGENO</p>		<p>Nº FDS: 067A</p>
 <p>Etiqueta 2.1 Gas Inflamable</p>		 <p>F+ Extremadamente Inflamable</p>
<p>1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA</p> <p>Nombre Comercial: HIDRÓGENO Fórmula Química: H₂ Identificación de la Compañía: FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO EN ARAGÓN, Parque Tecnológico Valga, Ctra. N-330, Km. 588, 22197 CUARTE (HUESCA). Número de teléfono De emergencia 974215258</p> <p>2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES</p> <p>Sustancia o mezcla: Sustancia Impurezas y componentes: No contiene otros componentes o impurezas que pueden influir en la clasificación del producto Nº CAS: 1333-740 Nº CEE: 215-805-7</p> <p>3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</p> <p>Identificación de Riesgos Gas comprimido Extremadamente Inflamable</p> <p>4. PRIMEROS AUXILIOS</p> <p>Inhalación: A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la conciencia o de la movilidad. La víctima puede o no haberse dado cuenta de la asfixia. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar respiración artificial si se para la respiración. Ingestión: La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.</p>		<p>5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</p> <p>Riesgos específicos: La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes, Productos peligrosos de la combustión: Ninguno Medios de extinción adecuados: Se pueden utilizar todos los extintores conocidos Métodos específicos: Si es posible detener la fuga del producto. Sacar los recipientes al exterior o entrar con agua desde un lugar protegido. No extinguir una fuga de gas inflamable si no es absolutamente necesario. Se puede producir la Reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos. Equipo de protección especial para la actuación en incendios: En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva.</p> <p>6. MEDIDAS EN CASO DE ESCAPES/DERRAMES ACCIDENTALES</p> <p>Precauciones personales: Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. Evacuar el área. Asegurar la adecuada ventilación. Eliminar las fuentes de ignición. Precauciones para la protección del medio ambiente: Intentar parar el escape/derrame. Métodos de limpieza: Ventilar el área</p>

Fuente: SEAS Internacional.

TABLA G-2. FICHA DE SEGURIDAD

 <p>ORGANIZACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LAS REFINAS Y TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO EN ARGENTINA</p>	<p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	<p>Página: 2 de 3</p>																																																										
		<p>Edición Revisada:</p> <p>Fecha: 10/10/2008</p> <p>Sustituye a la versión del:</p>																																																										
<p>HIDRÓGENO</p>		<p>Nº FDS: 067A</p>																																																										
<p>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p> <p>Asegúrese que la instalación está adecuadamente conectada a tierra. Debe prevenirse la entrada de agua interior del recipiente. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacta con su suministrador. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Separar de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento. Mantener el recipiente por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado.</p> <p>8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL</p> <p>Protección Personal: Asegurar una ventilación adecuada. No fumar cuando se manipula el producto.</p> <p>9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</p> <table border="0"> <tr> <td>Peso molecular:</td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Tª fusión:</td> <td>-259°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tª ebullición:</td> <td>-253°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tª crítica:</td> <td>-240°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad relativa Del gas (aire=1):</td> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad relativa Del líquido (agua=1):</td> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Presión de vapor a 20°C:</td> <td>No aplicable</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Solubilidad en agua (mg/l):</td> <td>1.6mg/l</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Apariencia y color:</td> <td>Gas incoloro</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Olor:</td> <td>Ninguno</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tª autoignición:</td> <td>580°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango inflamabilidad (% volumen en aire):</td> <td>4 - 75</td> <td></td> </tr> </table> <p>Otros datos: Se quema con una llama invisible e inolora.</p> <p>10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</p> <p>Puede formar mezclas explosivas con el aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.</p> <p>11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA</p> <p>General: Este producto no produce efectos toxicológicos</p> <p>12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS</p> <p>Generales: No se conocen daños ecológicos causados por este producto.</p> <p>13. CONSIDERACIONES SOBRE ELIMINACIÓN</p> <p>General: No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antirretroceso de llama. No descargar dentro de ningún lugar donde sus acumulación pudiera ser peligrosa.</p> <p>14. INFORMACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE</p> <table border="0"> <tr> <td>Nombre propio</td> <td>Hidrógeno comprimido.</td> </tr> <tr> <td>Para el transporte:</td> <td>1049</td> </tr> <tr> <td>Nº ONU:</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Clase y División:</td> <td>1F</td> </tr> <tr> <td>Código clasificación</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>ADR/RID:</td> <td>Etiqueta 2.1: Gas inflamable</td> </tr> <tr> <td>Nº de riesgo de</td> <td>Pág. 2148</td> </tr> <tr> <td>ADR/RID:</td> <td>Clase 2.1 Carga.</td> </tr> <tr> <td>Etiquetado según</td> <td>Recomendaciones de seguridad en caso de accidente (CEFIC):</td> </tr> <tr> <td>ADR:</td> <td>-Nº producto: 20</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-Nº de grupo: 20G04</td> </tr> </table> <p>Otras informaciones para el transporte: Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no está separado del comportamiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que sabe que hacer en caso de un accidente o de una emergencia. Antes de transportar las botellas: Asegurarse que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan. Asegurarse que el tapón de acoplamiento de la válvula (cuando exista) está adecuadamente apretado. Asegurarse que la caperuza de la válvula o la tulpia (cuando exista) está adecuadamente apretada. Asegurar una ventilación adecuada. Asegurarse de cumplir con la legislación aplicable.</p>			Peso molecular:		2	Tª fusión:	-259°C		Tª ebullición:	-253°C		Tª crítica:	-240°C		Densidad relativa Del gas (aire=1):	0.07		Densidad relativa Del líquido (agua=1):	0.07		Presión de vapor a 20°C:	No aplicable		Solubilidad en agua (mg/l):	1.6mg/l		Apariencia y color:	Gas incoloro		Olor:	Ninguno		Tª autoignición:	580°C		Rango inflamabilidad (% volumen en aire):	4 - 75		Nombre propio	Hidrógeno comprimido.	Para el transporte:	1049	Nº ONU:	2.1	Clase y División:	1F	Código clasificación	23	ADR/RID:	Etiqueta 2.1: Gas inflamable	Nº de riesgo de	Pág. 2148	ADR/RID:	Clase 2.1 Carga.	Etiquetado según	Recomendaciones de seguridad en caso de accidente (CEFIC):	ADR:	-Nº producto: 20		-Nº de grupo: 20G04
Peso molecular:		2																																																										
Tª fusión:	-259°C																																																											
Tª ebullición:	-253°C																																																											
Tª crítica:	-240°C																																																											
Densidad relativa Del gas (aire=1):	0.07																																																											
Densidad relativa Del líquido (agua=1):	0.07																																																											
Presión de vapor a 20°C:	No aplicable																																																											
Solubilidad en agua (mg/l):	1.6mg/l																																																											
Apariencia y color:	Gas incoloro																																																											
Olor:	Ninguno																																																											
Tª autoignición:	580°C																																																											
Rango inflamabilidad (% volumen en aire):	4 - 75																																																											
Nombre propio	Hidrógeno comprimido.																																																											
Para el transporte:	1049																																																											
Nº ONU:	2.1																																																											
Clase y División:	1F																																																											
Código clasificación	23																																																											
ADR/RID:	Etiqueta 2.1: Gas inflamable																																																											
Nº de riesgo de	Pág. 2148																																																											
ADR/RID:	Clase 2.1 Carga.																																																											
Etiquetado según	Recomendaciones de seguridad en caso de accidente (CEFIC):																																																											
ADR:	-Nº producto: 20																																																											
	-Nº de grupo: 20G04																																																											

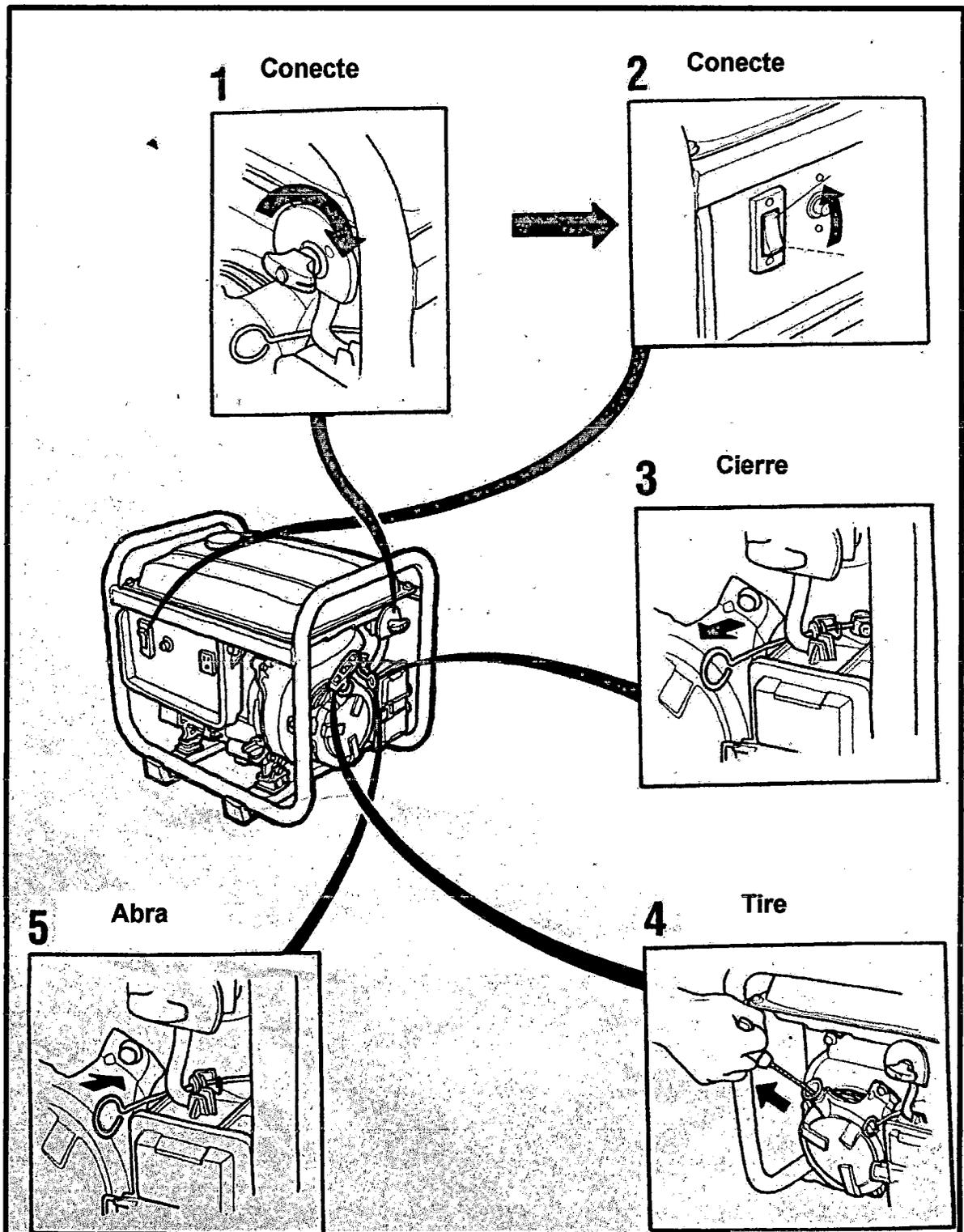
Fuente: SEAS Internacional.

TABLA G-2. FICHA DE SEGURIDAD (Continuación)

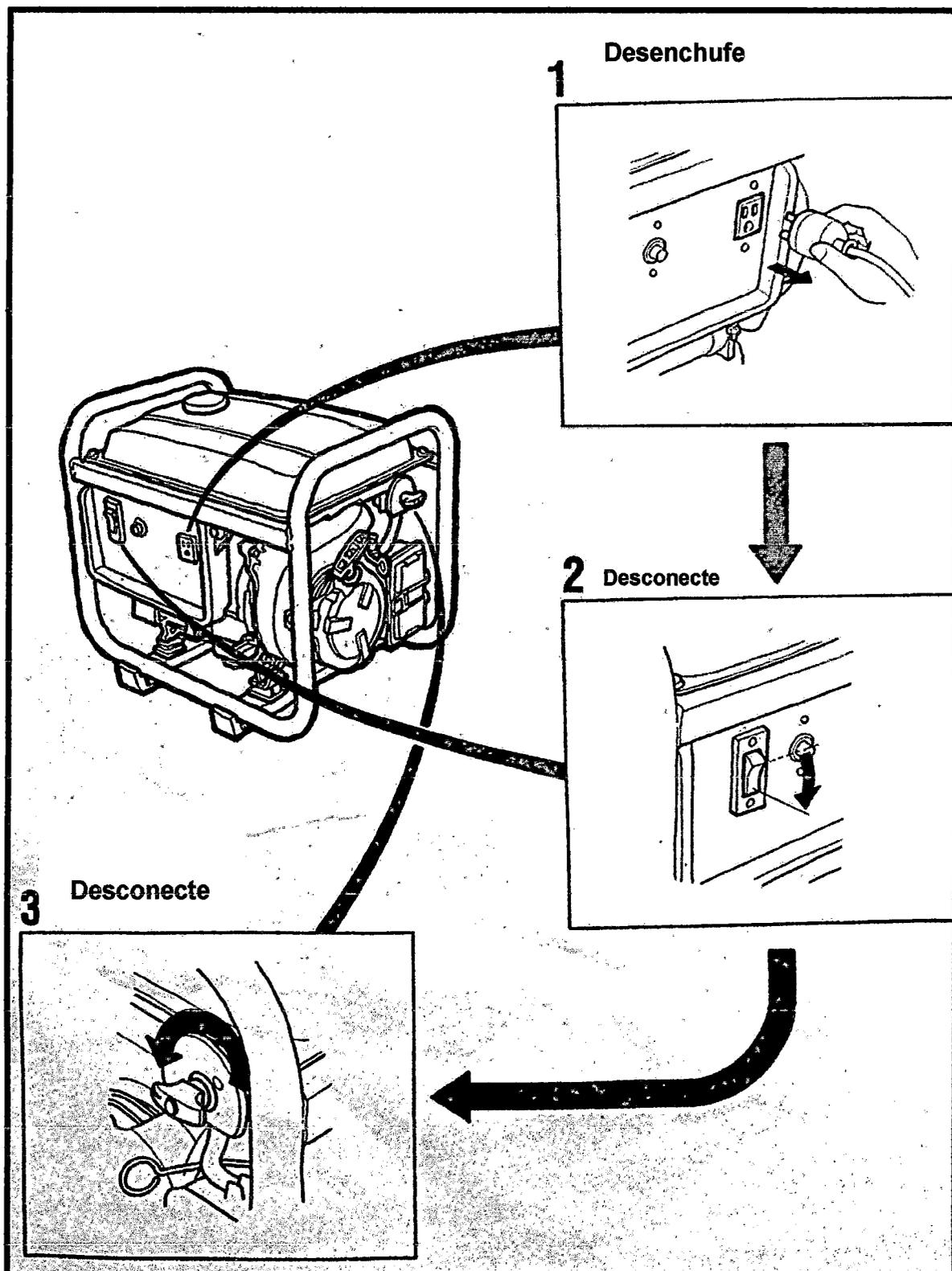
 <p>FERTILIZACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL HÍDRÓGENO EN AZÚCAR</p>	<p>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</p>	<p>Página: 3 de 3 Edición Revisada: Fecha: 10/10/2006 Sustituye a la versión del:</p>
<p>HIDRÓGENO</p>		<p>Nº FDS: 067A</p>
<p>15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA</p>		
<p>Nº en el Anexo I de la</p>		
<p>Directiva 67/548: 001-001-00-9</p>		
<p>Clasificación CEE: F+; R12</p>		
<p>Pictogramas: F+; Extremadamente Inflamable.</p>		
<p>Frases de Riesgo: R12: Extremadamente inflamable</p>		
<p>Frase de Seguridad:</p>		
<p>S9: Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.</p>		
<p>S16: Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas – No fumar.</p>		
<p>S33: Evitese la acumulación de cargas electrostáticas</p>		
<p>16. OTRAS INFORMACIONES</p>		
<p>Asegúrese que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad,</p>		
<p>El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios.</p>		
<p>Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo</p>		
<p>de seguridad y de compatibilidad de los materiales.</p>		
<p>Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión. La</p>		
<p>presente ficha de datos de Seguridad está establecida</p>		
<p>de acuerdo con las Directivas Europeas en vigor y se aplica a todos los países que han transpuesto las</p>		
<p>Directivas en su derecho nacional.</p>		

Fuente: SEAS Internacional.

ANEXO J-1. ENCENDIDO DEL GENERADOR



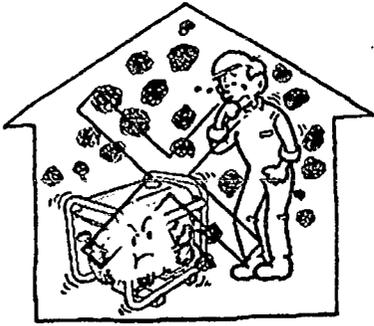
ANEXO J-2. PARADA DEL GENERADOR



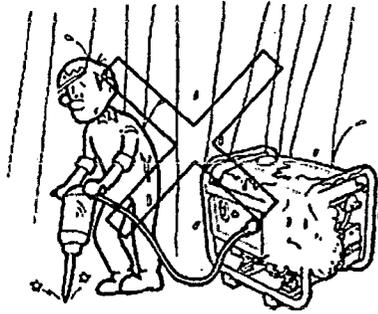
ANEXO J-3. SEGURIDAD AL UTILIZAR EL GENERADOR

Tenga cuidado

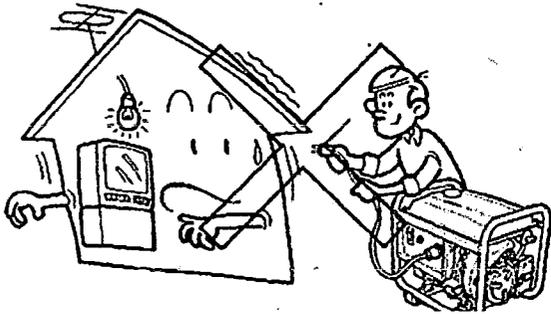
No utilice dentro de la casa



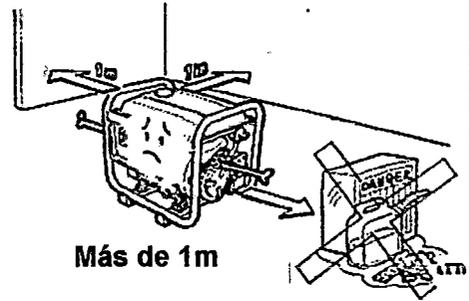
**No utilice en condiciones
Húmedas**



**No lo conecte al circuito de la red
eléctrica**



**Manténgalo apartado de productos
inflamables**

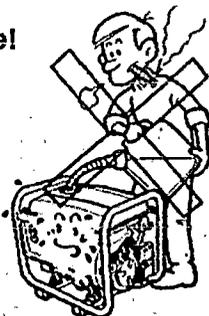


Quando rellene combustible

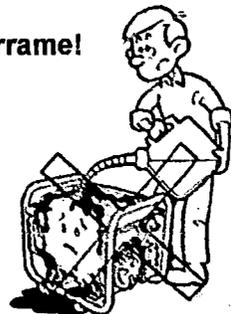
**¡Detenga
el motor!**



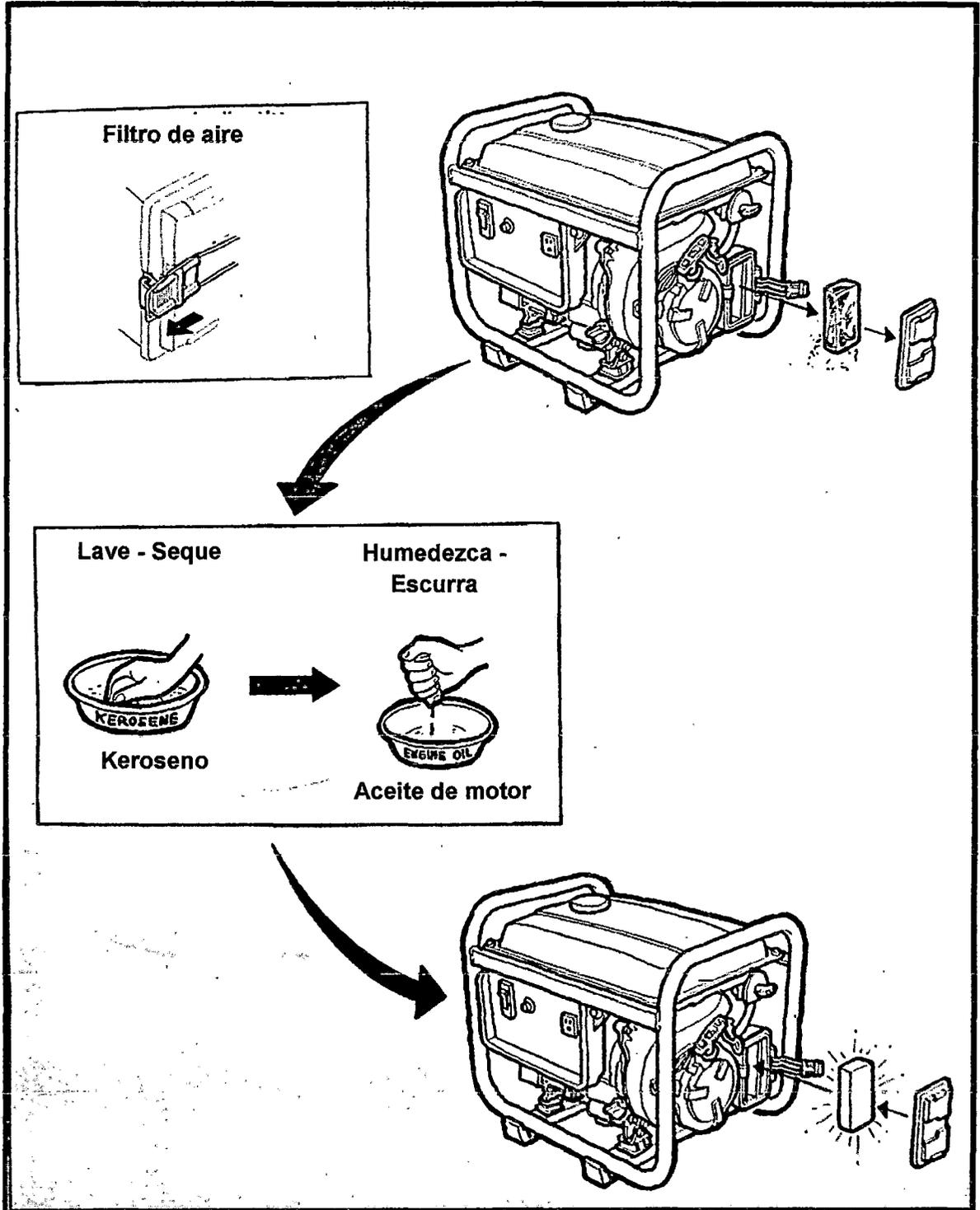
¡No fume!



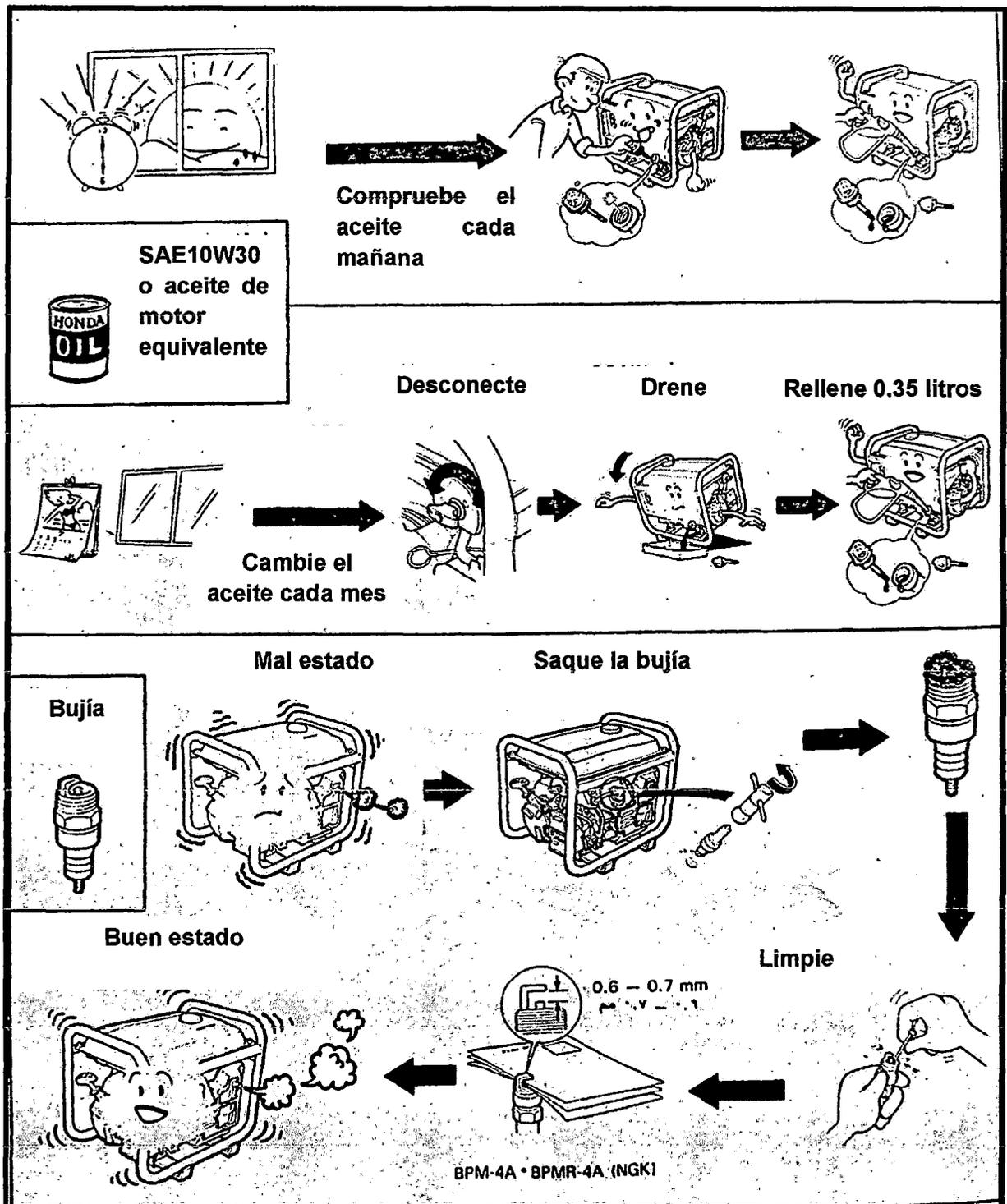
¡No lo derrame!



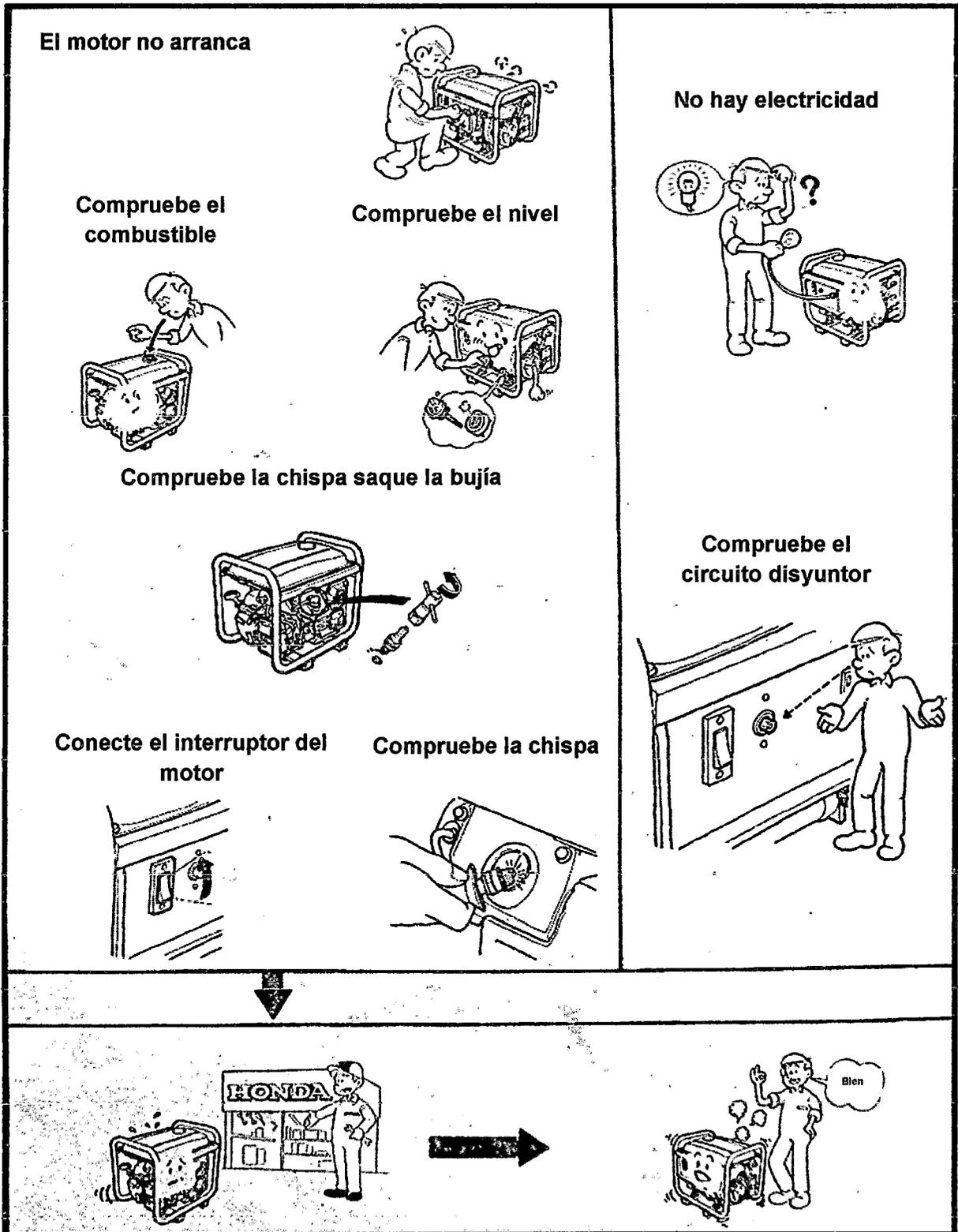
ANEXO J-4. MANTENIMIENTO DEL GENERADOR



ANEXO J-5. MANTENIMIENTO DEL GENERADOR



ANEXO J-6. LOCALIZACION Y REPARACION DE AVERIAS



ANEXO K.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

ANTES DE UTILIZAR EL MÓDULO TENGA EN CUENTA LEER ESTE MANUAL Y TOMAR LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD NECESARIAS PARA UTILIZARLO CORRECTAMENTE.

1. PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO.

El electrolito es la mezcla del agua destilada y el compuesto KOH (muy corrosivo), en una proporción de 2Litros de agua destilada y 200 gr. de KOH, en un recipiente o jarra, en este punto se debe tener cuidado con la reacción que se produce entre el agua y el KOH ya que se desprende calor y gases, también se debe tener cuidado al manipular la sustancia catalizadora KOH. Para ello se debe de contar con implementos de seguridad como:

- a. Lentes de seguridad.
- b. Guantes sintéticos.
- c. Mameluco que cubra los brazos.
- d. Zapatos de seguridad.

Estos implementos de seguridad deben de ser utilizados en todo momento desde la manipulación de la sustancia catalizadora KOH, la preparación del electrolito, llenado del tanque y la purga final del electrolito del generador.

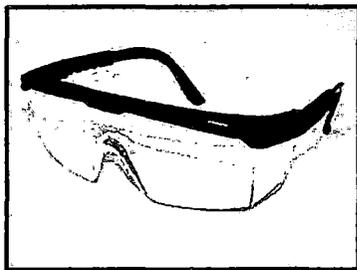


Fig.1. Lentes de seguridad.



Fig.2. Guantes sintéticos.

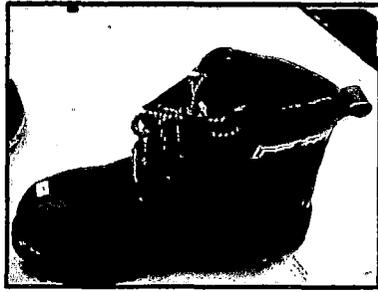


Fig.3. Zapatos de seguridad.



Fig.4. Mameluco.



Fig. 5. Agua destilada y KOH.



Fig. 6. Preparación del electrolito.

Introducir el electrolito (solución agua destilada y KOH) en el tanque y cerrar.

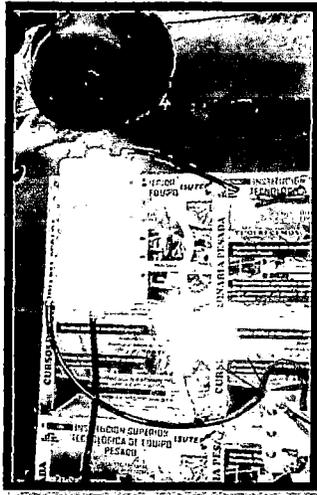


Fig.7. Introducción del electrolito al tanque.

En caso de que el electrolito y la sustancia KOH tenga contacto con los ojos y la piel, lavarse con abundante agua y jabón durante 30 minutos recomendables.

2. ALMACENAMIENTO DE HHO.

Almacenamiento de HHO, la pelota de pilates debe de estar lo más lejos posible recomendamos unos 20 m de distancia aislado de personas y objetos inflamables. **LA VÁLVULA PRINCIPAL y la VÁLVULA DE PASO HHO DE LA PELOTA DE PILATES DEBEN ESTAR ABIERTOS**, mientras que la **VÁLVULA DE PASO DEL DISPOSITIVO AIRE-HHO DEBE ESTAR CERRADO** de lo contrario no se almacenara en la pelota y se ira directo al motor y podría ocasionar una explosión al encender el motor.

3. PARA EL ENCENDIDO DEL GENERADOR.

Antes de conectar a la red eléctrica, verificar que el interruptor termomagnético este en apagado (OFF).

- a. verificar el sistema eléctrico del generador de HHO con los bornes correspondientes rojo al positivo y negro al negativo.

- b. verificar que las fuentes reales estén en posición encendido (-). Esto para que las dos fuentes arranquen al mismo tiempo.
- c. En caso de que una fuente se malogre, desconectar de la red eléctrica, reemplazar por uno nuevo de las mismas características.

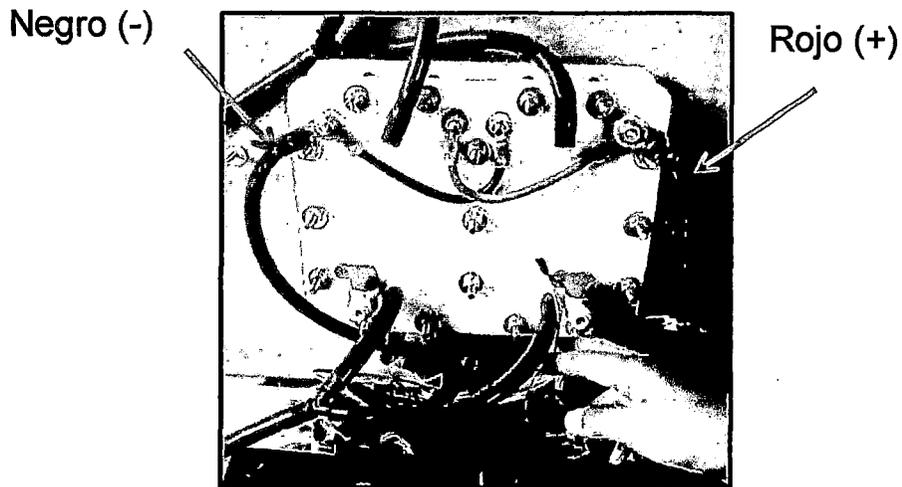


Fig.8. Conexión de bornes.

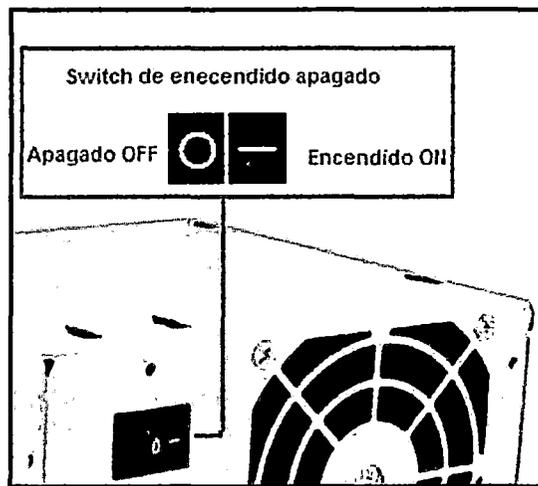


Fig.9. Encendido.

Una vez que tengamos la cantidad necesaria para hacer las pruebas **CERRAR LA VÁLVULA PRINCIPAL** y la **VÁLVULA DE PASO DE LA PELOTA DE PILATES**, **APAGAR EL INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO** Y **DESCONECTAR DE LA RED ELÉCTRICA**, para que **NO** siga la producción de gas HHO.

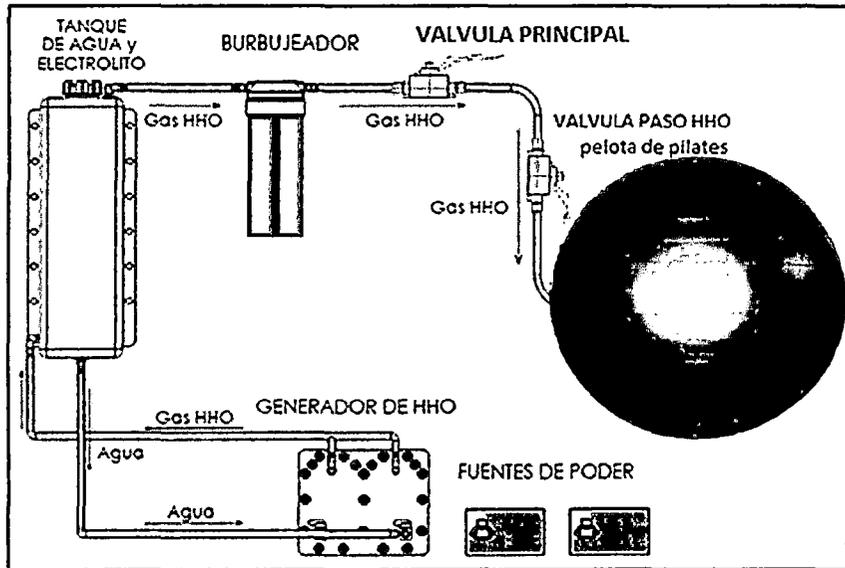


Fig.10. Generación y almacenamiento.

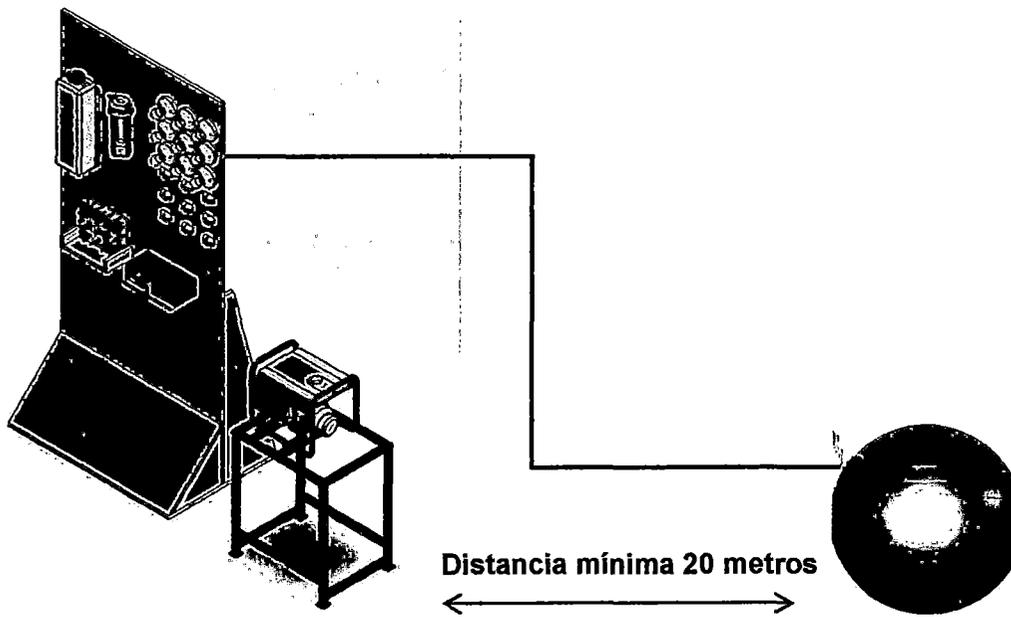


Fig. 11. Distancia e ubicación de la pelota de pilates.

4. PRUEBAS A REALIZAR (COMO ADITIVO):

Teniendo almacenado una cantidad adecuada de gas HHO se procede:

- a) Encender el generador, esperar alrededor de 10 min para que se estabilice, teniendo las **válvulas cerradas de la pelota de pilates y del dispositivo aire-HHO**, pero **abierto la válvula de regulación de flujo de aire**.
- b) Calibrar con la ayuda de un multímetro, y la válvula de regulación de ingreso de flujo de aire a 235V.
- c) Abrir la válvula de paso de gas HHO de la pelota de pilates.
- d) Terminado la prueba cerrar la válvula de paso del dispositivo aire-HHO y la válvula de paso de gas HHO.
- e) Para las siguientes pruebas con cargas (freno eléctrico), repetir el paso c) y d).
- f) Terminada las pruebas cerrar las válvulas de paso de la pelota de pilates y la válvula de paso del dispositivo aire-HHO.
- g) Al término de la prueba se recomienda usar todo el gas HHO generado.

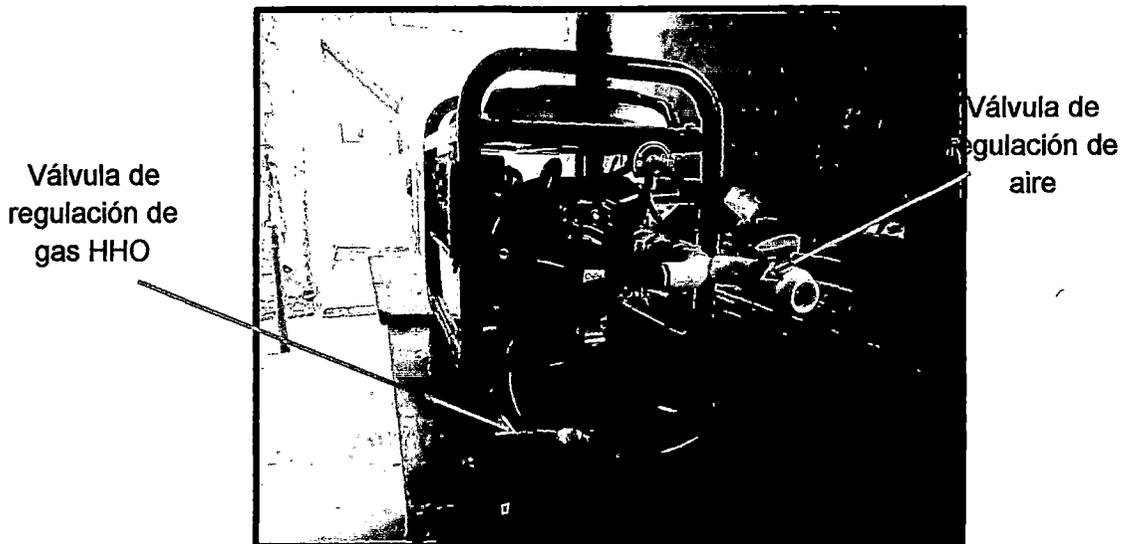


Fig. 12. Dispositivo de ingreso de aire-HHO

5. PRUEBAS A REALIZAR A 100% (COMO COMBUSTIBLE).

NUNCA ENCENDER EL MOTOR SOLO CON EL GAS HHO, SIEMPRE PRIMERO HACER QUE EL MOTOR FUNCIONE CON UN POCO DE GASOLINA PARA PODER ENCENDERLO Y ANTES QUE SE APAGUE ABRIR LA VÁLVULA DEL DISPOSITIVO AIRE-HHO PARA QUE INGRESE EL GAS HHO.

- a) Encender el generador, esperar 10min para que se estabilice, **teniendo las válvulas cerradas de la pelota de pilates y del dispositivo aire-HHO.**
- b) Purgar el combustible del carburador con un destornillador a un recipiente.
- c) Introducir unos 10ml de combustible dentro del dispositivo aire-HHO, (este ayudara a encender el motor por unos segundos).
- d) Abrir la válvula de salida de HHO de la pelota de pilates.
- e) Arrancar el generador y esperar que este funcione correctamente e inmediatamente abrir la válvula de paso del dispositivo aire-HHO antes que se apague el motor.
- f) Regular el flujo de aire, reduciendo el paso de aire al motor.
- g) Terminado las pruebas cerrar las válvulas de paso de la pelota de pilates y la válvula de paso del dispositivo aire-HHO.

6. TERMINO DE PRUEBAS.

Purgar el electrolito del tanque por medio del electrolizador (esta cuenta con dos llaves de purga, primero purgar por una válvula luego la otra) a un recipiente de vidrio, con los implementos de seguridad, lentes, guantes, ropa adecuada.

Asegurarse que las llaves de purga del electrolizador estén cerradas, limpiar con una franela los dispositivos antes de tapar el modulo.

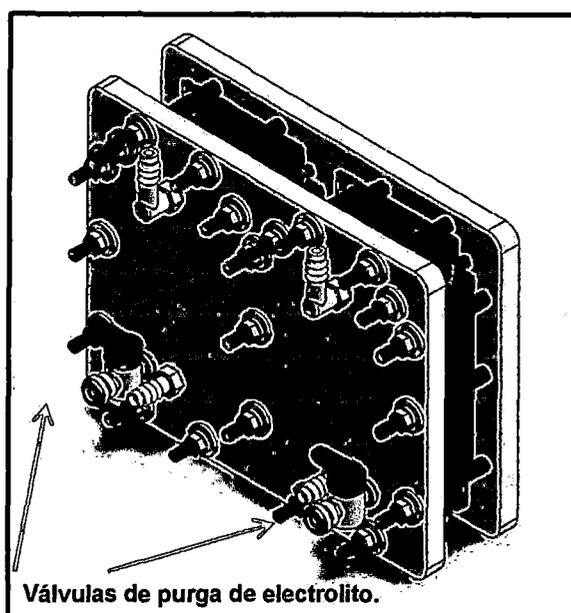


Fig. 13. Llaves de purga de electrolito.

RECOMENDACIONES

- Solo producir el gas necesario para realizar las pruebas correspondientes.
- No producir más de dos horas continuas de gas HHO.
- Utilizar todo el gas HHO producido.
- Al cambiar una fuente de PC por otro hacerlo por uno de las mismas características.
- **NUNCA ENCENDER EL MOTOR SOLO CON EL GAS HHO, SIEMPRE PRIMERO HACER QUE EL MOTOR FUNCIONE CON UN POCO DE GASOLINA PARA PODER ENCENDERLO Y DESPUÉS ANTES QUE SE APAGUE ABRIR LA VÁLVULA DEL DISPOSITIVO AIRE-HHO.**
- Antes de purgar el electrolito del tanque, hay que abrir la tapa del tanque para que no succione el agua del burbujeador al tanque.

FICHA DE SEGURIDAD HHO:

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/MEZCLA.	
<ul style="list-style-type: none"> Nombre comercial : Fórmula química : Usos pertinentes conocidos de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados desaconsejado: 	<ul style="list-style-type: none"> Oxihidrógeno. HHO. Industrial y profesional. Llevar a cabo evaluación de riesgos, no presurizar.
2.- IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS	
<ul style="list-style-type: none"> Peligros físicos: 	Gases inflamables.
Elementos de la etiqueta: <ul style="list-style-type: none"> Pictogramas de peligro: 	
Palabra de advertencia:	Peligro.
Indicación de peligro :	Gas extremadamente inflamable. Peligro de explosión en caso de calentamiento.
Consejos de prudencia: <ul style="list-style-type: none"> Prevención: Respuesta: Almacenamiento: 	<ul style="list-style-type: none"> Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. – No fumar. Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo. Almacenar en un lugar bien ventilado.
3.- Primeros auxilios	
<ul style="list-style-type: none"> Inhalación: Ingestión: 	<ul style="list-style-type: none"> A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración. La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.
4.- Medidas de lucha contra incendios	

<ul style="list-style-type: none"> • Riesgos específicos. • Productos peligros de la combustión: • Medios de extinción adecuados: • Métodos específicos: 	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes. • Ninguno/a. • Se pueden utilizar todos los extintores conocidos. • Si es posible detener la fuga de producto. Colocarse lejos del recipiente y enfriarlo con agua desde un recinto protegido. No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesario. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos.
<p>5.- Medidas en caso de vertido accidental</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Precauciones personales: • Métodos de limpieza: 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuar el área. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Téngase en cuenta el riesgo de atmósferas explosivas. Eliminar las fuentes de ignición. • Ventilar la zona.
<p>6.- Manipulación y almacenamiento</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación: • Almacenamiento : 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. • Mantener el contenedor en un lugar bien ventilado. Separa de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento.
<p>7.- Controles de exposición/protección individual</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Protección personal: 	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar una ventilación adecuada. No fumar cuando se manipule el producto.

ANEXO. K-1

GUIA DE LABORATORIO

La presente guía de laboratorio presenta el desarrollo de las pruebas sobre el motor estacionario a gasolina marca Honda EP650 que estará ubicado en el laboratorio de la Carrera Profesional de Ing. Mecánica. Se realizan las pruebas de CARACTERISTICA DE CARGA, se obtienen las respectivas curvas características de funcionamiento del motor a las condiciones del Cusco al cuantificar propiedades como potencia al freno, torque, consumos, eficiencia térmica efectiva y volumétrica, emisión de gases. Por último se analiza y se compara el comportamiento del motor con oxihidrogeno como aditivo.

OBJETIVOS

- Realizar el estudio experimental del comportamiento de los motores en función de la carga (banco de focos).
- Conocer la metodología experimental para la obtención de las características de carga de los motores.

CONDICIONES NECESARIAS PARA LA OBTENCION CARACTERISTICA DE CARGA.

- **VARIABLE INDEPENDIENTE:**
Potencia efectiva (N_e), o los siguientes parámetros: momento torsional, presión media efectiva.
- **VARIABLES DEPENDIENTES:**
Consumo específico de combustible, consumo horario de combustible, coeficiente de exceso de aire, eficiencia volumétrica, composición de gases de escape.

EQUIPOS

Motor estacionario de encendido por chispa, generador de oxihidrogeno, panel de focos incandescentes analizador de gases.

INSTRUMENTOS

Medidor de volumen de gasolina, cronometro, multímetro digital, pinza amperimétrica, anemómetro y tacómetro.

CONDICIONES DE PRUEBA

- Temperatura ambiente: entre -1 y 32°C
- Presión atmosférica: 0.686 bar (Cusco)
- Densidad de aire: 0.827/m³(Cusco)
- Magnitudes que requieren control permanente: Tensión alterna (220-240 volt), velocidades de rotación de cigüeñal, apertura de la mariposa de gases – variable.

MEDICIONES A REALIZAR

- Caída de tensión eficaz de corriente alterna (V_{ca}) en voltios.
- Intensidad de corriente alterna eficaz (I_{ca}), en amperes.
- Tensión de corriente continua (V_c), en voltios.
- Intensidad de corriente continua (I_c), en amperes.
- Velocidad de rotación del cigüeñal (n), en rpm.
- Volumen de gasolina (V_g), en cm³.
- Tiempo de consumo de volumen de gasolina (t_g), en s.
- Velocidad del aire de ingreso al motor (V_{aire}), en m/s.
- Temperatura de los gases de escape (T_{gases}), en °C
- Composición de los gases de escape: CO (% vol), CO₂ (% vol), HC (ppm), O₂ (% vol).
- Presión atmosférica (P_o), en Pa.
- Temperatura atmosférica (T_o), en °C.
- Alfa o lambda (α).

PROCEDIMIENTO

1. Comprobar el funcionamiento del banco de ensayo sin arrancar el motor (preparación).
 - Verificar el nivel de gasolina y aceite.
 - Revisión de instalaciones eléctricas.

2. Arranque:

Funcionamiento con gasolina:

- Poner el interruptor en posición ON.
- Abrir el paso de gasolina al carburador.

- Tirar la cuerda para dar las primeras revoluciones del motor, regulando la apertura de la válvula de aire (choque).
 - Una vez que el motor inicia su funcionamiento colocar la válvula de aire a su máxima apertura.
 - Esperar seis minutos hasta que el motor se estabilice y llegue a la temperatura óptima de funcionamiento.
3. Generación de HHO:
- Verificar las conexiones eléctricas, fuentes de poder en ON.
 - Verificar la conexión de mangueras y abrazaderas.
 - Mezclar 200 gr. de KOH en 2 litros de agua destilada.
 - Introducir la mezcla en el tanque de HHO.
 - Encender el electrolizador a través de la llave termo-magnética.
 - Verificar el almacenamiento temporal en la pelota de Pilates.
4. Medición o toma de datos.
- a) Estando el motor funcionando sin carga externa (solo con la carga interna del freno eléctrico), efectuar las mediciones indicadas.
 - b) Una vez terminado la prueba con gasolina, aperturar la válvula de paso de HHO esperar la estabilización del motor y realizar las mediciones indicadas.
 - c) Terminado las pruebas con HHO, incrementar la carga al motor con el panel de focos, repetir los pasos a, b.

PARAMETROS DEL MOTOR QUE DEBEN CALCULARSE

Parámetros de desempeño eléctrico:

- Potencia eléctrica cedida o útil del generador (P_{elet}), en Watts (W).
- Rendimiento del generador (n_g).

Parámetros de desempeño mecánico:

- Potencia al freno del motor (N_e), en Watts (W).
- Torque o momento torsional del motor (Me), en Nm.
- Presión media efectiva (Pme), en Pa.

Parámetros de desempeño energético:

- Consumo horario de combustible (G_c).

- Consumo específico de combustible (g_e).
- Cantidad de calor disponible por unidad de tiempo.
- Calor transformado en calor útil efectivo (Q_e).

Otros parámetros.

- Consumo horario de aire (G_a).
- Coeficiente de llenado (n_v).
- Coeficiente de exceso de aire (α).
- Eficiencia efectiva del motor (n_e).

PROCESAMIENTO DE DATOS

- Copiar los datos de las mediciones efectuadas en el protocolo de ensayos.
- Calcular los parámetros necesarios para construir las características de carga del motor sometido a ensayo.

Protocolo de Ensayos

Carga	Tensión (V)	Corriente(I)	Frecuencia(Hz)	Temperatura(°C)	RPM	Tiempo(min)	Consumo de combustible (ml)
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Elaboración propia.

Protocolo de Resultados

Carga	Pelect (W)	Ng (W)	Ne (W)	Me (Nm)	Pme (MPa)	Gc (kg/h)	gc (g/kW-h)	Ga (kg/h)	n_v	α	n_e	Qc (W)
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												

Fuente: Elaboración propia.