



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**UNIDAD AZCAPOTZALCO**

**CÁLCULO Y COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA  
TÉRMICA EN UNA PLANTA GENERADORA DE  
ELECTRICIDAD AL USAR COMBUSTIBLE A  
GASOLINA O HIDRÓGENO EN CONDICIONES  
IDEALES**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O M E C Á N I C O

**P R E S E N T A:**

**SALAZAR GOMEZ LUIS ANTONIO**

ASESORES DE TESIS:

**ING. JUAN CARLOS SUAREZ CUEVAS**

**ING. ALFONSO TELLEZ HUERTA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2016

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD AZCAPOTZALCO**

**AUTORIZACIÓN DE TEMA**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE: **INGENIERO MECÁNICO**  
DEBERÁ DESARROLLAR EL C. **SALAZAR GOMEZ LUIS ANTONIO**

**CÁLCULO Y COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN UNA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD AL USAR COMBUSTIBLE A GASOLINA O HIDRÓGENO EN CONDICIONES IDEALES**

La energía eléctrica hoy en día se ha convertido en parte de nuestras vidas, al grado que nuestra dependencia a la misma ha ido en aumento en el curso de los años y a la par de los avances tecnológicos, las centrales eléctricas son las principales en la generación de energía eléctrica y suministrar esta energía a las grandes metrópolis, las centrales eléctricas son instalaciones donde existen un conjunto de máquinas eléctricas y máquinas térmicas sin embargo la principal fuente de generación depende de combustibles fósiles, tales como: carbón, gas natural, etc.; estos combustibles fósiles nos producen gases de invernadero los cuales aportan al problema del calentamiento global, problema que hoy día ha cobrado una importancia bastante considerable, sin mencionar que la escases de estos combustibles fósiles afectan directamente a la economía mundial.

De aquí surge la necesidad de encontrar plantas de energía eléctrica de fuentes alternas, como una propuesta de solución del suministro eléctrico y al calentamiento global, entre estas diversas fuentes de energía alternas figuran las obtenidas de la velocidad del viento, la solar, la geotérmica o la de hidrógeno, por solo mencionar algunas.

En el siguiente trabajo se realizará la comparativa de eficiencia entre un combustible fósil (gasolina) contra uno alternativo (hidrógeno), utilizados para la generación de electricidad, en una planta de emergencia (electrógeno), todo ello para conocer cuál de los dos combustibles será más eficiente generando menor cantidad de contaminantes.

Con la memoria de cálculo y la comparativa, de ambos combustibles podremos conocer cuál de los dos combustibles a desempeñarse mejor eficiencia y aportará mayor rendimiento, a su vez podremos saber cuáles son las limitaciones entre ambos.

**EL TEMA COMPRENDERÁ LOS SIGUIENTES PUNTOS:**

1. GENERALIDADES
2. PROCESO DE INGENIERÍA
3. ANÁLISIS DE INGENIERÍA
4. ESTUDIO ECONÓMICO
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

ASESOR

ING. JUAN CARLOS SUAREZ CUEVAS



IPN

Unidad Azcapotzalco

Departamento de Trayectorias  
y Servicios Académicos

Vo. Bo.

Ciudad de México, a 29 de Septiembre del 2016

ASESOR

ING. ALFONSO TELEZ HUERTA

DIRECTOR INTERINO

DR. ABRAHAM MEDINA OVANDO

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

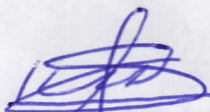
Presente

Bajo protesta de decir verdad el [los/la(s)] que suscribe (n): **SALAZAR GOMEZ LUIS ANTONIO** (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiest (o/amos) ser autor (a/es) y titular (es) de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“CÁLCULO Y COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN UNA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD AL USAR COMBUSTIBLE A GASOLINA O HIDRÓGENO EN CONDICIONES IDEALES”** en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia para efecto de **EXHIBIR PÚBLICAMENTE TOTAL O PARCIAL EN MEDIOS DIGITALES Y/O FÍSICOS**, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor, se prohíbe el uso y/o explotación de “La Tesis” en las formas y medios descritos en el fundamento legal citado, en virtud de que cualquier utilización por una persona física o moral distinta del autor [es/a(s)] puede afectar o violar derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros distintos al autor [es/a(s)] de “La Tesis” **SOLO PARA FINES DE CONSULTA.**

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi (nuestra) calidad de autor [es/a(s)] de “La Tesis” y limitarse a su uso en la forma arriba señalada.

Ciudad de México, 27 de septiembre de 2016.

**Atentamente**



---

**SALAZAR GOMEZ LUIS ANTONIO**

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios padre creador del cielo y de la tierra de todo lo invisible y lo visible, a dios hijo y a dios espíritu santo, por haberme permitido haber concluido mi carrera de ingeniería mecánica, así como mi tesis, agradezco a mi padre, Antonio Salazar Martinez, a mi madre, M. Concepción Gomez Villegas, así como a mis hermanos, Hendi Evelin Salazar Gomez, Samuel Salazar Gomez y Andrés Salazar Gomez, por todo su apoyo y entusiasmo que me han brindado.

Agradezco a mi alma mater el gran INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL así como a la ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD AZCAPOTZALCO, por haberme brindado la oportunidad de haber cursado una carrera de ingeniería y por brindarme el conocimiento y apoyo de todos aquellos grandes maestros que imparten clases en las aulas, de tan prestigiada escuela.

Agradezco a mis asesores de tesis el Ing. Alfonso Tellez Huerta, así como al Ing. Juan Carlos Suarez Cuevas, por haberme brindado su apoyo, conocimientos y su más sincera amistad, para poder llevar acabo mi tesis de titulación.

Agradezco a mis sinodales que participaron como jurado en mi tesis.

Agradezco a mis mejores amigos que he conocido desde hace una muy y larga trayectoria en especial a mi amigo M.C. Esiquio Martin Gutierrez Armenta, a los futuros ingenieros, Sergio Hernández Serna y Víctor Manuel Rosales Hernández, por haberme brindado su apoyo y amistad así como la convivencia en todos estos años de mi trayectoria académica.

Agradezco a todos esos motivos que en su momento me motivaron a estudiar la carrera de ingeniería mecánica.

Por último agradezco algunas de las primeras instituciones que me ayudaron para poder llegar a realizar mi vida profesional, a tales instituciones me refiero: Escuela secundaria diurna Fernando Montes de Oca No. 25 y al C.E.T.I.S. No. 33.

Gracias a todos **yo soy** un hombre de bien.



## ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
RESUMEN.....	vii
OBJETIVOS.....	viii
JUSTIFICACIÓN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>GENERALIDADES</b>
1.1	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b> 12
1.2	<b>DELIMITACIÓN.....</b> 12
1.3	<b>BENEFICIOS ESPERADOS.....</b> 12
1.4	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b> 12
1.4.1	CONTEXTO HISTÓRICO..... 12
1.4.2	LA INDUSTRIA DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.... 13
1.4.3	LA EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD..... 13
1.4.4	EL TAMAÑO DE LA INDUSTRIA..... 15
1.5	<b>CONTEXTO TECNOLÓGICO.....</b> 16
1.5.1	SISTEMAS HÍBRIDOS..... 16
1.5.2	SISTEMA FOTOVOLTAICO..... 17
1.5.3	SISTEMA EÓLICO..... 18
1.5.4	ELECTRÓGENOS..... 19
1.6	<b>MARCO TEÓRICO.....</b> 20
1.6.1	CONSIDERACIONES AMBIENTALES..... 20
1.6.2	EL PETRÓLEO..... 20
1.6.2.1	DERIVADOS DEL PETRÓLEO..... 21
1.6.2.2	REFINADO DEL PETRÓLEO..... 22
1.6.2.3	GASOLINA..... 23
1.6.2.4	COMPOSICIONES QUÍMICA DE LA GASOLINA..... 24
1.6.3	EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE DEL FUTURO..... 28
1.6.3.1	RAZONES PARA TRATAR EL HIDRÓGENO..... 29
1.6.3.2	CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO..... 30
1.6.4	PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES..... 31
1.6.5	LEYES DE LA TERMODINÁMICA..... 34
1.6.6	ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA..... 34
1.6.6.1	CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA..... 35
1.6.6.2	ESTUDIO DE PARTES QUE CONFORMAN AL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA..... 36
1.6.7	CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS..... 37
1.6.7.1	PROPIEDADES DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS..... 39
1.6.7.2	ECUACIONES CARACTERÍSTICAS DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS..... 39
1.6.8	EL GENERADOR ELÉCTRICO..... 48
1.6.8.1	PARTES QUE CONFORMAN AL GENERADOR ELÉCTRICO. 49
1.6.8.2	EFICIENCIA ELÉCTRICA DEL GENERADOR..... 50



1.6.8.3	CONCEPTOS QUE SE APLICAN EN UNA MAQUINA ELÉCTRICA ROTATORIA.....	51
1.7	<b>ESPECIFICACIONES DEL MOTOR HONDA EC 2200.....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 2 PROCESO DE INGENIERÍA</b>		
2.1	<b>DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL.....</b>	<b>57</b>
2.1.1	FORTALEZAS.....	57
2.1.2	OPORTUNIDADES.....	58
2.1.3	DEBILIDADES.....	58
2.1.4	AMENAZAS.....	58
2.2	<b>METODOLOGIA PARA EL CÁLCULO TÉRMICO.....</b>	<b>58</b>
2.3	<b>METODOLOGÍA PARA LA COMPARATIVA DE EFICIENCIA TÉRMICA.....</b>	<b>59</b>
2.3.1	MODELO TERMODINÁMICO.....	59
2.3.2	MODELO GEOMÉTRICO.....	59
2.3.3	MODELO MATEMÁTICO.....	60
2.4	<b>PROCESOS TERMODINÁMICOS DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS.....</b>	<b>60</b>
2.5	<b>MEZCLADOR DE GAS.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE INGENIERÍA</b>		
3.1	<b>DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA GASOLINA Y DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.....</b>	<b>64</b>
3.1.1	DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO.....	64
3.1.2	PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA GASOLINA EN CONDICIONES IDEALES.....	64
3.1.3	PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.....	64
3.2	<b>MEMORIA DE CÁLCULO DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS UTILIZANDO LOS VALORES DE LA GASOLINA.....</b>	<b>65</b>
3.2.1	CÁLCULO DE LOS PROCESOS DE CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS A GASOLINA.....	65
3.2.2	TRABAJO OBTENIDO POR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	68
3.2.3	CALOR OBTENIDO POR EL PROCESO TERMODINÁMICO.....	69
3.2.4	POTENCIA TEÓRICA.....	69
3.2.5	EFICIENCIA TEÓRICA UTILIZANDO LOS VALORES DE LA GASOLINA.....	70
3.3	<b>DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HIDRÓGENO Y DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.....</b>	<b>71</b>
3.3.1	DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO.....	71
3.3.2	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HIDRÓGENO EN CONDICIONES IDEALES.....	71
3.3.3	PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.....	71
3.4	<b>MEMORIA DE CÁLCULO DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS UTILIZANDO LOS VALORES DEL HIDRÓGENO.....</b>	<b>72</b>
3.4.1	CÁLCULO DE LOS PROCESOS DE CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS CON HIDRÓGENO.....	73



3.4.2	TRABAJO OBTENIDO POR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	75
3.4.3	CALOR OBTENIDO POR EL PROCESO TERMODINÁMICO...	76
3.4.4	POTENCIA TEÓRICA.....	76
3.4.5	EFICIENCIA TEÓRICA UTILIZANDO LOS VALORES DEL HIDRÓGENO.....	76
<b>3.5</b>	<b>CONSUMO TEÓRICO DE COMBUSTIBLE.....</b>	<b>77</b>
3.5.1	CONSUMO TEÓRICO DE GASOLINA E HIDRÓGENO.....	77
3.5.2	CONSUMO TEÓRICO HORARIO A GASOLINA E HIDRÓGENO.....	77
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PROCESOS DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS.....</b>	<b>78</b>
<b>3.7</b>	<b>MODIFICACIONES EN EL SISTEMA DE CARBURACIÓN DE LA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD.....</b>	<b>79</b>
3.7.1	PARTES A SUSTITUIR PARA EL USO DE HIDRÓGENO EN EL MOTOR.....	79
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b>	
<b>4.1</b>	<b>ESTIMACION DE COSTOS MEZCLADOR DE GAS Y COSTOS DE LOS COMBUSTIBLES.....</b>	<b>84</b>
4.1.1	COSTOS DE PRODUCCION.....	85
<b>4.2</b>	<b>PUNTO DE EQUILIBRIO.....</b>	<b>86</b>
<b>4.3</b>	<b>ANALISIS DE SENSIBILIDAD.....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>91</b>
<b>5.3</b>	<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>93</b>
<b>5.4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍAS.....</b>	<b>95</b>
5.4.1	WEBGRAFÍA.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
Fig. 1.1	BATERÍA DE VOLTA.....	13
Fig. 1.2	TURBINA DE VAPOR.....	14
Fig. 1.3	PLANTA NUCLEAR.....	15
Fig. 1.4	ESQUEMA DE DIVERSOS SISTEMAS HÍBRIDOS CONECTADOS A UNA CASA.....	17
Fig. 1.5	CONJUNTO DE FOTOCELIDAS.....	18
Fig. 1.6	AEROGENERADOR.....	19
Fig. 1.7	ELECTRÓGENO HONDA EC 2200.....	20
Fig. 1.8	YACIMIENTO PETROLERO.....	21
Fig. 1.9	ALGUNOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO.....	22
Fig. 1.10	MEZCLA AIRE COMBUSTIBLE EN UN PISTÓN.....	23
Fig. 1.11	GRAFICA COMPUESTOS QUÍMICOS DE LA GASOLINA.....	25
Fig. 1.12	ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO.....	29
Fig. 1.13	ESQUEMA DE UN PISTÓN.....	35



Fig. 1.14	MOTOR A GASOLINA CUATRO PISTONES.....	35
Fig. 1.15	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DOS TIEMPOS.....	36
Fig. 1.16	ESQUEMA DEL PISTÓN DEL MOTOR HONDA EC 2200.....	37
Fig. 1.17	GRAFICA DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS...	38
Fig. 1.18	GENERADOR ELÉCTRICO.....	48
Fig. 1.19	ROTOR.....	49
Fig. 1.20	INDUCTOR.....	49
Fig. 1.22	COLECTOR.....	50
Fig. 1.23	MEDICIÓN DE ENERGÍA CON UN MULTÍMETRO.....	50
Fig. 1.24	REPRESENTACIÓN DE LAS CURVAS DE POTENCIA VS VELOCIDAD.....	54
Fig. 1.25	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MOTOR HONDA EC 2200.....	55
Fig. 1.26	REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL MOTOR.....	55
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>PROCESO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL</b>	
Fig. 2.1	ESQUEMA DE LOS MECANISMOS DEL MOTOR HONDA EC 2200.....	59
Fig. 2.2	PROCESO DE MODELO MATEMÁTICO.....	60
Fig. 2.3	DIAGRAMA IDEAL PRESIÓN VOLUMEN DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS.....	61
Fig. 2.4	MEZCLADORES DE GAS PARA UTILIZAR CON HIDRÓGENO.....	62
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>CÁLCULOS DE INGENIERÍA</b>	
Fig. 3.1	CARBURADOR A GASOLINA DE MOTOR.....	80
Fig. 3.2	CARBURADOR Y CABEZA DE MOTOR.....	80
Fig. 3.3	MEZCLADORES DE GAS PARA USO DE ELECTRÓGENO..	80
Fig. 3.4	KIT DE CONVERSIÓN A GAS PARA PLANTA HONDA EC 2200.....	81
Fig. 3.5	LUMBRERA DE MOTOR.....	81
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b>	
Fig. 4.1	TANQUE DE COMBUSTIBLE.....	85
Fig. 4.2	CILINDRO DE ALTA PRESIÓN PARA HIDRÓGENO.....	85
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
Fig. 5.1	VEHÍCULO A GASOLINA VS HIDRÓGENO.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>PÁGINA</b>
Tabla 1.A	LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ELECTRICIDAD (EN TWH), 2000...	16
Tabla 1.B	COMPOSICIÓN EN PESO APROXIMADA DE LOS CRUDOS.....	21
Tabla 1.C	PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL HIDRÓGENO A 298.15 K..	31
Tabla 1.C.1	CALOR ESPECIFICO Y ENTALPIA A 1 BAR DE HIDRÓGENO.....	31
Tabla 1.D	PODERES CALORÍFICOS DE ALGUNOS HIDROCARBUROS.....	33
Tabla 1.E	HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO.....	33
Tabla 1.F	PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES A EMPLEAR EN EL CÁLCULO.....	34
Tabla 1.G	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA HONDA EC 2200.....	53





Tabla 1.G.1	CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR HONDA EC 2200.....	53
Tabla 1.H	MODELOS DE PLANTAS Y CAPACIDADES EN LITROS EN EL TANQUES.....	54
Tabla 2.A	PROCESOS TERMODINÁMICOS DEL CICLO OTTO A GASOLINA...	61
Tabla 3.A	RESULTADOS DE LOS PROCESOS A GASOLINA DEL CICLO IDEAL OTTO.....	78
Tabla 3.A.1	RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CICLO OTTO IDEAL A GASOLINA.....	78
Tabla 3.B	RESULTADOS DE LOS PROCESOS CON HIDRÓGENO DEL CICLO IDEAL OTTO.....	78
Tabla 3.B.1	RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CICLO IDEAL OTTO CON HIDRÓGENO.....	78
Tabla 4.A	COSTOS DE LA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD Y SUS ACCESORIOS DE CONVERSIÓN.....	84
Tabla 4.B	COSTOSO DE LOS COMBUSTIBLES.....	84
Tabla 4.C	COSTOS FIJOS Y VARIABLES.....	86
Tabla 4.D	CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.....	87
Tabla 5.A	COMPARATIVA DE EFICIENCIAS DE GASOLINA E HIDRÓGENO....	89
Tabla 5.B	COMBUSTIBLES EMPLEADOS AL CÁLCULO DEL CICLO IDEAL OTTO.....	90
Tabla 5.B.1	COMPARATIVA DE LOS GASES OBTENIDOS POR LA COMBUSTIÓN DE LOS COMBUSTIBLES .....	90



## RESUMEN

La energía eléctrica ha tenido una gran importancia en todo el mundo, ya que gracias a ella, la humanidad se ha facilitado la vida, al ser eje evolutivo de la sociedad, puesto que es empleada para hacer funcionar gran parte de las cosas que nos rodean tales como maquinaria industrial, electrodomésticos, alumbrado en nuestros hogares, y la gran mayoría de las comodidades existentes en las grandes metrópolis.

Para que todo lo anterior pueda ser posible es necesaria su producción pudiendo ser la fuente de generación, una hidroeléctrica, una carboeléctrica, una termoeléctrica o incluso una nucleoeléctrica, por citar las más comunes y populares, sin embargo el desarrollo tecnológico ha permitido nuevas formas de generación como la solar o la eólica, siendo estas más eficientes al disminuir en gran manera el impacto ecológico, por lo que se les considera limpias, sin embargo a pesar de estos avances tecnológicos, aún existen muchas problemáticas por enfrentar; por ejemplo el abasto de energía eléctrica en zonas de difícil acceso, en zonas de desastre o en ocasiones donde el suministro eléctrico normal falla. Por ello es importante encontrar alternativas para subsanar estas problemáticas.

En la presente tesis me enfoco al análisis de hidrógeno como combustible, para alimentar una planta generadora de electricidad, alimentada habitualmente con gasolina. Utilizando partes teóricas de algunos conceptos de termodinámica, maquinas térmicas, transferencia de calor, maquinas eléctricas, por mencionar algunas asignaturas, que se impartieron en la trayectoria académica de la carrera de ingeniería mecánica.

Se especificaran las características, aplicaciones, ventajas y límites de una planta generadora de electricidad a través de un motor de combustión interna alimentado con gasolina o hidrógeno como combustible.

Se proporcionan los criterios de diseño de un motor de combustión interna de una planta generadora de electricidad, así como el diseño y cálculo de las partes que proporciona un generador eléctrico.

Se describen las partes principales que contienen una planta generadora de electricidad con la que se cuenta actualmente para generar electricidad, tales como el motor de combustión interna y el generador eléctrico.

Por último se hará un análisis de costos para conocer su viabilidad y criterios de instalación.



## OBJETIVO

### Objetivo general:

Calcular, la eficiencia que se obtiene con el hidrógeno, en comparación con la gasolina, al ser utilizada en una planta generadora de energía eléctrica, así como definir cuáles son los parámetros de corrección y modificación, para usar este combustible alternativo en un motor de combustión interna.

### Objetivo específico:

- Conocer las propiedades químicas de la gasolina y el hidrógeno con la finalidad de conocer el rendimiento que dará en la máquina de combustión interna.
- Calcular la eficiencia térmica del motor de combustión interna ciclo Otto ideal a cuatro tiempos.
- Comparar la eficiencia térmica obtenida por los combustibles al usar gasolina e hidrógeno en el motor de la planta generadora de electricidad.
- Analizar cuantitativamente y cualitativamente el motor de combustión interna y el generador eléctrico de una planta generadora de electricidad.
- Identificar las partes del sistema de inyección de combustible que se tendrán que sustituir para, utilizar el hidrógeno como combustible alterno.
- Analizar económicamente los costos de la planta generadora de electricidad así como los costos de las partes a modificar o sustituir.



## JUSTIFICACIÓN

La energía eléctrica hoy en día se ha convertido en parte de nuestras vidas, al grado que nuestra dependencia a la misma ha ido en aumento en el curso de los años y a la par de los avances tecnológicos, las centrales eléctricas son las principales en la generación de energía eléctrica y suministrar esta energía a las grandes metrópolis, las centrales eléctricas son instalaciones donde existen un conjunto de máquinas eléctricas y máquinas térmicas sin embargo la principal fuente de generación depende de combustibles fósiles, tales como: carbón, gas natural, etc.; estos combustibles fósiles nos producen gases de efecto invernadero los cuales aportan al problema del calentamiento global, problema que hoy día ha cobrado una importancia bastante considerable, sin mencionar que la escasez de estos combustibles fósiles afectan directamente a la economía mundial.

De aquí surge la necesidad de encontrar plantas de energía eléctrica de fuentes alternas, como una propuesta de solución al problema del suministro eléctrico y al calentamiento global, entre estas diversas fuentes de energía alternas figuran las obtenidas de la velocidad del viento, la solar, la geotérmica o la de hidrógeno, por solo mencionar algunas.

En el siguiente trabajo se realizará la comparativa de eficiencia entre un combustible fósil (gasolina) contra uno alternativo (hidrógeno), utilizados para la generación de electricidad, en una planta de emergencia (electrógeno), todo ello para conocer cuál de los dos combustibles será más eficiente generando menor cantidad de contaminantes.

Con la memoria de cálculo y la comparativa, de ambos combustibles podremos conocer cuál de los dos combustibles va a desempeñarse mejor eficiencia y aportara mayor rendimiento, a su vez podremos saber cuáles son las limitaciones entre ambos.

Específicamente tomaremos una planta generadora de electricidad de la marca Honda, modelo EC 2200.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca al tema de la eficiencia térmica de una planta generadora de energía eléctrica, al utilizar dos tipos de combustibles como la gasolina y el hidrógeno el cual tiene como finalidad saber cuál de los dos combustibles nos proporcionara mayor eficiencia térmica y rendimiento mecánico.

Se describe acerca de la composición química de ambos combustibles, así como la forma en la cual se producen y de que tipos de recursos energéticos los podemos obtener, así como cual de ambos combustibles nos proporcionarán beneficios al medio ambiente.

Uno de los temas primordiales a tratar en este trabajo son las partes principales que conforman a la planta generadora de electricidad, y que consisten en el motor de combustión interna, así como el generador eléctrico (dinamo) y/o alternador.

El generador eléctrico y el motor de combustión interna, se caracterizan por el tipo de construcción, y su composición eléctrica, así como su eficiencia mecánica, para poder generar electricidad de 120 volts a 60 Hz como es estipulado por la comitiva eléctrica.

En ese trabajo conoceremos sobre la importancia que tienen los energéticos en nuestras vidas, ya que gracias a ellos podemos hacer funcionar diversos aparatos eléctricos así como diversas maquinarias.

Para poder conocer la eficiencia térmica con la cual tiene por naturaleza cada combustible, se presentan tablas de propiedades químicas y térmicas, las cuales contienen los calores específicos así como sus fórmulas químicas, estas serán de gran ayuda para llevar a cabo el cálculo, del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos.

Para finalizar este trabajo, en el último capítulo daremos a conocer las conclusiones a las que se llegó a la hora de realizar los cálculos y podremos decir cuáles son las limitantes al usar hidrógeno o gasolina como combustible en esta máquina térmica.



# CAPÍTULO

# I

# GENERALIDADES



## **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En el mundo hoy en día nos hemos encontrado con el problema de abastecimiento de consumo eléctrico, puesto que la producción y el uso excesivo de la energía han supuesto la principal causa de gases de efecto de invernadero, gases responsables del cambio climático así como los escasos de los combustibles fósiles.

Por ello es importante actuar de manera positiva para limitar e implementar sus gravísimas consecuencias ambientales, económicas y sociales, relacionadas con el aumento de temperatura, en el nivel del mar, entre otras consiste en reducir el consumo de los combustibles fósiles.

## **1.2.- DELIMITACIONES.**

Calcular la eficiencia térmica en una planta generadora de electricidad Honda EC 2200 al utilizar gasolina o hidrógeno como combustible, con el fin de conocer cuál de estos dos combustibles nos permita mayor eficiencia y rendimiento en la planta generadora de electricidad, se estima generar 2.2 kV-A, con este cálculo podremos demostrar que el hidrógeno, puede ser utilizado en un motor de combustión interna a 4 tiempos con un ciclo Otto, el cálculo se llevara a cabo mediante condiciones ideales, puesto que para hacerlo en condiciones reales se tendría que montar el motor, a ensayar en un banco de pruebas, en el cual aún no se cuenta con los recursos para adquirir un banco de pruebas, para motores de combustión interna.

## **1.3.- BENEFICIOS ESPERADOS.**

- En términos técnicos se espera obtener un resultado positivo con respecto a la eficiencia térmica del hidrógeno, en el motor de combustión interna en comparación con la gasolina.
- En términos económicos, se propone al hidrógeno como una nueva alternativa al agotamiento de la gasolina, ya que su rendimiento será mucho mayor, puesto que se espera como resultado que el hidrógeno tenga mayor eficiencia.
- En términos sociales se contribuiría en el aspecto de fomentar, al hidrógeno como una nueva alternativa a la quema de combustibles fósiles, este sistema estará orientado a instituciones públicas o privadas, o en ciertos lugares donde requieran en sus instalaciones de una planta generadora de electricidad, tanto para uso cotidiano o en casos de emergencias y fallas eléctricas.

## **1.4.- ESTADO DEL ARTE.**

### **1.4.1.-CONTEXTO HISTORICO.**

La electricidad ha definido al mundo moderno. Todo lo que pensamos que es moderno, desde luz eléctrica, el radio, televisión, electricidad para los aparatos electrodomésticos, dispositivos electrónicos, ordenadores y casi todo en su mayoría depende, de la electricidad. Para poder obtener electricidad ha sido necesario el uso de plantas generadoras de

electricidad; tales como: termoeléctricas carboeléctrica, que utilizan combustibles fósiles, con uso del viento, fisión nuclear, motores de combustión interna, etc.

#### 1.4.2.- LA INDUSTRIA DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

Las raíces de la industria moderna de generación de electricidad se encuentran en principios y mediados del siglo XIX, y en los trabajos de hombres como Benjamín Franklin, Alessandro Volta y Michael Faraday en particular, ellos fueron capaces de demostrar la relación entre la electricidad y el magnetismo, una relación que hace que sea posible para generar electricidad con maquinaria en movimiento, en lugar de tomarlo de baterías químicas como era el caso en sus días, en la Figura 1.1 se muestra la batería creada por volta y que funcionaba por medio de reacciones químicas.



Figura 1.1 BATERÍA DE VOLTA

[http://almadeherrero.blogspot.mx/2009\\_10\\_01\\_archive.html](http://almadeherrero.blogspot.mx/2009_10_01_archive.html)

La comprensión cada vez mayor de la electricidad coincidió con el desarrollo de la máquina de vapor. El uso de gas como combustible para la iluminación.

Sus orígenes se presentan aproximadamente en el siglo XIX, pocos discutirían que el crecimiento de la industria de la electricidad era un fenómeno del siglo XX.

Es importante mencionar, que la mayor parte de los elementos clave necesarios para la generación de electricidad, se basa en la quema de combustibles fósiles y en la manera en la que se distribuye la misma electricidad, estos fueron grandes desarrollos durante el siglo pasado.

#### 1.4.3.-LA EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

Las centrales eléctricas, en un principio utilizaron motores de vapor, comportándose como máquinas de movimiento alternativo para generar electricidad. Estos motores no eran ideales para el propósito, porque no se podían desarrollar fácilmente a altas velocidades de rotación, que eran necesarias para impulsar un generador eficazmente.



Esta dificultad fue finalmente superada con la invención de la turbina de vapor, por Sir Charles Parsons en 1884.

El combustible para estas plantas era normalmente carbón, que se utiliza para producir vapor en una caldera.

La energía hidroeléctrica también estuvo en el desarrollo para la generación de energía, en una etapa temprana en el desarrollo de la industria. Gran parte de la obra fue clave en diferentes tipos de turbinas que utilizaban para capturar y funcionar con el agua que fluía, esta tecnología se llevó a cabo en la segunda mitad del siglo XIX, en la Figura 1.2 se muestra una turbina de vapor del siglo XIX.

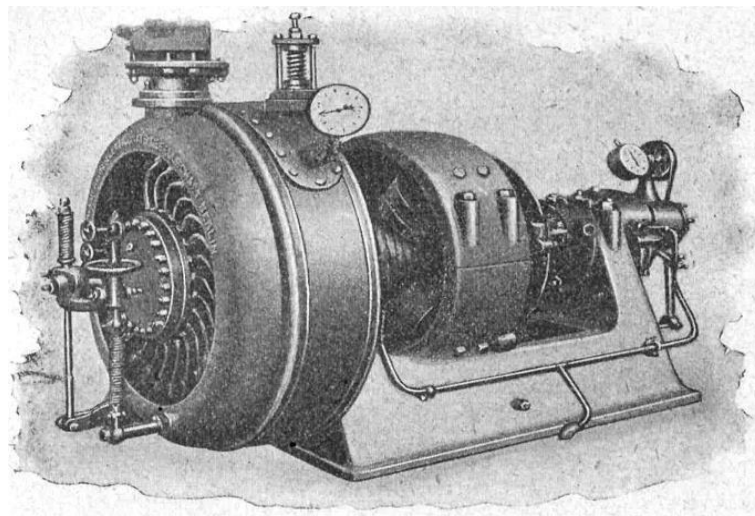


Figura 1.2 TURBINA DE VAPOR

[http://educartio.wikispaces.com/c\\_nuclear](http://educartio.wikispaces.com/c_nuclear)

A principios del siglo XX, el motor de encendido por chispa y el motor diésel, se habían desarrollado. Estos fueron utilizados para la producción de electricidad. Y antes de la segunda guerra mundial se comenzó con el uso de las turbinas de viento como una manera de generar energía eléctrica.

En el comienzo de la década de 1950, las centrales eléctricas de turbinas de vapor, quema de carbón, y en ocasiones aceite o gas, junto con estaciones de energía hidroeléctrica, formaron la mayor parte de generación de energía eléctrica, para la capacidad mundial.

En la década de 1950 nació la era de la energía nuclear. Una vez que los principios se establecieron, las construcciones de centrales nucleares fueron incrementando. Se creía, que era una fuente moderna de energía para la edad moderna; era barato, limpio y técnicamente emocionante.

La energía nuclear continuó expandiéndose rápidamente en los EE.UU. hasta finales de 1970. En otras partes del mundo, la absorción era menos rápido pero Gran Bretaña, Francia y Alemania invirtieron fuertemente, en tecnología para desarrollar energía eléctrica.

En el lejano oriente, Japón, Taiwán y Corea del Sur trabajaron más lentamente. Rusia desarrolló sus propias plantas, en India comenzaron un programa nuclear, al igual que en China, con el fin de poder desarrollar electricidad.

En la Figura 1.3 se muestra un pequeño esquema de una planta nuclear, y las partes principales que la conforma y su función es desarrollar electricidad.

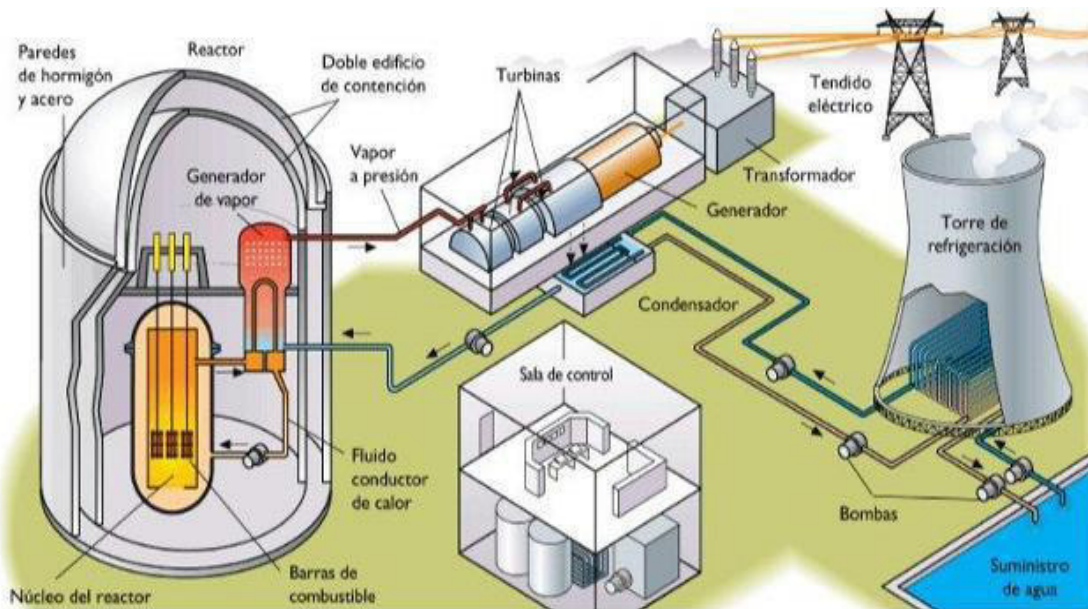


Figura 1.3 PLANTA NUCLEAR

<http://2.bp.blogspot.com/-DAHcFiGLpoE/US-NsVb9ANI/AAAAAADkU/Eb037mrHfak/s1600/distribucion+y+consumo.png>

#### 1.4.4.- EL TAMAÑO DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA.

En la Tabla 1.A se muestra la producción de energía eléctrica y se desglosa en la tabla tanto por región y por tipo de producción.

La generación eléctrica bruta en el año 2000 fue de 14.618 TWh. Esto fue equivalente a las centrales más o menos 1,670.000 MW en funcionamiento continuo durante un año.

De hecho, la capacidad real mundial instalada en el año 2000 era más del doble que, de 3,666.000 MW.

La tabla 1.A muestra la cantidad de electricidad generada en todo el mundo en el año 2000.

Tabla 1.A LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ELECTRICIDAD (EN TWH), 2000

REGIÓN	ENERGÍA TÉRMICA	ENERGÍA HIDRÁULICA	ENERGÍA NUCLEAR Y OTRAS	ENERGÍA GEOTÉRMICA	TOTAL
Norte América	2997	658	830	99	4584
América central y del sur	204	545	11	17	777
Europa occidental	1365	558	849	75	2847
Europa del Este y antigua URSS	1044	254	266	4	1568
Medio este	425	14	0	0	439
África	334	70	13	0	417
Asia y Oceanía	2949	529	465	43	3986
Total	9318	2628	2434	238	14618

## 1.5.-CONTEXTO TECNOLÓGICO.

### 1.5.1.- SISTEMAS HÍBRIDOS.

Cuando dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido.

Son sistemas compuestos generalmente por fuentes energéticas renovables y de ser necesario se complementan con grupos electrógenos, dejándolos en la mayoría de los casos solo para funciones de emergencia.

En los sistemas híbridos fotovoltaicos además de la energía solar, se utiliza generalmente un motor de combustión interna a gasolina o diésel con un generador eléctrico, o un aerogenerador, cuando no se tiene suministro eléctrico de la red pública como fuente de alimentación.

Los sistemas híbridos con base en las energías renovables pudiesen ser, la clave para el éxito de suministro, de electricidad para distintos sitios del sector público y privado de todo el mundo.

Ventajas de los sistemas híbridos:

- Ahorro de combustible hasta un 50%
- Menor contaminación atmosférica
- Ahorro en el mantenimiento
- Conexión a otras fuentes de alimentación

La integración de este tipo de sistemas, mediante un sistema de control adecuado, nos permite establecer redes aisladas que permiten la electrificación en zonas remotas a un costo razonable comparado con el hecho cualitativo de tener acceso a la energía eléctrica; en la Figura 1.4 podemos ver una serie de sistemas híbridos conectados a una casa habitación, los sistemas que lo integran son; desde un sistema fotovoltaico hasta un electrógeno, sin olvidar que también se incluye un aerogenerador, y sus respectivos sistemas para llevar a cabo el control.

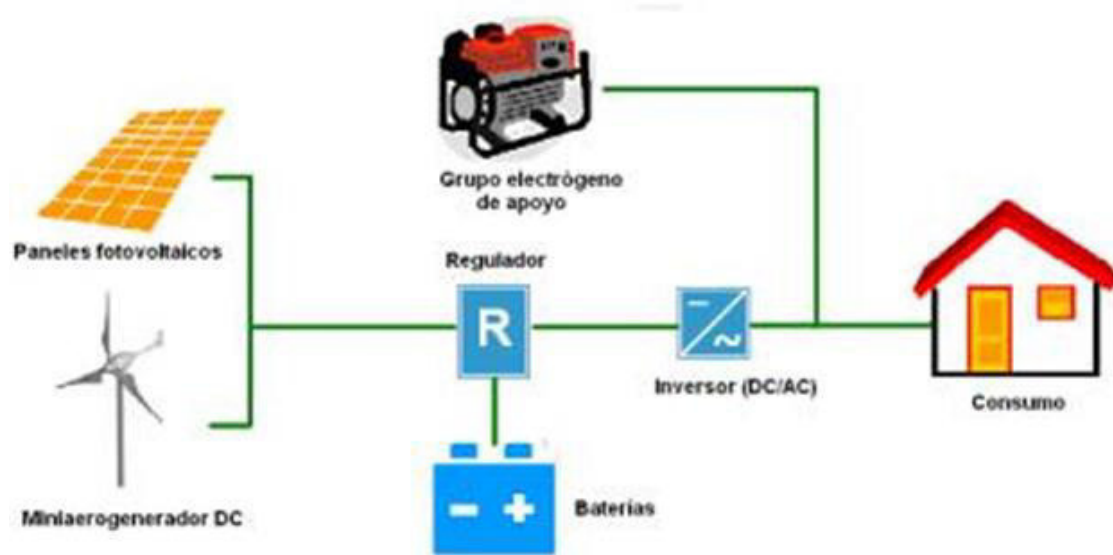


Figura 1.4 ESQUEMA DE DIVERSOS SISTEMAS HÍBRIDOS CONECTADOS A UNA CASA

<http://www.barloventorecursos.com/es/destacados/micro-renova-calculo-energetico-y-operacion-de-sistemas-hibridos-de-pequena-potencia>

### 1.5.2.-SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Descripción:

La principal peculiaridad de la electricidad solar es el dispositivo que transforma la radiación luminosa en electricidad, la célula solar. De sus características físicas y de la fuente energética que utiliza, el sol, se derivan la mayor parte de las propiedades de los sistemas fotovoltaicos.

Como la fuente primaria que utiliza es la radiación solar, depende de un combustible inagotable, distribuido por toda la superficie del planeta con especial intensidad en las regiones más pobres y del que se conoce su variación en el tiempo, al menos en cuanto a los valores medios, con bastante precisión.

Características:

- Es una tecnología no contaminante y que favorece la independencia energética, de enorme importancia dada la concentración geográfica de los recursos fósiles, en especial el petróleo.
- La energía solar (fotovoltaica) es uno de los recursos energéticos más apropiados para llevar la electricidad al medio, a causa de las propiedades de modularidad, autonomía, bajo mantenimiento y no son contaminantes esto caracteriza esta tecnología energética.

- Utiliza un dispositivo para el arreglo fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad
- Maneja un acondicionador de potencia producida (un inversor c.d. /c.a.), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo, a las características eléctricas de la red pública.



Figura. 1.5 CONJUNTO DE FOTOCELIDAS

[http://www.riagsa.com.mx/index.php?q=fotoceldas\\_solares](http://www.riagsa.com.mx/index.php?q=fotoceldas_solares)

### 1.5.3.-SISTEMA EÓLICO.

Descripción:

Podemos hacer una primera gran clasificación de los sistemas eólicos mejor conocidos como aerogeneradores, en función de la disposición del eje sobre el que se produce el giro distinguiendo entre aerogeneradores de eje vertical y aerogeneradores de eje horizontal, utilizando como fuerza propulsora al viento, siendo esta una tecnología limpia y libre de combustibles fósiles.

Características:

- Los aerogeneradores de eje horizontal, en función del tamaño de los mismos se pueden diferenciar en dos tipos, los aerogeneradores para sistemas a pequeña escala (con potencias de hasta 50 kW) utilizados para cargas de baterías y mini redes; en el otro extremo, los grandes aerogeneradores con potencias superiores a 500 kW.
- Los aerogeneradores de mayor tamaño son ampliamente utilizados en parques eólicos, conectados a la red eléctrica,
- Los aerogeneradores a pequeña escala están más enfocados a sistemas aislados ya sea sólo con eólica, o como parte de un sistema híbrido de pequeña potencia.
- Los aerogeneradores de tamaño medio, como ya se ha dicho, se utilizan fundamentalmente en sistemas eólico-diésel.



Figura 1.6 AEROGENERADOR

<http://www.renovablesverdes.com/aerogenerador-como-funciona-y-tipos/>

#### 1.5.4.-ELECTRÓGENOS.

Descripción:

Un electrógeno, mejor conocido como planta generadora de electricidad es un equipo de trabajo accionado por un motor diésel o de gasolina, que mueve un generador eléctrico a través del motor de combustión interna este sistema está destinado a abastecer a consumidores fuera del alcance de una red eléctrica pública.

Son comúnmente utilizados cuando hay deficiencia en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente en zonas apartadas, con poca infraestructura, y muy pocos habitantes.

Otro caso sería en lugares donde es de gran importancia contar con el suministro eléctrico tales como: hospitales, fábricas, etc., lugares en los que la energía eléctrica de red es insuficiente y es necesaria otra fuente de energía alterna, para abastecerse.

Dentro de los tipos de grupos que se comercializan encontramos grupos con diferentes características técnicas, prestaciones y dispositivos complementarios acordes a las aplicaciones y durabilidad requeridas.

Características:

- El generador eléctrico es de 2 polos y en conjunto con el motor de 3,000 rpm suministran energía eléctrica alterna con frecuencia a 60 Hz, en concordancia con el suministro eléctrico de la red pública.
- Los grupos electrógenos de 3,000 rpm son equipos motorizados con uso de combustibles fósiles como; diésel, gas o gasolina (nafta).

- Estos equipos tienen como ventaja de tener menor costo, pero su utilización solamente es recomendable para casos destinados a servicio de tipo soporte.



Figura 1.7 ELECTRÓGENO HONDA EC 2200

[http://www.camuna.net/sites/default/files/styles/galleryformatter\\_slide/public/IMG\\_0339.jpg?itok=A-nIPNI3](http://www.camuna.net/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/IMG_0339.jpg?itok=A-nIPNI3)

## 1.6 MARCO TEÓRICO.

### 1.6.1.-CONSIDERACIONES AMBIENTALES.

La industria de generación de energía eléctrica, se considera en el mundo, una gran industria, como tal tiene el mayor efecto de cualquier industria en la tierra, algunos de los efectos en particular están asociados a la combustión de combustibles fósiles.

Las consecuencias que hemos obtenido a causa de la producción de energía eléctrica han sido tales como: la lluvia ácida durante la década de 1980, desastres nucleares como el de Chernóbil en 1986, el calentamiento global durante la década de 1990, la omnipresente bruma que tiene arruinado muchas de las ciudades del mundo durante 20 años etc.

Al final del siglo XX existe la preocupación por el medio ambiente que es uno de los principales temas internacional en estas cuestiones, de la manera de producir energía eléctrica.

Como consecuencia de esto, son las preocupaciones ambientales que están empezando a dar forma a la industria de generación de energía, libres de emisiones.

### 1.6.2.- EL PETRÓLEO.

Es un combustible natural líquido constituido por una mezcla de hidrocarburos. Su poder calorífico oscila entre las 9000 y 11000  $K_{cal}/Kg$ .

Procede de la transformación por acción de determinadas bacterias, de enormes masas de plancton sepultadas por sedimentos y en determinadas condiciones de presión y temperatura, es por lo tanto un combustible fósil, y es más ligero que el agua.

La Figura 1.8 representa dos tipos de perforaciones, para extraer petróleo, la numero uno es una perforación en una plataforma submarina y la numero dos es una perforación en una plataforma terrestres.

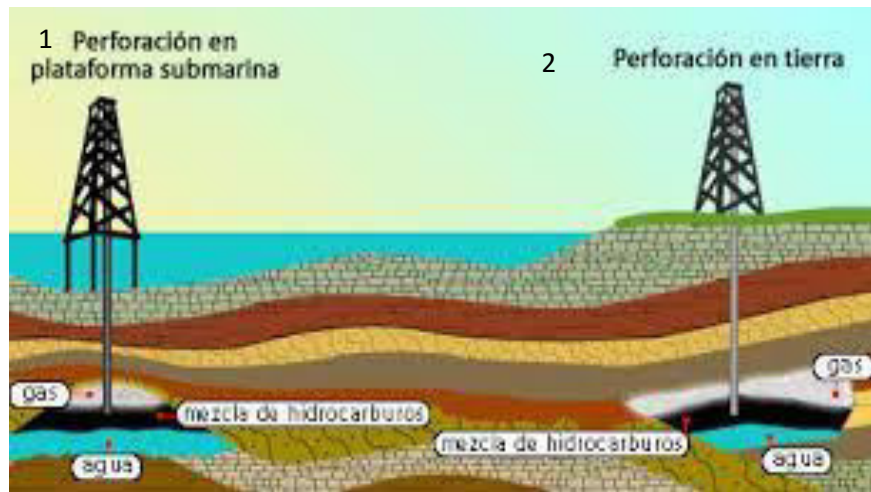


Figura 1.8 YACIMIENTO PETROLERO

<http://elpetroleorecursonatural.blogspot.mx/>

Estos depósitos se almacenan en lugares con roca porosa, hay rocas impermeables (arcilla) a su alrededor que evita que se salga, de los yacimientos petroleros.

La Tabla 1.B muestra el porcentaje en peso de los crudos.

Tabla 1. B COMPOSICIÓN EN PESO APROXIMADA DE LOS CRUDOS

CRUDOS	COMPOSICION
	% PESO
Carbón	84-87
Hidrógeno	11-14
Azufre	0-5
Nitrógeno	0-0.2
Oxigeno	0-0.5

El petróleo crudo es la materia prima principal de la industria de refinación del petróleo, está constituido por una mezcla de diferentes tipos de hidrocarburos, cuyas moléculas se componen de carbono e hidrógeno, con un pequeño porcentaje de otros elementos conformando hidrocarburos de estructuras más o menos complejas.

#### 1.6.2.1.-DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

El petróleo crudo no tiene aplicaciones prácticas como tal cuando se obtiene de sus yacimientos, sin embargo sometido a las operaciones básicas de la industria de refinación, da lugar a un conjunto de productos de uso energético directo, otros con diferentes aplicaciones y también otros que son materia prima de la industria de síntesis orgánica y petroquímica.

De forma genérica pueden listarse los siguientes derivados:

- Gases licuados.



- Gasolina automotor y aviación.
- Queroseno de aviación.
- Gasóleos para motores diésel.
- Fuel oíl bunker para buques.
- Fuel oíl para hornos, calderas industriales, calefacción, centrales térmicas, grupos electrógenos, etc.
- Disolventes.
- Aceites lubricantes.

### 1.6.2.2.-REFINADO DEL PETRÓLEO.

El petróleo crudo carece de utilidad, sus componentes deben separarse en un proceso denominado refino. Esta técnica se hace en unas instalaciones denominadas refinerías.

Los componentes se separan en la torre de fraccionamiento calentando el petróleo. En la zona más alta de la torre, se recogen los hidrocarburos más volátiles y ligeros y en la más baja los más pesados.

En la Figura 1.9 podemos observar una torre de fraccionamiento en la cual se muestran algunos derivados del petróleo, y la temperatura a la cual los podemos encontrar, por mencionar algunos productos, diremos que se encuentra el gas butano, gasolina, keroseno etc.

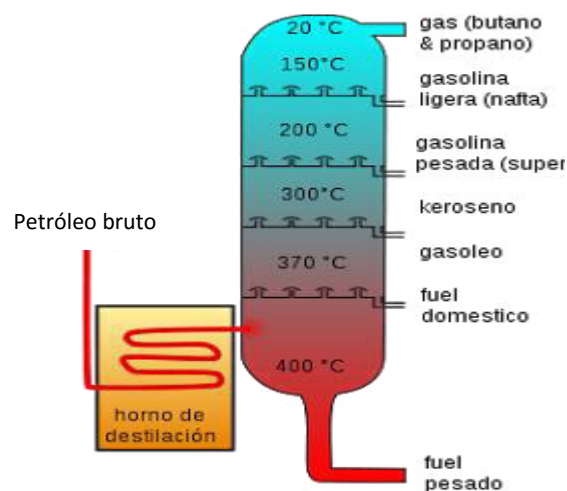


Figura 1.9 ALGUNOS DERIVAOS DEL PETRÓLEO

<http://elpetroleorecursonatural.blogspot.mx/>

Del refino del petróleo se extraen los siguientes productos, comenzando por aquellos más pesados, obtenidos a altas temperaturas, en la parte más baja de la torre de fraccionamiento:

- Residuos sólidos como el asfalto: para recubrir carreteras.

- Aceites pesados: Para lubricar máquinas.
- Gasóleos: Para calefacción y motores diésel.
- Queroseno: Para motores de aviación.
- Gasolinas: Para el transporte de vehículos.
- Gases: Butano, propano,... como combustibles domésticos.

#### 1.6.2.3.-GASOLINA.

La gasolina se obtiene del petróleo en una refinería. En general se obtiene a partir de la nafta de destilación directa, que es la fracción líquida más ligera del petróleo (exceptuando los gases).

La gasolina es un combustible con un alto contenido energético; las propiedades de las gasolinas han evolucionado, de forma muy significativa a lo largo de los años, no solamente para mejorar sus condiciones de utilización, sino también para reducir su impacto medioambiental negativo.

Las características que debe cumplir esta mezcla están en función de obtener, el máximo rendimiento en los motores de explosión y en limitar el nivel de contaminantes, que se producen en su combustión.

En la Figura 1.10 se muestra el momento en el cual se lleva a cabo la detonación del combustible mezclado con el aire, la cual esta explosión dará lugar al desplazamiento del pistón a través del cilindro y las válvulas permanecerán cerradas.



Figura 1.10 MEZCLA AIRE COMBUSTIBLE EN UN PISTÓN

<https://www.youtube.com/watch?v=w-06bHmzHQ0>

#### 1.6.2.4.- COMPOSICIONES QUÍMICA DE LA GASOLINA.

La gasolina formada por moléculas de carbono e hidrógeno normalmente tiene entre 7 y 11 átomos de carbón unidos a los átomos de hidrógeno. En el petróleo, los átomos de carbono se encuentran unidos por cadenas de diferentes longitudes.



La gasolina está formada por hidrocarburos que pertenecen a la familia de los alcanos, cuya configuración química es:  $C_nH_{2n+2}$

De esta forma se obtiene la siguiente lista de hidrocarburos:

- (n=1)  $CH_4$  Metano
- (n=2)  $C_2H_6$  Etano
- (n=3)  $C_3H_8$  propano
- (n=4)  $C_4H_{10}$  Butano
- (n=5)  $C_5H_{12}$  Pentano
- (n=6)  $C_6H_{14}$  Hexano
- (n=7)  $C_7H_{16}$  Heptano
- (n=8)  $C_8H_{18}$  Octano

Las primeras cuatro cadenas de alcanos (metano, etano, propano y butano) son gases.

A partir de estas y hasta llegar al  $C_{18}$  son líquidos a temperatura ambiente y las cadenas después del  $C_{19}$  son sólidos a temperatura ambiente.

Las cadenas en el rango de  $C_5$  al  $C_7$  son líquidos muy ligeros que se evaporan con facilidad, y son usados como solventes líquidos de limpieza. Las cadenas contenidas en el rango de  $C_7$  a  $C_{11}$ , son mezcladas para formar la gasolina.

La nafta se considera la fracción del petróleo cuyo punto de ebullición se encuentra aproximadamente entre 28 y 177 °C (umbral que varía en función de las necesidades comerciales de la refinería).

A su vez, este subproducto se subdivide en nafta ligera (hasta unos 100 °C) y nafta pesada (el resto). La nafta ligera es uno de los componentes de la gasolina, con unos números de octano en torno a 70.

La nafta pesada no tiene la calidad suficiente como para ser utilizada para ese fin, y su destino es la transformación mediante reformado catalítica, proceso químico por el cual se obtiene también hidrógeno, a la vez que se aumenta el octanaje de dicha nafta.

Además de la nafta reformada y la nafta ligera, otros componentes que se usan en la formulación de una gasolina comercial son la nafta de FCC por sus siglas en inglés (fluid catalytic cracking-craqueo catalítico fluidizado). La nafta ligera Isomerizada, la gasolina de pirólisis desbencenizada, butenos, MTBE, ETBE, alquilato y etanol.

El octanaje indica la presión y temperatura a que puede ser sometido un combustible carburado, mezclado con aire antes de auto-detonarse, al alcanzar su temperatura de auto ignición, debido a la ley de los gases ideales. Hay distintos tipos de gasolinas comerciales, clasificadas en función de su número de octano.

Estas mezclas están constituidas por, moléculas cuyos número de átomos están entre  $C_4$  y  $C_{11}$ , que destilan entre los  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en la que se incluye todo tipo de hidrocarburos: parafinas, isoparafinas, aromáticos, naftenos y hasta un 30% de olefinas.

Tiene también un contenido muy bajo del orden de las partes por millón, de azufre y nitrógeno. Además es normal que se le incorporen aditivos de estabilidad, antidetonantes, detergentes, etc.

La nafta se obtiene por un proceso llamado fluid catalytic cracking FCC (a veces denominada gasolina de FCC- craqueo catalítico fluidizado) de gasoil pesado. Si no está refinada puede tener hasta 1,000 ppm de azufre. Tiene alrededor de un 40% de aromáticos y 20% de olefinas.

Sus números de octano MON/RON (MOTOR OCTAN NUMBER-NÚMERO DE OCTANO DEL MOTOR, RESECH OCTAN NUMBER-NÚMERO DE OCTANO DE INVESTIGACIÓN) están en torno a 80/93. La nafta ligera (Isomerizada) se obtiene a partir, de la nafta ligera de destilación directa, mediante un proceso que usa catalizadores sólidos, en base platino/aluminio zeolíticos.

Otro componente que proporciona “masa” a la mezcla, es la Nafta de FCC, con un índice de octano del orden de 92 RON y también alta densidad y además con elevado contenido en azufre y olefinas.

El comportamiento antidetonante de las gasolinas, no es una magnitud física y por lo tanto fue preciso poner a punto un método de medida del mismo.

El método se basa en la cuantificación de la tendencia a la detonación, del combustible en un motor monocilíndrico, en condiciones determinadas y la comparación de dicha tendencia, con compuestos de comportamiento, antidetonante establecidos como referencia.

En la Figura 1.11 podemos ver una gráfica de pastel, la cual muestra los porcentajes de los compuestos químicos de la gasolina.

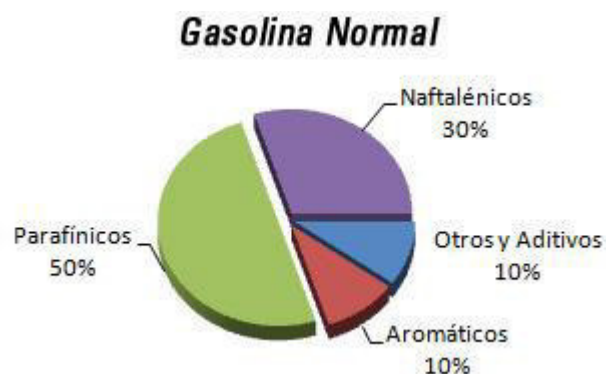


Figura 1.11 GRAFICA DE COMPUESTOS QUÍMICOS DE LA GASOLINA

<http://www.que-formula1.com/index.php/articulos-tecnicos/como-es-la-gasolina-de-un-formula-1-2/>

Dado que la tendencia a la detonación depende de las condiciones de funcionamiento, se definen dos números de octano:

- MON (MOTOR OCTAN NUMBER-NÚMERO DE OCTANO DEL MOTOR)



- RON (RESECH OCTAN NUMBER-NÚMERO DE OCTANO DE INVESTIGACIÓN)

Las condiciones de funcionamiento en el caso del MON son de mayor velocidad y temperatura de admisión, junto a un avance variable que intenta reproducir el comportamiento de los combustibles en circunstancias de conducción en carretera, mientras que el RON intenta reproducir las condiciones de circulación en ciudad.

Las Normas ASTM D 2699 para el RON y la ASTM D 2700 se utilizan para la determinación del número de octanos en gasolinas y sus componentes.

El índice antidetonante se define como AKI (Número de octano comercial) = (RON+MON)/2.

La sensibilidad se define como la diferencia entre los valores del RON y del MON tanto para una gasolina o para un componente de ella.

El octano de la Nafta reformada suele estar entre 97 y 100 RON, dependiendo de la severidad a la que se opere en la unidad de reformación.

Este octano se obtiene por el alto porcentaje de hidrocarburos aromáticos, del orden del 67 % en volumen, que tiene este componente los aromáticos tienen densidades altas, de ahí la alta densidad de la nafta reformada, según vimos en el punto anterior se rebaja la densidad por dilución, con componentes más ligeros y por lo tanto con menor número de octano.

El contenido en aromáticos en una gasolina se ha venido reduciendo en las especificaciones a lo largo de los últimos años, en la actualidad se permite un máximo de 35 % de volumen.

Los mismos componentes utilizados para reducir la densidad, reducen también el contenido en aromáticos, ya que individualmente cada uno de ellos está exento de este tipo de hidrocarburo.

#### ESTEQUIOMETRIA DE LA GASOLINA.

La cantidad de producto que se suele obtener de una reacción química, es siempre menor que la cantidad teórica. Esto depende de varios factores, como la pureza del reactivo y de las reacciones secundarias, que puedan tener lugar.

Partiendo del análisis estequiometrico, se obtiene la composición de los gases producidos, por medio de las expresiones siguientes (en las ecuaciones se da en cada caso el poder calorífico que resulta del número de K moles indicado):

Combustión del carbón



$$12 \text{ Kg}+32 \text{ Kg}=44 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ Kg}+2.667 \text{ Kg}=3.667 \text{ Kg}$$

Combustión del hidrógeno



$$4.03 \text{ Kg}+32 \text{ Kg}=36.03 \text{ Kg}$$



$$1.008 \text{ Kg} + 8 \text{ Kg} = 9.008 \text{ Kg}$$

Combustión de azufre

$$S + O_2 = SO_2 + 70700 \text{ Kcal a } 20 \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.3}$$

$$32 \text{ Kg} + 32 \text{ Kg} = 64 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ Kg} + 1 \text{ Kg} = 2 \text{ Kg}$$

La cantidad de oxígeno necesario para la combustión completa, dada por esta ecuación resulta:

$$O_{\min} = 2.667c + 8h + s - o \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.4}$$

En esta ecuación significa:

C=Proporción de carbón, en peso en el combustible.

H=Proporción de hidrógeno, en peso en el combustible.

S=Proporción de azufre, en peso en el combustible.

O=Proporción de oxígeno, en peso en el combustible.

Como producto de la combustión de la gasolina, nos produce ciertos contaminantes atmosféricos tales como: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), etc. A continuación se describen cada uno de los principales contaminantes atmosféricos, causantes del efecto de gases de invernadero.

- Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El bióxido de carbono aparece siempre en los productos de la combustión, esta sustancia aunque no es nociva, cuando se acumula en la atmosfera es la mayor responsable del efecto de invernadero.

- Monóxido de carbono (CO).

Este gas es nocivo para la salud del ser humano, lo podemos encontrar en los productos de la combustión, por una combustión incompleta a causa de falta de oxígeno a la cámara de combustión, teóricamente el CO no se debería de producir, si hay más oxígeno que el necesario por la relación aire combustible.

- Hidrocarburos.

Este tipo de contaminantes, son producidos a causa de la evaporación de la gasolina, y por la combustión de este combustible. Se cree que son los responsables de afecciones cancerígenas.



➤ Óxido de nitrógeno.

Son gases resultantes de la reacción del oxígeno, y el nitrógeno del aire, no son producto de la combustión, son formados cuando la presión y temperatura son altas; estos óxidos junto con los hidrocarburos, reaccionan con la luz solar formando el smog, los óxidos de nitrógeno son irritantes para la vista y garganta.

➤ Dióxido de azufre.

Este contaminante es el resultado de la combustión del azufre, contenido en los combustibles fósiles (petróleo, gasolina, diesel, carbón). El dióxido de azufre también se asocia a problemas del asma y bronquitis crónica, aumentando la mortalidad, en personas mayores y niños.

### 1.6.3.- EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE DEL FUTURO.

En la historia de la química, la primera referencia al hidrógeno como tal aparece con la identificación de dos gases diferentes, formando parte del agua, por el inglés Henry Cavendish en 1766. Cavendish le da el nombre de aire inflamable.

Más tarde, Antoine Lavoisier le da el nombre por el que lo conocemos, hidrógeno, generador de agua.

Antes de que finalizara el siglo XVIII, el hidrógeno encontró su primera aplicación práctica, como ocurre frecuentemente, por el ejército francés para globos de reconocimiento.

Más de un siglo después, Alemania lo empleó en sus dirigibles para cruzar el océano Atlántico e incluso como combustible para la propulsión de los llamados zeppelines. Esta empresa concluyó después de la catástrofe del Hindenburg en 1937.

El auge del carbón en el siglo XIX y del petróleo en el siglo XX eliminó toda posibilidad del uso masivo del hidrógeno. Solamente la industria química lo utilizaba, primero con la producción de fertilizantes derivados del amoníaco, y después la necesidad de utilizar hidrógeno para eliminar azufre y otros componentes, de las gasolinas y gasóleos de locomoción y como complemento, en las síntesis de productos derivados del petróleo, mantuvieron, en el mundo una producción sustancial del hidrógeno.

Más adelante, ya en la segunda mitad del siglo XX, la preocupación por el ambiente y los posibles efectos sobre el clima, el comienzo de la era espacial y la inquietud sobre el agotamiento de los combustibles fósiles, ha traído de nuevo un gran impulso, sobre todo, de la industria automovilista por el empleo en gran escala del hidrógeno, lo que se ha llamado, la economía del hidrógeno y podemos, en la siguiente Figura 1.12 podemos observar fuentes de energía y los consumidores.

## La economía del hidrógeno



Figura 1.12 ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO

<https://silvestrevivo.wordpress.com/2011/03/16/el-hidrogeno-la-energia-nuclear-y-prayforjapan-verdades-y-mentiras/>

El interés de las industrias aeroespacial y automovilista por el hidrógeno, se debe a la llamada pila de combustible, donde el hidrógeno puede quemarse con el oxígeno, transformándose, la energía de la combustión en electricidad.

Este proceso fue ya descubierto en 1839 por el galés William R. Grove, pero su desarrollo comenzó en la década de 1960 por la NASA, para producir electricidad y agua, en algunas de sus misiones espaciales.

Actualmente, un gran número de prototipos de las principales marcas de automóviles, y autobuses ensayan pilas de combustible, y combustibles diversos.

### 1.6.3.1.- RAZONES PARA TRATAR EL HIDRÓGENO.

Las razones principales para tratar el hidrógeno son de tipo ambiental y de previsión, sobre el posible agotamiento del petróleo, que hoy constituye la base energética actual de los países avanzados, especialmente en el transporte y producción de electricidad.

Ventajas:

- Su principal ventaja es que su combustión produce solo agua.
- No emite gases de efecto invernadero, como ocurre con los combustibles fósiles, e incluso con la biomasa. Esto le hace particularmente apropiado para sustituir, a los derivados del petróleo.
- Una de sus propiedades importantes, es la energía específica de su combustión. Su valor es de 120 mJ/kg (mega Joule por kg) en comparación con 50 mJ/kg del gas natural o con 44.6 mJ/kg del petróleo.





- Su capacidad de ser almacenado le hace apropiado como complemento de algunas energías renovables, que funcionan intermitentemente.

Desventajas:

- Tiene el grave inconveniente de no ser un combustible primario, puesto que hay que producirlo con otros combustibles, o extraerlos de otros componentes como el agua.
- Tiene una baja densidad que presenta tanto como gas licuado, y a las dificultades de almacenamiento, para sus aplicaciones al transporte.

### 1.6.3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO.

Las principales características de la molécula del hidrógeno son:

- inoloro
- incoloro
- insípido
- gaseoso (en condiciones ambientales).

El hidrógeno es un elemento simple, ligero, y abundante ya que como átomos, constituye aproximadamente el 11% de la masa del agua y el 75% del sol, también es muy abundante en la corteza terrestre ya que lo podemos encontrar en todos los hidrocarburos, en los ácidos, en la materia viva y en muchos minerales.

En cuanto a las propiedades físicas y termodinámicas del hidrógeno cabe señalar que el hidrógeno, es el primer elemento de la tabla periódica, del que se conocen tres isótopos con masas relativas 1, 2 y 3 aunque la más abundante con un 99.985% es el protio, con masa 1. Su núcleo atómico, con carga positiva simple, se denomina protón.

El hidrógeno es poco soluble en líquidos pero, bastante soluble en metales y es el elemento, con mayor capacidad de difusión. Entre las propiedades químicas del hidrógeno, se puede recordar que los átomos de hidrógeno, reaccionan entre sí y también los hacen con otros elementos, a excepción de los gases nobles.

Con los halógenos reacciona para formar haluros, con los metales para dar hidruros, con el carbono y los hidrocarburos para producir metano y compuestos saturados, con el nitrógeno para formar amoníaco, y con el oxígeno para producir agua.

La reacción para formar agua es extraordinariamente lenta a temperatura ambiente, pero si la acelera un catalizador, como el platino o una chispa eléctrica se realiza con violencia explosiva.

A temperaturas ordinarias, el hidrógeno es una sustancia poco reactiva, a menos que se active, por ejemplo con un catalizador adecuado. A temperaturas elevadas es muy reactivo, el hidrógeno molecular se disocia en átomos libres a temperaturas elevadas.

El hidrógeno atómico es un agente reductor poderoso aún a temperatura ambiente, produce con oxígeno el peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ .



En la Tabla 1.C podemos observar las propiedades químicas y físicas del hidrógeno, agua y del peróxido de hidrógeno.

### 1. C PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL HIDRÓGENO A 298.15 K

FÓRMULA	NOMBRE	M (g/mol)	$\Delta H^{\circ}f$ (kJ/mol)	$\Delta G^{\circ}f$ (kJ/mol)	$S^{\circ}f$ (J/mol K)	$C_{p,m^{\circ}}$ (J/Kmol)
H <sub>2</sub>	Hidrógeno	2.016	0	0	130.68	28.82
H	Hidrógeno	1.008	217.97	203.25	114.71	20.78
H <sub>2</sub> O	Agua	18.01	-285.83	-237.13	69.91	75.29
H <sub>2</sub> O	Agua	18.01	-241.82	-228.57	188.83	33.58
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno	34.01	-187.78	-120.35	109.60	89.10
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno	34.01	-136.10	-105.48	232.90	33.57

En la Tabla 1.C.1 podemos observar los valores de los calores específicos del hidrógeno a presión y volumen constante, los cuales utilizaremos y recopilaremos más adelante para desarrollar nuestro cálculo termodinámico.

### 1. C.1 CALOR ESPECÍFICO Y ENTALPIA A 1 BAR DE HIDRÓGENO

FÓRMULA	NOMBRE	CONSTANTE DE GAS R J/Kg mol <sup>o</sup> K	C <sub>p</sub> KJ/Kg <sup>o</sup> K	C <sub>v</sub> KJ/Kg <sup>o</sup> K	TEMPERATURA EN K	$\Delta H^{\circ}_{comb}$ (kJ/mol)
H <sub>2</sub>	Hidrógeno	8.3200x10 <sup>3</sup>	14.307	10.183	1.405	-285.83

### 1.6.4.- PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES.

El poder calorífico es la cantidad de calor liberada en el proceso de combustión, por la unidad de masa del combustible seco, y varea de uno a otro combustible en relación, a las cantidades de carbón, e hidrógeno incluidos en su composición.

Existen dos valores de poder calorífico para los combustibles: el llamado poder calorífico superior y el inferior.

Descripción de los poderes caloríficos (PCI, PCS):

- Se denomina poder calorífico inferior, (PCI) a la cantidad de calor que puede obtenerse en la combustión completa, de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión, el agua está en forma de vapor. En este caso una parte del calor generado en las oxidaciones, se utiliza para evaporar el agua, por tanto esta parte del calor no se aprovecha.
- Se denomina poder calorífico superior, (PCS) si en los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida, por lo que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes, del combustible. El poder calorífico superior de un combustible, está dado por el calor total generado en las diversas, reacciones de oxidación.



La combinación del hidrógeno presente en el combustible con el oxígeno para formar agua, es una reacción que va acompañada con la producción de una determinada cantidad de calor, pero una parte considerable de este se utiliza en la evaporación, del agua de la reacción.

En la combustión del carbón puro los valores del poder calorífico superior, así como el del inferior son iguales, puesto que no contiene hidrógeno y por lo tanto no hay producción de agua.

Contrariamente los hidrocarburos del petróleo, rico en hidrógeno presentan una marcada diferencia entre los valores, antes mencionados.

Aquí podríamos sugerir una fórmula genérica, medida para los hidrocarburos del petróleo, misma que sería:  $C_n/H_{zn}$ , la cual nos enseña la proporción, de hidrógeno respecto al carbón, existente.

El balance calorífico efectuado en un proceso de combustión, considera el valor del poder calorífico inferior como el calor cedido por el combustible, de este una parte es absorbida por los gases producto de la combustión, para elevar su temperatura desde una temperatura inicial, que es la de la mezcla de las sustancias reaccionantes, hasta la temperatura que poseen dichos gases al dejar el sistema.

Así pues, si al valor del poder calorífico superior de un combustible le restamos el valor del calor necesario para llevar al agua resultante, el estado de vapor, obtendremos el valor del poder calorífico inferior de este combustible, y si a este le restamos el incremento de entalpía, observado en los gases a la salida del proceso, obtendremos como resultado el calor aprovechable que podrá ser convertido en trabajo.

La energía calorífica liberada por unidad de masa es una cantidad fija, para cada combustible dado, y es independiente tanto de las condiciones iniciales, de la mezcla de aire y combustible como de la naturaleza del proceso.

En el ciclo teórico se supone que la combustión se realiza según una transformación isocórica instantánea, en el ciclo real la combustión dura un cierto tiempo. Por ello si el encendido o la superficie correspondiente y dividiendo la superficie del ciclo indicado por la respectiva el ciclo teórico, se obtienen el denominado rendimiento indicado.

En la Tabla 1.D se nombran algunos hidrocarburos con sus correspondientes poderes caloríficos, y que son ensayados en una bomba calorimétrica y llevados a la combustión, para conocer sus poderes caloríficos.

Tabla 1. D PODERES CALORÍFICOS DE ALGUNOS HIDROCARBUROS

HIDROCARBURO	FÓRMULA	PODER CALORIFICO SUPERIOR EN Kcal/Kg/mol	PODER CALORIFICO INFERIOR EN Kcal/Kg/mol	ENTALPIA DE VAPORIZACION Kcal/Kg/mol
Carbón (grafito)	C	94052	94052	-----
Monóxido de carbono	CO	67636	67636	-----
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	68317	57798	-----
Metano	CH <sub>4</sub>	212800	191760	-----
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	372820	341260	-----
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	530600	488530	81.6
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	687650	635050	86.7
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	845160	782040	87.2
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1002570	928930	87.2
Heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	1160010	1075850	87.2
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	1317450	1222770	86.7

En la Tabla 1.E se indican algunos de los combustibles principales utilizados por la humanidad así como su fórmula química, punto de ebullición, peso molecular etc. Estos combustibles son los que utilizamos para nuestras comodidades puesto que los utilizamos como combustibles para nuestros transportes, para cocinar nuestros alimentos, o para algunos procesos industriales.

Tabla 1.E HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

FORMULA	NOMBRE	COMBUSTIBLE	PTO. DE EBULLICIÓN (°C)	PESO MOLECULAR	DENSIDAD ESPECIFICA (a 20°C)	PODER CALORÍFICO (Kcal/kg)
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Etano	Gas natural	-88.5	30.0	0.546	11.442
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propano	Gas L.P.	-42	44.0	0.582	11.119
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Butano		0	58.1	0.570	10.996
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Pentano	Gasolina natural	36	72.1	0.626	10.888
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Hexano		69		0.659	
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	Heptano		98	100.2	0.684	10.782
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Octano		126	114.2	0.703	10.700
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	Nonano		151		0.718	
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	Decano		174	142.3	0.730	10.669
C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	Undecano		196		0.740	
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	Dodecano	Diésel	216	170.3	0.749	10.651
C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	Tridecano		234		0.757	
C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	Tetradecano		252		0.764	

En la Tabla 1.F se muestran los poderes caloríficos de los dos combustibles (gasolina e hidrógeno) que nos serán útiles en nuestro cálculo de los procesos termodinámicos y podamos llevar a cabo la comparativa de las eficiencias térmicas y mecánicas, así como su comparación química entre un combustible y otro.



Tabla 1.F PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES A EMPLEAR EN EL CÁLCULO.

COMBUSTIBLE	FORMULA	PODER CALORIFICO SUPERIOR EN $K_{cal}/Kg_{mol}$	PODER CALORIFICO INFERIOR EN $K_{cal}/Kg_{mol}$	Cp KJ/Kg K	Cv KJ/Kg K	OCTANAJE	
						RON	MON
Gasolina	$C_nH_{2n+2}$	10.512	10.440	1.005	0.712	91-99	82-89
Hidrógeno	$H_2$	68317	57798	14.307	10.183		

### 1.6.5.-LEYES DE LA TERMODINÁMICA.

#### ➤ PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA.

Es el principio de “conservación de la energía”: la energía ni se crea ni se destruye únicamente se transforma. Que dicho de otro modo, el calor “Q” es transformable en trabajo “W”, y viceversa, según la relación constante y quedando el estado termodinámico de un fluido definido por sus condiciones de presión, temperatura, volumen, energía interna y entropía.

#### ➤ SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.

En el enunciado de Kelvin, confirma que no existe ningún dispositivo que, operando por ciclos, absorba calor de una única fuente y lo convierta íntegramente en trabajo. Lo que nos lleva pensar que parte de la energía no es aprovechable.

De este principio se saca como conclusión que todas las máquinas van a tener un rendimiento “no perfecto”, es decir menor que 1. Y que un proceso puede ser reversible o teórico (invierten su sentido sólo modificando las condiciones externas) e irreversible o real (donde los estados intermedios no están en equilibrio como los anteriores debido al rozamiento, etc.).

### 1.6.6 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

El motor es el encargado de transformar la energía térmica en energía mecánica que posteriormente utilizara para hacer girar la flecha que va acoplada al generador eléctrico.

Estos motores se llaman de combustión interna porque realizan su trabajo en el interior de una cámara, cerrada mediante la aportación del calor producido, al quemarse el combustible.

En este caso la presión de los gases de la combustión y el calor generado en su interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovecha como fuente de energía.

En la siguiente Figura 1.13 se muestra un esquema de un motor monocilíndrico, en el cual describe las partes en donde se lleva a cabo la admisión aire combustible, proceso de combustión y los gases producidos por la combustión etc.

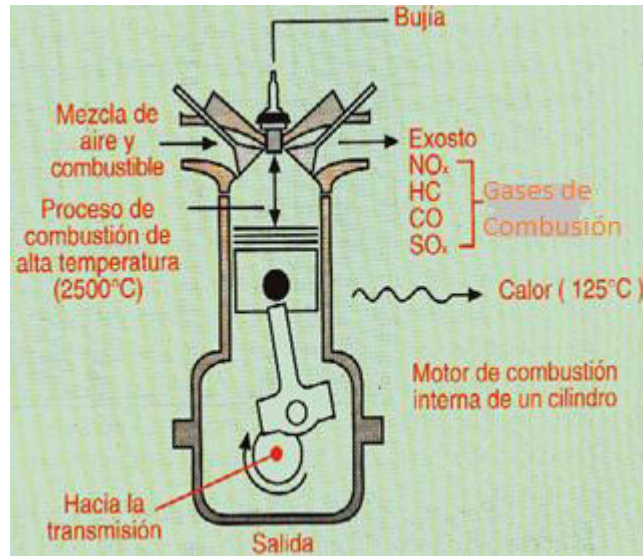


Figura 1.13 ESQUEMA DE UN PISTÓN

<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno%2000/Celdas%20de%20Combustible/cc.html>

#### 1.6.6.1.- CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Los motores de combustión interna vienen determinados en función de una serie de características constructivas y de funcionamiento que las podemos clasificar:

1° Según el combustible empleado podría ser líquido (gasolina gasóleo) o gaseosos (hidrógeno, gas natural o biodiesel).

En el caso de los motores a gasolina, la combustión se realiza cuando el émbolo o pistón, se encuentra en el punto muerto superior es decir cuando el pistón está en la parte superior de su carrera, en la Figura 1.14 se muestra un motor de cuatro pistones, doble árbol de levas y cuatro válvulas por cilindro.

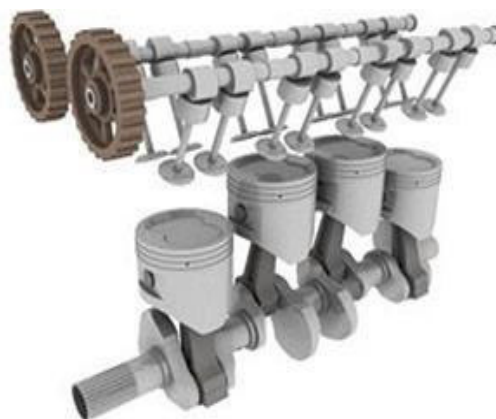


Figura 1.14 MOTOR A GASOLINA CUATRO PISTONES

<http://lasmoteras.blogspot.mx/2008/06/motores-de-combustion-interna.html>

2° Según el número de carreras del pistón en cada ciclo.

De 2T (dos tiempos), cuando el pistón sube y baja una vez en cada ciclo, por ejemplo el motor de algunas motocicletas son motores a dos tiempos al igual que el de algunos electrógenos o plantas generadoras de electricidad así como el de algunas apodadoras para jardines.

En la Figura 1.15 se muestra una imagen de un motor monocilíndrico a dos tiempos enfriado por aire forzado, en esta imagen podemos apreciar su construcción y las aletas enfriadoras que son comunes en motores de motocicletas.

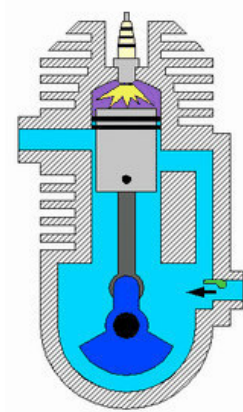


Figura 1.15 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A 2 TIEMPOS

[https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_dos\\_tiempos](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_dos_tiempos)

#### 1.6.6.2.-ESTUDIO DE PARTES QUE CONFORMAN AL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

1° **Cabeza (culata)**, situada en la parte superior del motor donde aloja a las válvulas y los conductos que canalizan la admisión y el escape (lunbreras).

2° **Las válvulas**, que al abrir y cerrar se encargan de dar paso a la entrada de los gases (admisión) y dar salida a los gases quemados de la combustión (escape).

3° **El árbol de levas**, que es el encargado de abrir y cerrar las válvulas. Está situado en la culata o en el bloque del motor.

4° **Los cilindros**, donde suben y bajan los pistones. Pueden ir mecanizados en el bloque o encamisados.

5° **El bloque**, es la estructura principal donde están los cilindros, se ubica la bancada y asientan el cigüeñal.

6° **Los pistones (embolo)**, que se deslizan por los cilindros con movimiento rectilíneo alternativo.

7° **Los segmentos (anillos)**, que se encargan de conseguir un cierre hermético de la cámara de combustión y ayudan a disipar el calor.

8° **Las bielas**, que transmiten el movimiento de los pistones al cigüeñal.

9° **El cigüeñal**, que recibe la fuerza de los pistones por medio de la biela y la transforma en movimiento giratorio.

10° **Los cojinetes de bancada**, sobre los que gira el cigüeñal dentro del bloque de los cilindros.

11° **El volante**, que está unido al cigüeñal y proporciona la inercia necesaria para que el pistón vuelva a subir después del tiempo de explosión.

12° **La correa o engranes de distribución**, encargada de unir en giro sincronizado el movimiento del cigüeñal y árbol de levas.

13° **Colector de admisión**, son los que canalizan los gases de entrada a los cilindros.

14° **Colector de escape**, conduce los gases quemados de la combustión desde la culata al exterior.

15° **Carter de aceite**, es el recipiente donde se aloja el aceite de engrase y está situado en la parte inferior del bloque.

En la Figura 1.16 podemos ver un despiece de distintas partes que conforman al pistón, este esquema fue extraído del manual de nuestra planta generadora de electricidad (electrógeno) aquí podemos apreciar los segmentos 1), el pistón 2) el perno 3) el seguro del perno 4) y la biela 5) con sus tornillos 6)

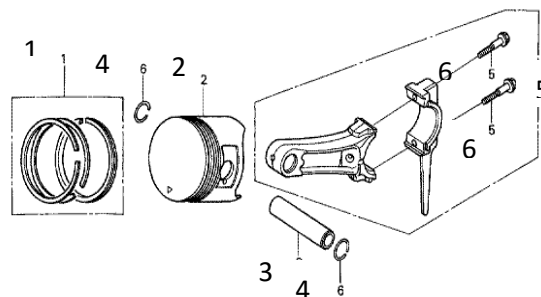


Figura 1.16 ESQUEMA DEL PISTÓN DEL MOTOR HONDA EC 2200

Imagen extraída del manual Honda EC2200

### 1.6.7.-CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS.

El ciclo Otto es el más empleado en la actualidad, y realiza la transformación de energía calorífica en mecánica fácilmente utilizable en cuatro fases; en la primera fase llamada de admisión, la carga es aspirada hacia el interior de la cámara, provocando el descenso del pistón a lo largo del cilindro.

La fase de compresión se inicia cuando el pistón empieza a desplazarse hacia arriba.



Durante esta fase las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas, de forma que la carga es comprimida hasta que su volumen se hace muy pequeño.

Cuando toda la carga queda encerrada en la cámara o parte superior del cilindro, es encendida mediante una chispa eléctrica que salta entre los polos de una bujía y se inicia la fase de explosión, en la cual se forman gases muy calientes que se expansionan empujando el pistón hacia abajo a lo largo del cilindro.

En la fase de escape se abre la válvula de escape y el pistón reinicia su carrera ascendente empujando los gases residuales de la combustión hacia el exterior del cilindro.

La Figura 1.17 es una gráfica presión volumen, la línea horizontal representa la presión atmosférica  $P_a$ . La línea vertical corresponde a la posición del pistón (embolo), en los punto muerto superior y punto muerto inferior.

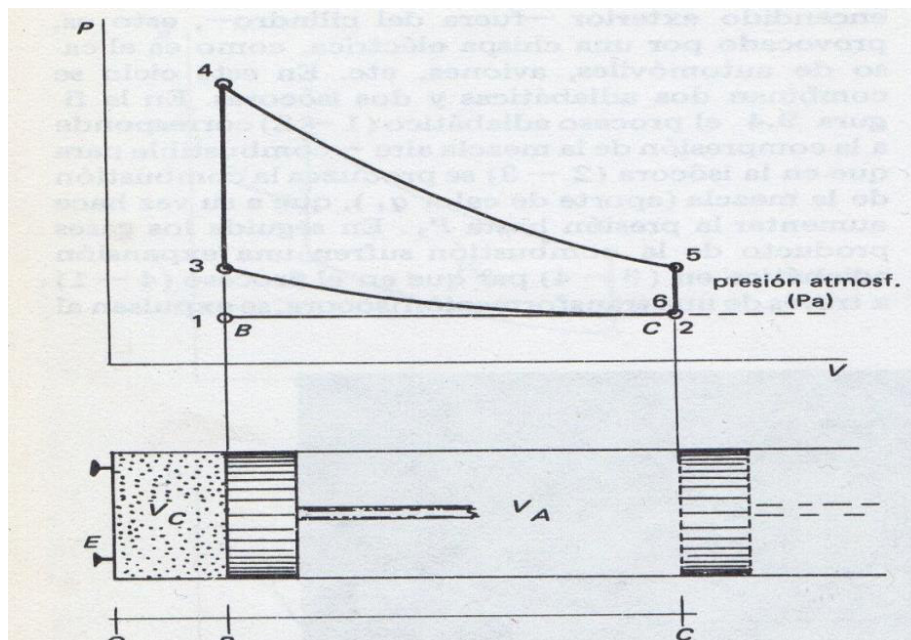


Figura 1.17 GRAFICA DE CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS

(Imagen extraída del libro Energía Y Maquinas Térmicas)

La distancia B-C de la figura 1.17, representa la carrera del pistón y por consiguiente también el volumen de admisión  $V_a$ . La distancia O-B representa el volumen de compresión  $V_c$ . Estando el pistón en el punto muerto o límite de la izquierda. Teóricamente se considera que la admisión de la mezcla explosiva se verifica a la presión atmosférica  $P_a$ .

En donde del estado uno al estado dos es la admisión, del estado dos al estado tres es la compresión, del estado tres al cuatro es la explosión, del estado cuatro al estado cinco es la expansión y del estado cinco al estado seis es el escape de los gases quemados, y así sucesivamente se repite el ciclo termodinámico Otto a cuatro tiempos, en condiciones ideales.



En el diagrama queda representado por la línea horizontal 1-2, que coincide con la línea de la presión atmosférica.

### 1.6.7.1.- PROPIEDADES DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS.

Para entender las propiedades del ciclo Otto usaremos las siguientes anotaciones:

$P_a$  la presión atmosférica absoluta en Pascales ( $P_a$ ).

$V_a$  Volumen de admisión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$V_T$ . Volumen total del cilindro, igual al volumen de admisión ( $V_a$ ) más el volumen de compresión en metros cúbicos ( $V_c$ ).

$T_a$  Temperatura absoluta atmosférica en kelvin (K).

$V_c$ . Volumen del espacio de compresión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$T_3$  Temperatura absoluta después de la compresión en Kelvin (K).

$P_3$  Presión absoluta al final de la compresión en Pascales ( $P_a$ ).

$P_4$  Presión absoluta al final de la explosión en Pascales ( $P_a$ ).

$V_4$  Volumen al final de la explosión igual a  $V_c$  igual a  $V_3$  en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$T_4$  Temperatura absoluta al final de la explosión en kelvin (K).

$P_5$  Presión absoluta al final de la expansión en Pascales ( $P_a$ ).

$V_5$  Volumen final de la expansión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$T_5$  Temperatura final de la expansión en Kelvin (K).

$Q_S$  Calor suministrado en Joule (J).

$Q_R$  Cantidad de calor retirado en Joule (J).

$m$  Masa de la mezcla explosiva contenida en el cilindro en kilogramos (Kg).

$V_a = V_T - V_c =$  Volumen admisión del cilindro en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$C_c =$  combustión del combustible en kilogramos (Kg).

### 1.6.7.2.- ECUACIONES CARACTERÍSTICAS DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS.

Para encontrar el volumen de admisión, utilizaremos las dimensiones del motor, proporcionadas por el fabricante; como longitud (carrera) y el diámetro interior del cilindro, la ecuación siguiente muestra como calcular el volumen de admisión.

$$V_a = \frac{(\pi * (d^2) * L)}{4}; m^3 \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.5}$$



El volumen de la cámara de combustión  $V_c$ , se encuentra considerando las ecuaciones del proceso adiabático de compresión entre los puntos 2 y 3. Es obvio que  $V_c=V_3$ ; y que  $V_2=V_T$ . Por otra parte  $P_2=P_a$  donde  $P_a$  es igual a la presión atmosférica, de acuerdo a la relación de volúmenes y presiones nos queda la siguiente ecuación.

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{V_c}{V_T} = \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{1/R} = \left(\frac{P_3}{P_a}\right)^{1/R} \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.6}$$

Así:

$$V_c = V_T \left(\frac{P_3}{P_a}\right)^{1/R}; m^3 \dots\dots\dots \text{Ecu 1.7}$$

O bien podemos encontrar el volumen de la cámara de combustión, por medio de la relación de compresión como se muestra en la ecuación 1.8.

$$V_c = \frac{V_a}{\epsilon-1}; m^3 \dots\dots\dots \text{Ecu 1.8}$$

Dónde:

$V_c$ =Volumen de la cámara de combustión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$V_a$ =Volumen de admisión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$V_T$ =Volumen total en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$\epsilon$ =relación de compresión (adimensional).

$P_a=P_2$  La presión atmosférica absoluta en Pascales ( $P_a$ ).

$P_3$ =Presión absoluta al final de la compresión en Pascales ( $P_a$ ).

$V_T$ =Volumen total del cilindro, igual al volumen de admisión ( $V_a$ ) más el volumen de compresión ( $V_c$ ) en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$$V_T = V_a + V_c; m^3 \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.9}$$

Para encontrar la masa  $m$  de la mezcla explosiva que entra al cilindro en la admisión, basta considerar la ecuación, característica de los gases ideales para las condiciones del proceso:

$$m = \frac{P_a \cdot V_a}{R \cdot T_a}; Kg \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.10}$$

Dónde:

$m$ =Masa de la mezcla explosiva contenida en el cilindro en kilogramos (Kg).

$P_a$ =Presión atmosférica absoluta en Pascales ( $P_a$ ).

$V_a$ =Volumen de admisión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$R$ =Constante universal de los gases.



$T_a$ =Temperatura absoluta atmosférica en kelvin (K).

En el proceso uno, encontramos que el volumen de la cámara ( $V_c$ ) es igual al volumen número uno ( $V_1$ ) y la presión uno ( $P_1$ ) es igual a la presión de admisión, dada en condiciones ideales ( $P_a$ ) y la temperatura número uno, es igual a la temperatura de admisión, de igual forma que la presión, la temperatura está dada en condiciones ideales.

Para encontrar la masa de admisión en el proceso uno, procedemos a calcular, con la siguiente ecuación.

$$m_1 = m_a / \epsilon; \text{ Kg} \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.11}$$

Dónde:

$m_a$ =Masa de admisión en kilogramos (Kg).

$\epsilon$ =Relación de compresión (adimensional).

En el proceso dos, encontramos que el volumen dos es igual al volumen de admisión ( $V_a$ ) más el volumen de la cámara de combustión ( $V_c$ ), y la presión dos es igual a la presión número uno, al igual que la temperatura dos es igual a la temperatura uno, para poder calcular la masa dos procedemos a utilizar la ecuación 1.10 lo que cambia aquí es el volumen, ya que necesitamos calcular el volumen dos, el cual lo podemos calcular de la siguiente manera.

$$V_2 = V_a + V_c; \text{m}^3 \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.12}$$

El proceso tres es un proceso isocórico ya que el volumen es constante por lo tanto el volumen tres es igual al volumen uno, y como incrementa la presión, procedemos a calcularla de la siguiente manera.

$$P_3 = P_2 * \epsilon^k; P_a \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.13}$$

Dónde:

$P_2$ =Presión dos en Pascales ( $P_a$ ).

$\epsilon$ =Relación de compresión (adimensional).

$k$ =Constante k del aire 1.4. su valor es adimensional.

$P_3$ =Presión tres en Pascales ( $P_a$ ).

Para calcular la temperatura al final de la compresión adiabática entre los procesos 2 al 3, teniendo en cuenta que  $T_2 = T_a$ , podemos utilizar la ecuación:

$$T_3 = T_a \left( \frac{V_T}{V_c} \right)^{K-1}; K; \dots \dots \dots \text{Ecu 1.14}$$

Dónde:

$T_3$ =Temperatura absoluta después de la compresión en Kelvin (K).



$T_a$ =Temperatura absoluta atmosférica en kelvin (K).

$V_T$ =Volumen total en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$V_C$ =Volumen del espacio de compresión en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$k$ =Constante  $k$  del aire 1.4 su valor es adimensional.

En nuestro estado cuatro, el volumen número cuatro es igual al número tres. Del estado tres al estado cuatro, es el momento en el cual se lleva a cabo la combustión de combustible ( $C_c$ ), para proceder a calcular la combustión de combustible, procederemos a utilizar la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{m_a}{RAC}; Kg \dots\dots\dots Ecu 1.15$$

En donde la relación aire combustible la obtenemos de la siguiente ecuación:

$$RAC = \frac{O_{2min}}{0.21}; Kg_{aire}/Kg_{com} \dots\dots\dots Ecu. 1.16$$

Dónde:

$m_a$ = Masa admitida en kilogramos(Kg).

RAC=Relación Aire Combustibles en kilogramos-aire sobre kilogramos-combustible ( $Kg_{aire}/Kg_{com}$ ).

$C_c$ = Combustión de combustible en kilogramos (Kg).

0.21%=Proporción de oxígeno que se encuentra en el aire.

Una vez obtenido la combustión de combustible ( $C_c$ ) procedemos a sustituirlo en la ecuación del calor suministrado:

$$Q_s = C_c * PCI \dots\dots\dots Ecu.1.17$$

Dónde:

$C_c$ = Combustión de combustible en kilogramos (Kg).

PCI= Poder calorífico inferior en Joule sobre kilogramos grado kelvin (J/Kg K).

Como la combustión es considerada instantánea en condiciones ideales esta se efectúa a volumen constante, para encontrar la elevación de temperatura ( $T_3-T_4$ ) producida por la explosión bastara dividir la cantidad de calor ( $Q_s$ ) desarrollado, durante la combustión entre el producto de la masa por el calor específico a volumen constante.

De la ecuación:

$$Q_s = m_3 * CV(T_4 - T_3); kJ \dots\dots\dots Ecu. 1.18$$

Y despejando  $T_4$  nos queda:



$$T_4 = T_3 + \frac{Q_s}{m \cdot C_v}; K \dots \dots \dots \text{Ecu 1.19}$$

De donde:

$m_3$ = Masa tres en kilogramos (Kg).

$C_v$ = Calor específico a volumen constante en kilo Joule sobre kilogramo grado kelvin (kJ/Kg K)

$Q_s$ =Calor suministrado en Joule (J).

$T_3$ =Temperatura tres en kelvin (K).

$T_4$ =Temperatura cuatro en Kelvin (K).

El valor de  $C_v$  es en realidad el valor del calor específico de los gases de combustión.

Para encontrar la presión en el proceso cuatro, procedemos a utilizar la relación de presión-volumen tanto del proceso tres, como del proceso cuatro, utilizando las siguientes ecuaciones obtenemos la presión número cuatro.

$$\frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} = \frac{P_4 \cdot V_4}{T_4} \therefore P_4 = P_3 \frac{T_4}{T_3} \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.20}$$

Dónde:

$P_3$ = Presión absoluta del estado tres al final de la compresión en Pascales ( $P_a$ ).

$T_3$ = Temperatura tres en kelvin (K).

$T_4$ = Temperatura cuatro en Kelvin (K).

$P_4$ = Presión cuatro en Pascales ( $P_a$ ).

En el proceso cinco encontramos que el calor producido, en la explosión está en función de la masa de combustible. Su valor por unidad de masa depende también de la cantidad de combustible que se haya quemado.

La temperatura al final de la expansión  $T_5$  que es un proceso adiabático será:

$$T_5 = T_4 \left( \frac{V_c}{V_T} \right)^{k-1}; K \dots \dots \dots \text{Ecu.1.21}$$

Dónde:

$T_4$ = Temperatura número cuatro en Kelvin.

$V_c$ = Volumen de la cámara en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$V_T$ = Volumen total en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$T_5$ = Temperatura número cinco en Kelvin (K)



Del proceso 5 al proceso 6 se tiene lugar a un proceso isobárico, en que la presión y la temperatura descienden, y la caída de temperatura está relacionada por la ecuación:

$$T_5 - T_6 = \left( \frac{Q_R}{mC_v} \right); K \dots\dots\dots \text{Ecu.1.22}$$

Donde:

$T_5$ =Temperatura número cinco en kelvin (K).

$T_6$ =Temperatura número seis en kelvin (K).

$Q_R$ =Calor retirado en Joule (J).

$m$ =Masa en Kilogramos (Kg).

$C_v$ =Calor especifico a volumen constante en kilo Joule sobre kilogramo grado kelvin (kJ/Kg K)

Para obtener la presión número cinco utilizamos la siguiente ecuación, en la cual tenemos la relación de compresión.

$$P_5 = P_4 \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^k ; Pa \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.23}$$

Dónde:

$k$ =Constante  $k$  del aire 1.4. su valor es adimensional.

$\epsilon$ =Relación de compresión (adimensional).

$P_4$ = Presión cuatro en Pascales ( $P_a$ ).

$P_5$ =Presión cinco en Pascales ( $P_a$ ).

El calor  $Q_R$  que sale del sistema con los gases producto de la combustión será igual a:

$$Q_R = m * C_v(T_6 - T_5); J \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.24}$$

Dónde:

$m$ =Masa en kilogramos (Kg).

$C_v$ =Calor especifico a volumen constante en kilo Joule sobre kilogramo Kelvin (kJ/Kg K).

$T_5$ =Temperatura número cinco en Kelvin.

$T_6$ =Temperatura número seis en Kelvin.

$Q_R$ =Calor retirado en Joule (J)

El trabajo del proceso de combustión, se obtiene una vez encontrado todas las variables de cada proceso de nuestro ciclo Otto ideal a cuatro tiempos, para encontrar el trabajo del proceso uno al proceso dos (proceso isobárico) utilizamos la siguiente ecuación.



$$W_{1-2} = P_1(V_2 - V_1); J \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.25}$$

El trabajo efectuado en el proceso de compresión adiabática entre los procesos 2 y 3 de la figura 1.17 del ciclo Otto a cuatro tiempos, está dado por la ecuación siguiente:

$$W_{2-3} = \frac{P_3 * V_3 - P_2 * V_2}{1-K}; J \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.26}$$

El trabajo efectuado en el proceso de expansión adiabático entre los proceso 4 y 5 está dado en la siguiente ecuación:

$$W_{4-5} = \frac{m_4 * R((T_5 - T_4))}{1-K}; J \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.27}$$

El trabajo total efectuado por el ciclo está dado por la sumatoria de los trabajos de cada proceso, ya que los procesos de 3 a 4 y de 5 a 6 son isocóricos, por lo que no realizan ningún trabajo por lo tanto son igual a cero.

$$W_T = \Sigma W; kJ \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.28}$$

Dónde:

W=trabajo total en kilo-Joule (kJ).

En la ignición de la mezcla una cierta cantidad de calor (procedente de la energía interna de la combustión) se transfiere al aire. Dado que el proceso sucede a volumen constante, para conocer el calor suministrado que se lleva del proceso tres al proceso cuatro y el calor retirado del proceso cinco al proceso seis, procedemos a utilizar las siguientes ecuaciones.

$$Q_s = m_3 * C_v(T_4 - T_3); J \dots\dots\dots \text{Ecu.1.29}$$

En la expulsión de los gases del estado cinco al estado seis existe una temperatura mayor que es la de entrada, liberando un calor  $Q_R$  (Calor retirado) al ambiente. El valor absoluto viene siendo un calor que sale del sistema al ambiente, su signo es negativo y lo podemos calcular con la siguiente ecuación.

$$Q_R = m_4 * C_v(T_2 - T_5); J \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.30}$$

El calor total que se obtiene de la diferencia del calor suministrado, y el calor retirado, lo podemos calcular utilizando la siguiente Ecuación:

$$Q_T = Q_s - Q_R; J \dots\dots\dots \text{Ecu.1.31}$$

Dónde:

$Q_s$ =Calor suministrado en Joule (J).

$Q_R$ =Calor retirado Joule (J).

$Q_T$ =Calor total en Joule (J).





Para poder calcular la potencia de nuestro ciclo Otto ideal a cuatro tiempos utilizaremos la siguiente ecuación en la cual hacemos uso del trabajo total ya calculado en la ecuación número 1.28.

$$W = W_T * \frac{n}{2*60}; Watts \dots\dots\dots Ecu. 1.32$$

Dónde:

W=Potencia en watts (w).

W<sub>T</sub>=Trabajo total en kilo Joule (kJ).

n=Velocidad del motor en revoluciones por minuto (rpm).

La eficiencia del ciclo o eficiencia térmica, será igual a la cantidad de calor aprovechado para la producción del trabajo efectuado entre la cantidad total del calor que se suministró al ciclo.

$$\eta = \left( \frac{Q_S - Q_R}{Q_S} \right); \% \dots\dots\dots Ecu. 1.33$$

Si suponemos ahora que el valor de C<sub>v</sub> no varía dentro del rango de temperatura entre las que se efectúan el proceso, obtenemos la eficiencia térmica en función de las temperaturas:

$$\eta = 1 - \frac{T_2 - T_5}{T_4 - T_3}; \% \dots\dots\dots Ecu. 1.34$$

y teniendo en cuenta las ecuaciones del proceso adiabático, obtenemos la eficiencia térmica por medio de la relación de compresión, que es la relación del volumen de mezcla realmente admitido, entre el volumen de la mezcla que sería admitido a presión atmosférica:

$$\eta = 1 - \left( \frac{V_3}{V_a} \right)^{K-1}; \% \dots\dots\dots Ecu. 1.35$$

Donde:

η=Eficiencia térmica. (%).

η=Eficiencia en función de la temperatura. (%)

η=Eficiencia en función de la relación de compresión. (%).

De esta última relación, vemos que el rendimiento de una máquina que funciona según el ciclo Otto ideal será máximo, cuando el volumen de la cámara de compresión sea mínimo; es decir, la eficiencia será mayor mientras mayor sea la compresión.

Por otra parte, aumentar la compresión no se puede por ciertos límites, puesto que la elevación de temperatura producida, haría explotar a la mezcla aire-combustible, antes de llegar al punto muerto superior (P.M.S.).

Así por ejemplo: la mezcla de gasolina no debe de comprimirse a más de 4.8 bar en un motor de combustión interna.



### CONSUMO EFECTIVO TEÓRICO.

En la realidad tanto los valores de  $m_a$  como los valores de la relación aire combustible (RAC), son diferentes a los teóricos (inclusive la relación aire combustible es variable puesto depende de los regímenes del funcionamiento del motor), y por lo tanto, el consumo real de combustible, no es posible calcularlo, lo único que se puede hacer es medirlo.

El consumo efectivo teórico de combustible ( $G$ ), expresa la cantidad de combustible que consume la máquina por unidad de trabajo útil realizado:

$$G = \frac{m_a}{W_T}; J \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.36}$$

Dónde:

$m_a$ = masa admitida en kilogramos (Kg).

$W_T$ =trabajo total en Joule (J).

$G$ =consumo efectivo teórico de combustible kilogramos sobre Joule (Kg/J).

### CONSUMO TEÓRICO HORARIO DE GASOLINA E HIDRÓGENO.

Es la cantidad de masa de combustible consumida por el motor en una hora, podremos calcular el consumo teórico horario, de nuestro cálculo ideal del ciclo Otto a cuatro tiempos, aplicado a nuestro motor de la planta generadora de electricidad, utilizando los valores calculados, aplicando los valores de la gasolina e hidrógeno, con la siguiente ecuación.

$$Ch = G * \left(\frac{n}{2}\right) * 60; kg - J/s \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.37}$$

Dónde:

$Ch$ =consumo horario en Joule sobre segundo (Kg-J/s).

$G$ =consumo efectivo teórico de combustible en kilogramos sobre Joule (Kg/J).

$n$ =velocidad de giro del motor en rpm.

Las ecuaciones descritas en las páginas anteriores, nos serán de ayuda, para llevar a cabo el cálculo del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos, con las propiedades de la gasolina e hidrógeno.

### 1.6.8.- EL GENERADOR ELÉCTRICO.

Un generador es un dispositivo capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica.

La energía mecánica para hacer funcionar nuestro generador eléctrico marca Honda EC 2200 proviene del motor de combustión interna que es el mecanismo externo para hacerlo funcionar. El generador convierte el movimiento producido por la relación eje motor en energía eléctrica aprovechable.

Este generador eléctrico al igual que todos contiene un campo magnético, esto le permite efectuar la conversión de energía mecánica ( $E_m$ ) a energía eléctrica ( $E_e$ ) gracias a una interacción con las cargas eléctricas.

Los mecanismos de esta transformación radican en los principios del electromagnetismo. Sin embargo no se necesita entender todas las interacciones con detalle para poder entender las aplicaciones prácticas.

En la Figura 1.18 se puede observar el generador eléctrico de nuestra planta generadora de electricidad, el cual es una fotografía original de la planta generadora de electricidad a estudiar.



Figura 1.18 GENERADOR ELÉCTRICO

### 1.6.8.1.- PARTES QUE CONFORMAN AL GENERADOR ELÉCTRICO.

- **ROTOR.**

En todos los generadores las espiras y el conmutador juntos reciben el nombre de armadura o rotor, la armadura es la parte que gira en un generador.

Las laminaciones de la armadura se arman en el cuerpo del rotor, entre dos placas extremas las cuales son fundidas.



Figura 1.19 ROTOR

[http://spanish.alibaba.com/promotion/promotion\\_motor-armature-commutator-promotion-list.html](http://spanish.alibaba.com/promotion/promotion_motor-armature-commutator-promotion-list.html)

- **INDUCTOR.**

Es una de las dos partes fundamentales que conforman a nuestro generador eléctrico, este se encarga de producir y conducir el flujo magnético. También es conocida como estator por ser la parte fija del motor.



Figura 1.20 INDUCTOR

<http://www.monografias.com/trabajos91/motor-asincrono/motor-asincrono.shtml>

- **COLECTOR.**

El colector al igual que en todos los generadores eléctricos o motores eléctricos, el material con el que está fabricado es de cobre duro estirado mediante segmentos que se aíslan unos de otros con mica, este elemento es de gran importancia para nuestro generador puesto que es el encargado de enviar la energía generada a las escobillas de las cuales va conectada a una serie de elementos eléctricos, en si es el que distribuye la electricidad generada a todo nuestro sistema eléctrico.



Figura 1.22 COLECTOR

[http://dipra.com.ar/index.php?page=productos&c=2&sc=43&sc2=109&pagi\\_pg=6](http://dipra.com.ar/index.php?page=productos&c=2&sc=43&sc2=109&pagi_pg=6)

### 1.6.8.2.- EFICIENCIA ELÉCTRICA DEL GENERADOR.

La eficiencia del generador eléctrico está dada por la relación que existe entre su potencia de entrada y su potencia de salida, operando en condiciones específicas.

En este generador por ser una máquina pequeña su potencia se pueden medir de una manera directa con medidores de par mecánico y medidores de energía eléctrica (multímetros), sin embargo en generadores de mayor capacidad donde la potencia mecánica de entrada proporcionada por la turbina no se puede medir directamente, se requiere de un método de prueba para obtener la eficiencia energética del generador.

En la Figura 1.23 podemos observar la medición eléctrica con un multímetro, a nuestra planta generadora de electricidad.

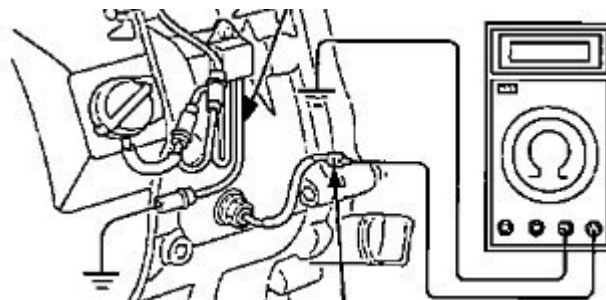


Figura 1.23 MEDICIÓN DE ENERGÍA CON UN MULTÍMETRO

(Imagen extraída del manual Honda EC 2200)



La ecuación que se utiliza para conocer la eficiencia del generador es la que se describe a continuación:

$$\eta = \frac{P_s}{P_a}, \% \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.38}$$

Dónde:

$P_s$ = potencia suministrada en watts (W)

$P_a$ = potencia absorbida en watts (W)

$\eta$  = eficiencia en porcentaje. (%)

### 1.6.8.3.- CONCEPTOS QUE SE APLICAN EN UNA MAQUINA ELÉCTRICA ROTATORIA.

#### PAR.

El par (también llamado momento binario, o torque) es la medida de la fuerza necesaria para hacer girar un eje.

#### RELACIÓN ENTRE PAR Y POTENCIA.

Cuando la energía mecánica es aplicada bajo la forma de movimiento rotativo, la potencia desarrollada depende del par  $C$  y de la velocidad de rotación  $n$ .

Las relaciones son:

$$P = \frac{C; Kg \cdot f \cdot n; rpm}{716} = \frac{C; N \cdot m \cdot n; rpm}{7024}; CV \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.39}$$

$$P = \frac{C; Kg \cdot f \cdot n; rpm}{974} = \frac{C; N \cdot m \cdot n; rpm}{9555}; kW \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.40}$$

Inversamente

$$C = \frac{716 \cdot P; CV}{n; rpm} \quad O \quad \frac{974 \cdot P; Kw}{n; rpm}; Kg - Fm \dots \dots \dots \text{Ecu. 1.41}$$

$$C = \frac{7024 \cdot P; CV}{n; rpm} \quad O \quad \frac{9555 \cdot P; Kw}{n; rpm}; N - m \dots \dots \dots \text{Ecu 1.42}$$

Dónde:

$C$ = Par en Newton- metros (N-m)

$F$ =Fuerza en Newton (N)

$L$ =Brazo de palanca en metros (m).

$r$ =Radio de la polea en metros (m).

$V$ =Velocidad angular en metros sobre segundo (m/s)



$d$ =Diámetro de la pieza en metros (m).

$n$ =Velocidad en revoluciones por minuto (rpm).

### ENERGÍA Y POTENCIA MECÁNICA.

La potencia indica la rapidez con que esta energía es aplicada, y se calcula dividiendo la energía o trabajo total por el tiempo ( $p = W/t$  ; Watts) utilizado en realizarlo.

Por ejemplo, si usamos un motor eléctrico capaz de subir un balde de agua en 2.0 segundos, la potencia necesaria será:

$$P1 = \frac{490}{2.0} = 245; W \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.43}$$

Si usáramos un motor más potente, con capacidad para realizar el trabajo en 1.3 segundos y la potencia necesaria será:

$$P2 = \frac{490}{1.3} = 377; W \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.44}$$

La unidad más usual para la medida de la potencia mecánica es CV (Caballo de vapor), equivalente a 736 W. Entonces las potencias de los dos motores sería:

$$P1 = \frac{245}{736} = \frac{1}{3} ; CV \quad P2 = \frac{377}{736} = \frac{1}{2} ; CV \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.45}$$

$$P_{mec} = \frac{F*d}{t} ; W \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.46}$$

Como un CV=736 W entonces:

$$P_{mec} = \frac{F*d}{(736)*(t)} ; CV \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.47}$$

Para movimientos circulares:

$$C = F*r; N\cdot m \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.48}$$

$$V = \frac{\pi*d*n}{60} ; \frac{m}{s} \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.49}$$

$$P_{mec} = \frac{F*d}{736*t} ; CV \dots\dots\dots \text{Ecu. 1.50}$$

#### Dónde:

$P$ =potencia en watts (W)

$P_{mec}$ =Potencia mecánica en caballos de vapor (CV)

$C$ = Par en Newton- metros (N-m)

$V$ =Velocidad angular en metros sobre segundo (m/s)

n=Velocidad en revoluciones por minuto (rpm).

## 1.7.- ESPECIFICACIONES DEL MOTOR HONDA EC 2200.

En este tema se describen las características de nuestro electrógeno a estudiar, el generador eléctrico Honda EC 2200 con motor GX160 5.5 CV (4.8 hp) a 4 tiempos, máxima potencia 115/230 V, 2.2 Kv-a, uno de los mejores generador en el mercado en la Tabla 1.G se describen las dimensiones del motor así como de todo el electrógeno, la potencia del generador eléctrico, y el tipo de combustible que utiliza actualmente.

Tabla 1.G CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA HONDA EC 2200

<b>Marca:</b>	HONDA
<b>Modelo:</b>	EC 2200
<b>Eslora total:</b>	60 x 45 x 45.5 cm
<b>Motor:</b>	Honda GX160 5.5 CV(4.8 hp) 4 tiempos
<b>Potencia:</b>	115/230 V 2,2 kV-A
<b>Combustible:</b>	gasolina

En la Tabla 1.G.1 se muestra más especificaciones de nuestro electrógeno a estudiar, estas especificaciones son proporcionadas por el fabricante y nos muestran a mejor detalle las características del motor de combustión interna, así como las longitudes (eslora) de la planta generadora de electricidad, hasta la potencia eléctrica que genera.

Tabla 1.G.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR HONDA EC 2200

	EC 2200
Modelo	Motor de gasolina GX 160KI
Tipo de motor	4 tiempos, monocilindro. válvulas en cabeza
Cilindrada (diámetro x carrera)	163 cm <sup>3</sup> (68x45 mm)
Relación de compresión	8.5: 1
Régimen del motor	3600 rpm
Circuito de enfriamiento	Aire forzado
Sistema de encendido	Magneto transistorizado
Capacidad de aceite	0.6 litros
Bujía de encendido	8PR-6ES (NGK) -W20EPR-U (NIPPONDENSO Co. Ltd.)
Max. torque total	10.3 Nm/ 1.05KgF/2500 rpm
Consumo de combustible a potencia nominal	1.4 L/HRS-3600 rpm
Peso	15.1 Kg
Energía generada	2200kV-A



En la Tabla 1.H se muestra la capacidad de combustible de los modelos de electrógenos que podemos encontrar en el mercado, según el manual que se anexa al final del presente trabajo, la capacidad de combustible es de 3.6 litros con un tiempo de operación por tanque de 2 a 4 horas y una salida de 230 V a 16 Amperes.

Tabla 1.H MODELOS DE PLANTAS Y CAPACIDADES EN LITROS EN LOS TANQUES

Modelo	Capacidad en litros
EC 2200	3.6
EC 4000	6
EC 6000	6.5

En la Figura 1.24 de la página siguiente se muestra una gráfica, proporcionada por el fabricante, en ella podemos ver que en el lado izquierdo de las ordenadas se encuentra la potencia de salida en Kw y en la parte superior de las ordenadas, podemos encontrar el torque en N-m y del lado derecho podemos encontrar, en las ordenadas la potencia producida por el motor en HP, en la parte inferior de esta grafica podremos, observar en el lado de las abscisas las rpm proporcionadas por el fabricante.

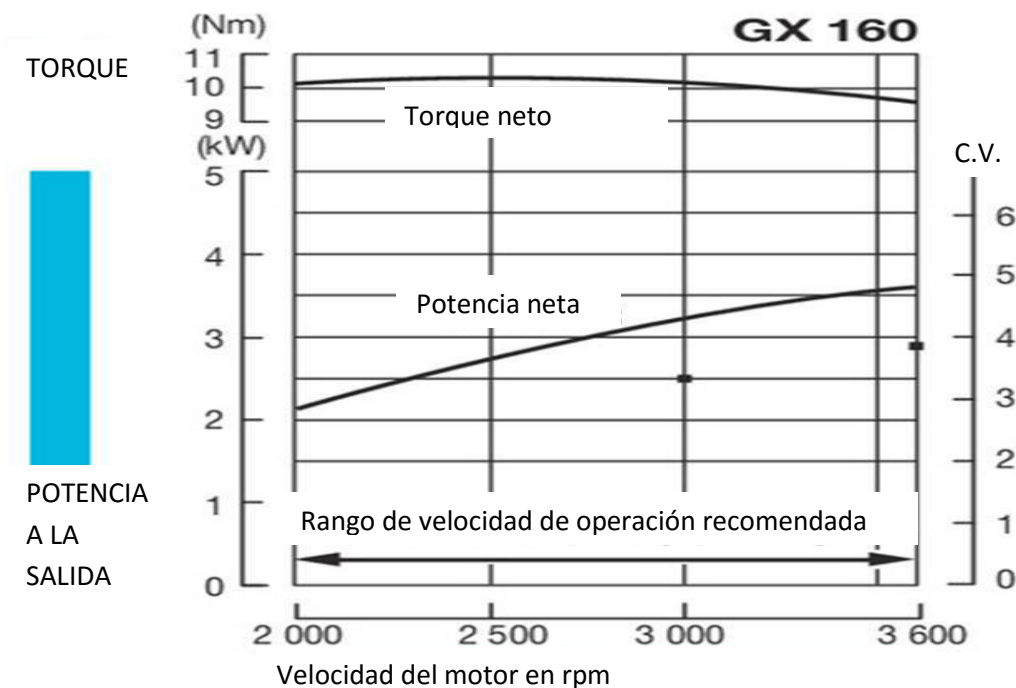


Figura 1.24 REPRESENTACIÓN DE LAS CURVAS DE POTENCIA VS VELOCIDAD (curvas extraídas del manual Honda EC 2200)

En el capítulo “CÁLCULOS DE INGENIERÍA”, en el apartado de la memoria de cálculo utilizaremos valores proporcionados por el fabricante, que se muestran en tablas y graficas del presente capitulo llamado “GENERALIDADES”, así como una representación gráfica del motor, mostrada en la Figura 1.25.

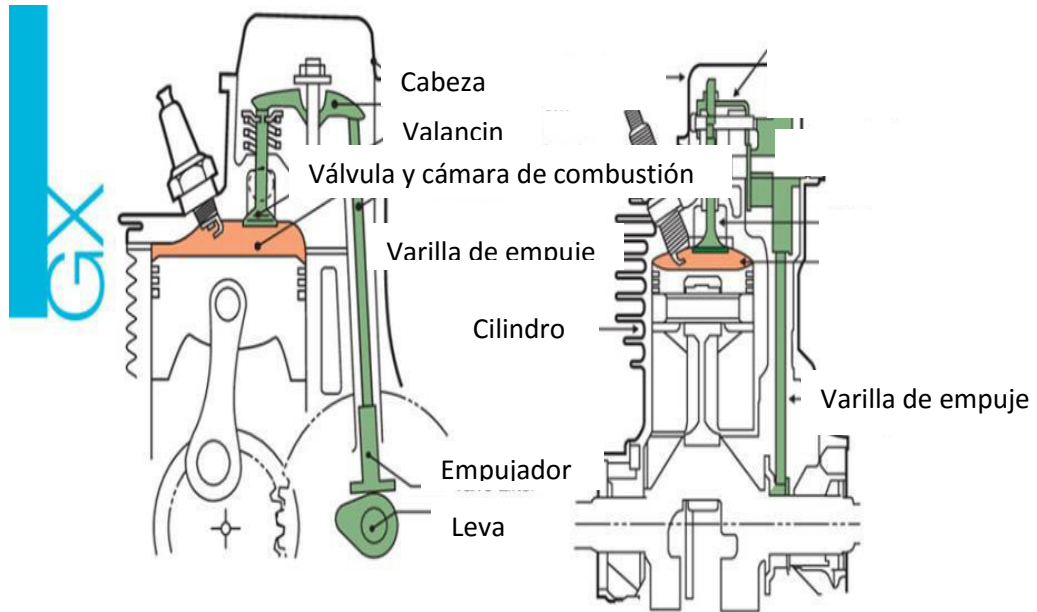


Figura 1.25 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MOTOR HONDA EC 2200

(Imagen extraída del manual Honda EC 2200)

En la siguiente Figura 1.26 podemos observar únicamente el motor de nuestra planta generadora de electricidad, en ella podemos observar que la bujía está montada en la parte superior del motor (en la cabeza) y la forma de ser enfriado es por las aletas enfriadoras, por medio de aire forzado, estas aletas se encuentran ubicadas en la cabeza del motor.

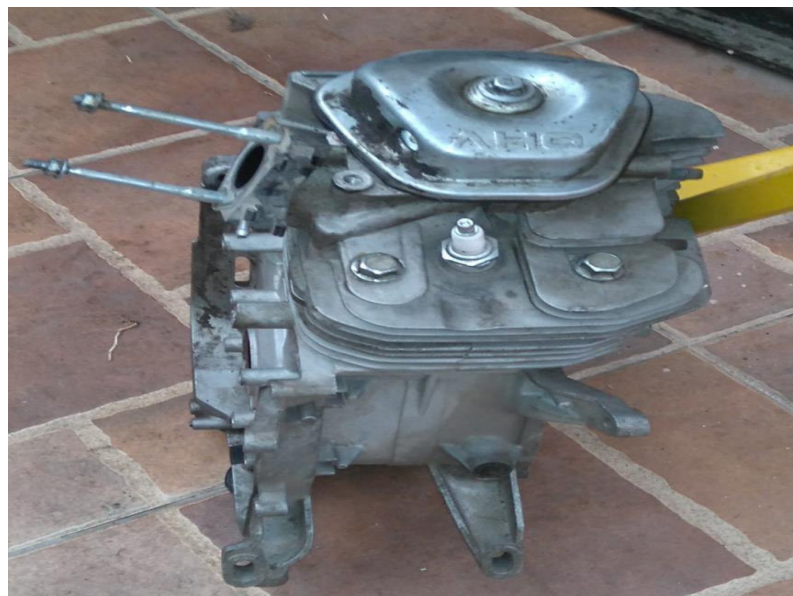


Figura 1.26 REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL MOTOR



# CAPÍTULO

# II

# PROCESO DE INGENIERÍA



## 2.1.- DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL.

Antes de empezar el desarrollo de la metodología de comparar los combustibles gasolina y hidrógeno, en un motor de una planta generadora de electricidad, es importante mencionar y establecer, a donde se va a llegar, es decir, los objetivos de la metodología de hacer la comparativa entre ambos combustibles.

Los objetivos generales de la metodología, para este trabajo son los siguientes:

1° Lograr una comparativa satisfactoria de los combustibles para identificar con cuál de estos dos combustibles se obtiene una mayor eficiencia termodinámica.

2° Obtener un resultado integral de las variables térmicas que serán de ayuda para llegar a una comparativa óptima, de esta forma conoceremos la eficiencia de cada combustible.

El método comparativo (comparación o contrastación) consiste en poner dos o más fenómenos, uno al lado del otro, para establecer sus similitudes y diferencias y de ello sacar conclusiones que definan un problema, o que establezcan caminos futuros para mejorar el conocimiento de algún sistema.

Es importante mencionar que este trabajo es enfocado únicamente, al comparativo de eficiencias térmicas del hidrógeno y gasolina, en el proceso de combustión en el motor de combustión interna, quedando pendiente para trabajos futuros, la forma de producir hidrógeno.

Se describe brevemente las partes a sustituir de la planta generadora de electricidad como el sistema de inyección de combustible, en el motor de combustión interna.

Una vez establecidos los objetivos, dividimos la metodología en 3 etapas las cuales son:

- Primera etapa: Análisis cualitativo del motor de combustión interna.
- Segunda etapa: Cálculo termodinámico del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos utilizando los valores y propiedades de la gasolina y del hidrógeno.
- Tercera etapa: Identificar las partes a sustituir del motor, con el fin de poder suministrarle hidrógeno.

### 2.1.1.- FORTALEZAS.

Al emplear un sistema híbrido como lo es una planta generadora de electricidad (electrógeno), en lugares en donde no se cuenta con el suministro eléctrico o como dispositivo de emergencia, y utilizando un combustible que nos dé una mayor eficiencia en el motor, nos brinda la oportunidad de contar con el suministro eléctrico y a su vez no producirá gases de efecto de invernadero y nos dará un mayor rendimiento en comparación con la gasolina.



El cálculo y comparativa de la eficiencia térmica de uno u otro combustible, parece atractivo para el público a donde va dirigido este proyecto, pues resulta trascendente y debido a esto llama la atención del usuario que necesite de un constante suministro eléctrico.

#### 2.1.2.- OPORTUNIDADES.

En todo el mundo se habla de los sistemas híbridos, como una alternativa al suministro eléctrico, estos sistemas utilizan recursos naturales, como lo es el caso de las foto celdas, que utiliza como recurso como lo es el sol, aerogeneradores que aprovechan la energía del viento, a excepción de los electrógenos que utilizan combustibles fósiles, por lo tanto es de gran atracción, el utilizar un combustible que no es fósil y que no contamina y como producto de su combustión, en lugar de producir contaminantes nos brinda vapor de agua, cuando hablamos de este combustible nos referimos al hidrógeno.

#### 2.1.3.- DEBILIDADES.

Una limitante importante deriva de la inversión económica, ya que el hidrógeno utilizado como un combustible tiene un costo elevado, y la forma de obtenerlo es de una forma complicada.

En lo general los electrógenos son máquinas generadoras de electricidad que por lo regular son utilizadas como plantas de emergencia para la industria y hospitales, por mencionar algunos sitios, o son utilizadas en lugares donde no existe el suministro eléctrico.

#### 2.1.4.-AMENAZAS.

Al llevar a cabo la implementación de hidrógeno, como combustible alternativo ante la gasolina, y este siendo empleado en una maquina generadora de electricidad, nos podemos encontrar con varios factores que amenacen a esta máquina, puesto que el suministro de hidrógeno se llevaría a cabo por medio de un cilindro de hidrógeno que pesa aproximadamente 70 Kg, por lo cual la planta generadora de electricidad no sería tan portátil, en comparación con la gasolina puesto que la planta ya tiene un tanque de gasolina, la cual le ayuda a ser más práctica y portátil.

## 2.2.- METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO TÉRMICO.

La etapa del cálculo del ciclo termodinámico del motor Honda EC 2200, se basa en la estrategia del conocimiento de los procesos termodinámicos. Es decir, una vez identificadas las funciones de cada proceso, se debe emplear las ecuaciones correspondientes del ciclo teórico Otto a cuatro tiempos.

Al llevar a la práctica un ciclo, ocurren muchas modificaciones debido a causas termodinámicas, que hacen que el rendimiento del ciclo sea menor que el calculado.

## 2.3.- METODOLOGÍA PARA LA COMPARATIVA DE EFICIENCIA TÉRMICA.

La metodología para el comparativo de los resultados obtenidos al calcular el ciclo termodinámico teórico Otto a cuatro tiempos con ambos combustibles, la llevaremos a través del análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en cada proceso del ciclo termodinámico, teniendo como apoyo, los siguientes modelos:

- El modelo geométrico que consiste en las partes que conforman al motor.
- El modelo matemático en el cual usaremos las ecuaciones del ciclo teórico Otto a cuatro tiempos.
- El uso del software termograf el cual usaremos para realizar gráfica del ciclo teórico Otto a cuatro tiempos.

### 2.3.1.- MODELO TERMODINÁMICO.

Cualquier simulación de un proceso requiere disponer del valor de las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de las mezclas de compuestos que circulan, o han de circular, entre el motor de combustión interna, en todas las condiciones de composición, presión y temperatura que puedan llegarse a verificar en la operación del mismo.

Esto obviamente, es prácticamente imposible y debemos hacer uso de técnicas de predicción que permitan estimar esos valores.

La adecuada selección de estas técnicas será crucial para un cálculo preciso del motor de combustión interna.

### 2.3.2.- MODELO GEOMÉTRICO.

Consiste en la modelación del conjunto y de los subconjuntos. Su objetivo es definir formas y dimensiones de los componentes y del conjunto, que conforman al motor de combustión interna, así como la descripción técnica de cada componente, una representación geométrica la podemos ver en la Figura 2.1.



Figura 2.1 ESQUEMA DE LOS MECANISMOS DEL MOTOR HONDA EC 2200

<https://actualidad.rt.com/ciencias/view/22682-Dise%C3%B1an-un-motor-de-combusti%C3%B3n-interna>

### 2.3.3.- MODELO MATEMÁTICO.

La modelación matemática es utilizada por los físicos matemáticos, o personas dedicadas a la investigación en la ciencia puesto que ayuda a comprender los problemas físicos, biológicos y químicos etc. a los que se tenga que enfrentar.

En este trabajo aremos uso de un modelo matemático empleando las ecuaciones termodinámica del ciclo teórico Otto a cuatro tiempos, con la finalidad de comprender y comparar las eficiencias térmicas de ambos combustibles, el modelo matemático nos ahorrara la comprobación teórica-aplicada, de tener que utilizar ambos combustibles en el motor de combustión interna, de la planta Honda EC 2200 de manera real, en la Figura 2.2 podemos observar un diagrama del modelado matemático.

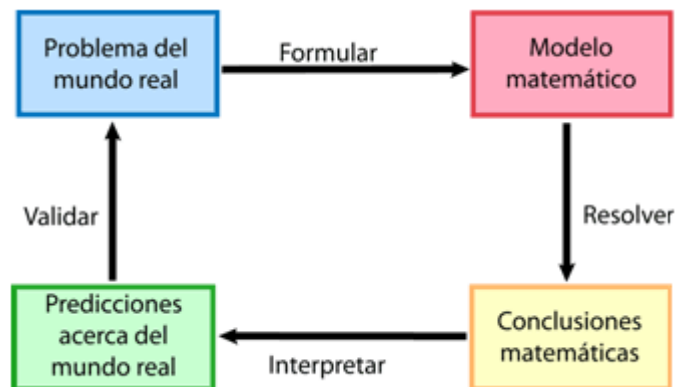


Figura 2.2 PROCESO DE MODELO MATEMÁTICO

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442011000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000200005)

### 2.4.- PROCESOS TERMODINÁMICOS DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS.

Los procesos que se utilizan en el ciclo Otto son dos adiabáticos, que se consideran a presión constante y dos procesos isocóricos, que se consideran a volumen constante así como u proceso isobárico a presión constante.

Durante un proceso adiabático para un gas perfecto, la transferencia de calor hacia el sistema proveniente de él cero. Es cuando un sistema no gana ni pierde calor, es decir,  $Q = 0$ .

En el proceso isocórico se efectúa a volumen constante sin que haya ningún desplazamiento del pistón, el trabajo hecho por el sistema es cero, es decir en un proceso isocórico no hay trabajo realizando por el sistema.

El proceso isobárico Es un proceso a presión constante; en consecuencia si la presión no cambia durante un proceso, se dice que éste es isobárico.

En la siguiente Tabla 2.A se describen, las acciones que se llevan a cabo en un motor de combustión interna a cuatro tiempos de ciclo Otto.

TABLA 2.A PROCESOS TERMODINÁMICOS DEL CICLO OTTO A GASOLINA

TIEMPO	PROCESOS	DESCRIPCIÓN DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS
1º	1-2	Proceso isobárico (Admisión de aire y combustible)
2º	2-3	Compresión adiabática (se comprime la mezcla aire combustible)
3º	3-4	Absorción de calor isocórico (salta la chispa y se produce combustión y cesión de calor)
	4-5	Expansión adiabática (la alta temperatura del gas empuja el pistón hacia abajo realizando trabajo sobre el pistón.)
4º	5-2	Cesión de calor isocórico (se abre la válvula de escape en el punto muerto inferior del pistón, permitiendo desalojar los gases de la combustión.)
	2-1	Proceso isobárico (escape de los gases)

La siguiente Figura 2.3 nos muestra un diagrama ideal, presión volumen en el cual podemos observar los puntos de cada proceso y fue realizado por el software termograf.

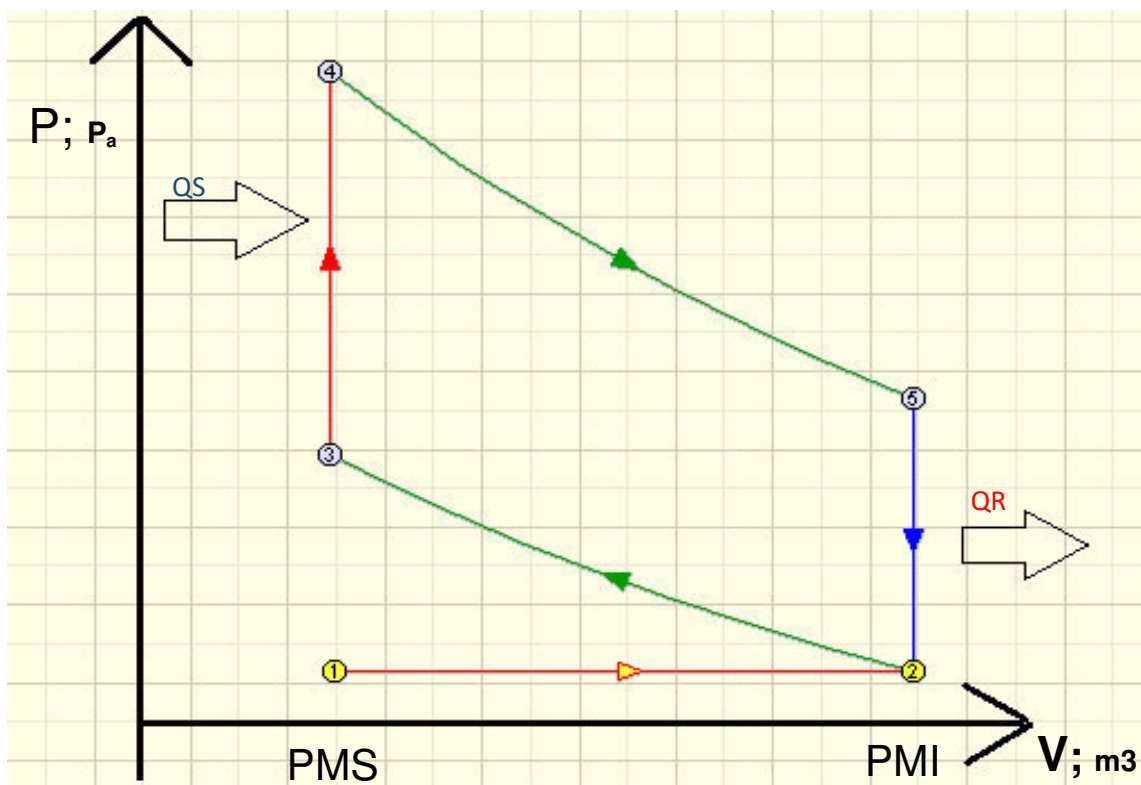


Figura 2.3. DIAGRAMA IDEAL PRESIÓN VOLUMEN DEL CICLO OTTO A CUATRO TIEMPOS.



## 2.5.-MEZCLADOR DE GAS.

El principio de la carburación está en aprovechar las fuerzas físicas. Aplicando esto se ha diseñado el carburador cuyo principio básico es aprovechar la presión atmosférica y los vacíos creados por ésta. El gas no se bombea sino que pasa al carburador por medio de presión atmosférica creada por la necesidad del combustible que tiene el motor.

Es de vital importancia que los empaques del cuello del carburador estén en perfecto estado, porque de lo contrario puede existir una fuga de presión afectando directamente al buen funcionamiento del motor de combustión interna.

Antes de efectuar la instalación de un equipo de gas se recomienda obtener los datos básicos del motor, como son: el desplazamiento, revoluciones máximas y tipo de carburador instalado; esto con el objeto de seleccionar el equipo adecuado que incluya el adaptador o carburador, una de las ventajas que ya tenemos para realizar la adaptación del mezclador de gas, es que ya tenemos los datos de nuestro motor de combustión interna, los cuales estos datos se brindan en el capítulo "generalidades."

Para proporcionar una relación mejor de aire, combustible en todas sus operaciones. Este punto es muy importante, ya que una mala calibración en el Venturi proporciona mezclas pobres y ricas en distintas etapas de su trabajo, con bajos rendimientos en potencia, consumos de combustibles, flameos de válvulas, pistones y carburadores.

Hay que efectuar un plan de instalación de acuerdo con los espacios disponibles y no iniciarla sin tomar en consideración la siguiente. (Mezcla con receso de aire se llama pobre y con exceso de combustible se denomina rica).

En la Figura 2.4 se muestra un mezclador de gas, como el que se puede utilizar en nuestra planta generadora de electricidad (electrógeno).



Figura 2.4. MEZCLADORES DE GAS PARA UTILIZAR CON HIDRÓGENO.



# CAPÍTULO

# III

# ANÁLISIS DE INGENIERÍA



### 3.1.-DIMENCIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA GASOLINA Y DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.

A continuación se lleva acabo el cálculo de forma habitual, de valorar los datos obtenidos en ensayos de motores realizando en un estudio termodinámico. El cálculo ideal de los valores numéricos de los coeficientes más importantes.

#### 3.1.1.- DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO.

Diámetro del cilindro.....	0.68 m
Carrera.....	0.45 m
Cilindrada.....	0.163 m <sup>3</sup>
Relación de compresión.....	ε=1:8.5
Numero de válvulas: una de admisión y una de escape.....	2 válvulas
Velocidad del motor.....	n=3600 rpm

#### 3.1.2.- PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA GASOLINA EN CONDICIONES IDEALES.

Poder calorífico inferior del combustible líquido.....	PCI=10.440Kcal/Kg
Peso molecular medio.....	100Kg/Kg <sub>mol</sub>
Calor de vaporización a presión constante.....	75Kcal/Kg
Cv.....	0.712KJ/Kg K
Densidad de la gasolina a 20°C.....	ρ=680Kg/m <sup>3</sup>

#### Análisis elemental del combustible

Carbón.....	C=0.857 %
Hidrógeno.....	H= 0.133 %
Oxígeno y Azufre (se desprecian en el cálculo).....	O+S=0.010 %

#### 3.1.3.- PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.

Peso molecular del aire.....	28.970Kg <sub>mol</sub>
Porcentaje de oxígeno en el aire.....	21 %
Constante K del aire.....	1.4
Constante característica del aire, R.....	8.3147x103KJ/Kg <sub>mol</sub>

Como el PCI (Poder calorífico inferior) de la gasolina esta dado en Kcal/Kg, procederemos a realizar la conversión a J/Kg K:

$$(10.440) \left( \frac{Kcal}{Kg} \right) \left( \frac{1J}{2.3904x10^{-3}Kcal} \right) = 4.36746x10^3 J/KgK$$

El PCI de la gasolina que utilizaremos para realizar el cálculo es de:

$$PCI=4.36746x10^3 J/Kg K$$



## 3.2.-MEMORIA DE CÁLCULO DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS UTILIZANDO LOS VALORES DE LA GASOLINA.

El peso mínimo de aire necesario para la combustión de 1Kg. de combustible se obtendrá de la composición del combustible.

De donde el peso molecular del hidrógeno queda  $2H_2=4.03 \text{ Kg}_{\text{mol}}$  y la del carbón nos queda  $C=12 \text{ Kg}_{\text{mol}}$

a) Cantidad teórica de oxígeno para 1Kg. De combustible será:

$$O_{2 \text{ min}} = \frac{C}{12} + \frac{h}{4.032} = \frac{0.857}{12} + \frac{0.133}{4.032} = 0.1045 \text{ Kg}_{\text{mol}}/\text{Kg}$$

b) Cantidad teórica de aire para 1Kg de combustible:

$$RAC = \frac{O_{2 \text{ min}}}{0.21} = \frac{0.1045}{0.21} = 0.497 \text{ Kg}_{\text{aire}}/\text{Kg}_{\text{comb}}$$

En donde el porcentaje de oxígeno en el aire es igual a  $21\%=0.21$

De donde el peso molecular del aire es igual a:  $28.97 \text{ Kg}$

$$RAC=0.497 \times 28.97 = 14.4 \text{ Kg}_{\text{aire}}/\text{Kg}_{\text{com.}}$$

Para el cálculo del ciclo teórico suelen suponerse por lo general, al comienzo de la compresión, la temperatura y presión del medioambiente, sin embargo la temperatura de la carga en el cilindro al comienzo de la combustión, es muy superior a la del aire o de la mezcla en el tubo de aspiración.

La calefacción del aire entrante se produce cuando pasa por las válvulas calientes y al mezclarse los gases residuales, la elevación de temperatura es alrededor de  $30^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ .

Por lo tanto realizaremos el promedio con  $30^\circ\text{C}$  y  $50^\circ\text{C}$  obteniendo como resultado la temperatura promedio de  $40^\circ\text{C}$  la cual utilizaremos para el cálculo.

Es importante mencionar que las temperaturas mencionadas en los párrafos anteriores son bajo condiciones ideales es decir, las temperaturas suelen variar según el autor o el sitio en donde nos encontramos.

La presión absoluta que utilizaremos en el cálculo será de 1 atmosfera equivalente a  $1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$ , se utiliza este valor puesto que el cálculo se considera bajo condiciones ideales.

### 3.2.1.- CÁLCULO DE LOS PROCESOS DE CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS A GASOLINA.

#### CÁLCULO DEL VOLUMEN DE ADMISIÓN:

Para encontrar el volumen de admisión utilizaremos la Ecuación 1.5 y sustituyendo con los valores proporcionados por el fabricante ya mencionados, en párrafos y capítulos anteriores, procedemos a realizar el cálculo:



$$V_a = \frac{(\pi * (d^2) * L)}{4} = \frac{\pi * (0.68^2) * 0.45}{4} = 0.163 \text{ m}^3$$

Una vez encontrado el volumen de admisión procedemos a calcular el volumen de la cámara de combustión, utilizando la Ecuación 1.8:

$$V_c = \frac{V_a}{\varepsilon - 1} = \frac{0.163}{8.5 - 1} = 0.0217 \text{ m}^3$$

Donde el volumen total lo calculamos utilizando la Ecuación 1.9 y nos resulta:

$$V_T = V_a + V_c = 0.163 + 0.0217 = 0.1847 \text{ m}^3$$

Para conocer la masa admitida emplearemos la ecuación general de estado de los gases, la ecuación numero 1.10:

$$m_a = \frac{P_a * V_a}{R * T_a} = \frac{(1.01327 \times 10^5)(0.163)}{(8.3147 \times 10^3)(313)} = 6.344 \times 10^{-4} \text{ Kg}$$

Una vez calculado los indicadores (P, V Y T), de nuestro motor de combustión interna, procedemos a calcular los estados del ciclo teórico Otto a cuatro tiempos por estado:

### Estado 1

Como en el estado uno de nuestro proceso es donde se realiza la admisión de la mezcla aire combustible, procedemos a calcular la masa admitida en nuestro cilindro por medio de la Ecuación 1.11.

$$V_c = V_1 = 0.0217 \text{ m}^3$$

$$P_1 = P_a = 1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = T_a = 40^\circ\text{C} + 273 = 313 \text{ K}$$

$$m_1 = m_a / \varepsilon = 6.344 \times 10^{-4} / 8.5 = 7.463 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

### Estado 2

En el estado número dos, el pistón sube al punto muerto inferior (P.M.I.) comprimiendo la mezcla aire combustible, por lo tanto decimos que el volumen dos lo podemos calcular utilizando la Ecuación 1.12 una vez encontrado el volumen dos, procedemos a calcular la masa dos con los mismos valores que utilizamos para calcular la masa uno, excepto el volumen puesto que en este punto utilizaremos el volumen numero dos que calculamos y nos resulta lo siguiente:

$$V_2 = V_a + V_c = 0.163 + 0.0217 = 0.1847 \text{ m}^3$$

$$P_2 = P_1 = 1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = T_1 = 313 \text{ K}$$



$$m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2} = \frac{(1.01327 \times 10^5)(0.1847)}{(8.3147 \times 10^3)(313)} = 7.191 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

### Estado 3

Como nuestro pistón se encuentra en el P.M.S (Punto muerto superior), se considera el volumen de la cámara (proceso isocórico), por lo tanto el volumen tres es igual al volumen uno, pero el desplazamiento del pistón del P.M.I. (Punto muerto inferior) al P.M.S. es decir del estado dos al estado tres, nos realiza un cambio de presión y temperatura, y utilizando la Ecuación 1.13 y 1.14 nos resulta lo siguiente:

$$V_3 = V_1 = 0.0217 \text{ m}^3$$

$$P_3 = P_2 * \epsilon^k = 1.01327 \times 10^5 \times 8.5^{1.4} = 2.0272 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$T_3 = T_2 \left( \frac{V_2}{V_3} \right)^{k-1} = 313 \left( \frac{0.1847}{0.163} \right)^{1.4-1} = 737.13 \text{ K}$$

$$m_3 = m_2 = 7.191 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

### Estado 4

En el estado cuatro tenemos un proceso isocórico ya que existe una combustión del estado tres al estado cuatro, a volumen constante, por lo tanto el volumen número cuatro es igual al volumen número tres, en el cual hay una reacción de explosión, gracias a la chispa eléctrica, que genera la combustión de combustible, la cual la calcularemos utilizando la Ecuación 1.15, en donde RAC (Relación aire combustible) ya la calculamos en las primeras hojas del presente capítulo.

$$V_4 = V_3 = 0.0217 \text{ m}^3$$

$$C_c = \frac{m_a}{RAC} = \frac{6.344 \times 10^{-4}}{14.4} = 4.406 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

En el estado cuatro al estado cinco es donde se lleva a cabo un trabajo puesto que el combustible cede calor que es transformado en trabajo mecánico, y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.17 y nos resulta lo siguiente:

$$Q_s = C_c * PCI = 4.406 \times 10^{-5} \times 4.36746 \times 10^3 = 192.4 \times 10^{-3} \text{ J}$$

Como se ha llevado a cabo una combustión tenemos un incremento de temperatura, el cual lo podemos calcular utilizando la Ecuación 1.19 y nos resulta lo siguiente:

$$T_4 = T_3 + \frac{Q_s}{m_3 * CV} = 737.13 + \left( \frac{192.4 \times 10^{-3}}{7.191 \times 10^{-3} * 0.712} \right) = 774.70 \text{ K}$$

Para conocer la presión que desencadena esta reacción de combustión utilizamos la ecuación 1.20 y tenemos como resultado:



$$\frac{P_3 * V_3}{T_3} = \frac{P_4 * V_4}{T_4} \therefore P_4 = P_3 \frac{T_4}{T_3} = 2.02 \times 10^6 \frac{774.70}{737.13} = 10.195 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_4 = 10.195 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$m_4 = m_2 = 7.191 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

### Estado 5

Del estado cuatro al estado cinco tenemos un proceso adiabático en el cual tenemos un cambio de temperatura la cual calculamos utilizando la Ecuación 1.21.

$$T_5 = T_4 \left( \frac{V_c}{V_T} \right)^{K-1} = 774.70 \left( \frac{0.0217}{0.1847} \right)^{1.4-1} = 329.37 \text{ K}$$

Para conocer la presión que se desarrolla al final de nuestro proceso que es en el estado cinco utilizamos la ecuación 1.23 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$P_5 = P_4 \left( \frac{1}{\varepsilon} \right)^K = 10.195 \times 10^6 \left( \frac{1}{8.5} \right)^{1.4} = 509.568 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$P_5 = 509.568 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$V_5 = V_2 = 0.1847 \text{ m}^3$$

$$m_5 = m_2 = 7.191 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

### 3.2.2.- TRABAJO OBTENIDO POR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.

Una vez calculado los indicadores de nuestro ciclo, Otto ideal a cuatro tiempos, en cada proceso, procedemos a calcular los trabajos.

En el estado uno al estado dos, del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos tenemos un proceso isobárico y el trabajo lo calculamos utilizando la Ecuación 1.25 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$W_{1-2} = P_1(V_2 - V_1) = 1.01327 \times 10^5 (0.1847 - 0.0217) = 16515.16 \text{ J}$$

Del estado dos al estado tres tenemos un proceso adiabático en el cual el trabajo lo calculamos utilizando la ecuación 1.26, obtenido como resultado:

$$W_{2-3} = \frac{P_3 * V_3 - P_2 * V_2}{1 - K}; J = \frac{(2.0272 \times 10^6 \times 0.0217) - (1.0132 \times 10^5 \times 0.1847)}{1 - 1.4} =$$

$$W_{2-3} = -63180.24 \text{ J}$$

Del estado tres al estado cuatro tenemos un proceso isocórico el cual se considera a volumen constante, por lo tanto el trabajo es cero:

$$W_{3-4} = \text{Proceso Isocórico} = 0 (\text{Vol. Constante})$$



Del estado cuatro al estado cinco tenemos un proceso adiabático, el cual nos genera un trabajo y lo podemos calcular con la Ecuación 1.27 teniendo como resultado:

$$W_{4-5} = \frac{m_4 * R(T_5 - T_4)}{1 - K} = \frac{(7.191 \times 10^{-3}) * 8.3147 \times 10^3 (329.37 - 774.70)}{1 - 1.4} = 66.566 \text{ kJ}$$

Del estado cinco al estado dos tenemos un proceso isocórico el cual se considera a volumen constante, por lo tanto el trabajo es cero y se podría decir que es el momento en el cual se expulsan los gases residuales de la combustión.

$$W_{5-2} = \text{Proceso Isocórico} = 0 (\text{Vol. Constante})$$

En el estado dos al estado uno de nuestro ciclo Otto a cuatro tiempos, tenemos un proceso isobárico y nuevamente se repite nuestro ciclo, en donde el trabajo lo calculamos utilizando la Ecuación 1.25:

$$W_{2-1} = P_1(V_2 - V_1) = 1.01327 \times 10^5 (0.1847 - 0.0217) = 16515.16 \text{ J}$$

### TRABAJO TOTAL.

El trabajo total es la sumatoria de los trabajos calculados anteriormente y obtenemos como resultado lo siguiente:

$$W_T = \Sigma W = 16515.16 - 63180.24 + 0 + 66.566 \times 10^3 + 0 + 16515.16 = 21.552 \text{ kJ}$$

### 3.2.3.- CALOR OBTENIDO POR EL PROCESO TERMODINÁMICO.

El calor suministrado ( $Q_s$ ) es el que obtenemos en el proceso de la combustión, que es del estado tres al estado cuatro y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.29, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_s = m_3 * C_v(T_4 - T_3) = 7.191 \times 10^{-3} \times 0.712 (774.70 - 737.13) = 0.1923 \text{ J}$$

El calor retirado ( $Q_R$ ) es el calor expedido por los gases de combustión, y lo tenemos del estado cinco al estado seis puesto que es el momento en el que la válvula de escape se abre permitiendo la salida de los gases quemados y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.30, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_R = m_4 * C_v(T_2 - T_5) = 7.191 \times 10^{-3} \times 0.712 (313 - 774.70) = -2.363 \text{ J}$$

El calor total lo calculamos utilizando la ecuación 1.31 teniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_T = Q_s - Q_R = 0.1923 - (-2.363) = 2.553 \text{ J}$$

### 3.2.4.- POTENCIA TEÓRICA.

Una vez obtenido el trabajo total procedemos a calcular la potencia teórica utilizando la Ecuación 1.32 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$W = W_T * \frac{n}{2 * 60} = 21.552 \times 10^3 * \frac{3000}{2 * 60} = 538.800 \times 10^3 \text{ Watts}$$





### 3.2.5.-EFICIENCIA TEÓRICA UTILIZANDO LOS VALORES DE LA GASOLINA.

Para encontrar la eficiencia térmica, mecánica, y volumétrica sustituimos los valores ya obtenidos en el cálculo del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos, en las Ecuaciones 1.33, 1.34 y, 1.35 teniendo como resultado lo siguiente:

#### **EFICIENCIA TERMICA.**

$$\eta_T = \left( \frac{Q_s - Q_R}{Q_s} \right) = \left( \frac{0.1923 - 2.363}{0.1923} \right) * 100 = 58 \%$$

#### **EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.**

$$\eta_M = 1 - \frac{T_2 - T_5}{T_4 - T_3} = 1 - \frac{313 - 476.84}{1123 - 737.13} * 100 = 42 \%$$

#### **EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN.**

$$\eta_V = 1 - \left( \frac{V_3}{V_a} \right)^{K-1} = 1 - \left( \frac{0.0217}{0.163} \right)^{1.4-1} * 100 = 55 \%$$



### 3.3.-DIMENCIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HIDRÓGENO Y DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.

A continuación se lleva acabo el cálculo de forma habitual de valorar los datos obtenidos en ensayos de motores realizando en un estudio termodinámico. El cálculo ideal de los valores numéricos de los coeficientes más importantes, utilizando las propiedades químicas del hidrógeno.

#### 3.3.1.-DIMENSIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO.

Diámetro del cilindro.....	0.68 m
Carrera.....	0.45 m
Cilindrada.....	0.163 m <sup>3</sup>
Relación de compresión.....	ε=1:8.5
Numero de válvulas: una de admisión y una de escape.....	2 válvulas
Velocidad del motor.....	n=3600 rpm

#### 3.3.2.-PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HIDRÓGENO EN CONDICIONES IDEALES.

Poder calorífico inferior del combustible.....	PCI=57798Kcal/Kg
Peso molecular del hidrógeno.....	2.016Kg/Kg <sub>mol</sub>
Constante K del hidrógeno.....	1.405
Cv.....	10.183KJ/Kg K
Constante característica del aire, R.....	8.3200KJ/Kg <sub>mol</sub>
Densidad del hidrógeno a 20°C.....	ρ=0.0899Kg/m <sup>3</sup>
Hidrógeno.....	H= 1%

Como el PCI (Poder calorífico inferior) del Hidrógeno esta dado en Kcal/Kg, procederemos a realizar la conversión a J/Kg K:

$$(57798) \left( \frac{Kcal}{Kg} \right) \left( \frac{1J}{2.3904 \times 10^{-3} Kcal} \right) = 241.792 \times 10^3 J/KgK$$

El PCI del hidrógeno que utilizaremos para realizar el cálculo es de:

$$PCI=241.792 \times 10^3 J/Kg K$$

#### 3.3.3.- PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES IDEALES.

Peso molecular del aire.....	28.970 Kg <sub>mol</sub>
Porcentaje de oxígeno en el aire.....	21 %
Peso molecular del Oxigeno.....	32 Kg <sub>mol</sub>
Constante K del aire.....	1.4
Constante característica del aire, R.....	8.3147x103KJ/Kg <sub>mol</sub>



### 3.4.-MEMORIA DE CÁLCULO DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS UTILIZANDO LOS VALORES DEL HIDRÓGENO.

El peso mínimo de aire necesario para la combustión de 1 Kg. de combustible se obtendrá de la composición del combustible.

De donde el peso molecular del hidrógeno queda  $2H_2=4.03 \text{ Kg}_{mol}$ .

a) Cantidad teórica de oxígeno para 1Kg. De combustible será:

$$O_{2 \text{ min}} = \frac{h}{4.032} = \frac{1}{4.032} = 0.248 \text{ Kg}_{mol}/\text{Kg}$$

b) Cantidad teórica de aire para 1Kg de combustible:

$$RAC = \frac{O_2}{0.21} = \frac{0.248}{0.21} = 1.180 \text{ Kg}_{mol}/\text{Kg}_{aire}$$

En donde el porcentaje de oxígeno en el aire es igual a 21 %=0.21

$$RAC = 1.180 \times 28.970 = 34.18 \text{ Kg}_{aire}/\text{Kg}_{com}$$

Para realizar el cálculo de los procesos del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos aplicando las propiedades del hidrógeno, utilizaremos las mismas dimensiones del motor, utilizadas en el cálculo a gasolina:

$$V_a=0.163 \text{ m}^3$$

$$V_c=0.0217 \text{ m}^3$$

$$V_T=0.1847 \text{ m}^3$$

De igual forma que utilizaremos las dimensiones del motor en el cálculo a gasolina, utilizaremos la misma temperatura que se utilizó en el cálculo de la gasolina, puesto que, estamos calculando bajo condiciones ideales.

Dónde:

$$T=40 \text{ C}$$

La presión absoluta que utilizaremos en el cálculo será de 1 atmosfera equivalente a  $1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$ , al igual que la utilizamos para el cálculo con las propiedades de la gasolina.

Para conocer la masa admitida utilizaremos la ecuación general de estado de los gases ideales, la ecuación número 1.10:

$$ma = \frac{Pa * Va}{R * Ta} = \frac{(1.01327 \times 10^5)(0.163)}{(8.3200 \times 10^3)(313)} = 6.341 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$



### 3.4.1.-CÁLCULO DE LOS PROCESOS DE CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS CON HIDRÓGENO.

Procedemos a calcular los procesos del ciclo Otto por estado:

#### Estado 1

Como en el estado uno de nuestro proceso es donde se realiza la admisión de la mezcla aire combustible, procedemos a calcular la masa admitida en nuestro cilindro utilizando la Ecuación 1.11, las otras variables como presión volumen y temperatura los obtenemos de las condiciones ideales mencionadas en páginas anteriores.

$$V_c=V_1=0.0217 \text{ m}^3$$

$$P_1=P_a=1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1=T_a=40^\circ\text{C}+273=313 \text{ K}$$

$$m_1=m_a/\epsilon=6.341 \times 10^{-3}/8.5=7.463 \times 10^{-4} \text{ Kg}$$

#### Estado 2

En el estado número dos, el pistón sube al punto muerto inferior (P.M.I.) comprimiendo la mezcla aire combustible, por lo tanto decimos que el volumen dos lo podemos calcular utilizando la Ecuación 1.12 una vez encontrado el volumen dos, procedemos a calcular la masa dos con los mismos valores que utilizamos para calcular la masa uno, excepto el volumen, puesto que en este punto utilizaremos el volumen número dos que calculamos y nos resulta lo siguiente:

$$V_2=V_a+V_c=0.163+0.0217=0.1847 \text{ m}^3$$

$$P_2=P_1=1.01327 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2=T_1=313 \text{ K}$$

$$m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2} = \frac{(1.01327 \times 10^5)(0.1847)}{(8.3200 \times 10^3)(313)} = 7.186 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

#### Estado 3

Como nuestro pistón se encuentra en el P.M.S (Punto muerto superior), se considera el volumen de la cámara (proceso isocórico), por lo tanto el volumen tres es igual al volumen uno, pero el desplazamiento del pistón del P.M.I. (Punto muerto inferior) al P.M.S. es decir del estado dos al estado tres, nos realiza un cambio de presión y temperatura, utilizando la Ecuación 1.13 y 1.14 nos resulta lo siguiente:

$$V_3=V_1=0.0217 \text{ m}^3$$

$$P_3=P_2 \times \epsilon^k=1.01327 \times 10^5 \times 8.5^{1.4}=2.048 \times 10^6 \text{ Pa}$$



$$T_3 = T_a \left( \frac{V_T}{V_c} \right)^{K-1} = 313 \left( \frac{0.1847}{0.163} \right)^{1.4-1} = 737.13 \text{ K}$$

$$m_3 = m_2 = 7.186 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

#### Estado 4

En el estado cuatro tenemos un proceso isocórico ya que existe una combustión del estado tres al estado cuatro, a volumen constante, por lo tanto el volumen número cuatro es igual al volumen número tres, en el cual hay una reacción de explosión, gracias a la chispa eléctrica, que genera la combustión de combustible, la cual la calcularemos utilizando la Ecuación 1.15, en donde RAC (Relación aire combustible) ya la calculamos en las primeras hojas del presente capítulo.

$$V_4 = V_3 = 0.0217 \text{ m}^3$$

$$Cc = \frac{ma}{RAC} = \frac{6.344 \times 10^{-4}}{34.18} = 1.855 \times 10^{-4} \text{ Kg}$$

En el estado cuatro al estado cinco es donde se lleva a cabo un trabajo puesto que el combustible cede calor que es transformado en trabajo mecánico, y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.17 y nos resulta lo siguiente:

$$Q_s = Cc \times PCI = 1.855 \times 10^{-4} \text{ Kg} \times 241.792 \times 10^3 = 44.852 \text{ kJ}$$

Como se ha llevado a cabo una combustión tenemos un incremento de temperatura, el cual lo podemos calcular utilizando la Ecuación 1.19 y nos resulta lo siguiente:

$$Q_s = m_3 * CV(T_4 - T_1)$$

Despejando la temperatura cuatro de la ecuación 1.19 nos resulta:

$$T_4 = T_3 + \frac{Q_s}{m_3 * CV} = 737.13 + \left( \frac{44.852 \times 10^3}{7.186 \times 10^{-3} \times 10.183 \times 10^3} \right) = 1350 \text{ K}$$

Para conocer la presión que desencadena esta reacción de combustión utilizamos la ecuación 1.20 y tenemos como resultado:

$$\frac{P_3 * V_3}{T_3} = \frac{P_4 * V_4}{T_4} \therefore P_4 = P_3 \frac{T_4}{T_3} = 2.02 \times 10^6 \frac{1350}{737.13} = 3.7 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_4 = 3.7 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$m_4 = m_2 = 7.186 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

#### Estado 5

Del estado cuatro al estado cinco tenemos un proceso adiabático en el cual tenemos un cambio de temperatura la cual calculamos utilizando la Ecuación 1.21.

$$T_5 = T_4 \left( \frac{V_c}{V_T} \right)^{K-1} = 1350 \left( \frac{0.0217}{0.1847} \right)^{1.4-1} = 573.232 \text{ K}$$



Para conocer la presión que se desarrolla al final de nuestro proceso que es en el estado cinco utilizamos la ecuación 1.23 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$P_5 = P_4 \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^K = 3.7 \times 10^6 \left(\frac{1}{8.5}\right)^{1.4} = 184.933 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$P_5 = 184.933 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$V_5 = V_2 = 0.1847 \text{ m}^3$$

$$m_5 = m_2 = 7.18 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

### 3.4.2.- TRABAJO OBTENIDO POR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.

Una vez calculado los indicadores (P, V y T) de nuestro ciclo, Otto ideal a cuatro tiempos, en cada proceso, procedemos a calcular los trabajos.

En el estado uno al estado dos, del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos tenemos un proceso isobárico y el trabajo lo calculamos utilizando la Ecuación 1.25 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$W_{1-2} = P_1(V_2 - V_1) = 1.01327 \times 10^5 (0.1847 - 0.0217) = 16515.16 \text{ J}$$

Del estado dos al estado tres tenemos un proceso adiabático en el cual el trabajo lo calculamos utilizando la ecuación 1.26, obtenido como resultado:

$$W_{2-3} = \frac{P_3 * V_3 - P_2 * V_2}{1 - K}; J = \frac{(2.048 \times 10^6 \times 0.0217) - (1.01327 \times 10^5 \times 0.1847)}{1 - 1.4} =$$

$$W_{2-3} = -64316.25 \text{ J}$$

Del estado tres al estado cuatro tenemos un proceso isocórico el cual se considera a volumen constante, por lo tanto el trabajo es cero:

$$W_{3-4} = \text{Proceso Isocórico} = 0 (\text{Vol. Constante})$$

Del estado cuatro al estado cinco tenemos un proceso adiabático, el cual nos genera un trabajo y lo podemos calcular con la Ecuación 1.27 teniendo como resultado:

$$W_{4-5} = \frac{m_4 * R((T_5 - T_4))}{1 - K} = \frac{(7.186 \times 10^{-3}) \times 8.3200 \times 10^3 (573.232 - 1350)}{1 - 1.4} = 386.170 \text{ kJ}$$

Del estado cinco al estado dos tenemos un proceso isocórico el cual se considera a volumen constante, por lo tanto el trabajo es cero y se podría decir que es el momento en el cual se expulsan los gases residuales de la combustión.

$$W_{5-2} = \text{Proceso Isocórico} = 0 (\text{Vol. Constante})$$

En el estado dos al estado uno de nuestro ciclo Otto ideal a cuatro tiempos, tenemos un proceso isobárico y nuevamente se repite nuestro ciclo, en donde el trabajo lo calculamos utilizando la Ecuación 1.25:



$$W_{2-1} = P_1(V_2 - V_1) = 1.01327 \times 10^5 (0.1847 - 0.0217) = 16515 \text{ J}$$

### TRABAJO TOTAL.

El trabajo total es la sumatoria de los trabajos calculados anteriormente y obtenemos como resultado lo siguiente:

$$WT = \Sigma W = 16515 - 25711 + 0 + 115332.18 + 0 + 16515 = 122.651 \text{ kJ}$$

### 3.4.3.- CALOR OBTENIDO POR EL PROCESO TERMODINÁMICO.

El calor suministrado ( $Q_s$ ) es el que obtenemos en el proceso de la combustión, que es del estado tres al estado cuatro y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.29, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_s = m_3 * C_v(T_4 - T_3) = 7.18 \times 10^{-3} \times 10.183(1350 - 737.13) = 44.80 \text{ J}$$

El calor retirado ( $Q_R$ ) es el calor expedido por los gases de combustión, y lo tenemos del estado cinco al estado seis puesto que es el momento en el que la válvula de escape se abre permitiendo la salida de los gases quemados y lo calculamos utilizando la Ecuación 1.30, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_R = m_4 * C_v(T_2 - T_5) = 7.18 \times 10^{-3} \times 10.183(313 - 573.232) = -19.02 \text{ J}$$

El calor total lo calculamos utilizando la ecuación 1.31 teniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_T = Q_s - Q_R = 44.80 - 19.02 = 25.78 \text{ J}$$

### 3.4.4.- POTENCIA TEÓRICA.

Una vez obtenido el trabajo total procedemos a calcular la potencia teórica utilizando la Ecuación 1.32 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$W = W_T * \frac{n}{2 * 60} = 122.651 \times 10^3 \times \frac{3000}{2 \times 60} = 3066.275 \times 10^3 \text{ Watts}$$

### 3.4.5.-EFICIENCIA TEÓRICA UTILIZANDO LOS VALORES DEL HIDRÓGENO.

Para encontrar la eficiencia térmica, mecánica, y volumétrica sustituimos los valores ya obtenidos en el cálculo del ciclo Otto ideal a cuatro tiempos, en las Ecuaciones 1.33, 1.34 y, 1.35 teniendo como resultado lo siguiente:

### EFICIENCIA TÉRMICA.

$$\eta = \left( \frac{Q_s - Q_R}{Q_s} \right) = \left( \frac{44.80 - 19.02}{44.80} \right) * 100 = 62 \%$$

### EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

$$\eta = 1 - \frac{T_2 - T_5}{T_4 - T_3} = 1 - \frac{313 - 573.232}{1350 - 737.13} * 100 = 58 \%$$



## EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN.

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_3}{V_a}\right)^{K-1} = 1 - \left(\frac{0.0217}{0.163}\right)^{1.4-1} * 100 = 55 \%$$

## 3.5.-CONSUMO TEORICO DE COMBUSTIBLE.

### 3.5.1.-CONSUMO TEÓRICO DE GASOLINA E HIDRÓGENO.

Para calcular el consumo efectivo teórico de combustible, utilizando los valores de la gasolina y el hidrógeno, procedemos a utilizar la Ecuación 1.36

#### CONSUMO EFECTIVO TEORICO DE LA GASOLINA:

$$G = \frac{ma}{Wu} = \frac{6.344x10^{-4}}{21.552} = 2.943x10^{-8} J$$

#### CONSUMO EFECTIVO TEORICO DEL HIDRÓGENO:

$$G = \frac{ma}{Wu} = \frac{6.341x10^{-3} Kg}{122.651} = 5.169x10^{-8} J$$

### 3.5.2.-CONSUMO TEÓRICO HORARIO DE GASOLINA E HIDRÓGENO.

Para encontrar el consumo horario utilizaremos la ecuación 1.37 con los valores de la gasolina y los valores del hidrógeno, obteniendo como resultado lo siguiente:

#### ➤ CONSUMO HORARIO DE LA GASOLINA:

$$Ch = 2.943x10^{-8} x \left(\frac{3000}{2}\right) x 60 = 2.648x10^{-3} Kg/s$$

#### ➤ CONSUMO HORARIO DEL HIDRÓGENO:

$$Ch = 5.169x10^{-8} x \left(\frac{3000}{2}\right) x 60 = 4.652x10^{-3} Kg/s$$



### 3.6.-ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PROCESOS DEL CICLO OTTO IDEAL A CUATRO TIEMPOS.

En las Tablas 3.A y 3.A.1 mostramos los resultados obtenidos al llevar a cabo el cálculo ideal termodinámico del ciclo Otto, al utilizar las condiciones a gasolina, en las Tablas 3.B y 3.B.1 mostramos los resultados obtenidos al llevar el cálculo ideal termodinámico del ciclo Otto al utilizar las condiciones del hidrógeno.

Tabla 3.A RESULTADOS DE LOS PROCESOS A GASOLINA DEL CICLO IDEAL OTTO

PROCESOS	P;P <sub>a</sub>	V;m <sup>3</sup>	T;K	M;Kg
Proceso 1	1.01327x10 <sup>5</sup>	0.0217	313	7.463x10 <sup>5</sup>
Proceso 2	1.01327x10 <sup>5</sup>	0.1847	313	7.191x10 <sup>3</sup>
Proceso 3	2.0272x10 <sup>6</sup>	0.0217	737.13	7.191x10 <sup>3</sup>
Proceso 4	10.195x10 <sup>6</sup>	0.0217	774.70	7.191x10 <sup>3</sup>
Proceso 5	509.56x10 <sup>3</sup>	0.1847	329.37	7.191x10 <sup>3</sup>

Tabla 3.A.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CICLO IDEAL OTTO A GASOLINA

TRABAJO TOTAL	21.552 kJ
CALOR SUMINISTRADO	0.1923 J
CALOR RETIRADO	-2.363 J
CALOR ÚTIL	2.553 J
POTENCIA	538.800x10 <sup>3</sup> Watts
EFICIENCIA TÉRMICA	58 %
EFICIENCIA TEMPERATURA	42 %
EFICIENCIA R.C.	55 %

Tabla 3.B RESULTADOS DE LOS PROCESOS CON HIDRÓGENO DEL CICLO IDEAL OTTO

PROCESOS	P;P <sub>a</sub>	V;m <sup>3</sup>	T;K	M;Kg
Proceso 1	1.01327x10 <sup>5</sup>	0.021	313	7.463x10 <sup>5</sup>
Proceso 2	1.01327x10 <sup>5</sup>	0.1847	313	7.186x10 <sup>3</sup>
Proceso 3	2.048x10 <sup>6</sup>	0.0217	737.13	7.186x10 <sup>3</sup>
Proceso 4	3.7x10 <sup>6</sup>	0.0217	1350	7.186x10 <sup>3</sup>
Proceso 5	184.933x10 <sup>3</sup>	0.1847	573.232	7.186x10 <sup>3</sup>

Tabla 3.B.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CICLO IDEAL OTTO CON HIDRÓGENO

TRABAJO TOTAL	122.651 kJ
CALOR SUMINISTRADO	44.80 J
CALOR RETIRADO	-19.02 J
CALOR ÚTIL	25.78 J
POTENCIA	3066.275x10 <sup>3</sup> Watts
EFICIENCIA TÉRMICA	62%
EFICIENCIA TEMPERATURA	58%
EFICIENCIA R.C.	55%



Como el ciclo Otto a cuatro tiempos lo calculamos en condiciones ideales, podemos ver que en los procesos número uno y dos de nuestro ciclo ideal, las condiciones de operación tanto con gasolina e hidrógeno son similares, la ventaja de hacer los cálculos en condiciones ideales, es que podemos hablar de procesos reversibles, es decir podemos cambiar las propiedades químicas de ambos combustibles o las dimensiones del cilindro de nuestro motor, en un proceso real y aplicando ambos combustibles, tendríamos que tomar en cuenta las propiedades mecánicas de la máquina, ya que tendríamos que considerar otras condiciones de operación, como: tiempo en el que se lleva a cabo la ignición, tiempo que dura la explosión, el tiempo de apertura de la válvula de admisión y escape, encendido de la chispa, etc.

En el punto tres al cuatro es un proceso isocórico a volumen constante, es decir las válvulas tanto de admisión como de escape se encuentran cerradas y es el momento en el cual se lleva a cabo la explosión, por lo tanto aquí tenemos que cambian los resultados de la combustión de la gasolina en comparación con las del hidrógeno, en la tabla 5.B y 5.C podemos ver las diferencias entre ambos resultados, y en las tablas 5.B.1 y 5.C.1 podemos ver los trabajos y eficiencias de ambos combustibles.

### **3.7.-MODIFICACIONES EN EL SISTEMA DE CARBURACIÓN DE LA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD.**

Cuando se lleve a la realidad de implementar hidrógeno en una planta Honda EC 2200 generadora de electricidad, a este equipo, se le tendrán que hacer ciertos cambios a su sistema de carburación de combustible.

Se tendrá que sustituir el carburador a gasolina por un dispositivo llamado por el fabricante como carburador oem, que su función es poder regular la entrada de hidrógeno y aire a nuestro motor de combustión interna, en este apartado de la tesis se mencionan las partes a sustituir y las partes que utilizaremos para llevar a cabo el cambio de piezas mecánicas.

Como innovación obtendremos un cambio de sistema de alimentación de combustible para usar hidrógeno, sin la necesidad de llevar a cabo alguna modificación adicional, a la cabeza del motor y sin tener que adquirir dispositivos de otras marcas, para que podamos hacer uso del hidrógeno en este dispositivo.

Al utilizar la planta generadora de electricidad con hidrógeno estaremos mejorando la eficiencia de este equipo.

#### **3.7.1.-PARTES A SUSTITUIR PARA EL USO DE HIDRÓGENO EN EL MOTOR.**

Actualmente nuestro motor utiliza un dispositivo llamado carburador el cual nos sirve para conseguir la mezcla de aire-gasolina en la proporción adecuada según las condiciones de funcionamiento del motor.

El funcionamiento del carburador, se basa en el efecto Venturi que provoca que toda corriente de aire que pasa por una canalización, genera una depresión (succión) que se aprovecha para arrastrar el combustible proporcionado por el propio carburador, en la Figura 3.1 y 3.2, se puede apreciar el carburador que utiliza el motor de nuestra planta generadora de electricidad, se puede apreciar que el carburador está montado en la cabeza del motor de combustión interna.



Figura 3.1 CARBURADOR A GASOLINA DE MOTOR



Figura 3.2 CARBURADOR Y CABEZA DE MOTOR

Al utilizar hidrógeno como combustible en el motor del generador, las condiciones de operación del carburador no serán las adecuadas para utilizar este combustible, puesto que se encuentra en un estado gaseoso, por lo que abra que implementar otro tipo de dispositivo, llamado mezclador de gas, o carburador Oem para gas, como el que usan en vehículos de transporte de carga y transporte público en sus motores alimentados con gas LP, algunos modelos de electrógenos de la marca Honda, ya tienen integrado este sistema puesto que son alimentados con gas LP.

EL hidrógeno se encuentra en estado gaseoso al igual que el gas LP, por lo tanto será necesario utilizar un carburador Oem como el que se muestra en la Figura 3.3, esto por fines prácticos y económicos puesto que será más factible adquirir el convertidor que ya se encuentra en el mercado, y es para el uso de electrógenos de Honda, esto nos dará la ventaja de ya no tener que hacer modificaciones adicionales a nuestra cabeza del motor, ahorrándonos un gasto adicional de modificación.



Figura 3.3 MEZCLADORES DE GAS PARA USO DE ELECTRÓGENO

Los mezcladores de gas-aire ofrecen un correcto funcionamiento en los motores de ciclo Otto a cuatro y dos tiempos, pudiendo ser estos la solución para hacer uso de combustibles gaseosos, la empresa Honda en su area de electrógenos ya nos brinda el kit convertidor de

gasolina a gas como el que se muestra en la Figura 3.4 el cual nos dispone del carburador Oem, regulador y mezclador aire-combustible.



Figura 3.4 KIT DE CONVERSIÓN A HIDRÓGENO PARA PLANTA HONDA EC 2200

<http://www.ebay.com/itm/221740876566>

La función principal de gas-válvula reductora de presión que tiene el carburador oem, es bajar la presión y el suministro constante de combustible que se requiere, cuando se interrumpa la marcha del motor se tendrá que cerrar la válvula del gas, así como la válvula reductora de presión, este kit se instala en la cabeza del motor sin necesidad de modificaciones adicionales, en la Figura 3.5 se puede apreciar el lugar en donde se instalará el carburador oem, así como la lumbrera, por donde pasará la mezcla de hidrógeno-aire.

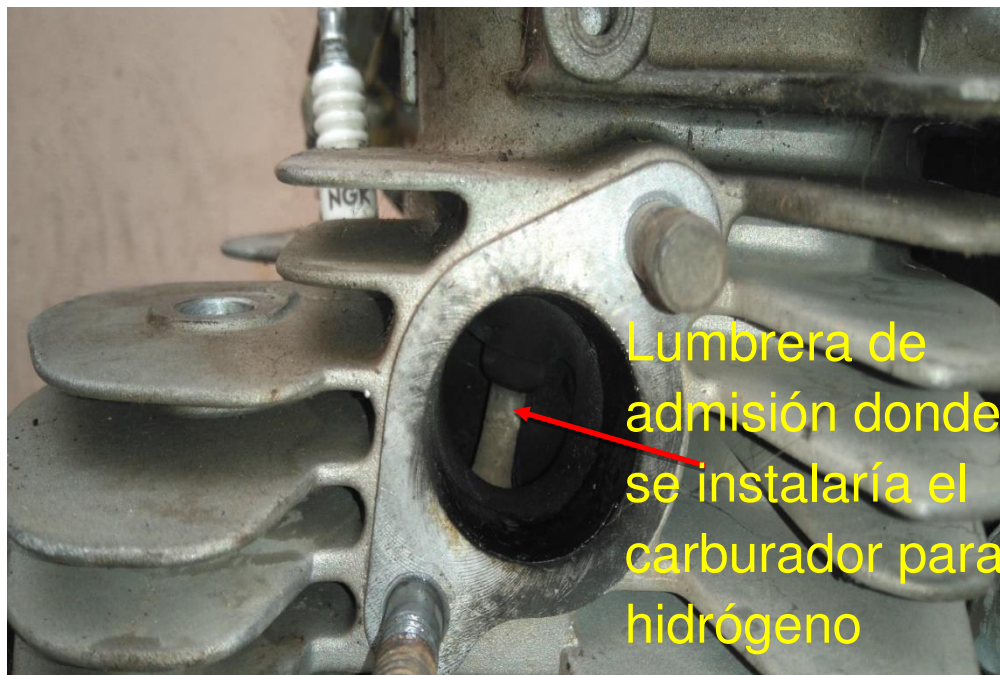


Figura 3.5 LUMBRERA DE MOTOR



### **VENTAJAS AL UTILIZAR ESTE DISPOSITIVO:**

- No se tienen que hacer modificaciones adicionales.
- Se puede regular el consumo de gas.
- Se puede instalar con facilidad en la cabeza del motor.
- Se puede encontrar con facilidad en el mercado y con un precio accesible.



# CAPÍTULO

# IV

# ESTUDIO ECONÓMICO



## 4.1.-ESTIMACION DE COSTOS DEL MEZCLADOR DE GAS Y COSTOS DE LOS COMBUSTIBLES.

En este capítulo se presenta el análisis económico de las modificaciones que se tendrán que hacer al motor Honda EC 2200 así como el costo de la planta (electrógeno), y el análisis de costos de los combustibles.

Se llevara a cabo un estudio de los costos de producción, en el cual aremos una estimación de los costos fijos y costos variables, para utilizar nuestra planta generadora de electricidad, tanto con combustible a gasolina como con hidrógeno. Conoceremos cual es nuestro punto de equilibrio aproximado, para saber si tendremos utilidad o no.

Las partes que se le tendrán que adaptar a nuestro motor de la planta Honda EC 2200 fueron cotizadas al igual que la planta Honda EC 2200; el hidrógeno y la gasolina de igual forma se cotizaron, en las Tablas 4.A y 4.B se muestran los costos de las piezas a adaptar, así como el costo de los combustibles.

Tabla 4.A COSTOS DE LA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD Y SUS ACCESORIOS DE CONVERSIÓN

MAQUINA Y DISPOSITIVO	PRECIO SIN IVA	PRECIO CON IVA
Planta Honda EC 2200	\$ 9,660	\$ 11,205.60
Kit convertidor a gas	\$ 942.98	\$ 1,093.77
TOTAL	\$ 10,602.98	\$ 12,300

En la tabla 4.B se muestran el precio de la gasolina, magna en México al mes de mayo del 2016 y el costo de la carga de hidrógeno al año 2016.

Tabla 4.B COSTOSO DE LOS COMBUSTIBLES

COMBUSTIBLE	PRECIO SIN IVA	PRECIO CON IVA (M.N.)
GASOLINA	\$13.16 Litro	\$15.26
HIDRÓGENO	\$2,800 tanque de 6m <sup>3</sup>	\$ 3,248.00

En la siguiente Figura 4.1 se muestra el depósito de gasolina de nuestro electrógeno estudiado en el presente trabajo, su capacidad es de 3.6 litros como ya se mencionó en el capítulo “GENERALIDADES”

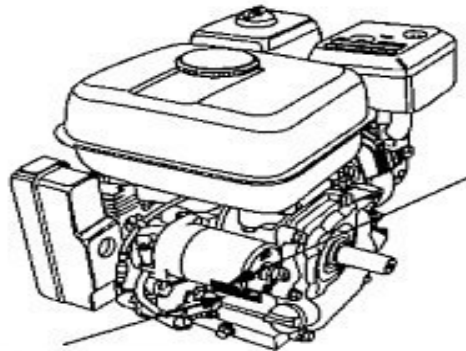


Figura 4.1 TANQUE DE COMBUSTIBLE

Imagen de manual de usuarios Honda

En la siguiente Figura 4.2 se muestra el recipiente de hidrógeno a alta presión, mejor conocido como tanque o cilindro y tiene un costo aproximado de \$5000.00 más IVA al año 2016.



Figura 4.2 CILINDRO DE ALTA PRESIÓN PARA HIDRÓGENO

<http://www.infra.com.mx/>

#### 4.1.1.- COSTOS DE PRODUCCIÓN.

Los costos fijos, nunca cambian aunque cambie la producción y los costos variables cambian cuando cambia la producción.

Los costos fijos se consideran como tal en su momento global, pero unitariamente se consideran variables.

Los costos variables, como ya lo mencionamos párrafos anteriores suelen cambiar de acuerdo a la producción, es decir si no hay producción no hay costos variables y si se producen muchas unidades el costo variable es alto. Unitariamente el costo variable se considera fijo, mientras que en forma total se considera variable.





En la Tabla 4.C se muestran los costos fijos y variables que podemos encontrar si llegáramos a producir en serie nuestro sistema con uso de combustible hidrógeno.

Tabla 4.C COSTOS FIJOS Y VARIABLES

	CONCEPTO	COSTO	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE
1	Planta Honda EC 2200	\$ 9,660Pza.	X	
2	Kit convertidor a gas	\$ 942.98.	X	
3	Gasolina	\$13.16 x3 Litro		X
4	Hidrógeno	\$ 2,800(6m <sup>3</sup> )		X
5	Horas Hombre	\$5,000 mes	X	
6	Total de gastos	\$30/pza.	\$15,602.98	\$2,839.48

Una vez obtenidos los costos de la planta generadora de electricidad, los costos de las modificaciones los costos hora hombre y el costo de los combustibles, se consideran los costos en fijos y costos variables en la tabla 4.C se muestran los costos en fijos y variables, esto nos permite conocer nuestro punto de equilibrio económico.

## 4.2.-PUNTO DE EQUILIBRIO.

El punto de equilibrio es aquel punto de actividad en el cual los ingresos totales son exactamente equivalentes a los costos totales asociados con la venta o la creación de nuestro producto, es decir es aquel punto de actividad en el cual no existe utilidad ni pérdida.

Donde:

PE=Punto de equilibrio.

CF=Costos fijos.

CV=Costos variables.

Q=Cantidad vendida o producida

Nuestro costo fijo que calculamos en la tabla 4.C es de \$15602.98 y su costo variable es de \$2839.48 y su precio al consumidor será de \$20802.98.

Los ingresos son:

$$20802.98 * Q = 20802.98 * 30 = 624089.4$$



Los costos son:

$$15602.98+2839.48*Q$$

El punto de equilibrio donde los ingresos son iguales a los costos, será:

$$Q=15602.98/20802.98-2839.48=0.86$$

Esto quiere decir que si se venden más de una unidad el producto genera utilidades, si se venden menos de una unidad el producto nos generara perdidas, en la tabla 4.D podemos apreciar el resultado del punto de equilibrio al realizar su ecuación.

Tabla 4.D CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

$PE=\frac{CF}{PV-CV}*Q$	$PE=15602.98/20802.98-2839.48*30$	$PE=26.05$
-------------------------	-----------------------------------	------------

### 4.3.-ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Una de las fortalezas del análisis del punto de equilibrio, es que permite evaluar las decisiones sobre precios y costos en términos de su efecto en las utilidades. Por ejemplo, considérese la necesidad de disminuir el punto de equilibrio para aumentar las ganancias, lo cual se puede conseguir de las siguientes formas:

- Aumentando los precios.
- Disminuyendo los costos variables.
- Disminuyendo los costos fijos.
- Realizar un correcto estudio de mercado.



# CAPÍTULO

# V

# ANÁLISIS DE RESULTADOS



## 5.1.-CONCLUSION.

En el presente trabajo que se llevó a cabo se realizó el cálculo termodinámico de un ciclo Otto ideal, aplicado a un motor de combustión interna a cuatro tiempos de una planta generadora de electricidad, en el cual utilizamos las propiedades químicas de la gasolina y del hidrógeno en condiciones ideales.

Cuando utilizamos la palabra condiciones ideales en el presente trabajo, nos referimos a que las condiciones químicas y físicas de las variables, como: ambos combustibles (gasolina e hidrógeno), presión atmosférica, aire y temperatura, pueden cambiar de acuerdo al sitio o lugar en donde se utilicen sus propiedades químicas y físicas, puesto que la calidad de la gasolina varía de un país a otro, o la presión atmosférica cambia de un lugar a otro etc. por lo tanto en el cálculo ideal se pueden utilizar diversos valores, para cada variable.

Si la presente propuesta de este trabajo se llevara a la realidad, muy probablemente cambiarían los parámetros de operación de nuestro motor de combustión interna, puesto que ya se consideraría un ciclo Otto real, en el cual tendríamos que considerar pérdidas, por fricción, calor, bombeo etc. y las propiedades químicas y físicas de los combustibles ya serían reales, por lo tanto para llevar a cabo el cálculo termodinámico, tendríamos que conocer a ciencia cierta cuáles son las propiedades químicas de ambos combustibles, así como la presión atmosférica y la proporción de oxígeno que se encuentra en el aire.

Como el trabajo se llevó a cabo en condiciones ideales, podemos comparar las eficiencias entre un combustible y otro, y podemos ver que utilizando hidrógeno tenemos una mejor eficiencia (rendimiento), en la Tabla 5.A podemos comparar la eficiencia entre un combustible y otro.

Tabla 5.A COMPARATIVA DE EFICIENCIAS DE GASOLINA E HIDRÓGENO

EFICIENCIA UTILIZANDO GASOLINA	$\eta$
Eficiencia térmica	58%
Eficiencia temperatura	42%
Eficiencia relación de compresión	55%
EFICIENCIA UTILIZANDO HIDRÓGENO	$\eta$
Eficiencia térmica	62%
Eficiencia temperatura	58%
Eficiencia relación de compresión	55%

Como se puede ver en la tabla 5.A podemos observar que el hidrógeno nos da una mayor eficiencia a excepción de la eficiencia en función de la relación de compresión, ya que se considera el volumen total de la carrera y de la cámara de combustión de nuestro motor, el cual no cambiaremos.

Al tener una mayor eficiencia térmica y mecánica nos da una mejor perspectiva para utilizar hidrógeno en nuestro motor, no solamente por ser amigable con el medio ambiente, sino también porque se podría instalar a la flechada el motor un generador de mayor capacidad, puesto que al brindar mayor eficiencia hablando teóricamente.



Como ya lo mencionamos en párrafos anteriores, podemos ver que el hidrógeno nos dará una mayor eficacia en comparación con la gasolina, esto gracias a sus propiedades químicas, en la Tabla 5.B podemos comparar la propiedades químicas del hidrógeno en comparación con la gasolina.

Tabla 5.B COMBUSTIBLES EMPLEADOS AL CÁLCULO DEL CICLO IDEAL OTTO

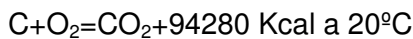
PROPIEDADES	GASOLINA	HIDRÓGENO
FORMULA QUIMICA	$C_nH_{2n+2}$	$H_2$
PCI	$4.36746 \times 10^3$ J/Kg K	$241.792 \times 10^3$ J/Kg K
CP	1.005 KJ/Kg K	14.307 KJ/Kg K
CV	0.712 KJ/Kg K	10.183 KJ/Kg K
RAC	14.4 Kg <sub>aire</sub> /Kg <sub>com</sub>	34.18 Kg <sub>aire</sub> /Kg <sub>com</sub>

Para calcular la eficiencia de los combustibles gasolina e hidrógeno fue necesario efectuar un balance térmico del sistema, para ello fue necesario conocer, la composición química de ambos combustibles, sus ecuaciones estequiometrias de relación aire combustible y algunos conceptos prácticos inherentes al proceso de la combustión.

A continuación se muestra el análisis estequiometrico de la gasolina en comparación con el hidrógeno, en la Tabla 5.B.1, podemos observar los gases que se obtienen una vez se lleve a cabo la combustión de ambos combustibles.

ESTEQUIOMETRIA DE LA GASOLINA

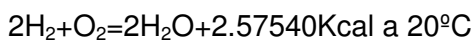
Combustión del carbón



$12\text{Kg} + 32\text{Kg} = 44\text{Kg}$

$1\text{Kg} + 2.667\text{Kg} = 3.667\text{Kg}$

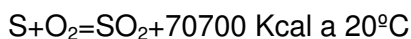
Combustión del hidrógeno



$4.03\text{Kg} + 32\text{Kg} = 36.03\text{Kg}$

$1.008\text{Kg} + 8\text{Kg} = 9.008\text{Kg}$

Combustión de azufre

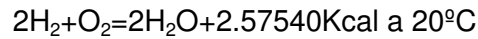


$32\text{Kg} + 32\text{Kg} = 64\text{Kg}$

$1\text{Kg} + 1\text{Kg} = 2\text{Kg}$

ESTEQUIOMETRIA DEL HIDRÓGENO

Combustión del hidrógeno



$4.03\text{Kg} + 32\text{Kg} = 36.03\text{Kg}$

$1.008\text{Kg} + 8\text{Kg} = 9.008\text{Kg}$

Tabla 5.B.1 COMPARATIVA DE LOS GASES OBTENIDOS POR LA COMBUSTIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN DE LA COMBUSTIÓN	GASOLINA	HIDRÓGENO
BIXIDO DE CARBONO	X	
MONOXIDO DE CARBONO	X	
HIDROCARBUROS	X	
OXIDO DE NITROGENO	X	
DIOXIDO DE AZUFRE	X	
VAPOR DE AGUA	X	X



Como podemos ver en la tabla 5.B.1 la gasolina nos produce mayores contaminantes en comparación con el hidrógeno que únicamente nos produce vapor de agua, sin embargo, como el cálculo e investigación se realizó en condiciones ideales, se pasó por alto en mencionar que, el hidrógeno una vez realice la combustión, no solamente nos dará, como gases de residuo vapor de agua sino también algunos hidrocarburos, puesto que el motor de combustión necesita ser lubricado por medio de aceite derivado del petróleo, que a altas temperaturas suele generar vapores que se elevaran a la parte superior del motor y se alojaran en la cámara de combustión mezclándose con el hidrógeno y aire, formando parte de la combustión.

Cuando estudiamos cuantitativamente y cualitativamente nuestro motor de combustión interna, pudimos conocer cuáles son las piezas que lo conforman así como sus dimensiones (diámetro y longitud de la carrera) y que este motor no requiere ser enfriado por agua, ya que la forma de enfriarse es por aire forzado.

Una de las ventajas que se tiene en nuestro motor de combustión interna, es que el carburador de gasolina lo podemos sustituir por un carburador oem para gas el cual ya lo podemos encontrar en el mercado.

Al no tener que hacer muchas modificaciones a nuestro motor, nos da otra ventaja más puesto que no tenemos que hacer gastos en modificar la cabeza del motor para instalarle el carburador o hacer modificaciones internas al motor o en su defecto hacer cambio de válvulas o pistones, lo único que se tiene que hacer es quitar el carburador de gasolina y colocar el carburador oem para gas.

El hidrógeno lo podemos adquirir a través de diversas compañías dedicadas al suministro de gases industriales, con la facilidad de tener un tanque de hidrógeno que es fácil de maniobrar y no ocupa mucho espacio.

## **5.2.- DISCUSIÓN.**

Al llevar a cabo esta investigación se puede decir que es posible la implementación de hidrógeno a nuestro motor ensayado, trabajando en condiciones ideales, obteniendo como resultado una mayor eficiencia y menores contaminantes, este tipo de combustibles se podría implementar en vehículos de uso común, como automóviles, camiones de transporte, maquinaria pesada etc., ya que algunos de los vehículos mencionados, actualmente ya trabajan con gas LP, y tienen instalado la conversión para uso con gas y no con gasolina.

Con esto podemos decir que el hidrógeno puede estar en cualquier motor de combustión interna pues su modo de operar es casi idéntico al de la gasolina, lo único que nos detiene es el problema de cómo obtener el hidrógeno y su almacenaje.

Este trabajo brindara de apoyo a futuras generaciones que estén interesadas en la producción o fabricación de hidrógeno, puesto que en el mercado podemos encontrar el gas hidrógeno en diversas presentaciones, desde un cilindro industrial hasta el uso de celdas de hidrógeno, con la desventaja que son de mayor costo.

Se espera que en un futuro no muy lejano dejemos de utilizar combustibles fósiles y se puedan hacer uso de los sistemas híbridos, ya que estos se implementarían desde una casa habitación hasta la forma en la que nos podemos transportar.

Abriendo mayor camino a los sistemas híbridos la humanidad se volvería más autosustentable, sin necesidad de estar erosionando a nuestro planeta tierra, puesto que cada día hay mayor contaminación en todo el mundo, y menos recursos naturales como los combustibles fósiles, esto nos ha traído grandes consecuencias no solamente ambientales sino también problemas de salud y económicos, por mencionar algunos.

Al llevar a la práctica el uso de una planta generadora de electricidad (electrógeno) con hidrógeno, como el que analizamos en el presente trabajo de ingeniería, no solamente obtendríamos el beneficio de llevar electricidad a los lugares en donde no tienen el suministro eléctrico, sino que también reduciríamos los contaminantes, y aprovecharemos a un 58% la eficiencia del motor.



Figura 5.1 VEHÍCULO A GASOLINA VS HIDRÓGENO

[http://miaprimersestremestre20081.blogspot.mx/2008/10/3\\_369.html](http://miaprimersestremestre20081.blogspot.mx/2008/10/3_369.html)



### 5.3.-GLOSARIO.

**HETEROCÍCLICOS:** Son compuestos orgánicos cíclicos en los que al menos uno de los de los componentes del ciclo es de un elemento diferente al carbono. Los átomos distintos de carbono presentes en el ciclo se denominan heteroátomos, siendo más comunes los heteroátomos de nitrógeno, oxígeno y azufre.

**TWh:** Tera watt hora.

**MON:** Es el número de octano determinado con el método motor (norma ASTM D-2700)

**RON:** Es el número de octano determinado con el método research (norma ASTM D-2699)

**ISOMERIZADA:** Proceso químico mediante el cual una molécula es transformada en otra que pose los mismos átomos pero dispuesta de forma distinta (la isomerización incrementa el valor agregado a las corrientes de naftas livianas de Topping obteniendo una nafta isomerada de mayor valor octánico)

**PIRÓLISIS DESBENCENIZADA:** La gasolina de pirolis comprende un corte 20-200°C; tiene un carácter marcado aromático, especialmente de benceno, tolueno y xilenos y presenta también un alto contenido de oleofinas y dioleofinas.

**MTBE:** Conocido también como: Metilo Terciario Éter es un compuesto líquido volátil, inflamable, incoloro, de baja viscosidad, con olor característico, soluble en agua, que se usa casi exclusivamente como aditivo oxigenado en las gasolinas.

**ALQUILATO:** Un componente de la mezcla de gasolina se compone de isobutano y propileno o butileno.

**MONOCILÍNDRICO:** Son motores construidos con un solo cilindro, la mayoría de estos son refrigerados por aire.

**PARAFINA:** Parafina se puede obtener tanto del petróleo como del carbón o de los llamados exquisitos bituminosos, que son otras formas de carbón.

**ISOPARAFINAS:** Isoparafinas (isoparafinas plural) (química orgánica) cualquier isómero de cadena ramificada de un alcano de cadena lineal

**NAFTENOS:** Hidrocarburos saturados constituidos por uno o más anillos de átomos de carbono. También se denominan parafinas de cadena cerrada

**OLEFINAS:** Compuestos químicos que contienen por lo menos un doble enlace carbono – carbono. Sin embargo, el término olefinas está siendo reemplazado por el término alquenos.

**ÉTERES:** Son compuestos que se forman por la unión de ácidos con alcoholes, generando agua como subproducto.

**METANOL:** También llamado alcohol metílico, alcohol de madera, carbinol y alcohol de quemar, es el primero de los alcoholes.





**ETANOL:** Es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C

**SENSITIVIDAD:** La sensibilidad es definida numéricamente como la diferencia entre el número de octano Research Method y el número de octano Motor Method, que expresan el poder antidetonante de una gasolina determinada sobre un motor monocilíndrico estándar al que se hace funcionar en dos condiciones distintas; más severas para el Motor Method y m

**ISOCORICO:** En un proceso que se efectúa a volumen constante sin que haya ningún desplazamiento, el trabajo hecho por el sistema es cero. Es decir, en un proceso isocórico no hay trabajo realizando por el sistema. Y no se adiciona calor al sistema que ocasione un incremento de su energía interna.

**FUELOÍL:** El fueloil (en inglés fuel oil), también llamado en España fuelóleo y combustóleo en otros países hispanohablantes, es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. De aquí se obtiene entre un 30 y un 50% de esta sustancia.

**PROTIO:** Isótopo de hidrógeno más abundante en la naturaleza (99,985%), que contiene en su núcleo un solo protón, lo que le diferencia del deuterio, que posee un protón y un neutrón, y del tritio, que contiene un protón y dos neutrones.

**GAS LP:** Gas licuado de petróleo.

**PE:** Punto de equilibrio.

**FCC:** El craqueo catalítico fluidizado (FCC) es el proceso de refinación desde el origen más importante en la destilación del crudo

**PPM:** Partes por millón.

**R.C.:** Relación de compresión.



## 5.4.-BIBLIOGRAFÍAS.

1. FRITZ A. F. SCHMIDT. (1960). MAQUINAS DE COMBUSTIÓN (MOTORES Y TURBINAS DE GAS). ALEMANIA: LABORO S.A., P.P.3-50.
2. FRANCISCO ROSELLO CORIA LUIS FRANCISCO ARREOLA QUIJADA. (1983). ENERGIA Y MAQUINAS TERMICAS. MEXICO: LIMUSA S.A, P.P.103-275.
3. D. HERMOGENES GIL MARTINEZ. (2000). MANUAL DEL AUTOMOVIL (EL MOTOR DE GASOLINA). MADRID ESPAÑA: CULTURA, S.A, P.P.14-25.
4. JESUS RUEDA SANTANDER. (2005). MECANICA AUTOMOTRIZ. COLOMBIA: DISELI, P.P.5-223.
5. JOHN H. KUHLMANN. (1977). DISEÑO DE APARATOS ELECTRICOS. NEW YORK: C.E.C.S.A, P.P.45-70.
6. STEPHAN E. HOPFERWIESER. (1943). MOTORES ELECTRICOS MANUAL SOBRE SUS APLICACIONES. SUIZA: SOCIETE ANONYME, P.P. 10-53.
7. ROBERT L. MOTT. (2006). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS. E.U.A.: PEARSON, P.P. 9-26.
8. PETER F. RYFF. (1994). ELECTRIC MACHINERY. NEW JERSEY: PARAMOUNT, P.P 22-50.
9. G. RAYNER-CANHAM "QUÍMICA INORGÁNICA DESCRIPTIVA" 2º EDICIÓN, EDITORIAL PRENTICE HALL, MÉXICO, 2000, ATKINS "PHYSICAL CHEMISTRY" 6 TH EDITION, W. H. FREEMAN AND COMPANY, NEW YORK, 1998, P.P. 922-929.
10. FUENTE: RICHARD M. FELDER, RONALD W. ROUSSEAU, "PRINCIPIOS ELEMENTALES DE LOS PROCESOS QUÍMICOS" 2º EDICIÓN, ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA, WILMINGTON, DELAWARE 1991, APÉNDICE B, P.P. 671-678.
11. JOSE LLUCH URPI. (2008). TECNOLOGIA Y MARGEN DE REFINO DEL PETROLEO. MADRID: DIAZ DE SANTOS, P.P. 202-324.
12. JUAN GALLARDO CERVANTES. (2002). EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA. PROGRAMA UNIVERSITARIO DEL LIBRO DE TEXTO: DIRECCION GENERAL DE PUBLICACIONES Y FOMENTO EDITORIAL, P.P. 22-67.
13. WILLIAM H. TAUBERT ELWOOD S. BUFFA. (1978). SISTEMAS DE PRODUCCION E INVENTARIO. E.U.A: LIMUSA, P.P.101-141.



#### 5.4.1.- WEBGRAFÍA.

1. <http://www.opde.mx/tecnologias/sistemas-hibridos/>
2. <http://iqtermodinamica.blogspot.mx/2010/08/la-presion-absoluta.html>
3. <http://www.buenaeconomia.com/punto-de-equilibrio-operativo-financiero-y-economico/>
4. <http://elinpc.com.mx/precio-gasolina-magna/>
5. <http://www.infra.com.mx/qases-industriales/>
6. <http://www.praxair.com.mx/qases/hydrogen>
7. <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/monocilindrico-motor-definicion-significado/gmx-niv15-con194861.htm>
8. <http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/medios/carpeta/energia.htm>
9. <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Consumoenergia.htm>
10. <http://motor.uncomo.com/articulo/cual-es-el-consumo-de-los-coches-de-hidrogeno-39737.html#ixzz45WndPeTT>