



# Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

## Proyectos de Ingeniería Mecatrónica

Profesor

Jorge Eduardo Brieva Rico



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY**

Proyecto Propuesto

**Biblioteca**  
Campus Ciudad de México

"Modelo computacional para aprovechar el calor en un  
motor de combustión interna"

Equipo #2

---

**Dr. Jorge  
Eduardo Brieva  
Profesor**

---

**Alberto Quitzé  
Ponce Soto  
996469**

---

**Arnulfo Lozada  
Ibarra  
1105450**

---

**Dr. Ricardo  
Gánem  
Asesor**

---

**Israel Sánchez  
996093**

---

**Raúl Campero  
923701**

TESIS  
TJ 789  
M62

CW S12360648

100  
100  
100

3000

# Índice

<b>1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
1.1 PROBLEMÁTICA .....	3
1.2 ESTADO DEL ARTE .....	4
1.2.1 Materiales termoeléctricos (Peltier) .....	4
1.2.2 Sistemas termoeléctricos.....	5
1.2.3 Turbocargadores.....	5
1.2.4 Supercargadores.....	5
1.2.5 Turbosteamer.....	6
1.2.6 Vehículos híbridos.....	6
1.2.5 Frenado regenerativo.....	6
1.2.6 Motor de 6 tiempos.....	6
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4 OBJETIVOS Y METAS.....	7
1.5 CONCLUSIONES .....	7
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI) .....	8
2.1.1 Historia del MCI .....	8
2.1.2 Componentes del MCI .....	10
2.1.3 Funcionamiento del MCI de ciclo Otto a gasolina.....	11
2.1.4 Eficiencia de un MCI de ciclo Otto.....	14
2.1.5 Pérdidas energéticas en un MCI.....	15
2.1.5.1 Sistema de enfriamiento de un MCI.....	17
2.1.5.2 Sistema de escape de gases de un MCI .....	19
2.2 COMBUSTIÓN Y COMBUSTIBLES.....	20
2.2.1 Gasolinas.....	21
2.2.1.1 Propiedades de la gasolina .....	21
2.2.1.1.1 Octanaje.....	21
2.2.1.1.2 Curva de destilación .....	22
2.2.1.1.3 Volatilidad .....	22
2.2.1.1.4 Contenido de azufre .....	22
2.2.1.2 Compuestos de las gasolinas .....	22
2.2.2 Combustión.....	23
2.2.3 Química del combustible y de la combustión.....	25
2.2.4 Termodinámica de la combustión.....	31
2.2.4.1 Efectos del estado de los reactivos y productos en los valores caloríficos.....	31
2.2.4.2 Disociación .....	32
2.3 TERMODINÁMICA .....	32
2.3.1 Definición .....	33
2.3.1.1 Propiedades termodinámicas.....	33
2.3.2 Tipos de sistemas.....	33
2.3.3 Calor, energía interna y trabajo .....	33
2.3.3.1 Función de la energía interna .....	34
2.3.4 Ley cero de la termodinámica.....	35
2.3.5 Primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados .....	35
2.3.6 Primera ley de la termodinámica para sistemas abiertos .....	36
2.3.7 Segunda ley de la termodinámica.....	36
2.3.8 Procesos reversibles e irreversibles.....	37
2.3.9 Capacidad calorífica y calor específico .....	38
2.3.10 Entalpía .....	39
2.3.11 Entropía.....	39
2.3.12 Estado muerto.....	40

2.3.13 Exergía .....	41
2.3.14 Ciclo de Carnot .....	41
2.3.15 Ciclo Rankine.....	42
2.3.16 Ciclo Brayton .....	43
2.3.17 Ciclo Stirling.....	45
2.4 SOFTWARE.....	47
2.4.1 Tipos de software utilizados para problemas de termodinámica.....	47
2.4.2 Características del software a utilizar.....	50
2.5 CONCLUSIONES .....	51
<b>3. EVALUACIÓN DEL MOTOR A ESTUDIAR.....</b>	<b>52</b>
3.1 DIAGNOSTICO GENERAL DEL ESTADO DEL MOTOR .....	52
3.1.1 Análisis del estado inicial del MCI a utilizar .....	52
3.1.2 Reparaciones necesarias.....	53
3.1.3 Evaluación del funcionamiento del motor.....	53
3.1.4 Instrumentos de medición .....	54
3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES .....	56
3.2.1 Variables a medir .....	56
3.2.2 Mediciones realizadas .....	56
3.3 CONCLUSIONES .....	58
<b>4. PROPUESTA.....</b>	<b>60</b>
4.1 VALIDACIÓN DE PROYECTO.....	60
4.2 PROPUESTA FINAL .....	66
4.2.1 Descripción y restricciones de análisis.....	66
4.2.2 Comparación de ciclos termodinámicos.....	67
4.2.2.1 Ciclo Rankine .....	68
4.2.2.2 Ciclo Brayton.....	70
4.2.2.3 Ciclo Stirling.....	72
4.2.2.4 Evaluación de ciclos presentados .....	74
4.2.3 Programación y Análisis de Resultados.....	76
4.2.4 Propuesta de reintegración del trabajo obtenido .....	80
4.2.5 Fluido de trabajo dentro del ciclo.....	81
4.3 DISEÑO DE IMPLEMENTACIÓN.....	86
4.3.1 Diagrama general de la propuesta.....	86
4.3.1.1 Intercambiador de calor .....	90
4.3.1.2 Bomba de agua.....	92
4.3.1.3 Motor de vapor .....	94
4.3.1.4 Condensador .....	95
4.3.1.5 Termostato .....	96
4.3.1.6 Trampa de vapor.....	98
4.4 OTRA ALTERNATIVA .....	100
4.5 CONCLUSIONES .....	103
<b>5. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>105</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>109</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
6.1 PROGRAMACIÓN.....	110
6.2 MSDS PEMEX .....	116

# 1. Descripción del proyecto

La Industria Automotriz es una de las más grandes a nivel mundial, pues posee uno de los mercados con mayor potencial. Actualmente esta industria esta viviendo una etapa de transición por diversos factores, desde económicos hasta sociales, pero el de mayor impacto es el tema ecológico.

Se desarrollan investigaciones con nuevas propuestas para no depender de los productos derivados del petróleo, como lo son los autos híbridos, autos eléctricos y combustibles alternativos como celdas de hidrógeno; pero mientras estas investigaciones arrojan resultados viables, el motor de combustión interna (MCI) permanecerá en uso. Esto ha propiciado el desarrollo de nuevas implementaciones para minimizar el impacto global de sus contaminantes.

## 1.1 Problemática

Actualmente la industria automotriz está experimentando una transición, los motores de combustión interna están siendo desplazados, en algunos países europeos como Alemania o Italia, por sistemas híbridos y motores eléctricos, los cuales son más eficientes y no contaminan tanto. Este proceso será lento, por lo que actualmente se busca desarrollar sistemas que aumenten la eficiencia de los MCI.

Nosotros consideramos que podemos aportar algo a este proceso de transición, haciendo a los motores de combustión interna más eficientes mediante el aprovechamiento de las pérdidas por calor, el cual se buscaría reintroducir al sistema.

## **1.2 Estado del arte**

En la actualidad se han desarrollado una gran cantidad de soluciones para aumentar la eficiencia de los MCI. Hace algunos años las investigaciones se enfocaban más a lograr una mayor potencia; es así como surgen sistemas como los turbocargadores o supercargadores, los cuales tenían como principal objetivo satisfacer las necesidades de los conductores de mayor potencia. Estos nuevos aditamentos no estaban enfocados a mejorar la eficiencia en el uso de la energía dentro de un MCI, pues a pesar de aumentar los caballos de fuerza entregados por el motor, no aumentaban el rendimiento dado que también aumentaba la gasolina consumida.

Hoy en día, se pretende buscar formas de aprovechar mejor la energía que se libera en la combustión de materias primas, principalmente la gasolina. Esta tendencia se ha fortalecido debido a los fuertes problemas ambientales que se viven en todo el mundo. Hasta que no se encuentre una forma rentable de crear vehículos que utilicen energía renovable y/o no contaminante, se buscará disminuir el impacto ambiental de los MCI.

Podemos mencionar algunos ejemplos para aumentar la eficiencia de los MCI, mismos que se mencionan a continuación:

### **1.2.1 Materiales termoeléctricos (Peltier)**

Se han desarrollado dispositivos que al someter el área de contacto de sus materiales a diferentes temperaturas producen corriente eléctrica, como se muestra en la figura 1.1. Estos sistemas pueden aprovechar el calor perdido en el sistema de escape o en el sistema de enfriamiento.

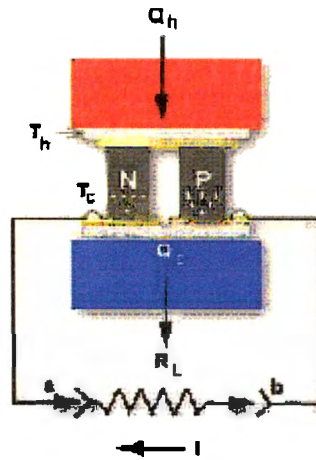


Fig. 1.1. Materiales termoeléctricos.

## 1.2.2 Sistemas termoeléctricos

Sistemas basados en el ciclo termodinámico de un fluido, al cual se agrega energía utilizando el calor del sistema de escape, posteriormente se pasa por una turbina que puede ser utilizada para generar energía eléctrica o mecánica.

## 1.2.3 Turbocargadores

Este tipo de dispositivos son turbinas de doble hélice donde una de ellas es impulsada por los gases de escape para generar del otro lado del eje y con la otra hélice una mayor presión en el múltiple de admisión, permitiendo así una mayor entrada de mezcla aire combustible a los cilindros.

## 1.2.4 Supercargadores

Un supercargador es un compresor de aire que ayuda a introducir mayor cantidad de aire y oxígeno a la cámara de combustión de un MCI, a diferencia del turbocargador es impulsado mediante la potencia generada en el cigüeñal.



Este no es un sistema muy eficiente pues su compresor esta propulsado directamente por el motor, y además necesita más combustible para lograr una buena relación estequiométrica.

### **1.2.5 Turbosteamer**

Este es un término utilizado por BMW para describir un concepto alternativo de sistema no parásito híbrido que utiliza un motor de vapor que convierte el calor perdido en una fuente de potencial adicional para el vehículo.

El sistema de turbosteamer esta unido al sistema de escape, pues por aquí se pierde hasta un 30% de la energía por calor. Este nuevo sistema produce hasta 14 HP y 15 lbft en torque, lo que significa un 15% de ganancia en la eficiencia de combustible.

### **1.2.6 Vehículos híbridos**

Son vehículos que alternan el motor de combustión interna con el motor eléctrico para poder reducir el consumo de gasolina. Realmente solo buscan reducir la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera y mejorar el rendimiento del sistema motor, cumplen su objetivo de manera significativa pero sacrifican en gran parte la potencia y torque con las que un auto convencional cuenta.

### **1.2.5 Frenado regenerativo.**

Aprovecha de manera significativa la energía perdida por el frenado para convertirla en energía eléctrica haciendo uso de materiales termoeléctricos, en gran parte se utiliza en los autos híbridos.

### **1.2.6 Motor de 6 tiempos.**

Este tipo de motor realiza en un ciclo de 6 tiempos 2 expansiones inyectando agua dentro de la cámara de combustión después de la

explosión por combustible para aprovechar las altas temperaturas y generar vapor, así es aprovechado el calor y se mejora el rendimiento del motor.

### **1.3 Objetivo general**

Crear un modelo computacional para validar el aumento de la eficiencia de un motor de combustión interna otorgado por un sistema propuesto basado en aprovechar la energía perdida por calor.

### **1.4 Objetivos y metas**

- ❖ Cuantificar energía perdida por calor en el sistema de escape de un MCI.
- ❖ Mejorar la eficiencia de los MCI, aprovechando la energía perdida por calor.
- ❖ Crear un modelo computacional que valide nuestros resultados.

### **1.5 Conclusiones**

Por medio de este proyecto buscamos contribuir con una nueva propuesta para mejorar la eficiencia de los MCI, que sea una aportación que ayude a suavizar la transición de los MCI a otro tipo de tecnología.

El proyecto constará de principalmente 3 etapas que son investigación, desarrollo de propuesta y modelado.

## **2. Marco teórico**

El presente capítulo tiene como finalidad describir de manera general los conceptos básicos necesarios para poder comprender el funcionamiento de los MCI y así desarrollar un sistema termodinámico cuya finalidad sea mejorar la eficiencia de los mismos.

### **2.1 Motor de combustión interna (MCI)**

El MCI es una máquina que genera energía mecánica a partir de la energía química liberada en la combustión de una mezcla aire-combustible dentro de una cámara de combustión. Estos motores utilizan al aire atmosférico como uno de los principales fluidos de trabajo, por esta razón se analizan como ciclos abiertos.

#### **2.1.1 Historia del MCI**

La palabra automóvil tiene su origen del idioma francés, específicamente del término "voiture automobile" que significa "coche que se mueve por sí mismo". Hacia finales del siglo XIX ya se les llamaba así a los primeros autos que utilizaban un motor de combustión externa.

En 1876 Nicholas Otto fabricó el primer MCI, que presentaba menor relación peso potencia en comparación con los de combustión externa. El primer vehículo que utilizaba un MCI fue diseñado por Carl Benz y Gottlieb Wilhelm Daimler. En 1896 Henry Ford fabrica su primer automóvil y en 1903 funda la Ford Motor Company. Para 1908 se introduce al mercado de los Estados Unidos el famoso Modelo T de Ford, mismo que dejó de fabricarse en 1921 después de haber vendido 15 millones de unidades.

En 1931 nacen los primeros automóviles que utilizaban un MCI de encendido por compresión. Estos motores son mejor conocidos como ciclo Diesel, cuya principal diferencia con un MCI ciclo Otto es el encendido de la mezcla aire combustible, pues esta se da por la gran presión a la que se somete la mezcla.

En 1932 Ford lanza al mercado su motor con monobloque V8 para el segmento de precios bajos.

En el año de 1938 sale al público el primer Volkswagen diseñado por Ferdinand Porsche. En 1949, después de la guerra, Chrysler presenta su encendido de motor con llaves como las conocemos actualmente. Dos años más tarde lanza su motor más poderoso y conocido el "Hemi V8", el cual contaba con una cámara de compresión hemisférica con un desplazamiento de unos 5.42L, este modelo ofrecía más caballos de fuerza por centímetro cúbico que cualquier otro en el mercado. En 1954 Mercedes Benz presenta la inyección de combustible. En 1960 Chrysler desarrolla un sistema de alternador para obtener energía eléctrica. En 1976 se desarrolla un sistema computacional para el control de emisiones contaminantes.

En 1986 se deja de producir el VW "escarabajo" del cual se habían producido ya 20 millones de unidades, siendo México el mayor exportador a nivel mundial.

En 1997 Toyota comienza a vender en Japón su primer vehículo híbrido el "Prius" que utiliza gas y electricidad para funcionar. En el 2000 Honda comienza a vender su "Insight", vehículo híbrido que funciona a base de gasolina electricidad.

En la actualidad los MCI presentan grandes avances tecnológicos en cada uno de sus sistemas principales, es gran medida ayudados por los poderosos componentes electrónicos.

### 2.1.2 Componentes del MCI

Un MCI necesita de una gran cantidad de elementos para su correcto funcionamiento. La figura 2.1 muestra algunos de los componentes descritos a continuación.

- ❖ **Monobloque:** Su principal función es de carácter estructural, pues sirve como soporte a los demás componentes del motor. Dentro de este componente se tienen los cilindros, cuya principal función es guiar el movimiento lineal del pistón.
- ❖ **Cabeza:** Pieza metálica cuya misión es ser la parte superior de la cámara de combustión, esta unida al monobloque mediante tornillos. Contiene cavidades para permitir el libre acceso de las bujías y la entrada y salida de los gases del motor.
- ❖ **Pistón:** Este elemento transmite una parte de la energía resultante de la combustión al cigüeñal por medio de su unión con la biela. Su movimiento es puramente lineal.
- ❖ **Biela:** Esta pieza se encarga de transmitir la energía mecánica del pistón hasta el cigüeñal. Gracias a esta unión y al diseño del cigüeñal, el movimiento lineal se convierte en circular.
- ❖ **Cigüeñal:** A este componente se unen todas las cabezas de biela para así convertir el movimiento lineal del motor en circular. Esta basado en el sistema de manivela. Los principales componentes que necesitan girar para su funcionamiento están unidos a este componente.
- ❖ **Árbol de levas:** Es un eje que contiene una serie de levas cuya función es controlar la apertura de las válvulas de admisión y escape de cada uno de los cilindros del motor.

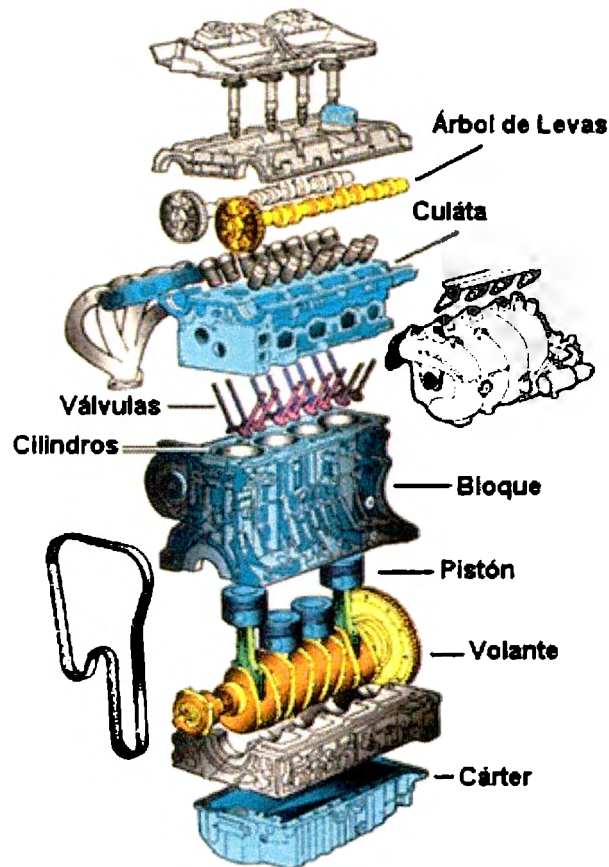


Fig. 2.1. Componentes del motor.

Fuente: <http://www.conducircolombia.com/images/motor10seg.jpg>

Recuperado: 10 de octubre de 2007.

### 2.1.3 Funcionamiento del MCI de ciclo Otto a gasolina

Existen dos tipos principales de MCI cuya única diferencia radica en lo que provoca la ignición del combustible. Este puede arder por chispa o por compresión. Generalmente los MCI por chispa tienen por combustible a la gasolina, mientras que los MCI por compresión funcionan por medio de Diesel.

En ambos casos, los motores se pueden diseñar para trabajar en dos o cuatro tiempos, figura 2.2, los cuales describen la posición del pistón. A continuación se describe brevemente en qué consiste cada uno de estos tiempos.

Primer tiempo o admisión: en esta fase la válvula de admisión está abierta y el descenso del pistón aspira la mezcla aire-combustible. La válvula de escape está cerrada. En el primer tiempo el cigüeñal avanza  $180^\circ$  y el árbol de levas  $90^\circ$ .

Segundo tiempo o compresión: la válvula de admisión se cierra y la mezcla aire combustible contenida en la cámara es comprimida por el ascenso del pistón. En el 2º tiempo el cigüeñal avanza a  $360^\circ$  y el árbol de levas a  $180^\circ$ . Conforme el pistón se acerca al punto muerto superior la combustión ocurre.

Tercer tiempo o expansión: Conforme el pistón se acerca al punto muerto superior la combustión tiene lugar. Esta se propaga por toda la carga de combustible aumentando la presión y la temperatura, además de forzar al pistón a descender. El cigüeñal avanza a  $540^\circ$  mientras que el árbol de levas a  $270^\circ$ . Tanto las válvulas de entrada como de escape permanecen cerradas.

Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo, se llegan a alcanzar hasta  $4000\text{ K}$  pero menos del 40% de la energía calorífica obtenida de la combustión se transforma en energía motriz, el resto se pierde en el sistema de enfriamiento y en el sistema de escape.

Cuarto tiempo o escape: En esta fase el pistón tiene un movimiento ascendente y empuja a los gases de la combustión a través de la válvula de escape. Al llegar al final de la carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. El cigüeñal avanza a  $720^\circ$  y el árbol de levas a  $360^\circ$ .

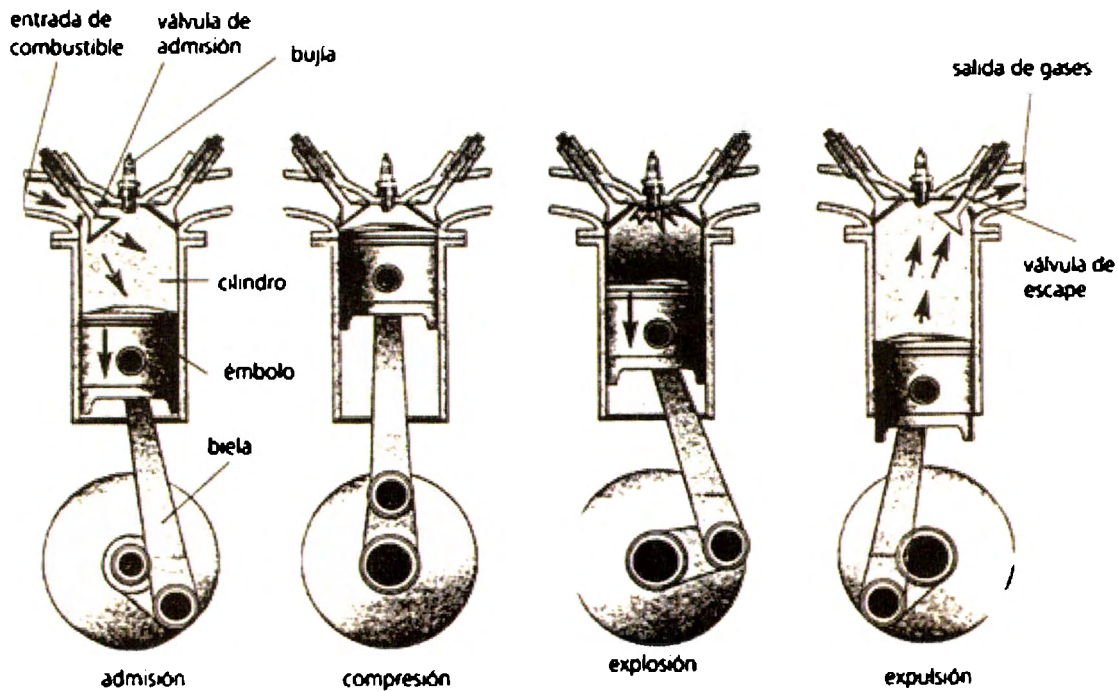


Fig. 2.2. Tiempos de un MCI ciclo Otto.

Fuente: [http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos\\_varios/motorexpl01.jpg](http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios/motorexpl01.jpg)

Recuperado: 10 de octubre de 2007.

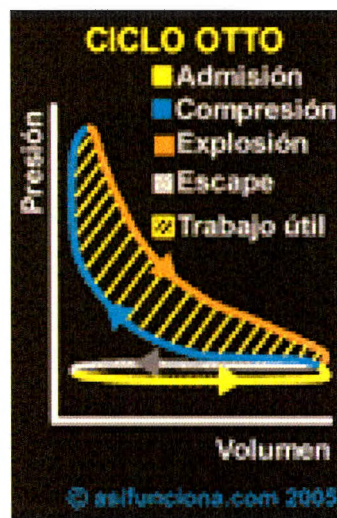


Fig. 2.3. Ciclo termodinámico del ciclo Otto. Presión contra volumen.

Fuente: [http://www.asifunciona.com/mecanica/af\\_motor\\_gasolina/img\\_motor\\_gasolina/af\\_000016\\_13.gif](http://www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/img_motor_gasolina/af_000016_13.gif)

Recuperado: 10 de octubre de 2007.



La figura 2.3 muestra el ciclo termodinámico del ciclo Otto en un diagrama presión contra volumen, mostrando con un código de colores cada una de las etapas del ciclo.

Se puede analizar también el ciclo de Otto para saber en que tiempos del mismo se pierde mayor energía. La tabla 2.1 muestra el porcentaje de energía transferido durante cada tiempo del ciclo.

Tiempo de carrera	% de calor transmitido
Admisión	0
Compresión	1 – 3
Combustión	6 – 10
Expansión	30 – 40
Escape	50

Tabla 2.1. Pérdidas de calor en cada tiempo de carrera del ciclo Otto.

Fuente: Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). Tratado sobre automóviles TOMO1. Recolección de los datos, en capítulo 1.2 Historia del Automóvil. España: Alfaomega.

Esta tabla nos ayuda a percatarnos que existe un 50% de energía que podría ser aprovechada, pues solo en la etapa de escape el gas no puede realizar trabajo.

#### 2.1.4 Eficiencia de un MCI de ciclo Otto

La mayor parte del calor generado en la explosión dentro del cilindro se pierde en el sistema de enfriamiento y de escape. Hablando de cifras, es menos de una cuarta parte del calor lo que se aprovecha para generar potencia en el movimiento de expansión dentro de la cámara de combustión. De hecho se considera un excelente motor cuando alcanza un 30% de eficiencia.

Los motores de combustión interna a gasolina son derrochadores, su eficiencia térmica es bastante pobre.

Su popularidad se basa en la agilidad de aceleración que presentan, a diferencia de otros tipos como el diesel, que arrojan mejor eficiencia térmica pero son más lentos.

La eficiencia de un motor depende en gran parte de la razón de compresión dentro del cilindro, precisamente por eso son más eficientes los motores a diesel debido a que su razón de compresión llega a veces hasta 20:1 y los motores de gasolina regularmente son de 8:1 debido a que se auto inflamaría la mezcla de aire y gasolina al comprimirla por sobremanera.

Realmente un sin fin de variables forman parte en la eficiencia de un motor, desde la forma de la cámara de combustión, hasta la admisión, válvulas y el escape. Para nuestros fines nos enfocaremos en las pérdidas en el sistema de refrigeración y de escape.

Algunos métodos para incrementar la eficiencia es llenar de mejor manera el cilindro del MCI, esto se puede lograr mediante el uso de un turbocompresor o mediante el enfriado del aire que entra por la admisión, pues a mayor cantidad de flujo másico dentro del cilindro se tendrá una mayor cantidad de la gasolina que se pueda inyectar.

Otra manera más novedosa es aumentar dos tiempos en el motor de ciclo Otto, se inyecta agua después del tiempo de escape que se vaporizara para empujar de nueva cuenta el pistón hacia abajo.

### **2.1.5 Pérdidas energéticas en un MCI**

El MCI depende de la liberación de energía proveniente de una sustancia química; en México se utiliza comúnmente la gasolina, y en muchos otros países el diesel.

Para obtener esta energía se realiza un proceso de combustión dentro de una cámara ubicada dentro del monobloque y comprimida por el pistón y la cabeza del motor.

Estos componentes son metálicos por lo que tienen una gran conductividad térmica, lo que nos indica que absorben mucha de la energía liberada en la combustión y al estar sometidos a cambios continuos de presión y altas temperaturas corren un grave riesgo de deformarse y descomponer el motor.

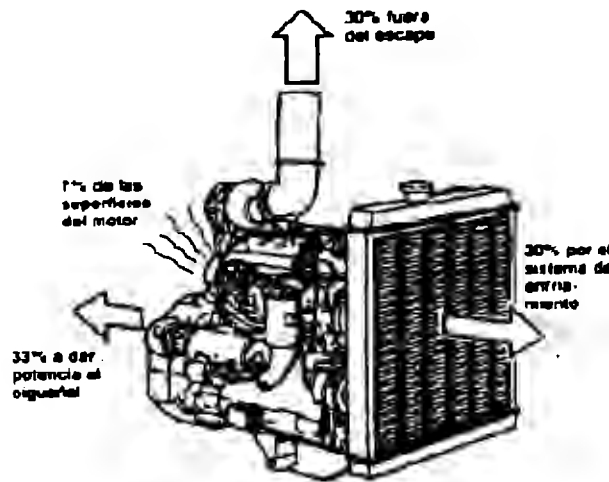


Fig. 2.4. Pérdidas energéticas en un MCI.

Recuperado: 7 de octubre de 2007.

Por esta razón se desarrollo un sistema de refrigeración, el cual tiene la misión de recoger la mayor parte de la energía perdida por calor y así mantener a una temperatura estable al MCI.

Después de la combustión, los gases generados son evacuados del cilindro para poder iniciar un nuevo ciclo. Estos gases deben ser tratados de una forma especial por normas ecológicas, por lo cual el auto cuenta con un sistema de escape. Este sistema es otra fuente de pérdida de energía por calor, debido a que los gases que pasan por él están más

calientes que el medio externo y además fueron calentados por el proceso de combustión.

Comparando motores de iguales características, se considera más eficiente al motor que utilice mejor porcentaje de calor para producir fuerza motriz. Variadas son las razones por las cuales un motor puede cambiar su eficiencia térmica. Como ejemplo podemos mencionar un motor que está siendo refrigerado en exceso. Es decir, su sistema de refrigeración no es el apropiado ya que retira mayor calor del necesario. Como consecuencia de esto el conjunto opera a temperaturas menores y por tanto, su fuerza motriz decrece.

Si hablamos en términos de energía, podemos decir que por cada 100 J que se suministra a un MCI, 20 J se pierden en el sistema de enfriamiento, 35 de los gases de escape y 15 en la fricción de los componentes. Solamente 30 J se convierten en trabajo. Se aprecia que las pérdidas por escape son mayores que las de refrigeración, pero debido a la gran cantidad de energía que arrastran pueden realizar algún trabajo.

#### **2.1.5.1 Sistema de enfriamiento de un MCI**

Existen dos tipos de sistemas de enfriamiento para un MCI, refrigerados por agua o por aire. Ambos tienen la constante de estar basados en el paso de un fluido a través del MCI.

El sistema de refrigeración por agua es más complicado que el sistema que utiliza aire, debido que se necesitan nuevos componentes para controlar el flujo e intercambio de calor del agua. A grandes rasgos este sistema bombea agua que pasa por conductos ubicados en el interior del monobloque, cuya función es absorber calor del motor como se observa en la figura 2.5. Posteriormente, pasa por un termostato, que se encarga de regular el flujo de agua que debe atravesar el MCI para mantenerlo a la temperatura adecuada. Finalmente, el agua llega al radiador, este componente disipa a la atmósfera la energía ganada por el

agua en su recorrido por el motor. Este sistema utiliza el agua debido a su alto valor de calor específico  $4.18 \text{ kJ/kg K}$ , además de ser una sustancia muy abundante y con bajo costo.

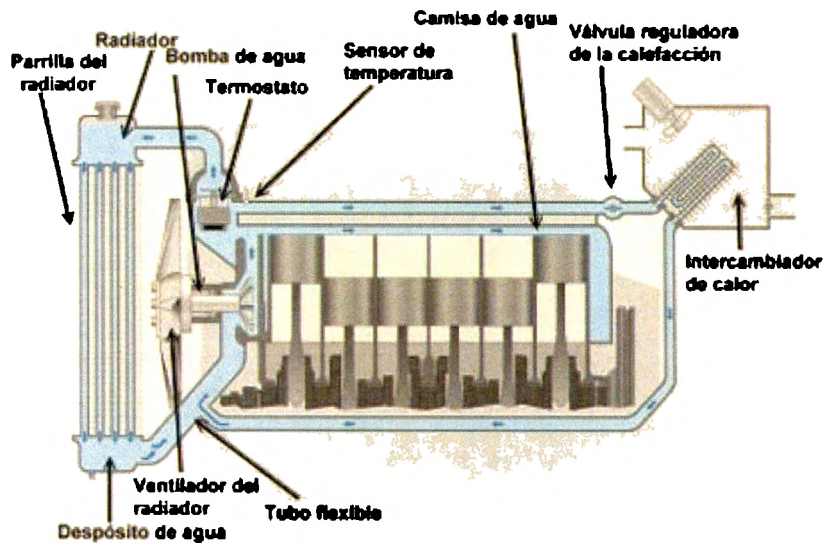


Fig. 2.5. Sistema de enfriamiento de un MCI que utiliza agua como fluido.

Fuente: <http://www.msi-motor-service.com/ks/images/produkte/wasserpumpen01s.jpg>

Recuperado: 30 de septiembre de 2007.

El principio de funcionamiento de un MCI refrigerado por aire es el mismo que el anterior, con la única diferencia que utiliza el aire del ambiente en vez de agua. El único inconveniente con usar aire es que su capacidad calorífica es mucho menor que la del agua, por esto es necesario aumentar la superficie exterior del MCI para disipar la mayor cantidad de energía, esto se logra diseñando el motor con una serie de aletas en su exterior que están en constante contacto con el aire de la atmósfera.

Algunas de las ventajas de los MCI enfriados por aire es que este tiene una mayor autonomía pues no necesita de suministro de materia prima para su funcionamiento dado que la encuentra continuamente en el ambiente, además es menos susceptible a averías debido a que no

requiere de la instalación de otras piezas para su funcionamiento. Su principal desventaja es que en MCI's de mayor potencia la capacidad calorífica del aire no es suficiente para refrigerar el motor.

En un MCI el componente que más calor transmite al fluido refrigerante es la cabeza del motor con un 60 a 75%, mientras que el resto se cede a través de las paredes del cilindro y el pistón.

### **2.1.5.2 Sistema de escape de gases de un MCI**

El sistema de escape de los automóviles descarga los gases calientes y venenosos del motor a la atmósfera. Este sistema también reduce el ruido de la combustión y, en México lleva un convertidor catalítico en el que los contaminantes del escape se transforman por reacción química en sustancias menos tóxicas.

Los gases quemados son expulsados a una gran presión de la cámara de combustión, aproximadamente a 371.8kPa, y las ondas de choque supersónicas a alta presión generadas rebotan en el múltiple de escape varios miles de veces por minuto. El mofle o silenciador absorbe estas ondas de presión y reduce el ruido al nivel permitido, más cómodo para el oído humano. En el caso de los mofles con empaque de fibra de vidrio, el nivel de ruido que producen queda apenas dentro de los límites legales. En cambio, los desviadores y las cámaras de expansión del mofle común permiten que los gases de combustión se expandan y disminuyan su velocidad, lo que a su vez reduce mucho la presión y el ruido. Algunos automóviles tienen dos mofles, montados uno detrás del otro. El segundo, llamado resonador, absorbe las frecuencias de ruido que el primero no eliminó.

Los múltiples de escape regularmente se hacen de hierro fundido y duran lo mismo que el automóvil. Los headers están hechos de tubos de acero de igual longitud que se corroen al cabo de pocos años. Los impulsos de presión que vienen de los cilindros adyacentes llegan, por

tanto, al colector en distintos momentos y no interfieren unos con otros, lo que aumenta la potencia del motor.

El mofle reduce ligeramente la potencia del motor al restringir la salida de los gases de la combustión y, por eso también disminuye la cantidad de mezcla de aire y gasolina que entra a los cilindros. Cuando los gases de la combustión pasan por un laberinto de cámaras y de tubos perforados, bajan su velocidad y su presión, y se reduce el nivel de ruido.

Para que el motor de combustión interna funcione más eficientemente es necesario alejar de él los gases residuales del proceso de combustión.

Las pérdidas por calor absorbido en el sistema de refrigeración y de escape varía, como la mayoría de los parámetros del MCI, en función del régimen. La tabla 2.2 muestra el porcentaje de pérdidas variando el régimen del MCI. Como se puede apreciar en esta tabla existen 2 fuentes de pérdida de energía principales; a pesar de esto, estos sistemas son necesarios pues el sistema de refrigeración se encarga de que el MCI no sufra algún desperfecto por el exceso de calentamiento.

Régimen [rpm]	% Trabajo en el eje [Ne]	% Energía perdida en escape [Qes]	% Energía perdida en refrigeración [Qr]
1000	28.9	44	27
3200	32.3	35.5	32
5600	27.2	41	31
6000	25.8	42.5	32

Tabla 2.2. Balance térmico en un motor a gasolina a diferente régimen.

## **2.2 Combustión y combustibles**

La combustión es un proceso químico de vital importancia en el cálculo de eficiencia térmica de un MCI. Es necesario conocer algunas propiedades de los combustibles para realizar un análisis más detallado del aporte calorífico.

### **2.2.1 Gasolinas**

El combustible para los MCI es de interés para nuestro estudio ya que a partir de las propiedades de sus compuestos (número de octanaje, temperaturas de vaporización, etcétera) es posible determinar las temperaturas y presiones a las cuales los gases de salida abandonan la cámara de combustión.

#### **2.2.1.1 Propiedades de la gasolina**

Se pueden identificar cuatro propiedades principales en la gasolina las cuales se describen a continuación:

##### **2.2.1.1.1 Octanaje**

Es la propiedad principal de la gasolina ya que se relaciona altamente con el rendimiento del motor. El octanaje se refiere a la medida de la resistencia de la gasolina a ser comprimida en el motor. Se mide al comparar la detonación que produce la gasolina con los patrones de referencia conocidos del iso-octano y del n-heptano, cuyo octanaje es de 100 y 0 respectivamente.

Cuando el octanaje es inadecuado para el funcionamiento del motor, la combustión se produce de manera violenta, lo cual puede causar daños en el motor. Los requerimientos de octanaje para los MCI



varían con la relación de compresión del motor. A mayor relación de compresión, mayor es la cantidad de calor generado en el cilindro en el ciclo de compresión.

Por ejemplo, si el octanaje del combustible es muy bajo para un radio de compresión dado, el combustible entrará en combustión de manera prematura haciendo que la carga explote en vez de arder, lo que produce una combustión incompleta. Los resultados son pérdida en potencia, daño en el motor y un golpeteo producido por la explosión.

#### **2.2.1.1.2 Curva de destilación**

Esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Indica la temperatura a la cual se evapora un porcentaje determinado de gasolina, tomando una muestra de referencia.

#### **2.2.1.1.3 Volatilidad**

Registra de manera indirecta el contenido de los componentes volátiles que brinden la seguridad del producto durante su transporte y almacenamiento. Esta propiedad se debe relacionar con la altura, temperatura y humedad, para el diseño del almacenamiento del producto.

#### **2.2.1.1.4 Contenido de azufre**

Esta propiedad se encuentra altamente relacionada con la cantidad poseída de azufre (S) presente en el producto.

Dentro de la cantidad, se encuentran determinados promedios y estadísticas en la cual en producto no puede sobrepasar o resaltar, ya que


si esto sucede la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y sobre los tubos de escape.

### 2.2.1.2 Compuestos de las gasolinas

La gasolina es una mezcla de más de 500 hidrocarburos que están entre 5 y 12 carbonos. Los alcanos de cadena directa o de ramas se presentan en grandes cantidades. Los ciclo alcanos así como los aromáticos están presentes en menor proporción. Los alquenos se encuentran en proporciones mínimas. La tabla 2.1 muestra la composición típica de las gasolinas.

Nombre	Porcentaje (%)
Alcanos o parafinas	20-30
Ciclo-alcanos o naftas	5
Alquenos u olefinas	30-45
Aromáticos	30-45

Tabla 2.1 Porcentajes típicos de composición para las gasolinas.

Nosotros consideraremos los valores mostrados en la tabla 2.2. Estos valores fueron proporcionados por PEMEX y pertenecen a las gasolinas Premium y Magna. 

Nombre	Porcentaje (%)
Alcanos o parafinas	25
Alquenos u olefinas	10
Benceno	1

Tabla 2.2. Porcentajes de composición para las gasolinas Premium y Magna.

### 2.2.2 Combustión

Existen 2 tipos de combustión. La diferencia entre los procesos de combustión por chispa y combustión por compresión es que con ignición con chispa tienen flama premezclada mientras que con la ignición por compresión tienen flamas de difusión. Con la combustión de la premezcla de aire y combustible, la mezcla debe ser estequiométrica, es decir químicamente correcta, para una ignición y combustión confiables.

Para controlar la potencia de salida, un motor de chispa es "ahorcado" para reducir la masa de combustible y aire en la cámara de combustión, lo cual reduce el ciclo de eficiencia. Por otro lado en los motores de ignición por compresión con inyección de combustible, la mezcla es cercana a la estequiométrica solamente en el frente de la flama. La salida de este tipo de motores puede ser variada controlando la cantidad de combustible, lo cual explica en parte su economía de combustible.

En la combustión de una premezcla, la flama se mueve relativa a los reactivos, lo que separa reactivos y productos. Por otro lado, las flamas de difusión ocurren en la interfaz entre combustible y el oxidante. Los productos de la combustión se propagan en el oxidante y viceversa. La velocidad de la combustión es controlada por la difusión. Un ejemplo donde podemos apreciar los dos tipos de flamas es en un mechero bunsen.

Las mezclas de hidrocarburos y aire tienen una velocidad laminar de combustión de 0.5m/s. Un aproximado para el tiempo de combustión en un cilindro de 100mm de diámetro con ignición central es de 100ms. Sin embargo, para un motor a 3000rpm el tiempo de combustión sólo puede ser de 10ms. Esto muestra la importancia de la turbulencia, ya que acelera la combustión en al menos un orden de magnitud.

La turbulencia se origina como resultado de los procesos de inducción y compresión, así como de la geometría de la cámara de combustión. Su efecto es romper o arrugar el frente de flama, como se muestra en la figura 2.1. Puede haber pequeñas áreas de combustible quemado en áreas sin quemar. Esto incrementa el área del frente de flama y acelera la combustión

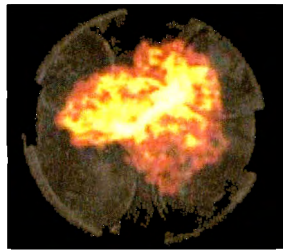


Fig. 2.1. Frente de flama en la combustión dentro de un pistón de un MCI.

Fuente: <http://www.mecheng.ucl.ac.uk/research/thermofluids/ic-engines/i/rc/combustion3.jpg>

Recuperado: 23 de octubre de 2007.

### 2.2.3 Química del combustible y de la combustión

Para mezclas que reaccionan, el uso de cantidades molares es importante debido a que las reacciones ocurren entre cierto número de moléculas, y el mol es una unidad de la cantidad de éstas.

El mol es el peso molecular de una sustancia generalmente pesada en gramos, sin embargo en el Sistema Internacional se acostumbra utilizar el kilomol (kmol). El peso molecular o masa molecular es la suma de pesos atómicos de todos los elementos que forman parte de un compuesto (kg/kmol).

El número molar o número de Avogadro indica el número de moléculas, átomos o partículas existen en un mol. Este número es  $6.023 \times 10^{23}$  partículas/kmol.

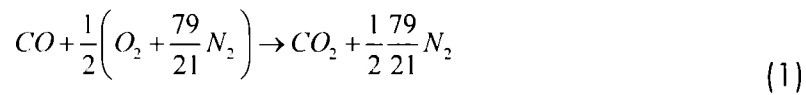
Generalmente los combustibles se queman con aire, el cual tiene la siguiente composición:

Molar	21% O <sub>2</sub>	79 %N <sub>2</sub>
Gravimétrico	23.2% O <sub>2</sub>	76.8% N <sub>2</sub>

El peso molecular del oxígeno y del nitrógeno son:

O <sub>2</sub>	31.999 kg/kmol
N <sub>2</sub>	28.013 kg/kmol
Aire	28.96 kg/kmol

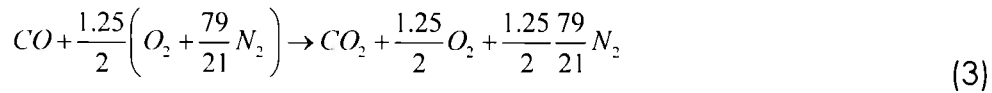
Cuando el monóxido de carbono hace combustión con aire la reacción es:



Como podemos observar, el nitrógeno se debe conservar en la ecuación aunque no sea parte de la reacción. Esto se debe a que afecta la composición volumétrica de los productos y la temperatura de combustión. La relación molar aire/combustible es:

$$1 : \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{79}{21} \right) \\ 1 : 2.38 \quad (2)$$

Sin embargo, en la reacción anterior se asumió que la reacción ha sido estequiométrica, lo cual generalmente no sucede ya que hay exceso o falta de aire. Por ejemplo, si se considera un exceso del 25% de aire:



La relación equivalente es:  $\phi = \frac{\text{relación estequiométrica aire/combustible}}{\text{relación actual}} = \frac{1}{1.25} = 0.8$  (4)

Por lo general los combustibles son mezclas de hidrocarburos, lo cual es un aspecto que se debe considerar al momento de analizar las reacciones anteriores.

Durante la combustión los enlaces entre los átomos de carbón e hidrógeno se rompen formando nuevos enlaces con los átomos de oxígeno, y liberando energía química. Los principales productos de esta reacción son dióxido de carbono y agua. Como la combustión no pasa por una sucesión de estados de equilibrio es irreversible, y la posición de equilibrio será aquella en la que la entropía sea máxima.

Los compuestos de los combustibles se clasifican de acuerdo al número de átomos de carbono en sus moléculas. El tamaño y geometría de las moléculas tiene un gran efecto en las propiedades químicas. Cada átomo de carbono requiere cuatro enlaces, los cuales pueden ser sencillos o combinaciones de enlaces sencillos, dobles o triples. El hidrógeno solamente necesita un enlace.

Una familia importante de compuestos del petróleo son los alcanos, también conocidos como parafinas. Estos compuestos tienen una fórmula general  $C_n H_{2n+2}$ , donde n es el número de átomos de carbono. Todos los enlaces de carbono son enlaces sencillos, por lo que se dice que los alcanos son saturados.



compuestos (como el butano) se pueden formar dos cadenas de isómeros dependiendo dónde se encuentre el doble enlace.

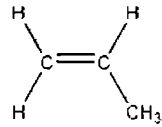


Fig. 2.4. Propileno.

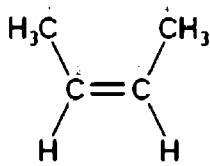


Fig. 2.5. 1-buteno

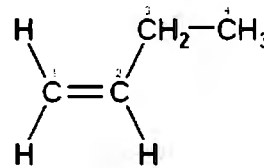


Fig. 2.6. 2-buteno

Los hidrocarburos que cuentan con dos enlaces dobles de carbono se nombran dienos, con tres enlaces dobles entre carbonos se denominan trienos. Los dienos tienen la fórmula general  $C_nH_{2n-2}$ , la cual es la misma que la de los alquinos pero estos tienen enlaces triples entre carbonos (el acetileno  $C_2H_2$ , es el miembro más simple).

La mayoría de los alquenos contenidos en los combustibles provienen de una ruptura catalítica. En este proceso, los alcanos menos volátiles pasan bajo presión a través de un catalizador como alúmina a temperaturas cercanas a los 500 °C. Las moléculas se descomponen para formar otras más pequeñas y más volátiles.

Una desventaja de los alquenos es que se pueden oxidar cuando el combustible es almacenado con aire. Los productos de la oxidación reducen la calidad del combustible y dejan residuos depositados en el motor. Para evitar esto se agregan ciertos aditivos.

Los hidrocarburos también pueden formar estructuras en forma de anillo, las cuales pueden ser saturadas o no. Los ciclo-alcanos son



compuestos saturados y su fórmula general es  $C_nH_{2n}$ . A estos compuestos se les conoce como naftas.

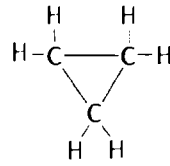


Fig. 2.7. Ciclo-propano

Los compuestos aromáticos son insaturados y se basan en moléculas de benceno  $C_6H_6$ .

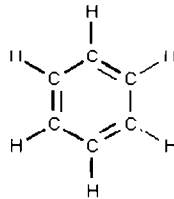


Fig. 2.8. Benceno

Los átomos de hidrógenos se pueden sustituir por grupos metil, lo cual puede dar origen a metil-benceno (tolueno), dimetil-benceno (xileno), etc. También es importante mencionar que se pueden unir dos o tres anillos de benceno para formar hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos. El caso más simple es el naftaleno ( $C_{10}H_8$ ), en el que dos anillos de benceno comparten un par de átomos de carbono. Este tipo de compuestos poli-cíclicos son significativos en los combustibles diesel y en los productos de la combustión.

La última clase de combustibles de interés para los motores de combustión interna son los alcoholes. En especial el metanol ( $CH_3OH$ ) el etanol ( $C_2H_5OH$ ). Su fórmula genérica es  $C_nH_{2n+1}OH$ , y puede formar isómeros a partir de tres átomos de carbono.

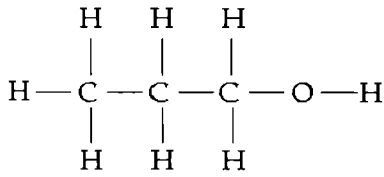


Fig. 2.9. 1-propanol

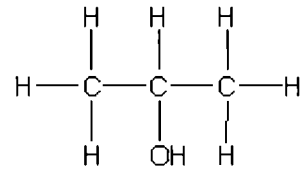


Fig. 2.10. iso-propanol ó 2-propanol

El número indica la localización del grupo OH, en términos del carbono más cercano al final de la molécula. Los alcoholes que tienen dos grupos OH son conocidos como glicoles. El ejemplo más sencillo es el etilen-glicol.

## 2.2.4 Termodinámica de la combustión

Solo se considerará combustión bajo condiciones de presión y volumen constante. Tanto los reactivos como sus productos se considerarán ideales y sujetos a  $PV=RT$  ( $R = 0.08205784 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , constante universal de los gases ideales).

$$PV = RT \quad (5)$$

### 2.2.4.1 Efectos del estado de los reactivos y productos en los valores caloríficos.

En la mayoría de los problemas de combustión, el agua producida por la reacción se considera en estado gaseoso. Si fuera condensada, el valor calorífico se incrementaría y podría decirse que se tiene un valor calorífico alto (HCV). La relación entre los valores caloríficos altos y bajos (LCV) es:

$$\text{Gravimétrico} \quad \text{HCV-LCV} = y h_{fg} \quad (6)$$

$$\text{Molar} \quad \text{HCV-LCV} = n_{\text{H}_2\text{O}} h_{fg} \quad (7)$$

Donde  $y$  es la masa de agua por unidad de combustible y  $H_{fg}$  es la entalpía de evaporación del agua a la temperatura de consideración.

Para los combustibles de hidrocarburos la diferencia es significativa, pero se de todos modos se utilizan los valores calóricos bajos. De manera similar el estado del combustible debe ser especificado, especialmente si éste puede ser líquido o gas. Sin embargo, la entalpía de vaporización para los combustibles generalmente es pequeña comparada con su valor calórico. Por ejemplo, para el iso-octano a 298.15K:

$$H_{fg}=35.1\text{MJ/kmol}$$
$$\Delta H_0=5100.5\text{MJ/kmol}$$

#### 2.2.4.2 Disociación

De acuerdo con el principio de Le Chatelier, cuando un estado en equilibrio experimenta un cambio en las condiciones que lo mantienen en ese estado, los reactivos y productos serán modificados para minimizar los cambios impuestos por el exterior. El equilibrio puede verse afectado por cambios en la concentración de los elementos, cambios en la presión o cambios en la temperatura. Si consideramos un solo cambio a la vez para la reacción:



Si se añade oxígeno al sistema.

La reacción se mueve en sentido directo, lo cual podría reducir la concentración de oxígeno. Si se incrementa la presión del sistema. La reacción se mueve en sentido directo, lo cual reduce el número total de moles ( $n$ ), y la presión se reduce según  $PV=nRT$ .

Si se incrementa la temperatura del sistema. El sentido de la reacción será aquel que absorba calor, que en este caso es en sentido contrario.

## **2.3 Termodinámica**

Para poder analizar la eficiencia de un MCI se deben retomar previamente algunos conocimientos de termodinámica, dado que este es un sistema que se rige por las leyes de esta ciencia. El presente subcapítulo muestra términos que se utilizarán durante el desarrollo de nuestro proyecto.

### **2.3.1 Definición**

La termodinámica es la ciencia que estudia la energía y las transformaciones que sufre la energía en reacciones químicas y procesos físicos. Se ocupa de la transformación de la energía térmica en energía mecánica y del proceso inverso, la conversión de trabajo en calor.

#### **2.3.1.1 Propiedades termodinámicas**

Son aquellas que intervienen en todo proceso donde exista variación de energía. Existen otro tipo de propiedades que son las que definen a un sistema. Estas propiedades pueden ser llamadas función de estado y la característica que les distingue es que no importa el camino por el cual se realiza un cambio en el sistema sino únicamente cómo se encontraba antes o después de un proceso físico o químico. La forma de calcularlas es mediante incrementos (energía, volumen, presión, temperatura, etcétera). El trabajo, el número de moles y el calor no son funciones de estado.

#### **2.3.2 Tipos de sistemas**

Sistema. Porciones aisladas para ser estudiadas, pero que conservan las propiedades que lo distinguen. Existen tres tipos de sistemas.

- ❖ Abierto. Permite el intercambio de materia y energía.
- ❖ Cerrado. Permite el intercambio de calor.
- ❖ Aislado. No hay intercambio de energía ni materia.
  - Entorno. Alrededores del sistema.

- Frontera. Límite entre sistema y entorno

### **2.3.3 Calor, energía interna y trabajo**

La energía interna es toda aquella energía de un sistema que está asociada con sus componentes microscópicos - átomos y moléculas- cuando se visualiza desde un marco de referencia en reposo con respecto al objeto.

La energía interna incluye energía cinética de traslación, rotación y vibración de moléculas, energía potencial y entre moléculas.

El calor se define como la transferencia de energía a través de las fronteras de un sistema debido a diferencias de temperatura entre el sistema y sus alrededores.

Las formas físicas por medio de las cuales se transfiere el calor, de un sistema a sus alrededores son: conducción, convección y radiación. En la conducción se requiere contacto físico entre los medios, la energía térmica se transfiere sólo por el movimiento interno de las moléculas de los medios. En la convección, el calor se transfiere por el movimiento externo de un líquido o un gas de un lugar a otro. En la radiación, la energía térmica se transfiere por medio de ondas electromagnéticas (sol).

El trabajo, al igual que el calor, incluye la transferencia de energía y se define como una cantidad escalar igual en magnitud al producto de una fuerza por un desplazamiento. Debemos reconocer que tanto el calor como el trabajo representan cambios que ocurren en un proceso dado y, generalmente, estos cambios van acompañados de una variación de la energía interna.

#### **2.3.3.1 Función de la energía interna**

Un sistema se encuentra en equilibrio termodinámico si no hay una fuerza resultante que actúe sobre el sistema y si la temperatura del sistema es la misma que la de sus alrededores. Esta condición requiere que no se

realice trabajo alguno ni sobre el sistema ni por el sistema, y que no haya ningún intercambio de calor entre el sistema y sus alrededores. En estas condiciones, el sistema posee una energía interna  $E_{\text{interna}}$ . El estado termodinámico se describe con las variables de presión, volumen y temperatura. El número de variables necesarias para caracterizar un sistema depende de la naturaleza de éste. Es importante notar que un estado macroscópico de un sistema aislado sólo se puede especificar si el sistema está en equilibrio térmico internamente. Cada vez que dicho sistema absorba o libere energía, ya sea en forma de calor o de trabajo, alcanzará un nuevo estado de equilibrio, de modo que su energía siempre se conserve.

#### **2.3.4 Ley cero de la termodinámica**

*"El calor fluye de un cuerpo con mayor temperatura a otro con menor temperatura"*. Fuente: Haberman, W. (1996). Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor. (pag.16) México: Trillas.

El equilibrio térmico es una situación en la que dos objetos en contacto térmico uno con otro dejan de intercambiar energía en el proceso de calor.

#### **2.3.5 Primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados**

*"En cualquier proceso termodinámico, el calor neto absorbido por un sistema es igual a la suma del equivalente térmico del trabajo realizado por el sistema y el cambio en la energía interna del mismo"*. Fuente: Haberman, W. (1996). Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor. (pag.260) México: Trillas.

$$\Delta E_{\text{interna}} = Q - W \quad (9)$$

Q es positiva cuando la energía entra al sistema y W es positiva cuando el sistema realiza trabajo sobre los alrededores del sistema. El calor y el trabajo no son característicos de una sustancia o un sistema de estado, por lo que no son propiedades termodinámicas.

La ecuación de esta ley es una que describe la conservación de la energía, especificando que el único tipo de energía que cambia en el sistema es la energía interna.

### 2.3.6 Primera ley de la termodinámica para sistemas abiertos

En un sistema cerrado no existe transferencia de masa a través de las fronteras del sistema, sólo flujo de energía. En un sistema abierto ocurren ambas.

$$E_{sal} + E_2 - E_{ent} - E_1 = Q_{entrada} - W_{salida} \quad (10)$$

### 2.3.7 Segunda ley de la termodinámica

Establece que es imposible construir una máquina que, funcionando de manera continua, no produzca otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente de trabajo. Esto es útil para el estudio del funcionamiento y eficiencia de máquinas térmicas donde ocurren tres procesos principales:

Una cantidad de calor  $Q_{ent}$  se suministra a la máquina desde un recipiente a alta temperatura  $T_{ent}$ .

La máquina realiza un trabajo mecánico  $W_{sal}$  mediante la utilización de una parte del calor de entrada.

Una cantidad de calor  $Q_{sal}$  se libera al recipiente de baja temperatura  $T_{sal}$ .

Puesto que el sistema regresa periódicamente a su estado inicial, el cambio neto de energía interna es cero  $\Delta E_{int} = 0$ . Por consiguiente, de la primera ley sabemos que:

$$W_{sal} = Q_{ent} - Q_{sal} \quad (11)$$

El trabajo neto realizado en un proceso cíclico, figura 2.15, es el área encerrada por la curva que representa el proceso en un diagrama PV.

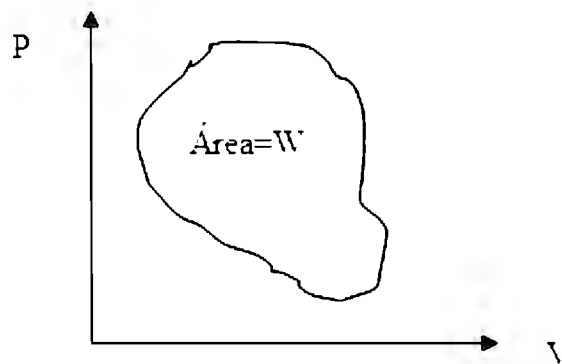


Fig 2.11. Diagrama PV. Trabajo neto en un proceso cíclico.

La eficiencia de una máquina térmica se define como la razón del trabajo útil realizado por una máquina con respecto al calor suministrado a la máquina:

$$\eta = \frac{\text{trabajo de salida}}{\text{calor de entrada}} = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}} \quad (12)$$

La eficiencia se puede considerar como la proporción entre el trabajo mecánico obtenido y la energía transferida. En la práctica todas las máquinas térmicas expelen una fracción de la energía absorbida como trabajo mecánico. La eficiencia de algunas máquinas diesel varía entre 35



y 40%. De ahí que la máquina más eficiente es aquella que cede al medio ambiente la menor cantidad posible de calor.

### **2.3.8 Procesos reversibles e irreversibles**

Un proceso reversible es aquel en el que el sistema sometido al proceso puede ser regresado a sus condiciones iniciales a lo largo de la misma trayectoria mostrada en un diagrama PV, y cada punto a lo largo de esta trayectoria está en un estado de equilibrio. Un proceso que no satisface estas condiciones es irreversible. De hecho todos los procesos naturales son irreversibles.

### **2.3.9 Capacidad calorífica y calor específico**

Cuando a una sustancia se le añade energía sin hacer trabajo, generalmente incrementa su temperatura (a menos que cambie de estado). La cantidad de energía necesaria para incrementar cierta cantidad la temperatura de una masa dada de una sustancia varía de una sustancia a otra

La capacidad calorífica  $C$  se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de una sustancia en particular  $1^{\circ}\text{C}$ . A partir de esta definición podemos decir que si el calor  $Q$  produce un cambio  $\Delta T$  en una sustancia, entonces:

$$Q = C\Delta T \quad (13)$$

El calor específico  $c$  de una sustancia es la capacidad calorífica por unidad de masa.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (14)$$

El calor específico es una medida de cuán térmicamente insensible es una sustancia a la adición de energía. Cuanto mayor sea el calor específico de un material, mas energía deberá añadirse a una masa dada del material para provocar un cambio de temperatura particular.

### 2.3.10 Entalpía

La energía interna  $U$ , presión y volumen son propiedades de una sustancia. La suma de energía interna y el producto de presión y volumen se conocen como entalpía. Sus unidades son Btus en el sistema inglés y joules en el SI. Donde  $PV$  es el trabajo del flujo.

$$H = U + PV \quad (15)$$

La entalpía es una combinación de propiedades termodinámica. La variación de entalpía expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno.

### 2.3.11 Entropía

Significa tendencia natural de la pérdida del orden. La entropía( $S$ ) es una magnitud que mide la cantidad de energía que no puede utilizarse para producir un trabajo. Es el grado de desorden que poseen las moléculas que integran un cuerpo.

En un sentido más amplio se interpreta como la medida de la uniformidad de la energía de un sistema. Es una función de estado de

carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural.

La función termodinámica entropía,  $S$ , es central para la segunda Ley de la Termodinámica. La entropía puede interpretarse como una medida de la distribución aleatoria de un sistema. Se dice que un sistema altamente distribuido al azar tiene una alta entropía. Puesto que un sistema en una condición improbable tendrá una tendencia natural a reorganizarse a una condición más probable (similar a una distribución al azar), esta reorganización resultará en un aumento de la entropía. La entropía alcanzará un máximo cuando el sistema se acerque al equilibrio, alcanzándose la configuración de mayor probabilidad.

La entropía puede considerarse como el desorden de un sistema, es decir, cuán homogéneo está el sistema.

La variación de entropía nos muestra la variación del desorden molecular ocurrido en una reacción química. Si el incremento de entropía es positivo, los productos presentan un mayor desorden molecular (mayor entropía) que los reactivos. En cambio, cuando el incremento es negativo, los productos son más ordenados.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{dQ}{T} \right) \quad (16)$$

La relación entre la entropía y la espontaneidad de una reacción química viene dada por la energía libre de Gibbs. Esta es la energía útil de un sistema para que una reacción pueda llevarse a cabo o no.

### **2.3.12 Estado muerto**

Dos sistemas en condiciones termodinámicas diferentes evolucionarán espontáneamente, por medio de transferencias de masa y energía, hacia un estado intermedio de equilibrio (el que tenga mínima energía y entropía máxima). A este estado de equilibrio se le denomina estado muerto. Cuanto mayor sean las diferencias entre sus magnitudes termodinámicas (presión, temperatura) más trabajo podremos obtener de la interacción entre sistema y entorno.

### **2.3.13 Exergía**

Como mencionamos anteriormente, la segunda ley de la termodinámica establece que es imposible convertir todo el calor en trabajo de forma total y continua. La exergía es una magnitud termodinámica que indica el máximo trabajo teórico que se puede alcanzar por la interacción espontánea entre el sistema cerrado y el entorno, en otras palabras indica la energía útil de un sistema.

### **2.3.14 Ciclo de Carnot**

En 1824 un ingeniero francés llamado Sadi Carnot describió una máquina teórica conocida como máquina de Carnot. Demostró que una máquina térmica que funcione en un ciclo reversible ideal (ciclo de Carnot) entre dos depósitos de energía es la máquina más eficiente posible. Dicha máquina ideal establece un límite superior en las eficiencias de todas las otras máquinas. Es decir, el trabajo neto realizado por una sustancia de un trabajo que se lleva a través de un ciclo de Carnot es la cantidad de trabajo más grande posible para una cantidad de energía particular suministrada a la sustancia a la temperatura más alta. El teorema de Carnot se enuncia a continuación:

"Ninguna máquina térmica real que funcione entre dos depósitos de energía puede ser más eficiente que una máquina de Carnot operando entre los mismo dos depósitos". Fuente: Haberman, W. (1996). Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor. (pag.16) México: Trillas.

Todas las máquinas reales son menos eficientes que la máquina de Carnot porque no operan a través de un ciclo reversible.

Todas las máquina de Carnot que operan entre las mismas dos temperaturas tienen la misma eficiencia.

$$\eta_c = \frac{T_{ent} - T_{sal}}{T_{ent}} \quad (17)$$

El ciclo de Carnot se compone de cuatro procesos: dos procesos adiabáticos y dos procesos isotérmicos, todos reversibles.

### **2.3.15 Ciclo Rankine**

El físico escocés William John Macquorn Rankine desarrollo un ciclo termodinámico que lleva su nombre. La máxima eficiencia del ciclo está dada por la eficiencia de Carnot. Este ciclo opera una planta a base de un fluido que es llevado a vapor en una caldera de alta presión.

Este vapor pasa por una turbina para generar energía cinética, como resultado de esto, el fluido pierde presión y parte de él pasa a estado líquido. Posteriormente se introduce el vapor a un condensador donde todo lo que queda de vapor se convierte en líquido, el cual se pasa por una bomba para reiniciar el proceso e introducirlo nuevamente en la caldera.

El ciclo consta principalmente de 4 ciclos donde el fluido cambia de estado, los cuales se muestran en la figura 2.12. Los procesos se describen a continuación.

Proceso 1 – 2: Expansión isentrópica del fluido desde la presión de la caldera hasta la del condensador.

Proceso 2 – 3: El fluido transmite calor al refrigerante que actúa en el condensador, esto se desarrolla a presión constante. Se llega a líquido saturado.

Proceso 3 – 4: Compresión isentrópica debido al paso por la bomba. Se introduce trabajo al sistema al aumentar la presión del fluido.

Proceso 4 – 1: Se introduce calor al fluido en la caldera, esto se desarrolla a presión constante.

Estos procesos no son internamente reversibles, pues dos de ellos no son isentrópicos.

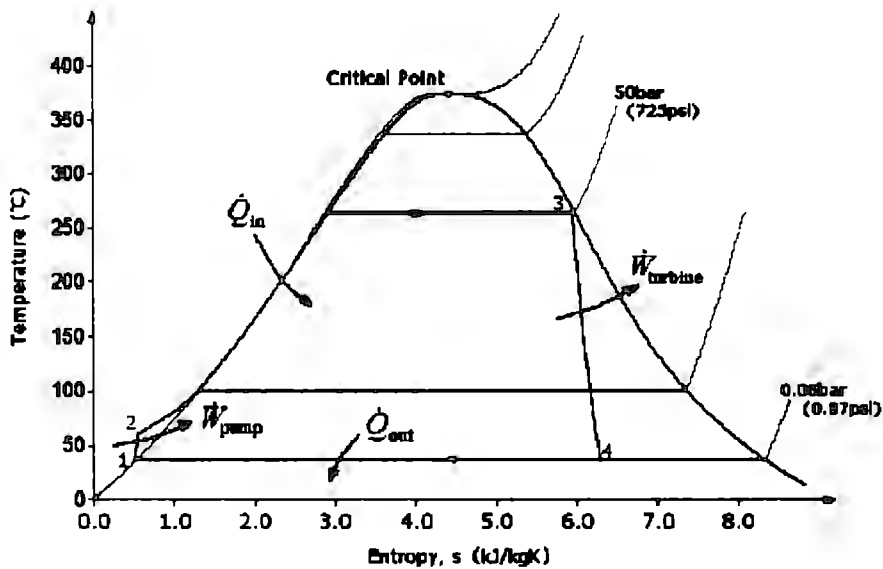


Fig. 2.12. Diagrama T-S de un ciclo de Rankine, mostrando el proceso no-ideal

Fuente: [http:// en.wikipedia.org/wiki/Rankine\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle). Recuperado: 13 de octubre del 2007

### 2.3.16 Ciclo Brayton

Ciclo básico para plantas generadoras que utilizan turbinas de gas. Este ciclo consiste en 2 ciclos reversibles que mantienen la presión constante y 2 ciclos isentrópicos. El ciclo se muestra en los siguientes diagramas T – s y p – v, figura 2.13.

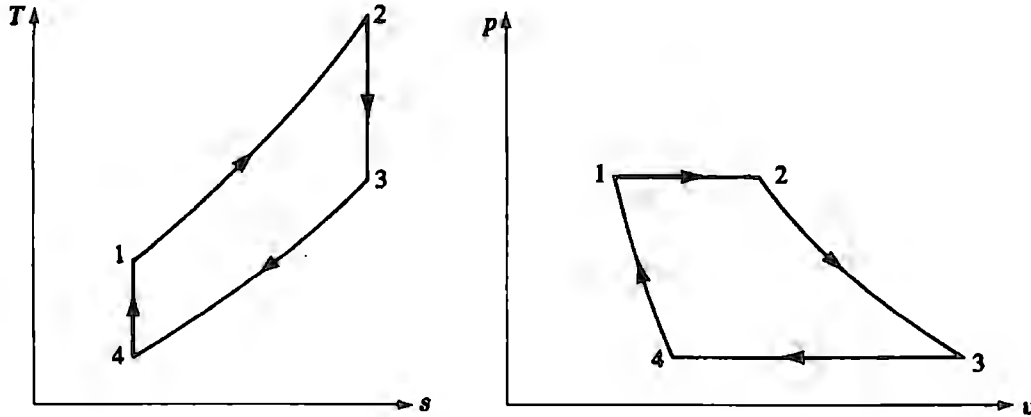


Fig 2.13. Ciclo Brayton

Este ciclo define el calor de entrada y de salida como:

$$\begin{aligned} Q_{ent} &= c_p(T_2 - T_1) \\ Q_{sal} &= c_p(T_4 - T_3) \end{aligned} \quad (18)$$

Debido a que  $p_1 = p_2$  y  $p_3 = p_4$  tenemos la siguiente ecuación de eficiencia térmica:

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \frac{T_3}{T_2} \\ \eta_t &= 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} \end{aligned} \quad (19)$$

Donde:

$r_p = p_1 / p_4 \rightarrow$  razón de presiones

El trabajo neto del ciclo está dado por:

$$W_{neto} = c_p (T_2 - T_1)(T_3 - T_4) \quad (20)$$

Para determinar el trabajo máximo por unidad de la sustancia de trabajo se debe operar con la razón de presiones óptima dada por:

$$(r_p)_{opt} = \left( \frac{T_2}{T_4} \right)^{k/s(k-1)} \quad (21)$$

Existen 2 tipos de plantas generadoras que operan turbinas de gas, las que operan con ciclo abierto y las de ciclo cerrado. En el segundo caso se toma una fuente externa y se rechaza la energía a un sumidero también externo. Las abiertas la energía se obtiene del combustible que se introduce en la cámara de combustión. En nuestro caso se utilizaría un ciclo cerrado, el cual se muestra en la figura 2.14.

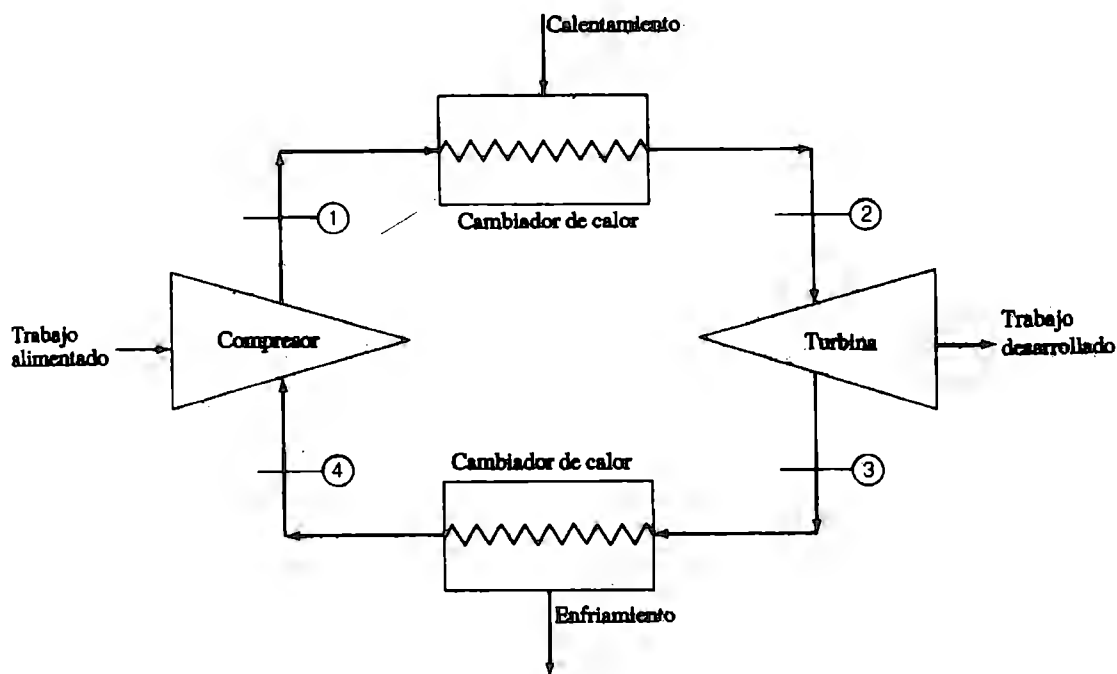


Fig 2.14. Planta generadora de turbina de gas con ciclo cerrado.



### 2.3.17 Ciclo Stirling

El ciclo Stirling se compone de dos procesos isotérmicos y dos procesos a volumen constante. Mediante el empleo de un recuperador reversible (un dispositivo que almacena energía), teóricamente es posible recuperar en el proceso de calentamiento a volumen constante (proceso 4  $\rightarrow$  1), todo el calor cedido durante el proceso de enfriamiento a temperatura constante (proceso 2  $\rightarrow$  3). De esta manera, el calor recibido por la sustancia de trabajo de la fuente externa se encuentra a la temperatura  $T_H$  y todo el calor sustraído de la sustancia por el sumidero externo se encuentra a la temperatura  $T_L$ . Esto significa que en caso de que la recuperación térmica fuera ideal, la eficiencia térmica del ciclo Stirling sería igual a la del ciclo de Carnot, siempre y cuando éste opere en el mismo rango de temperaturas.

Las ecuaciones mostradas a continuación describen al ciclo Stirling.

$$Q_{ent} = Q_{12} = T_H (s_2 - s_1) \quad (22)$$

Si se supone que la sustancia de trabajo es un gas ideal,

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \\ &= \int_1^2 c_v \frac{dT}{T} - R \ln \frac{v_2}{v_1} \end{aligned} \quad (23)$$

Como  $T_2 = T_1$ , resulta

$$Q_{12} = RT_H \ln \frac{v_2}{v_1} = -RT_H \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (24)$$

$$Q_{sal} = Q_{34} = RT_L \ln \frac{v_4}{v_3} = -RT_L \ln \frac{p_4}{p_3} \quad (25)$$

La eficiencia térmica del ciclo está dada por

$$\eta_i = \frac{W_{neto}}{Q_{ent}} = 1 - \frac{T_L \ln\left(\frac{v_3}{v_4}\right)}{T_H \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} \quad (26)$$

Pero  $V_2 = V_3$  y  $V_4 = V_1$ ; por lo que la eficiencia térmica queda como

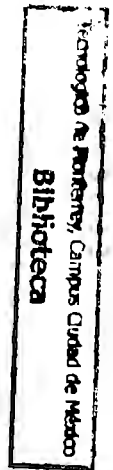
$$\eta_i = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (27)$$

Como se puede observar es la misma eficiencia que la del ciclo de Carnot que opera entre  $T_H$  y  $T_L$ .

Es importante mencionar que a pesar de que no se ha logrado construir una máquina que se desempeñe de acuerdo al ciclo de Carnot, el ciclo Stirling se ha podido aproximar de manera considerable.

## 2.4 Software

El diseño de motores es uno de los proyectos más desafiantes de la Ingeniería Mecánica. Esto es principalmente debido a la gran cantidad de variables involucradas. Entre los diferentes factores que influyen el rendimiento de un motor la eficiencia térmica parece ser uno de los más importantes. Analizando los últimos avances científicos en cuanto a las capacidades computacionales, los métodos numéricos basados en la teoría de la dinámica de gases parecen muy atractivos para resolver este tipo de problemas. En general estas ecuaciones son acopladas con otras de índole termodinámica aplicadas a los principales componentes del MCI tal como cilindros, tomas de aire, tanques o recipientes de volumen fijo, silenciadores, etcétera. Debido a los simples modelos fenomenológicos incluidos en el sistema del motor, un gran número de coeficientes empíricos necesitan ser estimados. Esta tarea involucra mediciones experimentales combinadas con una buena estrategia para vincularlos con los principales parámetros incógnitas.



## 2.4.1 Tipos de software utilizados para problemas de termodinámica

### EES Engineering Equation Solver

EES da una solución numérica para el establecimiento de ecuaciones algebraicas. También puede ser usado para:

- ❖ Resolver ecuaciones diferenciales e integrales.
- ❖ Realizar optimización.
- ❖ Proveer análisis de incertidumbre y regresión lineal y no lineal
- ❖ Generar gráficas de reportes de calidad.

EES fue desarrollado por dos profesores, el Dr. William Beckman y el Dr. Stanford Klein, ambos de la universidad de Wisconsin. Su experiencia en la enseñanza de ingeniería mecánica termodinámica y transferencia de calor mostró que el EES es útil para permitir al usuario concentrarse más en el diseño al quitar tareas mundanas como buscar información característica y solucionar ecuaciones.

### Virtual Engine Dyno

Virtual Engine Dyno es un software de computadora usado para tiendas de motores y entusiastas desarrolladores de simulaciones, modificando, alterando y probando motores automotrices antes de adquirir algún componente o ensamble. Usando Virtual Engine Dyno, la potencia en Hp's, el torque, RPM's y la velocidad en MPH son calculadas instantáneamente. Se pueden realizar cambios en el motor encontrando la mejor combinación antes de la adquisición de cualquier componente. La figura 2.8 muestra la interfaz gráfica, se puede observar que es simple y amigable.



Fig. 2.9. Virtual Engine Dymo.

## SIM1D

Este software busca dar una respuesta más precisa sobre el rendimiento térmico y volumétrico del motor. De esta forma es posible alimentar un modelo 3D de condiciones de contorno más realistas que a priori son desconocidas y que dependen de las variables de diseño y operación de un motor.

Durante el año 2003 se desarrolló una extensión del simulador para incorporar un modelo más detallado del proceso de combustión. Se incluyó un modelo para motores de carga homogénea el cual permite predecir no solamente la duración de la combustión sino también cuantificar el índice de emisiones que emanan del escape.

En la actualidad el simulador (SIM1D) está siendo actualizado para interactuar con un software denominado PetscFem que cuenta con facilidades de cálculo paralelo.

## Fluent

Fluent es un programa computacional para Dinámica de Fluidos el cual maneja una gran variedad de flujos, (incompresibles, medianamente compresibles) y altamente compresibles.

Este programa provee múltiples opciones de solución que combinado con métodos Multigrid para mejorar la convergencia, se obtienen soluciones eficientes y precisas para un amplio rango de flujos. Permite predecir con gran exactitud flujos laminares y turbulentos, transferencia de, flujos multifásicos y otros fenómenos involucrados.

## Ricardo Software

Es un software de análisis desarrollados expresamente para el uso durante el desarrollo de la etapa de potencia y el proceso de integración del vehículo.

## ADAMS

Es un software de simulación de sistemas mecánicos. Pone a prueba prototipos virtuales, y realiza simulaciones realistas, de manera visual y matemática, del comportamiento real de los diseños de sistemas mecánicos.

### **2.4.2 Características del software a utilizar**

Se analizaron las características de cada software antes mencionados y se tomó la decisión de utilizar EES, pues tiene dos principales diferencias contra otro software de solución de ecuaciones.

La primera es que el EES permite que se introduzcan ecuaciones de cualquier orden con las variables ordenadas de la manera que sea. EES reordena automáticamente la ecuación para una solución eficiente.

La segunda es que EES provee muchas funciones y características matemáticas y termofísicas útiles para cálculos ingenieriles. Las propiedades de transporte también son provistas para todas las sustancias.

La biblioteca de funciones y características matemáticas y termofísicas en EES es extensa. El EES también permite al usuario entrar en sus propios arreglos de funciones de tres modos.

- ❖ El EES proporciona una facilidad para introducir e interpolar datos tabulares, de modo que los datos puedan ser usados directamente en la solución de algún arreglo de ecuaciones.
- ❖ El lenguaje de EES apoya funciones escritas por el usuario, procedimientos y módulos.
- ❖ Las funciones compiladas y procedimientos escritos en lenguaje de alto nivel como Pascal, C o el lenguaje FORTRAN, pueden ser dinámicamente unidos con EES.

El EES puede ser usado para solucionar problemas de diseño en los cuales los efectos de uno o varios parámetros tienen que ser determinados.

El gran banco de datos de propiedades termodinámicas y de transporte del EES es muy útil en la solución de problemas de termodinámica, mecánica de fluidos, y la transferencia de calor.

## **2.5 Conclusiones**

Para comenzar con el planteamiento de nuestro proyecto es necesario tener un gran conocimiento previo en temas relacionados, como lo son termodinámica, química e ingeniería automotriz. Por esta razón se realizó la investigación presentada en este capítulo. Después de conocer esta información tenemos las herramientas necesarias para comenzar a desarrollar una propuesta de solución.

### **3. Evaluación del motor a estudiar**

El presente capítulo tiene la intención de describir brevemente el motor físico en que se planteara la futura propuesta. Posteriormente se detallaran las pruebas y datos que se obtuvieron experimentalmente. La elección de este MCI se dio por su disponibilidad en el laboratorio de mecánica.

#### **3.1 *Diagnostico general del estado del motor***

En esta primera parte del capítulo se pretende realizar un diagnóstico general del funcionamiento y condiciones mecánicas iniciales en que se encontró el motor antes de realizar las mediciones necesarias para obtener las condiciones iniciales para nuestro sistema propuesto.

##### **3.1.1 Análisis del estado inicial del MCI a utilizar**

El motor que utilizamos corresponde al un motor VW 2.0L, 4 cilindros de inyección electrónica, montado sobre una estructura metálica la cual cuenta con todos los complementos necesarios para que el motor funcione en condiciones óptimas, sin desplazamiento.

Por principio de cuentas este motor ya había sido utilizado en semestres anteriores para proyectos de ingeniería; en específico para proyectos de uso de combustibles alternos en MCI. Por lo que los sistemas de refrigeración, lubricación, eléctricos, escape, admisión ya habían tenido un mantenimiento previo necesario, así que inicialmente no se considero primordial una evaluación antes del desarrollo de nuestro proyecto.

Las únicas deficiencias que presentaba el motor eran que carecía de un acumulador y la manguera de retorno del riel de inyectores se encontraba perforada.

### **3.1.2 Reparaciones necesarias**

Inicialmente se tuvo que conectar una batería, se le suministró la gasolina. Se hizo una revisión de sistemas como refrigeración y lubricación que básicamente consto en verificar si tenían los niveles adecuados requeridos por el motor. Lo siguiente en revisar fue la bomba de gasolina y el motor de encendido, la bomba de gasolina y la marcha trabajaban perfectamente. El siguiente paso fue revisar si las entradas en la admisión estaban libres y los filtros no obstruían el paso del aire por suciedad, analizado todo esto solo quedaba revisar si los inyectores estaban trabajando normalmente y además si las bujías estaban generando las chispas correctamente. Se encontró un falso contacto en las bujías por lo que inicialmente el motor no arrancaba; solucionando este problema se logro un desempeño normal.

### **3.1.3 Evaluación del funcionamiento del motor**

El motor funciona correctamente. Esto lo deducimos debido a que el motor encendió sin ninguna dificultad, además que al encontrarse en ralentí las revoluciones se mantenían muy estables sin ninguna clase de salto; al momento de acelerar, el motor se mostraba constante sin anormalidades. También se corrobora el juicio debido a que al checar los sistemas nos dimos cuenta que trabajaban bien así como la temperatura y la presión de aceite se mantenían en los niveles correctos.



### 3.1.4 Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición que se utilizaron para realizar algunas mediciones de temperatura y velocidades angulares se describen a continuación.

- Thermo couple thermometer, ATKINS Technical inc., Model #38654-T, su rango de temperaturas -60 a 350°C (Figura 3.1).



Fig 3.1. Thermo couple thermometer, ATKINS Technical inc

Especificaciones:

- ❖ Exactitud:  $\pm 0.9 \text{ F}^\circ$  ( $\pm 0.5 \text{ C}^\circ$ ) de -40 a 495°F ( $\pm 0.5 \text{ C}^\circ$  de -40 a 257°C),  $\pm 0.6\%$  de lectura del rango restante.
- ❖ Rango de Temperatura: Tipo K: -40 a 1832°F (-40 a 1000°C), Tipo J: -40 a 1382°F (-40 a 750°C), Tipo T: -40 a 752°F (-40 a 400°C)
- ❖ Resolución: Fahrenheit/Grados Absolutos, Celsius/Décimo grado a 257°C

- Tacómetro Laser Convertible EW-87304-00. (Figura 3.2)



Fig 3.2. Tacómetro Laser Convertible EW-87304-00

## Especificaciones

- ❖ Rango: 6 a 99,999 rpm
- ❖ Resolución: 1 rpm
- ❖ Exactitud:  $\pm 1$  rpm de 6 a 8300 rpm,  $\pm 2$  rpm de 8301 a 25,000 rpm,  $\pm 0.006\%$  de lectura  $\pm 1$  dígito (o 7 rpm max) de 25,001 a 99,000 rpm.
- ❖ Distancia máxima de medición: 14 pies

- Cole-Parmer 87304-00, 6" Wheel. (Figura 3.3)



Fig 3.3. Cole-Parmer 87304-00, 6" Wheel.

## Especificaciones para el termómetro laser tipo pistola 4470 Vwr W/SIGHT:

- ❖ Descripción: VWR THERMOMETER IR GUN W/SIGHT
- ❖ Rango de temperatura:  $-20$  a  $420^{\circ}\text{C}$
- ❖ Resolución:  $1^{\circ}$
- ❖ Exactitud:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  de  $-20$  a  $100^{\circ}\text{C}$  o  $2\%$  de lectura.

### 3.2 Adquisición de datos experimentales

Se decidió medir de manera física algunas de las variables de entrada que necesita el sistema de nuestra propuesta. Con esto se pretende tener condiciones iniciales reales para que el resultado arrojado por nuestro modelo sea más aproximado a la realidad.

#### 3.2.1 Variables a medir

Se decidió medir la temperatura de la tubería de los gases de salida, ya que el sistema que se implemente obtendrá el calor necesario para realizar el ciclo a partir de ésta.

#### 3.2.2 Mediciones realizadas

La metodología seguida para la medición de la temperatura de la tubería de los gases de salida fue la siguiente:

- ❖ Las mediciones se realizaron sobre la tubería que conecta el múltiple de salida y el catalizador.
- ❖ Se determinó una distancia de 15 centímetros entre cada punto de medición.
- ❖ El motor se mantuvo encendido a 1500 rpm sin variaciones.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas. (Tablas 3.1 a 3.6)

T(min)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	95	110	108	85	50	72	43	38	33
2	165	192	183	105	128	100	58	35	40
3	200	220	200	180	150	118	71	56	49
4	232	260	220	135	108	124	75	60	56
5	253	280	240	153	110	140	95	63	64
6	266	290	254	155	113	151	103	70	77
7	277	268	250	168	120	172	109	79	82
8	286	301	264	167	148	157	134	77	90
9	304	306	263	169	144	160	132	93	98
10	312	320	280	168	140	184	153	90	104
11	332	338	284	200	155	183	157	95	128

Tabla 3.1. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 1000rpm constantes.

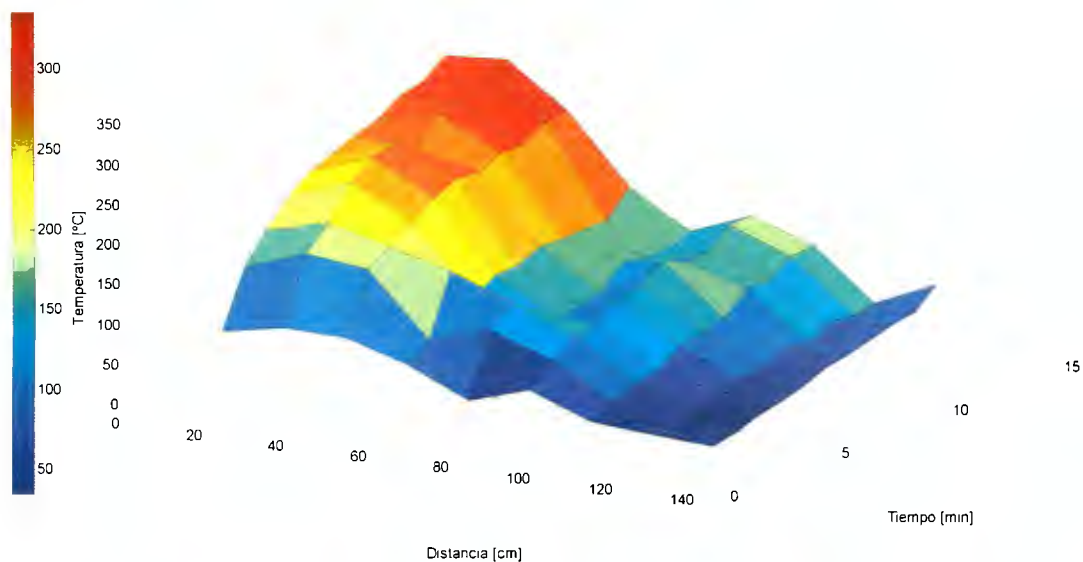


Tabla 3.2. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 1000rpm constantes.

T(min)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
4	155	150	135	135	103	129	77	76	66	88
8	230	220	195	178	117	150	87	103	78	108
12	248	240	215	199	160	166	99	104	91	126
16	278	253	228	211	167	174	106	120	108	140
22	288	263	237	207	201	181	114	128	116	150
27	<b>304</b>	<b>274</b>	238	210	181	192	121	138	122	161
30	<b>317</b>	<b>281</b>	247	219	195	206	133	146	133	214
35	<b>330</b>	<b>284</b>	248	220	206	198	133	190	160	220

Tabla 3.3. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 1500rpm constantes.

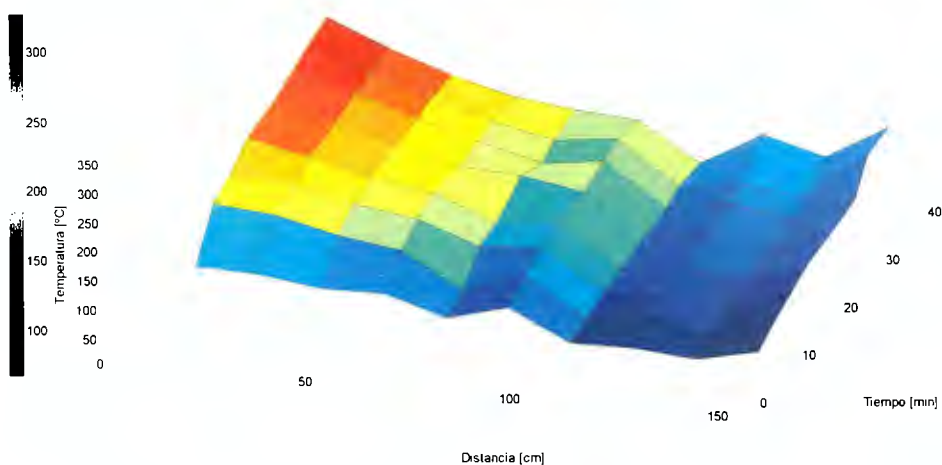


Tabla 3.4. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 1500rpm constantes.

T(min)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	173	168	99	150	66	130	60	50	60
2	215	216	149	200	116	165	102	50	70
3	260	250	166	200	162	196	127	69	88
4	290	282	182	190	200	220	140	72	107
5	296	296	202	230	225	236	150	115	125
6	323	300	203	236	196	240	150	123	137
7	336	314	208	220	196	249	175	135	147
8	43	334	235	220	172	254	183	150	200
9	370	330	270	220	205	260	214	245	240

Tabla 3.5. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 2000rpm constantes.

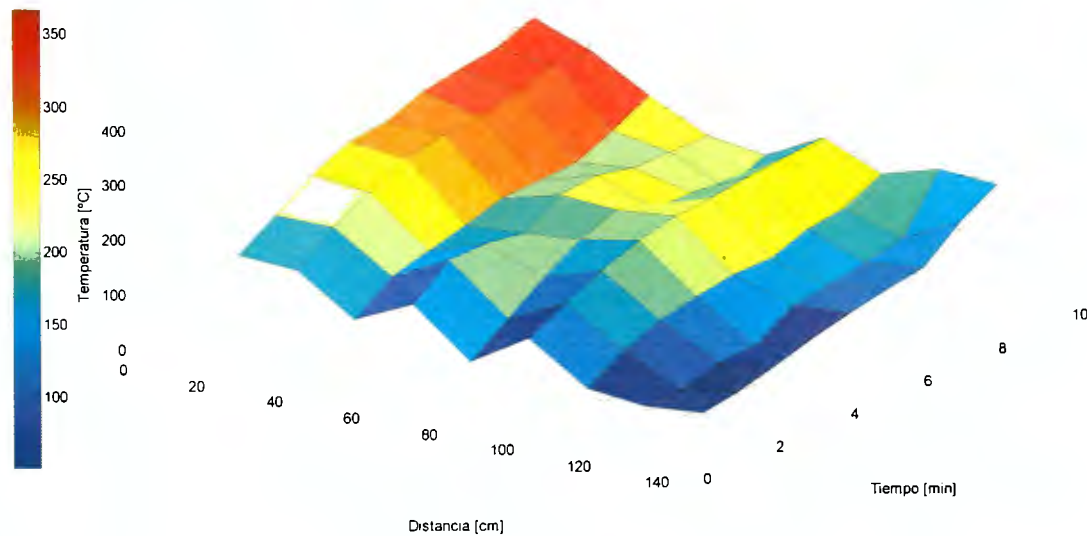


Tabla 3.6. Temperaturas obtenidas sobre la tubería de los gases de salida a 2000rpm constantes.

### 3.3 Conclusiones.

El uso del motor VW 2.0L, fue debido a que era el motor que se encontraba disponible para el desarrollo de nuestro proyecto, por la forma en la que estaba montado en su estructura de acero, con todas las condiciones correctas de funcionamiento. Este motor previamente había sido usado para otro proyecto de uso de fuentes alternas de energía el semestre anterior. Nos encontramos un motor con marcadas deficiencias, no significativas, pero que nos impedían el accionar del mismo. Con este

problema, el siguiente paso fue la identificación de todas las atenciones o reparaciones que el motor necesitaba. Una vez ubicadas las fallas, se procedió a darle mantenimiento, logrando una reparación efectiva; cada reparación fue probada con la finalidad de cerciorarnos de que no hubiera cualquier otra falla derivada de las anteriores.

Una vez ya asegurado que no se encontraban mas fallas, pudimos accionar el motor y comprobar su buen funcionamiento en condiciones óptimas.

Nos parece de suma importancia mencionar que los conocimientos adquiridos en el semestre anterior acerca del funcionamiento del motor nos fueron de gran ayuda para identificar el problema y tenemos la certeza de que sin esa investigación profunda no habríamos podido resolver el problema por nosotros mismos.

Con el motor en marcha, la siguiente actividad fue realizar las medidas de temperatura necesarias, las cuales nos servirían como base para la implementación de nuestro proyecto. Estas mediciones las realizaríamos con sensores ultrasónicos y un termopar; uno para medir la temperatura del tubo de escape en el múltiple de salida, y otro para medir la temperatura de los gases de escape.

El motor requirió de múltiples mediciones en intervalos de tiempo definidos ya que la temperatura va subiendo hasta llegar a un valor máximo. Con estas mediciones obtenemos las condiciones iniciales necesarias para el desarrollo de nuestro modelo de mejora y aprovechamiento del calor en un MCI.

Esta etapa del proyecto es de gran importancia ya que proporciona información necesaria para realizar la programación en EES de diferentes ciclos termodinámicos que se proponen en el siguiente capítulo. Estas mediciones sirven también para validar el trabajo realizado en el semestre anterior.

## 4. Propuesta

Este capítulo pretende validar mediante un modelo matemático el proyecto y presentar nuestra propuesta para recuperar parte del calor perdido utilizando un ciclo termodinámico.

### 4.1 Validación de proyecto

Para determinar si nuestra propuesta es viable, es necesario realizar un análisis termodinámico del MCI con el cual se busca obtener la temperatura de los gases de escape y un análisis de su potencia. En principio, si la temperatura de los gases es mayor a 250°C indicaría que nuestra propuesta es viable, ya que el fluido que se piensa utilizar para la implementación del ciclo Rankine es agua y, basándonos en tablas de propiedades termodinámicas de esta sustancia, sabemos que la temperatura a la cual se tiene vapor saturado a una presión de 1500kPa es de 200°C.

A continuación presentaremos las consideraciones y planteamiento del ciclo Otto propuesto.

Los datos iniciales para esta simulación son:

$$P_{amb} = 77.1kPa$$

$$T_{amb} = 313K$$

$$\eta_{comb} = 75\%$$

$$\eta_{mecanica\_motor} = 80\%$$

Para asemejar más nuestra simulación a un motor real se decidió utilizar un combustible que se asemejara lo más posible a uno real. Basándonos en los porcentajes de composición de la gasolina sugeridos por Stone y datos proporcionados por PEMEX acerca de la gasolina PREMIUM se construyó la Tabla 4.1, ver Anexo 2.



Componente	%(volumen)
Alcanos o parafinas	46
Ciclo-alcanos o naftas	5
Alquenos u olefinas	15
Aromáticos	32
Benceno	2

Tabla 4.1. Componentes de la gasolina y porcentajes

A partir de estos datos se prosiguió a obtener la entalpía de combustión aproximada de nuestra gasolina. Para ello se hizo un promedio a partir de los compuestos conocidos y se obtuvo un valor de 41908 kJ/kg.

Esta tabla contiene solamente algunos de los compuestos de la gasolina, así como la cantidad de kJ/kg que aportan para nuestro combustible, donde el concentrado general del 100% de los componentes nos otorga el valor de 41908 kJ/kg.

alcanos	Entalpía de combustión(J/kmolx10 <sup>-09</sup> )	kJ/mol	kJ/kg	#C	#H
etano	-1.4286	-1428.6	-47620.000	2	6
propano	-2.0431	-2043.1	-46434.091	3	8
n-butano	-2.6573	-2657.3	-45815.517	4	10
i-butano	-2.649	-2649	-45672.414	4	10
n-pentano	-3.2449	-3244.9	-45068.056	5	12
i-pentano	-3.2395	-3239.5	-44993.056	5	12
n-hexano	-3.8551	-3855.1	-44826.744	6	14
i-hexano(2metilpentano)	-3.8592	-3859.2	-44874.419	6	14
i-hexano(2,2dimetilbutano)	-3.8476	-3847.6	-44739.535	6	14
n-heptano	-4.4647	-4464.7	-44647.000	7	16
i-heptano(2,2dimetilpentano)	-4.4608	-4460.8	-44608.000	7	16
i-heptano(2,4dimetilpentano)		0	0.000	7	16
i-heptano(2,2,3trimetilbutano)		0	0.000	7	16
n-octano	-5.6846	-5684.6	-49864.912	8	18
i-octano(2,2,4 trimetilpentano)	-5.0653	-5065.3	-44432.456	8	18
		Promedio	-40234.919		
<b>alquenos</b>					
1-buteno	-2.5408	-2540.8	-45371.429	4	8
2-buteno	-2.5339	-2533.9	-45248.214	4	8
1-penteno	-3.1296	-3129.6	-53958.621	4	10
2metil 2buteno	-3.1088	-3108.8	-53600.000	4	10



			Promedio	-49544.566		
<b>ciclo-alcanos</b>						
ciclopentano	-3.0709	-3070.9	-43870.000	5	10	
ciclohexano	-3.656	-3656	-43523.810	6	12	
cicloheptano	-4.2571	-4257.1	-43439.796	7	14	
ciclooctano	-4.8704	-4870.4	-43485.714	8	16	
			Promedio	-43579.830		
<b>aromaticos</b>						
benceno	-3.136	-3136	-40205.128	6	6	
tolueno	-3.734	-3734	-40586.957	7	8	
xileno	-4.333	-4333	-40877.358	8	10	
			Promedio	-40556.481		

Tabla 4.2. Aporte energético de los componentes de la gasolina.

Finalmente, se modificó la cantidad de calor aportada por el combustible que es aprovechada por el motor. Se propone que el sistema solo utiliza el 75% de la entalpía de combustión propuesta anteriormente.

Suponemos que la relación de equivalencia entre una mezcla aire/combustible estequiométrica y una mezcla real es de 0.882. La relación aire/combustible molar es de 59.52gmol. A partir de estas consideraciones calculamos la relación la aire/combustible estequiométrica y real como se muestra a continuación:

$$\frac{59.52 \text{ gmol} * (28.97 \text{ gr} / \text{ gmol})_{\text{aire}}}{(1 \text{ gmol}_{C_8H_8})(114 \text{ gr} / \text{ gmol})_{C_8H_8}} = 15.125 \quad (18)$$

Esto quiere decir que por cada porción de combustible, habrá 15.125 veces más aire, para un caso estequiométrico.

Para obtener la relación aire combustible real utilizamos la ecuación (19).

$$\begin{aligned}
 \text{relación de equivalencia} &= \frac{(\text{relación aire/combustible})_{\text{estequiometrica}}}{(\text{relación aire/combustible})_{\text{real}}} \\
 (\text{relación aire/combustible})_{\text{real}} &= \frac{(\text{relación aire/combustible})_{\text{estequiometrica}}}{\text{relación de equivalencia}} \quad (19) \\
 (\text{relación aire/combustible})_{\text{real}} &= \frac{15.125}{0.882} = 17.15
 \end{aligned}$$

Este dato lo utilizaremos más adelante para determinar la cantidad de combustible en la cámara de combustión.

A continuación calculamos la masa de aire que intervendrá en el proceso de combustión con la ecuación (20).

$$m_{\text{aire}} = \frac{P_{\text{atm}} * V_{\text{tot}}}{R_{\text{air}} * T_{\text{entrada}}} \quad (20)$$

El siguiente cálculo consistió en obtener la cantidad de calor aportado por el combustible, para ello se utiliza la ecuación (21), la cual incluye la entalpía de combustión del combustible y la relación real de aire-combustible.

$$Q_{\text{heat}} = \frac{HHV}{17.15} \quad (21)$$

Con estos datos es posible obtener todos los valores de un ciclo Otto. Para auxiliarnos en nuestros cálculos se utilizará el programa EES.

Una vez obtenidos los valores de cada etapa del ciclo Otto, se deben obtener el calor perdido, el trabajo obtenido por nuestro motor, así como la eficiencia del mismo, para estos cálculos utilizamos las ecuaciones (22), (23) y (24) respectivamente.

$$Q_{perdido} = (u_4 - u_1) \quad (22)$$

$$W_{ciclo} = Q_{heat} - Q_{perdido} \quad (23)$$

$$\eta_{motor} = \frac{W_{ciclo}}{Q_{heat}} \quad (24)$$

Para obtener el trabajo obtenido por los 4 pistones cuando el motor trabaja a 3000rpm utilizamos (25). Se consideró el hecho de que un ciclo Otto ocurre a lo largo de 2 revoluciones del cigüeñal.

$$W_{indicado} = W_{ciclo} * \# \text{ pistones} * \left( \frac{3000 * \pi}{60} \right) * m_{aire} \quad (25)$$

Una vez planteadas las ecuaciones, se programaron en EES. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

$$\begin{aligned} T_4 &= 1510K \\ W_{MCI} &= 105.9kJ / s \\ P_{MCI} &= 113.6Hp \\ \dot{Q}_{LMCI} &= 240.4kJ / s \\ \eta_{ciclo} &= 22.33\% \end{aligned}$$

Con todas las consideraciones mencionadas anteriormente, el programa realizado otorga una potencia otorgada de 113.6Hp, considerando una presión de 77.1kPa (Ciudad de México), una eficiencia mecánica de 0.8 y tomando en cuenta calores específicos como funciones de la temperatura.

Lo relevante de estos resultados es el trabajo útil teórico que se puede obtener aprovechando las pérdidas energéticas del MCI, así como la potencia entregada por el motor a un régimen de 3000 rpm.

La gráfica de la figura 4.1 muestra la variación de la eficiencia con respecto a la potencia otorgada. Como es de esperarse, entre mayor es la potencia otorgada por el MCI la eficiencia del ciclo también debe ser mayor.

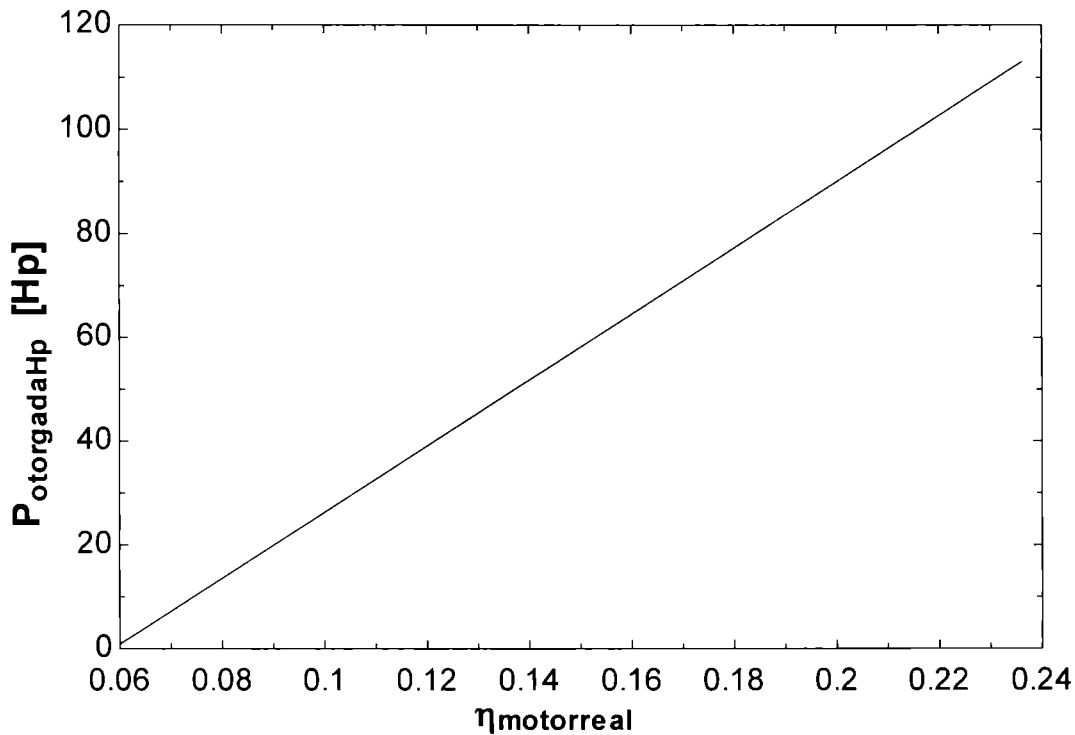


Fig. 4.1. Eficiencia contra potencia otorgada

La figura 4.2 muestra la variación de la potencia a diferentes valores de presión ambiental. Como podemos observar, este parámetro influye de manera considerable en la potencia otorgada por el motor. Otro valor que considera esta gráfica es la cilindrada del MCI, como podemos observar ésta influye de manera considerable en la potencia otorgada por el mismo.

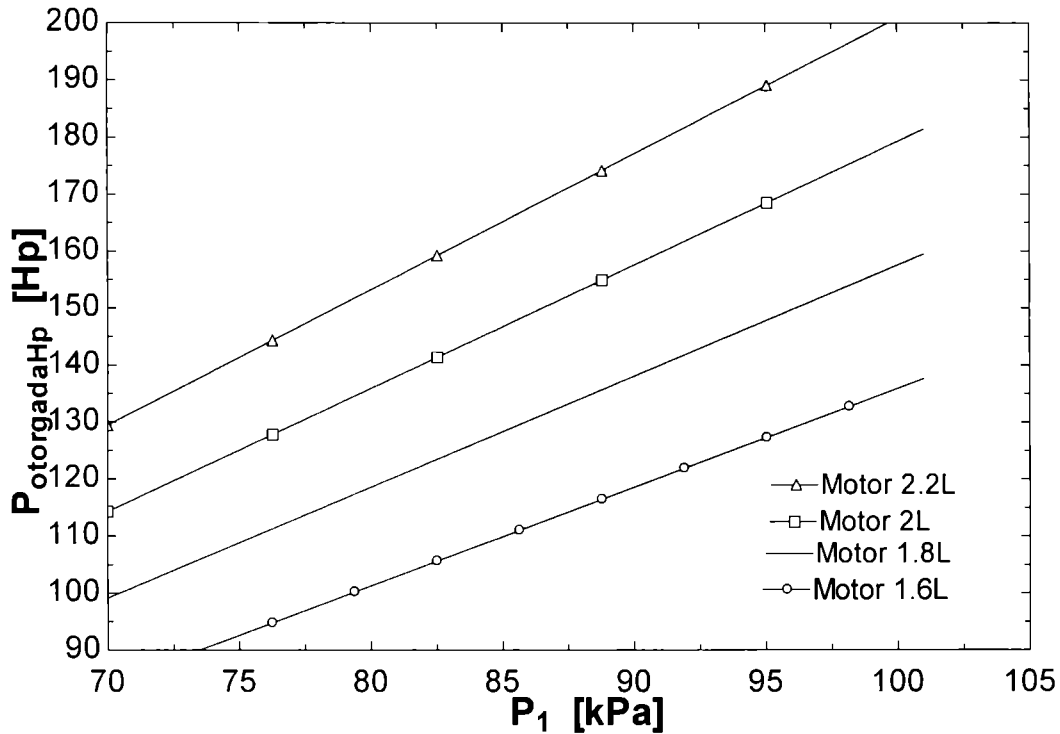


Fig. 4.2. Variación de la potencia otorgada a diferentes presiones y desplazamiento del MCI.

Los resultados de esta simulación nos indican que nuestra propuesta es factible y que además podemos obtener como máximo un trabajo útil de 240.4kJ/s. Sin embargo, como sabemos la eficiencia de Carnot es un indicador de la eficiencia máxima que podemos esperar.

## 4.2 Propuesta final

A continuación se presenta nuestra propuesta de solución. Esta se basa principalmente en un ciclo Rankine, el cual aprovecha el calor transferido de los gases de combustión a la tubería del sistema de escape para evaporar un fluido y hacerlo pasar a través de una turbina o un motor de vapor para generar trabajo.

### 4.2.1 Descripción y restricciones de análisis

Se consideró un motor 1.8L VW, el cual tiene una relación de compresión de 8. La presión del aire al inicio de la compresión es de

77.1kPa (1 atm en la Ciudad de México) y una temperatura de 40 °C. El volumen máximo del cilindro es de 450 cm<sup>3</sup>.

Nuestro sistema busca utilizar el calor desperdiciado en la combustión y que se transfiere a la tubería de los gases de escape. A partir de las simulaciones del ciclo Otto se determinó la temperatura a la cual los gases resultantes de la combustión abandonan el motor. Parte de este calor es transferido a la tubería adyacente teniendo como datos de las pruebas físicas una temperatura de 330°C.

Nuestro sistema se basa en la implementación de un ciclo Rankine y aprovecha el calor transferido a las tuberías para calentar agua hasta llevarla a vapor. Este vapor pasa a través de un motor de vapor que genera trabajo, el cual se utilizará para incrementar la potencia otorgada por el motor.

Cabe mencionar que se intentó simular los ciclos lo más aproximados a la realidad, esto es, no son ciclos ideales pues se tomaron en cuenta datos de eficiencias y consideraciones para aproximar los resultados lo más posible a la realidad.

Es importante mencionar que se piensa utilizar alguno de estos ciclos de manera que no se modifique nada del motor, solamente se aprovechará parte de la energía no utilizada por él.

Otro punto de partida es considerar que nuestro sistema comienza a trabajar hasta que se tienen las condiciones de temperaturas necesarias para el mismo, si el fluido de trabajo es agua se tendrá que comenzar a trabajar cuando la temperatura de las tuberías de nuestro intercambiador de calor alcancen los 220°C.

#### **4.2.2 Comparación de ciclos termodinámicos**

El análisis realizado para cada ciclo busca obtener principalmente datos acerca de su eficiencia y el trabajo que pueden otorgar bajo

condiciones similares de presión y temperatura ambiental, así como la temperatura de la tubería de los gases de salida.

A continuación se explica de manera breve los criterios considerados en cada uno de los ciclos propuestos así como los resultados obtenidos. Después se comparan las eficiencias y el trabajo obtenido mediante simulaciones en el EES.

#### 4.2.2.1 Ciclo Rankine

Para la realización de esta simulación se consideró la presión atmosférica que corresponde a la ciudad de México (77.1 kPa). Se propone una temperatura ambiente de 25 ° C y agua como fluido de trabajo.

A continuación se muestran los resultados de la simulación del ciclo Rankine en el software EES. La figura 4.3 muestra el trabajo realizado así como la eficiencia otorgada por éste ciclo. Podemos observar que ésta no es muy elevada, sin embargo la cantidad de trabajo que puede realizar por ciclo es importante. La temperatura del intercambiador de calor es equivalente a la máxima temperatura obtenida de las mediciones obtenidas de manera experimental representados en la tabla 3.1.

b1 = 0.8054	b2 = 15.09	b3 = 470.4
b4 = 37.37	Consumo <sub>esp,vap</sub> = 10.28 [kg/MWh]	Cp = 4.183 [kJ/kg·K]
$\Delta B_{boiler}$ = 455.4	$\eta_{bomba}$ = 0.7	$\eta_{ciclo}$ = 0.2594
$\eta_{segunda}$ = 0.7688	$\eta_{turb}$ = 0.85	h1 = 151.5 [kJ/kg]
h2 = 171.5 [kJ/kg]	h2 <sub>teo</sub> = 165.5 [kJ/kg]	h3 = 1521 [kJ/kg]
h4 = 1151 [kJ/kg]	h4 <sub>teo</sub> = 1086 [kJ/kg]	m <sub>agua</sub> = 23.89 [masa de agua]
P1 = 6 [Pa]	P2 = 14000 [Pa]	P3 = 14000 [Pa]
P4 = 6 [Pa]	Pamb = 77.1 [Pa]	Qin = 1349 [kJ/g]
Q <sub>out</sub> = 999.4 [kJ/g]	s1 = 0.5208 [kJ/kg·K]	s3 = 3.541 [kJ/kg·K]
s4 = 3.752 [kJ/kg·K]	T2 = 37.99 [C]	T3 = 330 [C]
Tagua1 = 28 [C]	Tagua1 = 18 [C]	Tamb = 25 [C]
Tprom = 23 [C]	W <sub>neto</sub> = 350.1 [kJ/g]	W <sub>realbomba</sub> = 20.06 [kJ/g]
W <sub>realturbina</sub> = 370.1 [kJ/g]	W <sub>teobomba</sub> = 14.04 [kJ/g]	W <sub>teoturbina</sub> = 435.5 [kJ/g]

Fig. 4.3. Resultados de simulación del Ciclo Rankine en EES.

La gráfica de la figura 4.4 es un indicador de qué tanto afecta la temperatura del calentador a la eficiencia global del ciclo Rankine. El rango de temperaturas va de 80°C a 330°C, el cual se obtuvo de manera experimental a un régimen 2000 r.p.m. (tabla 3.5)

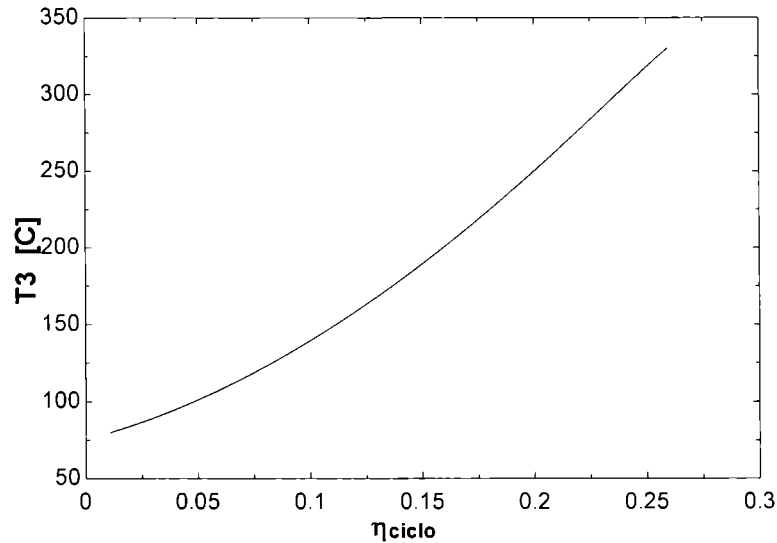


Fig. 4.4. Efecto de la variación de la temperatura del calentador en la eficiencia del ciclo Rankine.

La gráfica de la figura 4.5 muestra la variación del trabajo neto realizado por el sistema cada ciclo. Es importante observar que a temperaturas menores a 100°C el sistema es poco conveniente debido a su baja eficiencia.

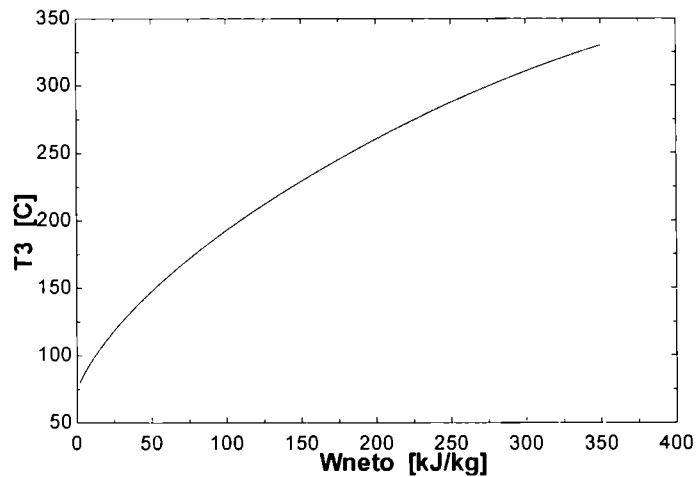


Fig. 4.5. Efecto de la variación de la temperatura del calentador en el trabajo neto realizado por el sistema.



#### 4.2.2.2 Ciclo Brayton

Para la realización de esta simulación se consideró la presión atmosférica que corresponde a la ciudad de México (77.1 kPa). Se propone una temperatura ambiente de 30°C, un radio de compresión de 8 y aire como fluido de trabajo.

A continuación se muestran los resultados de la simulación de un ciclo Brayton simple en el software EES. La figura 4.6 muestra el trabajo realizado así como la eficiencia otorgada por éste ciclo.

$\eta_c = 0.8$ [de la compresión]	$\eta_{ciclo} = 0.366$	$\eta_t = 0.85$ [de la turbina]	$\eta_{termica} = 0.3685$	$h_1 = 300.4$
$h_2 = 605.8$	$h_3 = 1396$	$h_4 = 880.5$	$h_5 = 825.6$	$h_{s2} = 544.7$
$h_{s4} = 789.6$	$P_1 = 77.1$ [kPa]	$P_2 = 616.8$	$QH = 790.3$	$Q_{in} = 570.5$
$rp = 8$	$s_1 = 5.78$	$s_2 = 5.78$	$s_3 = 6.754$	$s_4 = 6.754$
$T_1 = 300$ [K]	$T_2 = 598.6$	$T_{2s} = 540$	$T_3 = 1300$ [K]	$T_4 = 852.8$
$T_{4s} = 770.1$	$T_5 = 803$ [K]	$u_2 = 434$	$W_{cs} = 244.3$	$W_{creal} = 305.4$
$W_{neto} = 210.2$	$W_{ts} = 606.6$	$W_{treal} = 515.6$		

Fig. 4.6. Simulación del Ciclo Brayton.

Es importante mencionar que la simulación anterior considera una cámara de combustión que no se piensa utilizar en nuestro sistema, simplemente se utilizó para comprobar los resultados de la simulación. En nuestro sistema, el aire circulará del compresor al intercambiador de calor, y de éste a la turbina. La figura 4.7 incorpora estas consideraciones.

$\eta_c = 0.8$ [de la compresión]	$\eta_{ciclo} = -15.8$	$\eta_t = 0.85$ [de la turbina]	$\eta_{termica} = -0.3899$	$h_1 = 300.4$ [kJ/kg]
$h_2 = 605.8$ [kJ/kg]	$h_3 = 610.5$ [kJ/kg]	$h_4 = 378$ [kJ/kg]	$h_5 = 423.5$ [kJ/kg]	$h_{s2} = 544.7$ [kJ/kg]
$h_{s4} = 337$ [kJ/kg]	$P_1 = 77.1$ [kPa]	$P_2 = 616.8$ [kPa]	$QH = 4.672$ [kJ/kg]	$Q_{in} = 186.9$ [kJ/kg]
$rp = 8$	$s_1 = 5.78$ [kJ/kg·K]	$s_2 = 5.78$ [kJ/kg·K]	$s_3 = 5.895$ [kJ/kg·K]	$s_4 = 5.895$ [kJ/kg·K]
$T_1 = 300$ [K]	$T_2 = 598.6$ [K]	$T_{2s} = 540$ [K]	$T_3 = 603$ [K]	$T_4 = 377$ [K]
$T_{4s} = 336.3$ [K]	$T_5 = 422$ [K]	$u_2 = 434$ [kJ/kg]	$W_{cs} = 244.3$ [kJ/kg]	$W_{creal} = 305.4$ [kJ/kg]
$W_{neto} = -72.89$ [kJ/kg]	$W_{ts} = 273.5$ [kJ/kg]	$W_{treal} = 232.5$ [kJ/kg]		

Fig. 4.7. Simulación del Ciclo Brayton sin cámara de combustión.

Los resultados que observamos de la simulación descartan de antemano a éste ciclo termodinámico ya que tanto la eficiencia del ciclo

como el trabajo neto son negativos. En primera instancia, el trabajo neto del ciclo es negativo debido a que el trabajo realizado por la turbina es menor que el que consume el compresor. Esto significa que se necesitaría, además de la turbina, una fuente de energía adicional que mueva al compresor. Por otro lado, a partir de la definición de la eficiencia podemos saber por qué razón dio ese valor. Finalmente, en el caso de utilizar un regenerador sería contraproducente ya que en vez de agregar calor al aire que se dirige a la turbina, se lo quitaría.

La figura 4.8 muestra una última simulación que considera un radio de compresión de 2. En este caso la cantidad de trabajo neto producido es positivo, sin embargo, la temperatura del intercambiador de calor se consideró de 330°C el cual fue el máximo valor obtenido durante las pruebas.

$\eta_c = 0.8$ [de compresor]	$\eta_{comb} = 0.14595$	$\eta_t = 0.85$ [de turbina]	$\eta_{termica} = 0.08726$	$h1 = 300.4$ [kJ/g]
$h2 = 382.9$ [kJ/g]	$h3 = 610.5$ [kJ/g]	$h4 = 517.6$ [kJ/g]	$h5 = 490.6$ [kJ/g]	$hs2 = 366.4$ [kJ/g]
$hs4 = 501.2$ [kJ/g]	$P1 = 77.1$ [Pa]	$P2 = 154.2$ [Pa]	$QH = 227.6$ [kJ/g]	$Q_{in} = 119.8$ [kJ/g]
$rp = 2$	$s1 = 5.78$ [kJ/g·K]	$s2 = 5.78$ [kJ/g·K]	$s3 = 6.293$ [kJ/g·K]	$s4 = 6.293$ [kJ/g·K]
$T1 = 300$ [K]	$T2 = 381.8$ [K]	$T2s = 365.5$ [K]	$T3 = 603$ [K]	$T4 = 513.8$ [K]
$T4s = 497.9$ [K]	$T5 = 487.6$ [K]	$u2 = 273.3$ [kJ/g]	$Wcs = 65.96$ [kJ/g]	$W_{Creal} = 82.45$ [kJ/g]
$W_{neto} = 10.46$ [kJ/g]	$Wts = 109.3$ [kJ/g]	$W_{lreal} = 92.9$ [kJ/g]		

Fig. 4.8. Simulación del Ciclo Brayton sin cámara de combustión, radio de compresión 2 y  $T3=330^\circ\text{C}$ .

Finalmente, la figura 4.9 muestra los resultados obtenidos al simular el ciclo considerando un radio de compresión igual a 2 y una temperatura promedio obtenida a partir de la tabla 3.1. Nuevamente observamos que el trabajo neto y la eficiencia del ciclo son negativos.

$\eta_c = 0.8$ [de compresor]	$\eta_{comb} = 0.05733$	$\eta_t = 0.85$ [de turbina]	$\eta_{termica} = -0.07875$	$h1 = 300.4$ [kJ/g]
$h2 = 382.9$ [kJ/g]	$h3 = 495.1$ [kJ/g]	$h4 = 420.3$ [kJ/g]	$h5 = 412.8$ [kJ/g]	$hs2 = 366.4$ [kJ/g]
$hs4 = 406.9$ [kJ/g]	$P1 = 77.1$ [Pa]	$P2 = 154.2$ [Pa]	$QH = 113.3$ [kJ/g]	$Q_{in} = 83.36$ [kJ/g]
$rp = 2$	$s1 = 5.78$ [kJ/g·K]	$s2 = 5.78$ [kJ/g·K]	$s3 = 6.084$ [kJ/g·K]	$s4 = 6.084$ [kJ/g·K]
$T1 = 300$ [K]	$T2 = 381.8$ [K]	$T2s = 365.5$ [K]	$T3 = 493$ [K]	$T4 = 418.7$ [K]
$T4s = 405.5$ [K]	$T5 = 411.4$ [K]	$u2 = 273.3$ [kJ/g]	$Wcs = 65.96$ [kJ/g]	$W_{Creal} = 82.45$ [kJ/g]
$W_{neto} = -6.564$ [kJ/g]	$Wts = 89.27$ [kJ/g]	$W_{lreal} = 75.88$ [kJ/g]		

Fig. 4.9. Simulación del Ciclo Brayton sin cámara de combustión, radio de compresión 2 y  $T3=220^\circ\text{C}$ .

### 4.2.2.3 Ciclo Stirling

Para la realización de esta simulación se consideró la presión atmosférica que corresponde a la ciudad de México (77.1 kPa). Se propone una temperatura ambiente de 30°C y aire como fluido de trabajo.

A continuación se muestran los resultados de la simulación del ciclo Stirling en el software EES. La figura 4.10 muestra el trabajo realizado así como la eficiencia otorgada por éste ciclo. Podemos observar que ésta es elevada, sin embargo el trabajo que puede realizar no es demasiado.

$\eta_{\text{Carnot}} = 0.8636$	$\eta_{\text{termica}} = 0.7379$	$P_1 = 77.1 \text{ [kPa]}$	$Q_{\text{ent}} = 101.6 \text{ [kJ/kg]}$	$Q_{\text{sal}} = -13.86 \text{ [kJ/kg]}$	$R = 0.287 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$
$rc = 4$	$S_1 = 3.266 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$	$S_2 = 3.728 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$	$T_1 = 220 \text{ [C]}$	$T_2 = 220 \text{ [C]}$	$T_3 = 30 \text{ [C]}$
$T_4 = 30 \text{ [C]}$	$T_H = 220 \text{ [C]}$	$T_L = 30 \text{ [C]}$	$V_1 = 0.00005 \text{ [m}^3\text{/kg]}$	$V_2 = 0.00025 \text{ [m}^3\text{/kg]}$	$V_3 = 0.00025 \text{ [m}^3\text{/kg]}$
$V_4 = 0.00005 \text{ [m}^3\text{/kg]}$	$V_{\text{max}} = 0.00025 \text{ [m}^3\text{/kg]}$	$V_{\text{min}} = 0.00005 \text{ [m}^3\text{/kg]}$	$W_{\text{neto}} = 75 \text{ [kJ/kg]}$		

Fig. 4.10. Simulación del Ciclo Stirling.

La gráfica mostrada en la figura 4.11 muestra la variación del trabajo otorgado por el sistema conforme la temperatura de la fuente externa  $T_H$  se incrementa. Como es de esperarse el trabajo se incrementa conforme lo hace la temperatura de la fuente. Es importante mencionar que  $T_L$  (temperatura ambiente) permanece constante y que el valor de  $T_H$  se determinó a partir de la tabla 3.1. Se hizo un promedio de las temperaturas adquiridas en los primeros 75 centímetros de tubería.

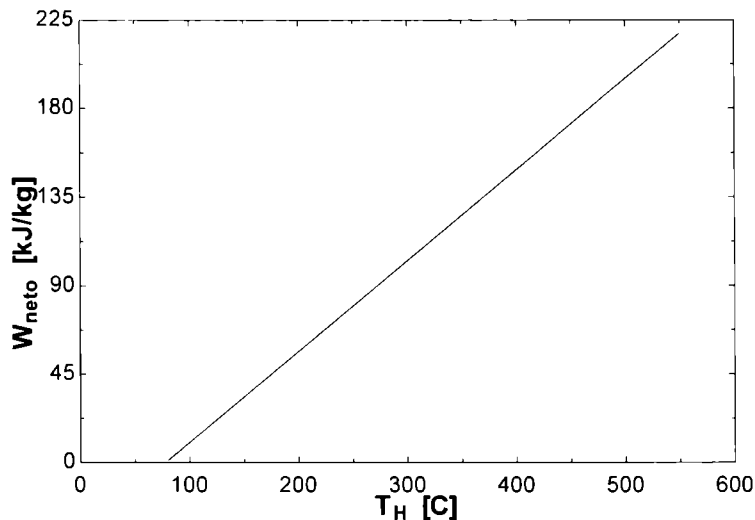


Fig. 4.11. Variación del trabajo neto otorgado por el ciclo y  $T_H$ .

En la gráfica de la figura 4.12 podemos observar cómo varía la eficiencia del ciclo conforme  $T_H$  incrementa. A partir de la definición de la eficiencia sabemos que este comportamiento es adecuado.

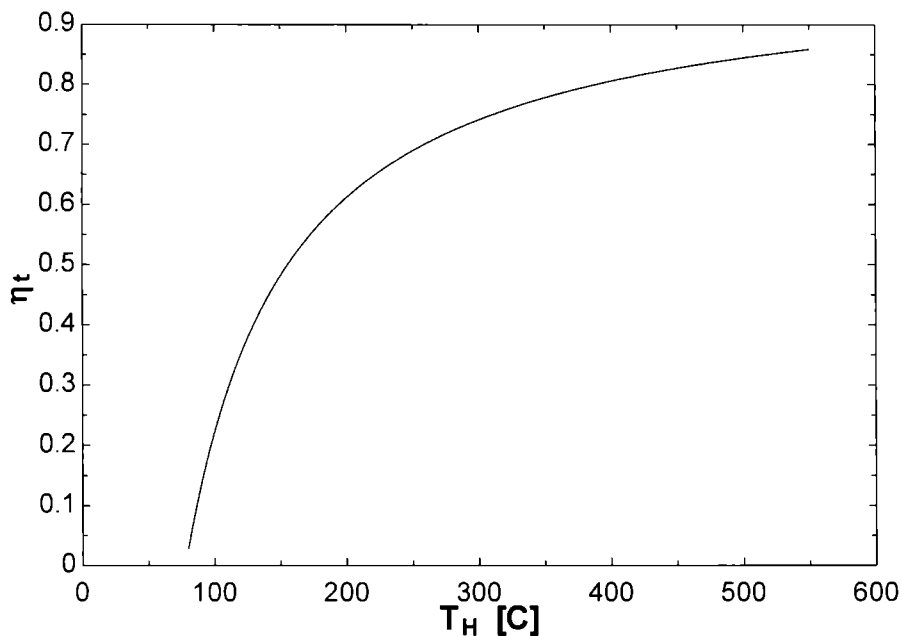


Fig. 4.12. Variación de la eficiencia conforme  $T_H$  aumenta.

Las gráficas de las figuras 4.13 y 4.14 muestran las variaciones de la eficiencia, el trabajo neto y  $T_H$  conforme la relación de compresión  $rc = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$  aumenta.

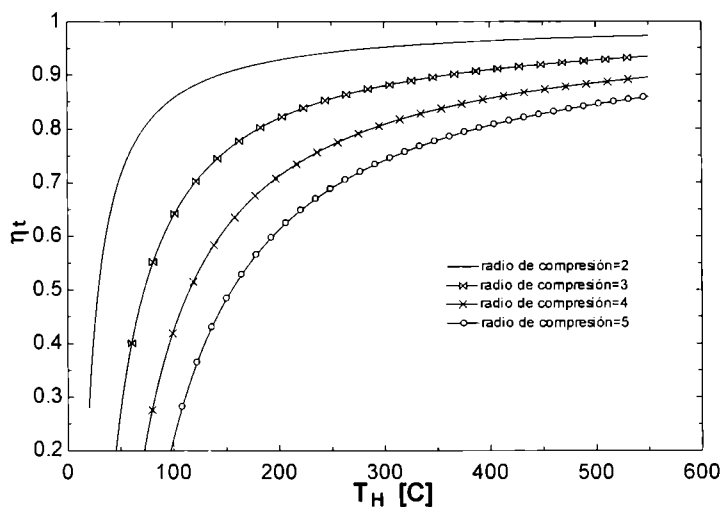


Fig. 4.13. Variación de la eficiencia conforme  $T_H$  aumenta.

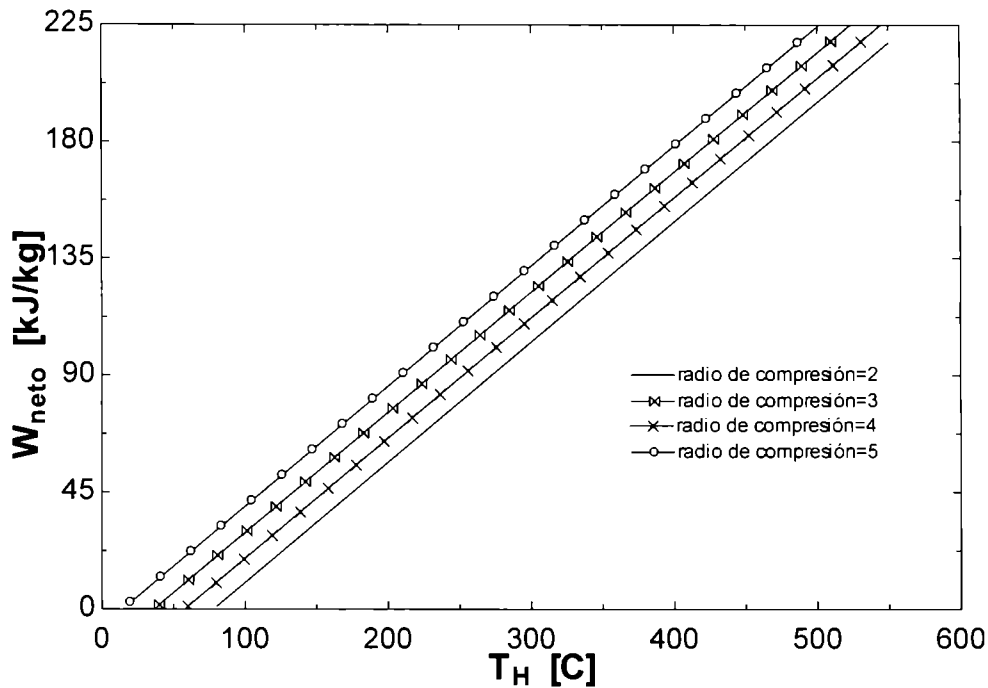


Fig. 4.14. Variación del trabajo neto conforme  $T_H$  aumenta.

#### 4.2.2.4 Evaluación de ciclos presentados

Esta sección tiene como objetivo evaluar los ciclos termodinámicos Stirling y Rankine bajo condiciones iguales. Al finalizar la evaluación se determinará el ciclo más adecuado para nuestra implementación.

Como se mencionó en la sección 4.1.2.2 el ciclo Brayton no será analizado debido a que, a partir de los resultados de la simulación, se determinó que su implementación no es viable.

La figura 4.15 muestra la variación de la eficiencia de los ciclos Rankine y Stirling al variar la temperatura de la fuente externa  $T_H$ . Es importante notar que el ciclo Stirling es mucho más eficiente que el ciclo Rankine.

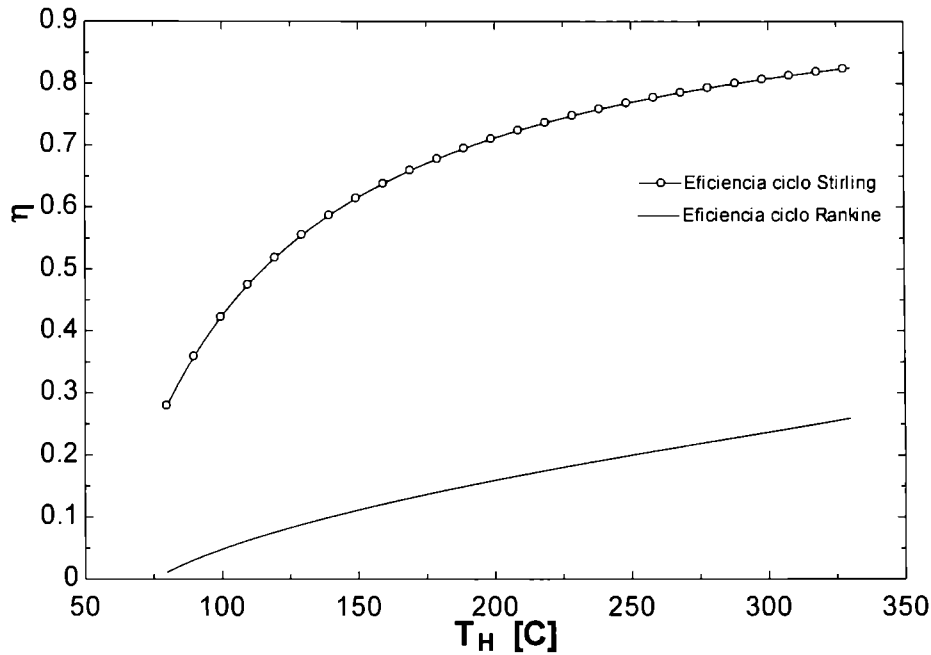


Fig. 4.15. Eficiencia de los ciclos Rankine y Stirling conforme  $T_H$  varía.

La figura 4.16 muestra el trabajo neto que puede otorgar cada ciclo al variar la temperatura. Es importante observar que después de los  $150^\circ\text{C}$  el ciclo Rankine es capaz de entregar mayor cantidad de trabajo neto. De hecho, si se elige una temperatura de  $220^\circ\text{C}$  observamos que el trabajo neto dado por el ciclo Rankine es casi el doble que el del ciclo Stirling (figura 4.17).

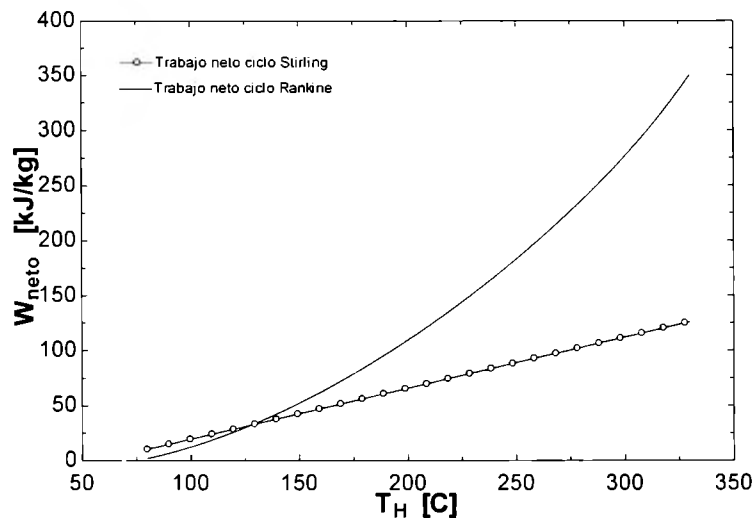


Fig. 4.16 Trabajo neto otorgado por los ciclos Rankine y Stirling conforme  $T_H$  varía.

$C_{p,rankine} = 4.183$ [kJ/kg·K]	$\eta_{bomba,rankine} = 0.7$	$\eta_{carnot} = 0.8636$
$\eta_{ciclo,rankine} = 0.1762$	$\eta_{stirling} = 0.7379$	$\eta_{turb,rankine} = 0.85$
$h1_{rankine} = 151.5$ [kJ/kg]	$h2_{rankine} = 171.5$ [kJ/kg]	$h2_{teo,rankine} = 165.5$ [kJ/kg]
$h3_{rankine} = 947$ [kJ/kg]	$h4_{rankine} = 790.3$ [kJ/kg]	$h4_{teo,rankine} = 762.7$ [kJ/kg]
$m_{agua,rankine} = 15.27$	$P1_{rankine} = 6$ [Pa]	$P2_{rankine} = 14000$ [Pa]
$P3_{rankine} = 14000$ [Pa]	$P4_{rankine} = 6$ [Pa]	$P_{amb,rankine} = 77.1$ [Pa]
$P1 = 77.1$ [Pa]	$Q_{in,rankine} = 775.5$ [kJ/kg]	$Q_{ent,stirling} = 101.6$ [kJ/kg]
$Q_{out,rankine} = 638.8$ [kJ/kg]	$Q_{sal,stirling} = -13.86$ [kJ/kg]	$R = 0.287$ [kJ/kg·K]
$rc = 4$	$s1_{rankine} = 0.5208$ [kJ/kg·K]	$S1_{stirling} = 3.266$ [kJ/kg·K]
$S2_{stirling} = 3.728$ [kJ/kg·K]	$s3_{rankine} = 2.497$ [kJ/kg·K]	$s4_{rankine} = 2.586$ [kJ/kg·K]
$T1_{stirling} = 220$ [K]	$T2_{rankine} = 37.99$ [K]	$T2_{stirling} = 220$ [K]
$T3_{rankine} = 220$ [K]	$T3_{stirling} = 30$ [K]	$T4_{stirling} = 30$ [K]
$T_{agua,rankine} = 40$ [K]	$T_{agua,rankine} = 30$ [K]	$T_{amb,rankine} = 30$ [K]
$T_{prom,rankine} = 35$ [K]	$T_H = 220$ [K]	$T_L = 30$ [K]
$V1_{stirling} = 0.00005$ [m <sup>3</sup> ]	$V2_{stirling} = 0.00025$ [m <sup>3</sup> ]	$V3_{stirling} = 0.00025$ [m <sup>3</sup> ]
$V4_{stirling} = 0.00005$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{max} = 0.00025$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{min} = 0.00005$ [m <sup>3</sup> ]
$W_{neto,rankine} = 136.7$ [kJ/kg]	$W_{real,bomba,rankine} = 20.06$ [kJ/kg]	$W_{real,turbina,rankine} = 156.7$ [kJ/kg]
$W_{teo,bomba,rankine} = 14.04$ [kJ/kg]	$W_{teo,turbina,rankine} = 184.4$ [kJ/kg]	$W_{neto,stirling} = 75$ [kJ/kg]

Fig. 4.17. Simulación de ciclos Rankine y Stirling

Al momento de hacer un balance de las características de ambos ciclos, se determinó que la mejor opción es un ciclo Rankine ya que a pesar de tener una eficiencia menor que la del ciclo Stirling, el trabajo neto que puede otorgar es al menos del doble. Otra razón por la que se hizo de lado la opción del ciclo Stirling es el elevado costo de las máquinas que operan utilizando este ciclo.

### 4.2.3 Programación y Análisis de Resultados

Esta sección busca explicar, de manera breve, la programación así como gráficas que se realizaron una vez que se ha determinado que el ciclo termodinámico a utilizar sería el ciclo Rankine. Es importante mencionar que se debieron hacer una serie de consideraciones para poder acoplar tanto al ciclo Otto como al ciclo Rankine.

Una de las consideraciones principales consistió en estar conscientes de que no es posible utilizar todo el calor contenido en los gases de escape y que la temperatura de los mismos, debe ser mayor que la

temperatura a la que nuestro fluido de trabajo se calentaba para llevarlo a vapor. Otras consideraciones realizadas fueron utilizadas para determinar las dimensiones de algunos componentes tales como el intercambiador de calor y el condensador, pero serán explicadas en otra sección.

La figura 4.18 muestra la variación de los flujos de energía conforme varían los radios de compresión. Lo importante de esta gráfica es notar que en ningún momento el calor desechado por los gases de escape es menor que el calor que utiliza y desecha el ciclo Rankine. Con esto es posible asegurar que nuestro modelo se comporta de manera adecuada y es congruente con los flujos de energía.

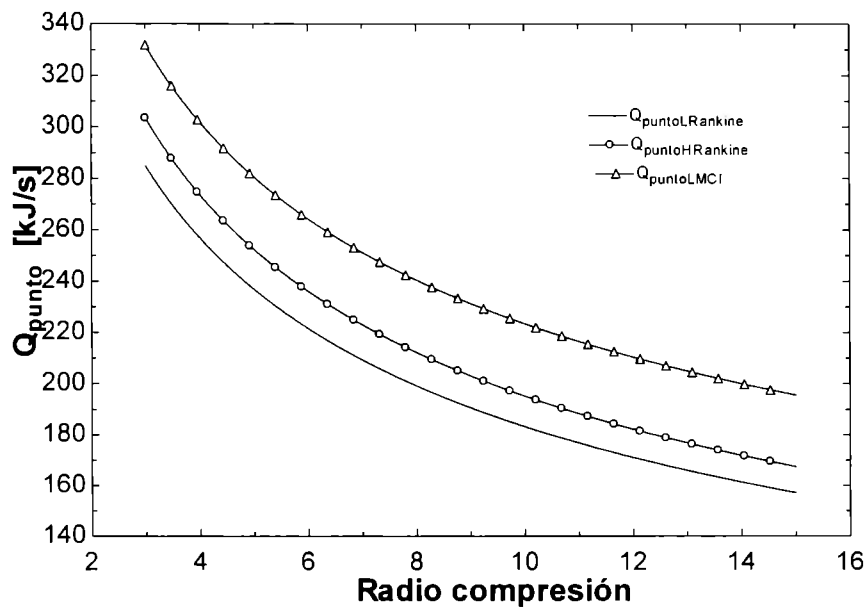


Fig. 4.18. Efecto de la variación del radio de compresión del MCI en los flujos de energía.

La figura 4.19 ejemplifica el efecto que tiene el radio de compresión en el valor del coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor utilizado para evaporar el fluido de trabajo. Es interesante observar que conforme aumenta el radio de compresión, el valor del coeficiente decrece.



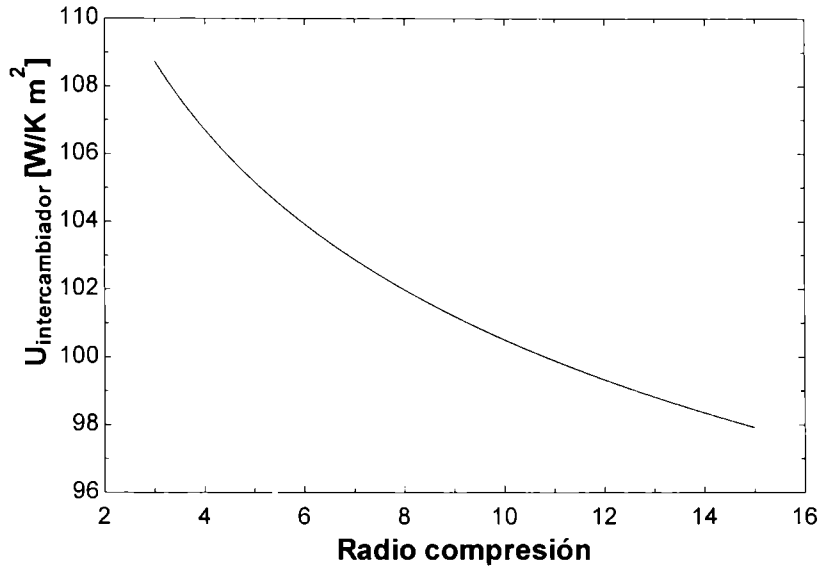


Fig. 4.19. Efecto de la variación del radio de compresión del MCI en los valores del coeficiente global de transferencia de calor.

Un dato que aparentemente no tiene relación es el flujo másico de agua necesario para el ciclo Rankine y el radio de compresión. Sin embargo, sí se relacionan por el hecho de que al variar el radio de compresión se afecta la cantidad de energía que desperdicia el MCI, lo que se traduce en menor energía disponible para calentar el fluido de trabajo (agua en este caso) y por ende el flujo másico debe disminuir. La figura 4.20 muestra la variación mencionada.

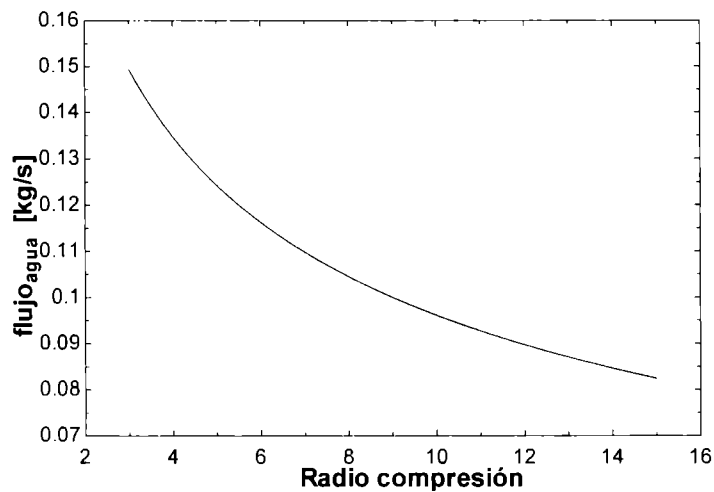


Fig. 4.20. Efecto de la variación del radio de compresión del MCI en el flujo másico del fluido de trabajo del ciclo Rankine.

Una situación parecida se muestra en la figura 4.21. Como en el caso anterior, la variación del radio de compresión repercute directamente en la cantidad energía de la que dispone el ciclo Rankine. El área de contacto también se ve afectada, por lo que el intercambiador tiene que ser de mayor tamaño para lograr evaporar el fluido de trabajo.

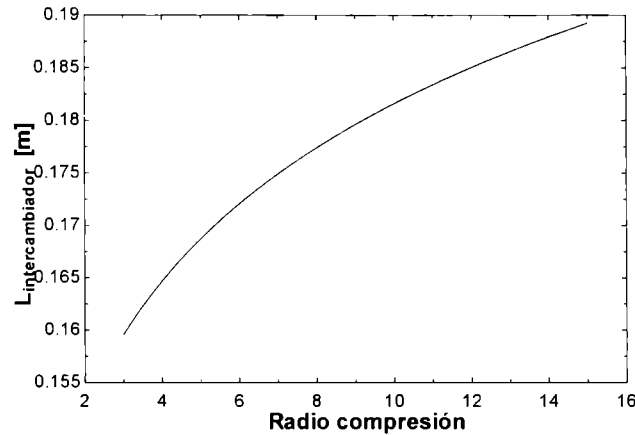


Fig. 4.21. Efecto de la variación del radio de compresión del MCI en la longitud del intercambiador para el ciclo Rankine.

La variación en la composición del combustible afecta la cantidad de energía de la que dispone el MCI, afectando también al ciclo Rankine. Esto se puede observar claramente en la figura 4.22, donde podemos observar que se respeta en todo momento los flujos de energía, puesto que la cantidad de energía disponible en el ciclo Rankine es siempre menor que la que desecha el MCI.

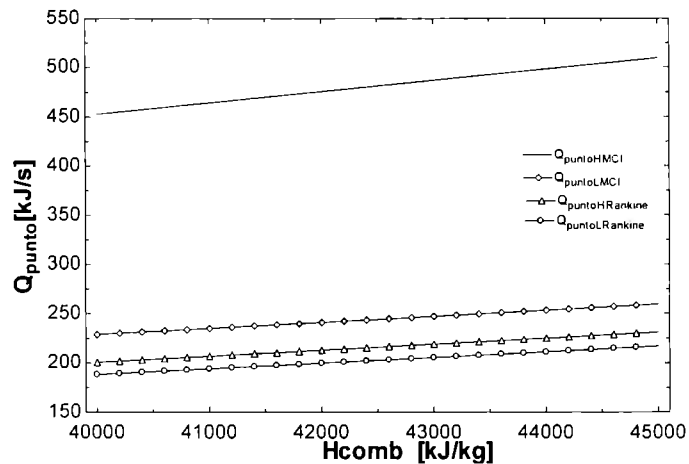


Fig. 4.22. Efecto de la variación de la entalpía de combustión del combustible en los flujos e energía.

Si se dispone de mayor cantidad de energía para calentar el fluido de trabajo del ciclo Rankine, entonces es posible disminuir la longitud del intercambiador. La figura 4.23 muestra de manera clara esta relación.

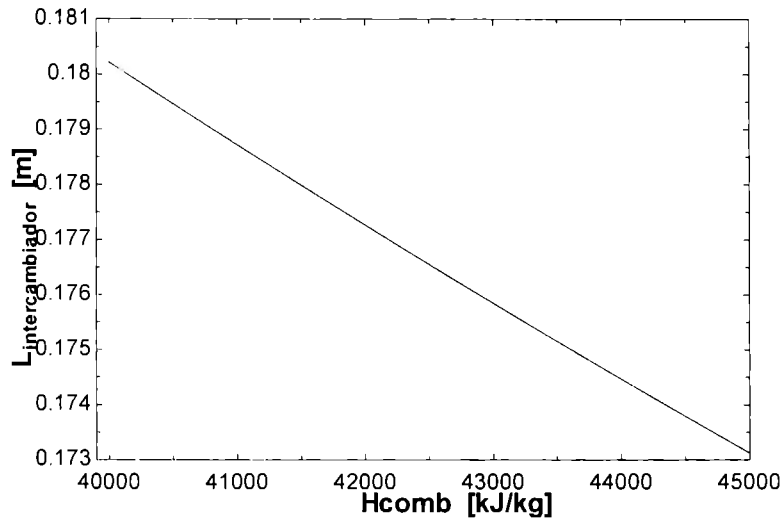


Fig. 4.23. Efecto de la variación de la entalpía de combustión del combustible en la longitud del intercambiador para el ciclo Rankine.

Con los resultados mostrados podemos afirmar que las consideraciones realizadas en nuestra programación son coherentes, ya que al analizar las gráficas obtenidas observamos que se comportan como se esperaba. También es posible afirmar a través de los resultados que los ciclos Otto y Rankine no trabajan de manera independiente y lo hacen respetando los flujos de energía, lo cual es de gran importancia para nuestro trabajo. El programa utilizado para obtener las gráficas anteriores se encuentra en el Anexo 1. Dicho programa contiene la programación para determinar las características de los intercambiadores y la bomba para el ciclo Rankine.

#### 4.2.4 Propuesta de reintegración del trabajo obtenido

El trabajo obtenido por nuestro ciclo Rankine no otorga mucho torque al MCI, por lo que pensar en reintegrar el trabajo generado directamente al cigüeñal no es una buena opción. Por lo que nuestra propuesta es más bien quitar algunos de los componentes auxiliares que

consumen esfuerzo del MCI, como lo son el alternador, la bomba de agua, el ventilador del radiador y el ventilador del aire acondicionado.

Estos componentes son la diferencia entre las mediciones de potencia SAE y DIN. Donde la medida SAE mide la potencia del MCI los componentes adicionales que le restan potencia, adicionales a los mencionados anteriormente encontramos el filtro de aire y el silenciador de la tubería de escape. La medida DIN toma en cuenta todos los componentes del sistema motriz, por lo que es una medida muy cercana a la realidad, mide la potencia que efectivamente mueve al automóvil. Estas 2 medidas difieren una de otra en aproximadamente 15%.

La propuesta que describimos a continuación nos otorga aproximadamente 5Hp que podemos utilizar para eliminar el consumo de potencia del alternador, la bomba de agua y el ventilador del radiador, mismo que nos puede servir también para nuestro condensador. Esto nos indica que sería eliminar una pérdida de 5Hp directamente de la potencia efectiva del automóvil, por lo que si nuestro automóvil tiene una potencia DIN de 113Hp, al implementar nuestra propuesta esta llegará a 118Hp.

#### **4.2.5 Fluido de trabajo dentro del ciclo.**

Inicialmente se tomo en cuenta solo el agua como fluido de posible uso para el ciclo que generaría el trabajo, después de tomar las consideraciones para la implementación y de buscar la mejor manera de obtener trabajo o más propiamente dicho la mayor cantidad de trabajo dentro de nuestro sistema propuesto, se encontró en el fluido un potencial claramente explotable en aras de aprovechar aún más el desperdicio de calor.

Por principio de cuentas se toma como parámetro de entrada las presiones de trabajo de este ciclo, ya que como sabemos nuestras presiones no serán tan altas como lo serían en un ciclo

Rankine para la generación de energía eléctrica en una planta, por lo que se cuestiona acerca del alcance de vapor a las temperaturas obtenidas por el escape. Debido a esto se investigo sobre fluidos con puntos de ebullición un tanto menores.

Todos los líquidos se evaporan: algunos más rápido, otros más lentamente. De los primeros decimos que son volátiles, como el alcohol. Vamos a estudiar este fenómeno con un poco más de detalle.

Supongamos un recipiente cerrado en el que hay aire seco (absolutamente seco, sin una sola molécula de agua volando) a presión normal y en el que se introduce un poco de agua.

Inmediatamente algunas moléculas de agua traspasan la superficie y salen volando, pasando al estado gaseoso e integrando una fase nueva: el vapor (este proceso se llama evaporación).

Le siguen más y más moléculas que pasan de la fase líquida a la fase gaseosa. Algunas moléculas retornan a la fase líquida (eso es la condensación), al principio pocas, porque muchas no había.

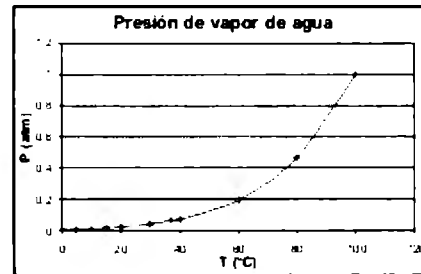
A medida que la fase vapor se va poblando de más y más moléculas, la velocidad de retorno va creciendo, hasta que se iguala con la velocidad de despegue y se alcanza un equilibrio dinámico. Supongamos que en ese momento hay 60 moléculas en la fase gaseosa.

La misma cantidad de moléculas que pasan del estado líquido al estado gaseoso, pasan del gaseoso al líquido. Si 7 moléculas nuevas se evaporan, otras 7 se condensan. Aunque dejemos pasar dos horas seguirá habiendo 60 moléculas en la fase gaseosa.

Solo para finalizar cabe puntualizar que para una presión le corresponde una temperatura para que se lleve a cabo la ebullición, esto se demuestra fácilmente ya que a nivel del mar (presión de 1 atm) el agua ebulle a exactamente 100° C y en la Ciudad de México disminuye un poco (alrededor de 92°C) debido a la menor presión aquí, ni que hablar de en la cima del monte Everest resulta en una presión menor y es por eso que es sumamente difícil cocer los alimentos a una presión tan baja debido a que es imposible cocer alimentos con agua que tal vez ni siquiera quemaría si la tocáramos ya que no logra elevarse de los 60° C. Se presenta una tabla y una gráfica que demuestra lo aforado anteriormente.

**Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas**

<i>T</i> (°C)	<i>P</i> (atm)	<i>P</i> (kPa)
<b>0</b>	0,00626	0,612
<b>5</b>	0,00856	0,871
<b>10</b>	0,0121	1,226
<b>15</b>	0,0168	1,70
<b>20</b>	0,0230	2,33
<b>30</b>	0,0418	4,24
<b>37</b>	0,0621	6,29
<b>40</b>	0,0728	7,38
<b>60</b>	0,196	19,94
<b>80</b>	0,466	47,35
<b>100</b>	1,00	101,3



### Metanol.

Antes se preparaba por destilación destructiva de la madera, pero hoy en día casi todo el metanol producido es de origen sintético, elaborado a partir de hidrógeno y monóxido de carbono. El metanol se utiliza para desnaturalizar alcohol etílico y como anticongelante (sustancia química que se añade a un líquido para que descienda su punto de solidificación) básicamente. Evita la congelación de los refrigerantes utilizados en los motores de aviones,

coches y tractores, en los agentes derretidores de nieve y descongelantes. El anticongelante ideal debe ser químicamente estable, o corrosivo, miscible con el refrigerante, tener viscosidad y conductividad eléctrica bajas y punto de ebullición alto; debe ser también buen transmisor del calor. La mayoría de los anticongelantes contiene se les agregan anticorrosivos (fosfatos o nitratos).

Su preparación industrial requiere calentar aire seco y vapor de alcohol metílico en presencia de un catalizador, como el cobre o la plata. No obstante se han desarrollado procesos más directos sintetizando metanol a partir de monóxido de carbono e hidrógeno. En uno de estos procesos, se pasa esta mezcla por un catalizador a una temperatura entre 200 y 300 °C, a una presión de 10,2 atmósferas. El metanol puro es muy reactivo y se polimeriza fácilmente. Al ser ingerido en forma líquida o inhalado en vapor, el metanol puede resultar peligroso. Tiene un punto de fusión de -97,8°C y un punto de ebullición de 64,7°C. Su densidad relativa es de 0,7915 a 20°C. Como dato aparte uno de los alcoholes compuesto por este es el Gin.

Como se puede observar tiene puntos de fusión bajísimos lo cual lo hace sumamente implementable para países en los cuales las temperaturas naturales descienden temporalmente por debajo de los 0°C con lo que el agua pudiera ya haberse solidificado.

A continuación se presenta una tabla con las principales características del metanol, desde puntos críticos hasta temperaturas de ebullición y fusión.

<b>Molecular Weight</b>	32.04 g mol <sup>-1</sup> [5]	<b>Boiling Point</b> 760 mm Hg (101.3 kPa)	64.6°C [5] (148.3°F)
<b>Critical Temperature</b>	512.5K [1] (239°C; 463°F)	<b>Freezing Point</b>	-97.6°C [5] (-143.7°F)
<b>Critical Pressure</b>	8.084MPa [5] (78.5 atm)	<b>Reid Vapour Pressure</b>	32 kPa [1]
<b>Critical Density</b>	0.2715 g cm <sup>-3</sup> [1]	<b>Flash Point</b> Open vessel (TCC method) Closed vessel (TOC method)	12.2°C (54.0°F) [10] 15.6°C (60.1°F) [1]
<b>Critical Compressibility Factor</b>	0.224 [1]	<b>Auto Ignition Temperature</b>	470°C (878°F) [10]
<b>Specific Gravity</b> <i>Liquid</i> (15°/4°C) (20°/4°C) (25°/4°C) <i>Vapour</i>	0.7960 [3] 0.7915 [3] 0.7866 [3] 1.11 [3]	<b>Viscosity</b> <i>Liquid</i> -25°C (-13°F) 0°C (32°F) 25°C (77°F) <i>Vapour</i> 25°C (77°F) 127°C (261°F)	1.258 mPa s [5] 0.793 mPa s [5] 0.544 mPa s [5] 9.68 μPa s [1] 13.2 μPa s [5]
<b>Vapour Pressure</b> 20°C (68°F)  25°C (77°F)	12.8 kPa [4] (1.856 psia) (96 mm Hg) 16.96 kPa [4] (2.459 psia) (127.2 mm Hg)	<b>Surface Tension</b> 20°C (68°F) 25°C (77°F)	22.6 mN m <sup>-1</sup> [2] 22.07 mN m <sup>-1</sup> [5]
<b>Latent Heat of Vapourization</b> 25°C (77°F)  64.6°C (148.3°F)	37.43 kJ mol <sup>-1</sup> [5] (279.0 cal g <sup>-1</sup> ) 35.21 kJ mol <sup>-1</sup> [5] (262.5 cal g <sup>-1</sup> )	<b>Refractive Index</b> 15°C (59°F) 20°C (68°F) 25°C (77°F)	1.33066 [3] 1.32840 [10] 1.32652 [1]
<b>Heat Capacity at Constant Pressure</b> 25°C (77°F) (101.3kPa) <i>Liquid</i>  <i>Vapour</i>	81.08 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [1] (0.604 cal g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) (0.604 Btu lb <sup>-1</sup> °F <sup>-1</sup> ) 44.06 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [1] (0.328 cal g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) (0.328 Btu lb <sup>-1</sup> °F <sup>-1</sup> )	<b>Thermal Conductivity</b> <i>Liquid</i> 0°C (32°F) 25°C (77°F) <i>Vapour</i> 100°C (212°F) 127°C (261°F)	207 mW m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [5] 200. mW m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [5] 14.07 mW m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [5] 26.2 mW m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> [5]
<b>Coefficient of Cubic Thermal Expansion</b> 20°C 40°C	0.00149 per °C [5] 0.00159 per °C [5]	<b>Heat of Combustion</b> Higher heating value (HHV) (25°C, 101.325kPa ) Lower heating value (LHV) (25°C, 101.325kPa )	726.1 kJ mol <sup>-1</sup> [5] (22.7 kJ g <sup>-1</sup> ) 638.1 kJ mol <sup>-1</sup> [calc] (19.9 kJ g <sup>-1</sup> )
		<b>Explosive Limits (in air)</b>	Lower 6.0(v/v)% [3] Upper 36.5(v/v)% [3]

Tabla 4.3. \*Datos obtenidos del portal del Instituto del Metanol (Methanol Institute MI).

Con respecto al punto de inflamación del metanol, es necesario que los vapores de la sustancia se mezclen con aire y con un agente detonante lo cual no sucedería en este caso ya que es un ciclo de un sistema cerrado donde no hay intercambio de masa solo de calor con el exterior, en principio se pretende exhalar todo el aire dentro de la tubería y que en la misma solo existan los vapores del



metanol. También debe ser un sistema sellado a perfección debido que la toxicidad en la inhalación de sus vapores es sumamente alta.

#### Etano.

Tiene semejantes características solo que se usa más para bebidas embriagantes, y sus puntos de fusión y ebullición distan levemente de ser iguales a los del metanol.

Al mezclarse con el agua forman lo que podríamos llamar una mezcla azeotrópica y en seguida se informan la fórmula química así como sus características:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  con punto de fusión a  $-114.3^\circ\text{C}$  y de ebullición a  $78.4^\circ\text{C}$  con lo que nos damos cuenta que es un poco mayor que el metanol.

En aras de tener un punto de vista más ecléctico a continuación se presenta una comparación numérica entre el metanol y el agua que nos dará el parte aguas para la propuesta física a implementar de una manera más realista y no basada en suposiciones.

### **4.3 Diseño de implementación**

El objetivo principal de esta sección es identificar y sugerir los distintos componentes y modificaciones que se deben hacer para adaptar nuestra propuesta a un automóvil.

#### **4.3.1 Diagrama general de la propuesta**

La figura 4.24 muestra la propuesta del sistema que utilizaremos para recuperar parte del calor desperdiciado en los gases de salida.

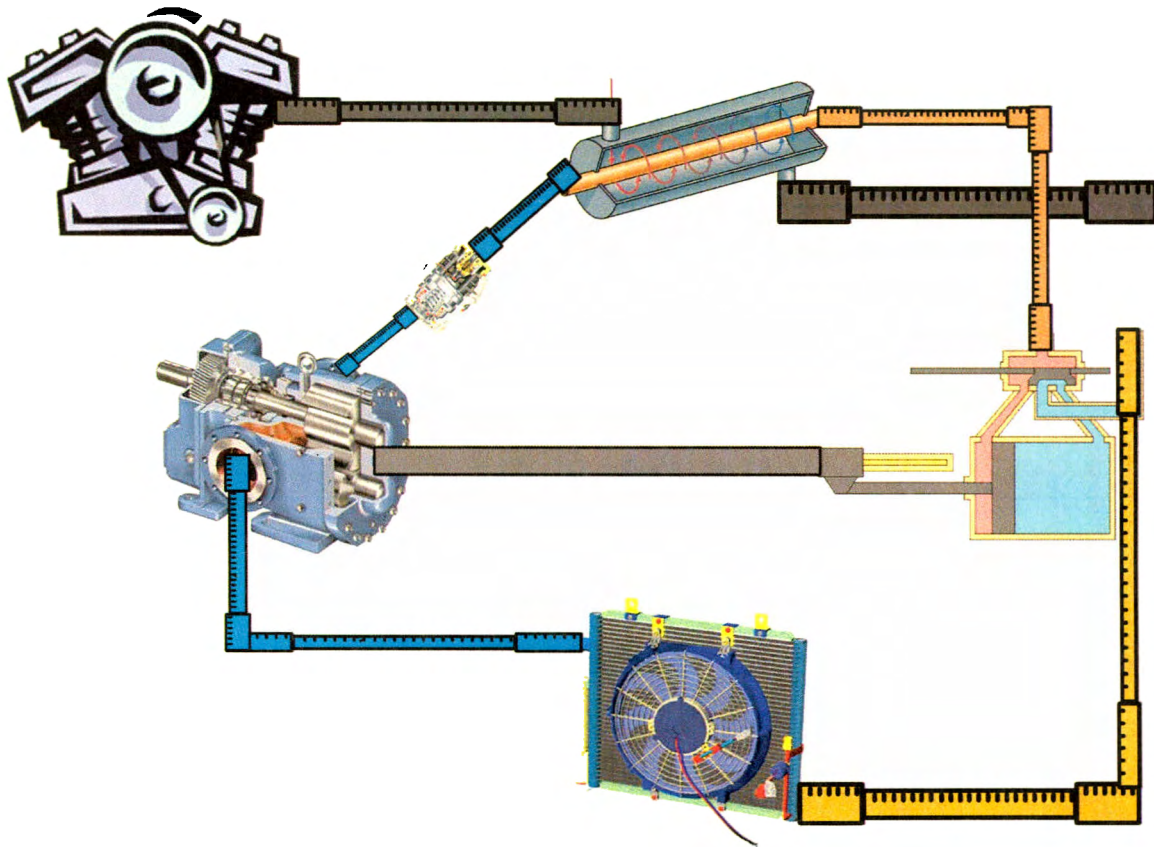


Fig. 4.24. Diagrama general de propuesta final

Un intercambiador de calor para calentar el fluido que será de tubos concéntricos, se ubicara dentro de la tubería de los gases de escape y el fluido a calentar viajara en sentido contrario al fluido que se usara como el que cederá el calor, con base en los cálculos se tiene que las dimensiones necesarias de este requieren una longitud dentro de la tubería de gases de escape de 17.74 cm y un diámetro de 1 cm por supuesto el tubo debe ser de espesor muy delgado para que se pueda despreciar la resistencia de convección dentro de la tubería. Este componente se pretende construir específicamente para nuestra aplicación ya que comercialmente es muy complicado encontrarlo con tan caprichosas características.

En esta parte del proceso se gasta un poco de trabajo debido a que la fricción en las paredes de la tubería le resta energía cinética al fluido de trabajo, además de que en las curvas del tubo se generan turbulencias que se reflejan en más caídas en la energía del fluido.

Otro punto importante en la propuesta es el uso de un termostato de parafina para asegurarse que el fluido que sale del intercambiador es vapor gracias a la calibración del termostato para la temperatura deseada y necesaria para el cambio de fase del fluido.

Para efectos de nuestra turbina en el ciclo Rankine tomamos en cuenta principalmente dos opciones factibles; la turbina de vapor y el motor de vapor. En un principio teníamos solamente contemplada la turbina de vapor ya que es la que pensamos mejor se acoplaría a nuestro proyecto por ser primordialmente una turbina, sin embargo con el paso de la investigación, nos fuimos percatando que debíamos considerar otras opciones. Fue así que con el consejo de nuestro asesor decidimos que el motor de vapor también podría ser una opción factible. De esta manera procedimos a realizar la comparación para deliberar cual sería la mejor opción.

Turbina de Vapor	Motor de Vapor
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se genera vapor de agua por calentamiento directo.</li> <li>• Las turbinas a vapor consideran un cambio de densidad del fluido que pasa a través de los alabes por lo cual trabajan con vapor.</li> <li>• La turbina trabaja con el incremento o decremento de la velocidad del vapor que golpea los alabes, esto provoca el impulso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se genera vapor de agua por calentamiento directo.</li> <li>• Se introduce el vapor a presión dentro del cilindro arrastrando el pistón o émbolo en toda su expansión en un movimiento lineal.</li> <li>• Mediante un mecanismo de biela - manivela, el movimiento lineal alternativo del pistón del cilindro se transforma en un movimiento de rotación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos sumamente altos</li> <li>• Soportan altas temperaturas de motor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo relativamente bajo</li> <li>• Soportan altas temperaturas de vapor</li> </ul>

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricadas de gran tamaño, usadas para aplicaciones industriales como en refineries, plantas de papel y pulpa y en instalaciones de desalinización y en aplicaciones donde se dispone de grandes cantidades de vapor de proceso a baja presión</li> <li>• Soporta altas presiones</li> <li>• Escasa comercialización de turbinas de baja potencia.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricados desde tamaños reducidos para pequeñas aplicaciones, hasta grandes motores de vapor para aplicaciones como barcos o locomotoras.</li> <li>• Soporta presiones moderadas</li> <li>• Alta comercialización para todas las aplicaciones. En caso de motores de baja potencia, existen manuales para una elaboración casera.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabla 4.4. Comparación entre turbinas y motores de vapor

Después de tomar en cuenta las consideraciones mostradas en la tabla anterior, se tomó la decisión de que el lugar de la turbina en nuestro ciclo Rankine, lo ocupa el motor de vapor. Esta decisión considera aspectos como costo, límites de presión y temperaturas necesarias, y principalmente facilidad de obtención ya que después de una exhaustiva investigación, no logramos encontrar fabricantes de turbinas de vapor a bajas presiones y temperaturas. De esta manera el motor de vapor cumple con todos los requerimientos de este componente en nuestro proyecto ya que además de tener un bajo costo, su obtención en el mercado es abundante.

El único punto donde se genera trabajo es dentro del motor de vapor ya que con los gases a la presión adecuada se realiza el movimiento del eje del motor y nos entrega el trabajo efectivo que usaremos para mejorar el rendimiento del motor de combustión interna, el motor que se usará es un motor Pioneer que nos entregara 5 Hp si gira a una velocidad de 600 revoluciones por minuto. Este tipo de motor de vapor requiere que a la entrada se le instale una trampa de vapor que hará la función y asegurara que el vapor que pase al motor no lo dañara en absoluto, la trampa seleccionada es una Armstrong de cubeta invertida.

El siguiente punto del ciclo es que saliendo del motor se introduzca a un condensador para poder ingresarle trabajo a nuestro fluido con la bomba teniendo un fluido de calidad cero, porque de no ser así se tendría que gastar mucho trabajo para imprimirle presión a un gas, el condensador calculado es de flujo cruzado y usará el aire normal para enfriar el fluido, es necesario tener al frente del coche un espacio de 35 por 20 centímetros para asegurarnos que a la salida del condensador el fluido será líquido con calidad cero.

Debido a la geometría más caprichosa en este tipo de condensadores se pierde un poco más de energía cinética del fluido, gastando trabajo por fricción en la tubería.

Para cerrar el ciclo se le introduce el trabajo al fluido mediante una bomba que será una FMC marca ACE y trabaja en un rango de más o menos 9 bar, que es impulsada mediante el mismo cigüeñal del motor, esta bomba en este caso es el componente que más gasta trabajo dentro del ciclo, de manera que el mantenimiento y selección de la bomba es crucial para el ciclo y debe hacerse considerando al fabricante para que no haya pérdidas excedentes por una baja eficiencia de la bomba.

#### **4.3.1.1 Intercambiador de calor**

El intercambiador de calor es el componente más importante en nuestro análisis pues su diseño determinará la cantidad de calor que podemos recuperar e introducir al ciclo Rankine.

El Intercambiador que diseñamos se muestra en la Figura 4.25.

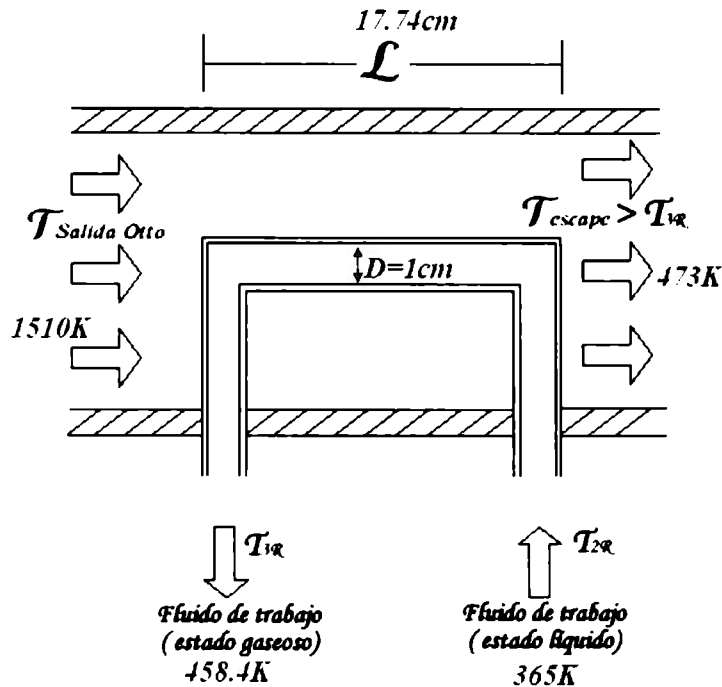


Fig. 4.25. Intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Este intercambiador es de tipo tubos concéntricos, la idea general es introducir un tubo de menor diámetro en la tubería de los gases de salida, de esta forma tendremos una buena transferencia de calor. El fluido de trabajo se hará pasar en sentido contrario al de los gases de salida para maximizar el flujo de calor. Sabemos que los gases salen a una temperatura de  $1510 \text{ K}$ , dato de nuestra simulación, y nosotros propondremos que después de intercambiar calor con nuestro fluido de trabajo reduzcan su temperatura hasta  $473 \text{ K}$ . Esta temperatura debe ser mayor a la que se busca como temperatura final del fluido de trabajo del ciclo Rankine después de ser evaporado. La temperatura del fluido de trabajo ira de  $365 \text{ K}$  (condensado) a  $458.4 \text{ K}$  (evaporado).

Para el diseño del mismo se realizaron las siguientes consideraciones térmicas, donde se calcula en primera instancia el flujo de calor disponible de los gases de salida. Posteriormente se calcula la longitud y diámetro de la tubería interna de nuestro intercambiador, el diámetro de la tubería de

los gases de salida es de 6cm. Con el dato del flujo de calor disponible podemos calcular las propiedades físicas del intercambiador a utilizar como su coeficiente global de intercambio de calor, el cual depende de los fluidos con que trabaja, en nuestro caso agua y aire. Conociendo estos datos podemos determinar las dimensiones físicas del componente las cuales dependen del área de contacto entre los fluidos.

$$T_{escape} \geq T_{3R}$$

$$\dot{Q}_{Rankine} = \dot{m}_{aire} (h_4 - h_{escape})$$

$$\dot{Q}_{Rankine} = U \cdot A_{intercambiador} \cdot \Delta T_{ml}$$

$$A_{intercambiador} = \pi \cdot D_{tuberia} \cdot L$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{agua}} + \frac{1}{h_{aire}} + R_k} ; R_k \approx 0$$

$$Nusselt_{agua} = \frac{h_{agua} D_{agua}}{k_{agua}} = 0.023 \cdot Re^{0.4} \cdot Pr^n$$

$$Re_{agua} = \frac{v_{agua} \cdot D_{tuberia} \cdot \rho_{agua}}{\mu_{agua}}$$

$$Nusselt_{aire} = \frac{h_{aire} D_{aire}}{k_{aire}} = 0.023 \cdot Re^{0.4} \cdot Pr^n$$

$$Re_{aire} = \frac{v_{aire} \cdot D_{tuberia} \cdot \rho_{aire}}{\mu_{aire}}$$

Con estos cálculos podemos determinar la longitud de la tubería de contacto entre los gases de salida con el fluido de trabajo, la cual es de 17.74cm. Del mismo modo se calculó el diámetro de la tubería del intercambiador el cual es de 1cm.

#### 4.3.1.2 Bomba de agua

Se debe bombear el fluido dentro del ciclo rankine a una presión determinada que es delimitada por la capacidad de bombeo de este dispositivo, para nuestros propósitos es conveniente que sea de 9 bar para que la fricción dentro de la tubería no sea demasiado grande pero

con esta presión se asegura un trabajo otorgado por el motor de vapor considerablemente alto, se propone una bomba mecánica (se entiende que sea movido por un dispositivo mecánico y no eléctrico, el impulso es aprovechando el movimiento del cigüeñal) que tenga las siguientes características, es una bomba ACE modelo FMC-MAG-D.

Los modelos de bombas centrífugas Ace accionados por embrague magnético están disponibles con rotación anti horaria (ccw) y horaria (cw). La orientación de la rotación se determina cuando se está frente al eje. Las medidas disponibles son 1 1/4" x 1", 1 1/2" x 1 1/4" y 2" x 1 1/2".

- ❖ 58 pies. lb. (78,6 NM) capacidad de torque.
- ❖ Polea mecanizada forjada para máxima resistencia.
- ❖ Rotor forjado sólido para maximizar el torque.
- ❖ Recubrimiento epóxico para una máxima protección contra la corrosión.
- ❖ Dos cojinetes de larga duración con grasa de larga temperatura.
- ❖ Transmisión de correa individual y doble.
- ❖ 4 3/4" (12,1 CM) de diámetro.

La siguiente Figura 4.26 es su gráfica de operación para diferentes presiones en función de la velocidad de giro del impulsor.

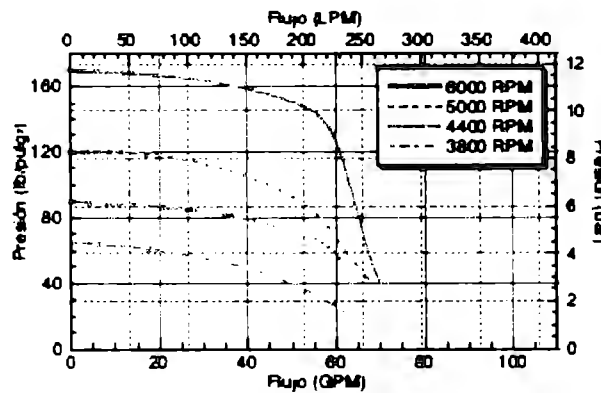


Fig. 4.26. Gráfica de operación de bomba centrífuga.



Como se puede observar se tiene que la gráfica nos otorga valores concernientes a nuestras necesidades de presión del sistema, todos en función de una velocidad necesaria.

#### 4.3.1.3 Motor de vapor

Como se mencionó anteriormente, se tomó la decisión de utilizar un motor de vapor en vez de una turbina. En el mercado hay una buena variedad de motores de vapor para diversas aplicaciones; se realizó una amplia investigación de motores que se podrían utilizar en nuestra aplicación y se encontró que las mejores alternativas son las utilizadas en pequeñas embarcaciones, nuestra propuesta se muestra a continuación.

El motor que se propone para el sistema de mejora de eficiencia de MCI es un motor de la marca Pioneer, Figura 4.27, usado principalmente para pequeñas embarcaciones, sus características son las siguientes:

- ❖ HP @ 125psi & 600rpm: 5
- ❖ Numero de Cilindros: 2
- ❖ Calibre y Golpe: 2.5" + 3.75" x 2"
- ❖ RPM nominales: up to 750
- ❖ Pres. de Vapor Nominal: max 150psi
- ❖ Consumo de Vapor: 140-150lb/hr
- ❖ Inversión de Engranaje: Slip Eccentric
- ❖ General: 10" W x 20.75" L x 18.5" H

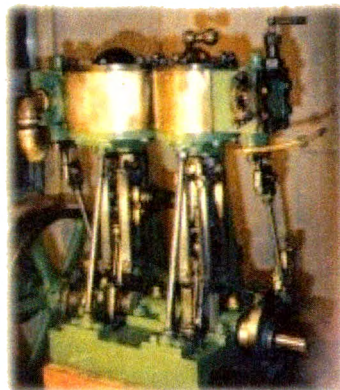


Fig. 4.27. Motor de vapor Pioneer

#### 4.3.1.4 Condensador

Para completar el ciclo Rankine, es necesario llevar al fluido de trabajo, de vapor a líquido. Para ello es necesario el condensador. En esta sección describiremos de manera breve las consideraciones, cálculos necesarios para determinar las características y dimensiones del mismo.

La ecuación 26 nos será de utilidad para realizar éste análisis. De los elementos que componen dicha ecuación conocemos el flujo de calor, el cuál la cantidad de energía que se busca disipar con el condensador. Para adecuar la nomenclatura al programa realizado lo denominaremos

$\dot{Q}_{Rankine}$ .

$$\dot{Q}_{Rankine} = U * A * \Delta T_{ln} \quad 26$$

También es posible determinar la temperatura media logarítmica de los fluidos del condensador. La ecuación 27, sirve para ello.

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{Salida} - \Delta T_{Entrado}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{Salida}}{\Delta T_{Entrado}}\right)} \quad 27$$

Para el caso del coeficiente global de transferencia de calor la literatura indica que, para el tipo de fluido que utilizaremos, puede variar de 400 W/m<sup>2</sup> K. a 4000 W/m<sup>2</sup> K. Para nuestro análisis propondremos éste último valor.

Con los datos mencionados con anterioridad es posible conocer la superficie de contacto que debe poseer nuestro condensador. A partir de los datos obtenidos de nuestra programación se determinó que dicha superficie debe ser de 0.8843m<sup>2</sup>.

El intercambiador de calor que se propone como condensador sería de flujo cruzado con fluidos separados. A partir del área de superficie, es posible determinar las dimensiones del mismo. De la ecuación 28 proponemos tubos con diámetro interior  $D_i=0.7\text{cm}$  y una longitud de 35 cm. Al determinar el número de tubos necesarios para el condensador ( $n$ ) obtenemos que se necesitan 114 tubos. Para proporcionarnos un margen de tolerancia manejaremos  $n=120$  tubos.

$$A = n\pi D_i L \quad 28$$

A partir de estas dimensiones podemos conocer el volumen que ocupará el condensador. De la ecuación 29 es posible obtener este dato, el cual tiene como valor  $1616\text{cm}^3$ .

$$V_{\text{condensador}} = n * \pi * r^2 * L \quad 29$$

Con todos estos datos las dimensiones propuestas para el condensador quedan de la siguiente forma; largo=35cm, ancho=5cm y alto=15cm. Si se obtiene el volumen del condensador con estas dimensiones, se observará que el mayor  $V_{\text{condensador}}$ . Esto se debe a que éste último no considera que los tubos deben tener cierta separación.

#### **4.3.1.5 Termostato**

Un dispositivo como este solo interrumpe el flujo de algún tipo de fluido, o de electrones en un circuito eléctrico todo en función de una temperatura determinada, evidentemente esto se hace para propósitos muy específicos al tratar de mantener la temperatura cercana a una interesada, por ejemplo en un motor de combustión interna el propósito es que se tenga una interrupción del fluido refrigerante hasta que el motor opere a su temperatura óptima que regularmente es de  $90^\circ\text{C}$  para que el aceite y los componentes trabajen de manera correcta, en un circuito eléctrico de aire acondicionado podría ser el activar a desactivar el

compresor por medio de este termostato para mantener frío un lugar. Existen en el mercado distintos tipos de termostatos.

Los más comúnmente usados son los llamados "bi-metálicos" que usan dos placas de diferentes materiales y por consecuencia con diferentes coeficientes de dilatación térmica, cuando la temperatura cambia, la forma cambia por lo que conectan regularmente algún tipo de circuito eléctrico con solo doblarse.

También se encuentran los llamados "de gas" que son tubos de metal el cual contiene un gas, en cuanto el gas se calienta y se expande, se empuja una válvula que realiza una determinada función dentro del sistema. Los de "parafina" funcionan de manera que al calentarse la parafina se expande separando el termostato de entre sus componentes y permitiendo el paso de un fluido, tal cual se describe para el termostato del sistema de refrigeración de los automóviles, cuando el fluido baja su temperatura el resorte baja otra vez el termostato y elimina el paso de ese fluido otra vez.

Los electrónicos que están cobrando una gran demanda hoy en día gracias a la implementación cada vez mayor del control de procesos mediante sistemas digitales y lo único que varía es que lo que se lee es la corriente eléctrica o el voltaje para la detección de la temperatura deseada o no deseada, se llaman termistores a este tipo de dispositivos y casi siempre varían su resistencia con respecto a la temperatura.

¿Por qué necesitamos usar un termostato?, cuando se enciende el coche en las mañanas existe un tiempo para que el sistema de escape alcance la temperatura deseada y pueda llevar nuestro fluido de trabajo a vapor, en aras de asegurarnos de eso, necesitamos interrumpir nuestro fluido de trabajo hasta que alcance la temperatura deseada en la salida del intercambiador para que cuando el fluido entre al motor de vapor no se tengan problemas de operación y no se dañe el motor de vapor.

Para nuestros fines se usará un termostato de glicerina y parafina debido a que es de fácil implementación y además muy confiable por su operación completamente mecánica, calibrado a una temperatura de 180°C que es lo que necesitamos para llevar a vapor nuestro liquido de trabajo, se propone el termostato Clorius con una fuerza de cierre de 400N con rangos de control que van desde -30°C a 280°C, que opera mediante una sonda que medirá la temperatura para con el otro extremo dar paso o no al fluido de manera que se rellena un extremo del termostato con la glicerina y la parafina. A continuación una grafica del termostato, figura 4.28.

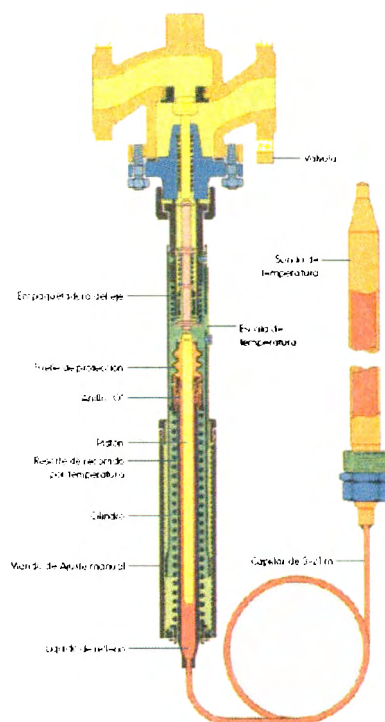


Fig. 4.28. Termostato

#### 4.3.1.6 Trampa de vapor

Una trampa de vapor es una válvula automática la cual tiene como misión atrapar todo el condensado sin permitir que escape vapor vivo, evidentemente debe realizar esto sin que exista una caída de presión o de temperatura, también debe eliminar el aire y otros gases no condensables ya que disminuyen el coeficiente de transferencia de calor.

Existen tres tipos de trampas de vapor: Termostáticas, Mecánica y Termodinámicas. En la primera se opera mediante la diferencia de temperatura entre el condensado y el vapor, en la segunda la trampa se basa en la diferencia de densidades de los dos fluidos (condensado y vapor) y por último en la termodinámica se basa el proceso en el cambio de estado que sufre el condensado.

La eficiencia de cualquier equipo o instalación que utilice vapor está en función directa de la capacidad de drenaje de condensado, por ello es fundamental que la purga de condensados se realice automáticamente y con el diseño correcto.

Hay tres tipos de falla, que han sido encontradas en las trampas de vapor:

Falla de posición cerrada, que es notable por el pobre comportamiento del equipo debido a inundaciones con condensado. Esta clase de falla pasa desapercibida en las tuberías de vapor.

Falla en la posición abierta, que causa pérdidas de vapor vivo. Las trampas frecuentemente descargan a un sistema de retorno de condensados y el vapor vivo que sale por el tanque de almacenamiento puede indicar problemas, no obstante es difícil localizar la trampa defectuosa.

Operación deficiente, que es la falla más común, y también la más difícil de identificar y localizar; resultando la pérdida de vapor. Puede ser causada por numerosas razones específicas a cada tipo de trampa y los ejemplos son excesivamente repetitivos; cierre incompleto de válvulas, cierre lento en respuesta al vapor, etc.

La seleccionada de entre la gama de trampas comerciales es la "trampa de cubeta invertida de hierro fundido" para presiones hasta de 17 bar y capacidades hasta de 9,091 kg/hr, Figura 4.29. El principio de operación de cubeta invertida es el principio más confiable conocido

hasta ahora, dado que provee un drenaje continuo de condensados para cualquier clase de equipo que utiliza vapor. Y al combinarse este principio con la durabilidad del hierro fundido se obtienen dobles ventajas. Las cubetas invertidas de Armstrong hechas de hierro fundido operan eficientemente por un periodo de tiempo más largo, lo cual resulta en ahorros de energía, además de costos más bajos por mano de obra y reparaciones. Todas las trampas de vapor de cubeta invertida hechas de hierro fundido son totalmente reparables, inclusive los modelos con entrada/salida laterales se pueden reparar mientras el equipo está operando lo que resulta en un ahorro adicional en el costo de mantenimiento.



Fig. 4.29. Trampas de agua

#### **4.4 Otra alternativa**

##### Efecto Seebeck.

Algunos de los sistemas de conversión para producir electricidad son también llamados convertidores de energía directa, existen maneras de convertir la energía térmica directamente a energía eléctrica en un convertidor termoeléctrico y en un convertidor termoiónico entre otros.

##### Convertidores Termoeléctricos.

La operación de un generador termoeléctrico depende totalmente de lo que se llama el efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thompson. El efecto Seebeck fue descubierto en 1821 por el físico alemán Thomas Johann Seebeck descubre una propiedad termoeléctrica, misma

que recibe su nombre. El efecto consiste en la conversión de una diferencia de temperaturas en una diferencia de voltaje con la ayuda de dos materiales diferentes. Estos materiales deben ser metales o semiconductores de diferentes características, unirse y mantener una diferencia de temperatura. El voltaje se induce al someter las juntas entre ambos materiales a una diferencia de temperatura.

Se le conoce como coeficiente Seebeck a la propiedad de un material y nos otorga una tasa de cambio de potencial termoeléctrico con respecto a la temperatura.

$$S = \frac{dE_s}{dT} \quad 30$$

Con esto podemos deducir el voltaje generado en un circuito compuesto por dos materiales diferentes como sigue:

$$E_s = \int_{T_L}^{T_H} (S_a - S_b) dT = \int_{T_L}^{T_H} S_{ab} dT \quad 31$$

El coeficiente combinado Seebeck queda definido como positivo si la corriente en el circuito fluye de A hacia B siendo este último el metal frío de la junta.

Dependiendo de los diferentes materiales se tienen distintos coeficientes y es lo que como se ve en la ecuación delimita de manera directa la capacidad de generar electricidad a partir de un dispositivo como el propuesto. A continuación se presenta una tabla 4.5 de coeficientes para distintos materiales (los más comúnmente usados). La tabla se obtuvo de "Principles of Energy Conversion" de Archie W. Gulp Jr. McGraw Hill.



<b>Material</b>	<b>Seebeck Coeff. *</b>	<b>Material</b>	<b>Seebeck Coeff. *</b>	<b>Material</b>	<b>Seebeck Coeff. *</b>
Aluminum	3.5	Gold	6.5	Rhodium	6.0
Antimony	47	Iron	19	Selenium	900
Bismuth	-72	Lead	4.0	Silicon	440
Cadmium	7.5	Mercury	0.60	Silver	6.5
Carbon	3.0	Nichrome	25	Sodium	-2.0
Constantan	-35	Nickel	-15	Tantalum	4.5
Copper	6.5	Platinum	0	Tellurium	500
Germanium	300	Potassium	-9.0	Tungsten	7.5

\*: Units are  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ; all data provided at a temperature of  $0^\circ\text{C}$  ( $32^\circ\text{F}$ )

Tabla 4.5. Coeficientes de distintos materiales.

Se encontró dentro del mercado una opción bastante viable con respecto a celdas de producción de energía eléctrica en base a la térmica que se basa en Telurio y Bismuto para la generación y además en una sola celda tiene una conjunción de 126 dispositivos como el propuesto en una geometría muy pequeña, solo se encontró este productor en China "Taihuaxing Thermoelectric Power Module Generator". A continuación se presentan los datos.

TEP1-1264-1.5

- Size: 40mmx40mm
- Open circuit voltage: 8.6volts
- Internal resistance: 3 Ohm
- Match load output voltage: 4.2V
- Match load output current:: 1.4A
- Match load output power:: 5.9W
- Heat flow through the module: about 140watts
- Heat flux: about 8.8watts/cm<sup>2</sup>

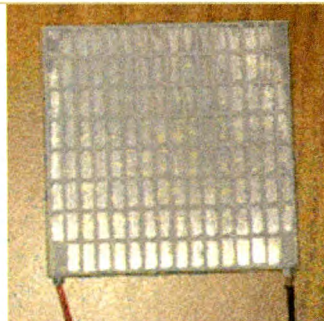


Fig. 4.30. Celda de efecto Seebeck

Para corroborar la factibilidad en base a los datos de la tabla y la ecuación de entrega de voltaje, considerando como base el telurio y el material frío como el bismuto. Se tiene

$$E_s = (500 \times 10^{-6} - (-72 \times 10^{-6})) \cdot 200 = 0.1144 \text{ V} \quad 32$$

Se consideran una diferencia de temperatura de 200°C debido a que a esa temperatura fue probado el voltaje en las especificaciones del productor. Eso se multiplica por los 126 dispositivos que vienen en una celda como esa:

$$V_{total} = E_s \cdot 126 = 14.41 \text{ V} \quad 33$$

Como podemos observar teóricamente podríamos obtener de una celda como esa un valor de 14.41 volts, lo cual es teórico y por las pérdidas en el flujo de calor al ambiente y las caídas de voltaje en el circuito, son bastante factibles los datos del fabricante, por lo cual vemos como una opción bastante buena el introducir este tipo de dispositivo para obtener electricidad del calor desperdiciado.

Al ponernos en contacto con el productor conseguimos los precios y la recomendación del mismo para la aplicación en particular. El costo varía con respecto a cuantas celdas se pretenden comprar y la tabla es por cada pieza.

Si se compran 10 piezas se pagarían 90 dólares americanos por cada uno, si se compran 100 piezas se pagarían 50 dólares y por ultimo si se compran 10000 costaría 26 dólares cada celda.

## **4.5 Conclusiones**

En este capítulo se realizaron los análisis y consideraciones correspondientes para determinar la factibilidad técnica de la propuesta de implementación de un ciclo Rankine como medio para mejorar la eficiencia de un motor de combustión interna.

Se comenzó por realizar un análisis de la temperatura a la cual salen los gases de escape, así como la potencia en el MCI. La consideración primordial fue que la factibilidad del buen funcionamiento del ciclo Rankine depende enteramente de que la temperatura de los gases de escape sea mayor a los 250°C, lo cual garantiza un buen funcionamiento, tomando en cuenta que el fluido utilizado es agua.

Cabe mencionar que para la determinación de esta propuesta final se tuvieron que descartar mediante análisis los 2 ciclos termodinámicos restantes considerados, el ciclo Brighton, principalmente porque requería mayor trabajo que el que aportaba al sistema, provocando pérdidas, y el ciclo Stirling porque a pesar de que tiene una gran eficiencia de ciclo, el trabajo que arroja es muy pequeño debido a que se maneja a calor constante; situación que es sumamente difícil de controlar en situaciones reales.

A partir de los resultados arrojados por el análisis y simulación del ciclo, se proponen componentes reales los cuales forman parte de una propuesta de implementación y satisfacen el óptimo funcionamiento de la propuesta para una mejora en el MCI.

## 5. Conclusiones generales

A lo largo de este año de investigación y desarrollo de una propuesta de solución al aprovechamiento de energía desperdiciada en un MCI, finalmente se llegan a resultados concretos lo cuales muestran una total viabilidad de este proyecto.

Durante todo este periodo se comenzó simplemente con una vaga idea en la cabeza. Esta idea partió solo del conocimiento de que los gases de escape de un motor de combustión interna eran expulsados a temperaturas extremadamente altas y que la energía sobrante del ciclo Otto la cual provocaba estas mediciones de temperatura, era disipada por medio de calor al ambiente.

De esta manera, partiendo del conocimiento antes mencionado, nuestro objetivo fue diseñar un sistema, el cual permitiera el aprovechamiento la energía desperdiciada en forma de calor debida a los gases de escape de un MCI.

Se comenzó analizando las diferentes herramientas de análisis de motores que existen en el mercado. Nos topamos con un sin número de softwares, los cuales cumplían diferentes propósitos dentro de la industria automotriz, así como programas que analizan ciclos termodinámicos.

Para efectos de nuestro proyecto y a recomendación de nuestro asesor, decidimos que el software EES era el indicado para cubrir las necesidades de análisis de ciclos químicos y termodinámicos, así como de simulación que requerimos.

Las investigaciones comenzaron con el ciclo Otto y su funcionamiento, específicamente se trataba de encontrar la manera de cuantificar la energía que era introducida al sistema. El camino adecuado para responder a la incógnita fue una exhaustiva investigación acerca de las diferentes gasolinas existentes en el mercado. Se investigaron los

principales componentes de los combustibles, así como el aporte energético que estos proporcionaban al sistema, sin embargo no poseíamos la información específica de la composición de combustibles reales usados en la Ciudad de México, es decir, las gasolinas de PEMEX. No fue sino hasta que recibimos respuesta de esta empresa que pudimos realizar el balance energético de entrada que se genera en un ciclo Otto a partir de la combustión de la mezcla oxígeno gasolina.

Con datos de entrada del sistema se realizó un análisis inicial teórico del ciclo Otto. La herramienta para este análisis fue el EES. De esta manera se determinó la eficiencia del ciclo, lo más apegada a la realidad posible.

En paralelo a la investigación de gasolinas, se investigaron alternativas de generación de energía a partir de calor. De aquí surgieron elementos interesantes para nuestro proyecto. Se encontraron sistemas de transformación de energía calorífica en energía eléctrica por conducción mediante efecto Seebeck y Peltier, así como varios ciclos que generan energía mecánica a partir de la calorífica como son Ciclo Rankine, Brighton y Stirling.

Una vez contempladas las opciones de mejora al sistema MCI, se realizaron los respectivos análisis a los sistemas para comprobar su factibilidad en una posible implementación futura. Así mismo se consideraron aspectos como costos, dificultad de obtención en el mercado, facilidad de implementación entre otros.

Para los análisis antes mencionados, se realizaron mediciones de las diferentes temperaturas presentadas en los tubos de escape de un MCI. Para estas mediciones se ocupó el motor de un automóvil de 2.0L, el cual se encontraba montado sobre una estructura metálica en el taller de mecánica del ITESM. Este motor fue sometido a reparaciones para lograr su correcto funcionamiento ya que en su estado inicial se encontraba en desuso y con problemas para su encendido.

Después de realizar los análisis y tomar en cuenta todas las consideraciones pertinentes, llegamos a la conclusión que la manera más factible y sencilla de aumentar la eficiencia de un MCI es la implementación de un ciclo Rankine acoplado al sistema de escape, el cual generara trabajo que se puede introducir nuevamente al sistema para hacer al sistema y así aprovechar la energía desperdiciada.

Una vez con el ciclo propuesto, se busco la manera de buscar los componentes mas adecuados, los cuales integran el ciclo.

De esta manera nuestro intercambiador de calor de donde se acoplará el ciclo Rankine al sistema del motor de combustión interna es un intercambiador de tubos concéntricos.

Para el desarrollo de este componente del ciclo se requirieron análisis para determinar dimensiones apropiadas, las cuales nos permitirían la obtención de la energía suficiente de entrada, necesaria para hacer de nuestro ciclo Rankine una propuesta totalmente viable.

De la misma forma, mediante análisis y consideraciones se decidió que la función de la turbina seria realizada por la adaptación de un motor de vapor, el cual fue sometido a pruebas físicas para demostrar su viabilidad.

Para el intercambiador de calor condensador y la bomba la cual recircula el liquido a mayor presión, se dictaron características especificas las cuales se obtuvieron como resultado de la simulación lo más cercana posible a la realidad.

Finalmente obtenemos una propuesta bien estructurada de mejora de eficiencia al motor de combustión interna mediante la implementación de un ciclo Rankine, totalmente factible. Los resultados obtenidos, son las bases que se tienen para una óptima implementación en un futuro, la cual garantiza el correcto funcionamiento y mayor eficiencia en el MCI.

Respecto a los objetivos planteados al principio del proyecto, se concluye de manera exitosa, ya que de manera computacional se logra tener una simulación completa, la cual demuestra la total viabilidad de la propuesta mediante el análisis de todos y cada uno de los componentes referidos al sistema de mejora.

Ya con la propuesta comprobada y analizada en simulación, se realiza una propuesta física la cual utiliza elementos que satisfacen nuestra propuesta, sin embargo para una implementación real se tendrá que buscar los componentes que además de cumplir con las especificaciones que solicitamos, cumplan con la optimización del espacio y peso las cuales impliquen un mayor aprovechamiento de la energía.

Para una implementación real será necesario analizar la manera más conveniente de acoplar el trabajo generado debido a nuestro sistema, dentro del MCI.

De la misma manera y como proceso de mejora a nuestro proyecto, se debe realizar un análisis a detalle de los posibles fluidos los cuales sustituirían al agua, mejorando de esta manera aun más la eficiencia del motor.

Finalmente y una vez conocido lo anterior, no se debe descartar la factibilidad de poder realizar la fabricación en serie de este sistema. Así pues, un completo análisis de costos para esta posibilidad debe de ser considerado.

## 5. Bibliografía

- ❖ PEMEX (1998). Hoja de Datos de Seguridad de Substancias (MSDS), PEMEX PREMIUM (1) Z. M. V. M.
- ❖ PEMEX (1998). Hoja de Datos de Seguridad de Substancias (MSDS), PEMEX MAGNA (1) Z. M. V. M.
- ❖ Cengel, Y. y Turner R. (2005). *Fundamentals of thermal-fluid sciences*. N. Y., EE.UU.: McGraw Hill.
- ❖ Archie W. Gulp Jr, "Principles of Energy Conversion". McGraw Hill.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 1.2 Historia del Automóvil*. España: Alfaomega.
- ❖ Datos obtenidos en octubre 16, 2007, de: <http://es.autoblog.com/2006/03/16/inventan-un-motor-de-seis-tiempos-que-aprovecha-el-calor-de-la-e/>
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 1.2 Historia del Automóvil* España: Alfaomega.
- ❖ Condori M., M. A. (2007). Especialidad de Mecánica Automotriz. Obtenido en Octubre 15, 2007, de <http://www.monografias.com/trabajos15/automovil-historia/automovil-historia.shtml>.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ (1994) Readers Digest. "Funcionamiento y Desempeño del MCI" (2da Ed.)
- ❖ Readers Digest, "Automóviles" , 2da Edición.
- ❖ Manrique Valadez, J. A. (2001). *Termodinámica*. (3ra. Ed.). Recolección de los datos, en capítulo 8 Energía disponible, trabajo máximo y disponibilidad. Oxford.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ Mezquita Font, J. y Dols Ruiz, J. F. (Agosto de 2004). *Tratado sobre automóviles TOMO1*. Recolección de los datos, en *capítulo 4 Sistema Motor*. España: Alfaomega.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). (pg. 50) Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ Choppin, G. y Jaffe, B. (1974). *Química*. México D.F., México: Publicaciones Cultural S.A.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). (pg. 57) Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). (pg. 66) Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). (pg. 83) Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ Haberman, W. (1996). *Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor*. (pp. 363-371). México: Trillas.
- ❖ Datos obtenidos en octubre 16, 2007, de: <http://www.virtualengine2000.com/>
- ❖ Datos obtenidos en octubre 16, 2007, de: [http://www.fceia.unr.edu.ar/fceia1/mecanica/Automotores/simulador\\_motor\\_index.htm](http://www.fceia.unr.edu.ar/fceia1/mecanica/Automotores/simulador_motor_index.htm)
- ❖ Haberman, W. (1996). *Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor*. (pag. 601). México: Trillas.
- ❖ Stone, R. (1999). *Introduction to Internal Combustion Engines*. (3ª Ed.). (pg. 83) Gran Bretaña: MacMillan Press.
- ❖ <http://club.telepolis.com/geografo/general/contaminacion.htm>
- ❖ Datos obtenidos en octubre 16, 2007, de: <http://debates.coches.net/archive/index.php?t-50768.html>
- ❖ <http://cccae.mforos.com/363334/3315259-medicion-de-potencia-sae-din-el-torque-ese-gran-desconocido/>
- ❖ [http://www.coleparmer.com/catalog/product\\_view.asp?sku=8730400](http://www.coleparmer.com/catalog/product_view.asp?sku=8730400)
- ❖ <http://www.opticsplanet.net/control-company-vwr-infrared-thermometer-gun-with-laser-beam-sighting-4470.html>
- ❖ <http://www.ingeciber.com/productos/adams.php>
- ❖ <http://www.ricardo.com/engineeringservices/software.aspx>
- ❖ <http://www.extern-biosoft.com/2008/01/fluent-6118-diseno-cfd-full.html>



## 6. Anexos

### 6.1 Programación

{ANALISIS TERMODINAMICO DE UN CICLO OTTO}

Un ciclo Otto ideal tiene una relación de compresión de 8. Al inicio del proceso de compresión el aire tiene una presión de 77.1kPa, a 40C.

Considerando la variación de los calores específicos con la temperatura se calcula:

- (a) P y T en cada punto del ciclo
- (b) Trabajo neto de salida y  $H_p$  @  $w=3000\text{rpm}$
- (c) Eficiencia térmica }

{DATOS OTTO}

{ DATOS INICIALES}

$P_1=77.1$  {1atm=101.325kPa}  
{para la ciudad de mexico es de 77.1kPa}  
 $T_1=313$  {T ambiental 40°C}  
 $rc=8$  {relacion de compresión}  
 $rpm=3000$  {relacion de compresión}  
 $\omega=rpm*((2*\pi)/60)$   
 $R_{air}=0.287$  {Rair, constante R del aire kJ/kgK}  
 $V_{max}=0.00045$  {volumen máximo de un cilindro}  
 $np=4$  {número de pistones}  
 $H_{comb}=41908$  {calor de combustion octano 44432.456}  
{propuesta gasolina 41908}  
 $rac=17.15$  {relacion aire combustible}  
 $M=0.034518$  [kmol/kg] {numero molar del fluido de trabajo Aire}  
 $b=0.01967$  [kJ/kmol K] {Cp como funcion de la temperatura  
constante b}  
 $k=0.000004802$  [kJ/kmol K<sup>2</sup>] {Cp como funcion de la temperatura  
constante c}  
 $K1=0.000008128$ [s/K]  
 $K2=0.00001867$ [s/K]  
 $\eta_{combustion}=0.8$  {El proceso de combustión es 100%  
efectiva, además el calor aportado por el combustible puede variar}  
 $\eta_{mecanicamotor}=0.80$

$m_{aire}=(P_1*V_{max})/(R_{air}*T_1)$  { masa de aire }  
 $m_{combustible}=m_{aire}/rac$   
 $Q_{HMCI}=(H_{comb}/rac)*\eta_{combustion}$  {Q\_HMCI es calor otorgado por el  
combustible/ masa de aire}

{ Calculo de P y T en todos los puntos}  
 $v_1=Volume(Air,T=T_1,P=P_1)$  {sabemos que  $rv=v_1 / v_2$ }  
 $v_2=v_1/rc$   
 $s_1=Entropy(Air,T=T_1,P=P_1)$  {la entropia se mantiene constante en  
puntos 1-2 y 3-4}  
 $P_2=Pressure(Air,s=s_1,v=v_2)$   
 $T_2=Temperature(Air,s=s_1,v=v_2)$  {regla de las fases de Gibbs: con solo 2  
propiedades independientes puedo}

termodinamica T,V energia dentro de la campana} {determinar cualquier otra propiedad}

u\_1=IntEnergy(Air,T=T\_1)

u\_2=IntEnergy(Air,T=T\_2) {en este ejemplo se desprecia gasolina por ser pequeña su relacion respecto al aire}

u\_3=Q\_HMCI+u\_2

T\_3=Temperature(Air,u=u\_3)

P\_3=Pressure(Air,T=T\_3,v=v\_2)

s\_3=Entropy(Air,T=T\_3,P=P\_3)

T\_4=Temperature(Air,s=s\_3,v=v\_1)

P\_4=Pressure(Air,T=T\_4,v=v\_1)

u\_4=IntEnergy(Air,T=T\_4)

h\_4=Enthalpy(Air,T=T\_4)

{Modificaciones considerando Cv y Cp variables}

P\_cv=((M\*(b\*(T\_3+T\_1-T\_2-T\_4)+0.5\*k\*(T\_3^2+T\_1^2-T\_2^2-T\_4^2)))/(K1\*(T\_3-T\_2)+K2\*(T\_4-T\_1))) \*convert(kW,hp)

{ TRABAJO DEL CICLO Y POTENCIA INDICADA OTTO}

Q\_LMCI=u\_4-u\_1 {kJ}

W\_ciclo\_otto= 8\*(Q\_HMCI)-Q\_LMCI {75% del calor de combustion Q\_HMCI se aprovecha, trabajo del ciclo [kJ]}

eta\_motor=W\_ciclo\_otto/Q\_HMCI

P\_otorgada\_MCI=(m\_aire\*W\_ciclo\_otto\*np\*omega\*eta\_mecanicamotor)/2 {Potencia [kW]}

P\_otorgada\_MCI\_Hp=(P\_otorgada\_MCI\*convert(kW,hp))-P\_cv {Potencia [Hp]}

eta\_carnot\_MCI=1-(T\_1/T\_3)

eta\_carnotpropuesta=1-(T\_1/T\_4)

Q\_puntoLMCI=m\_aire\*Q\_LMCI\*omega/2\*np {Kwatts}

Exergia\_QL\_hp=Q\_puntoLMCI\*eta\_carnotpropuesta\*convert(kW,hp) {Hp}

{exergia util}

W\_MCI=(2\*(P\_otorgada\_MCI\_HP)/convert(kW,hp))/(m\_aire\*np\*omega\*eta\_mecanicamotor)

eta\_MCI=W\_MCI/Q\_HMCI

{-----}

{-----}

{Rankine Corregido y revisado}

{Datos de entrada}

P\_3Rankine=9\*convert(bar,kPa) {Dato de la bomba}

P\_4Rankine=0.75\*convert(bar,kPa) {Presion atmosférica}

eta\_motorvapor=0.85

eta\_bomba=0.7

T\_airei=25+273[K]

T\_airef=45+273[K]

{Relaciones termodinámicas ciclo ideal}

P\_3Rankine=P\_2Rankine

P\_1Rankine=P\_4Rankine

T\_1Rankine=T\_4Rankine  
s\_3Rankine=s\_4Rankine  
s\_2Rankine=s\_1Rankine

{ANALISIS ENERGÉTICO}

{Punto 3. Analisis en el motor de vapor}

s\_3Rankine=Entropy(Steam,T=T\_3Rankine,P=P\_3Rankine)  
h\_3Rankine=Enthalpy(Steam,T=T\_3Rankine,s=s\_3Rankine)  
W\_motorvapor=h\_3Rankine-h\_4Rankine  
W\_motorvapor\_real=W\_motorvapor\*eta\_motorvapor  
h\_4Rankine\_real=h\_3Rankine-W\_motorvapor\_real

{Punto 4. Análisis condensador}

h\_4Rankine=Enthalpy(Steam,s=s\_4Rankine,P=P\_4Rankine)  
T\_4Rankine=Temperature(Steam,P=P\_4Rankine,s=s\_4Rankine)  
m\_aire\_enfriamiento=(Q\_L\_Rankine)/(Cp(Air,T=50)\*(T\_airef-T\_airei))

{Punto 1. Análisis en la bomba de agua}

s\_1Rankine=Entropy(Water,T=T\_4Rankine,P=P\_4Rankine)  
h\_1Rankine=Enthalpy(Water,T=T\_4Rankine,P=P\_4Rankine)  
W\_bomba=h\_2Rankine-h\_1Rankine  
W\_bombareal=W\_bomba/eta\_bomba  
h\_2Rankine\_real=W\_bombareal+h\_1Rankine

{Punto 2}

T\_2Rankine=Temperature(Water,P=P\_3Rankine,s=s\_1Rankine)  
h\_2Rankine=Enthalpy(Water,T=T\_2Rankine,P=P\_3Rankine)

Q\_H\_Rankine=h\_3Rankine-h\_2Rankine\_real {kJ/kg}  
Q\_L\_Rankine=h\_4Rankine\_real-h\_1Rankine  
W\_Rankine=W\_motorvapor\_real-W\_bombareal

{eficiencias calculadas}

eta\_cicloRankine=W\_Rankine/Q\_H\_Rankine  
eta\_carnotRankine=1-(T\_1Rankine)/(T\_3Rankine)

{-----  
-----}

{Acomplamiento Otto-Rankine}

T\_escape=473 [K] {Es la temperatura a la que esperamos  
queden los gases despues de nuestro intercambiador}  
h\_escape=Enthalpy(Air,T=T\_escape)  
cp\_aire=Cp(Air,T=(T\_4+T\_escape)/2)  
rho\_aire=Density(Air,T=(T\_4+T\_escape)/2,P=P\_1)  
flujo\_aire=m\_aire\*np\*omega/2 {Flujo de aire que circula por el sistema de  
escape}  
{Q\_HRankine=flujo\_aire\*(h\_4-h\_escape) {Energia que entraria en el ciclo rankine  
kJ/s}}

```

T_sat=175.38+273
T_3Rankine=T_sat+10
vel_aire=4*flujo_aire/(rho_aire*pi*D_escape^2)

A_intercambiador=Q_puntoHRankine/(U*T_ML)
T_ML=((T_escape-T_2Rankine)-(T_4-T_3Rankine))/ln((T_escape-T_2Rankine)/(T_4-T_3Rankine))
    {diferencia de temperaturas media logaritmica}
L_intercambiador=A_intercambiador/(pi*D_tuberia)

rho_agua=Density(Water,T=T_2Rankine,P=P_3Rankine)
vel_agua=1.7
A_transversal_agua=flujo_agua/(rho_agua*vel_agua)
h_fg_agua=2031.1 {a 9 bars}
flujo_agua=Q_puntoHRankine/(h_fg_agua)
D_tuberia=sqrt(4*A_transversal_agua/pi)
D_tuberia_exterior=D_tuberia+0.005

U=1/((1/h1)+(1/h2)) {Coeficiente de global de temperatura}
h1=Nusselt_1*k_agua/D_tuberia {coeficiente de transferencia de calor por
convección para el agua}
Nusselt_1=0.023*Re_1^(4/5)*Pr_1^n_1
n_1=0.4
mu_agua=Viscosity(Water,T=T_2Rankine,P=P_3Rankine) {viscosidad}
Re_1=vel_agua*D_tuberia*rho_agua/mu_agua
Pr_1=Prandtl(Water,T=(T_3Rankine+T_2Rankine)/2,P=P_3Rankine)
k_agua=Conductivity(Water,T=(T_3Rankine+T_2Rankine)/2,P=P_3Rankine)

D_escape=0.0848 {calcular}
D_equivalente=(D_escape^2-D_tuberia_exterior^2)/D_tuberia_exterior {caso anular}
h2=Nusselt_2*k_aire/D_equivalente
Nusselt_2=0.023*Re_2^(4/5)*Pr_2^n_2
n_2=0.3
mu_aire=Viscosity(Air,T=(T_4+T_escape)/2)
Re_2=vel_aire*D_equivalente*rho_aire/mu_aire
Pr_2=Prandtl(Air,T=(T_4+T_escape)/2)
k_aire=Conductivity(Air,T=(T_4+T_escape)/2) {conductividad térmica}

{Calculo Q puntos}

Q_puntoHMCI=Q_HMCI*flujo_aire

Q_puntoHRankine=flujo_aire*(u_4-u_escape)
u_escape=IntEnergy(Air,T=T_escape)
Q_puntoLRankine=(u_4Rankine-u_1Rankine)*flujo_agua
u_4Rankine=IntEnergy(Water,h=h_4Rankine_real,P=P_1Rankine)
u_1Rankine=IntEnergy(Water,h=h_1Rankine,P=P_1Rankine)

W_puntoMCI=W_MCI*flujo_aire
W_puntoRankine=W_Rankine*flujo_agua

```

```

{-----}
{Condensador}
T_antescondensador=T_4Rankine
T_despcondensador=T_1Rankine
T_aire1condensador=25+273
T_aire2condensador=45+273
T_prom_aire=(T_aire1condensador+T_aire2condensador)/2
cp_aire_condensador=SpecHeat(Air,T=T_prom_aire)
h_fg_agua_condensador=2278.6 {a la presion de operacion del
condensador que es de 75kPa}
DELTA_ML_condensador=(T_antescondensador-T_aire2condensador-
T_despcondensador+T_aire1condensador)/ln((T_antescondensador-
T_aire2condensador)/(T_despcondensador-T_aire1condensador)) {Diferencia de temperaturas
media logaritmica en el condensador}

U_condensador=4[kW/Km^2] {se propone, los valores varian desde .4 hasta 4 kW/K m^2}
A_condensador=Q_puntoLRankine/(U_condensador*DELTA_ML_condensador)
D_tuberiacond=0.007
L_tuberiacond=.35
N_tubos_cond=120
V_condensador=pi*(D_tuberiacond/2)^2*L_tuberiacond*N_tubos_cond
Ancho_cond=.05
Alto_cond=.15
V_real_cond=L_tuberiacond*Ancho_cond*Alto_cond

```

El resultado de esta simulación se muestra a continuación

```

Alto_cond = 0.15 [m]
Aintercambiador = 0.00502 [m^2]
cpaire = 1.139 [kJ/kg.K]
Dequivalente = 0.4994 [m]
Dtuberiacond = 0.007 [m]
Ticarnotpropuesta = 0.7927
TicarnotRankine = 0.1475
Tmecanicamotor = 0.8
Emisividadsuper = 0.858 [m^2]
h1 = 10453 [kJ/kg]
h1Rankine = 384.3 [kJ/kg]
h3Rankine = 2798 [kJ/kg]
h4Rankine,real = 2441 [kJ/kg]
hfg,agua,condensador = 2279
K2 = 0.00001867 [m]
L_tuberiacond = 0.35 [m]
kagua = 0.0003084 [kg/m^3]
m_aire,enfriamiento = 102.6 [kg]
Nusselt1 = 140.6
n2 = 0.3
Pr1 = 1.273
P1Rankine = 75 [Pa]
P3 = 5525 [Pa]
P4Rankine = 75 [Pa]
Potorotada,MCI,Hp = 113.6 [Hc]

```

```

Ancho_cond = 0.05 [m]
Atransversal,agua = 0.00006373 [m^2]
cpaire,condensador = 1.005 [kJ/kg.K]
D_tuberia,exterior = 0.0143 [m]
Dtuberia,exterior = 0.01401 [m]
TicarnotRankine = 0.2039
Ticombustion = 0.9
Tmotor = 0.2932
flujo,agua = 0.1045 [kg/s]
h2 = 103 [kJ/kg]
h2Rankine = 385.2 [kJ/kg]
h4 = 1648 [kJ/kg]
hescape = 475.6 [kJ/kg]
k = 0.00004802 [kg/mol.K]
kagua = 0.6698
L_tuberiacond = 0.35 [m]
k_aire = 0.00004158 [kg/m^3]
mcombustible = 0.00002252 [kg]
Nusselt2 = 771.5
N_tubos,cond = 120
Pr2 = 0.7106
P2 = 1380 [Pa]
P3Rankine = 900 [Pa]
Pcv = 35.57 [Hc]
OHMCI = 1955 [kg/s]

```

```

Acondensador = 0.8843 [m^2]
b = 0.01967 [kg/mol.K]
AML_condensador = 56.32 [m]
Caudal,agua,condensador = 0.00000000 [m]
nbomba = 0.7
Ticarnot,MCI = 0.8684
TICMCI = 0.2233
Tmotorvapor = 0.85
flujo,aire = 0.2427 [kg/s]
Hcomb = 41908 [kJ/kg]
h2Rankine,real = 385.5 [kJ/kg]
h4Rankine = 2378 [kJ/kg]
hfg,agua = 2031 [kJ/kg]
K1 = 0.000008128 [m]
k_aire = 0.06666
M = 0.03452 [kg/mol.K]
m_aire = 0.0003862 [kg]
np = 4
n1 = 0.4
omega = 314.2 [rad/s]
P1 = 77.1 [Pa]
P2Rankine = 900 [Pa]
P4 = 371.8 [Pa]
Potorotada,MCI = 111.3 [Hc]
U,Rankine = 241.0 [kJ/kg]


```

$\dot{Q}_{L,MCI} = 990.7 \text{ [kJ/kg]}$   
 $\dot{Q}_{punto1,Rankine} = 212.2 \text{ [kJ/s]}$   
 $rac = 17.15$   
 $Re_1 = 47898$   
 $\rho_{aire} = 0.271 \text{ [kg/m}^3\text{]}$   
 $s1_{Rankine} = 1.213 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $s3_{Rankine} = 6.676 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $T1_{Rankine} = 364.9 \text{ [K]}$   
 $T3 = 2804 \text{ [K]}$   
 $T4_{Rankine} = 364.9 \text{ [K]}$   
 $T_{aire1} = 318 \text{ [K]}$   
 $T_{despcondensador} = 364.9 \text{ [K]}$   
 $T_{prom,aire} = 308 \text{ [K]}$   
 $u_1 = 223.7 \text{ [kJ/kg]}$   
 $u_3 = 2468 \text{ [kJ/kg]}$   
 $U_{condensador} = 4 \text{ [W/m}^2\text{]}$   
 $v_{el,aire} = 158.6 \text{ [m/s]}$   
 $v_2 = 0.1457 \text{ [m}^3\text{/kg]}$   
 $W_{bomba} = 0.8555 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{MCI} = 436.5 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{punto1,MCI} = 105.9 \text{ [kJ/s]}$

$\dot{Q}_{L,Rankine} = 205.7 \text{ [kJ/kg]}$   
 $\dot{Q}_{punto1,MCI} = 240.4 \text{ [kJ/s]}$   
 $Re_{air} = 0.287 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $Re_2 = 516024$   
 $rpm = 3000 \text{ [rpm]}$   
 $s2_{Rankine} = 1.213 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $s4_{Rankine} = 6.676 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $T_2 = 700.1 \text{ [K]}$   
 $T3_{Rankine} = 458.4 \text{ [K]}$   
 $T_{aire1condensador} = 298 \text{ [K]}$   
 $T_{aire1} = 298 \text{ [K]}$   
 $T_{escape} = 473 \text{ [K]}$   
 $T_{set} = 448.4 \text{ [K]}$   
 $u1_{Rankine} = 384.2 \text{ [kJ/kg]}$   
 $u_4 = 1214 \text{ [kJ/kg]}$   
 $u_{escape} = 339.8 \text{ [kJ/kg]}$   
 $V_{max} = 0.00045 \text{ [m}^3\text{]}$   
 $V_{condensador} = 0.001616 \text{ [m}^3\text{]}$   
 $W_{bombareal} = 1.222 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{motorvapor} = 420.1 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{punto1,Rankine} = 37.19 \text{ [kJ/s]}$

$\dot{Q}_{punto1,MCI} = 474.4 \text{ [kJ/s]}$   
 $\dot{Q}_{punto1,Rankine} = 199.2 \text{ [kJ/s]}$   
 $rc = 8$   
 $\rho_{agua} = 964.5 \text{ [kg/m}^3\text{]}$   
 $s_1 = 5.823 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $s_3 = 7.078 \text{ [kJ/kgK]}$   
 $T_1 = 313 \text{ [K]}$   
 $T2_{Rankine} = 365 \text{ [K]}$   
 $T_4 = 1510 \text{ [K]}$   
 $T_{aire2condensador} = 318 \text{ [K]}$   
 $T_{antescondensador} = 364.9 \text{ [K]}$   
 $T_{ML} = 414.5 \text{ [K]}$   
 $U = 102 \text{ [W/m}^2\text{]}$   
 $u_2 = 512.7 \text{ [kJ/kg]}$   
 $u4_{Rankine} = 2291 \text{ [kJ/kg]}$   
 $v_{el,agua} = 1.7 \text{ [m/s]}$   
 $v_1 = 1.165 \text{ [m}^3\text{/kg]}$   
 $V_{real,cond} = 0.002625 \text{ [m}^3\text{]}$   
 $W_{ciclo,otro} = 573.2 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{motorvapor,real} = 357.1 \text{ [kJ/kg]}$   
 $W_{F,Rankine} = 355.9 \text{ [kJ/kg]}$

## 6.2 MSDS PEMEX


**SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**  
**GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL**  
**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS**

**SECCIÓN I. DATOS GENERALES**

<b>HDSS:</b> PR-107/04	<b>PEMEX MAGNA (1) RESTO DEL PAIS</b>		GRADO DE RIESGO NFPA 3
No. ONU 1: 1203	No. CAS 2: 8006-61-9		4 SEVERO
FECHA ELAB: 20/10/98	REV: 3	FECHA REV: 01/04/04	3 SERIO
			2 MODERADO
			1 LIGERO
			0 MÍNIMO

VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS EN SECCIÓN XII. ANEXOS

**ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.**

<b>FABRICANTE:</b> PEMEX REFINACIÓN. Subdirección de Producción. Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huastleca. Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311 Teléfonos: (01-55) 1944 - 9365 y (01-55) 1944-9895 (horario oficina de lunes a viernes)	<b>ASISTENCIA TÉCNICA:</b> Gerencia de Control de Producción. Teléfonos: (01-55) 1944 - 8164 (horario oficina de lunes a viernes) <b>CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD:</b> Gerencia de Seguridad Industrial. Teléfonos: (01-55) 1944 - 8628 y (01-55) 1944 - 8041 (horario oficina de lunes a viernes)
<b>EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A SETIQ 4:</b> (las 24 Hrs.) En el interior de la República: 01-800-00-214-00. En el Distrito Federal: 5559 - 1588. Para llamadas originadas en cualquier otra parte, llame a: (011-52) 5559 - 1588.	<b>EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A CENACOM 5:</b> (las 24 Hrs.) En el interior de la República: 01-800-00-413-00. En el Distrito Federal: 5550 - 1496. (4885, 1552, 1485) Para llamadas originadas en cualquier otra parte, llame a: (011-52) 5550 - 1496. (4885, 1552, 1485).

**SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO**

Familia química:	ND	Estado físico:	Líquido
Nombre químico:	ND	Clase de riesgo de transporte SCT 6:	Clase 3 "líquidos inflamables"
Nombre común:	Gasolina Pemex Magna Resto del País.	No. de Guía de Respuesta GRE 7:	128
Sinónimos:	Pemex Magna, Gasolina Magna.		

Descripción general del producto: Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna y es de uso en el interior del país, excepto en las zonas Metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey.

**SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES**

COMPONENTE	% (vol.)	NÚMERO ONU <sup>1</sup>	NÚMERO CAS <sup>2</sup>	PP1 <sup>3</sup> (ppm)	CT <sup>4</sup> (ppm)	IPVS <sup>10</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	P1 <sup>11</sup> (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA 1						
								S <sup>12</sup>	H <sup>13</sup>	R <sup>14</sup>	E <sup>15</sup>			
Gasolina.	100 % vol	1203	8006-61-9	300	500	ND	ND	1	3	0	NA			
Aromáticos.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA			
Olefinas.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Benceno.	4.9 % vol max	1114	71.43.2	0.5 ppm	2.5 ppm	ND	ND	2	3	0	NA			
Oxígeno.	10/20 % vol.	7732-44-7	1072	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			

**SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Peso Molecular	Variable	pH	ND
Temperatura de ebullición (°C)	38.8	Color	Rojo.
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor	Característico a gasolina.
Temperatura de inflamación (°C)	21	Velocidad de evaporación	ND
Temperatura de auto ignición (°C)	Aproximadamente 250	Solubilidad en agua	Insoluble
Presión de vapor (kPa)	53.8-79.2 (7.8/11.5 lb/pulg <sup>2</sup> )	% de volatilidad	ND
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	ND	Límites de explosividad inferior - superior	1.3 - 7.1

**SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN**

**Medio de extinción:**  
 Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Dióxido de Carbono o espuma química.  
 Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

**Equipo de protección personal para el combate de incendios:**  
 El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónoma y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

**Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:**  
 Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.  
 Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores.  
 Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.  
 En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo.  
 En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retirese del área y deje que arda.  
 Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retirese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.  
 Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

**Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:**  
 La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.  
 Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido. Los vapores de gasolina acumulados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.  
 El trapo y materiales similares contaminados con gasolina y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea.  
 Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.  
**Productos de la combustión nocivos para la salud:**  
 La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

**SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD**

<b>Estabilidad.-</b> En condiciones normales esta sustancia es estable.	<b>Incompatibilidad (sustancias a evitar).-</b> Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como peróxidos, ácido nítrico y percloratos.
<b>Descomposición en componentes o productos peligrosos:</b> Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.	
<b>Polimerización espontánea / condiciones a evitar:</b> Esta sustancia no presenta polimerización.	



**SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD**

**EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:**

La exposición extrema a esta sustancia deprime el sistema nervioso central; los efectos pueden incluir somnolencia, anestesia, coma, paro respiratorio y arritmia cardíaca.

**Ingestión:**

Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.

En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

**Inhalación:**

La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.

Causa asfocación (asfianante) si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros.

En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central.

Es asfianante, la exposición a atmosferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte.

**Piel (contacto y absorción):**

El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.

**Contacto con los ojos:**

El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación, pero no daña el tejido ocular.

La gasolina causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados.

**EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:**

La exposición repetida a la gasolina puede causar efectos en el sistema nervioso central: fatiga, trastornos de la memoria, dificultad de concentración y para conciliar el sueño, cefalea y vértigo, entre otros.

En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequeadad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

**CONSIDERACIONES ESPECIALES:**

Substancia carcinogénica:  NO \* Especifique:

Substancia mutagénica:  ND

Substancia teratogénica:  ND

Otras \*:  ND

**NOTAS:**

La NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye a la gasolina.

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica a la gasolina como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: "El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite"

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:**

CL<sub>50</sub><sup>16</sup> = ND DL<sub>50</sub><sup>17</sup> = ND

**Otra información:**

ND

**PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:**

El personal médico que atiende las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

**Inhalación:**

En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.

Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.

Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.

¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.

Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.

Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de gasolina, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.

Solicitar atención médica.

**Ingestión:**

Mantener a la víctima abrigada y en reposo.

Mantener a la víctima acostada de lado, de esta manera disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los bronquios y pulmones en caso de vómito

No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.

Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.

Solicitar atención médica inmediatamente.

**Contacto con la piel:**

Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.

Lavar la parte afectada con abundante agua abundante durante 20 minutos por lo menos.

Lavar ropa y calzado contaminados con gasolina antes de utilizarlos nuevamente.

Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.

En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.

**Contacto con los ojos:**

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.

Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.

Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.

Si se producen quemaduras en conjuntiva y córnea, se requerirá atención médica especializada en forma inmediata.

**OTROS RIESGOS O EFFECTOS A LA SALUD:**

La exposición prolongada a vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación, tales como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración de vapores de gasolina.

**DATOS PARA EL MÉDICO:**

El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.

Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.

En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los bronquios y pulmones.

Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

**ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):**

No se tiene información.

**SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME**

**Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:**

**Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**

Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.

No tocar ni caminar sobre el producto derramado.

Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.

De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (fugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.

Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control: aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.

Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.

Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados, ya que por su volatibilidad desprende vapores que forman mezclas explosivas o inflamables, capaces de recorrer grandes distancias hasta encontrar una fuente de ignición.

En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.

En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.

Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.

Ventile los espacios cerrados antes de entrar.

El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.

Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.

Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.

Los materiales contaminados por fugas o derrames, deben considerarse como residuos peligrosos, si por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente.

**Recomendaciones para evacuación:**

Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.

En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

**SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**

La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.

Donde es probable el contacto con los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.

Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar mangas largas y guantes resistentes a productos químicos.

Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.

No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.

En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavabo en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

**Ventilación.-**

Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.

Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.

Las muestras de laboratorio deben manejarse en una campana de extracción.

**SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN**

Número ONU :	1203	
Clase de riesgo de transporte :	Clase 3 "Líquidos inflamables"	
Guía de Respuesta en caso de Emergencia:	Guía número 128	
Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2008 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.		

1.-Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2.-Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000.

3.-Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto.

4.-Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000.

5.-Esta Hoja de Datos de Seguridad de Sustancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.

**SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA**

Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.

El producto residual y material contaminado, debe considerarse residuo peligroso si su temperatura de inflamación es menor que 60° C y por tanto requerirá su disposición en una instalación aprobada para residuo peligroso.

El suelo afectado por fugas o derrames, así como los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la Norma de Restauración de Suelos y en el Reglamento de Residuos Peligrosos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante la manipulación de los contenedores de gasolina.

El personal no debe emplear lentes de contacto cuando manipula gasolina.

Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean. Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.

Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.

No almacenar en contenedores sin etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.

No debe emplearse gasolina para limpiar equipos, ropa o la piel.

El almacenamiento de pequeñas cantidades de gasolina debe hacerse en contenedores apropiados y seguros.

La ropa y trapos contaminados con gasolina deben estar libres de este producto antes de utilizarlos nuevamente.

Trabajar a favor del viento durante la limpieza de derrames.

Los equipos empleados para el manejo de esta sustancia, deben estar debidamente aterizados.

**SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL**


**FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo"  
 NOM-010-STPS-1999 "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejan, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".  
 NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos"  
 "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos"  
 NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos"  
 Especificación No. 107/2004 "Pemex Magna (1) Resto del País", publicado por la Gerencia de Coordinación Comercial dependiente de la Subdirección de Producción de PEMEX Refinación  
 ACGIH "Threshold Limit Values for Chemical Substance and Physical Agents & Biological Exposure Indices", 2002  
 NIOSH "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards"  
 NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids" 1994  
 OSHA: "Permissible Exposure Limits", 1988

**ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

\* ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas  
 \* CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service  
 \* NFPA: National Fire Protection Association  
 \* SETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química  
 \* CENACOM: Centro Nacional de Comunicación (Protección Civil)  
 \* SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
 \* ORE: Guía de Respuesta a Emergencia  
 \* LMPE/PPT: Límite Máximo Permisible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en inglés)  
 \* LMPE-CT: Límite Máximo Permisible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en inglés)  
 \* IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud (IDLH, siglas en inglés)  
 \* P: Límite Máximo Permisible de Exposición Pico  
 \* S: Grado de riesgo a la Salud  
 \* I: Grado de riesgo de Inflamabilidad  
 \* R: Grado de riesgo de Reactividad  
 \* E: Grado de riesgo Especial  
 \* CL<sub>50</sub>: Concentración Letal Media  
 \* DL<sub>50</sub>: Dosis Letal Media  
 \* NA: No Aplica  
 \* ND: No Disponible

**NIVEL DE RIESGO**


	(S) RIESGO A LA SALUD	(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD	(R) RIESGO DE REACTIVIDAD	(E) RIESGO ESPECIAL	
	4 Fatal	4 Extremadamente inflamable	4 Puede detonar	OXY	Oxidante
3 Extremadamente Riesgoso	3 Inflamable	3 Puede detonar pero requiere fuente de inicio	ACID	Ácido	
2 Ligeramente Riesgoso	2 Combustible	2 Cambio químico violento	ALC	Alcalino	
1 Riesgoso	1 Combustible si se calienta	1 Inestable si se calienta	CORR	Corrosivo	
0 Material Normal	0 No se quema	0 Estable	W	No use agua	
			☠	Material Radiactivo	

**CONTROL DE REVISIONES**


REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
2	20/10/98	Elaboración de la revisión 2.
3	01/04/04	Modificación de la NOM-018-STPS-2000 y de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 107/04 (1) "Pemex Magna Resto del País".

**Declaración:**

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.


**SUBDIRECCIÓN DE AUDITORIA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**  
**GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL**  
**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS**

**SECCIÓN I. DATOS GENERALES**

<b>HDSS: PR-105/04</b>		<b>PEMEX PREMIUM (1) RESTO DEL PAIS</b>													
No. ONU <sup>1</sup> : 1203	No. CAS <sup>2</sup> : 8006-61-9		<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th colspan="2">GRADO DE RIESGO NFPA<sup>3</sup></th></tr> <tr><td>4</td><td>SEVERO</td></tr> <tr><td>3</td><td>SERIO</td></tr> <tr><td>2</td><td>MODERADO</td></tr> <tr><td>1</td><td>LIGERO</td></tr> <tr><td>0</td><td>MÍNIMO</td></tr> </table>	GRADO DE RIESGO NFPA <sup>3</sup>		4	SEVERO	3	SERIO	2	MODERADO	1	LIGERO	0	MÍNIMO
GRADO DE RIESGO NFPA <sup>3</sup>															
4	SEVERO														
3	SERIO														
2	MODERADO														
1	LIGERO														
0	MÍNIMO														
FECHA ELAB: 20/10/98	REV: 3	FECHA REV: 01/04/04													

VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS EN SECCIÓN III. PÁGINA 7.

**ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.**

<b>FABRICANTE:</b> PEMEX REFINACIÓN. Subdirección de Producción. Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huasteca. Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311 Teléfonos: (01-55) 1944 – 9365 y (01-55) 1944-8895 (horario oficina de lunes a viernes)	<b>ASISTENCIA TÉCNICA:</b> Gerencia de Control de Producción. Teléfonos: (01-55) 1944 - 8164 (horario oficina de lunes a viernes) <b>CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD:</b> Gerencia de Seguridad Industrial. Teléfonos: (01-55) 1944 - 8628 y (01-55) 1944 - 8041 (horario oficina de lunes a viernes)
<b>EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A SETIQ<sup>4</sup>:</b> (las 24 Hrs.) En el interior de la República: 01-800-00-214-00. En el Distrito Federal: 5559 - 1588. Para llamadas originadas en cualquier otra parte, llame a: (011-52) 5559 - 1588.	<b>EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A CENACOM<sup>5</sup>:</b> (las 24 Hrs.) En el interior de la República: 01-800-00-413-00. En el Distrito Federal: 5550 - 1496 ; (4885, 1552, 1485). Para llamadas originadas en cualquier otra parte, llame a: (011-52) 5550 - 1496 ; (4885, 1552, 1485).

**SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO**

Familia química:	ND	Estado físico:	Líquido
Nombre químico:	ND	Clase de riesgo de transporte SCT <sup>6</sup>	Clase 3 "líquidos inflamables"
Nombre común:	Gasolina Pemex Premium Resto del País.	No. de Guía de Respuesta GRE <sup>7</sup>	128
Sinónimos:	Pemex Premium, Gasolina Premium.		

**Descripción general del producto:** Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna y es para uso en el interior del país, excepto en la Zona Metropolitana del Valle de México, la Zona Metropolitana de Guadalajara y la Zona Metropolitana de Monterrey.

**SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES**

COMPONENTE	% (Vol.)	NÚMERO ONU <sup>1</sup>	NÚMERO CAS <sup>2</sup>	PPT <sup>8</sup> (ppm)	CT <sup>9</sup> (ppm)	IPVS <sup>10</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	P <sup>11</sup> (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA <sup>3</sup>			
								812	13	R14	E15
Gasolina.	100 % vol	1203	8006-61-9	300	500	ND	ND	1	3	0	NA
Aromáticos.	32.0 % vol max	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA
Olefinas.	15.0 % vol max	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benceno.	2.0 % vol max	1114	71.43.2	0.5 ppm	2.5 ppm	ND	ND	2	3	0	NA
Oxígeno.	1.0 / 2.7 % vol	7732-44-7	1072	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

**SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Peso Molecular	Variable	pH	ND
Temperatura de ebullición (°C)	38.8	Color	Sin anilina.
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor	Característico a gasolina.
Temperatura de inflamación (°C)	21	Velocidad de evaporación	ND
Temperatura de auto ignición (°C)	Aproximadamente 250	Solubilidad en agua	Insoluble
Presión de vapor (kPa)	53.7-79.2 (7.8/11.5 lb/pulg <sup>2</sup> )	% de volatilidad	ND
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	ND	Limites de explosividad inferior - superior	1.3 - 7.1

**SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN**

**Medio de extinción:**  
 Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Dióxido de Carbono o espuma química.  
 Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

**Equipo de protección personal para el combate de incendios:**  
 El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo, el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

**Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:**  
 Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga. Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores. Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.  
 En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo. En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retirese del área y deje que arda. Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.  
 Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

**Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:**  
 La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas.  
 Este sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido. Los vapores de gasolina acumulados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.  
 El trazo y materiales similares contaminados con gasolina y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea.  
 Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

**Productos de la combustión nocivos para la salud:**  
 La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

**SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD**

<b>Estabilidad.-</b> En condiciones normales esta sustancia es estable.	<b>Incompatibilidad (sustancias a evitar).-</b> Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como peróxidos, ácido nítrico y percloratos.
<b>Descomposición en componentes o productos peligrosos:</b> Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.	
<b>Polimerización espontánea / condiciones a evitar:</b> Esta sustancia no presenta polimerización.	

**SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD****EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:**

La exposición extrema a esta sustancia deprime el sistema nervioso central, los efectos pueden incluir somnolencia, anestesia, coma, paro respiratorio y arritmia cardíaca.

**Ingestión:**

Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.

En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

**Inhalación:**

La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.

Causa sofocación (asfixiante) si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros.

En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central.

Es asfixiante, la exposición a atmósferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte.

**Piel (contacto y absorción):**

El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.

**Contacto con los ojos:**

El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación, pero no daña el tejido ocular.

La gasolina causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados.

**EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:**

La exposición repetida a la gasolina puede causar efectos en el sistema nervioso central: fatiga, trastornos de la memoria, dificultad de concentración y para conciliar el sueño, cefalea y vértigo, entre otros.

En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequeidad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

**CONSIDERACIONES ESPECIALES:**

Substancia carcinogénica:  NO \* Especifique:

Substancia mutagénica:  ND

Substancia teratogénica:  ND

Otras \* :  ND

**NOTAS:**

La NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye a la gasolina.

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica a la gasolina como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: "El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite"

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:**

CL<sub>50</sub><sup>16</sup> = ND DL<sub>50</sub><sup>17</sup> = ND

**Otra información:**

ND

**PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:**

El personal médico que atienda las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

**Inhalación:**

En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.

Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.

Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.

¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.

Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.

Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de gasolina, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.

Solicitar atención médica.

**Ingestión:**

Mantener a la víctima abrigada y en reposo.

Mantener a la víctima acostada de lado, de esta manera disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los bronquios y pulmones en caso de vómito.

No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.

Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.

Solicitar atención médica inmediatamente.

**Contacto con la piel:**

Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.

Lavar la parte afectada con abundante agua abundante durante 20 minutos por lo menos.

Lavar ropa y calzado contaminados con gasolina antes de utilizarlos nuevamente.

Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.

En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.

**Contacto con los ojos:**

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.

Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.

Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.

Si se producen quemaduras en conjuntiva y córnea, se requerirá atención médica especializada en forma inmediata.

**OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:**

La exposición prolongada a vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación, tales como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración de vapores de gasolina.

**DATOS PARA EL MÉDICO:**

El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.

Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.

En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los bronquios y pulmones.

Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

**ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):**

No se tiene información.



**SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME**

**Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:**  
**Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**  
 Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.  
 No tocar ni caminar sobre el producto derramado.  
 Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.  
 De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (lugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasladarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.  
 Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.  
 Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.  
 Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados, ya que por su volatilidad desprende vapores que forman mezclas explosivas o inflamables, capaces de recorrer grandes distancias hasta encontrar una fuente de ignición.  
 En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.  
 En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.  
 Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.  
 Ventile los espacios cerrados antes de entrar.  
 El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.  
 Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.  
 Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.  
 Los materiales contaminados por fugas o derrames, deben considerarse como residuos peligrosos, si por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente.

**Recomendaciones para evacuación:**  
 Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.  
 En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

**SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA**

La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.  
 Donde es probable el contacto con los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.  
 Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar mangas largas y guantes resistentes a productos químicos.  
 Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.  
 No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta substancia.  
 En las instalaciones donde se maneja esta substancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavaojos en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.  
**Ventilación.-**  
 Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.  
 Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.  
 Las muestras de laboratorio deben manejarse en una campana de extracción.

**SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN**

Número ONU :	1203	
Clase de riesgo de transporte :	Clase 3 "Líquidos inflamables"	
Guía de Respuesta en caso de Emergencia:	Guía número 128	
Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2006 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.		

- 1.-Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de substancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- 2.-Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de substancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben pegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000.
- 3.-Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto.
- 4.-Todos los envases y embalajes, así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000.
- 5.-Esta Hoja de Datos de Seguridad de Substancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.

**SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA**

Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.  
 El producto residual y material contaminado, debe considerarse residuo peligroso si su temperatura de inflamación es menor que 60° C y por tanto requerirá su disposición en una instalación aprobada para residuo peligroso.  
 El suelo afectado por fugas o derrames, así como los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la Norma de Restauración de Suelos y en el Reglamento de Residuos Peligrosos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante la manipulación de los contenedores de gasolina.  
 El personal no debe emplear lentes de contacto cuando manipula gasolina.  
 Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean. Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.  
 Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.  
 No almacenar en contenedores sin etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.  
 No debe emplearse gasolina para limpiar equipos, ropa o la piel.  
 El almacenamiento de pequeñas cantidades de gasolina debe hacerse en contenedores apropiados y seguros.  
 La ropa y trapos contaminados con gasolina deben estar libres de este producto antes de utilizarlos nuevamente.  
 Trabajar a favor del viento durante la limpieza de derrames.  
 Los equipos empleados para el manejo de esta substancia, deben estar debidamente aterrizados.

**SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL**

**FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo"  
 NOM-010-STPS-1999. "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejan, transportan, procesan o almacenan sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral"  
 NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos"  
 "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos"  
 NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al auto transporte de materiales y residuos peligrosos"  
 Especificación No. 105/2004 "Pemex Premium (1) Resto del País", publicado por la Gerencia de Coordinación Comercial, dependiente de la Subdirección de Producción de PEMEX Refinación  
 ACGIH "Threshold Limit Values for Chemical Substance and Physical Agents & Biological Exposure Indices", 2002  
 NIOSH "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards"  
 NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids" 1994  
 OSHA "Permissible Exposure Limits", 1988

**ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

\* ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas  
 \* CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service.  
 \* NFPA: National Fire Protection Association.  
 \* ETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química  
 \* CENACOM: Centro Nacional de Comunicación (Protección Civil)  
 \* SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
 \* GRE: Guía de Respuesta a Emergencia.  
 \* LMPE-PPT: Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en inglés).  
 \* LMPE-CT: Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en inglés)  
 \* IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud (IDLH, siglas en inglés)

\* P: Límite Máximo Permissible de Exposición Pico.  
 \* S: Grado de riesgo a la Salud  
 \* I: Grado de riesgo de inflamabilidad  
 \* R: Grado de riesgo de Reactividad.  
 \* E: Grado de riesgo Especial  
 \* CL<sub>50</sub>: Concentración Letal Medía.  
 \* DL<sub>50</sub>: Dosis Letal Medía.  
 \* NA: No Aplica  
 \* ND: No Disponible.

**NIVEL DE RIESGO**

	(S) RIESGO A LA SALUD	(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD	(R) RIESGO DE REACTIVIDAD	(E) RIESGO ESPECIAL	
	4 Fatal	4 Extremadamente inflamable	4 Puede detonar	OXY	Oxidante.
3 Extremadamente Riesgo	3 Inflamable	3 Puede detonar pero requiere fuente de inicio	ACID	Ácido.	
2 Ligero Riesgo.	2 Combustible	2 Cambio químico violento.	ALC	Alcalino.	
1 Riesgo.	1 Combustible si se calienta.	1 Inestable si se calienta.	CORR	Corrosivo.	
0 Material Normal	0 No se quema.	0 Estable.	-W-	No use agua.	
				Material Radiactivo	

**CONTROL DE REVISIONES**

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
2	20/10/98	Elaboración de la revisión 2.
3	01/04/04	Modificación de la NOM-018-STPS-2000 y de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 105/04 (1) "Pemex Premium Resto del País.

**Declaración:**

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.