

01127
26



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS OPERATIVOS
PARA UN MOTOR NEUMATICO VEHICULAR.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO
(AREA MECANICA)
P R E S E N T A N :

CESAR AUGUSTO RUIZ CAMACHO
JUAN MIGUEL FAISAL GOMEZ
OCTAVIANO RAFAEL CERDA GUERRERO



DIRIGIDA POR: M.I. GUSTAVO VALERIANO BARRIENTOS

MEXICO, D. F.

2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS GENERALES

En primera instancia, queremos agradecerle a nuestro asesor y amigo el M.I. Gustavo Valeriano Barrientos por todo lo que nos brindo, dedicación, confianza, tolerancia, tiempo y apoyo, ya que sin todo lo anterior no nos hubiera sido posible la realización del trabajo.

En segunda instancia agradecemos al M.I. Eduardo Medina, por el tiempo y apoyo, que nos brindo, en lo que se refiere a la parte termodinámica desarrollada en este trabajo.

Por último, quisiéramos agradecer la entrega de todos los maestros que tuvimos a lo largo de nuestra formación como ingenieros, a la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México, por habernos proporcionado todo lo necesario para nuestra formación académica y social.

Mi primer agradecimiento va dirigido al creador, ya que me ha dado la posibilidad de llegar hasta aquí.

También quiero agradecerles a mis ángeles guardianes que siempre me han cuidado y han estado presentes en las buenas y en las malas, cuando vivieron aquí en la tierra y cuando se fueron, desde el cielo, a mis abuelitos Aarón Camacho y María de la Luz Aviña.

Un agradecimiento muy especial a mi Mamá que siempre me ha apoyado en todos los momentos de mi vida con amor, cariño, dedicación, entrega, entusiasmo, confianza, etc. , por ser la mejor Mamá del mundo.

Además quiero agradecer a mis hermanos Octavio y Oscar Ruíz Camacho, por todo su apoyo y buenos ratos que nos hemos pasado juntos durante nuestras vidas, también quiero agradecer a mi cuñada Narmi, por siempre estar en las buenas y en las malas y a mis sobrinos Oscar y Alberto, por darme grandes momentos de felicidad y alegría, y hacerme la carga mucho mas liviana.

Por último quiero agradecerle a mi esposa por darme el mejor regalo que he recibido en mi vida, mi hijo, y a mi hijo por ser mi nuevo ángel, el motor de mi vida y darme una nueva perspectiva de esta.

CESAR AUGUSTO RUÍZ CAMACHO

Quiero agradecer a Dios por todo lo que me ha dado en la vida, entre las cuales esta mi familia, profesores y compañeros, que me ayudaron para la realización de mis estudios.

A mis padres y hermanos por todo el amor, apoyo y confianza que depositaron, para la realización de mi persona y como estudiante.

JUAN MIGUEL FAISAL GÓMEZ

En primer lugar le doy gracias a ese ente maravilloso que conocemos con el nombre de Dios por ser mi amigo o como normalmente digo mi cuate y darme la oportunidad de vivir, para realizar mis sueños.

A mi abuelito Octaviano Rafael Cerda Hernández, por sus lecciones de vida que me dejó en el poco tiempo que estuvo conmigo e hicieron que siempre estuviera en mi corazón.

A mis padres por darme la vida, cariño, paciencia, tiempo, comprensión y apoyo incondicional que me han ayudado a cumplir cada una de mis metas durante este largo camino.

A mi abuelita Clara, por todo su cariño y haberme malcriado de la forma más dulce.

A mis hermanos por las peleas, enojos y cariño, que le han dado un sabor especial a mi vida.

A mis amigos por todos los momentos buenos y malos que vivimos juntos, por escuchar, por siempre tener alguno de sus hombros como apoyo y por ser ellos. (Una disculpa por no poner sus nombres pero cabía la posibilidad de omitir alguno, cosa que no me gustaría), a mis maestros por su tiempo y dedicación a lo largo de mi desarrollo, a las familias Guzmán Bobadilla, Salazar Valenzuela, Ruiz Camacho, Ferrer Salado y Castillo López, por darme la oportunidad de entrar en sus vidas y haberme hecho sentir como en mi casa.

A mi familia en general por todos los momentos divertidos que hemos pasado juntos su apoyo y cariño.

OCTAVIANO RAFAEL CERDA GUERRERO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.....	6
1.1-MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y SU ENTORNO	9
1.1.1.- CICLO GENÉRICO DEL MOTOR	9
1.1.2.- DESCRIPCIÓN GENÉRICA DEL CICLO OTTO Y SU FUNCIONAMIENTO	13
1.1.3.- FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR OTTO	14
1.1.4.- DEDUCCIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CICLO TEÓRICO	17
1.2- MOTOR ELÉCTRICO Y SU ENTORNO	20
1.2.1.- DEFINICIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE's).....	20
1.2.2.- SISTEMAS DE RECARGA.....	23
1.2.3.- TIEMPOS DE RECARGA.....	24
1.3.- MOTOR NEUMÁTICO	25
1.3.1-RESUMEN CRONOLÓGICO DEL PROYECTO MOTOR DE AIRE.....	26
1.3.2.- POR QUE PROPONE EL INVENTOR EL DISEÑO DE UN VEHÍCULO COMPLETO.....	29
1.3.3.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL VEHÍCULO	30
1.3.4.- FICHA TÉCNICA Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO Y DEL MOTOR NEUMÁTICO.....	31
CAPÍTULO 2 FUNCIONAMIENTO Y CICLOS DEL MOTOR NEUMÁTICO.....	36
2.1- FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR	37
2.2- EL CICLO DEL MOTOR MDI (MOTOR DEVELOPMENT INTERNATIONAL)	39
2.3- DETERMINACIÓN DEL CICLO FÍSICO	40
2.4- CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CICLO TERMODINÁMICO	41
2.4.1- DATOS OBTENIDOS DEL FABRICANTE.....	42
2.4.2- CÁLCULOS	43
2.5- DIAGRAMA P-v (PRESIÓN CONTRA VOLUMEN ESPECÍFICO) DEL MOTOR NEUMÁTICO	53
2.6- TRABAJOS Y POTENCIAS DEL MOTOR NEUMÁTICO.....	54
2.6.1- CÁLCULOS DE LOS TRABAJOS Y LAS POTENCIAS DEL PISTÓN 1	54

2.6.2- CÁLCULOS DE LOS TRABAJOS Y LAS POTENCIAS DEL PISTÓN 2	56
2.6.3- CÁLCULO DE LA POTENCIA ENTREGADA	58
2.6.4- CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO	59
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS DEL MOTOR NEUMÁTICO	60
3.1- ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
3.1.1- POTENCIA NETA TEÓRICA	61
3.1.2- POTENCIAS NETAS TEÓRICAS Vs REALES	62
3.1.3- GRÁFICAS DE RESULTADOS	64
3.2- IMPACTO AMBIENTAL	66
3.2.1- PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LOS VEHÍCULOS	67
3.3- COMPARACIÓN DEL ENTORNO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA, ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO	70
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	75

INTRODUCCIÓN

En nuestra sociedad actual, el uso del vehículo ha pasado de ser un objeto de lujo a un objeto de necesidad, en nuestros tiempos las personas están muy habituadas al uso de este aparato, en consecuencia la cantidad de vehículos ha crecido descontroladamente. En las grandes urbes el 99% del parque vehicular, es movido por motores de combustión interna y estos vehículos generan el 60% de la contaminación actual del planeta.

La contaminación es un problema que nos concierne a todos, ya que dañan mucho al medio ambiente, y de seguir así, según los expertos, en algunos años se esperan grandes desastres ambientales que van a afectar considerablemente al ser humano, como la destrucción total de la capa de ozono, entre otros. Por todo lo anterior, es imperativo estar al tanto de este problema y generar tecnologías alternas para impulsar los vehículos del futuro.

En los últimos tiempos se ha especulado bastante sobre la posibilidad de utilizar vehículos impulsados con vapor o con energía eléctrica, numerosas empresas están llevando a cabo extensas investigaciones sobre tales tipos de vehículos.

En este trabajo se aborda una posible solución a este problema, ya que en Francia, se está trabajando en una nueva tecnología para impulsar los vehículos del presente inmediato y del futuro. Esta nueva tecnología se basa en mover el

vehículo por medio de un motor muy similar al motor de combustión interna, pero en lugar de utilizar combustibles fósiles, utiliza aire comprimido.

De ser posible la utilización de esta nueva tecnología, se beneficiaría el mundo entero, porque un vehículo impulsado por un motor de aire contamina en menor proporción que un vehículo impulsado por un motor de combustión interna, ya que el vehículo de combustión interna emite muchos gases que dañan al medio ambiente y al ser humano.

Dado el escepticismo existente acerca de esta nueva tecnología, este trabajo tiene por objeto analizar el entorno y determinar los parámetros críticos de operación del motor neumático, verificando que el funcionamiento del mismo cumpla con los principios y las leyes termodinámicas.

Además de cumplir con lo anterior, se corroborará que los datos publicados en la ficha técnica por el fabricante sean coherentes con los cálculos realizados, basados en los principios y leyes termodinámicas.

Por último, se realizará una tabla comparativa de los entornos de los diferentes tipos de motores, con el fin de determinar la viabilidad de seguir avanzando en el estudio de esta nueva tecnología, para su posible aplicación en nuestra ciudad en un futuro próximo.

El trabajo está constituido por tres capítulos.

En el Capítulo 1 "ANTECEDENTES", se aborda el tema de los motores de combustión interna, eléctrico y neumático, y el entorno de cada uno.

En el Capítulo 2 "FUNCIONAMIENTO Y CICLOS DEL MOTOR NEUMÁTICO", se analiza el funcionamiento del motor neumático, se determinan los ciclos del mismo y se obtienen los parámetros críticos de operación.

Finalmente en el Capítulo 3 "ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS DEL MOTOR NEUMÁTICO", se hace un análisis de los resultados obtenidos en el capítulo 2, se comparan los datos teóricos obtenidos, con los datos reales y por último se genera una tabla comparativa del entorno de los motores de combustión interna, eléctrico y neumático. Con lo que se da lugar a las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

En este capítulo se abordará parte del entorno de los motores de combustión interna, eléctrico y neumático, con el propósito de mostrar algunas de sus principales características, mismas que justifican la importancia de profundizar en el estudio de los motores neumáticos y su entorno.

Debido a la ambigüedad del significado de la palabra entorno, en este trabajo se define como entorno del motor, a todo lo relacionado con el motor, por ejemplo: vehículo, emisiones, funcionamiento, ciclos termodinámicos, costo del combustible, eficiencia del motor, autonomía, potencia, etc.

Se ha determinado que es necesario el estudio del entorno de los distintos tipos de motores, ya que con ello se va a facilitar la comparación entre estos, para así poder observar con mas claridad las ventajas y desventajas que tienen entre si.

En primera instancia, se enfoca en forma general algunas características del entorno del motor Otto, explicando la relación que existe entre su funcionamiento y su ciclo termodinámico, así como el rendimiento de su ciclo teórico. Esta explicación, además de mostrar algunas de las características principales del entorno del motor de combustión interna facilitará la comprensión del funcionamiento y configuración de un motor neumático.

En segunda instancia, se muestran los componentes básicos de un vehículo eléctrico, el funcionamiento de su motor y las diferentes formas de recarga, todo ello con el objeto de que posteriormente se pueda hacer una comparación cualitativa y cuantitativa con el motor neumático, y así poder ver las ventajas y desventajas de esta nueva tecnología.

Por último se abordará el entorno del motor neumático, empezando por su creador, principales hallazgos y sus características generales, con el objeto de que el lector conozca las características principales de esta nueva tecnología.

1.1-MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y SU ENTORNO

El motor de combustión interna, al igual que todos los motores, tienen un ciclo teórico llamado ciclo genérico, este ciclo, es una idealización de la realidad, con fines de simplificar el entendimiento y los cálculos termodinámicos de los ciclos. Del ciclo genérico del motor de combustión interna, se desprenden todos los ciclos de los motores de combustión interna, como son el ciclo Otto y el ciclo Diesel, entre otros. A continuación se explica el ciclo genérico del motor de combustión interna.

1.1.1.- CICLO GENÉRICO DEL MOTOR

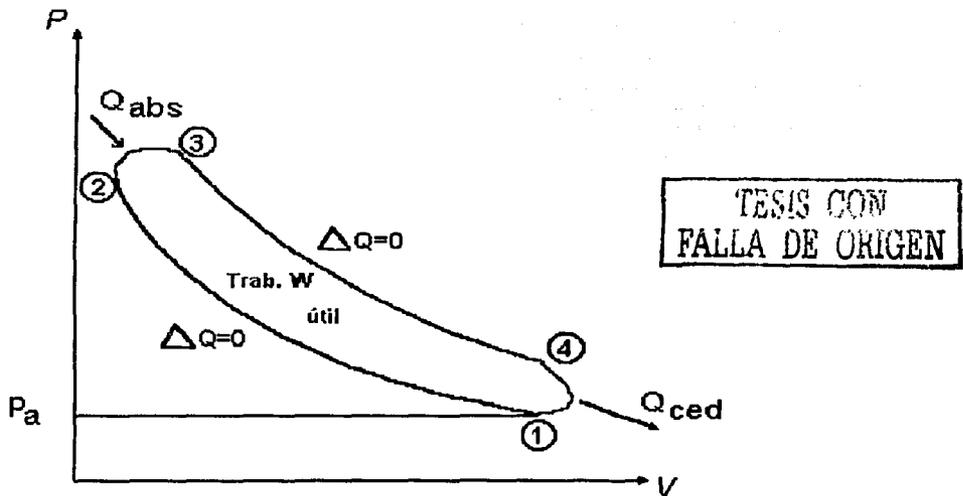


Figura 1: Diagrama presión-volumen (P-V) Ciclo de Comb. Interna Genérico

En la Figura 1 se tiene un ciclo termodinámico genérico de un motor de combustión interna, mismo que se describe a continuación.

El ciclo inicia con una presión mínima en el sistema equivalente a presión ambiente (p_a). En la etapa que va desde el punto 1 hasta el punto 2, se realiza una compresión, en teoría adiabática sin fricción. En la etapa que va desde el punto 2 al punto 3, se realiza la combustión, con un aporte de calor denominado calor absorbido (Q_{abs}).

En la etapa que va desde el punto 3 al punto 4, se realiza la expansión de los gases calientes. Normalmente es en esta etapa donde se entrega la mayor parte del trabajo. Esta expansión es también, en teoría, adiabática y sin fricción en todo el sistema. En el punto 4 se expulsan los gases quemados a la atmósfera. Considerando lo anterior se percibe que el ciclo es realmente abierto, pero para efectos de análisis se supone que se cierra entre el punto 4 y el punto 1, volviéndose al estado inicial. Se introduce el concepto ciclo ideal, que consiste en que un ciclo abierto se considera un ciclo cerrado (ideal, teórico), con fines prácticos. ¹

¹ WILLIAM H. CROUSE, Motores de Automóvil, quinta edición, página 44

El concepto ciclo ideal significa que el ciclo lo describe solo aire, el cual se hace pasar por una sucesión de estados tal que se reproduce el ciclo real y esto implica las siguientes suposiciones y simplificaciones:

- Las propiedades del aire se suponen constantes para todo el ciclo (no varían ni el calor específico a presión constante (C_p) ni el calor específico a volumen constante (C_v), aunque en el caso real sí lo hacen por variación de temperatura y porque en parte del ciclo se trabaja con gases quemados).
- Se supone un sistema cerrado, es decir, el aire está encerrado dentro del sistema y se somete a las etapas idealizadas.
- En la etapa que va de 2 a 3 se aporta calor del exterior al sistema para lograr la etapa idealizada.
- En forma análoga, entre el punto 4 y el punto 1 se enfría el aire en forma idealizada.

Una evolución² clave en este ciclo genérico es la compresión del proceso que va del punto 1 al punto 2. En efecto, ella es característica de cada ciclo y es (relativamente) constante. En cambio en la operación real, la cantidad de calor Q_{abs} puede variar en forma importante. por lo tanto también varía la evolución del punto 3 al punto 4. Pero la relación de compresión es relativamente estable.³

² evolución: es la forma como se va desarrollando la etapa

³ WILLIAM H. CROUSE, Motores de Automóvil, quinta edición, página 76

Es importante analizar el rendimiento de la relación de compresión, ya que esta es muy importante para la eficiencia del motor de combustión interna.

Por consiguiente el rendimiento de la relación de compresión queda expresado por la siguiente expresión⁴

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

con

$$r = \frac{v_1}{v_2}$$

Por lo tanto, para aumentar el rendimiento del ciclo conviene, en lo posible, aumentar lo más que se pueda la relación de compresión. Los límites de compresión se fijan a través de los dos siguientes parámetros:

- En el caso de que solo se comprima aire (motores Diesel, turbina a gas), la compresión máxima queda fijada solo por razones tecnológicas.
- En el caso que se comprima una mezcla aire-combustible (motor Otto), la compresión máxima queda fijada por los límites de detonación o autoinflamación.

⁴ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 361

1.1.2.- DESCRIPCIÓN GENÉRICA DEL CICLO OTTO Y SU FUNCIONAMIENTO

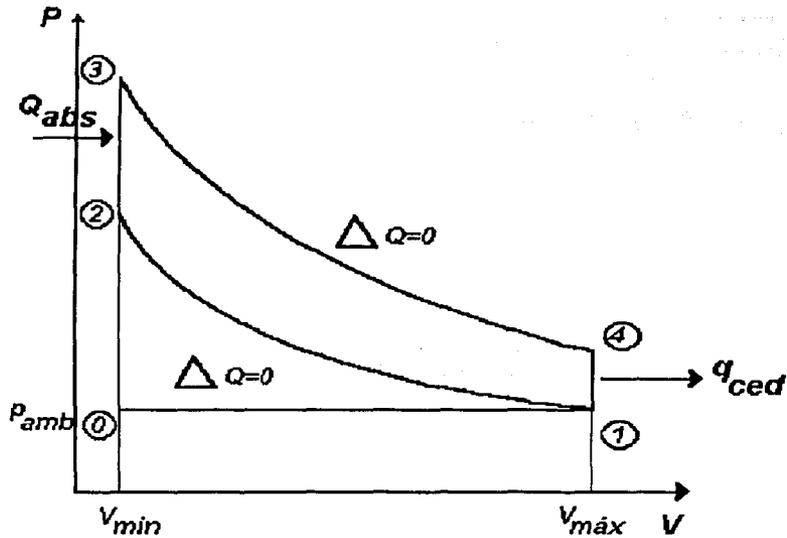


Figura 2: Ciclo Otto teórico

En la figura 2 se muestra el ciclo teórico de un motor Otto en un diagrama P-V. El motor Otto se caracteriza por aspirar alternativamente una mezcla aire-combustible (típicamente gasolina dispersa en aire), a través de un sistema pistón-cilindro con válvulas de admisión y válvulas de escape.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1.3.- FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR OTTO

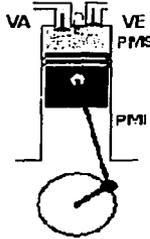


Figura 3 Admisión

- Admisión: es la evolución de la etapa de 0 a 1. La admisión es un proceso que para llevarse acabo, demanda de un trabajo, mismo que se le conoce como trabajo negativo. En la figura 3 se muestra el pistón que se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), es decir, el pistón realiza una carrera completa; para que esto sea posible, la válvula de admisión (VA) debe permanecer abierta y cerrarse cuando el pistón llegue al punto muerto inferior, obsérvese que durante la admisión la válvula de escape (VE) permanece cerrada.

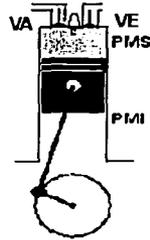


Figura 4 compresión

- **Compresión:** es la evolución de la etapa de 1 a 2. En principio la compresión es adiabática y esta requiere de un trabajo negativo. En la figura 4 se muestra esta etapa con las dos válvulas cerradas (VA y válvula de escape, VE), el pistón se desplaza desde el PMI al PMS, en esta etapa se realiza una carrera completa y esto provoca que se comprima la mezcla aire/combustible,

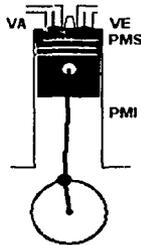


Figura 5 Encendido

- **Encendido:** es la evolución de la etapa de 2 a 3. En la figura 5 se muestra esta etapa, en teoría todo ocurre en un instante, cuando el pistón llega al PMS, se

enciende la chispa a través de la bujía y se quema la mezcla en la cámara de combustión, aumentando la presión en la etapa que va del punto 2 al punto 3.

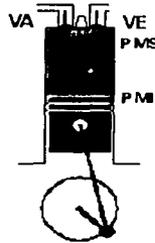


Figura 6 Trabajo

- Trabajo: es la evolución de la etapa de 3 a 4. En esta etapa con las dos válvulas cerradas el pistón se desplaza desde el PMS al PMI, en esta etapa se realiza una carrera completa, en principio esta evolución es adiabática y genera trabajo positivo, de hecho esta es la única etapa en todo el ciclo en que se genera trabajo positivo al exterior.

- Válvula de Escape: es la evolución de la etapa de 4 a 1. En esta etapa, en teoría la caída de presión del punto 4 al punto 1 es instantánea y esta ocurre cuando se abre la válvula de escape.

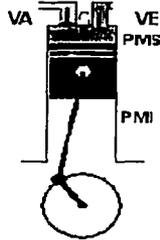


Figura 7 Escape

- Escape: es la evolución de la etapa de 1 a 0. En esta etapa el pistón se desplaza desde el PMI al PMS, se realiza una carrera completa, en la cual la VE está abierta y la VA se encuentra cerrada, en esta etapa la presión dentro del cilindro es igual a la atmosférica, por lo cual el trabajo requerido es cero idealmente hablando.

1.1.4.- DEDUCCIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CICLO TEÓRICO

A continuación se calcula la eficiencia de este ciclo teórico. Para ello se utiliza el concepto de ciclo de aire idealizado, que consiste en suponer que el fluido de trabajo es un gas perfecto (aire) y cuyas propiedades termodinámicas se mantienen constantes a lo largo de él. Esta es una simplificación, pues en realidad las propiedades termodinámicas de la mezcla y gases de combustión son diferentes. Sin embargo la simplificación permite sistematizar mejor el estudio del ciclo.

El ciclo teórico tiene las siguientes particularidades:

- En la figura 2 se puede observar que las etapas que van del punto 0 al punto 1 (admisión) y del punto 1 al punto 0 (expulsión de gases) son teóricamente ambas a presión atmosférica. Como se recorren en sentidos opuestos, se anulan.
- La combustión de las etapas que van del punto 2 al punto 3 (ver figura 2) y la que va del punto 4 al punto 1 (apertura válvula de escape) se suponen ambas como evoluciones isocóricas (a volumen constante).
- La etapa de compresión que va del punto 1 al punto 2 y la etapa de expansión o carrera de trabajo que va del punto 3 al punto 4 (ver figura 2) se suponen adiabáticas sin fricción, es decir, no hay calor de fricción, únicamente calor cedido y calor absorbido.

Eficiencia⁵:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{abs}}$$

con los signos explícitos:

$$Q_{abs} = C_v(T_3 - T_2)$$

$$Q_{ced} = C_v(T_4 - T_1)$$

⁵ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica , segunda edición , , pagina 407

de donde:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$

Sacando factor común T_1/T_2 para referir a compresión de base:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{(T_4/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1)}$$

considerando que (1-2) y (3-4) son adiabáticas sin roce:

$$T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T_4 \times V_4^{k-1} = T_3 \times V_3^{k-1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dividiendo (2)/(1):

$$\frac{T_4}{T_1} \cdot \left(\frac{V_4^{k-1}}{V_1^{k-1}} \right) = \frac{T_3}{T_2} \cdot \left(\frac{V_3^{k-1}}{V_2^{k-1}} \right)$$

Como $V_4 = V_1 = V_{max}$ y $V_2 = V_3 = V_{min}$, se tiene que:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

de donde:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow \eta_{Otto} = 1 - \frac{V_2^{K-1}}{V_1^{K-1}} \qquad \eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{V_1^{K-1} / V_2^{K-1}}$$

llamando $V_1/V_2 = a$, la razón de *compresión*, se tiene que:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{a^{K-1}}$$

1.2- MOTOR ELÉCTRICO Y SU ENTORNO

A continuación se hace una descripción del entorno del motor eléctrico, sus componentes principales, baterías y su forma de recarga.

1.2.1.- DEFINICIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE's)

Los VE's son automóviles propulsados por motores eléctricos en lugar de motores a gasolina. Tienen sus ventajas, como la eficiencia de su motor y su baja contaminación, y sus inconvenientes, como el precio, la velocidad y la autonomía. Actualmente se tienen en el mercado los motores más eficientes, la media de la autonomía de los VE's varía entre los 96 y 112 kilómetros.

Los componentes operacionales de un vehículo eléctrico se pueden agrupar en cinco sistemas:

1.- Sistema de Energía:

Para la autonomía de los vehículos eléctricos, se almacena energía eléctrica en bancos de baterías y mediante un controlador monitorea y gobierna el funcionamiento del motor. Otra tecnología que ha sido desarrollada para los vehículos eléctricos son las celdas de combustibles, que no almacenan electricidad, pero en vez de eso la generan mediante un proceso químico que genera corriente mientras circulan los dos gases (Hidrógeno y Oxígeno) en cada una de las placas de esta.

2.- Sistema de Poder:

El flujo de electricidad desde las baterías al motor es regulado mediante un controlador, el cual es el "cerebro" del vehículo y el componente principal del sistema de poder. Si el vehículo eléctrico cuenta con un motor de corriente alterna (CA), el sistema incluye además un inversor para convertir la corriente directa (CD) de las baterías en corriente CA para el motor.

3.- Tren Motriz:

Este es el músculo del vehículo eléctrico, un motor eléctrico que convierte la electricidad en poder mecánico, que es enviado directamente a las llantas por medio de los ejes, logrando de esta manera que el vehículo se mueva.

4.- Sistema de Recarga:

El cargador convierte la corriente eléctrica alterna AC de las líneas, a corriente eléctrica directa DC que puede ser aceptada por cualquier batería en un vehículo eléctrico para así restaurar la energía después de haber sido agotada. Algunos vehículos cuentan con un cargador a bordo, mientras que otros vehículos eléctricos usan cargadores en sitios de recarga.

5.- Sistemas Auxiliares:

Así como los vehículos impulsados por combustible, los vehículos eléctricos cuentan con sistemas auxiliares (aire acondicionado, dirección hidráulica, radio, tocador de discos compactos y otros sistemas característicos), que su funcionamiento depende de la electricidad almacenada en las baterías.

1.2.2.- SISTEMAS DE RECARGA

La tecnología de carga de hoy en día incluye sistemas de recarga conductivos (contacto metal-a-metal) e inductivos (magnéticamente enlazados).

Sistemas Conductivos

Los sistemas conductivos que existen en el mercado, utilizan un sistema de enchufe y cable que puede variar según el tipo de conector usado y el nivel de voltaje y corriente. El cargador puede estar localizado dentro o fuera del vehículo, dependiendo del diseño del sistema conductivo. En los casos que el cargador está dentro, es necesario algún tipo de aparato de control e interconexión exterior.

Sistemas Inductivos

Los sistemas de carga inductivos, utilizan un cable y un conector en forma de pala que transfiere la energía del sistema eléctrico exterior al VE por medio de la inducción magnética.

Niveles estándar de recarga de VE's:

El National Electric Vehicle Infrastructure Working Council anunció en el año 1994, la estandarización de los niveles de carga de los VE's. Estos son:

1.- La carga puede ser realizada desde una conexión a tierra estándar de 120 voltios, con una salida trifásica.

2.- Cargar a 240 voltios, con una estación de carga de 40 amperios con unas características especiales para que el cliente pueda hacer la carga fácil tanto en casa como en las estaciones de carga.

3.- Tecnología de carga de alto nivel actualmente en desarrollo que proporcionará una carga en 5-10 minutos, haciéndola similar al llenado del depósito de los vehículos convencionales.

1.2.3.- TIEMPOS DE RECARGA

Para cargar completamente un VE, la tecnología de hoy en día requiere que el vehículo esté cargando como mínimo de 2 a 3 horas a 220 voltios. Actualmente, las tecnologías de carga todavía no están completamente perfeccionadas, ha pesar de que una cantidad importante de la investigación se dedica a esta actividad. Además, la carga rápida a niveles de potencia de unos 25 kwatts puede suponer unas extraordinarias demandas de energía en la red de distribución de electricidad durante el día y las horas pico.

1.3.- MOTOR NEUMÁTICO

El inventor Guy Negre, fabricó un vehículo que funciona con aire comprimido, y espera que circule por las carreteras del mundo en los próximos años.

Todo indica que el motor MDI (moteur developpment international) de aire comprimido puede convertirse en uno de los mayores descubrimientos de este siglo XXI. Guy Négre ha conseguido desarrollar un motor capaz de propulsar un coche a 110 km/h, con una autonomía de hasta 300 kilómetros y con un costo de .072 pesos por kilómetro.

El automóvil es una de las comodidades a las que no se puede renunciar, forma parte de nuestra calidad de vida. Pero la contaminación de nuestras ciudades también afecta a nuestra calidad de vida.

Se torna urgente encontrar alternativas al motor de combustión interna y las grandes marcas estudian modelos de coches eléctricos, solares, híbridos, de hidrógeno, de gas metano, etc., algunos de ellos ya muy avanzados. El ingeniero francés Guy Négre hace ocho años comprobó que era posible propulsar un coche sólo con aire comprimido y, desde entonces, se ha centrado en la optimización del motor y sus prestaciones.

Y, cuando se habla del motor de aire comprimido MDI, no tan solo se habla de un vehículo, aunque sea tan especial, sino de un nuevo sistema de transformación de

energía poco contaminante que permite, por primera vez en la historia, que ésta pueda ser almacenada de forma viable. El desarrollo de nuevas aplicaciones para el motor de aire comprimido MDI será una fuente inagotable de posibilidades para la industria actual y venidera.

1.3.1-RESUMEN CRONOLÓGICO DEL PROYECTO MOTOR DE AIRE

1991 Constitución de la compañía.

1993 El Sr Guy Negre empieza a trabajar en la idea de un motor de baja contaminación con un sistema de admisión rotativo. Para determinar el precio de las acciones de MDI en aquel primer momento, se hizo una evaluación de las patentes.

1994 Prototipos con cámaras independientes. Optimización de los ciclos del motor.

1995 Pruebas en el banco de pruebas del prototipo bienergía EV3: petróleo para largos recorridos y aire en la ciudad. Seguridad de que un nivel de contaminación 0 se puede conseguir.

1996 El motor EV3 se monta en un coche Citroen AX de serie. Primeras pruebas en carretera y primeros reportajes de televisión.

- 1997 Concepción de un vehículo para el motor mono energía con un depósito reducido debajo del chasis. Presentación del T0P ("Taxi 0 Pollution - Taxi Cero Contaminación) La autonomía en ciclo urbano se acerca a los 200Km.
- 1998 El Taxi T0P circula en las calles de la ciudad francesa de Brignolles. Varios reportajes en televisión y en otros medios de comunicación. El concepto MDI atrae la atención de numerosos expertos.
- 1999 La estrategia para la expansión comercial. Comercial se define: fabricación y comercialización se harán a través de concesionarios / fabricantes en pequeñas unidades de producción que podrán producir entre 2000 y 8000 coche al año: es el concepto de 'Fábrica llave en mano'. Diferentes mejoras técnicas. Primeros contratos firmados.
- 2000 Compra de terrenos y edificios industriales. MDI se traslada a una zona industrial más importante en el sur de Francia. Preparación de los procesos en serie y definición de las herramientas industriales. Más mejoras técnicas. Primera presentación oficial del vehículo en Barcelona, el 20 de Julio 2000. Gabinete mundial de prensa desde Barcelona. 23 fábricas vendidas en 23 países. 14.000 coches pedidos en España. Apoyo constitucional de la Generalitat de Cataluña, a través del Consejero de Medio Ambiente Felip Puig y viaje de sus representantes a la fábrica en Francia.

- 2001 Presentación de la tecnología MDI para toda Sudamérica en Sao Paulo, Brasil. Primeros contactos institucionales firmes en Sudamérica. Preparación de la futura expansión comercial en España y Portugal. Trabajos en carrocería, suspensiones, chasis y en la disposición de la nueva fábrica de series prevista para el año siguiente.
- 2002 Preparación de los procesos previos a la homologación. Planificación de la fábrica piloto. Expansión comercial mundial iniciada. Investigación de nuevas aplicaciones de la tecnología MDI. Primeros trabajos sobre transporte público. Inicio de las obras de la primera fábrica de serie. Trabajos sobre el motor eléctrico / alternador.
- 2003 Estandarización del proceso de montaje de futuras fábricas. Preparación de gama de modelos. Investigación y primeros prototipos del MiniCat's, un vehículo de reducidas medidas basado en la misma tecnología. Investigación sobre motores de 8 cilindros para el transporte público. Primeros esbozos del MultiCat's e instalación interior de la fábrica piloto en Francia. Firma de nuevos contratos para diferentes países.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3.2.- POR QUE PROPONE EL INVENTOR EL DISEÑO DE UN VEHÍCULO COMPLETO

Después de muchos trámites, llega la evidencia, que un motor tan revolucionario necesita un coche que lo sea también. La grandes marcas sólo piensan en adaptar el motor a un vehículo clásico, mientras que Guy Nègre busca una solución completa, adecuada para su imagen innovadora. Para la concepción del vehículo MDI Guy Nègre ha distinguido lo que es necesario de lo inútil, analizando e inventando de nuevo.

El vehículo es básicamente un coche ligero y sencillo, integra una carrocería de fibra de vidrio como los vehículos más modernos (Renault Espace entre otros), y no de chapa, como la mayor parte de los vehículos. El chasis es tubular, como se hace en ciertos vehículos, como los de competencia o en las motos: se consigue una rigidez máxima y un peso reducido, además, las piezas no van soldadas, sino pegadas como se hace en tecnología aeroespacial y en algunos vehículos comerciales, reduciendo también el tiempo de montaje.

El vehículo no tiene los habituales contadores de velocidad sin cambios desde hace 200 años. Lleva en su lugar una pequeña pantalla de computadora que va dando las variables en cada momento. El sistema permite evidentemente una adaptación para sistemas GSM de telefonía, GPS de ubicación y guiado por satélite, programas para repartidores y flotas de vehículos, sistemas de emergencia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El sistema eléctrico del vehículo es también revolucionario. Guy Nègre compró una patente destinada a reducir el importante conjunto de cables eléctricos a uno sólo. El truco consiste en el uso de una pequeña emisora de radio cuya señal se recoge y trata por microcontroladores en cada dispositivo eléctrico del coche: faros, intermitentes, etc. El sistema permite ganar más de 20 kilos de peso y hace más sencillo el mantenimiento.

1.3.3.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL VEHÍCULO

Al no existir combustión, no existen emisiones por el escape. El aire que toma del exterior (para después mezclar con aire comprimido en el cilindro) se filtra previamente, purificando hasta 90 m³ al día del aire ambiental.

Su autonomía, en el primer prototipo terminado, es el doble que el más avanzado coche eléctrico (de 200 a 300 Km ó 10 horas de circulación), lo que le representa una buena opción para al mercado, donde el 80 % de los conductores realizan menos de 60 Km. diarios.

La recarga del coche se hace, una vez esté el mercado desarrollado, en gasolineras adaptadas para suministrar aire comprimido. En 2 ó 3 minutos y por un costo aproximado de 18 pesos. el coche estará listo para recorrer de 200 a 300 kilómetros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como importante alternativa el coche lleva incorporado un pequeño compresor que permite conectarlo a la red eléctrica (220 v) y cargar completamente el depósito en 3 ó 4 horas.

Debido a la ausencia de combustión y, consecuentemente, de residuos, el cambio de aceite (1 litro de tipo comestible) se realiza tan sólo cada 50.000 Km.

La temperatura del aire limpio expulsado por el tubo de escape es de 0 grados centígrados, lo que permite reutilizarlo para la climatización interior sin necesidad de gases ni pérdida de potencia.

1.3.4.- FICHA TÉCNICA Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO Y DEL MOTOR NEUMÁTICO

A continuación se muestra la ficha técnica del vehículo neumático proporcionada por el fabricante.

		Taxi	Furgoneta	Pick-up
Tracción	-	Trasera	Trasera	Trasera
Ciclo	-	Aire + Aire adicional	Aire + Aire adicional	Aire + Aire adicional
Número de cilindros	-	2	2	2
Diámetro del pistón	mm	110	110	110
Carrera del pistón	mm	62,96	62,96	62,96
Capacidad del circuito de aceite	l	2	2	2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Circuito eléctrico	-	Red eléctrica de Hilo único.		
Batería	V	12	12	12
Cilindrada cm³	cm ³	1197	1197	1197
Potencia máxima	Cv	limitada a 25 (18.3 KW) a 3500 rpm/min		
Par máximo	Kg.m	10,5 kg.m de 1500 rpm/min a 2500 rpm/min		
Alimentación	-	Inyección electrónica de aire.		
Cantidad de aceite y recambio	l	2; cada 50 000 Km.		

TRANSMISIÓN

Ruedas motoras	-	Traseras	Traseras	Traseras
Caja de cambios	-	2 relaciones y marcha atrás.		

DEPÓSITOS

Depósitos	-	Líner termoplástico y envoltorio de fibra de carbono.		
Contenido/Presión	-	360 l / 300 b	360 l / 300 b	360 l / 300 b

CHÁSIS Y CARROCERÍA

Carrocería	-	Fibra de vidrio (RTM)	Fibra de vidrio (RTM)	Fibra de vidrio (RTM)
Puertas	-	2	2	2
Plazas	-	5	1 + 1	1 + 1
Suspensión delantera	-	Conjunto muelle/amortiguador, ruedas independientes con brazos empujados longitudinales.		
Suspensión trasera	-	Conjunto muelle/amortiguador, ruedas independientes con brazos tirados longitudinales.		
Frenos delanteros	-	Discos	Discos	Discos
Frenos traseros	-	Discos	Discos	Discos
Dirección	-	De cremallera	De cremallera	De cremallera

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Radio de giro	m	5	5	5
Neumáticos	-	145/70 R13	145/70 R13	145/70 R13

DIMENSIONES Y PESO

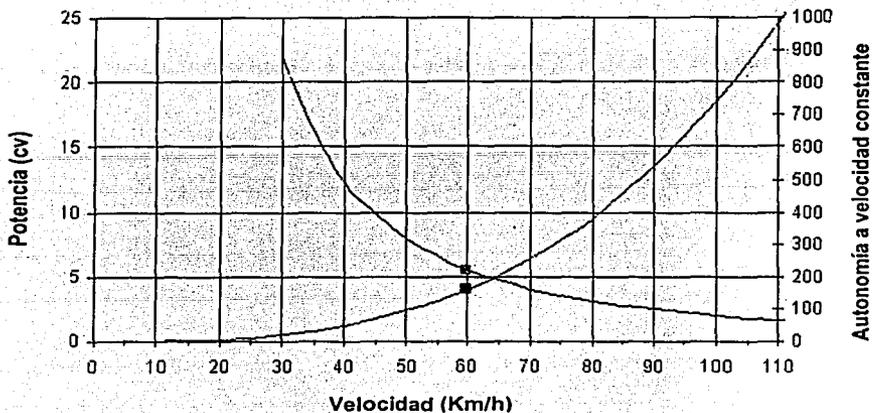
Distancia entre ejes	m	2,915	2,915	2,915
Distancia entre ruedas delanteras	m	1,46	1,46	1,46
Distancia entre ruedas traseras	m	1,42	1,42	1,42
Largo	m	3,84	3,84	3,84
Alto	m	1,75	1,75	1,75
Ancho	m	1,72	1,72	1,72
Peso en vacío	Kg	700	675	675
Carga útil	Kg	500	500	500

PRESTACIONES

Velocidad máxima	Km/h	Alrededor de 110.	Alrededor de 110.	Alrededor de 110.
Autonomía en Ciclo Urbano	Km	200 ó diez horas	200 ó diez horas	200 ó diez horas
Autonomía a 60 Km/h	Km	240	240	240
Plazo de recarga		Alrededor de 4 horas en la red eléctrica de casa. De 2 a 3 minutos en una estación equipada.		

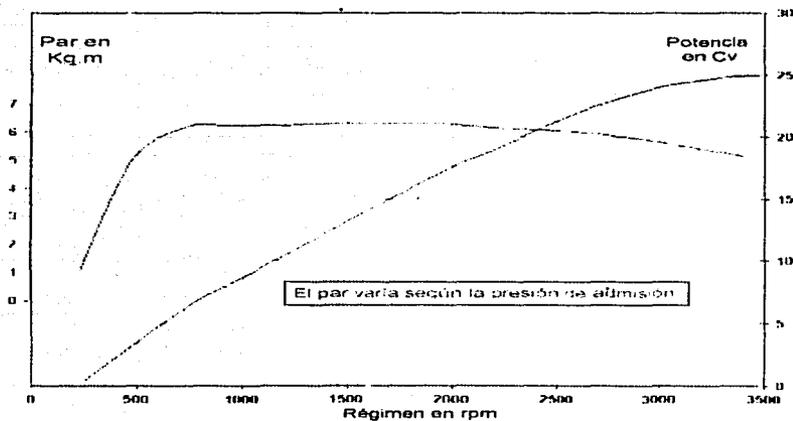
A continuación se presentan las curvas características del motor neumático, proporcionadas por el fabricante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 1.- Curva de Autonomía – velocidad – potencia del motor neumático

En la gráfica 1, se muestran las curvas características del vehículo neumático, en esta se puede observar como varían el rendimiento y la potencia del vehículo con respecto a la velocidad.



Gráfica 2.- curva del par del motor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la gráfica 2, se muestran las curvas características del motor neumático, en esta se puede observar como varían el par y la potencia con respecto a las rpm.

Por todo lo anterior se hace necesario un estudio más profundo del motor neumático para una comprensión del funcionamiento del mismo, así como corroborar los datos publicados en la ficha técnica por el fabricante y poder determinar la viabilidad de la construcción de un motor con estas características.

CAPÍTULO 2 FUNCIONAMIENTO Y CICLOS DEL MOTOR NEUMÁTICO

En este capítulo se explica el funcionamiento del motor neumático, y se desarrolla el ciclo físico y su ciclo termodinámico, tal como se desarrollo en el capítulo 1 el ciclo Otto, además, con base en el análisis de los ciclos, se calculan los parámetros críticos de operación, para posteriormente corroborar los datos de la ficha técnica proporcionada por el fabricante.

2.1- FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

El coche debe su autonomía a los depósitos contruidos de liner termoplástico con envoltorio de fibra de carbono, que almacenan 90 m³ de aire comprimido a 300 bares. La expansión del aire, proveniente de los depósitos, introducido en un recinto cerrado (cilindro) impulsa los pistones, consiguiendo así el movimiento. Después de la expansión, el pistón expulsa el aire de la cámara y lo manda al escape, el aire que sale del tubo de escape es incluso más limpio que el que entró puesto que se filtra antes de su inyección. El sistema de climatización aprovecha el aire frío expulsado y para la calefacción se utiliza el aire (remanente) caliente, proveniente del pistón 1 después de la compresión. Debido a la ausencia de combustión el cambio de aceite se realiza tan sólo cada 50.000 Km.

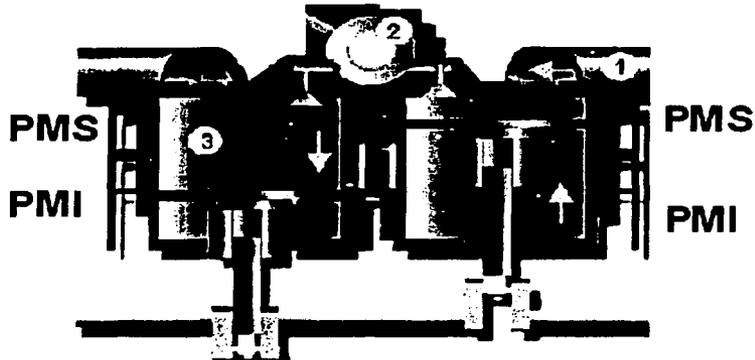


Figura 1 Motor Neumático

En la figura 1 se muestra el motor con un corte transversal y su funcionamiento básico es el siguiente:

El primer pistón (1) aspira y comprime el aire exterior, que suministra a la cámara esférica (2) donde se inyecta aire a alta presión de los tanques.

La expansión de la mezcla (aire comprimido exterior + aire comprimido de los depósitos), empuja el pistón (3) que entrega la energía (potencia) al vehículo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2- EL CICLO DEL MOTOR MDI (MOTOR DEVELOPMENT INTERNATIONAL)

El fabricante del motor divide el ciclo del motor neumático en tres diferentes fases, las cuales el piensa que son las más importantes en el funcionamiento del motor neumático:

- FASE DE COMPRESIÓN:

En el motor, el aire ambiental se comprime a 20 bares por el pistón y se transforma en aire caliente a 400 °C.

- FASE DE INYECCIÓN DEL AIRE

En el momento en que el pistón termina la compresión, se inyecta en la cámara que contiene aire caliente una cantidad de aire comprimido a temperatura ambiental que proviene de los tanques.

- FASE DE EXPANSIÓN

Esta inyección de aire produce un aumento de la presión, el cual empuja el pistón y acciona el motor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3- DETERMINACIÓN DEL CICLO FÍSICO

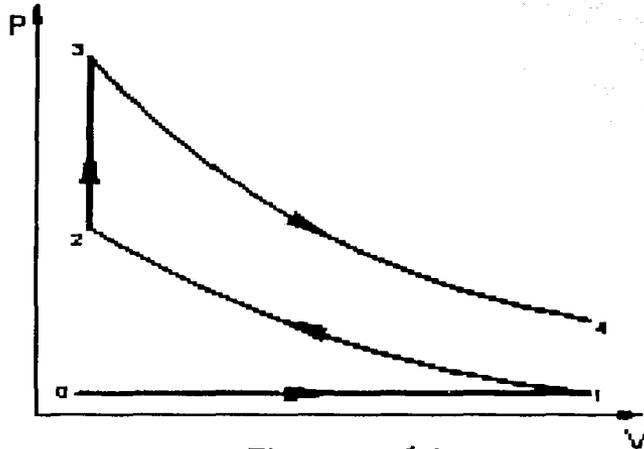


Diagrama 1 Ciclo Físico

En el diagrama 1 se puede visualizar el ciclo físico del motor neumático, a continuación se explica como se determino.

- Del punto 0 al punto 1, (admisión), el pistón 1 (ver figura 1 Motor Neumático), se mueve desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior, admitiendo aire a temperatura y presión atmosférica, en este proceso la presión se mantiene constante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Del punto 1 al punto 2, (compresión), el pistón 1 (ver figura 1 Motor Neumático), se mueve desde punto muerto inferior al punto muerto superior, comprimiendo el aire admitido previamente, (el aire comprimido pasa a una esfera).
- Del punto 2 al punto 3, (inyección), se inyecta aire desde los tanques de almacenamiento a la esfera (ver figura 1 Motor Neumático), previamente comprimido a temperatura ambiente y 300 bares, en la esfera donde se produce una mezcla.
- Del punto 3 al punto 4, (expansión), el aire almacenado en la esfera pasa al pistón 2 (ver figura 1 Motor Neumático), haciendo que este se mueva desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior provocando una expansión.
- Por último el pistón 2 (expulsión), se mueve desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, expulsando el aire de la cámara.

2.4- CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CICLO TERMODINÁMICO

Con base en los datos obtenidos del fabricante y basándonos en los procesos termodinámicos básicos del motor neumático, la compresión y la expansión, se calculan los parámetros necesarios para la determinación del ciclo termodinámico.

2.4.1- DATOS OBTENIDOS DEL FABRICANTE

Condiciones iniciales (admisión) (punto 1)

$$T_1 = \text{Temperatura ambiente} = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

$$P_1 = \text{Presión atmosférica} = 1 \text{ bar}$$

Condiciones después de la compresión (punto 2)

$$T_2 = 400^\circ\text{C} = 673^\circ\text{K}$$

$$P_2 = 20 \text{ bar}$$

Al ser inyectado el aire desde los tanques de almacenamiento a la esfera, la variación de la temperatura y la presión no se toma en cuenta, debido a que la diferencia de temperaturas entre el tanque y sus alrededores es pequeña, y el llenado de la esfera es rápido, por lo cual este proceso se analiza suponiendo que la transferencia de calor es despreciable⁶. Por lo tanto las condiciones de inyección son las siguientes

$$P_{in} = \text{presión de inyección} = 300 \text{ bar}$$

$$T_{in} = \text{Temperatura de inyección} = T_{amb} = 293^\circ\text{K}$$

⁶ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 371,372.

Carrera de cada uno de los pistones (L)

$$L = 62.96 \text{ mm}$$

Diámetro del pistón

$$D = 110 \text{ mm.}$$

2.4.2- CÁLCULOS

Debido a la suposición de que no hay intercambio de calor con el exterior el proceso es adiabático reversible, por lo tanto se tiene lo siguiente⁷

$$k = 1.3$$

$$R = 0.287 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

Obteniendo la relación de compresión (r_c) para un proceso adiabático reversible⁸

$$r_p = r_c^k$$

⁷ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 361.

⁸ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, pagina 360.

donde:

$$r_c = r_p^{1/k} ; \quad r_p = \frac{P_2}{P_1} ; r_p = \text{relación de presión}$$

sustituyendo la relación de presión en la relación de compresión tenemos

$$r_c = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/k}$$

sustituyendo valores

$$r_c = \left(\frac{20}{1} \right)^{1/1.3} = 10.02$$

Calculando la longitud del espacio muerto (l)⁹

$$r_c = \frac{1+c}{c} = \frac{V_D + V_c}{V_c} = \frac{A_p L + A_p l}{A_p l} = \frac{l+L}{l} = 1 + \frac{L}{l}$$

$$r_c = 1 + \frac{L}{l}$$

⁹ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 610.

despejando (1)

$$l = \frac{L}{r_c - 1} = \frac{62.96}{10.02 - 1} = 6.98 \text{ mm.}$$

Obteniendo el volumen desplazado (V_D) y el volumen del espacio muerto (V_c)¹⁰

$$V_D = (62.96)(\Pi(55)) = 598330.29 \text{ mm}^3 = 598.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_c = (6.98)(\Pi(55)) = 66333.31 \text{ mm}^3 = 66.333 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Obteniendo la densidad del aire en los tanques a 300 bares y T_{amb} ¹¹

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}; v_1 = \frac{1}{\rho_1}$$

despejando ρ_1

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1}$$

¹⁰ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 339.

¹¹ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 73.

sustituyendo (v_1) en (ρ_1) y sustituyendo valores tenemos

$$\therefore \rho_1 = \frac{P_{in}}{RT_{in}} = \frac{30000[kPa]}{(0.287)(293)} = 356.51 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Obteniendo la masa admitida (m_a) tenemos:

De tablas $\rho = 1.007 \frac{kg}{m^3}$ a 2 Km. sobre el nivel del mar

$$\therefore m_a = V_d \rho = 598.33 \times 10^{-6} (1.007) = 602.52 \times 10^{-6} \left[\frac{kg_{aire}}{ciclo} \right]$$

De la ficha técnica se tiene que la autonomía del vehículo a $60 \frac{Km}{hr}$ es de 240Km,

por lo tanto, (C_a) consumo de aire de los tanques por kilómetro es de:

$$C_a = \frac{\text{capacidad de los tanques}}{\text{autonomía}} = \frac{360[litros]}{240[Km]} = 1.5 \left[\frac{l_{aire}}{Km} \right]$$

como un litro es equivalente a un decímetro cúbico tenemos que:

$$C_a = 1.5 \left[\frac{l_{aire}}{Km} \right] \left[\frac{dm^3}{l_{aire}} \right] \left[\frac{1m^3}{1000dm^3} \right] = 0.0015 \frac{m^3}{Km}$$

por lo que la masa de aire inyectada por kilómetro (m_i) es:

$$m_i = C_a \rho_1 = (0.0015)(356.5) = 0.535 \left[\frac{\text{kg aire}}{\text{Km}} \right]$$

Obtención de la masa inyectada por ciclo a una velocidad de $60 \frac{\text{Km}}{\text{hr}}$

Nota : Para que el motor complete un ciclo tiene que dar 2 vueltas el cigüeñal.:

$N=2$; de la ficha técnica proporcionada por el fabricante (Capítulo 1 apartado

1.3.4), se obtiene que a $60 \frac{\text{Km}}{\text{hr}}$, $n = 750\text{rpm}$.

$$\frac{\# \text{ ciclos}}{\text{hr}} = \frac{n}{N} = \frac{750}{2} = 350 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \right] \left[\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right] = 22500 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hr}} \right]$$

para poder obtener los kilogramos de aire que se inyectan en una hora se multiplica la velocidad por la masa de aire inyectada por kilómetro

$$m_{/hr} = \bar{v} m_i = 60(0.535) = 32.1 \left[\frac{\text{kg aire}}{\text{hr}} \right]$$

para obtener la masa inyectada por ciclo se dividen los kilogramos de aire inyectados en una hora entre el número de ciclos por hora

$$m_{\text{ciclo}} = \frac{m_{\text{hr}}}{\frac{\# \text{ciclos}}{\text{hr}}} = \frac{32.1}{22500} = 0.00143 \left[\frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{ciclo}} \right]$$

Obteniendo T_3 (la temperatura en la esfera), por medio de las leyes termodinámicas de las mezclas de los gases ideales se tiene que¹²

$$m_{\text{ciclo}} (T_3 - T_1) + m_a (T_3 - T_2) = 0$$

sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene

$$0.00143 (T_3 - 293) + 0.00060252 (T_3 - 673) = 0$$

despejando T_3

$$T_3 = \frac{0.82449}{.002033} = 405.650 \text{ K} = 132^\circ\text{C}$$

¹² KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 408

Para calcular (P_3) la presión en la esfera, se utilizarán las leyes termodinámicas de las mezclas de gases ideales, primero se obtendrá el volumen total de la mezcla y posteriormente se utilizará la ecuación general de los gases ¹³

$$V_{in} = \frac{m}{\text{ciclo}} \frac{RT_{amb}}{P_{in}} ; V_{in} = \text{volumen inyectado de los tanques}$$

sustituyendo valores

$$V_{in} = \frac{(0.00143)(0.287)(293)}{30000} = 0.00000401 \left[\frac{m^3}{\text{ciclo}} \right]$$

$$V_{ad} = \frac{m_a RT_2}{P_2} ; V_{ad} = \text{volumen admitido con el pistón 1}$$

sustituyendo valores

$$V_{ad} = \frac{(0.00060252)(0.287)(673)}{2000} = 0.0000582 \left[\frac{m^3}{\text{ciclo}} \right]$$

¹³ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 396.

por lo tanto el volumen total es la suma de los volúmenes

$$V_{tot} = V_{in} + V_{ad}$$

sustituyendo valores

$$V_{tot} = 0.0000401 + 0.0000582 = 0.00006219 [m^3]$$

despejando P_3 de la ecuación general de los gases y sustituyendo valores tenemos

$$P_3 = \frac{m_{tot} RT_3}{V_{tot}} = \frac{(0.00203252)(0.287)(405.65)}{0.00006219} = 38.05 [bar]$$

Para sacar la temperatura (T_4) y la presión (P_4) tenemos que el proceso que va del punto 3 al punto 4 es un proceso isentrópico, por lo tanto se tiene que¹⁴

$$PV^k = \text{constante} \quad \text{y} \quad \frac{V_3}{V_4} = \frac{1}{r_c}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁴ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 110.

y también

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{K-1} = \left(\frac{1}{r}\right)^{K-1}$$

despejando T_4 y sustituyendo valores

$$T_4 = 132.65 \left(\frac{1}{10.02}\right)^{0.3} = 66.44[^\circ\text{C}]$$

para calcular P_4 tenemos

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{1}{r}\right)^K$$

despejando P_4 y sustituyendo valores

$$P_4 = 38.05 \left(\frac{1}{10.02}\right)^{1.3} = 1.9[\text{bar}]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para poder obtener el ciclo termodinámico es necesario calcular los volúmenes específicos de cada punto, para poder hacerlo se utilizará la ecuación general de los gases ¹⁵.

Sustituyendo valores en cada uno de los puntos:

Punto 1

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0.287)(293)}{100} = 0.84091 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

punto 2

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{(0.287)(673)}{2000} = 0.0965 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

punto 3

$$v_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{(0.287)(405.65)}{3805} = 0.0306 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

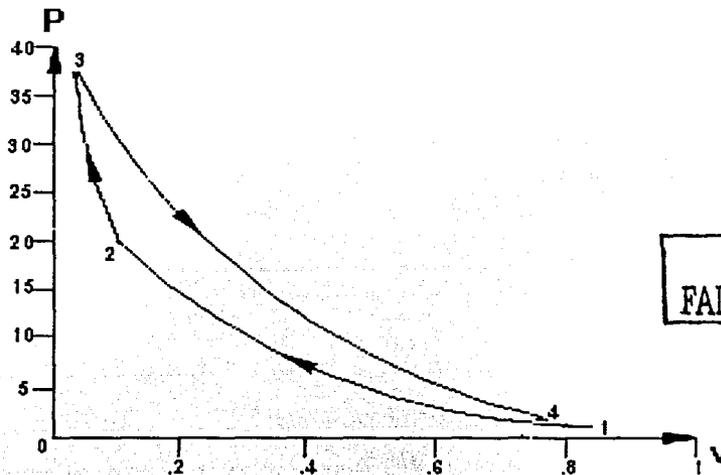
¹⁵ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 73.

punto 4

$$v_4 = \frac{RT_4}{P_4} = \frac{(0.287)(339.44)}{190} = 0.7728 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

2.5- DIAGRAMA P-v (PRESIÓN CONTRA VOLUMEN ESPECÍFICO) DEL MOTOR NEUMÁTICO

Con los datos obtenidos de presiones y volúmenes específicos en el apartado 2.4.2, se construye el Diagrama 2 ciclo termodinámico (P-v), correspondiente al motor neumático.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el Diagrama 2, se observa como se van desarrollando los procesos termodinámicos del motor neumático, del punto 1 al punto 2, se observa el proceso de compresión que genera el pistón 1 (Capítulo 2, figura 1), del punto 2 al punto 3, se observa el proceso de mezclado del aire comprimido por el pistón 1 con el aire inyectado desde los tanques de almacenamiento, del punto 3 al punto 4, se observa el proceso de expansión generado por el aire comprimido en la esfera (Capítulo 2, figura 1) sobre el pistón 2 (Capítulo 2, figura 1).

La obtención del diagrama 2, es muy importante, ya que sirve para posteriormente poder calcular la potencia entregada por el motor neumático.

2.6- TRABAJOS Y POTENCIAS DEL MOTOR NEUMÁTICO

Unos de los parámetros más importantes dentro del análisis de cualquier tipo de motor, son los diferentes trabajos y potencias que se dan dentro del ciclo termodinámico, a continuación se determinarán los anteriores.

2.6.1- CÁLCULOS DE LOS TRABAJOS Y LAS POTENCIAS DEL PISTÓN 1

Este pistón realiza 2 trabajos diferentes, uno es el de llenado o admisión, y el otro es el de compresión.

Trabajo de admisión (W_{ad})

Como se trata de un proceso a presión constante y solo existe variación en el volumen, este trabajo se puede calcular de la siguiente manera ¹⁶

$$W_{ad} = P_1 m_{ad} (V_2 - V_1)$$

sustituyendo valores

$$W_{ad} = (100000)(602.52 \times 10^{-6})(598.33 \times 10^{-6}) = 0.036 [kJ]$$

La potencia (\dot{W}_{ad}) se obtiene multiplicando el trabajo por las revoluciones por minuto.

$$\dot{W}_{ad} = 0.036 \left(\frac{750}{60} \right) = 0.4506 [kW] = 0.6122 [CV]$$

Trabajo de compresión (W_{comp})

Como se trata de un proceso isentrópico este trabajo se puede calcular con la siguiente ecuación ¹⁷

¹⁶ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 98.

¹⁷ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 111.

$$W_{comp} = \frac{m_u RT_1}{1-k} \left[r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

sustituyendo valores

$$W_{comp} = \frac{(602.52 \times 10^{-6})(0.287)(293)}{1-1.3} \left[20^{\frac{1.3-1}{1.3}} - 1 \right] = -0.1662 [kJ]$$

Potencia de compresión (\dot{W}_{comp})

$$\dot{W}_{comp} = -0.1662 \left(\frac{750}{60} \right) = 2.0775 [kW] = -2.8226 [CV]$$

2.6.2- CÁLCULOS DE LOS TRABAJOS Y LAS POTENCIAS DEL PISTÓN 2

Este pistón realiza dos diferentes tipos de trabajos, uno es el de expansión y el otro es de desalojo o expulsión.

Trabajo de Expansión (W_{exp})

Como se trata de un proceso isentrópico, este trabajo se puede calcular con la siguiente ecuación ¹⁸

¹⁸ M. DAVID BURGHARDT, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, , pagina 111.

$$W_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{tot}} RT_3}{1-k} \left[r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

sustituyendo valores en la ecuación anterior

$$W_{\text{exp}} = \frac{(0.002033)(0.287)(405.65)}{1-1.3} \left[0.0499^{\frac{1.3-1}{1.3}} - 1 \right] = 0.3939 [\text{kJ}]$$

Potencia de expansión (\dot{W}_{exp})

$$\dot{W}_{\text{exp}} = -0.3939 \left(\frac{750}{60} \right) = 4.92375 [\text{kW}] = 6.689 [\text{CV}]$$

Trabajo de expulsión o desalojo (W_{des})

Como se trata de un proceso a presión constante y solo existe variación en el volumen, este trabajo se puede calcular de la siguiente manera

$$W_{\text{des}} = P_4 m_{\text{tot}} (-V_D)$$

sustituyendo valores

$$W_{\text{des}} = 125000(0.002033)(598.33 \times 10^{-6}) = -0.152 [\text{kJ}]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Potencia de desalojo (\dot{W}_{des})

$$\dot{W}_{des} = -0.152 \left(\frac{750}{60} \right) = 1.9 [kW] = -2.5815 [CV]$$

2.6.3- CÁLCULO DE LA POTENCIA ENTREGADA

La potencia entregada (\dot{W}_{neto}), es la potencia que se entrega al motor para el movimiento, esta potencia esta calculada a $60 \frac{Km}{hr}$ y 750 rpm, y esta es igual a la potencia de expansión más la potencia de compresión, ya que esta es la que nos permite el movimiento del pistón 2, y da la potencia al motor, por lo tanto (\dot{W}_{neto}) a estas condiciones es:

$$\dot{W}_{neto} = \dot{W}_{exp} + \dot{W}_{comp} [CV]$$

sustituyendo valores

$$\dot{W}_{neto} = 6.689 + (-2.8226) = 3.8664 [CV]$$

2.6.4- CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO

La eficiencia del ciclo (η_{ciclo}), se obtiene con la suma de los trabajos del ciclo, divididos entre el trabajo de compresión ¹⁹

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_{exp} + W_{ad} + W_{comp} + W_{des}}{W_{comp}}$$

sustituyendo valores

$$\eta_{ciclo} = \frac{(-0.152) + (0.3939) + (-0.1662) + (0.036)}{0.1662} = 0.67 = 67\%$$

Después de haber explicado el funcionamiento del motor neumático y calculado los parámetros críticos del mismo, se hace necesario el análisis de los resultados obtenidos y su comparación con los datos proporcionados por el fabricante, lo anterior se realiza en el siguiente capítulo.

¹⁹ KENNETH WARK JR., Termodinámica, quinta edición, página 210.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS DEL MOTOR NEUMÁTICO

En primera instancia se analizan los resultados obtenidos en el capítulo anterior, comparándolos con los datos proporcionados en la ficha técnica del motor. En segunda instancia se comparan las curvas características reales con las teóricas.

Por último se comparan los vehículos de combustión interna, eléctrico y neumático desde un punto de vista ambiental, y se muestra una tabla comparativa de los distintos tipos de vehículos.

3.1- ANÁLISIS DE RESULTADOS

El fabricante proporciona una ficha técnica con datos obtenidos mediante pruebas realizadas al motor neumático, a continuación se hace una comparación de los resultados obtenidos teóricamente, partiendo del ciclo termodinámico del motor neumático determinado en el capítulo anterior.

3.1.1- POTENCIA NETA TEÓRICA

La potencia neta es un parámetro muy importante en cualquier motor, ya que esta es la que da el trabajo entregado por el motor, por unidad de tiempo. La potencia neta (\dot{W}_{neta}) obtenida experimentalmente por el fabricante, a una velocidad de 60 Km/hr, 750rpm, con una autonomía de 240Km es de 3.8CV y la potencia neta obtenida teóricamente en el capítulo anterior a las mismas condiciones es de 3.86

CV, lo cual muestra que lo obtenido teóricamente se asemeja en gran medida a lo proporcionado en la ficha técnica del fabricante.

Así mismo, obteniendo por medio de un programa de computo (Excel) y siguiendo el mismo procedimiento que en el capítulo 2 (en el apartado 2.5.2 Cálculos), las potencias netas a diferentes condiciones de operación del motor neumático, se tiene lo siguiente:

Velocidad (Km/hr)	Autonomía (Km)	RPM	Potencia ^{Teórica} (CV)
30	880	275	0,63346647
40	490	360	1,33099822
50	320	420	2,38007234
60	240	750	3,85668525
70	160	790	6,4238458
80	120	1120	9,73653039
90	100	1570	13,1804318
100	85	2130	17,2777131
110	70	3110	23,2430555

Tabla 1.- Potencia Teórica

3.1.2- POTENCIAS NETAS TEÓRICAS Vs REALES

En la siguiente tabla se hace una comparación de la potencia neta teórica y la potencia neta real (proporcionada por el fabricante). Lo anterior, se hace con el

objeto de observar que tan fidedignos son los datos proporcionados por el fabricante.

Velocidad (Km/hr)	Autonomía (Km)	RPM	Potencia ^{Teórica} (CV)	Potencia ^{Real} (CV)
30	880	275	0,63346647	0,7
40	490	360	1,33099822	1,3
50	320	420	2,38007234	2,5
60	240	750	3,85668525	3,8
70	160	790	6,4238458	6,5
80	120	1120	9,73653039	9,6
90	100	1570	13,1804318	13,5
100	85	2130	17,2777131	18,6
110	70	3110	23,2430555	24,4

Tabla 2 .- Potencias Teóricas y Reales

En principio la potencia teórica es mayor que la potencia real, sin embargo en el caso particular, como se observa en la tabla 2, las potencias teóricas no siempre son mayores; esto se debe a la combinación de variables del proceso²⁰ real con variables del proceso teórico.

La combinación de variables del proceso real con las del proceso teórico se debe a que el objeto del presente trabajo es cotejar la veracidad de la información publicada por el fabricante, así como entender el proceso físico y termodinámico que rigen al motor ya que estos se desconocen, y no se está en la condición

²⁰ Variables: rpm, velocidad (km/hr) y autonomía (Km) proporcionadas por el fabricante.

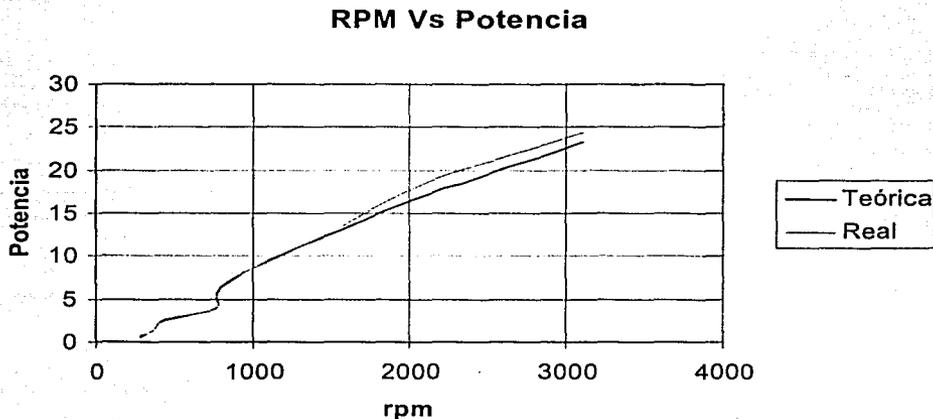
técnica de proponer o determinar todas las variables del proceso termodinámico teórico y del proceso termodinámico real, además si se propusieran todas las variables se estaría hablando en este trabajo de otro motor neumático.

3.1.3- GRÁFICAS DE RESULTADOS

A continuación se muestran diferentes tablas y gráficas que sirven para poder comparar los resultados obtenidos teóricamente con respecto a los datos reales del motor.

3.1.3.1- Gráfica de rpm Vs potencia

La gráfica 1 se obtiene, con los datos de la revoluciones por minuto, potencias reales y potencias teóricas de la tabla 2 del capítulo 2.

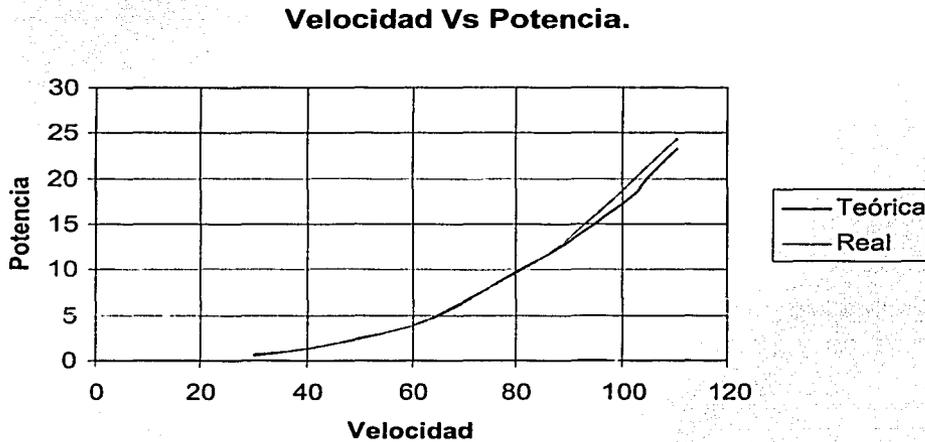


Gráfica 1.- rpm Vs Potencia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.3.2- Gráfica de Velocidad Vs Potencia

La gráfica 2 se obtiene, con los datos de las velocidades, potencias reales y potencias teóricas de la tabla 2 del capítulo 2.



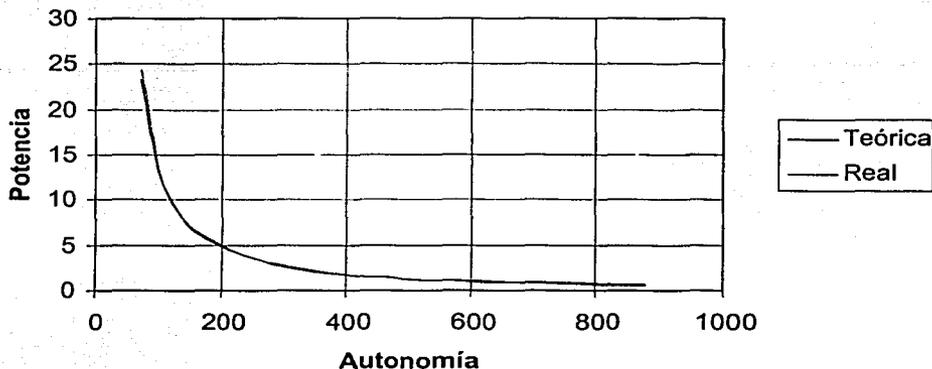
Gráfica 2.- Velocidad Vs Potencia

3.1.3.3- Gráfica de Autonomía Vs Potencia

La gráfica 3 se obtiene con los datos de las autonomías, potencias reales y potencias teóricas de la tabla 2 del capítulo 2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Autonomía Vs Potencia



Gráfica 3.- Autonomía Vs Potencia.

En las gráficas 1, 2 y 3 se observa que la variación entre las curvas es muy pequeña, y que las potencias teóricas y reales son muy parecidas.

3.2- IMPACTO AMBIENTAL

Uno de los principales problemas de las grandes urbes de la actualidad es la contaminación ambiental, según un estudio publicado por la Universidad Nacional Autónoma de México hecho por investigadores del Instituto de Física de la U.N.A.M.²¹, esta es generada en un 75%, por los vehículos circulantes. Con el constante aumento del parque vehicular esto se convierte en un problema mayor que requiere de una solución a corto plazo, ya que de lo contrario el problema

²¹ Revista Transportation Research Part D.

seguiría en aumento y esto afectaría en gran medida la salud de los ciudadanos.

Por todo lo anterior, a continuación se compara la contaminación que producen los vehículos de combustión interna, eléctrico y neumático.

3.2.1- PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LOS VEHÍCULOS

- Principales contaminantes del vehículo de combustión interna:

Los agentes contaminantes más importantes que producen los vehículos de combustión interna y como afectan a los seres humanos son los siguientes.

Dióxido de carbono y monóxido de carbono:

El dióxido de carbono (CO₂) es una sustancia inocua y necesaria para la vida, aunque contribuye a la aparición del efecto invernadero.

El monóxido de carbono (CO) se produce en la combustión incompleta de materiales que contienen carbono en múltiples procesos industriales.

El CO disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno y altera la curva de disociación de la oxihemoglobina, con lo que cae la entrega de oxígeno a los tejidos.

- Dióxido de nitrógeno

La principal fuente de emisión de este gas a la atmósfera es la utilización de combustibles fósiles en motores de combustión interna.

Los efectos del NO₂ en el aparato respiratorio incluyen cambios en la función

pulmonar, alteraciones morfológicas, depresión de los mecanismos de defensa, edema y, en concentraciones elevadas, la muerte.

-Ozono

Debido a la naturaleza tóxica de este gas y el riesgo potencial que representa para la salud del hombre, sus niveles permisibles han sido establecidos, por organizaciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, en 0,12 ppm promedio en una hora, con la recomendación que este nivel no se exceda más de una vez al año. El ozono afecta principalmente le aparato respiratorio.

- Dióxido de azufre:

Las principales fuentes de SO₂ a la atmósfera son las industrias y los vehículos de combustión interna. El aparato respiratorio es el más vulnerable con este contaminante.

-Partículas suspendidas:

Hay estudios que demuestran la asociación entre las enfermedades respiratorias y contaminación por partículas en la atmósfera: tos crónica, bronquitis y otras enfermedades pulmonares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Principales contaminantes de los vehículos eléctricos:

Los vehículos eléctricos, al no tener escape, sus emisiones al medio ambiente son muy bajas, casi nulas, pero estos generan contaminantes por medio de las baterías que utilizan, ya que estas al estar en uso o ser desechadas generan pequeñas emisiones de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, por las reacciones químicas que se llevan a cabo en su interior.

- Principales contaminantes del vehículo neumático:

Por otro lado los vehículos neumáticos, no generan emisiones, ya que en la admisión del aire de la atmósfera, antes de ser comprimido, el sistema lleva un filtro que sirve para eliminar todas las partículas no deseadas que puedan dañar el sistema, por lo tanto, el aire que sale del escape del vehículo es aun más limpio que el aire que entro al sistema.

En la tabla 6²² se muestran las cantidades de los diferentes tipos de contaminantes emitidos por cada tipo de vehículo, haciendo evidente la baja emisión de contaminantes que tiene el vehículo neumático.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

²² Revista: Transportation Research Part F

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

	Gasolina	Neumático	Eléctrico
SO ₂	100	52	630
NO _x	880	23	276
HC	310	16	16
CO	2150	3	27
CO ₂	234	10	126

Tabla 6.- Niveles contaminantes según el tipo de vehículo mg/Km.

3.3- COMPARACIÓN DEL ENTORNO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA, ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO

A continuación se muestra una tabla comparativa de los vehículos de combustión interna, eléctricos y neumáticos, con el fin de observar las ventajas y desventajas de cada uno de estos, y así tener una mejor visión de cada una de las diferentes tecnologías.

Parámetro	Vehículo Eléctrico	Vehículo Neumático	Vehículo Combustión Interna
Costo del Combustible	1.5 pesos / kWh (*)	0.108 pesos/litro	6 pesos / litro
Eficiencia Energética	6.66 Km/kWhr	0.66 Km/litro	8 Km / litro
Costo del combustible por kilómetro	0.22 pesos/ Km	0.163pesos/ Km	.752 pesos/ Km
Autonomía	80 - 120 Km	90 a 324	450 - 500 Km
Capaz de ir a 130 Km / h	No	Sí	Sí

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Impacto Ambiental	<p>Contamina aproximadamente un 70% menos que el vehículo de combustión interna</p> <p>Baterías son 97% reciclables. (ácido plomo)</p> <p>Pocas emisiones en el Vehículo</p>	<p>Contamina aproximadamente un 97% menos que el vehículo de combustión interna y un 30% aproximadamente menos que el vehículo eléctrico.</p> <p>Contamina menos que el eléctrico, debido a que solamente utiliza una batería y eléctrico utiliza de 10 a 12.</p> <p>Como es aire el combustible que se utiliza en el vehículo no produce emisiones. (cero emisiones por el escape)</p>	<p>Emite monóxido de carbono, óxido de azufre y óxidos de nitrógeno</p> <p>Problemas con la disposición de aceites usados, filtros, anticongelantes, inhibidores de corrosión, fajas, mangueras, bujías.</p> <p>Conforme más antiguo aumenta el nivel de contaminación que emite.</p>
Dependencia Energética	No depende de combustibles fósiles	No depende de combustibles fósiles	Utiliza únicamente combustibles fósiles
Seguridad	Accidentes serios pueden causar derrame de ácido sulfúrico en algunos casos. Este puede ser neutralizado con agua y soda sin peligro para las personas.	Accidentes serios no causan mas que salida de aire a presión, sin explosión alguna.	Accidentes serios pueden causar derrame de gasolina o fuego, aspectos que pueden dañar a las personas y el ambiente
Potencia	20 CV	24 CV	100 CV
Eficiencia del motor	92 %	67%	30%
Uso en la Ciudad	Excelente para recorridos cortos	Excelente para recorridos cortos	Aumenta la contaminación en recorridos cortos

Tabla 7.- Comparación del entorno de los motores

Comentarios y Conclusiones

Después de haber analizado el funcionamiento y haber obtenido el ciclo termodinámico del motor neumático, se puede decir que cumple con las leyes termodinámicas, ya que el trabajo mecánico que realiza el motor es positivo y las temperaturas y presiones calculadas son muy coherentes con la realidad y no infringen ningún principio termodinámico.

Las potencias netas teóricas calculadas mediante el ciclo termodinámico son muy parecidas a las potencia netas reales, ya que su variación es pequeña y se sabe que en los cálculos termodinámicos teóricos siempre hay variaciones con respecto a los datos reales, debido a que en todos los ciclos termodinámicos se hacen idealizaciones para facilitar los cálculos.

Por lo tanto se concluye que la ficha técnica y las gráficas del motor neumático que proporciona el fabricante cumplen desde el punto de vista termodinámico, ya que las gráficas y los cálculos realizados a partir del ciclo termodinámico del motor, tienen muy poca variación con respecto a estos.

Los vehículos de combustión interna son los que más contaminan, debido a que sus emisiones son muy altas y muy dañinas para el medio ambiente y para el ser humano.

Los vehículos eléctricos no tienen emisiones tan altas como los de combustión interna, pero lo que más contamina de este vehículo son sus baterías, debido a que utiliza mínimo 10 de estas. El vehículo neumático es el que menos contamina de los tres, ya que no genera emisiones y utiliza únicamente una batería.

Analizando la tabla 7 (Capítulo 3) se tiene que el costo del combustible es por mucho menor el del vehículo neumático con respecto a los otros dos vehículos, y su autonomía es mucho mayor a la del vehículo eléctrico. La eficiencia del vehículo neumático es mucho mayor a la del vehículo de combustión interna y en el caso de que ocurra un accidente es el más seguro de todos, ya que no derrama ni combustibles fósiles ni ácidos que afecten a las personas o al medio ambiente.

Por todo lo anterior se concluye que el vehículo neumático resulta muy eficiente en recorridos cortos y puede ser una alternativa para reducir la contaminación que existe en las grandes urbes, debido a que es el que menos contamina.

Otra ventaja que muestra esta nueva tecnología, es que va a descentralizar la contaminación de las grandes urbes, ya que no contamina cuando se está utilizando, esta genera contaminación cuando se produce la electricidad con la que se llenan los tanques de aire comprimido.

Por último se concluye, que esta nueva tecnología amerita ser estudiada más a fondo para su posible utilización en nuestra ciudad y en otras grandes ciudades

del mundo, ya que vivimos en una ciudad muy contaminada que necesita soluciones ambientales inmediatas para detener el problema de la contaminación, y por otro lado el combustible fósil se acabará en algunos años y se necesitan alternativas viables y seguras para el futuro desarrollo del país y de la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- WILLIAM C. REYNOLDS, Ingeniería termodinámica, primera edición, Mc. Graw-Hill, 1983, páginas 98-102, 397-410.
- VIRGIL MORING FAIRES, Termodinámica, segunda edición, Editorial Hispano-Americana, 1978, páginas 128-131, 222-263.
- SEGURA CLAVEL, Termodinámica Técnica, primera edición, Editorial Reverte, 1999, páginas 49-52, 326-329, 354-360.
- GORDON J. VAN WYLEN, Fundamentos de Termodinámica, décima reimpresión, Editorial Limusa, 1982, páginas 111-197.
- GOLDEN M. FREDERICK, Termofluidos, Turbomáquinas y Máquinas Térmicas, primera reimpresión, Editorial Continental, 1991, páginas 44-48.
- YUNUS A. CENGEL, Thermodynamics an Engineer Approach, segunda edición, Editorial McGraw-Hill, 1994, páginas 336-338, 457-464.
- SERVENS W.H. ,Energía Mediante Vapor, Aire o Gas, quinta edición, Editorial Reverté, 1997, páginas 358-389, 415-452.
- KENNETH WARK, Termodinámica, quinta edición, Editorial McGraw-Hill, 1996, referencias y consulta general.
- BURGHARDT DAVID, Ingeniería Termodinámica, segunda edición, Editorial Harla, 1984, referencias y consulta general.
- WILLIAM H. CROUSE, Motores de Automóvil, cuarta edición, Editorial Alfaomega Marcombo, 1999, referencias.