



# **Energía residual de descarga de motores de alto desempeño**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**Licenciatura en Ingeniería Mecánica**

Modalidad: Proyecto de Investigación

**Alumno: José Amin Mendieta Parrilla**

Matrícula 203307225

**Asesor de proyecto: Dr. José Ángel Dávila Gómez**

Trimestre 14-I

## Formato PT01



Casa Abierta al Tiempo

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA**

**PT01**

(Original y cuatro tantos)

SOLICITUD DE AUTORIZACION DE PROYECTO(S) TERMINAL(ES): I y II CLAVE(S): 113351 y 113352

José Amin Mendieta Parrilla

203307225

**NOMBRE DEL ALUMNO**

**MATRICULA**

**Ingeniería Mecánica  
Carrera**

**07 de Diciembre de 2011  
Fecha**

**José Ángel Dávila Gómez  
Asesor**

**Energía  
Departamento**

**Nombre del proyecto:** "Energía residual de descarga de motores de alto desempeño"

**Objetivos del proyecto:**

- Objetivo general
  - Identificar las características de la energía de descarga de motores de alto desempeño (Fórmula 1, prototipos y deportivos), y la sobrealimentación derivada, en automotores comerciales.
- Objetivos específicos
  - Seleccionar la escudería o el fabricante de prestigio de motores sobrealimentados con turbocargadores, dependiendo de la disponibilidad y accesibilidad.
  - Analizar la evolución de su sobrealimentación y su prospectiva, en particular, respecto a la incorporación de sus modalidades en vehículos comerciales.
  - Observar las aplicaciones concretas en motores comunes y caracterizar sus especificaciones.

**Antecedentes del proyecto:** Dentro del título de esta propuesta de Proyecto Terminal de Ingeniería Mecánica, se pueden encontrar dos elementos que son de gran interés personal, la ingeniería y el automovilismo. En breve, se puede señalar que la tecnología de alto desempeño ha evolucionado de manera inimaginable, y a pesar de que, en apariencia, puede ser vista por muchos, en la realidad solamente puede ser entendida por pocos y accesible sólo para algunos privilegiados, por esta razón surge el interés del análisis de la energía residual de descarga en estos automóviles.

**Descripción técnica:** En el contexto de la energía residual se buscará encontrar relaciones entre la incorporación de dispositivos de sobrealimentación en motores de alto desempeño como los empleados en Fórmula 1, Prototipos y autos deportivos, respecto a su posterior utilización en el diseño de los vehículos comerciales procediendo a caracterizar uno de estos últimos en su desempeño individual (con o sin dispositivo sobrealimentador), como aportación específica del proyecto terminal.

**Fechas importantes**

Entrega del informe parcial o final al asesor: Semana 10 Trimestre 12 P

Presentación del informe al comité de estudio: Semana 10 Trimestre 12 P

\_\_\_\_\_  
**Alumno (firma)**



\_\_\_\_\_  
**José Ángel Dávila Gómez  
Asesor (nombre y firma)**

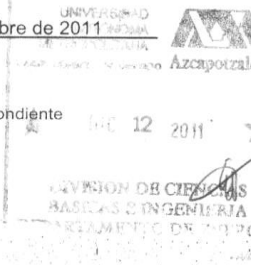
ANEXOS: Plan de trabajo  
\_\_\_\_\_

**M. en C. Arturo Lizardi Ramos**  
Coordinador de estudios

\_\_\_\_\_  
**07 de Diciembre de 2011  
Fecha**

Original: Coordinación de sistemas escolares  
Copia 1: Coordinador de estudios  
Copia 4: Interesado  
**UNIDAD AZCAPOTZALCO**  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas. 02200 México, D.F. Apdo. Postal 16-306 02000 México, D.F. Tel: 5318 9060

Copia 2: Departamento correspondiente  
Copia 3: Asesor



## **Resumen**

En el contexto de recuperación de energía residual de automotores, se buscará encontrar relaciones entre la incorporación de dispositivos de sobrealimentación, en motores de alto desempeño como los empleados en autos deportivos, respecto a su posterior utilización en el diseño y uso de los vehículos comerciales, procediendo a caracterizar uno de estos últimos en su desempeño individual (con y sin dispositivo sobrealimentador), como aportación específica del proyecto terminal.

El interés personal por la aplicación del conjunto de conocimientos adquiridos en el curso de estudio de la ingeniería y el gusto por el automovilismo, son parte del inicio de una propuesta para proyecto terminal, sin dejar a un lado la evolución de la tecnología en motores de alto desempeño, la implementación y sofisticación de reglas para poder desplazar un automóvil a altas velocidades y demás elementos que en apariencia, pueden ser vistos por muchos, en la realidad solo puede ser entendido por pocos y accesible sólo para algunos privilegiados.

## **Abstract**

In the context of waste energy recovery of motor, this work will seek to find relationships between incorporation of devices boost in high performance engines such as those used in sportive cars, compared to later use in the design and use of commercial vehicles; thus, proceeding to characterize one of these latter in their individual performance (with and without supercharger device on) as the specific contribution of the terminal project.

The personal interest in the application of all the knowledge acquired in the course of study in engineering and the taste for racing, are part of a proposal to start terminal project, leaving aside the evolution of engine technology high performance and sophistication of the implementation rules to move a car at high speeds and other elements that apparently can be seen by many, in reality can only be understood by few and accessible only to a privileged few.

## DEDICATORIA

A mamá Lorena,  
a María,  
a Tito,  
a Valeria,  
a Ciela, Toño y Esteban.

A Norma,  
a Susana,  
a Javier padre,  
a Susette y Javier hijo.

A todos aquellos que no he mencionado no por ser menos,  
y que en su momento me han apoyado,  
incluso a aquellos que han puesto esfuerzo en hacerme tropezar.

## AGRADECIMIENTOS

Infinitamente agradezco a los que en la dedicatoria he mencionado, porque de ellos he aprendido lo más importante de la vida y que en los cursos académicos ignoramos, me refiero a cosas como el amor, el esfuerzo, la inteligencia, la constancia en las metas, el sacrificio, la búsqueda de una múltiple disciplina, saber caer y saber levantarse, estas cosas que se han vuelto en la mano salvadora que me ayuda a regresar al camino que busco.

A mi asesor por su paciencia, interés e ímpetu por enfocar mi conocimiento hacia un proyecto que en ningún punto busca dañar a alguien y que en lugar de eso procura un beneficio intelectual y tecnológico, potenciando mis capacidades personales y de relación con las empresas del ramo.

A los profesores que más que enseñar a resolver problemas de pizarrón se dedicaron a enseñar cómo entrar a un salón, y me refiero a cómo entrar con presencia y porte a instruir a una persona, no a hacer cosas por hacer sino aprender a hacer las cosas que se tienen que hacer.

A mis compañeros, que lejos de la burla y de convertirme en comodín de las presentaciones, me ayudaron a buscar el liderazgo y la paciencia de trabajar en equipo.

Al Ing. Verónica Fuentes Villafuerte (Gerente de Servicio) y al Sr. I. Retana (Jefe de Taller) de la concesionaria de Volkswagen La Villa que desde mi visita para solicitar autorización hasta el presente se han mostrado amables y cordiales hacia mi persona y hacia todo aquel proyecto estudiantil.

Y no menos importante, gracias a la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, que me permitieron continuar en la calidad de alumno regular para alcanzar el fin de este ciclo académico.

## **DECLARATORIAS**

Yo, José Ángel Dávila Gómez, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Yo, José Amin Mendieta Parrilla, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



## Contenido

- Resumen
- Abstract
- Dedicatoria
- Agradecimientos
- Declaratorias
- Introducción
  - Antecedentes
  - Marco teórico
    - Ciclos termodinámicos en motores de émbolo
    - Sobrealimentación
    - Intercooler
    - Ciclo Ericsson
    - Ciclo Brayton
    - Ralentí
    - Hipótesis
    - Motores
- Objetivos
  - Objetivo general
  - Objetivos específicos
- Desarrollo
- Resultados
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Bibliografía
- Internet
- Anexos

## Índice de figuras, tablas, diagramas y fotografías

- Figura 1. Diagrama P – V, ciclo de motor térmico.....12
- Figura 2. Diagramas P-v y T-s para ciclo Brayton.....16
- Fotografía 1. Motor TSI 2.0, marca Volkswagen.....19
- Tabla 1.....20
- Tabla 2.....20

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

A través del tiempo, el ser humano ha buscado varias y mejores alternativas de mejorar su calidad de vida satisfaciendo necesidades como la obtención de alimentos, la construcción de viviendas, la fabricación de abrigo y transporte entre otras más. Considerando la necesidad de transporte se ha aventurado a viajar a través de medios, terrestres, aéreos y marítimos, encontrando los elementos y componentes suficientes que le permitan atender de forma básica el requerimiento de desplazarse sin importar lo cortas o largas que puedan ser las distancias, la cantidad de operarios o pasajeros, el tipo de carga, etc. Más allá de estas funciones básicas, se han encontrado las condiciones adecuadas para un diseño y mejora que permita que el transporte logre tener una cierta comodidad, tanto en sus elementos internos como externos.

Dentro de estas características de confort, se ha buscado una mejora en el desempeño y diseño de los motores. De acuerdo a lo anterior, diseñadores y fabricantes han buscado sobresalir mediante el desarrollo de motores de alto desempeño.

La energía residual la definimos como aquella que resulta de la descarga del motor de combustión interna (mci), a la atmósfera durante cada ciclo y que representa un costo adicional para la potencia entregada, es decir, de combustible obligado sin utilidad, así como una contaminación térmica al ambiente. Por ello, la energía residual de los ciclos Otto, Diesel y combinados, está a la base de los motores sobrealimentados mediante la incorporación de nuevos dispositivos.

De lo anterior, surgió la idea de utilizar sistemas que mejoraran el aprovechamiento de energía residual generada por el proceso de combustión, por esa razón en años anteriores se propuso el uso de sistemas de sobrealimentación tipo turbocargadores de autos de F1, prototipos y deportivos. El uso de estos sistemas tenía sólo una complicación, por consiguiente, su uso no fue aceptado inicialmente por los fabricantes.

Siendo la sobrealimentación la tecnología del aprovechamiento de parte de la energía de los gases de descarga (que, se recordará, identificamos como energía residual para los propósitos del proyecto); en la actualidad se ha regresado nuevamente al uso de los sistemas turbocargadores, debido al avance en la tecnología con materiales más ligeros.

# MARCO TEÓRICO

## Ciclos termodinámicos en motores de émbolo

Transformar energía química (calorífica), en mecánica dentro de un motor de combustión interna es un proceso complejo que se puede relacionar con la cantidad de calor que se puede ceder durante la expansión de los gases de combustión o absorber en la compresión de la mezcla operante reactiva, combustible – comburente.

Una forma de evaluar eficiencia de cada una de estas etapas es comparar su eficiencia teórica y su eficiencia real. Esta comparación es de utilidad para esbozar alternativas que permitan aumentar la capacidad de trabajo de los ciclos y la cantidad de calor consumida por unidad de potencia.

Considerando las propiedades reales y teóricas involucradas en los ciclos termodinámicos, se pueden plantear las siguientes suposiciones:

1. En el cilindro del motor se encuentra una cantidad constante e invariable de fluido operante que efectúa un ciclo cerrado.
2. El calor se suministra al motor desde el exterior, durante un determinado período del ciclo, de acuerdo al proceso en utilización.
3. El calor específico tanto del fluido operante como de los gases de combustión, dentro del cilindro puede considerarse a una media constante dentro de los rangos térmicos específicos de la operación.
4. Los procesos de compresión, rápidos, se efectúan sin intercambio de calor; son adiabáticos.

Estas suposiciones son sólo teóricas, ya que, el cilindro debe desalojar los gases quemados durante la combustión y admitir una nueva dosis de fluido operante, efectuándose un trabajo, el calor es generado por el proceso de la combustión, producto de la reacción química en la que no siempre se quema totalmente el combustible ocasionando pérdidas de calor, la magnitud del calor específico del fluido operante varía dependiendo de su temperatura y composición y, debido al intercambio de gases en los procesos de compresión y expansión ocurren considerables diferencias de temperatura.

Entonces, al aplicar la segunda Ley de la Termodinámica el rendimiento térmico para un ciclo teórico, que se realiza con 1 [kg] de fluido operante es:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = \frac{W_c}{q_1} \quad \boxed{\text{Ecuación 1.}}$$

Donde:

$\eta_t$ : rendimiento teórico

$q_1$ : cantidad de calor suministrada durante el ciclo  $\left[\frac{J}{kg}\right]$

$q_2$ : cantidad absoluta de calor cedido a la fuente fría durante el ciclo  $\left[\frac{J}{kg}\right]$

$W_c$ : Trabajo efectuado por 1kg de fluido operante durante el ciclo  $W_c = q_1 - |q_2|$

Para cualquier ciclo cerrado, el trabajo efectuado por 1 Kg de fluido operante es:

$$W_c = \oint p \, dv$$

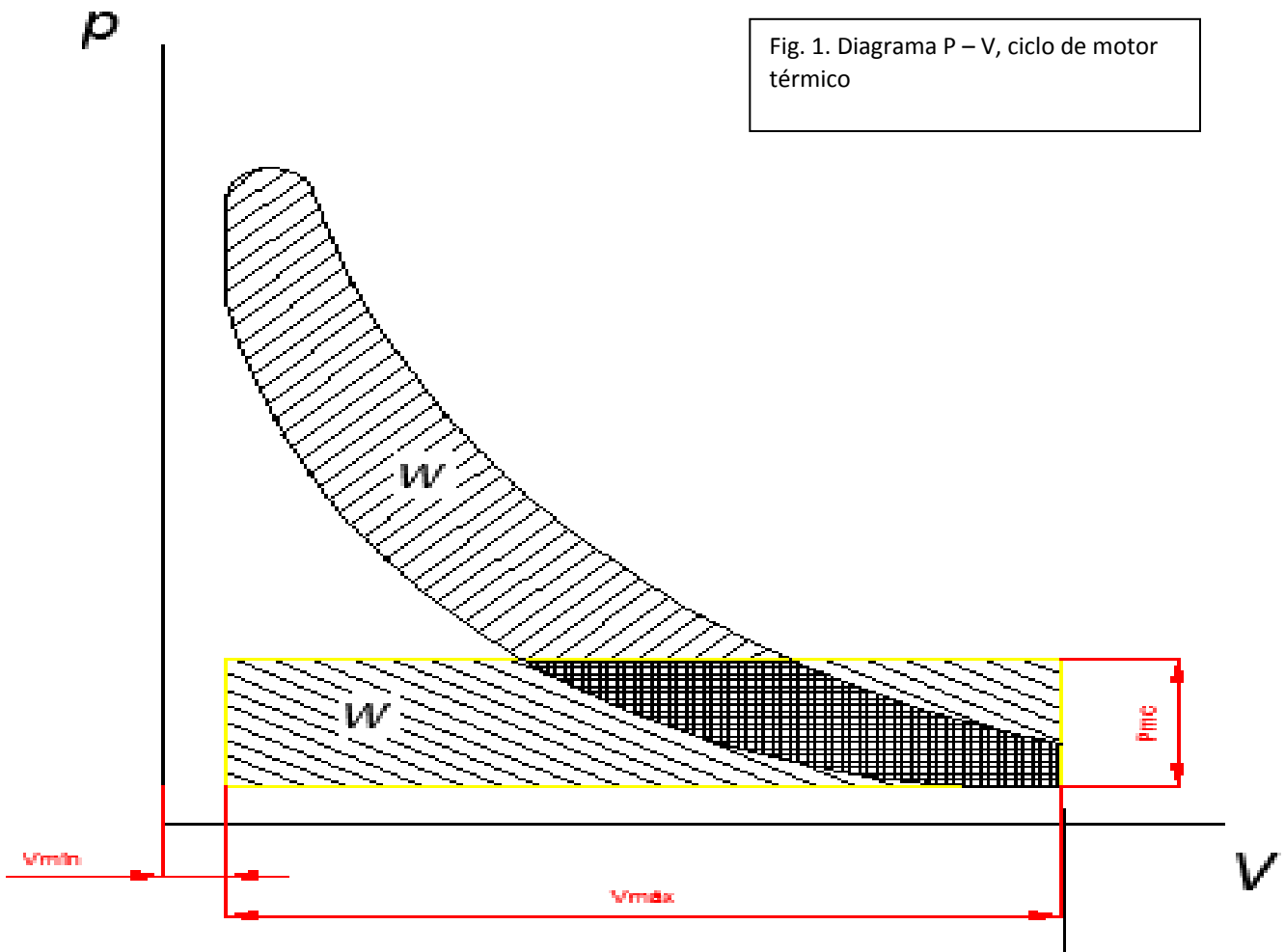
Ecuación 2.

Donde:

P: Presión [Pa]

V: volumen [cm<sup>3</sup>]

El trabajo  $W_c$  se determina por todo el área achurada de la figura 1, que muestra el diagrama del ciclo térmico de un motor de émbolo.



Para comparar los ciclos de trabajo efectuados en motores con diferentes dimensiones de cilindros, generalmente se refiere el trabajo on respecto a la unidad de volumen de la cilindrada, es decir, respecto a la diferencia de los volúmenes  $V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}$ . con este fin, la superficie que represente el trabajo del ciclo  $W_c$ , puede cambiar condicionalmente por una superficie rectangular que sera equivalente, cuya base sera la diferencia de los volúmenes con altura  $P_{mc}$ :

$$P_{mc} = \frac{W_c}{V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}}$$

Ecuación 3.

Donde:

$P_{mc}$  = Presión convencional constante [Pa]

Numéricamente,  $P_{mc}$  es igual al trabajo específico (trabajo por unidad de volumen de cilindrada, es decir, la presión que actúa sobre el émbolo durante el tiempo correspondiente a la variación de volumen desde  $V_{m\acute{a}x}$  hasta  $V_{m\acute{i}n}$ . A esta presión se le denomina presión media efectiva (*M.S. Jóvaj, 1982*).

### Sobrealimentación

El incremento en la capacidad de carga, la velocidad de los vehículos y su uso a diferentes alturas sobre el nivel del mar, se han convertido en factores importantes a considerar para realizar adecuaciones a las características nominales de los motores, procurando no exceder sus dimensiones de tamaño ni de masa. Como posible solución a tales requerimientos, se ha buscado elevar la potencia por unidad de cilindrada.

La potencia por unidad de cilindrada queda definida de la siguiente manera:

$$N_1 = \frac{n}{30t} \frac{H_u}{l_o} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \eta_m \rho_k$$

Ecuación 4.

Donde:

$n$ : la frecuencia de rotación del cigüeñal en [rpm] ó [rps].

$t$ : el número de tiempos del motor, es decir el número de carreras del pistón por ciclo.

$\eta_m$ : rendimiento mecánico

$\eta_v$ : coeficiente de llenado

$\eta_i$ : rendimiento indicado

Para la cilindrada dada del motor, la potencia puede elevarse incrementando la frecuencia de rotación  $n$  o la presión media efectiva  $P_e$ . La primera posibilidad queda limitada por la velocidad media límite del pistón (considerando la condición de durabilidad de la estructura).

Considerando incrementar la presión media efectiva se tienen las siguientes posibilidades.

La relación  $(\eta_i / \alpha)$  se determina por el proceso indicado en el cilindro, esta magnitud puede seguir creciendo solamente en un pequeño porcentaje y no puede ejercer gran influencia sobre  $P_e$ . La magnitud de  $\eta_v$  también debe ser considerada con el fin de no alcanzar valores elevados para tener influencia sobre  $P_e$ . Y por último, la densidad de la carga  $\rho_k$  puede incrementarse considerablemente elevando el valor de la presión de carga del aire o mezcla que ingresa al cilindro. Este procedimiento se denomina *sobrealimentación* del motor. Entonces, proporcionalmente a  $\rho_k$  crece  $P_e$  y, por consiguiente, la potencia por unidad de cilindrada del motor.

Al emplear la sobrealimentación, las pérdidas por fricción son mayores en comparación con los valores de las mismas que se obtienen cuando el motor funciona sin sobrealimentación, pero a consecuencia de la elevación de la potencia efectiva el rendimiento mecánico del motor sobrealimentado aumenta.

La elevación de la presión del aire se realiza en un compresor que puede ser activado por el motor. A pesar del consumo de potencia que se gasta en hacer trabajar al compresor, la sobrealimentación considerablemente incrementa la potencia efectiva del motor, justificándose de la siguiente manera. El trabajo que se gasta en la compresión o se obtiene de la expansión del gas, es proporcional a su temperatura inicial. En el compresor el aire se comprime siendo relativamente baja la temperatura, y por lo tanto, produce mayor trabajo que aquella que se gastó en la compresión.

En otras palabras, la sobrealimentación se puede definir como el incremento de la densidad de la mezcla que se introduce en los cilindros más allá de la densidad con que se trabajaría a condiciones atmosféricas.

La elevación de la potencia del motor como consecuencia de la sobrealimentación se evalúa por el grado de sobrealimentación

$$P_{\text{sobrealimentación}} = \frac{P_{es}}{P_e}$$

Ecuación 5.

Donde:

$P_{es}$  es la presión media efectiva obtenida en el motor sobrealimentado.

En caso de la sobrealimentación se elevan la presión y la temperatura del aire al final de la compresión. Esto limita el grado de sobrealimentación en los motores de carburador debido a la aparición de la detonación. La sobrealimentación puede utilizarse en los motores de automóviles de encendido por chispa al funcionar estos en condiciones montañosas con el fin de conservar la potencia nominal.

La potencia nominal del motor de encendido por chispa, al aplicar la sobrealimentación, puede elevarse combinando la relación de compresión, la presión de sobrealimentación y el coeficiente de exceso de aire, de manera que sea posible alcanzar una elevada potencia al utilizar un combustible de cierto número de octano asignado, sin que aparezca la combustión detonante.

Sobre todo resulta ventajosa la sobrealimentación en los motores Diesel, en los cuales la magnitud de la presión de carga no se limita por el surgimiento de la combustión detonante. Esto permite aumentar considerablemente la potencia por unidad de cilindrada en dichos motores. Con el fin de garantizar la fiabilidad y una aceptable intensidad térmica del motor Diesel sobrealimentado se limita la máxima presión del ciclo y cuando funciona en el régimen nominal se eleva el coeficiente  $\alpha$ . Esto último permite disminuir el contenido relativo de los componentes tóxicos y negro de carbón en los gases quemados. Los aspectos positivos mencionados muestran las perspectivas de ampliación del campo de aplicación de los motores Diesel sobrealimentados en los automóviles y tractores.

### **Intercooler**

Es un dispositivo utilizado para enfriar el aire que ingresa al motor, ocupado en vehículos equipados con turbo compresor con la finalidad de enfriar el aire que ha de entrar al motor a través del filtro de aire para después mezclarse con combustible.

Retomando la condición de que la sobrealimentación en motores de alto desempeño requiere de grandes cantidades de mezcla combustible – aire, las partículas de aire frío ocupan menor espacio en la cámara de combustión permitiendo mayor incorporación de combustible incrementándose así la densidad de la mezcla. Esta admisión de aire frío debe ser reflejada en el incremento del rendimiento energético, en el desgaste del motor debido a una mezcla de combustión de menor temperatura que sin Intercooler, evitando quemar las válvulas de admisión / escape.

### **Ciclo Ericsson**

Este es un ciclo térmico reversible con regeneración. Una forma breve de describirlo es la siguiente: el generador actúa como un intercambiador de calor en contraflujo con el aire de admisión y los gases de combustión. La corriente de fluido frío (aire de admisión), sale del intercambiador de calor (intercooler), a la temperatura de entrada de la corriente caliente (gases de escape). Preferentemente, para las condiciones que el análisis de este trabajo requiere, se emplea el ciclo Brayton.



## Ciclo Brayton

Las turbinas de combustión funcionan según este ciclo y se puede explicar de la siguiente forma: se aspira aire a condiciones de presión atmosférica, su temperatura es elevada en la unidad compresora, se conduce a la cámara de combustión para ser inyectado el combustible, los gases producto de la combustión se expanden contra los álabes de la turbina desarrollando un trabajo útil y posteriormente salen a la atmósfera a través del escape.

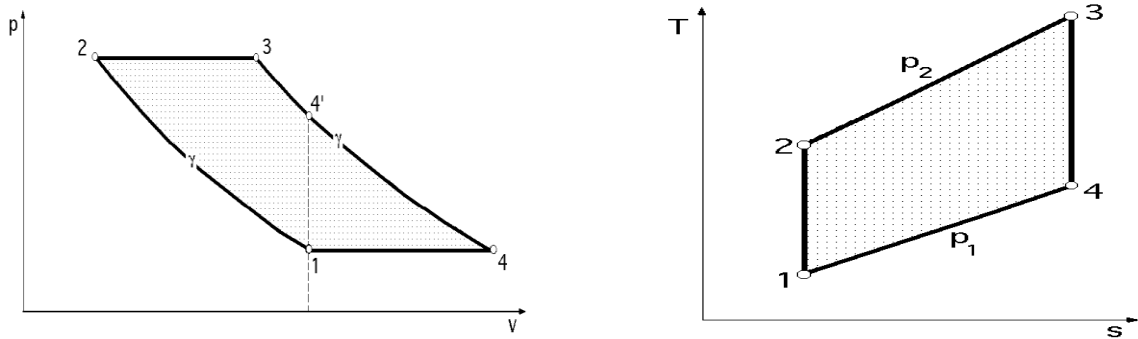


Figura 2. Diagramas P-v y T-s para ciclo Brayton.

# OBJETIVOS

- **Objetivo general**

- Identificar las características de la energía de descarga de motores de alto desempeño (Fórmula 1, prototipos y deportivos), y la sobrealimentación derivada, en automotores comerciales.

- **Objetivos específicos**

- Seleccionar la escudería o el fabricante de prestigio de motores sobrealimentados con turbocargadores, dependiendo de la disponibilidad y accesibilidad.
- Analizar la evolución de su sobrealimentación y su prospectiva, en particular, respecto a la incorporación de sus modalidades en vehículos comerciales.
- Observar las aplicaciones concretas en motores comunes y caracterizar sus especificaciones.

## DESARROLLO

- Estudio de teoría de turbocargadores.

En general, existen tres tipos de sistemas de sobrealimentación: 1) con *compresor* accionado por el motor, acoplado al cigüeñal del motor a través de una transmisión de velocidad; 2) con *turbocompresor*, accionado con el uso de la energía de los gases de escape, el compresor se instala en el mismo eje de la turbina; y, 3) *combinado* o *mixto*, donde el compresor es accionado primero por el motor y después por el turbocompresor. En la actualidad, algunos fabricantes han adoptado el control electrónico, con esto el turbocompresor funcionará de manera *combinada*

- Estudio de ciclos Otto, Diesel, Brayton y Ericsson.

El estudio de estos ciclos, debe permitir conocer, observar y distinguir las características de la termodinámica en los motores a estudiar, con y sin sobrealimentación.

- Estudio de uso de turbocargadores en automóviles comerciales.

Este punto refiere a buscar una justificación del uso de automotores comerciales con dispositivos de sobrealimentación en uso dentro de una ciudad, que puede o no, estar al nivel del mar.

- Retroalimentación de objetivos.

Los objetivos no se modificaron.

- Programación de experimento comparativo con automóviles comerciales.

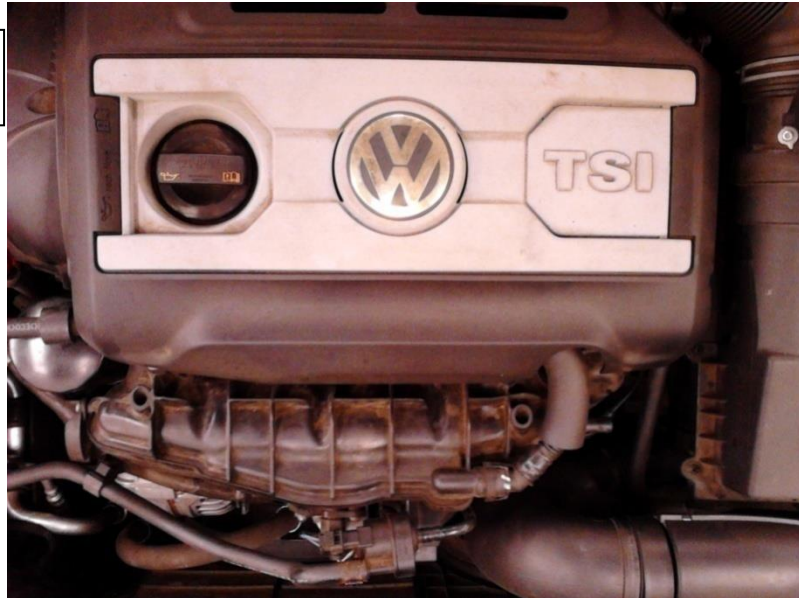
El experimento se realizó dentro de uno de los talleres de mantenimiento de la marca VW, por tal motivo, se estuvo sujeto a la disponibilidad de los modelos disponibles equipados con el sistema de sobrealimentación.

Para poder realizar la parte práctica, primero fue necesario leer algunos de los manuales que Volkswagen ha creado para instruir a sus técnicos de mantenimiento. Estos manuales, permiten conocer la nomenclatura y familiarizarse con los procesos y elementos que intervienen en los automóviles de la marca.

A disposición de esta investigación se tuvieron dos modelos automotrices diferentes con el mismo tipo de motor. Estos fueron el Golf GTI y el Beetle Sport, ambos con un motor sobrealimentado por turbocargador el TSI 2.0 (Fotografía 1).

Para obtener las mediciones registradas se utilizó el escáner Vas 5054a, con modo de conexión bluetooth.

Fotografía 1. Motor TSI 2.0,  
marca Volkswagen



- Planteamiento de hipótesis.
  - Con la sobrealimentación aumenta la temperatura y la presión del aire al final de la compresión.
  - La presión del aire se eleva en un compresor. Hacer trabajar al compresor consume energía, la sobrealimentación incrementa considerablemente la potencia efectiva del motor.
  - Con sobrealimentación, las pérdidas por fricción son mayores en comparación con los valores de las mismas que se obtienen cuando el motor funciona sin sobrealimentación (en ralentí), a consecuencia de la elevación de la potencia efectiva el rendimiento mecánico del motor aumenta.
  - Es posible obtener los valores de las diferentes temperaturas y presiones del aire de admisión y los gases de escape.
  - La sobrealimentación se va a realizar en un ciclo térmico isocórico.
  - El ciclo es abierto, ya que se espera admisión de aire y salida (escape) de gases de combustión.
- Simulación.
- Análisis de resultados y conclusiones.
- Integración de componentes de la investigación.

## Resultados

A continuación, se muestra las tablas 1 y 2, respectivamente, con los valores obtenidos en las pruebas realizadas. Se dividen, inicialmente, por modelo de chasis, Beetle Sport ó Golf GTI, ambos motores son los mismos, sin embargo, hago esta distinción por si fuera el caso de que existan elementos, componentes, diseño, incluso la forma en que son montados (horizontal o vertical) que pudieran tener efecto sobre las pruebas o los valores obtenidos, y que anteriormente no hayan sido contemplados. Posteriormente, se divide por número de prueba significativa para el análisis donde se muestra variación de alguna de las variables de referencia contenidas en las tablas. Y por último, se hace una distinción con referencia de la velocidad angular del motor, lo que indica si el motor está trabajando en ralentí o con sobrealimentación.

| Modelo: Beetle sport. Motor: 2.0 l Inyección Directa TSI |  |            |
|--|--|------------|
| Prueba 1   | Ralentí                                      |            |
|  | Régimen del ralentí                          | 727 [rpm]  |
|  | Presión de sobrealimentación, valor efectivo | 0.78 [bar] |
|  | Presión de sobrealimentación, valor teórico  | 0.62 [bar] |
|  | Par del motor                                | 11.4 [N m] |
|  | Temperatura de aire de admisión              | 87 [°C]    |
|  | Presión del colector de admisión             | 0.25 [bar] |
| Prueba 2   | Ralentí                                      |            |
|  | Régimen del ralentí                          | 728 rpm    |
|  | presión de sobrealimentación, valor efectivo | 0.78 [bar] |
|  | presión de sobrealimentación, valor teórico  | 0.62 [bar] |
|  | Par del motor                                | 10.3 [N m] |
|  | Temperatura de aire de admisión              | 90 [°C]    |
|  | Presión del colector de admisión             | 0.24 [bar] |
|  | Presión de admisión absoluta                 | 23 [kPA]   |
| Temperatura de los gases de escape antes del catalizador | 308.3 [°C]                                   |            |

Tabla 1.

| Modelo: Golf GTI Motor: 2.0 l Inyección Directa TSI |  |            |
|---|--|------------|
| Prueba 1  | Ralentí  |            |
|   | Régimen del ralentí  | 720 rpm    |
|   | presión de sobrealimentación, valor efectivo                   | 770 [mbar] |
|   | presión de sobrealimentación, valor teórico                    | 280 [mbar] |
|   | Par del motor  | 0 [N m]    |
|   | Temperatura de aire de admisión                                | 54 [°C]    |
| Prueba 2  | Temperatura media de los gases de escape antes del catalizador | 308.3 [°C] |
|   | Con sobrealimentación  |            |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
|          | Régimen del motor  | 2020 rpm   |
|          | presión de sobrealimentación, valor efectivo                   | 770 [mbar] |
|          | presión de sobrealimentación, valor teórico                    | 280 [mbar] |
|          | Par del motor  | 0 [N m]    |
|          | Temperatura de aire de admisión                                | 68 [°C]    |
|          | Temperatura media de los gases de escape antes del catalizador | 528 [°C]   |
| Prueba 3 | Con sobrealimentación  |            |
|          | Régimen del motor  | 2550 rpm   |
|          | presión de sobrealimentación, valor efectivo                   | 800 [mbar] |
|          | presión de sobrealimentación, valor teórico                    | 310 [mbar] |
|          | Par del motor  | 0 [N m]    |
|          | Temperatura de aire de admisión                                | 65 [°C]    |
|          | Temperatura media de los gases de escape antes del catalizador | 666 [°C]   |
| Prueba 4 | Con sobrealimentación  |            |
|          | Régimen del motor  | 3560 rpm   |
|          | presión de sobrealimentación, valor efectivo                   | 820 [mbar] |
|          | presión de sobrealimentación, valor teórico                    | 320 [mbar] |
|          | Par del motor  | 0 [N m]    |
|          | Temperatura de aire de admisión                                | 63 [°C]    |
|          | Temperatura media de los gases de escape antes del catalizador | 666 [°C]   |
| Prueba 5 | Con sobrealimentación  |            |
|          | Régimen del motor  | 3440 rpm   |
|          | presión de sobrealimentación, valor efectivo                   | 800 [mbar] |
|          | presión de sobrealimentación, valor teórico                    | 320 [mbar] |
|          | Par del motor  | 0 [N m]    |
|          | Temperatura de aire de admisión                                | 66 [°C]    |
|          | Temperatura media de los gases de escape antes del catalizador | 618 [°C]   |

Tabla 2.

### Análisis de resultados

De la tabla 2, la temperatura media de los gases de escape antes del catalizador presenta un aumento en su valor, en la prueba 1, el valor es de 308.3 °C, esta es la temperatura baja, y en la prueba 5, el valor es de 618 °C, esta es la temperatura alta. Este incremento de temperatura es resultado de la sobrealimentación.

El volumen de mezcla de combustible que se utiliza entonces es un proceso isocórico que trae aparejado un aumento de la presión, es decir, de la potencia PV, en la proporción:

Relación 1. Aumento de la presión por sobrealimentación.

$$\frac{618}{308^{\circ}\text{C} + 273}$$

## **Conclusiones**

El objetivo de trabajar de acuerdo a la disponibilidad y accesibilidad de un fabricante de prestigio, sí se alcanzó, pues se trabajo con motores de la marca Volkswagen.

## Referencias

- [1] Motores de Automóviles. M. S. Jóvaj. Edit. MIR.Moscú. 1987.
- [2] Yunus A. Cengel. Michael A. Boles, Termodinámica, México, Mc Graw Hill, 988 páginas. Sexta edición 2009.
- [3] El motor 2,0l FSI con turbo-sobrealimentación, diseño y funcionamiento, Programa autodidáctico 337. ©VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg.
- [4] Inyección electrónica 1.8 Turbo, Descripción Técnica y Funcionamiento, Entrenamiento a la Red-Servicio.© 2000 VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg.