

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Automotriz

Artículo de investigación previo a la obtención del título de ingeniero en mecánica automotriz

Tema:

“Estudio tribológico en motores a diésel en periodo de mantenibilidad regular”

Mario Fabián Cevallos Baquero

Luis Fernando Cisneros Tabango

Adrián Alejandro Quimbiulco Manzaba

Director:

MGS. Andrés Castillo

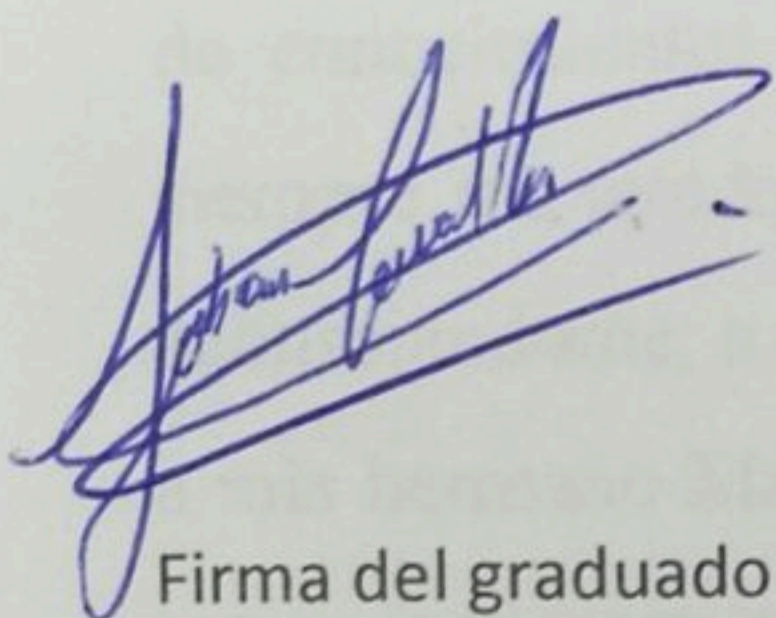
Quito, abril de 2016



## Certificado

Nosotros, Mario Fabián Cevallos Baquero, Luis Fernando Cisneros Tabango, Adrián Alejandro Quimbiulco Manzaba declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o certificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de propiedad intelectual, reglamentos y leyes.



Firma del graduado

Mario F. Cevallos B.

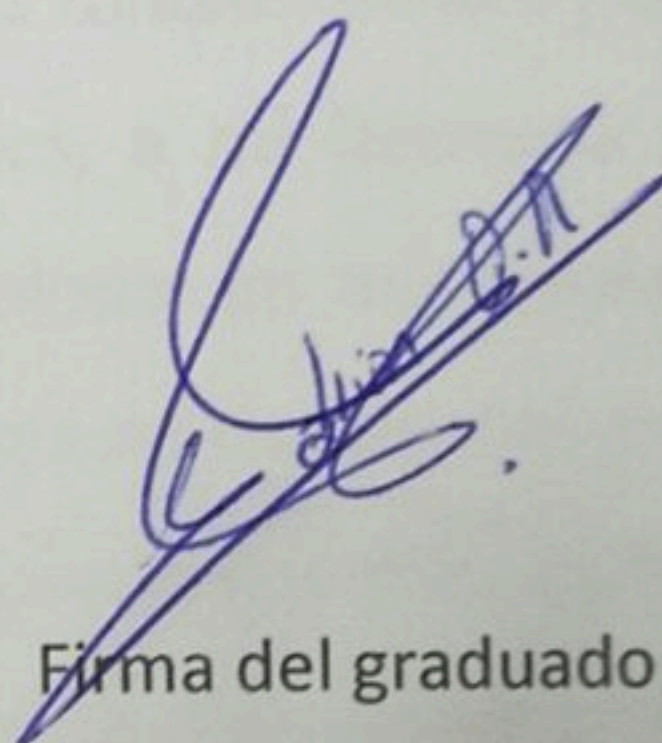
c.i.:1717198061

Luis Cisneros

Firma del graduado

Luis F. Cisneros T.

c.i.:1721497913

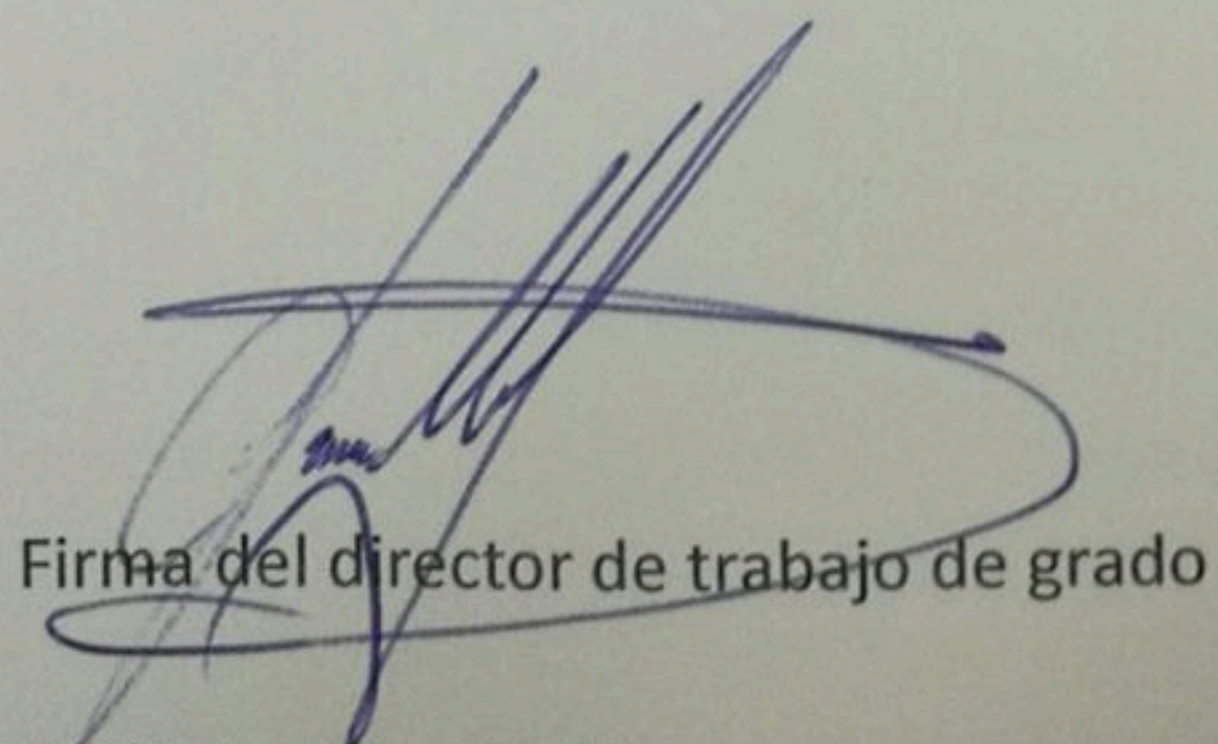


Firma del graduado

Adrián A. Quimbiulco M.

c.i.:1722914593

Yo, MGS. Andrés Castillo, certifico que, conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable tanto de su originalidad y autenticidad como de su contenido.



Firma del director de trabajo de grado

MGS. Andrés Castillo



## **DEDICATORIA**

Este trabajo le dedico a Dios por haberme dado la salud y la fuerza para seguir cada día adelante en la carrera.

A mi familia, especialmente a mis padres que estuvieron cada día en la lucha constante junto a mí, a mi madre por el apoyo, los consejos y el amor que me brindo cada día de mi vida, a mi padre aunque con sus regañones pero nunca tuvo un no como apoyo.

A todos mis hermanos que fueron una de las piezas fundamentales para llenarme de conocimientos y siempre unos amigos incondicionales, a mi hermana Janeth que siempre me ayudo en las buenas y en las malas, cubriéndome en mis cosas y siempre aconsejándome, a mi hermana Lucia siempre entando junto a mí en mis malos momentos, a mis hermano Mauricio que fue el que me lleno de conocimientos para cada día ser un mejor ingeniero automotriz, a mi hermano Edwin por saber darme sus consejos en el momentos exacto.

A mi sobrina Camila porque siempre me lleno de fuerzas aunque es muy melosa siempre con sus palabras, abrazos me ayudo a seguir adelante.

A mi novia por haberme siempre alentado con sus palabras de amor y siempre diciéndome que soy el mejor, fue lo que me ayudo en los últimos momentos a llenarme de valentía y orgullo para culminar mi carrera.

Dedicado a todos ustedes.

**LUIS FERNANDO CISNEROS TABANGO**

## **AGRADECIMIENTO**

Todo lo que soy, la persona, el hijo, el hermano, el tío, el hombre y el ingeniero le agradezco a Dios y la Vigencia por darme un nuevo día todos los días y llenarme de fuerzas para seguir adelante cada día por darme a mis padres, hermanos, sobrinos, novia y a todas las personas que quiero y estimo.

Estoy muy agradecido con:

    Mi madre TERESA TABANGO que fue la pieza principal en todo esto, fue quien me apoyo en mis estudios universitarios desde el primer momento, siempre con su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, en muchos momentos riendo y sintiéndose orgullosa y en muchos otros llorando junto a mí. Gracias mamita querida

    Mi padre DIEGO CISNEROS que siempre estuvo junto a mi ayudándome y siempre apoyándome en mis cosas y pensamientos, aunque siempre fue refunfuñón siempre me guio y me cuida a su lado como su más preciado tesoro.

    Mi hermana JANNETH CISNEROS por ser mi amiga, mi confidente, mi todo. Siempre ayudándome, siendo mi alcahueta, pero siempre tratando de llevarme por el mejor camino, dándome nuevas enseñanzas cada día de mi vida.

    Mi hermano MURICIO SALGADO porque él fue mi imagen, mi ídolo, mi héroe desde pequeño y siempre quise ser como él y debido a sus enseñanzas he llegado a ser una gran parte de la persona que soy.

    Mi hermano EDWIN CISNEROS por darme sus consejos y sus mejores deseos en los momentos más difíciles y sé que con el puedo contar cuando más lo necesite.

    Mi hermana LUCIA SALGADO por siempre tratar de comprenderme y siempre escucharme y tratar de hacerme ver lo mejor para mi caminar.

    Mi sobrina CAMILA MORALES por darme su apoyo incondicional y siempre con sus caricias infaltables que siempre me lleno el corazón.

    Mi novia VANESSA REIMUNDO por darme su aliento en los momentos más difíciles de mi carrera y llenarme de amor y caricias para darme tranquilidad cada día.



A todos mis familiares por siempre estar ahí junto a mí y mis seres más queridos en los buenos y malos momentos.

A la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR por haberme abierto las puertas de la institución y siempre tratar de darnos las mejores comodidades para el mejor aprendizaje.

Al ING. Andrés Castillo, ING. Miguel Granja y a todos los maestros que me ayudaron en la formación de mi carrera día a día y que gracias a ellos es que me han llenado de conocimientos para poder desarrollarme en el desarrollo de mi profesión.

**LUIS FERNANDO CISNEROS TABANGO**



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia con que Dios me bendijo:

Especialmente a mis padres y abuelos por su apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto, por su comprensión y por su gran amor, quienes en los momentos más difíciles de mi vida me han impulsado a seguir adelante.

A mis hermanas: Karen y Melanie, con quienes he compartido muchos momentos de mi vida como amigos inseparables buscando la felicidad. De ellos he aprendido que la imaginación y dedicación son más necesarias que el conocimiento teórico para el éxito en la vida.

Dedicado a todos ustedes.

**MARIO FABIÁN CEVALLOS BAQUERO**



## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento más profundo y de todo corazón es a Dios por darme sabiduría y entendimiento para continuar y poder discernir todos mis caminos.

A mis padres Fabián Cevallos y Luzmila Baquero, quienes siempre estuvieron animándome a seguir y pendientes del desarrollo de este proyecto.

A mis abuelos César Cevallos y Rosalía Alarcón, porque gracias a su esfuerzo y apoyo he llegado a realizar una de las aspiraciones más grandes de la vida, ser profesional.

A mis hermanas Karen y Melanie, por brindarme su amistad, apoyo y amor incondicional en los momentos buenos y sobretodo en los momentos más difíciles.

A mi universidad UIDE, donde forjé sueños e ilusiones que hoy veo realizados; gratitud a mis distinguidos maestros, guías incansables del saber, la justicia y la libertad.

A mis queridos amigos Luis C. y Adrián Q. gracias por su amistad y el trabajo en equipo que hemos realizado para concluir este proyecto pues alentaron en mi los deseos de esfuerzo y superación.

Gracias a todos ustedes.

**MARIO FABIÁN CEVALLOS BAQUERO**



## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### **A mi madre ISABEL JAQUELINE MANZABA**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mi padre EDMUNDO BOLIVIO QUIMBIULCO**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor es y seguirá siendo un pilar fundamental en mi vida.

### **A mis HERMANOS VINICIO, LUIS, DIANA Y FAMILIARES**

Con sus ejemplos y consejos que cada día me dan y me apoyan para seguir adelante muchas gracias y todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis

¡Gracias a ustedes!

### **A mi amigo.**

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: LUIS FERNANDO CISNEROS TABANGO por haberme ayudado a realizar este trabajo y ser la persona que hasta ahora hermanos muchas gracias.

### **A mis maestros.**

ING Andrés Castillo, ING Miguel Granja y a todos los ingenieros que me formaron cada semestre, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

**ADRIAN ALEJANDRO QUIMBIULCO MANZABA**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A MIS PADRES por ayudarme moralmente con valores y responsabilidad y económicamente que son los pilares fundamentales de mi vida muchas gracias

A la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis, ING Andrés Castillo por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

A mis hermanos que son muy importantes en mi vida y familiares cercanos y lejanos que de una manera u otra me apoyaron para ser culminar mi carrera profesional.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que les encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

**ADRIAN ALEJANDRO QUIMBIULCO MANZABA**



## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### **A mi madre ISABEL JAQUELINE MANZABA**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mi padre EDMUNDO BOLIVIO QUIMBIULCO**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor es y seguirá siendo un pilar fundamental en mi vida.

### **A mis HERMANOS VINICIO, LUIS, DIANA Y FAMILIARES**

Con sus ejemplos y consejos que cada día me dan y me apoyan para seguir adelante muchas gracias y todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis

¡Gracias a ustedes!

### **A mi amigo.**

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: LUIS FERNANDO CISNEROS TABANGO por haberme ayudado a realizar este trabajo y ser la persona que hasta ahora hermanos muchas gracias.

### **A mis maestros.**

ING Andrés Castillo, ING Miguel Granja y a todos los ingenieros que me formaron cada semestre, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

**ADRIAN ALEJANDRO QUIMBIULCO MANZABA**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A MIS PADRES por ayudarme moralmente con valores y responsabilidad y económicamente que son los pilares fundamentales de mi vida muchas gracias

A la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis, ING Andrés Castillo por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

A mis hermanos que son muy importantes en mi vida y familiares cercanos y lejanos que de una manera u otra me apoyaron para ser culminar mi carrera profesional.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que les encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

**ADRIAN ALEJANDRO QUIMBIULCO MANZABA**



Objetivo:

- realizar un estudio de la tribología de un motor diésel en condiciones de funcionamiento y carga, dependiendo la mantenibilidad realizado al motor.

Objetivos específicos:

- analizar el funcionamiento del motor diésel.
- conocer los componentes internos de funcionamiento del motor diésel.
- realizar un estudio de los elementos expuestos a fricción y desgaste.
- realizar un estudio de la lubricación del motor diésel.
- analizar la mantenibilidad que requieren estos motores para reducir el desgaste por fricción de las piezas móviles.

# Estudio tribológico de los motores diésel en periodo de mantenibilidad regular

Luis Cisneros<sup>1</sup>, Adrián Quimbiulco<sup>2</sup>, Fabián Cevallos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

Correo electrónico: lucisnerosta@internacional.edu.ec

<sup>2</sup>Estudiante de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

Correo electrónico: facevallosba@internacional.edu.ec

<sup>3</sup>Estudiante de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

Correo electrónico: adquimbiulcoma@internacional.edu.ec



## RESUMEN

**Introducción:** Los motores a diésel actualmente ofrecen algunos beneficios inigualables como su par motor, bajo consumo y su eficiencia térmica superior a un motor de gasolina. Como toda máquina, con el tiempo y el uso, los parámetros operacionales normales comienzan a deteriorarse, resultado de la fricción y reflejando un desgaste interno en el motor. Es aquí donde bajo condiciones estáticas y de mantenibilidad regular, es decir sin mantener el motor en funcionamiento, se puede analizar el desgaste que presenta el motor con una serie de análisis. **Metodología:** Para analizar el estado del motor, se realiza un análisis tribológico de lubricante y de estanqueidad. En el análisis de aceite, se analiza una muestra para determinar su contenido de elementos varios adquiridos durante el funcionamiento. Con respecto a la estanqueidad, se mide la efectividad o el estado de sellado que presenta cada cilindro del motor. **Resultados:** Tras el análisis, no se encontró desgaste fuera de los rangos operacionales normales para los diferentes elementos analizados en el aceite. Los materiales propios del motor muestran un buen estado al presentar concentración normal. Sin embargo se encontró fluctuación de ciertos elementos que reflejan una falla de condiciones de uso dadas por el ambiente. **Conclusión:** Se determinó que el motor y sus componentes férricos presentan un buen estado pues su desgaste se muestra normal y no excede los rangos de concentración. Se concluyó que los elementos cuyos valores exceden el rango de tolerancia pueden ser causados por el combustible y mal filtrado del aire, más no por el propio desgaste de los componentes del motor o una falta de lubricación.

**Palabras clave:** Desgaste, lubricante, estanqueidad, fricción, motor

## Abstract

**Introduction:** Diesel engines currently offer some unmatched benefits such as torque, low fuel consumption and superior thermal efficiency to a gasoline engine. Like all machines, with time and use, normal operating parameters begin to deteriorate, resulting from friction and reflecting internal wear on the motor. It is here where under static conditions and maintainability regulate, ie without keeping the engine running, you can analyze the wear presented by the engine with a series of analyzes. **Methodology:** To analyze the state of the engine, a tribological analysis of lubricant and sealing is carried out. In the oil analysis, a sample is analyzed to determine its content of miscellaneous elements acquired during the operation. With respect to tightness, the effectiveness or sealing condition of each cylinder of the engine is measured. **Results:** After the analysis, no wear was found outside the normal operational ranges for the different elements analyzed in the oil. The proper materials of the engine show a good state when presenting normal concentration. However, fluctuation of certain elements was found that reflect a failure of conditions of use given by the environment. **Conclusion:** It was determined that the engine and its ferrous components are in good condition because their wear is normal and does not exceed concentration ranges. It was concluded that elements whose values exceed the tolerance range can be caused by fuel and poor air filtration, but not due to the very wear of engine components or lack of lubrication.

**Keywords:.** Wear, lubricating, sealing, friction,

## Introducción

Hoy en día los motores de combustión interna son uno de los mecanismos térmicos más empleados alrededor del mundo. Uno de los más importantes motores son los de ciclo Otto y cuatro tiempos a diésel. Entre las ventajas más destacables del motor diésel es su alto par motor, su bajo consumo y su eficiencia térmica, la cual es mayor que la ofrecida por los motores a gasolina. [1]

Los motores a diésel de ciclo Otto operan bajo algunas circunstancias específicas de presión, volumen y temperatura. Estas condiciones operacionales generan un mayor esfuerzo a los componentes internos, razón por la cual los elementos deben ser más robustos en su composición y elaboración. Entre sus materiales principales se puede encontrar partes compuestas de hierro y acero y pocas partes en aluminio.

Los parámetros de funcionamiento del motor bajo sus condiciones de presión y temperatura están intrínsecamente relacionados entre sí y en conjunto con la característica del combustible. El combustible conocido como diésel o gasóleo, es un combustible cuya ignición ocurre de manera espontánea ante las altas presiones. Su ignición en el motor difiere de los motores a gasolina por no requerir la chispa para encender la mezcla de aire combustible.

Por las características de ignición del combustible, la alta presión y la temperatura es requerida en los motores a diésel. Como consecuencia, estos motores presentan una condición de alta relación de compresión para su funcionamiento. Los factores de presión, volumen y temperatura son directamente proporcionales entre sí. En condiciones selladas, un cambio de volumen resulta en un incremento de presión y temperatura; un cambio de presión

resulta en un cambio de volumen y temperatura; finalmente la variación de temperatura resulta en un cambio de presión y volumen. En conjunto, se añade la eficiencia volumétrica, esta consiste en ingresar la mayor cantidad de aire en un volumen determinado; como resultado se logra insertar más aire y por ende más presión al sistema.

En la aplicación al motor a diésel, el trabajo conjunto del cilindro y del pistón, permiten alterar estos tres factores entre sí.

Por otra parte está la relación de compresión. La relación de compresión es un coeficiente que relaciona la suma total de volumen total del cilindro y la cámara (espacio hueco) y cuyo producto se divide sobre el volumen de la cámara para determinar cuántas veces se compacta el volumen en el espacio de la cámara. Para los motores diésel, esta relación debe tener un valor mínimo de 14:1 para así cumplir con las condiciones

requeridas para la ignición del combustible.

Como todo sistema, existen pérdidas energéticas considerables como en la transformación de la energía química hacia energía mecánica, la fricción y la potencia. Sin embargo a la que se otorga más importancia es a la fricción. La fricción existente en el sistema es una pérdida energética que es reducida con el uso de un lubricante, un medio intermedio entre dos superficies. La función del lubricante consiste en lubricar, refrigerar y barrer el motor para así reducir la pérdida energética y aumentar la vida útil del mismo.

A pesar del uso del lubricante, el motor aún enfrenta condiciones de desgaste presentadas durante su uso de forma mínima. Con largos periodos de uso y basado en sus condición de trabajo un motor puede presentar mayor o menor desgaste en función del tiempo.



El desgaste se refiere a la pérdida superficial de masa de un elemento tras estar sometido a un trabajo entre dos superficies. Esa masa perdida, el a su vez barrida por el aceite quien como ya se mencionó, lleva todos estos desechos hacia un sistema de filtrado para su captura y eliminación de circulación en el sistema.

Finalmente en función del desgaste, se puede determinar las condiciones operacionales de un motor de combustión interna a gasolina. Es aquí donde ingresa el análisis estático, un estudio realizado al motor sin ejercer ningún esfuerzo para determinar su estado.

### **Marco teórico**

La fricción es una fuerza de rozamiento que existe entre dos superficies en contacto con movimiento. Como resultado de las interacciones de rozamiento se genera el desgaste. El desgaste es dependiente de la relación de

condiciones de uso al que se somete el motor. [1]

En periodos de mantenimiento regular, según lo establecido por el fabricante, se logra aumentar la vida útil del motor tras la remoción de los elementos contaminantes presentes en el aceite ya usado.

Para el análisis del motor, se empleara un método del tipo estático tribológico. El método tribológico define parámetros de análisis donde la maquina está completamente detenida durante su análisis. Los análisis a realizar incluyen el análisis de aceite y la medida de estanqueidad de los cilindros.

Para el análisis de aceite, se determina una cantidad de muestra para analizar. Asumiendo condiciones homogéneas de todo el aceite, se analiza los elementos contenidos en el aceite; la presencia de algunos elementos se compara con tablas referenciales que

definen una condición operacional del motor.

El desgaste se define como la pérdida superficial de masa de un componente. Se incluye el uso de un fluido intermediario llamando lubricante para reducir los esfuerzos generados por la interacción misma de la fricción. A pesar de su uso, el desgaste está aun presente en mínimas proporciones.

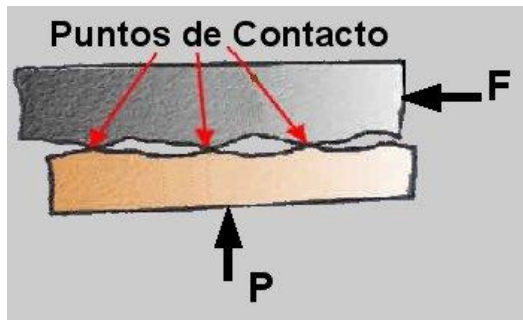
El lubricante es un fluido encargado de refrigerar, lubricar y limpiar el motor de todos los componentes que se dispersen con el mismo. En el barrido generado por el lubricante, se dispersan y se disuelven partículas de los materiales en condiciones de trabajo incluyendo tanto las partes mecánicas como elementos metálicos y elementos químicos como el aire y el combustible. [1]

A medida que se emplea una máquina, su desgaste incrementa, donde se obtiene la regla proporcional del

desgaste en función del uso. Conforme se suscita el uso del motor, se reduce su vida útil. Es aquí donde un incremento de las partículas de diversos elementos disueltos en un lubricante tras el barrido del mismo determina las condiciones operacionales del motor y en sus componentes particulares.

Mediante el análisis del aceite también se determina las causas del desgaste según la condición de trabajo como lo son el corte y el deslizamiento mismo. El motor opera con todos estos elementos del desgaste en diferentes partes y componentes del motor. Cada elemento por su diferente composición arroja diferentes compuestos desgastados, permitiendo así la determinación del desgaste en el elemento preciso.

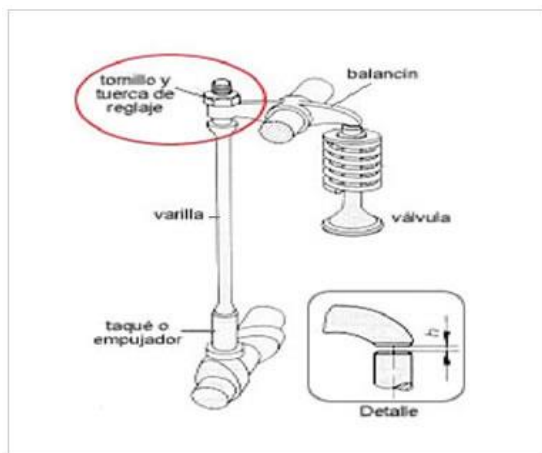
La condición de desgaste por deslizamiento ocurre mediante el roce de dos superficies en movimiento relativo y con ubicación paralela.



**Figura 2.1** Desgaste por deslizamiento

**Fuente:** Física Aplicada

El desgaste por condición de corte es aquel generado por la interacción de dos superficies cuya acción está ubicada perpendicularmente entre sí. Un ejemplo es la interacción de las levas con los propulsores.



**Figura 2.2** Desgaste por corte entre empujador y asiento de varilla.

**Fuente:** Principios básicos del motor.

Para fundamentar el análisis, se emplea la separación química de los

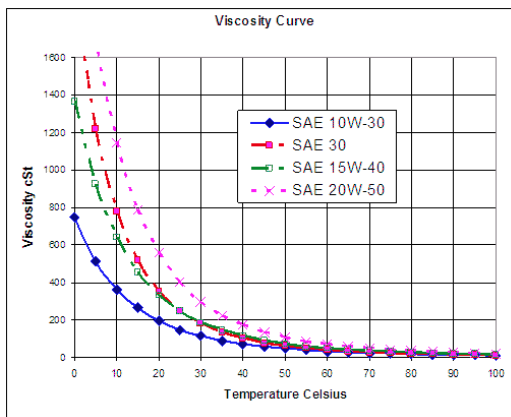
productos, es lo que permite determinar una concentración de elementos en proporciones diferentes. Como resultado se realiza el análisis de los contenidos y se identifica los posibles componentes de falla, razón para concluir y establecer los componentes desgastados. [3]

Por la naturaleza de diseño y de condición de trabajo también se debe precisar la proporción de desgaste, por diversos factores el motor puede presentar variación de fuerzas que influyen en el desgaste que presenta un elemento a pesar de poseer una misma función, material y característica. Para resumir, el desgaste puede ser desigual a pesar de presentar componentes condiciones de trabajo y materiales de un mismo tipo. [3]

Finalmente, otro de los factores del desgaste como tal es la composición del lubricante. Las diferentes composiciones permiten alterar las condiciones de operación en el motor.

Sin embargo, cada lubricante al ofrecer una propiedad benéfica, presenta a su vez un déficit en alguna otra de sus propiedades. [4]

Los aceites a pesar de presentar variación de composición, ofrecen un rango operacional de viscosidad fundamentada en el comportamiento del mismo en función de la temperatura.



**Figura 2.3** Curvas de viscosidad.

**Fuente:** Widman International SLR

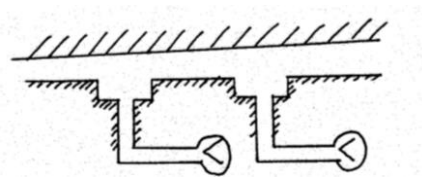
En los motores de combustión interna, se presenta una condición donde el desgaste generado en el mismo alcanza sus valores más altos durante el arranque. Es aquí donde surge la necesidad de crear los aceites multigrados para asegurar la lubricación

en toda condición de operación del motor. [5]

La lubricación se presenta bajo algunas condiciones definidas por el trabajo, estas son:

- Lubricación hidrostática
- Lubricación hidrodinámica
- Lubricación elastohidrodinámica
- Lubricación mixta y límite

La lubricación hidrostática es aquella que presenta fluido a presión en las partes sometidas a trabajo, donde la presión cumple la función de insertar el fluido en dos cuerpos para separarlos.



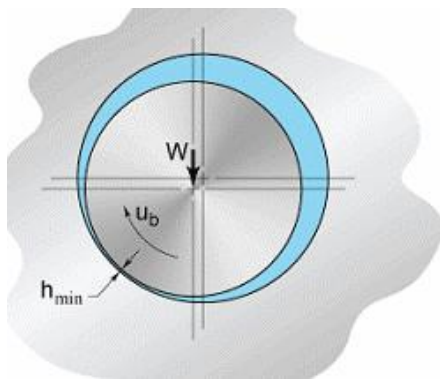
**Figura 2.4** Lubricación hidrostática en cojinetes a través de ductos a presión.

**Fuente:** Nebrija.

La lubricación hidrodinámica es aquella que ocurre cuando una película



de fluido lubricante presente en un elemento, actúa de colchón cuando se somete al contacto. La condición donde se genera una capa de lubricante es la que define este tipo de lubricación. En la figura 2.4 el coeficiente  $h$  se especifica como la película lubricante.



**Figura 2.5** Lubricación hidrodinámica.

**Fuente:** Widman International SLR.

La lubricación elastohidrodinámica es aquella que se presenta en condiciones operacionales donde el aceite presenta condiciones de escurrimiento o barrido. La condición de operación por ejemplo en el pistón con el cilindro, describe el barrido generado por el movimiento y el lubricante debe adherirse a las paredes.

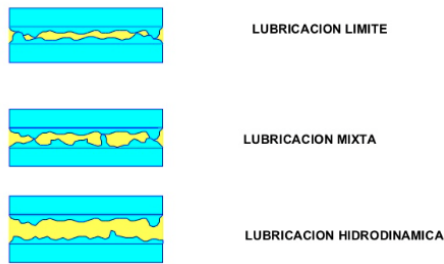


**Figura 2.6** Lubricación elastohidrodinámica.

**Fuente:** Motor Giga.

Finalmente, la lubricación mixta y limite, un tipo de lubricación que se presenta cuando el lubricante por razón de trabajo se debe comportar como un sólido por breves instantes para evitar el desgaste. Se aplica en conjunto como mixta ya que la lubricación limite usualmente está acompañada de la elastohidrodinámica como el caso anterior. [4] [5]

En el motor se presentan todos estos escenarios de trabajo en diferentes zonas, sin embargo, se puede visualizar el llenado del lubricante entre las superficies de contacto en forma estándar.



**Figura 2.7** Tipos de lubricación.

**Fuente:** Widman International SLR.

ACEITE A			ACEITE B		
ESPECIFICACIONES	SAE 20W/50, API S4	VALOR TÍPICO	ESPECIFICACIONES	SAE 20W/50, API S4	VALOR TÍPICO
PRUEBA	UNIDAD		PRUEBA	UNIDAD	
VISCOSIDAD @ 100 C	CS	18,89	VISCOSIDAD @ 100 C	CS	12
VISCOSIDAD @ 40 C	CS	159,1	VISCOSIDAD @ 40 C	CS	150
ÍNDICE DE VISCOSIDAD		126	ÍNDICE DE VISCOSIDAD		129
VISCOSIDAD OCS @ -15 C	dPa.s	9.500	VISCOSIDAD OCS @ -15 C	dPa.s	7.100
VISCOSIDAD DE BOMBEO @ -20 C	dPa.s	60.000	VISCOSIDAD DE BOMBEO @ -20 C	dPa.s	34.000
VISCOSIDAD HTHS	dPa.s	3,7	VISCOSIDAD HTHS	dPa.s	4,85
PUNTO DE ESCURECIMIENTO	C Min	-33	PUNTO DE ESCURECIMIENTO	C Min	-34
PUNTO DE INFLAMACION PLACC	C max	> 200	PUNTO DE INFLAMACION PLACC	C max	242
ESTABILIDAD RELATIVA @ 110		0,884	ESTABILIDAD RELATIVA @ 110		0,84%

**Figura 2.8** Tipos de lubricación.

**Fuente:** Widman International SLR.

## Materiales y métodos

Para el análisis tribológico de mantenibilidad se empleará el análisis de aceite usado en un motor diésel que posee un intervalo regular de mantenimiento tomando como referencia 5000km y la medida de estanqueidad que presenta cada cilindro

del motor. El vehículo de referencia es una Chevrolet D-Max con motor 3 litros turbo a diésel; al momento del análisis el vehículo presentaba 126000 kilómetros de recorrido y bajo condiciones de trabajo y carga por la característica misma del vehículo (tipo camioneta) (. Se compara los resultados obtenidos del aceite para determinar tanto sus propiedades benéficas como también el funcionamiento interno de los componentes del motor.

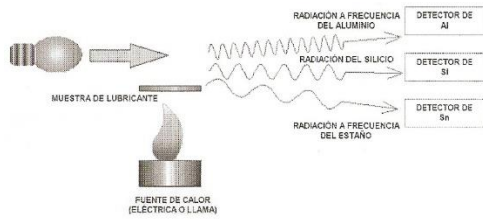
La estanqueidad está definida como una propiedad de sellado que posee un sistema. Esta puede registrarse y analizarse mediante el llenado del cilindro con el pistón en punto muerto superior y con una presión de aproximadamente 60 psi de forma que el aire que ingresa al cilindro no posea la presión suficiente para desplazar al pistón. La menor cantidad de presión se aire perdido por el cilindro indica que posee menos fugas y por lo tanto su estanqueidad tiende a ser más idónea.

Una estanqueidad buena se define a través de una curva de presión en función del tiempo; la experiencia dicta que en un periodo de 30 segundos la pérdida de presión no debe ser superior al 10% del total. Estos rangos, definen la condición interna de sellado del pistón que se presenta en cada cilindro; por lo tanto pérdidas altas de presión reflejan alto desgaste y mal funcionamiento del motor. Cabe recalcar que la fuga presente en un cilindro, contamina a su vez el aceite, por lo que se puede concluir que los resultados de estanqueidad también reflejarán una variación de elementos contenidos en el aceite.

Para el análisis de un aceite, se deben emplear varios equipos que determinen la condición del lubricante enfocado a lo que desea obtener como resultado. Algunos de los equipos incluyen espectrógrafos, contadores de partículas, viscosímetros y ferrógrafos.

En el proceso de análisis, se establece el aceite como una mezcla homogénea en un volumen determinado como muestra referencial. Con la muestra adquirida se procede al análisis espectrográfico. El principio de funcionamiento consiste en disparar un haz de luz a través del lubricante y medir la difracción y variantes que presenta la luz al viajar por el mismo. La luz presenta una característica de comportamiento tanto de onda como de partícula donde la variación de onda y la difracción de las partículas en el haz de luz, provee un resultado denominado espectro y es quien determina la presencia de ciertos materiales concretos. Como resultado, se determina la presencia de los sólidos en el lubricante y su proporción dentro del mismo. Finalmente se puede determinar el estado de desgaste de ciertos elementos empleando este método espectrográfico y comparándolos con

valores referenciales de desgaste definidos.



**Figura 3.1** Espectro de materiales

**Fuente:** Óptica.

Se presenta las tablas con las condiciones, tolerancias y descripción para elementos del motor y sus posibles orígenes. La información provista ayudara a determinar el estado de componentes y las características del aceite.

LÍMITES DE DESGASTE NORMAL		
Elemento	ppm	Comentarios
Silicio (Tierra) Silicon	2-10	Niveles encima de 10 ppm empiezan a mostrarse con un desgaste significativo.
Hierro Iron	2-50	Un motor pequeño debería ser entre 2 y 15 ppm, mientras un motor grande puede ser entre 10 y 50 ppm.
Cromo Chromium	1-8	Depende mucho de la cantidad de piezas cromadas en el motor.
Aluminio Aluminum	2-15	Después de descartar lo que entró con la tierra, dependerá mucho del diseño del motor. Un bloque de aluminio mostrará más desgaste de aluminio y menos partículas de hierro.
Cobre Copper	2-5	Aceleración fuerte o enfriador de aceite mostrará valores más altos. Muchos motores pueden quedar cerca de 5 ppm.
Sodio Sodium	0-10	Depende del combustible y medio ambiente. Valores mayores son contaminaciones por agua.
Plomo Lead	2-10	Aceleración fuerte o largos periodos sin utilizar el motor, falta de viscosidad del aceite o motor sin usar varios meses.
Estaño Tin	1-2	Aceleración fuerte en algunos motores, falta de viscosidad en el aceite.

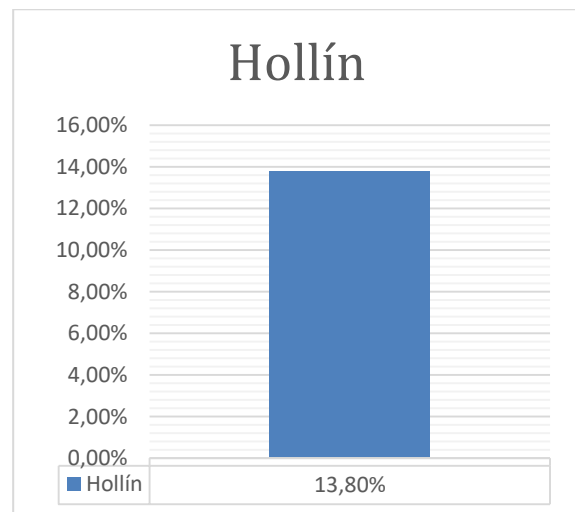
**Figura 3.2** Limites de desgaste normal.

**Fuente:** Widman International SLR.

Motor	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cilindros	X	X	X	X			X		
Bujes	X	X		X			X		
Arbol de levas	X							X	X
Refrigerante					X	X		X	X
Cigüeñal	X								
Cámaras	X					X			
Valvula de escape	X					X			
Cilindros anti-fricción	X					X			
Empacaduras					X				
Gasolina			X						X
Cámaras	X			X					
Tierra					X				
Aditivo					X				
Enfriador de aceite		X							
Bujes de bomba de aceite				X					
Bomba de aceite	X			X					
Pistones	X			X					
Acilios	X					X			
Valvulas de escape		X	X	X			X		
Engranajes de cadencia	X								
Taño	X			X					
Guías de válvulas	X	X							
Levas de válvulas	X								
Bujes de bielas	X	X	X	X					X
Bielas	X								

**Figura 3.3** Materiales y componentes con su procedencia.

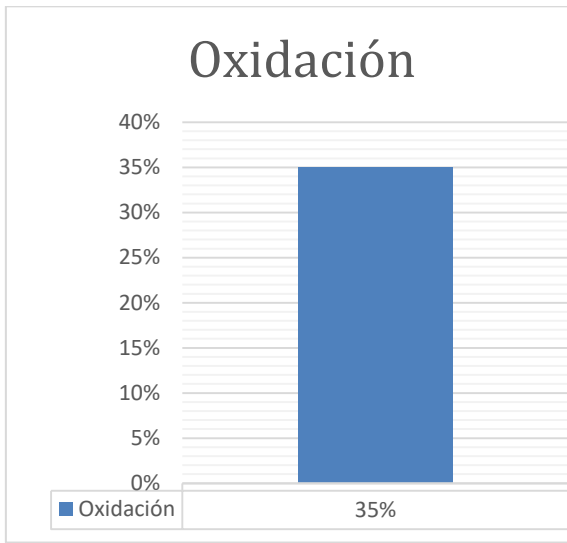
**Fuente:** Widman International SLR.





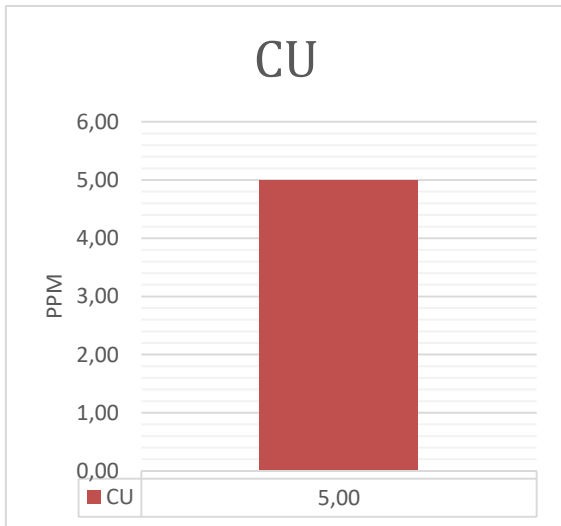
**Figura 3.4** Tipos de lubricación.

**Fuente:** Autores.



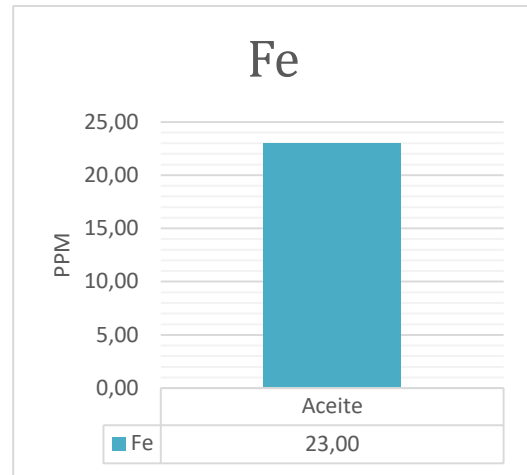
**Figura 3.5** Tabla comparativa de Oxidación.

**Fuente:** Autores.



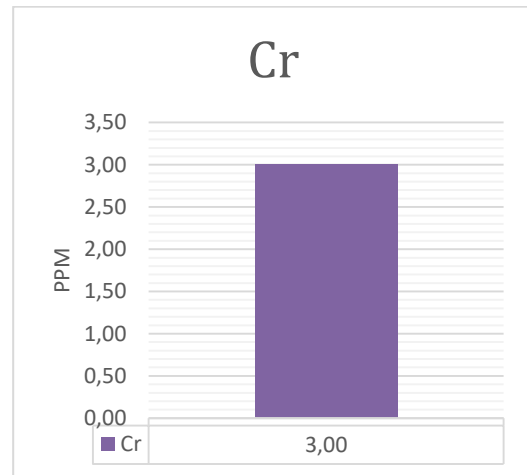
**Figura 3.6** Tabla comparativa de Cobre.

**Fuente:** Autores.



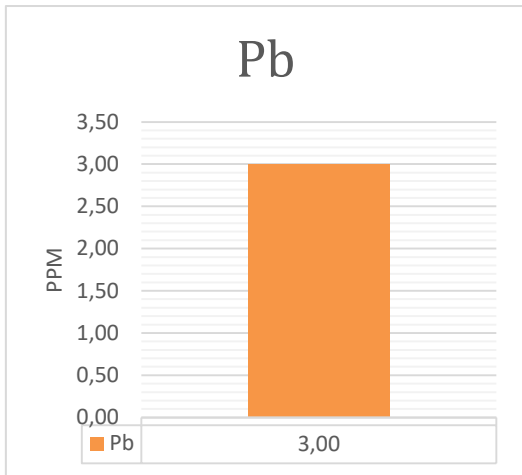
**Figura 3.7** Tabla comparativa de Hierro.

**Fuente:** Autores.



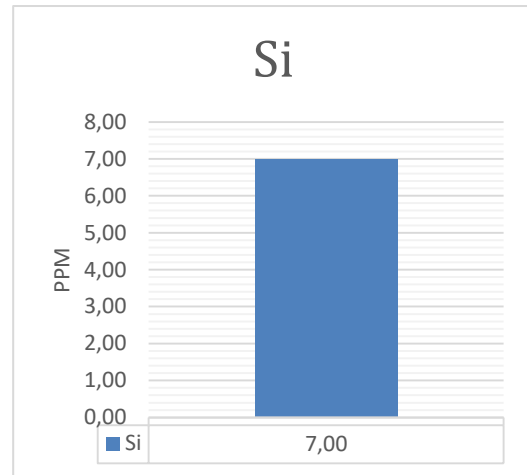
**Figura 3.8** Tabla comparativa de Cromo.

**Fuente:** Autores.



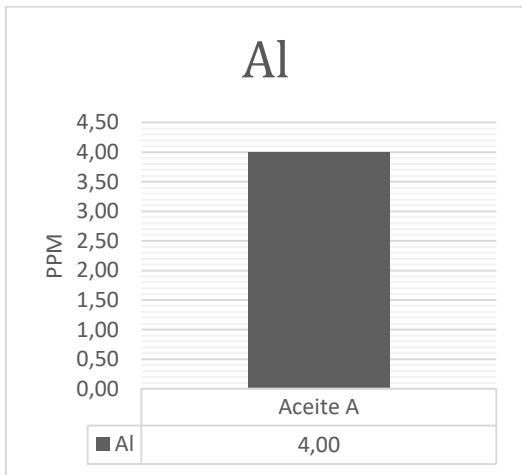
**Figura 3.9** Tabla comparativa de Plomo.

**Fuente:** Autores.



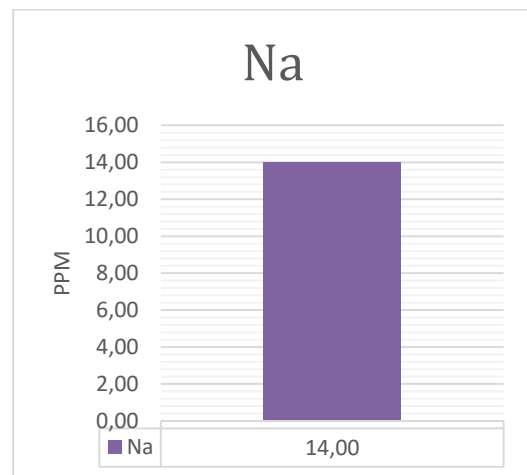
**Figura 3.12** Tabla comparativa de Silicio.

**Fuente** Autores.



**Figura 3.10** Tabla comparativa de Aluminio.

**Fuente:** Autores.



**Figura 3.11** Tabla comparativa de Sodio.

**Fuente:** Autores.

[5] [6]

## Resultados

Se obtuvo como resultado del análisis que el motor se encuentra en un estado normal de desgaste y los valores fuera del rango normal pueden ser efectos de las condiciones de uso del vehículo.

Los valores alto del silicio pero dentro del rango normal de desgaste pueden, pueden indicar una condición de trabajo en lugares geográficos con tierra y un mal sistema de filtrado de aire.

Referente al sodio, se puede determinar valores por encima del rango tolerable, sin embargo la información obtenida indica que esta condición puede suscitarse por la mala condición de combustible tras sustentar una posible presencia de agua. Sin embargo un efecto de desgaste no debe descartarse.

Como resultado obtenido, el hollín muestra una presencia alta en el aceite, lo que podría significar una mala

combustión como resultado de relaciones estequiométricas muy ricas creando una posible falla en la dosificación del combustible y componentes como la bomba de inyección, los inyectores o el avance que provee en sistema.

El aluminio se mostró como un material presente en el análisis dentro del rango normal. Cabe recalcar que por diseño los motores diésel son más contentientes de elementos ferrosos y menos de aluminio.

La presencia de hierro muestra estar dentro de los rangos permitidos, el motor también posee un volumen moderado lo que explicaría una cantidad un poco más alta de este elemento. Por diseño del motor mismo con más elementos férricos, los componentes desgastados pueden tener varios orígenes.

El elemento de cobre también se mostró normal en el análisis a pesar de

estar en el rango más alto, su presencia puede indicar que el motor se somete a aceleración fuerte, dato que es coherente frente al uso que se puede otorgar a una camioneta.

Referente al plomo, los valores aparecen normales, su presencia en valores altos indica aceleración fuerte o desuso del motor por largos tiempos, sus valores bajos indican que su desgaste puede ser causado solo durante el arranque en frío.

## Referencias

- [1] R. V. Bayussen y F. S. , Internal combustion engine handbook, SAE International, 2016.
- [2] M. V y S. R. , «Comparative analysis in a Diesel engine,» *ResearchGate*, vol. 1, n° 1, p. 4, 2015.
- [3] Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento , «Ingenieros de Confiabilidad: Médicos Holísticos del Cuidado de la Maquinaria,» *Mantenimiento Mundial*, [En línea]. Available: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/>.
- [4] Ceramizer, «Engine Repair, causes of engine wear,» Ceramizer, 2016. [En línea]. Available: <http://www.ceramizer.com/en/engine-repair-rebuild-engine-wear-causes>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [5] Widman, «Hidrodinamica,» Widman, 2015. [En línea]. Available: <http://www.widman.biz/Seleccion/hidrodinamica.html>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [6] Nebrija, «Lubricacion,» Nebrija, Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.nebrija.es/~alopezro/Lubricacion.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [7] R. Aulestia, «Análisis Tribológico con diferentes tipos de lubricantes,» 15 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://prezi.com/aqknovoyf0nw/analisis-tribologico-con-diferentes-tipos-de-lubricantes-en/> . [Último acceso: Diciembre 2016].
- [8] K. C. Martin y F. C. , «Análisis y desgaste en motores Diesel,» Mexico DF, 2015.

## ANEXOS

1. Objetivo principal.....	32
2. Objetivos específicos.....	32
3. Justificación.....	32
4. Lubricación y mantenimiento de motores de gas.....	33
4.1. INTRODUCCIÓN.....	34
4.2. FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS LUBRICANTES.....	35
4.3. COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE GAS.....	35
4.4. LUBRICANTES PARA MOTORES DE GAS.....	37
4.5. FUNCIONES DE LOS ACEITES EN MOTORES DE GAS.....	38
4.6. CLASIFICACION DE LOS ACEITES DE MOTORES DE GAS.....	39
4.7. SELECCIÓN DEL ACEITE.....	41
4.8. ANALISIS DE LOS ACEITES EN USO.....	42
Viscosidad.....	44
Índice de basicidad.....	45
Índice de acidez.....	45
Contenido de agua.....	46
4.9. FRECUENCIA DE CAMBIO DE ACEITE EN MOTORES DE GAS.....	46
4.10. FRECUENCIA DE MUESTREO.....	47
4.11. CASO PRÁCTICO.....	48
4.12. CONCLUSIONES.....	52
<b>5. Truaje de motores 4 tiempos.....</b>	<b>53</b>
Referencias.....	114



## 1. Objetivo principal

- 1.1. Investigar y aprender acerca del desgaste, fricción y lubricación que sufren los motores diésel en tiempo de uso.

## 2. Objetivos específicos

- 2.1. Definir los diferentes tipos de desgaste que sufren los motores diésel.
- 2.2. Conocer acerca del proceso de lubricación del motor diésel.
- 2.3. Aprender y conocer acerca de los diferentes de lubricantes en los motores.
- 2.4. Conocer acerca de los componentes que deben poseer los lubricantes para los motores diésel.

## 3. Justificación

Este estudio se lo realizo ya que en el mercado ecuatoriano automotriz está creciendo cada vez más en lo que son motores diésel, por lo que hemos visto necesario realizar el estudio tribológico para aprender acerca del desgaste que sufren estos motores, la fricción y temperatura a la cual están sometidas sus piezas móviles mecánicas y la lubricación que necesitan este tipo de motores para su buen desempeño y alargar la vida útil de los mismos.



# **lubrication management**

IK4-TEKNIKER

## 4. Lubricación y mantenimiento de motores de gas

Jesús Terradillos, Manuel Bilbao, Adolfo Málaga

## 4.1. INTRODUCCIÓN

La utilización de los motores de combustión interna alimentados con gas, especialmente gas natural, para la generación combinada de energía térmica y eléctrica (CHP), cogeneración, ha aumentado substancialmente en los últimos años. Constituye una fuente eficiente y amigable con el medio ambiente de generación energética para una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas, alcanzando niveles de eficacia superiores al 90%.



Figura 1. Motor de gas de vertedero de la marca GUASCOR

La mayor parte de las veces los fabricantes de motores se han limitado a realizar pequeñas modificaciones en los mismos para su adaptación a los nuevos combustibles y algunos han definido especificaciones propias de lubricantes para estas aplicaciones.

El gran auge de las plantas de cogeneración y las nuevas tecnologías que hacen posible la utilización de gases residuales de diferentes procesos de fermentación han traído consigo un gran desarrollo de los motores estáticos de tamaño medio y grande entre 300 y 1000KW

## **4.2. *FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS LUBRICANTES***

Las funciones principales de un aceite de motor son:

Reducir la fricción y el desgaste

Sellar

Refrigerar

Control de la limpieza del motor

Además de reducir la fricción y el desgaste el aceite de motor actúa como un eficaz sellante, refrigerante y facilita la limpieza del motor.

El lubricante sella las partes por donde pueden fugar los gases de la combustión en dirección al cárter. El aceite refrigera aquellas zonas del motor donde el sistema de refrigeración no es capaz de actuar como cojinetes, paredes de los cilindros, parte interna de los pistones, dependiendo del tipo de motor se estima que entre el 10 y 25% del calor generado en el motor se evacua a través del lubricante. En algunas zonas de máxima responsabilidad la doble función de refrigerar y lubricar recae sobre el aceite, como pasa en los casquillos de bancada y biela donde se alcanzan temperaturas superiores a los 150° C y donde no tiene acceso el sistema de refrigeración del motor.

También posee la propiedad de sacar las partículas de las zonas comprometidas y transportarlas a los filtros. El aceite de los motores de gas debería contener unos niveles de dispersantes adecuados para mantener la suciedad y los productos de la oxidación en suspensión y para impedir la adherencia de los aros, la formación de fangos y de depósitos en el motor, especialmente cuando se utilicen gases “húmedos” o “agrios”.

## **4.3. *COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE GAS***

Existen varios tipos de combustibles gaseosos. Todos ellos se caracterizan por estar compuestos de hidrocarburos, aunque también pueden contener otro tipo de componentes. Pueden obtenerse de una amplia variedad de fuentes como el petróleo (gas natural), degradación biológica de materias orgánicas (biogás) o en forma de productos de proceso industrial o como productos derivados del mismo (gases fabricados).

*Gas natural.* Constituido principalmente por metano, etano, propano, butano, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. Puede (dulce) o no (agrio) contener azufre en forma de sulfuro de hidrógeno que es muy corrosivo, además de pequeñas cantidades de sílice.

*Gases licuados del petróleo.* Basado en propano y butano.

*Biogás.* Familia de gases derivados de la digestión anaeróbica o bioquímica de materias orgánicas presentes en desechos industriales o domésticos, aguas fecales, desechos agrícolas y alimenticios. Constituido por metano, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de agua, y componentes agresivos como H<sub>2</sub>S, hidrocarburos halogenados y siloxanos. También puede contener componentes abrasivos (sílice), humedad y arsénico.

*Otros gases.* Obtenidos como derivados de un proceso industrial (gas de madera de refinería, de cabeza de pozo de petróleo...). Pueden contener bastante azufre.

La composición típica de estos gases se muestra en la Tabla 1.

GAS	%S	%CH <sub>4</sub>	5CO <sub>2</sub>	%N <sub>2</sub>	%H <sub>2</sub>	%C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	%C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	%C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	PCI (MJ/Nm <sup>3</sup> )
Natural	0.001	93.2	—	1.4	0.1	3.6	0.8	0.5	31-35
Del digestor	0.01-0.04	35-65	30-40	1-2	—	—	—	—	22-26
De vertedero	0-0.02	25-55	45-75	—	—	—	—	—	18-22
De cabeza	0.001-15	8-98	10-92	10-85	0.2-4.2	—	1-5	1-5	

Tabla 1. Composición típica de los diferentes gases.

Esta diferencia en la composición del combustible y el hecho de contener ciertos componentes agresivos ha obligado a desarrollar una tecnología específica para este tipo de motores. Además la selección de los lubricantes vendrá determinada por estas diferencias de composición y por la presencia o no de componentes agresivos en la misma.

Además de esto, los motores de gas trabajan a temperaturas muy altas lo que promueve la formación de óxidos de nitrógeno (Nox) al combinar nitrógeno con oxígeno procedente del aire de combustión.

Estos compuestos reaccionan con el aceite y producen los siguientes efectos:

1. Aumento de la viscosidad por polimerización del aceite.
2. Desgaste corrosivo por formación de ácidos.
3. Formación de lodos y barnices.



Figura 2. Motor de gas JENBACHER

#### **4.4. LUBRICANTES PARA MOTORES DE GAS**

Los motores de gas utilizados en aplicaciones industriales son un tanto únicos dado que funcionan de forma regular bajo cargas constantemente altas, sometidos a altas temperaturas y durante largos periodos de tiempo, a menudo en ubicaciones inaccesibles con una supervisión mínima. Por ello se necesita un alto grado de fiabilidad y calidad en lo que a las prestaciones del motor y el aceite se refiere.

Las altas cargas y las temperaturas presentes en los motores promueven la oxidación, haciendo imprescindible la utilización de aceites con una mayor estabilidad a la oxidación.

Los motores de gas son más propensos al desgaste de las válvulas y de sus asientos. Esto se debe a la naturaleza seca y limpia de la combustión dentro del motor y a la carencia de



hollín o compuestos de plomo que normalmente lubrican las válvulas. Por esta razón el nivel de ceniza sulfatada es mucho más crítico que en motores gasolina o diesel. Los altos niveles de depósito de ceniza pueden causar un encendido prematuro y la presencia de suciedad en las bujías podría provocar encendidos defectuosos, válvulas quemadas, etc.

Sin embargo la formación de cenizas puede ser beneficiosa. Una capa de sales metálicas sobre la superficie de la válvula puede proporcionar protección contra la exposición directa a elementos dañinos en el gas combustible y contra las altas temperaturas y corrosión en caliente. También puede lubricar el asiento de las válvulas y reducir el retroceso de las mismas. Generalmente es importante utilizar un aceite con bajo contenido en cenizas, especialmente cuando el motor correspondiente está funcionando con gas natural o biogás no agresivo. Cuando funcionan con gas natural, los aceites para motores no requieren el mismo nivel de detergencia que los motores diesel o gasolina. Sin embargo, si se requiere utilizar aceites con un nivel mayor de detergencia (TBN mayor) cuando se utiliza biogás, especialmente de gas de vertedero.

Un aspecto que cada vez tiene mayor importancia es el relacionado con las emisiones a la atmósfera. Esto ha obligado a algunos fabricantes de motores de gas a la utilización de catalizadores para la eliminación y/o control de las emisiones. La utilización de catalizadores limita el contenido y tipo de aditivos que debe llevar el aceite de motor en su formulación.

#### **4.5. *FUNCIONES DE LOS ACEITES EN MOTORES DE GAS***

Las funciones principales que se espera realice el aceite utilizado en un motor de gas son las siguientes:

- Control de la oxidación y de la nitración. Las temperaturas más altas experimentadas por los motores de gas promueven la formación de óxidos de nitrógeno y al reaccionar con el aceite dan lugar a

- \* un aumento de la viscosidad, causada por la polimerización del aceite,
- \* desgaste corrosivo causado por productos ácidos principalmente ácido nítrico,
- \* formación de depósitos en el motor causados por fangos y barnices y
- \* un bloqueo del filtro causado por fangos.

Los aceites, por tanto, necesitan una base con un alto nivel de estabilidad a la oxidación, combinado con productos químicos (aditivos) que optimicen su resistencia a la oxidación / nitración.

- Reducción de la fricción y el desgaste. Los motores de gas utilizados en las aplicaciones industriales a menudo funcionan con niveles de carga y velocidad constantes, lo que garantiza una completa lubricación hidrodinámica durante casi todo su tiempo de operación. Por ello, el nivel de prestaciones en lo referente al desgaste, no es tan alto como cuando existe continuas paradas y puestas en marcha o donde se produce una variación de carga.

El retroceso de las válvulas constituye generalmente un problema en los motores de gas, por lo que el aceite debe proporcionar un nivel adecuado de protección a las válvulas. Los biogases y particularmente los de vertedero, pueden contener cantidades importantes de elementos agresivos que pueden causar desgaste corrosivo y abrasivo.

- Prevención de la corrosión y del óxido. Los aceites de motor de gas deben impedir la corrosión y la formación de óxido, especialmente cuando el motor funciona con gas de vertedero, gas obtenido de aguas fecales u otros gases más corrosivos. Estos gases pueden contener altos niveles de hidrocarburos halogenados, ácidos orgánicos y compuestos sulfúricos que pueden formar ácidos fuertes y provocar corrosión. Es importante no solo utilizar aceites con un TBN mayor, sino aceites con la composición química correcta para neutralizar los diferentes tipos de especies ácidas.

- Limpieza del motor. El aceite de los motores de gas debería contener unos niveles de dispersantes adecuados para mantener la suciedad y los productos de la oxidación en suspensión y para impedir la adherencia de los aros, la formación de fangos y de depósitos en el motor, especialmente cuando se utilicen gases “húmedos” o “agrios”.

#### **4.6. CLASIFICACION DE LOS ACEITES DE MOTORES DE GAS**

No hay estándares sectoriales para la clasificación de los aceites para motores de gas, por lo que tampoco hay pruebas homologadas para la evaluación de su rendimiento. Los fabricantes de motores de gas tienen unos requisitos que varían ampliamente y solo se homologan aceites después de que se hayan realizado pruebas de campo. La duración de una prueba de campo puede variar entre 3000 y 10000 horas (entre uno y dos años), dependiendo del fabricante original del equipo. Normalmente se requiere un completo

control del aceite y del motor durante la realización de las pruebas, así como una inspección del motor (por regla general de uno o dos cilindros) a la finalización de las mismas.

En relación con su contenido en cenizas según ASTM D-874 los aceites se clasifican en diferentes categorías:

<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>% Aditivo</b>	<b>Moto</b>
<b>Sin cenizas:</b>	0.1%	(TBN 1-3) gas natural 2T
<b>Bajo contenido de ceniza</b>	0,1-0,5%	(TBN 3-6) gas natural SI
1.1 <i>Contenido medio de</i>	<b>1.2 0,5-</b>	<b>1.3 (TBN 5-10)gas natural</b>
<b>Alto contenido de ceniza</b>	1%	(TBN 10+) gas de vertedero SI- DF

Tabla 2. Clasificación de los aceites de motor de gas en función de su contenido en cenizas

Para motores de dos tiempos se recomienda el uso de lubricantes sin cenizas. Sin embargo, en motores de cuatro tiempos se deben utilizar productos con bajo o medio nivel de cenizas para prevenir desgastes y para neutralizar los compuestos ácidos formados. En determinadas aplicaciones es necesario el uso de detergentes especiales e inhibidores de la corrosión para los gases de vertedero.

Muchos fabricantes europeos especifican el nivel de cenizas requerido.

<b>Fabricante</b>	<b>Nivel de cenizas</b>
<b>CATERPILLAR</b>	0.45%
<b>COOPER-BESSEMER</b>	0.3-0.4%
<b>MIRRELESS</b>	1% máx.
<b>MWM</b>	0.25-0.75%
<b>WAUKESHA</b>	0.35-1.2%

Tabla 3. Especificaciones en el nivel de cenizas de diferentes fabricantes de motores de gas

#### **4.7. SELECCIÓN DEL ACEITE**

Las tendencias en los lubricantes para motores de gas las podemos resumir en:

- Productos con bajo contenido en cenizas
- Exigencias superiores a API CD
- Los aceites convencionales de gasolina y diesel no son adecuados.

Al seleccionar el tipo de aceite para motor de gas es necesario tener en consideración un número variado de factores:

- Tipo de gas. Un gas natural dulce y seco arde bien y generalmente no tiene elementos corrosivos por lo que en este caso un aceite con bajo nivel de ceniza, bajo TBN sería adecuado. Sin embargo, un gas agrio o un biogas pueden contener un alto nivel de compuestos sulfúricos y haluros, los cuales son muy corrosivos, por lo que se requieren unos aceites con un TBN mayor.

- Capacidad del cárter y consumo del aceite. Un cárter pequeño y un bajo consumo de aceite pueden imponer grandes tensiones al aceite y reducir su vida útil, mientras que los motores con un mayor consumo de aceite ayudan a aumentar la vida útil del aceite pero pueden contribuir a la formación de depósitos, desgaste de las válvulas y suciedad en las bujías, especialmente si se utilizan aceites con un elevado contenido de cenizas.

- Temperaturas. Los motores que funcionan a temperaturas más bajas (normalmente 0-40° C) pueden funcionar de forma satisfactoria con aceites tipo SAE 30, mientras un funcionamiento a temperaturas más altas (5-50° C) requeriría la utilización de aceites SAE40.

- Nivel de ceniza sulfatada. Dicho nivel determina la cantidad de materia incombustible restante cuando se quema una cierta cantidad de aceite y es un criterio muy importante a la hora de seleccionar los aceites en los motores de gas. Casi todos los aceites contienen aditivos organometálicos que se requieren para proporcionar detergencia y protección contra el desgaste y la oxidación. Estos detergentes, principalmente sulfatos y fenatos constituyen la fuente principal de ceniza en un motor de gas. La utilización de un aceite con bajo contenido en cenizas puede dar lugar a la exposición de las válvulas a altas temperaturas y a la acción de los elementos agresivos presentes en el combustible, resultando una corrosión térmica, retroceso de las válvulas, quemado de las válvulas, etc. Sin embargo, la utilización de un aceite con alto contenido en cenizas, podría causar la formación de cenizas

en la cámara de combustión y el pistón lo que daría lugar a encendidos prematuros, suciedad en las bujías, quemado de las válvulas y la adherencia de los aros.



Figura 3. Válvula con depósitos de un motor de gas de depuradora

- Especificaciones de los fabricantes originales de equipos. Siempre es importante consultar a los fabricantes de equipos con el fin de conocer sus recomendaciones actualizadas en lo que atañe a grado de viscosidad, nivel de ceniza y otros requisitos de los lubricantes. Hay fabricantes que tienen homologados aceites en función del tipo de gas como Guascor, Caterpillar, Jenbacher mientras que otros como Deutz solo tienen homologado un tipo de aceite independientemente del gas utilizado.

#### **4.8. ANALISIS DE LOS ACEITES EN USO**

No hay ni la menor duda que la técnica de monitorización del estado del motor más efectiva y menos costosa es el análisis del aceite usado, para conocer el estado de los componentes de motor y optimizar las acciones de mantenimiento. También es una extraordinaria herramienta para conocer la vida remanente de los lubricantes en uso y programar su sustitución.

Un programa analítico de análisis de aceite de motor usado debe de contener los suficientes ensayos analíticos que nos permitan conocer el estado de los elementos mecánicos y del lubricante haciendo hincapié en aquellos problemas característicos de este tipo de lubricantes. Desafortunadamente hay muchos operadores de motores a gas que no

consideran el aceite del motor como un componente más de la máquina y no lo controlan como hacen con otros elementos del motor.

Un programa analítico de rutina de aceite de motor a gas debe incluir por lo menos lo siguientes parámetros:

- Viscosidad cinemática
- Índice de basicidad (BN)
- Índice de acidez (AN)
- pH
- Contaminación por glicol
- Contaminación por agua
- Insolubles
- Partículas de desgaste (Fe, Cr, Sn, Al, Ni, Cu, Pb, Mo)
- Contenido en aditivos (Ca, Mg, B, Zn, P)
- Contenido en contaminantes (Si, K, Na)
- Nitración/Oxidación
- Contenido en Cloro
- Contenido en Azufre
- Vida remanente-RULER
- Contaje de partículas-LASERNET



## Viscosidad

La viscosidad es el parámetro físico más importante de cualquier aceite. Variaciones con respecto al aceite nuevo siempre tienen algún significado importante. En un aceite de motor a gas un aumento de la viscosidad está asociado a:

- Oxidación
- Nitración
- Contaminación
- Periodos de cambios extendidos

Mientras que un descenso se atribuye fundamentalmente a la pérdida de aditivos mejoradores del índice de viscosidad.



Figura 4. Equipo automático de viscosidad cinemática

## Índice de basicidad

El índice de basicidad es una medida de la reserva alcalina que tiene el aceite. Es un indicador del nivel de aditivos detergentes/dispersantes y de su capacidad para neutralizar los compuestos ácidos que se forman durante la combustión.

Dependiendo del tipo de gas utilizado el aceite tendrá diferente reserva alcalina (BN). Si es gas natural el aceite utilizado tendrá bajo contenido en cenizas un BN entre 3 y 7. Mientras que si es un gas de vertedero el BN será superior a 10 mgr KOH/gr muestra.



*Figura 5. Valorador automático de la medida de reserva alcalina*

## Índice de acidez

Es una medida de la cantidad de compuestos ácidos que tiene el aceite. Valores altos del AN suelen ser indicativos de nitración, oxidación y contaminación. Una regla que suele usar mucho es cuando el valor del aceite usado es el doble que el valor del aceite nuevo el aceite ha llegado al fin de su vida útil. Otro criterio es cuando el valor ascendente del AN y el descendente del BN se cruzan.

## Contenido de agua

El problema que con más frecuencia se encuentra en las aplicaciones de campo es el **de la nitro-oxidación** y sus efectos sobre el aceite y el motor son especialmente graves:

- aumento de la viscosidad y compuestos insolubles
- obturación del filtro
- depósitos y sedimentos en el motor
- desgaste corrosivo
- reducción de la vida del aceite

### **4.9. FRECUENCIA DE CAMBIO DE ACEITE EN MOTORES DE GAS**

No existe un periodo preestablecido de cambio de aceite en motores de gas. La vida del aceite está condicionada, como ya comentamos más arriba, por la capacidad del cárter, condiciones de trabajo, carga, temperatura, relación aire/gas, características del aceite y de los límites condenatorios establecidos por el fabricante.

Por ejemplo, CATERPILLAR recomienda cambiar el aceite a las 750 h., mientras que otros como GUASCOR, para motores alimentados por gas natural recomiendan el cambio a las 1200 horas y con biogas a las 700 horas.

Realmente, el cambio del aceite nunca viene bien y no debe ser preestablecido por el calendario ó número de horas sino por el estado en que se encuentra de acuerdo con la rutina analítica realizada.

ENSAYO	Valores típicos de la mayoría	Waukesha	Caterpillar
Viscosidad	+/- 20% aceite nuevo	-20%/+30% aceite	+ 3 cst aceite nuevo a
B.N.	50% aceite Nuevo y >2	50% aceite Nuevo y	50% aceite nuevo
A.N.	+2,5 del aceite Nuevo	+2,5 del aceite	+2 aceite nuevo
iPH	>4,5		
Nitración	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Oxidación	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Insolubles	> 1%	>1%	
Glicol	>200 ppm	indetectable	indetectable
Agua	>1000 ppm	>1000 ppm	>5000 ppm
Fe	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cr	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Sn	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Al	10 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ni	3 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cu	15 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Pb	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Mo	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Si	4-7 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Na	25 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ca	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Mg	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
B	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Zn	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
P	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Cloro	>800 ppm	> 900 ppm	

Tabla 4. Límites condenatorios

#### 4.10. FRECUENCIA DE MUESTREO

Inicialmente se recomienda tomar muestras cada 100 horas al objeto de establecer las tendencias de los parámetros analizados. Posteriormente, se recomienda para motores con gases reactivos (biogas,...) cada 200 horas y con gas natural cada 400-500 horas.

#### **4.11. CASO PRÁCTICO**

Como ejemplo se muestran los históricos de dos muestras de aceites de motor de gas.

- Ejemplo 1. Aceite de motor de gas natural

Se puede observar en el informe de la figura 6 como el aceite está sufriendo un proceso de nitro-oxidación, el cual está confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el descenso del valor del pH).

En el espectro de IR de la Figura 8 se puede observar como en la región de  $1720\text{ cm}^{-1}$  aparecen compuestos de oxidación. Así mismo, en la región en torno a  $1630\text{-}1553\text{ cm}^{-1}$  se comprueba cómo van apareciendo los compuestos de nitración. Finalmente en la región de  $1160\text{ cm}^{-1}$  se presentan los compuestos de sulfatación.

- Ejemplo 2. Aceite de motor de gas de vertedero



En el informe de la figura 7 también se puede observar como el aceite está sufriendo un proceso de nitro-oxidación, el cual está confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el valor del pH).

Así mismo, se observa el aumento en la cantidad de partículas de desgaste (Fe) y de contaminación externa (Si).

En el espectro de IR de la Figura 9 se puede observar la presencia de compuestos de oxidación, nitración y sulfatación al igual que en el ejemplo anterior.

La recomendación para ambas máquinas fue de cambiar el aceite debido a que los valores de ciertos parámetros (BN, AN, pH, nitro-oxidación...) estaban fuera de especificaciones.

**Informe de ensayo** Pág. 1 de 1

**Fundación Tekniker**  
Avda. Otaola, 20  
20600 EIBAR (Guipúzcoa) SPAIN  
Tel.: +34-943 20 67 44  
Fax: +34-943 20 27 57  
C.I.F. G-20545729  
http://www.wearcheckiberica.es  
http://www.tekniker.es

**DATOS DEL CLIENTE**

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

Ref.:			
Descrip.: Motor Gas-	Modelo: JMS 320 GS-L	N. Serie:	
Marca: JENBACHER	Etiqueta aceite:		Fecha toma:
Ref. Muestra:	S/Ref. :	Fecha recepción:	
Aceite: HD40	Añadidos (I):	Capac. (l):	
Serv. Máquina: 2471 H	Serv. aceite: 1144 H		

---

**DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA**

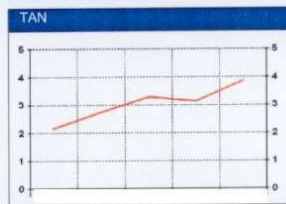



El aceite está sufriendo un proceso de nitroxidación confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el valor del pH). Finalmente comentar el aumento en la cantidad de partículas de desgaste (Fe) y de contaminación externa (Si).

X

---

**RESULTADOS**

<b>Ref. Muestra:</b>					
Serv. Máquina:	2471 H	2389 H	2157 H	1891 H	
Serv. aceite:	1144 H	1062 H	980 H	564 H	
<b>Estado del lubricante</b>					
Aspecto (Adim) (PE-TA.096)	Oscuro				
Contenido en agua (%) (PE-5071-AI)	< 0.1				
pH (Adim) (PE-5005-AI)	3.17	3.62	4.27	5.46	
Nitración (ABS/cm) (PE-5071-AI)	14	10	6	2	
Oxidación (ABS/cm) (PE-5071-AI)	22	15	10	6	
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D-974-02)	3.87	3.13	3.29	2.75	
TBN (mgr KOH/gr) (ASTM D-2896-03)	3.89	4.01	4.12	5.22	
Viscosidad a 100°C (cst) (ASTM D-443-03)	16.09	15.65	15.1	14.83	
<b>Aditivos</b>					
Contenido en B (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	0	2	2	
Contenido en Ba (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0	
Contenido en Ca (ppm) (ASTM D-5185-02)	2706	2505	2391	2681	
Contenido en Mg (ppm) (ASTM D-5185-02)	13	13	11	12	
Contenido en P (ppm) (ASTM D-5185-02)	321	315	280	306	
Contenido en Zn (ppm) (ASTM D-5185-02)	393	379	339	368	
<b>Metales de desgaste y contaminación</b>					
Contenido en Al (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	4	3	2	
Contenido en Cr (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	1	1	1	
Contenido en Cu (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	5	3	2	
Contenido en Fe (ppm) (ASTM D-5185-02)	20	17	8	5	
Contenido en K (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	1	3	0	
Contenido en Mo (ppm) (ASTM D-5185-02)	1	1	1	0	
Contenido en Na (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	2	
Contenido en Ni (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0	
Contenido en Pb (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	2	3	1	
Contenido en Si (ppm) (ASTM D-5185-02)	190	161	125	101	
Contenido en Sn (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	2	1	1	
<b>Partículas</b>					
PQ Index (Adim) (PE-5024-AI)	11	13	13	10	

Realizado por: Adolfo Málaga  
Diagnosticador  
Fecha realización: 01/10/2003

Estado: Normal Vigilar Peligro

X
△
△
△




NOTA: Los resultados obtenidos corresponden únicamente a las muestras ensayadas. Este informe no podrá ser reproducido parcialmente excepto con autorización por escrito del laboratorio que lo emite.


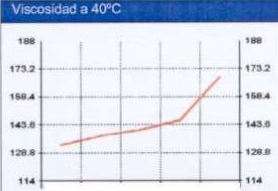
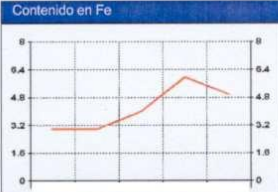
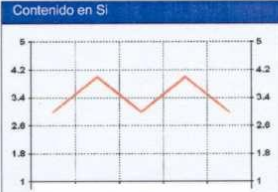
Figura 6. Informe histórico de un aceite de motor de gas natural







Informe de ensayo

Pág. 1 de 1

 		Fundación Tekniker Avda. Ojaola, 20 20600 EIBAR (Gulpiuzcoa) SPAIN Tel.: +34-943 20 67 44 Fax: +34-943 20 27 57 C.I.F. G-20545729 http://www.wearcheckiberica.es http://www.tekniker.es		<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>					
Ref.:					
Descrip.:					
Marca: Jenbach		Modelo: JMS 320		N. Serie:	
Ref. Muestra:		Etiqueta aceite:		Fecha toma:	
Aceite: 40		S/Ref. :		Fecha recepción:	
Serv. Máquina: 15172 H		Serv. aceite: 1514 H		Capac. (l): 320	
Añadidos (l):					
<b>DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA</b>					
El aceite está sufriendo un proceso de nitroxidación confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el valor del pH).					
					
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Ref. Muestra:</b> Serv. Máquina: 15172 H    14939 H    14730 H    14408 H Serv. aceite: 1514 H    1281 H    1072 H    750 H					
<b>Estado del lubricante</b>					
Anticongelante (%)	(PE-5071-AI)	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08
Contenido en agua (%)	(PE-5071-AI)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
pH (Adim)	(PE-5005-AI)	3.70	4.35	4.85	5.41
Nitración (ABS/cm)	(PE-5071-AI)	21	11	9	7
Oxidación (ABS/cm)	(PE-5071-AI)	22	11	9	7
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D-974-02)	3.21	2.9	2.68	2.12
TBN (mgr KOH/gr)	(ASTM D-2896-03)	1.87	3.7	4.45	4.07
Viscosidad a 100°C (cst)	(ASTM D-445-03)	15.36	14.55	14.27	14.35
Viscosidad a 40°C (cst)	(ASTM D-445-03)	169.14	146.17	141.12	138.01
<b>Aditivos</b>					
Contenido en B (ppm)	(ASTM D-5185-02)	2	2	0	0
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	0	0	0
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D-5185-02)	1405	1896	1345	1397
Contenido en P (ppm)	(ASTM D-5185-02)	768	1105	767	832
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D-5185-02)	975	1351	935	1000
<b>Metales de desgaste y contaminación</b>					
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	0	0	0
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	1	0	0
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D-5185-02)	2	2	2	1
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D-5185-02)	5	6	4	3
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	0	0	0
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	0	0	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D-5185-02)	1	3	0	0
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D-5185-02)	3	4	3	4
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D-5185-02)	0	0	1	1

Realizado por: Manuel Bilbao  
 Diagnosticador jefe  
 Fecha realización: 12/02/2003

Estado: Normal  Vigilar  Peligro  

NOTA: Los resultados obtenidos corresponden únicamente a las muestras ensayadas. Este informe no podrá ser reproducido parcialmente excepto con autorización por escrito del laboratorio que lo emite.

Figura 7. Informe histórico de un aceite de motor de gas de vertedero

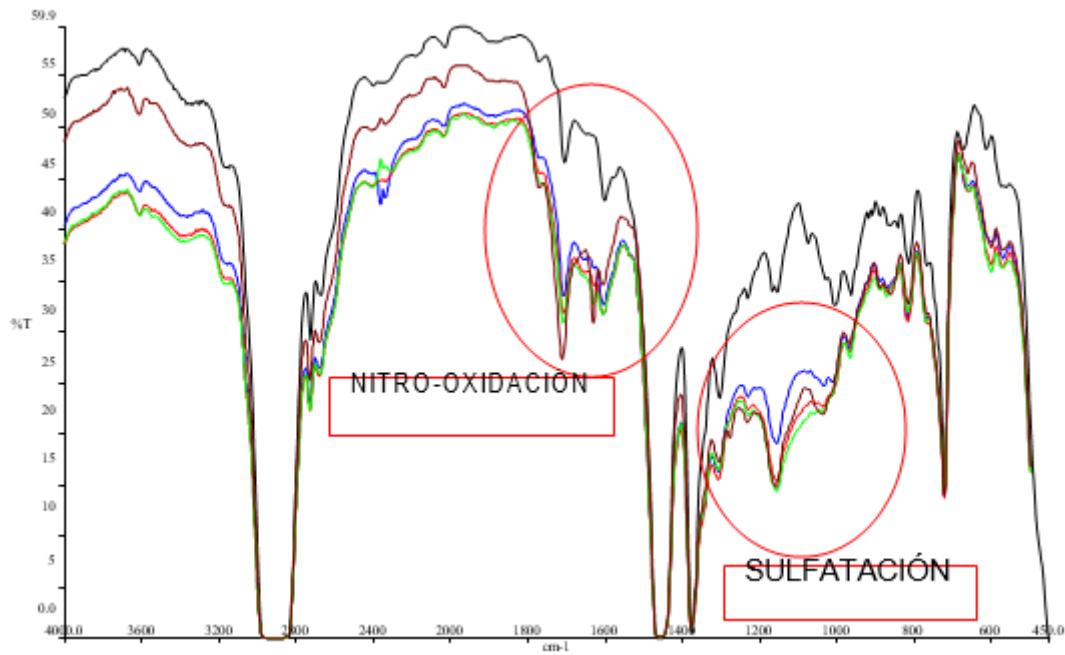


Figura 8. Espectros de un Aceite de motor de gas natural

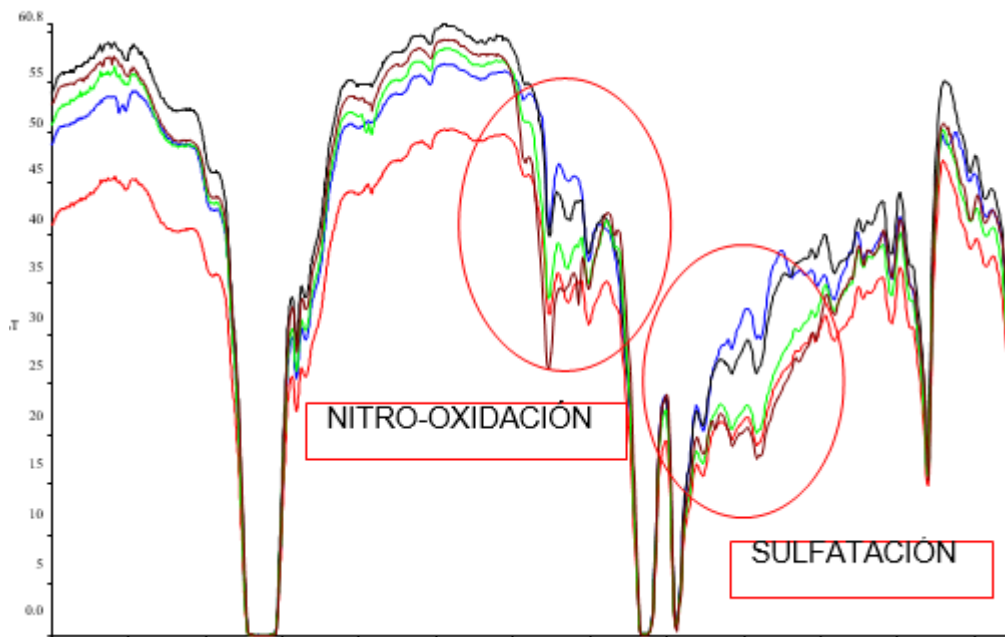


Figura 9. Espectros de un Aceite de motor de gas de vertedero

#### **4.12. CONCLUSIONES**

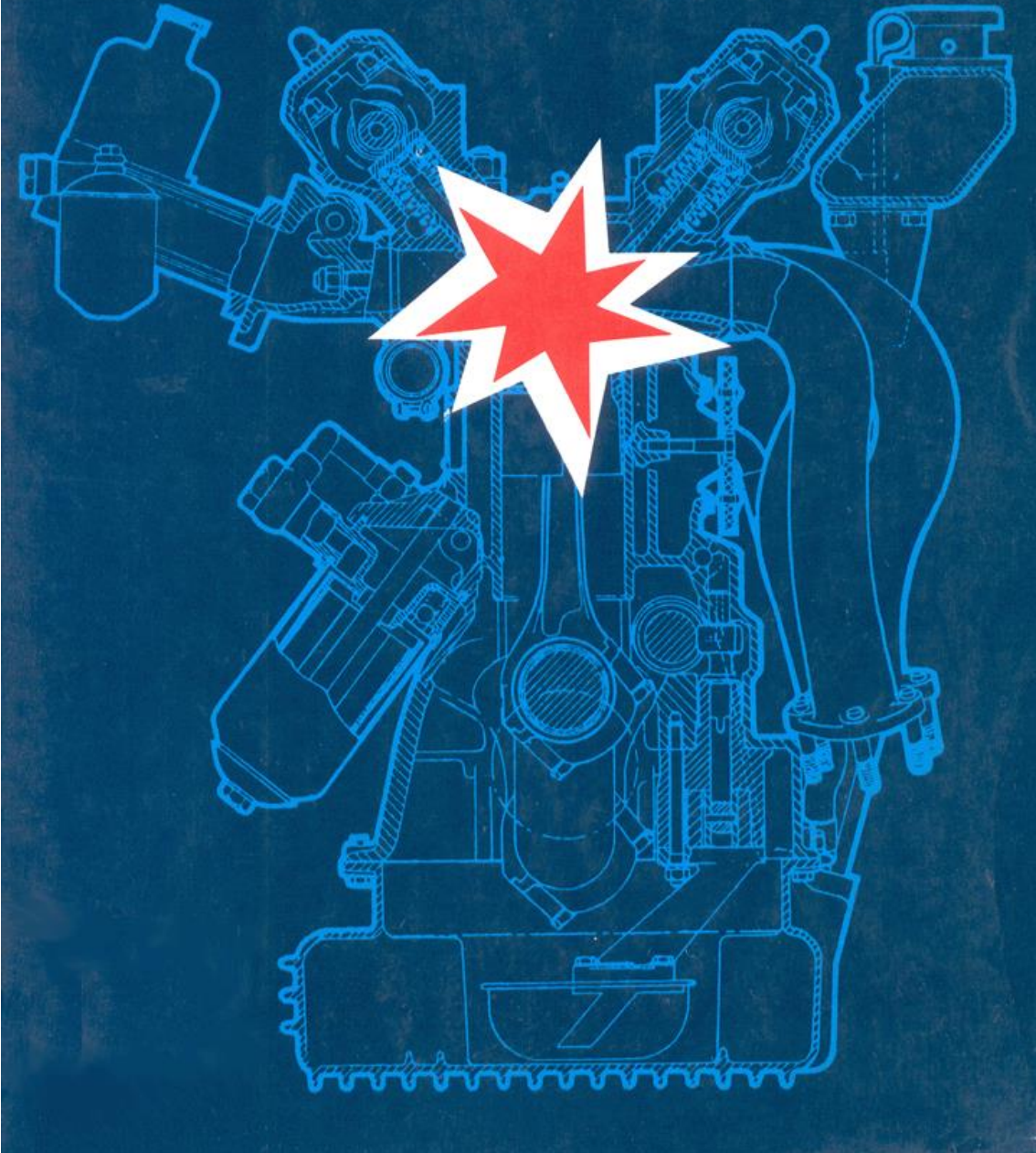
Las conclusiones finales se comentan a continuación:

- El aceite es un elemento vital de la máquina.
- Hay que tener bien claro que el aceite del motor debe considerarse como un componente más de la máquina y no como un producto desechable, sino como un producto durable.
- El análisis de aceite es la mejor herramienta de mantenimiento predictivo- proactivo desde el punto de vista coste-beneficio.
- El análisis de aceite es una extraordinaria herramienta para controlar los periodos de cambio del lubricante y para la detección temprana de los fallos.
- Cada motor debe ser controlado independientemente, ya que todos poseen diferentes tendencias.
- Debemos tener bien claro que la disminución en el número de parámetros solicitados al laboratorio puede ser perjudicial al no poderse determinar de una manera temprana los fallos.
- Se deben mandar muestras de aceite con una frecuencia determinada para poder establecer las tendencias de cada uno de los parámetros.



Miguel de Castro Vicente

# Trucaje de motores de 4 tiempos



## 5. Trucaje de motores 4 tiempos

---

## Prólogo

---

Yo espero que las personas que hayan comprado este libro no se hayan equivocado. Su título es para mí lo mejor que he podido encontrar que quiera decir exactamente lo que este libro es y lo que puede esperarse de él. Cierto que hay novelas que se llaman, por ejemplo, "Cien años de soledad" y uno no tiene ni la más remota idea, por el título, de las aventuras que pueda uno encontrarse entre sus páginas. Pero yo creo que el título TRUCAJE DE MOTORES DE CUATRO TIEMPOS está bastante claro para que nadie pueda suponer que este es un libro de juegos de manos, o del arte de hacer horóscopos; yo creo insisto, que quien esté en esto de los motores, cuando haya terminado la lectura del libro, no se llevará ninguna sorpresa desagradable. Pero, ¡qué queréis! Soy de tal manera que no me quedo tranquilo si no aclaro muy bien desde el principio, y aún antes de empezar, lo que entiendo que este título da a entender, para que nadie pueda llamarse a engaño y, después de haberse gastado sus pesetitas, se de cuenta de que esto no es lo que él buscaba.

Veréis: Yo creo que hay que diferenciar de una manera clara lo que es la *ingeniería* de motores de competición de lo que es la *preparación* de motores de competición y, por último, de lo que es el *trucaje*. La primera es una agrupación de ingenieros y técnicos (indiscutiblemente provisto de grandes dosis de entusiasmo... y de gran habilidad para obtener grandes sumas de dinero) que se proponen construir un vehículo de carreras para competir en los circuitos. En la mayoría de los casos son gente muy seria, muy preparada y de un alto reconocimiento técnico que trabaja para diseñar motores nuevos, y chasis y otros órganos originales, etcétera. Estos son los señores Enzo Ferrari y compañía, una gloria nacional italiana (la potente FIAT por detrás, etcétera). Estos señores empiezan por el principio: Saben que han de hacer un motor de 3.000 c.c. (o de 1.500 c.c. sobrealimentado) que ha de alcanzar más allá de los 750 CV. y... ¡bueno! ellos deciden si son doce u ocho cilindros, si son dos o cuatro válvulas por cilindro, si son cuatro, seis o doce carburadores, o cómo ha de ser el equipo de inyección, etcétera, etcétera. Este libro que tenéis ahora en las manos no se titula *Ingeniería de la competición*, por lo tanto está claro que no tratamos de esto.

La segunda actividad citada es la *preparación* de motores de competición. Los ingenieros o mecánicos que se dedican a estas preparaciones parten de motores dados. Su libertad de actuación y sus posibilidades quedan pues muy por debajo



de las que gozaban los ingenieros de la competición que hemos visto antes. Ahora bien: pueden modificar y diseñar partes importantes del motor como son la culata, los colectores de admisión y escape, cambiar cilindros, aumentar ligeramente la cilindrada, actuar sobre válvulas, ejes de levas, carburadores, etcétera, etcétera. Entonces los vehículos que salen de sus manos solamente pueden correr en competiciones de turismos preparados, porque en el tráfico urbano son indóciles, engrasan bujías, no aguantan bien el ralenti por su excesivo cruce de válvulas; son ruidosos mucho más allá de lo permitido, contaminantes en exceso, caros de mantenimiento, delicados... total, son carne de remolque y reyes del circuito cerrado. En estas preparaciones, y según los grupos en que participan, pueden haber mayores o menores "apretadas", pero, en general, incluso los coches preparados para correr en rallyes, con sus ruedas y neumáticos especiales, son caros para ponerlos en carretera para un uso que se supone ha de ser normal, y no resisten los atascos hoy tan frecuentes en nuestras vías de comunicación. Este es el terreno de los Carlo Abarth. Este libro que tenéis ahora en las manos no se titula *Preparación de motores de competición*, luego está claro que tampoco trataremos de este asunto.

Ahora llegamos a lo mío: *El trucaje*. El trucaje es el mejoramiento en el comportamiento del motor, y en general del automóvil, pero en el límite en que este automóvil no pierda sus cualidades de vehículo civilizado. Se trata de mejorar las prestaciones, conseguir mayor aceleración, aumentar la potencia del motor y, en fin, hacerlo, dentro de su gama, mucho más veloz y fulminante que cualquier vehículo de su cilindrada que puedan poner a la venta las fábricas de automóviles. Pero todo ello conseguirlo en proporciones razonables, sin grandes dispendios ni dificultades, aprovechando, en general, muchas piezas del motor y sustituyendo, en todo caso, elementos accesorios, sin perder de vista siempre que el coche ha de continuar circulando por ciudad y carretera, y debe saber comportarse en según qué casos como un señor bien educado. Esto es el trucaje, y por eso este libro lleva el título de TRUCAJE DE MOTORES DE CUATRO TIEMPOS, y no hace mención a la preparación ni a la ingeniería.

Esto es todo en cuanto a definiciones.

También tengo que decir que este libro, ahora con un texto y un planteamiento completamente nuevos, tiene su precedente en otro libro que con el mismo título escribí en 1959, y que editó también la prestigiosa editorial CEAC. Cuando me enteré de que el libro se seguía vendiendo en 1983, me creí en el compromiso moral no sólo de rehacerlo, sino de hacerlo totalmente nuevo, porque los tiempos han cambiado, y mucho; los motores han cambiado, y mucho; los mecánicos también hemos cambiado, y no poco, y el modo de hacer los trucajes ha sufrido diferentes y notables planteamientos. Espero que, en mi caso, siempre segundas partes sean buenas.

Como quiera que los prólogos han de ser lo más breves que sea posible, termino aquí no sin antes recomendaros que no tratéis de hacer ninguna modificación sin haber leído antes atentamente todo el texto del libro. Un motor es una máquina en la que todos sus mecanismos están funcionando interdependiendo unos de otros, de modo que modificaciones realizadas en una parte conlleva (o puede conllevar) la reforma y el retoque de otras partes. Y eso, claro está, solamente se sabe cuando ya se ha leído todo el libro... o uno sabe tanto, que lo que ocurre es que no lo necesita.

EL AUTOR

---

## Introducción

---

Mucha de la mejor gente actual, a la que hay que tomar muy en serio y con todo rigor, tiene grandes esperanzas en el mundo futuro que nos van a proporcionar unas máquinas que con grandes esfuerzos el hombre ha creado, y a las que se les ha puesto el nombre de "computadoras", o bien *ordenadores*, en una forma más castellana de decir. Son máquinas que pueden pensar, y lo hacen a tal velocidad y con la posibilidad de crear cadenas lógicas tan completas, que el pobre cerebro humano tiene que tirar la toalla frente a la enorme capacidad de estos cerebros electrónicos de ferritas y cuarzo. Cuando los ordenadores invadan por completo todo tipo de proyecto industrial parece ser que se habrá logrado la perfección absoluta del diseño, y nada que se haga de otra manera podrá mejorar aquel producto. Esto es lo que dicen los ingenieros, los matemáticos, los sociólogos y demás sabios.

La triunfal entrada masiva de los ordenadores en el mundo de los automóviles la estamos viviendo ya. Un ejemplo muy visible de este hecho es el cálculo de la penetración en el aire de las carrocerías. Se le da a la máquina *inteligente* toda la información sobre las características del vehículo en cuanto a ancho y alto, y la máquina nos dice, con todo detalle, la inclinación en grados de la superficie frontal, desde la parte más alta del parabrisas hasta la más baja del faldón: ¡Esto es magnífico!... Ningún ingeniero, sin cientos de horas de prueba en los túneles de viento, hubiera podido llegar a soluciones ni siquiera aproximadas a las que, con toda autoridad y de forma irrefutable, nos proporcionó el ordenador. El único defecto es que... ¡todas las carrocerías son siempre iguales!

El ordenador, que tiene muchos defectos *filosóficos* en su lógica, y que en casi nada se parece a un hombre, pues el pensamiento del ser humano es mucho más totalizador y amplio (aun cuando se equivoque) puede lograr, a poco que se le dejen desarrollar sus programas, que todos llevemos la misma perfecta camisa, los mismos perfectos relojes, las mismas perfectas boinas, y los mismos y perfectos automóviles. Me pregunto: ¿Valdrá la pena vivir así? Los humanistas han considerado, desde siempre, que la peor desgracia que puede ocurrirle a la Humanidad es caer en la uniformidad. El día que esto suceda puede ocurrir que la vida se haga insoportable. ¿Vamos realmente hacia ello?



Por lo pronto, un libro como éste jamás podría caber en la lógica de un ordenador, pues, ¿cómo puede ser trucado un automóvil que el ordenador ha calculado ya como una obra perfecta e insuperable? Sólo en la lógica del hombre cabe la posibilidad del mejoramiento.

Yo soy de los que creo que un *Automóvil* debe ser algo más que una pieza perfecta. Creo que debe ser una cosa bella, creo que debe tener un atractivo que se identifique con su dueño (y este atractivo está en la singularidad); creo que debe tener temperamento. En una palabra, como todas las cosas bellas, debe ser una pieza imperfecta. Un automóvil debe tener su carácter y su psicología, y sus manías y sus grandezas y sus servidumbres. Debe ser seguro e infatigable, como lo fue en su tiempo el PEUGEOT 404, o rápido y ágil y alegre como lo fue el LANCIA *Aprilia*; o modesto y sufrido como un escarabajo VOLKSWAGEN, o, si queréis, ostentoso e impertinente como un FORD *Edsel*... pero ha de tener personalidad. Mientras muchos hombres piensen como yo, el Automóvil no caerá en las garras del ordenador y de su lógica en cadena, y siempre tendrá la oportunidad de ser trucado. Pero si el ordenador lo hace una pieza de absurda exactitud... más valdrá que nos dediquemos a ir por el mundo en tren... o en bicicleta.

Pero, en fin: Por el momento no vamos a amargarnos la vida pensando en los ordenadores y vayamos a los motores actuales que, en general, permiten sustanciosos aumentos de potencia a condición de un mayor consumo y de atenderlos cuidadosamente. Ahora bien: Antes de continuar quiero dejar bien sentado que presupongo en el lector no escasos conocimientos de mecánica, y le supongo del todo enterado de cómo funciona un motor de cuatro tiempos, y cómo lo hacen también los mecanismos que necesita para que todo el conjunto nos proporcione su potencia. Le presupongo también conocimientos elementales de matemáticas para poder interpretar las muchas fórmulas que se dan a lo largo del libro (aunque, en verdad, esto no es del todo indispensable) y creo que, en general, son los mecánicos los que podéis sacar el máximo provecho de cuanto ha sido fruto de mis largos estudios y mis experiencias.

El trucaje es, pues, posible, porque los motores construidos por el hombre tienen la ventaja de que pueden ser mejorados en algunos sentidos. Así pues, todos los motores que se consideran bien construidos tienen unos márgenes de seguridad que sus creadores han calculado sobredimensionando todas las piezas para que puedan soportar todos los esfuerzos que se les van a exigir, y posibles sobrecargas que podrían ocasionarse en el caso de verse el motor necesitado de trabajar en condiciones adversas. Así pues, este margen de seguridad intenta significar una garantía en el caso de un tiempo de funcionamiento más largo del que podría considerarse habitual, funcionando a plenos gases; un entretenimiento poco cuidadoso de las normas que el motor requiere; el fallo parcial de algunos de los circuitos vitales para el motor que puedan sufrir momentáneos desarreglos o transtornos, etcétera, etcétera.

Para el mecánico consciente o para el aficionado muy entendido en mecánica, cabe la posibilidad de apurar este margen de seguridad sometiendo el motor a mayores esfuerzos, los cuales no serán nocivos para el mismo si éste es rigurosamente atendido, pudiéndose lograr de esta forma un considerable aumento de potencia. Estas modificaciones realizadas sobre el motor es lo que constituye su trucaje, a cuyo estudio vamos a dedicar los próximos capítulos a fin de hacer del dominio del gran público de aficionados al automovilismo los secretos para lograr

las mayores prestaciones de los motores, así como las modificaciones más eficaces y menos comprometidas que se hallan al alcance del mecánico medio y hasta de un elevado número de aficionados.

Sin embargo, no queremos decir con esto que modificar un motor sea una tarea simple y fácil. Por supuesto existen diversos grados de complejidad y mientras hay cambios que pueden ser realizados sin compromiso por cualquiera, los hay también que requieren, no solamente conocimientos, sino la ayuda de herramientas y utillajes que no está en las posibilidades de un aficionado su adquisición. El trucaje, en su forma más amplia, requiere experiencia y mucha dedicación, sobre todo si pretendemos que a la modificación le siga un largo período de buen funcionamiento. En general, los mecánicos que se dedican al trucaje acaban especializándose en una determinada marca de motores ya que de esta forma van aumentando su experiencia a medida que modifican, y pueden comprobar después los resultados. Lo que ha sido bueno lo repiten después y hasta se arriesgan a exagerarlo; lo que ha sido malo no lo vuelven a repetir, o lo hacen de otra forma: Es la eterna forma de proceder con la experiencia.

Primera Ley importante para los que os vais a dedicar al trucaje: *“Antes de trabajar con las manos es necesario trabajar con la cabeza.”*

En efecto: Antes de lanzarse a hacer modificación alguna hay que conocer muy bien el motor con el que vais a tratar, y conocerlo muy bien a nivel técnico. Deberéis proporcionaros todo tipo de documentación, ya sea procedente de la fábrica, de las revistas técnicas o de los libros que traten de este motor en particular. Antes de trucarlo debéis conocer sus curvas características de potencia, par motor, etcétera; todos los diámetros de carburador, difusor, y la medida de los surtidores... Debéis conocer su régimen de giro, la velocidad del émbolo, el tamaño de las válvulas y lo que se separan del asiento; la medida del diámetro de los colectores, tanto de admisión como de escape, y, en fin, cuanta mayor y más exacta documentación podáis reunir sobre el motor que os ocupa tanta mayor posibilidad tendréis de salir airosos y con éxito de vuestra tarea.

Cuando ya lo tengáis todo en la cabeza tendréis que decidir sobre el papel las modificaciones que se pueden llevar a cabo, y entre éstas, deberéis elegir las más convenientes de acuerdo con las características del motor y también con la mayor o menor intensidad con que deseéis hacer el trucaje. Pues bien: Todas estas operaciones hay que hacerlas *antes* de meterle mano al motor. No lo olvidéis, primero se trabaja con la cabeza y luego con las manos. En las figuras 1 y 2 podéis ver el resultado. Primero el motor tal como salió de fábrica, y luego el aspecto exterior del mismo cuando ya hemos acabado el trabajo, y hemos dejado sudores y muchas horas dentro de su culata y sus cilindros.

Y ahora vayamos a exponer el plan que hemos seguido para desarrollar estos temas. Este libro está dividido en once capítulos. Los ocho primeros están dedicados exclusivamente a los trucajes que pueden realizarse en el motor, y los restantes hablan, ya de pasada, de los trucajes a que pueden ser sometidos los demás órganos de un automóvil, tales como los frenos y la suspensión, los cambios de velocidades, y otros factores no menos dignos de tenerse en cuenta a la hora de conseguir buenas velocidades. Convendrá fijarnos primero en el motor, que es la parte donde específicamente se ven las cualidades de los mecánicos dedicados al trucaje. Para esta primera parte os reservo la segunda gran Ley del trucaje: *“La poten-*



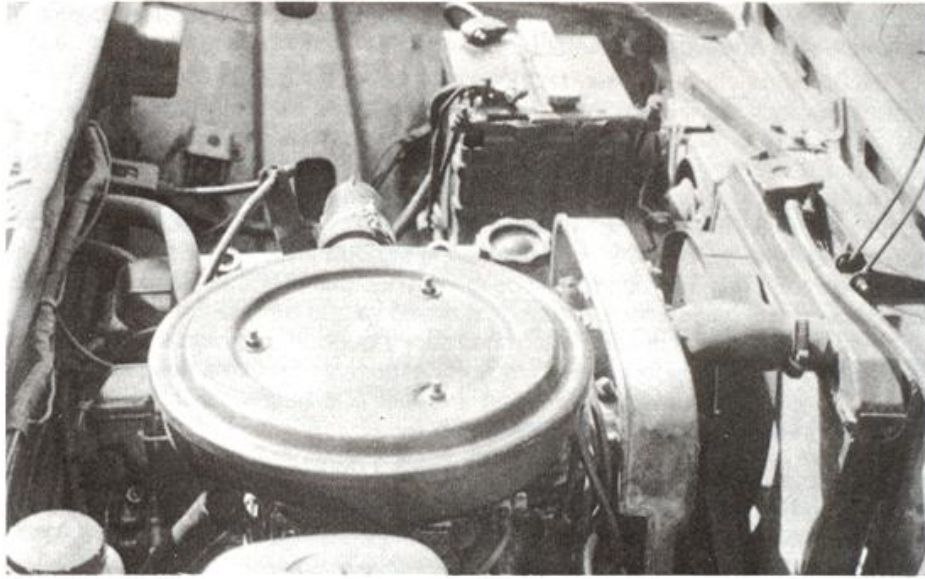


Figura 1. Así salió el motor de fábrica y nos lo presenta el cliente para ver qué podemos hacer con él.

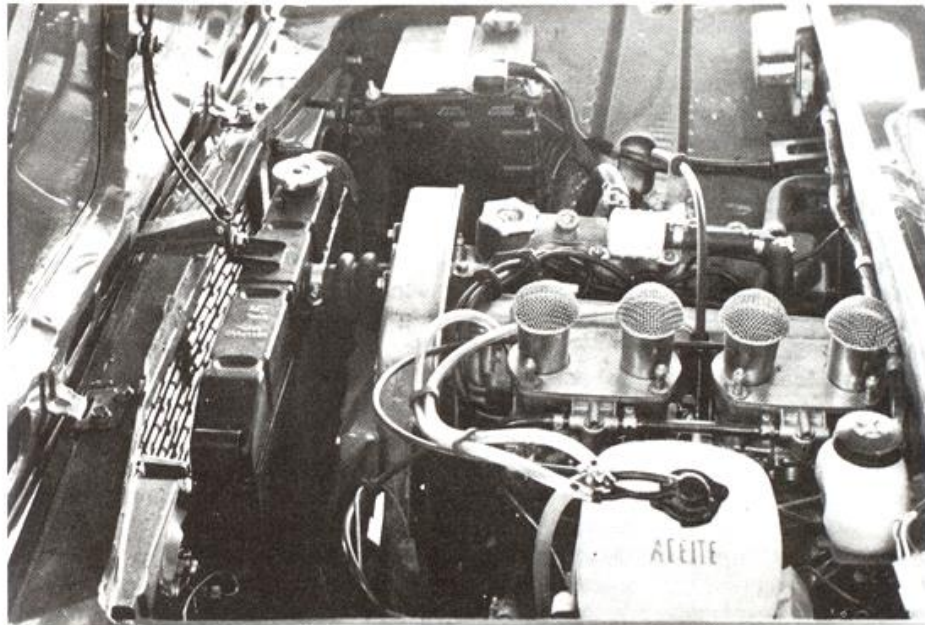


Figura 2. El resultado final debe encerrar mucho ingenio y muchas horas de bien hacer en mecánica.

*cia de un motor no puede ser aumentada nada más que en la misma medida en que se consigue aumentar su consumo de aire."*

Teniendo esto en cuenta hemos de saber que el mayor consumo de aire sólo puede producirse por alguna de las tres siguientes formas:

- 1.º Por aumento de la cilindrada.
- 2.º Por aumento de la presión media efectiva.
- 3.º Por aumento del régimen de giro.

Así pues, si ya conocemos todos los datos técnicos de un motor y todas sus características, tendremos que elegir, para su trucaje, cualquiera de estos aumentos, o varios a la vez, según las circunstancias. De esto nos ocuparemos en los capítulos que reseñamos a continuación.

### **Aumento de la cilindrada**

El aumento de la cilindrada solamente se puede llevar a cabo aumentando el diámetro de los émbolos y cilindros y/o aumentando su carrera. Quizá uniendo dos motores o, teóricamente, añadiendo más cilindros, aunque esto escapa de nuestras posibilidades, al igual, incluso, que un aumento sustancioso del diámetro. Todas estas cuestiones van a quedar reflejadas en el Capítulo 1 llamado AUMENTOS DE CILINDRADA.

### **Aumento de la presión media efectiva**

La segunda posibilidad, y la más generosa porque nos proporcionará los mejores resultados, es el aumento de la presión media efectiva en el interior de las cámaras de combustión. Ello podemos lograrlo aumentando la relación de compresión, de lo que nos ocuparemos en el Capítulo 2, el llamado LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN. También mejorando la elaboración de la mezcla gasolina/aire, actuando sobre el carburador para que permita la entrada de mayor cantidad de esta mezcla, podemos conseguir excelentes resultados, sobre todo si no estamos preocupados por el consumo (y es de esperar que no, si hablamos de trucaje). También a veces nos puede ser posible aplicar sistemas de inyección de gasolina. Pues bien: Todo ello lo veremos en el Capítulo 3, llamado ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.

También podemos cumplir la segunda Ley del trucaje consiguiendo introducir mayor cantidad de aire/combustible en el cilindro a base de forzar la entrada del aire, lo cual forma parte del Capítulo 4, llamado AUMENTO DE LA ENTRADA DE AIRE. Este capítulo tratará, fundamentalmente, de la sobrealimentación con la ayuda de compresores (ya sean turbocompresores o del tipo Roots o de paletas). También del diseño de los colectores de admisión y de los de escape, así como las pequeñas ganancias que pueden obtenerse al hacer desaparecer los filtros de aire y sus inconvenientes. Todo esto va escrito en este citado Capítulo 4.

A continuación las mejoras en el encendido que deben realizarse en todo motor trucado formarán la base del Capítulo 5, de gran interés para lograr que el motor pueda rendir lo necesario pese a necesitar mucho mayor número de chispas por

segundo. Aquí hablaremos de los encendidos electrónicos y de sus ventajas, y de la forma de aplicarlos. Y también de las bujías que deberán ser sustituidas por otras de diferente grado térmico al trabajar el motor a mayor temperatura, etcétera. Todo esto se verá en este Capítulo 5, llamado EL ENCENDIDO.

Por último, en el Capítulo 6, se estudiará el circuito de aceite y la necesidad de su refrigeración para mantenerlo en condiciones óptimas de engrase en todas las piezas móviles que lo requieran. Este capítulo se llamará EL ENGRASE.

### **Aumento del régimen de giro**

Otro grupo de posibilidades que nos quedan para aumentar el consumo de aire a que hace referencia la Ley segunda, es la posibilidad del aumento del régimen de giro del motor. Cuantas más vueltas por minuto dé el volante, más aire habrá consumido y mayor será la potencia proporcionada. Así tenemos el Capítulo 7, llamado ALIGERADO DE MASAS, en el que se estudia cómo hay que proceder para hacer que el motor pueda girar más ligero, y en el Capítulo 8, llamado LA DISTRIBUCIÓN, todo lo relativo a las válvulas y la importancia de estas piezas en el mejor llenado del cilindro.

Todo lo dicho hasta aquí con respecto al esquema de este libro corresponde a la parte concreta del motor y a su trucaje. La otra parte está formada por los capítulos que estudian y hacen referencia a diferentes partes de la transmisión y la carrocería. Y así tenemos el Capítulo 9, dedicado a LOS CAMBIOS DE VELOCIDADES, ya que, si obtenemos mayor potencia y queremos traducirla en una mayor velocidad, algo tendremos que hacer para que los desarrollos del automóvil permitan hacer prácticas estas mejoras. En el Capítulo 10, llamado LOS FRENO Y LA SUSPENSIÓN, vamos a estudiar los problemas que el coche trucado puede plantear al haber aumentado su velocidad y su potencia y no mejorar los mecanismos de frenada o reforzar los elementos de la suspensión. Hablaremos pues, del modo de hacer todo esto lo mejor posible.

El Capítulo 11, llamado VARIOS FACTORES, reúne toda una información breve de toda una serie de factores que influyen en el rendimiento de un vehículo, tales, por ejemplo, como el aerodinamismo y otras causas que afectan de alguna manera al trucaje, y también de la forma cómo hay que actuar para plantearse de una manera seria y consciente este trabajo con una serie de consejos finales con los que acabaré la obra.

Después de leer todo el libro espero que saquéis la conclusión de que un motor es, verdaderamente, un gran conjunto de precisión. Todos sus mecanismos, desde sus más importantes piezas hasta las más humildes arandelas, sólo tienden a lograr un objetivo: crear un automatismo perfecto de modo que todos colaboren al solo fin del máximo rendimiento, la máxima seguridad y la larga vida. Esto, naturalmente, cuando el motor se halla bien proyectado como es el caso de la mayoría de los motores que salen de las fábricas afamadas que existen en la actualidad en el mundo. Por esta razón, en la mayoría de los casos, la modificación o trucaje de cualquier órgano puede traer consigo el cambio de otras piezas cuyo buen funcionamiento está estrechamente ligado al común funcionamiento de todo el motor. Por estos motivos no hay que centrar nunca un trucaje en una modificación concreta sin tener en cuenta concienzudamente a todas las partes que pueden ser



afectadas por la nueva situación que se va a presentar. Esto es muy importante, y lo digo para que leáis todo el libro antes de pensar en hacer cosas dentro de un motor. No queráis cambiar el carburador sin saber qué pasará con las válvulas.

Por otra parte, y ya para finalizar, quiero deciros que en la extensión de los capítulos hay grandes diferencias que vienen ocasionadas por la mayor o menor importancia del tema. No me ha preocupado la estética del libro sino su utilidad práctica y, evidentemente, en el trucaje de un automóvil de serie, donde más podemos intervenir es en el motor. Por ello le dedicamos la mayor parte de nuestro tiempo y el mayor número de páginas.

En fin: Pongamos punto final a esta ya larga introducción y dejémonos de más preámbulos. Como quiera que el tema del trucaje es deliciosamente apasionante vamos con la mayor rapidez a entrar en el estudio de cada una de las partes que hemos descrito brevemente en esta introducción. Atentos, pues, que empezamos.

---

# 1. Aumentos de cilindrada

---

Yo diría que, desde un punto de vista técnico, la forma ideológicamente más adecuada de aumentar la potencia de un motor consiste en aumentar la capacidad geométrica de sus cilindros. Como que de cualquier manera la potencia nos va a venir proporcionada por un mayor consumo de mezcla, pues bien: Aumentémoslo a base de aumentar la cilindrada, lo que nos permite mantener la fiabilidad del motor y evitar así el someter a sus órganos a mayores esfuerzos de los habituales que a veces pueden llegar a ser desproporcionados. Cualquier ingeniero estaría de acuerdo conmigo, (salvo el que estuviera muy preocupado por problemas económicos y me dijera que un motor de mayor cilindrada es más caro —algo de razón tiene, pues por lo menos lleva más kilos de hierro—) en que esta es la solución correcta para aumentar la potencia. Quizá cualquier otro ingeniero podría objetar que a mayor cilindrada mayor peso, y como que el peso hay que transportarlo, no sería conveniente que el vehículo perdiera condiciones a base de aumentar su relación peso/potencia: También es verdad.

Pero la verdad es que la peor de las razones por las que se aconseja no hablar de aumentos de cilindrada es la cuestión jurídico-administrativa. Las autoridades basan el pago de los impuestos directos del automóvil en la cilindrada del motor, de modo que se paga no por la potencia real del motor, ni tampoco por la comodidad o el verdadero lujo del vehículo, sino por la cilindrada. Consecuentemente creo que no hace falta que os diga que está totalmente prohibido aumentar la cilindrada de un motor, de cara a la Jefatura de Tráfico; y si contra viento y marea se determina hacerlo, es necesario acudir a una revisión por parte de los Ingenieros de Industria, así como todo el abundante papeleo que todo esto trae consigo y que solamente algunos determinados gestores saben... Y todo ello es debido, fundamentalmente, a que al aumentar la cilindrada se traspasa un techo establecido para el tanto por ciento que se cotiza en el pago de los impuestos. En fin, que lo técnicamente adecuado, lo lógico, lo correcto de acuerdo con las matemáticas y la física, no puede llevarse a término por cuestiones impositivas. Por lo visto el Ministro de Hacienda es el que más sabe de bielas y pistones de toda España.



De todos modos no vamos a llorar por ello, porque desde el punto de vista del trucaje aumentar la cilindrada de una manera sustancial comporta tantos problemas como ya veremos, que mejor será dejarlo todo tal como está. Pero en un libro como el presente no se puede silenciar esta posibilidad que es válida e importante, por el sólo hecho de no sé qué cosa de unos impuestos, unos tantos por ciento, y todas sus zarandajas: Hasta el mismo Ministro de Hacienda si un día nos encontráramos en un bar —cosa poco probable, desde luego— tomando un chiquito tendría que convenir conmigo que llevar un coche que sale de fábrica con un motor de 1.600 c.c. y da 70 kw. (alias 95 CV. DIN) de potencia, es lo mismo que llevar un coche con motor de 1.800 c.c. y 70 kw. (alias 95 CV. DIN). Y todo lo demás son historias... ¿o no?

Hoy en día los aumentos de cilindrada no son excesivamente difíciles en ciertas gamas de automóviles. El simple hecho de que se haya puesto de moda la fabricación de un modelo que carrocería que puede estar equipada a gusto del consumidor con motores que suelen ir desde los 950 c.c. hasta casi los 1.600 c.c., facilita la labor de una manera rotunda para el mecánico que quiera aumentar cilindradas. Podría poner muchos ejemplos en los que el aumento de cilindrada se efectúa por mediación del aumento del diámetro como ocurre con los *FORD Sierra* (Fig. 3), en algunos modelos de *B.M.W.*, *RENAULT*, y un largo y prolongado etcétera. En algunos casos basta cambiar las camisas y émbolos y revisar los cálculos de la culata para que ésta pueda ser aprovechada y no tenga excesiva compresión, tal como veremos en el capítulo próximo. Pero de hecho, en algunos modelos no hay más dificultades que las que mencionábamos de los impuestos, y la prohibición y anatema que cae en la cabeza del mecánico, en forma de fuerte y desconsoladora multa, si se entera la autoridad competente. Y en este aspecto, por civismo (aunque no por convencimiento técnico) debemos ser serios.

Pero no nos precipitemos y vayamos por partes. Digamos, para poner orden a todo este revoltijo, que hay cuatro maneras de aumentar la cilindrada de un motor, y vayamos a estudiarlas punto por punto. Estas maneras son:

- 1.º Aumentar el diámetro del cilindro.
- 2.º Aumentar la carrera.
- 3.º Aumentar el número de cilindros.
- 4.º Acoplar dos motores o más.

### **Aumentar el diámetro del cilindro**

Yo aconsejo que todo aumento de cilindrada se haga, siempre que se pueda, aumentando el diámetro del cilindro. Los otros aumentos de cilindrada por los sistemas que hemos enumerado antes, son muy complicados y requieren mucha experiencia. (Experiencia en trucaje quiere decir —no nos engañemos— haber cometido muchas barrabasadas, pues en trucaje se aprende mucho más de los fracasos que de los éxitos.) Aumentar unos pocos milímetros el diámetro de los cilindros proporciona una buena base para conseguir motores consistentemente más potentes que el original y, además, sin comprometer demasiado la mecánica en la que basamos nuestro trabajo. Por lo tanto esta posibilidad no hay que descartarla de entrada, ni mucho menos.



Figura 3. El **FORD Sierra** es un ejemplo de coche de cilindrada media/alta en el que una misma carrocería puede llevar motores de diferentes potencias.

Por lo pronto nos encontramos con el vaciado de los cilindros que, además de darnos sus CVs no es ilegal ni requiere el papeleo a que hacíamos mención. Consiste, sencillamente, en un rectificado de los cilindros mediante el cual se ganan las tolerancias que el fabricante ha dispuesto para futuros rectificados del motor. La teoría en que esto se basa es la siguiente: Prácticamente todos los motores modernos tienen estudiado el grosor de su camisa, o del cilindro, con un sobredimensionado, que en muchos casos es de un milímetro, para compensar los desgastes que se vayan produciendo con el uso o en el caso de un gripaje. Con el tiempo, el émbolo y la camisa se van desgastando de modo que el desajuste entre ambas piezas se hace cada vez más evidente. Como quiera que en nuestro tiempo la vida de un coche se mide no por la vida del motor sino por la vida de la carrocería, y ésta se supone que puede llegar a durar alrededor de los 400.000 Kms., hay que darle al motor este margen de posibilidad de rectificado para que esté en consonancia con la vida general del vehículo.

Nosotros entendemos por vaciado del cilindro cuando se ganan estas tolerancias aun cuando el motor no se halle ovalizado, y se hace con el objeto de ganar unos centímetros cúbicos más de cilindrada, y aumentar así la potencia que el motor pueda proporcionar.

Antes de que me digáis que esto es una tontería porque el aumento de potencia es insignificante, os voy a poner un ejemplo: Veamos un motor SEAT biálbero, de 1.592 c.c. Como sabéis es de cuatro cilindros y de 80 mm. de diámetro, con una carrera de 79,2 mm. y una relación de compresión de 8,98:1. Para este motor po-



déis encontrar émbolos de hasta 80,60 mm. de diámetro para sobremedida de rectificado, (con los del tipo GS os váis a 84 mm. y esto sería ya excesivo por ahora). Después de haber hecho este cambio la cilindrada quedará en: (fórmula de la cilindrada (cil)).

$$\text{Cil} = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot C \cdot n_c$$

en donde D es el diámetro del émbolo;  $\pi$ , el número constante 3,1416; C, la carrera del émbolo, y  $n_c$  el número de cilindros del motor.

De esta forma tenemos que:

$$\text{Cil} = \frac{80,60^2}{4} \times 3,1416 \times 79,2 \times 4 = 1616390 \text{ mm}^3 \text{ o } 1.616,39 \text{ cm}^3$$

La ganancia con respecto al motor sin vaciar es de

$$1.616,39 - 1.592 = 24,39 \text{ c.c.}$$

Pues bien: No se crea que este aumento es despreciable en la práctica, pues contribuye al mayor rendimiento del motor el hecho de que la compresión queda aumentada a 9,12:1 al mantener la misma culata. Ayudado de mejoras en la carburación y en los colectores de entrada y salida de gases pueden obtenerse unos cuantos CV de más, que, por otra parte, no afectarán a la vida del motor ni rebajarán su fiabilidad de funcionamiento. Por otra parte, no habremos puesto nerviosos a los del fisco, y, en fin, todos contestos.

Hay muchos cilindros que permiten superar rectificadas de un milímetro a todo su alrededor (Fig. 4), con lo que se logran 2 mm. en el aumento del diámetro. En estos motores la ganancia empieza ya a ser muy sustanciosa, pero el problema está en encontrar émbolos que siendo del peso requerido, del mismo material que actúe en relación a sus dilataciones del modo que está calculado en el circuito de refrigeración, y que tenga el mismo diseño para permitir el libre juego de las válvulas, tengan a su vez el diámetro requerido. En este caso del motor biálbero, por ejemplo, se puede pasar al émbolo de 84 mm. que corresponde al motor FC, —modelos antiguos del 132 y el CLX— de 1.800 c.c., pero las paredes del cilindro tendrán que ser rebajadas el doble, es decir, en 2 mm. alrededor, lo que representa 4 mm. en el diámetro, por lo que quedan muy debilitadas. En este caso (y como podéis comprobar si hacéis números utilizando la fórmula que he dado al principio) la cilindrada queda en 1.755,63 c.c. ya que seguimos manteniendo la misma carrera de 79,20 mm. y el 1.800 original tiene una carrera de 81 mm. Si aprovechamos la culata nos vamos a una relación de compresión de 9,80:1 (todo esto utilizando los émbolos del tipo GS como se ha dicho). Esto está dentro de lo posible con el uso de gasolinas del tipo Extra, de 98 octanos, y, además, si se añaden a estos aumentos de potencia los beneficios que pueden obtenerse por todas aquellas modificaciones que con la carburación y los colectores de admisión y de escape pueden llevarse a término, como explicaremos en sus capítulos correspondientes, podemos obtener unos resultados altamente satisfactorios.

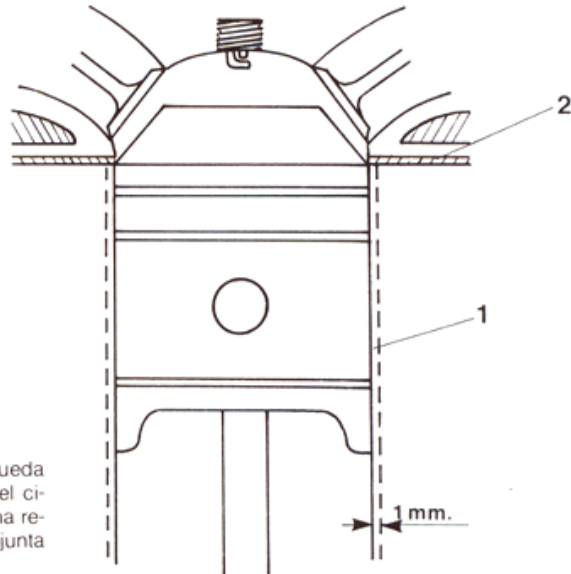


Figura 4. El aumento de cilindrada queda determinado por el mayor volumen del cilindro al desplazarse el émbolo. 1, zona rebajada de las paredes del cilindro. 2, junta de culata.

Combinaciones como estas pueden hacerse muchas, y en especial utilizando émbolos que sean primos hermanos, como es el caso del ejemplo; pero el aumento de cilindrada por el mayor diámetro, pese a ser el sistema más lógico, repito que no sirve sin legalizarlo, por un lado, y, en el caso de la competición, se puede pasar sin querer a otra categoría, en donde se tendrá que competir con vehículos de todavía mayor cilindrada, por lo que puede no ser interesante la adopción de esta "lógica" solución.

### Aumentar la carrera

Estoy seguro que con el solo enunciado de este apartado de capítulo vosotros ya sabéis a qué me refiero: Aumentar la carrera es, sencillamente, hacer que el émbolo suba (y baje) más milímetros de los habituales en su motor. Esto puede verse en la figura 5. Es muy difícil de hacer para un mecánico, pues requiere rediseñar muchas piezas de compromiso, y en principio se escapa de las posibilidades nuestras a menos que no trabajemos cambiando bloques y cigüeñales por otros de la misma familia, con lo que nos cargamos el número de referencia del motor, volvemos a caer en las garras del fisco al modificar la cilindrada, etcétera, etcétera. Pero bien: De todo esto hablaremos más adelante y ahora quiero que nos fijemos en algo que es fundamental, yo diría que muy importante, para el mecánico dedicado al trucaje. Os voy a proponer un juego: ¿Qué os parece?

Este juego podéis hacerlo ahora o cuando no tengáis trabajo. Además es un juego al que, por otra parte, debéis acostumbraros si de verdad os queréis dedicar

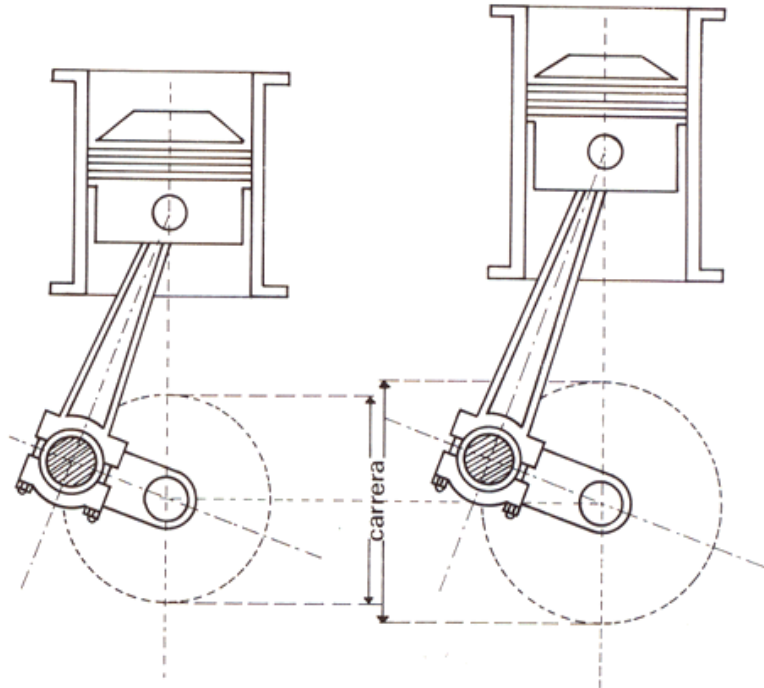


Figura 5. Otra posibilidad sería aumentar la carrera manteniendo igual el diámetro del cilindro.

al trucaje puesto que, para tener un mediano éxito en esta profesión —o afición— se necesita estar muy al corriente de las características técnicas de todos los motores que se están fabricando en el mundo. Pero vayamos al juego: Consiste en que tengáis a la vista esos libros-catálogo que se editan anualmente donde están reseñadas las principales características técnicas de todos los motores y automóviles de fabricación mundial. Cuando dispongáis de un rato de tranquilidad, o estéis viendo en la Tele algo que os interese relativamente poco (yo lo hago así cuando hacen los dibujos animados o el telediario) comenzáis a comparar motores.

Cosas que pueden compararse: Por ejemplo, las cilindradas y las potencias obtenidas. Comparadlas también con el número de r.p.m. y hasta con el difusor de los carburadores. Ved si el motor es supercuadrado (esto ocurre cuando la división de la carrera (C) por el diámetro (D) da menos de la unidad:

$$\left( \frac{C}{D} = < 1 \right)$$

Relacionad también la potencia con el peso del vehículo en orden de marcha, lo que os explicará el porqué de brillantes aceleraciones. Comprobad velocidades máximas entre diferentes modelos... y consumos... pero *sobre todo* me interesa que

os fijéis en el dato de la *velocidad del émbolo*. Una maquina de calcular de bolsillo, como la que nos regaló la mujer el día de nuestro cumpleaños (o bien ocurrió que la compramos con mucha ilusión y luego la dejamos abandonada en el cajón de la cómoda), nos va a venir de perlas ahora para nuestro útil entretenimiento.

La fórmula que sirve para calcular la velocidad del émbolo (velocidad media) en el momento de la máxima potencia, viene determinada así:

$$V_e = \frac{n \cdot C \cdot 2}{60 \times 1000}$$

en donde  $V_e$  es la velocidad del émbolo;  $n$ , el número de r.p.m. que se toman;  $C$ , la carrera en mm. El resultado de la operación nos vendrá dado en metros por segundo.

Cosas curiosas que vais a ver: Mirad un coche modesto, de proletario, un, por ejemplo, SEAT modelo *Panda 45*, provisto de un motor de 903 c.c. y un diámetro de 65 mm. por una carrera de 68 mm. y sus 45 CV a 5.600 r.p.m.

Y luego mirad... un ALFA ROMEO, modelo *GTV 2,50*, por ejemplo. He aquí que este coche lujoso y rápido vale nada menos que 5,33 veces más que el citado modesto *Panda*. Tiene seis cilindros, 158 CV a 5.600 r.p.m. y alcanza 205 Kms. por hora. Tiene un diámetro en sus émbolos de 88 mm. y una carrera de 68,3 mm. Pues bien: empleemos la maquina de calcular.

La velocidad media máxima del émbolo en el momento de la máxima potencia será:

$$PANDA: V_e = \frac{5600 \times 68 \times 2}{60 \times 1000} = 12,69 \text{ m/seg.}$$

Y en el caso del lujoso y vertiginoso ALFA ROMEO,

$$V_e = \frac{5600 \times 68,30 \times 2}{60 \times 1000} = 12,75 \text{ m/seg.}$$

Mirad por dónde, el proletario y el superclase tienen prácticamente la misma velocidad de émbolo en el momento de alcanzar la máxima potencia.

Pero hay más: ¿Ya sabe el señor que lleva un *VISA II GT*, de cuatro cilindros, de un diámetro de 75 mm. y una carrera de 77 mm., que alcanza 80 CV a las 5.800 r.p.m., que obtiene una velocidad del émbolo de 14,88 m/seg., es decir, ligeramente superior a la de un *MASERATI Merak SS*, de 198 CV a 5.800 r.p.m. y seis cilindros en V, el cual tiene una velocidad de émbolo de 14,50 m/seg.?

Aunque si seguís el juego vosotros mismos iréis descubriendo muchos y curiosos detalles, os voy a dar algunos datos comparativos que tienen su interés para el desarrollo de este capítulo. Así, el *RENAULT* modelo *5 Copa*, tiene una velocidad del émbolo de 16,43 m/seg. El motor biálbero de SEAT, de 1.600 c.c. llega a alcanzar, en el momento de su máxima potencia, los 15,84 m/seg. El pequeño y potente *LANCIA* modelo *A 112 Abarth* alcanza los 16,28 m/seg. Mirando un catálogo del año 1983 puedo comprobar que el motor de serie con mayor velocidad media del émbolo



bolo que se fabrica en el mundo es nada menos que el JAGUAR XJ 3,4, que alcanza los 18,55 m/seg., y ello es debido especialmente a que se trata de un motor con cierta antigüedad en su concepción tecnológica ya que es de carrera larga. Un coche semideportivo como el FORD modelo *Capri 2,8*, por ejemplo, alcanza casi los mismos CV que el JAGUAR, pero con un motor 650 c.c. más pequeño, es supercuadrado y mantiene una discreta velocidad del émbolo a 13,01 m/seg.

En líneas generales yo podría decir que el motor de explosión de émbolos tiene limitadas sus posibilidades por la velocidad a que el émbolo se mueve. Cuesta mucho conseguir que un émbolo gire a más de 22 m/seg. y que permanezca así unos minutos: Las leyes de la dinámica y de la inercia no dan para más. Por eso cuando en los años sesenta apareció el motor *Wankel*, sin émbolos, que lanzó la N.S.U. alemana como resolución ¡por fin! de un motor rotativo, todos los técnicos lo saludamos con alborozo creyendo que estábamos asistiendo a la muerte, la mortaja y el entierro de este motor de émbolos en el que todavía trabajamos y que en el fondo es similar al que utilizó Daimler en 1889. Por muchas razones que aún no he comprendido del todo, el motor *Wankel* se desvaneció entre la niebla de no sé qué intereses (supongo que económicos), y aunque me parece recordar que todavía la japonesa MAZDA fabrica algún coche utilizando esta patente, de aquel gran esfuerzo técnico y gran descubrimiento nunca más se supo, y continuamos con nuestros tradicionales motores, tan tradicionales que ya casi no sabemos qué hacerles para sacarles mayores rendimientos. Lo hemos ensayado todo, pero la velocidad del émbolo sigue teniendo su techo que no podemos superar.

Esto explica el porqué los motores de competición son tan complicados. Los ingenieros, haciendo honor a su nombre, han tenido que ingeniárselas para conseguir motores muy potentes y rápidos sin aumentar excesivamente la velocidad del émbolo. Si no fuera por ello nada impediría, por ejemplo, hacer un motor de 3.000 c.c., como es el de Fórmula 1, que girara a 25.000 r.p.m. y se obtuvieran así caballos a gogo. Pero no es así. ¿Sabéis porqué? ¿Sabéis porqué el FERRARI 312, 47 es de doce cilindros y no de cuatro? Pues para reducir la velocidad del émbolo. ¿Por qué se está trabajando con tanto ahínco en los motores sobrealimentados? Pues para obtener más CVs sin necesidad de aumentar la velocidad del émbolo. ¿Por qué se han generalizado ya del todo los motores supercuadrados, es decir, aquellos en que el diámetro es más largo que la carrera? Por la velocidad del émbolo. Un émbolo ancho y amplio permite cámaras de combustión mucho más cómodas y perfectas para colocar grandes válvulas y un adecuado lugar para la bujía, y, además, al ser el cilindro de mayor diámetro permite, para igualdad de cilindrada, reducir la velocidad del émbolo: Consecuencia: Podemos aumentar el régimen de giro y conseguir con ello mayores y mejores aceleraciones. El motor del JAGUAR que pusimos de ejemplo anteriormente, gira a 5.250 r.p.m. para obtener sus 162 CV, con seis cilindros y una cilindrada total de 3.442 c.c. El más moderno TALBOT *Tagora*, también de seis cilindros, consigue 166 CV, con un motor de 2.664 c.c. y ¡14,60 m/seg. de velocidad de émbolo! El primero es de carrera larga, el segundo supercuadrado en relación 1,205.

Por esta razón, mozos que os dedicáis a la muy noble técnica del trucaje de motores, tenéis que ir con mucho ojo en el asunto de la velocidad del émbolo, porque podéis hacer muchas cosas en vuestro motor, podéis rebajar el peso de las masas que giran, podéis poner carburadores desmesurados para la cilindrada, agrandar las válvulas y los conductos... pero si subís de vueltas más de lo que el



émbolo puede soportar, vuestro trabajo de muchas noches no durará más que un castillo de naipes expuesto al huracán.

Puesto que ya os he convencido pasemos ahora a los datos prácticos: Un émbolo se siente tranquilo y gira bien entre 11 y 13 m/seg. Si tenéis que trucar un motor que se mantiene en estas cifras estáis de enhorabuena, pues podréis sacar resultados brillantes y vuestro trabajo será muy alabado por los colegas, y tendrá fiabilidad si lo subís hasta los 16 m/seg. como máximo y, por supuesto, hacéis bien el trabajo.

Cuando os dan a trucar un motor que ya de fábrica está entre los 13 y los 16 m/seg. la cosa se os va a poner mucho más difícil. Casi irremediamente no tendréis otra oportunidad que pensar en un aumento de la cilindrada por el diámetro, o en la sobrealimentación. Si no, los resultados de vuestro trabajo no serán tan alabados. Por supuesto que podréis acoplarla, si no lo lleva, un encendido electrónico, mejorar el carburador, las válvulas, conductos, escape... pero como que el émbolo ya giraba alrededor de esos fatídicos 16 m/seg. no os olvidéis de poner en rojo la zona del cuentavueltas que pase de este régimen de giro resultante.

Por último, si os encontráis con vehículos cuyo motor, de fábrica, ya supera los 16 m/seg. (como sería el caso exagerado del JAGUAR) haced lo que queráis... pero *no aumentéis la velocidad media del émbolo* que el motor ya tiene de origen. En estos casos las únicas soluciones las hemos de encontrar por el camino del aumento de la cilindrada, y siempre en base al aumento del diámetro del cilindro.

Si la fiabilidad no os preocupa, entonces podéis llegar a los 20 m/seg. siempre y cuando quede bien claro quién ha de pagar los vidrios rotos (que los tendrá que pagar... y pronto).

Y ahora, después de este largo inciso en este trozo de capítulo, volvamos al tema con el que habíamos comenzado. Hablábamos de que una de las posibilidades del aumento de cilindrada era, en teoría, el aumento de la carrera del émbolo. Bien: Ya habéis visto lo que pasa con la velocidad media máxima del émbolo. En un momento en que la técnica de los motores progresa en virtud de disminuir las carreras parece muy claro que estaría muy fuera de lugar querer aumentar tontamente la velocidad del émbolo en base a aumentar su recorrido. Por lo tanto, no veo yo en qué caso podría ser interesante este trabajo. Pero es que, además, requiere aumentar la longitud del bloque con respecto al lugar donde está ubicado el cigüeñal, y por supuesto disponer de una biela más larga tal como ya lo vimos en la pasada figura 5.

En general, el aumento de la carrera solamente puede aceptarse en aquellos casos en que se requiere un aumento de la cilindrada considerable y se une el aumento máximo posible del diámetro del cilindro con unos milímetros ganados también por medio de la carrera. Estos trabajos solamente pueden hacerse en aquellos casos en que podemos tratar con motores primos hermanos, como lo son, por ejemplo, la familia de los SEAT 1.600, 1.800 y 2.000 c.c., pero no así cuando tengamos que fabricar piezas especiales para el acoplamiento, pues un mecánico de trucaje se supone que no dispone de medios adecuados para hacer el trabajo de un preparador de competición, financiado por algún grupo importante, ni en materiales ni en maquinaria.

Creo que no es posible hablar más de este asunto, pero no olvidéis, en lo sucesivo, lo que es y lo que representa la velocidad del émbolo.

### Aumentar el número de cilindros

Está claro que este capítulo va desde lo más fácil a lo más difícil. Aumentar el número de cilindros es una posibilidad que escapa totalmente de los medios de que disponemos los mecánicos. Aumentar el número de cilindros de un motor requiere el hecho de hacerlo completamente nuevo, con nuevo cigüeñal y bloque de diferente diseño, con nueva refrigeración, etcétera. No era mi intención, al comenzar este capítulo, que esta práctica (que significa hacer un motor nuevo) pudiera ser llevada a cabo por el mecánico; simplemente estaba enumerada porque, evidentemente, un aumento de cilindrada puede llevarse a cabo, además de las formas que hemos vistos antes, por el hecho de aumentar el número de cilindros de un motor. Nada más hay que decir sobre este punto.

### Acoplar dos motores o más

Seguimos, como en el caso anterior, en el terreno de las utopías. Claro que a un automóvil se le pueden aplicar dos motores, pero el trabajo que hay y los problemas que presenta son tantos, que sin ninguna duda es mejor decidirse por otras alternativas. Por ejemplo: Si queremos aumentar la cilindrada de un motor a valores del doble, lo mejor será utilizar un solo motor, pero del doble de cilindrada. Consultando las estadísticas que daban datos creo que aceptablemente fiables, hasta 1981, parece que se han fabricado en lo que va de siglo, casi 400 millones de vehículos. bueno, los chatarreros deben estar hasta las orejas de motores de todos los caballajes pese a que hayan destruido cantidades ingentes de motores ya usados, y allí, pueden encontrarse motores de cilindradas elevadas que con paciencia se pueden reconstruir. Todo esto puede hacerse, aunque no es en absoluto recomendable, es decir, no es recomendable ponerle a un chasis no previsto para ello dos motores, ni tampoco aumentar drásticamente la cilindrada para un chasis tan poco preparado. Todo esto entra ya dentro del terreno de los *dragsters*, a los que tan aficionados fueron los norteamericanos en los tiempos de la guerra de Corea y que, todavía, por supuesto, tiene sus partidarios en aquel extenso y diverso país. Pero hacer trucaje no es hacer monstruos.

Es exacto que se han fabricado automóviles con dos motores, como fue el famoso caso del CITROËN 2 CV, modelo *Sáhara*, en el que los ingenieros de la propia fábrica, viendo la aceptación que tenía este modelo por su adaptabilidad a los malos caminos de montaña, quisieron dotarlo de tracción a las cuatro ruedas. Bueno: parece que resultaba más sencillo aplicarle un nuevo motor trasero, unido a las ruedas traseras directamente, que hacer un mecanismo de tracción a las ruedas de atrás desde el motor delantero, en parte por la poca potencia de éste y en parte por las características especiales de la suspensión. La solución fue aplicarle dos motores. Con ello se tenía la ventaja de aumentar la potencia del vehículo (siempre muy falto de ella) sin aumentar prácticamente el consumo, ya que el motor trasero se utilizaba solamente para los casos de atascos en los malos caminos, si así lo disponía el conductor. Las soluciones adoptadas por el *Sáhara* fueron muy creativas, como nos tuvo siempre acostumbrados el numeroso equipo de diseño de la gran CITROËN, pero la aplicación de dos motores a un mismo automóvil no ha dejado escuela ni resulta justificada para un vehículo comercial. Es probable que la ofi-



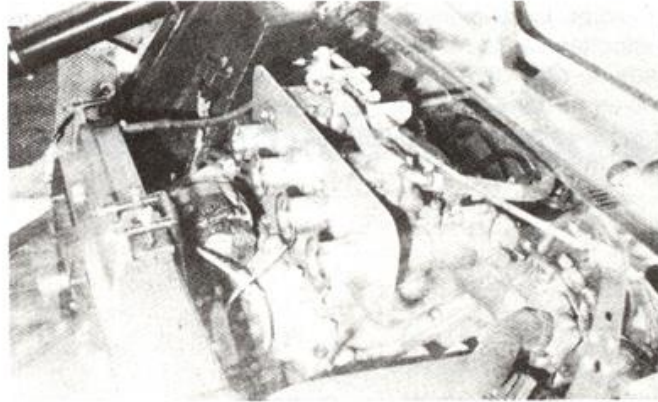


Figura 6. He aquí el motor trasero del Citroën Visa bimotor, de 1.219 c.c. y 100 CV. Cada motor tiene esta potencia.

cina técnica de CITROËN se encontrara unas semanas sin trabajo por haber acabado todos los proyectos, y el director les hubiera dicho a sus muchachos: "Ahora que no tenéis nada que hacer, ¿por qué no miráis cómo podría hacerse para acoplar un motor trasero al 2 CV?" Y salió el *Sáhara*. (En definitiva una sección técnica de ingeniería no pierde nunca el tiempo porque, a lo menos, las experiencias adquiridas tarde o temprano encuentran su aplicación. En efecto: Los de CITROËN han vuelto ahora a hacer coches bimotores. El modelo VISA 4x4 B (Fig. 6) es un coche para rallye provisto de dos motores independientes... y así, tracción a las cuatro ruedas, como los AUDI.)

Cuando no tengáis nada qué hacer y queráis pasar el rato podéis hacer pruebas de este tipo. En cierta ocasión, un amigo mío me llevó a ver un conocido que había construido un helicóptero con un motor de los que se hacían en fábrica. Con unas barras de aluminio había montado el citado motor y le había provisto de unas aspas, con una ingeniosa transmisión. La "cosa" subía unos tres metros en el pajar del amigo conocido (lo que le daba el cable que desde el suelo accionaba la mariposa del acelerador); luego volvía a bajar aceptablemente entre el estruendo y el huracán. Muy bien, ¿y qué? Aquello solamente servía para dos cosas: entretenerse y aprender y, quizá, si uno es demasiado generoso consigo mismo, creerse que uno es un gran inventor, un genio. De todos modos había que felicitarle y le felicité.

Para finalizar y resumiendo lo dicho, parece que los aumentos de cilindrada deben ser realizados a través del diámetro del cilindro. Sin embargo, los motores de carrera muy corta con respecto al diámetro también tienen algunos inconvenientes tales como su difícil equilibrado (transmiten muchas vibraciones) y también aumentan en mucho los problemas de la refrigeración. Por encima de una relación

$\frac{D}{C} = 1,30$ , la evacuación del calor en la zona del centro del cilindro empieza a

ser comprometida y a presentar problemas. Por lo tanto, propiamente en lo que es el trucaje de motores, los aumentos de cilindrada deben ser muy comedidos y de relativa poca importancia. Yo no he obtenido nunca buenos resultados en aumentos de cilindrada de consideración. Como véis, esto es como una goma: si la estáis por un lado se os hace larga pero se estrecha por el otro, y a la inversa. Saber elegir: He aquí el gran problema de todas las actividades humanas en las que interviene la libertad y el cerebro.

---

## 2. La relación de compresión

---

¿Verdaderamente vale la pena que os empiece a hablar ahora de los principios de la Termodinámica expresados por Sadi-Carnot, y os muestre un diagrama de trabajo con sus líneas adiabáticas para demostraros sobre el papel, tal como lo hacen los ingenieros, que el mayor rendimiento en la explosión de una mezcla se obtiene cuanto mayor es la relación de compresión a que el gas ha sido sometido previamente? ¿Es necesario que os diga que la energía calorífica liberada por un gas durante la fase de expansión del ciclo depende específicamente de la temperatura absoluta que alcanza en el momento de su encendido? ¿...y que esta temperatura es tanto mayor cuanto mayor es la relación de compresión? Yo creo que para los que nos dedicamos al trucaje de motores no es necesario llevar las cosas hasta el extremo de calentarnos la cabeza en busca de estos "porqués", por lo menos por el momento, y sí será importante que veamos el resultado de los estudios teóricos en una curva como la mostrada en la figura 7, en donde se puede ver el rendimiento de la combustión de acuerdo con la compresión a que ha sido sometido previamente una mezcla explosiva de gasolina.

De una forma práctica, todos los mecánicos hemos observado que aumentar la relación de compresión y aumentar la potencia de un motor viene a ser una misma cosa, y si tenemos experiencia o hemos ido informándonos con la ayuda de libros y manuales de motores antiguos, veremos que las potencias han ido subiendo en tanto en cuanto aumentábamos la relación de compresión, lo que aumentaba el régimen de giro, como un efecto secundario, y, a igualdad de potencias, disminuía el tamaño de los motores. Por poner un ejemplo que tengo ahora sobre la mesa, el catálogo del ROLLS-ROYCE de 1904 daba 48 CV (mal medidos en aquella época) con un motor de 7.036 c.c. que giraba a 1.200 r.p.m. de máxima, y con una compresión de 3,20:1, (se trataba de un motor muy rápido ya que en aquellas fechas las velocidades de giro estaban alrededor de las 800 r.p.m. por término medio). En 1914, diez años más tarde de un frenético desarrollo técnico, el ingeniero estadounidense D. McCall White construía para CADILLAC un famoso motor V-8, con una cilindrada total de 4.805 c.c. que rendía 70 CV. a 2.400 r.p.m. y con una relación de compresión de 4,25:1.

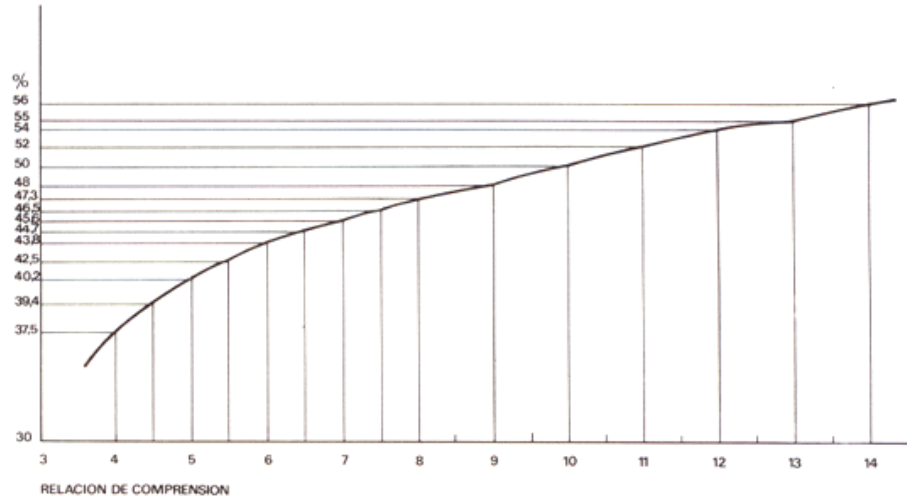


Figura 7. Rendimiento de la mezcla de acuerdo con la relación de compresión.

Demos otro fuerte salto en el tiempo y nos encontraremos, hacia 1934, con un antiguo y verdadero TALBOT de seis cilindros y 2.969 c.c., con una potencia de 100 CV a 4.500 r.p.m. y una relación de compresión de 6,50:1.

Y ya en nuestros días, como quien dice, vemos que la FIAT, hacia 1968, crea su famoso motor biálbero, de 1,600 c.c. de cilindrada (Fig. 8), con 95 CV (y esta vez mejor medidos bajo las normas DIN) y una relación de compresión de 8,98:1. Observemos, pues, en esta breve visión histórica, que el aumento progresivo de las potencias de los motores está directamente relacionado con este famoso aumento en la relación de compresión y con el aumento del régimen de giro. Algo habrá en todo esto que sea importante investigar para poder dotar a nuestros motores de potencias más elevadas. Por lo tanto veamos con atención este capítulo.

Volvamos a la figura 7. Este gráfico nos enseña cómo el rendimiento térmico sacado al combustible es tanto mayor cuanto mayor es la relación de compresión a que ha sido sometido previamente. En la relación volumétrica de 4:1 no le sacamos a la mezcla más de un 37,50 % de sus cualidades caloríficas posibles. Por el contrario, con un 8:1 conseguimos casi un 10 % más, y con 10:1 estamos ya en la posibilidad de sacar al combustible el 50 % de su poder calorífico. A partir de 14:1, la curva se aplanan y nos demuestra que en este tipo de motores térmicos que nosotros usamos, la dificultad de sacar al combustible el 100 % teórico de sus calorías requeriría motores con una filosofía de concepción completamente diferente de la actual, cuyas bases fueron sentadas en el motor MERCEDES del ingeniero alemán Maybach, en 1901.

Está bastante claro, pues, que parece seguro que cuanto mayor sea el grado de compresión de un motor tanto mayores serán los beneficios que éste nos otorgue. Y esto es así... pero hasta cierto punto. Realmente, un grado alto de compresión es ideal, pues al establecerse una mayor relación volumétrica la explosión del



gas genera más calor, la presión aumenta y se puede extraer mayor trabajo del combustible, lo que engendra un más violento giro del cigüeñal y, en su consecuencia, un número más elevado de r.p.m. hasta el punto que permita la inercia de las masas rodantes y los tiempos del diagrama de abertura y cierre de las válvulas. Al ser, de todos modos, en una unidad de tiempo, superior el número de carreras motrices, la potencia de un motor queda aumentada.

Aunque este aumento tiene sus limitaciones por los inconvenientes que vamos a ver a continuación, apresurémonos antes a decir que el aumento en la relación de compresión es una de las más importantes modificaciones que podemos llevar a cabo para el trucaje de un motor, y en muchos casos en que se trata de motores *tranquilos*, el que produce los más generosos aumentos de potencia. Es evidente que si no existieran otro tipo de inconvenientes ya todos los motores saldrían de fábrica con compresiones, por lo menos, de 14:1 (¿no acabamos de ver que ésta libera una muy aceptable proporción del poder calorífico del combustible?), pero al no ser así hemos de pensar, forzosamente, que algo pasa. Veámoslo a continuación.

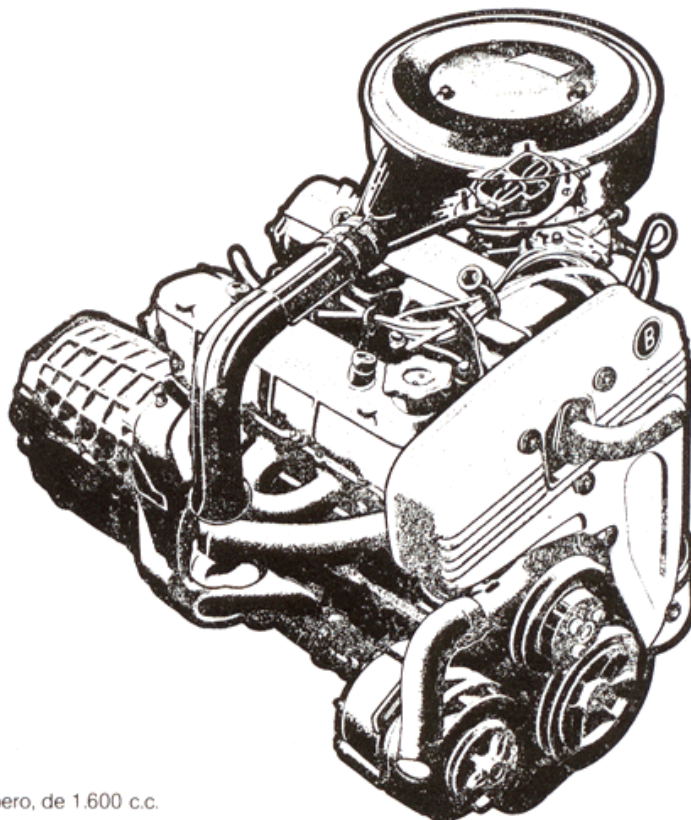


Figura 8. Motor FIAT biálbero, de 1.600 c.c.



### Inconvenientes de una relación de compresión elevada.

Los principales inconvenientes que pueden presentar una relación de compresión elevada podríamos resumirlos en tres aspectos:

- a) el autoencendido
- b) la detonación o picado
- c) esfuerzos anormales para émbolos y cigüeñal.

El *autoencendido* consiste en la inflamación espontánea de la mezcla sin necesidad de que intervenga la chispa eléctrica de la bujía. Su peor y más nocivo defecto consiste en que esta explosión se produce en cualquier momento, sin ninguna posibilidad de control y, por supuesto, sin que el émbolo se halle en su P.M.S. como es necesario.

El autoencendido, que no hay que confundir con la detonación como veremos seguidamente, se produce siempre porque existen en la cámara puntos excesivamente calientes. Está claro que un aumento de la relación de compresión trae consigo un aumento de calor muy considerable y en según qué tipo de motores puede producir puntos que se ponen incandescentes y producen esta anomalía. También partículas de carbón no barridas por las turbulencias de la combustión, o bien los mismos electrodos de las bujías que trabajan en muy malas condiciones de evacuación del calor, pueden producir la explosión de la mezcla de modo inmediato sin esperar la llegada del émbolo a su P.M.S. El autoencendido ocasiona terribles esfuerzos sobre el cigüeñal, biela, cojinetes y émbolo, y puede llegar a deformar cualquiera de estos elementos, cuando no a romperlos. Quedamos pues, en que este es uno de los defectos que pueden ser ocasionados por la subida indiscriminada de la relación de compresión.

El segundo de los inconvenientes habíamos dicho que era la *detonación* que también puede ser ocasionada por un aumento exagerado de la compresión. Vamos a explicar en qué consiste este fenómeno.

Cuando se produce la chispa eléctrica en la bujía la combustión del gas no se propaga de una forma instantánea. Por el contrario, la velocidad de combustión resulta relativamente lenta, de solo 30 metros por segundo aproximadamente. En los motores en los que la compresión comienza a ser elevada, (y en mezclas combustibles de gasolina puede considerarse así a partir ya de 7:1) ocurre que la onda explosiva no se propaga a la velocidad que hemos visto de un modo total, sino que, hallándose, por ejemplo, mediada la combustión que se suponía progresiva, aumenta súbitamente a una velocidad de 100 metros por segundo. Ello es debido a que las ondas de propagación de la explosión, que hemos tratado de representar por medio de la figura 9, cuando han alcanzado cierto grado de expansión, comprimen todavía más la mezcla que aún no ha sido quemada sometiénola a una compresión altísima que hace que aquella explote más en virtud de esta compresión nueva que por efectos de la chispa. Esto produce altísimas presiones en la cámara de combustión que se traducen en esfuerzos anormales que pueden llegar a destruir el motor.

Sobre esto quiero añadir dos cosas. En primer lugar, que la diferencia entre autoencendido y detonación es ahora bien clara: El primero se produce estando el émbolo en cualquier posición de su carrera, el segundo cuando se halla en P.M.S.

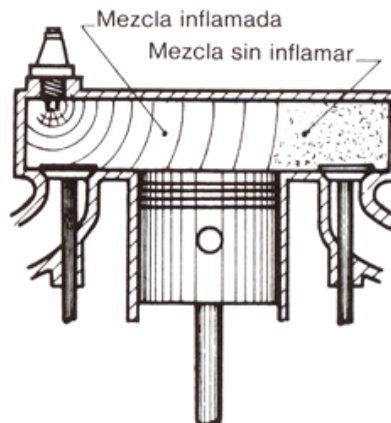


Figura 9. Forma de producirse las ondas de propagación en el momento de la explosión de la mezcla.

El defecto del primero es que actúan fuerzas contrarias (mientras el émbolo sube y continúa subiendo se produce una explosión parcial que tiende a presionar el émbolo hacia abajo) mientras el defecto del segundo es una elevación crítica y súbita de la temperatura que puede llegar muy fácilmente al agujereado del émbolo. (Yo he tenido muchos de estos pistones con vocación de embudo en mis manos, y os aseguro que es dramático levantar una culata y encontrarse con tal guiñapo).

La segunda cosa que quiero añadir es que a propósito he dibujado la figura 9 de una forma tan irreal, con las válvulas puestas en el bloque, a la muy antigua usanza, y la bujía puesta en el lugar más adecuado para que se produzca la detonación. Sobre esta figura que conste lo siguiente: En primer lugar que está realizada solamente con fines de facilitar la comprensión del fenómeno, y, en segundo lugar, que hace ya muchos años que no se fabrican motores así, (aunque yo los he visto y he alcanzado todavía a repararlos). De todos modos, en nuestras magníficas cámaras de combustión hemiesféricas, con sus válvulas a 45 grados con respecto a la superficie del émbolo, también se produce el picado de la misma exacta manera que en la anticuada cámara de la figura citada. Ahora volvamos a la detonación.

La detonación se anuncia como un sonido metálico, como el que se produce al agitar perdigones en un tubo de vidrio. Este sonido mortal hay que evitarlo completamente.

Podría resumirse toda la lucha de los ingenieros para conseguir motores con rendimientos específicos más elevados y consecuentemente más pequeños, —más ligeros— y más potentes, paralela a la lucha realizada por los químicos por conseguir combustibles de una mayor velocidad de inflamación y una mayor capacidad de no autoencenderse cuando son ya sometidos a una presión relativamente baja, tal como le pasa a la gasolina como producto directo de la destilación del petróleo. Esta lucha de los químicos se ha encaminado siempre hacia los aditivos, primero a base de plomo, después por más sofisticados procedimientos se han ido así obteniendo gasolinas que han hecho posible las elevaciones de los índices de

compresión de los motores sin la aparición de la detonación dichosa. La capacidad de propagación rápida y regular, se mide en *octanos* por comparación, y hoy, las gasolinas de 98 octanos, pueden considerarse aptas para elevadas compresiones que pueden establecerse alrededor de los 10:1.

La detonación no se resuelve, sin embargo, sólo con el uso de estas gasolinas especiales. En general tiene una importancia decisiva la forma que adopta la cámara de combustión. Al margen de los progresos realizados en el terreno de los combustibles, todos ellos de la mayor importancia como hemos visto, existen las aportaciones sustanciales que el concienzudo estudio de las cámaras ha revestido a fin de hacer disminuir el picado. En la figura 10 podemos estudiar seis diferentes tipos de cámaras de combustión relacionadas con su rendimiento. Las cámaras dibujadas en la zona alta de la figura corresponden a los más corrientes diseños actuales, y el rendimiento está por encima de 0,90. Por el contrario, las cámaras con válvulas laterales, propias de los motores antiguos, tienen un rendimiento muy bajo, y son las dibujadas en la parte baja de la figura. Para el mecánico dedicado al trucaje será muy importante no perder de vista esta facultad de las cámaras para no

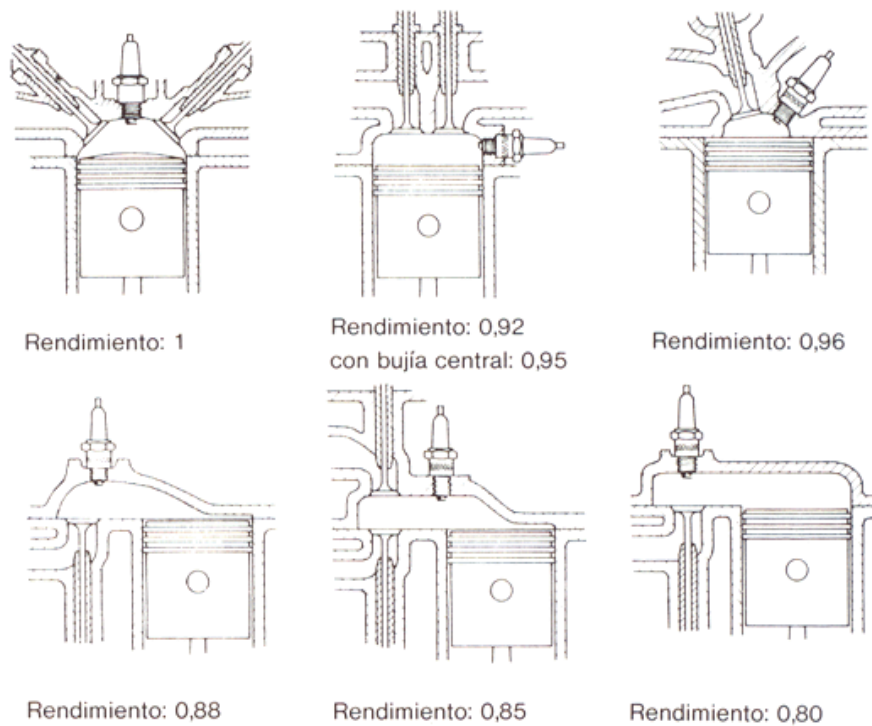


Figura 10. Diferentes tipos de cámaras de combustión, y rendimiento térmico de las mismas con respecto a la cámara hemisférica de válvulas en culata.



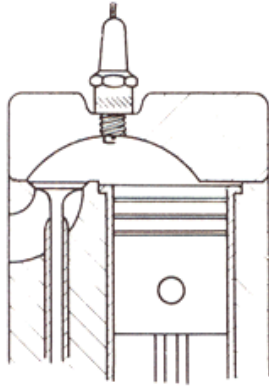


Figura 11. Cámara de válvulas laterales, hoy en desuso, pero que simplificaba al máximo la construcción de la culata.

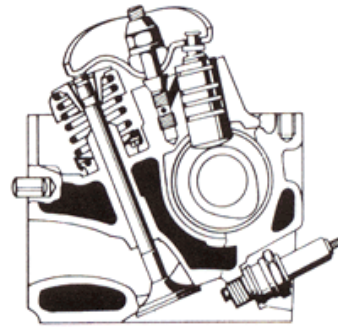


Figura 12. Cámara de combustión de un OPEL Rekord.

variar su forma cuando se trata de variar la compresión, a menos que no se tengan en cuenta factores tan importantes como los siguientes:

La teoría que informa el estudio de las cámaras de combustión es, sencillamente, la de conseguir que la mezcla, al entrar en el interior del cilindro y ser comprimida por el émbolo, se encuentre con una cámara de explosión sin rincones, de forma que ninguna partícula de gas pueda quedar ajena del movimiento de revolución o turbulencia que el émbolo, al subir, imprime a la mezcla. Cuando se produce la chispa del encendido el gas se halla girando sobre sí mismo dentro de las altas presiones de la compresión, lo que hace que la velocidad de la combustión aumente, y no se dé opción a que se produzca el picado.

Una cámara de combustión como la que presentamos en la pasada figura 9 reúne todas las condiciones favorables para que la mezcla quede en los rincones que la mala disposición de las válvulas propician. Por esta razón un diseño de cámara de este tipo difícilmente podría superar un 3,50:1 sin producir detonación, incluso con nuestros actuales combustibles. En la figura 11 presentamos otro tipo de cámara poco favorable, aunque no tan mala como la anterior. En general, la colocación de las válvulas en el bloque, que fue hace años un sistema muy socorrido para lograr motores sencillos, baratos y robustos, no permite relaciones de compresión superiores a 6,50:1, lo que significa un muy bajo aprovechamiento del poder calorífico de las gasolinas. Hoy en día las válvulas están siempre en culata y ello, si bien ha complicado el diseño y la mecanización de esta pieza, puede decirse que ha sido fundamental para mejorar el rendimiento de nuestros actuales motores. En la figura 12 podemos ver, por ejemplo, la disposición de válvulas y bujía en una cámara del motor del OPEL, modelo *Rekord*, y también en la figura 13 la cámara resultante en un motor de la marca RENAULT. Este tipo de cámaras permiten, pues, a los ingenieros, ensayar formas de turbulencia que eviten la detonación al mismo tiempo que consiguen mayores relaciones volumétricas, lo que, como ya se vio por me-

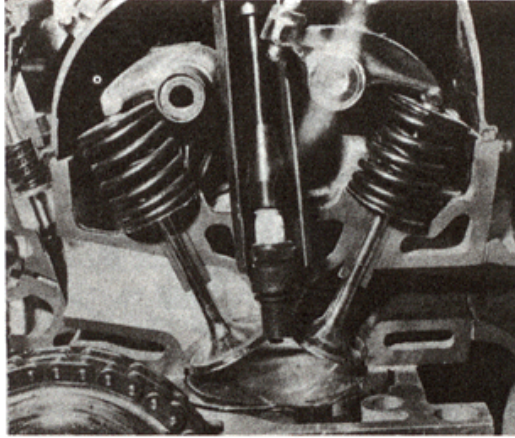


Figura 13. La figura muestra con gran claridad la disposición de la cámara en un motor RENAULT.

dio del gráfico de la pasada figura 7, es sinónimo de un mayor rendimiento térmico del motor.

También en la figura 14 mostramos al lector una culata de motor de turismo, donde se puede apreciar el giro de turbulencia de la mezcla al entrar en la cámara de combustión.

Como resumen de lo dicho podemos sacar la conclusión de que dos son las formas de evitar la detonación y el autoencendido: O bien procurar un combustible de alto octanaje, o el estudio meticuloso y detallado de la cámara de combustión.

Desde el punto de vista del trucaje no queda otro remedio, en la gran generalidad de los casos, que conformarse con el tipo de cámara que lleva el motor que nos han encomendado trucar, pues la labor de crear una cámara nueva viene a significar la creación de una culata nueva, lo cual no entra en nuestras pretensiones. Ello significaría hacer un motor nuevo, y se supone que el mecánico dedicado al trucaje sólo pretende *mejorar* un modelo de motor determinado, no hacer un motor nuevo como corresponde a un ingeniero. Por esta razón no vamos a hablar más de cámaras en el aspecto de su diseño, y solamente he pretendido dar unas orientaciones que sirvan para comprender la importancia de la forma geométrica de estos recipientes. Veamos a continuación la forma cómo se mide una cámara de combustión y cómo podemos determinar, más o menos empíricamente, la compresión que corresponde a un motor determinado.

### Medida de la cámara de combustión

Si la cámara de combustión tuviera una forma geométrica bien definida, tal como un paralelepípedo, una pirámide, un cono, una semiesfera, etcétera, el cálculo de esta cámara sería bien fácil pues bastaría aplicar la fórmula geométrica correspondiente a la figura. Pero como quiera que no ocurre así, ni mucho menos, sino que las cámaras adoptan forma irregulares, de ahí la dificultad de medirlas por



medio del cálculo y además la imprecisión de éste en el caso de poder ser calculadas.

La forma más usual y práctica de medir una cámara de combustión en el taller conlleva las siguientes operaciones:

En primer lugar hemos de hacernos con una probeta graduado de precisión (Fig. 15) igual a la que usan los químicos. Os aconsejo que sea de cristal y no de las más baratas, pues la medición debe hacerse con la máxima exactitud y las probetas de este tipo que son de plástico sufren dilataciones y distan mucho de medir con la perfección requerida para las medidas que nosotros hemos de tomar. También la escala graduada debe ser lo más precisa posible por medio de sus líneas de nivel, y la capacidad puede ser de unos 100 c.c. para motores pequeños y medianos, y de 100 a 200 c.c. para motores grandes. Llenaremos la probeta hasta su medida máxima (los 100 c.c. en el primer supuesto) con aceite del mismo tipo que usa el motor para el engrase, por ejemplo, y con esto ya tendremos preparada una parte.

La otra consistirá en desmontar la culata del motor y colocarla, provista de válvulas, completamente cerradas, y de su bujía roscada, sobre una mesa, cerciorán-

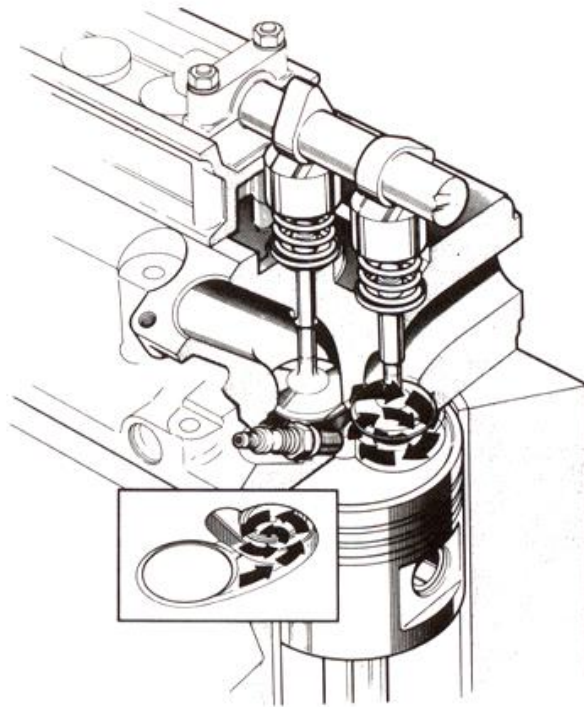


Figura 14. El deflector del émbolo, combinado con la forma resultante de la cámara de tipo Fireball, consigue que la mezcla realice su giro de turbulencia para facilitar la combustión.



Figura 15. Probeta graduada para la medición de aceite, que servirá para conocer las dimensiones de la cámara de combustión.



Figura 16. Forma de comprobar la medida de una cámara de combustión a base de llenar su volumen con aceite.

dose de su buena horizontalidad con la ayuda de un simple nivel de burbuja de aire, y dejando ver en la parte superior las cámaras de combustión.

Ahora ha llegado el momento de verter cuidadosamente parte del líquido de la probeta sobre la cámara, tal como se está haciendo en la figura 16, hasta que el nivel quede enrasado con lo que se supone es la pieza de contacto con el bloque, es decir, lo que es justamente la cámara de combustión. En la figura 17 se puede ver como, por medio de una regla plana (R) se comprueba el nivel a que debe llegar el aceite. Por supuesto, cuando el líquido alcanza este nivel se deja de echar aceite y se pasa a comprobar el aceite que falta en la probeta con respecto al que había inicialmente (Fig. 18), de cuya resta saldrá el volumen del líquido vertido y, consecuentemente, el volumen de la cámara. Por ejemplo: La probeta había sido inicialmente llenada con 100 c.c. de líquido. Después de vertido quedan 53,40 c.c. de aceite. El volumen de la cámara será pues de

$$100 - 53,40 = 46,60 \text{ c.c.}$$

De esta forma conoceremos el volumen de la cámara de combustión.

Ahora voy a decir cosas de mi experiencia personal: En primer lugar no todas las cámaras del mismo motor tienen exactamente la misma medida. Ya sé que esto no debiera ser así, pero es así. Hay variaciones, por lo que si no queremos tener sorpresas hemos de medir todas las cámaras y ver qué pasa. Segundo: No os fiéis de los famosos datos técnicos que os proporcionan las fábricas o incluso los ma-

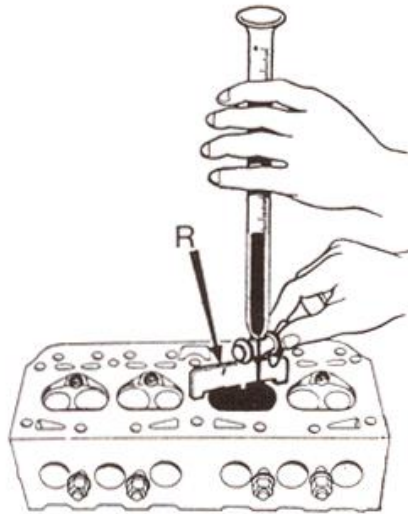


Figura 17. Por medio de una regla, R, se comprobará el justo nivel del aceite.

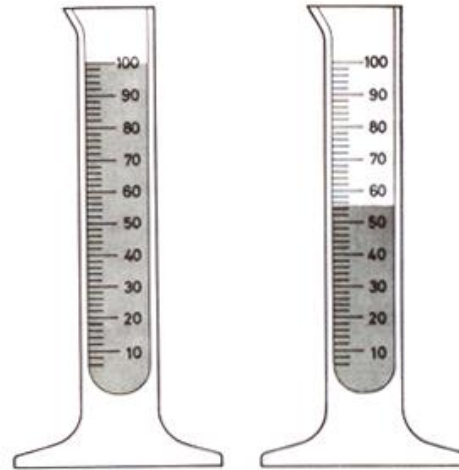


Figura 18. La diferencia del aceite contenido en la probeta antes y después del llenado de la cámara nos indica el volumen de ésta.

nuales del taller del motor: Puede ocurrir (y de hecho ocurre) que dos motores iguales (quiero decir del mismo modelo de coche y de idéntica cilindrada, es decir, el motor de un R-18 y el motor de otro R-18), tengan diferencias en el volumen de las cámaras. No digáis nunca, pues: "Ah sí! Es un R-18. Ya sé que sus cámaras son de "x" c.c.". Tercero: Muy atentos a los émbolos. Por supuesto que deberéis fijaros y comprobar que su cabeza sea completamente plana, pues de no ser así tendréis que deducir de la cámara el espacio que el émbolo penetra en su interior cuando se produce, en el funcionamiento normal del motor, el P.M.S. Si se trata de diseños como los mostrados en la figura 19, no tendréis más remedio que hacer la medición por el orificio de la bujía, y ¡mira por dónde y qué bien!, no tendréis ni siquiera que desmontar la culata para conocer el volumen de la cámara. Con la ayuda de un embudo podéis echar el aceite por el orificio de la bujía, teniendo en cuenta, claro está, que el émbolo se encuentre en su P.M.S. exactamente y que se halle en el tiempo de compresión, es decir, con las dos válvulas cerradas (esto podéis verlo fácilmente desde el exterior por la posición del eje de levas). La medición se efectúa de la misma manera que hemos visto anteriormente, es decir, por diferencia entre lo que había y lo que queda en la probeta. Después proceded a sacar el aceite de la cámara con la ayuda de una pera de goma. Muy simplificado, podéis verlo en las figuras 20 y 21.

Otra cosa: Cuando se efectúa la medición de la cámara de combustión directamente en la culata, como hemos visto al principio, hay que tener en cuenta el grosor de la junta de culata. Por ejemplo, en la figura 22, los de PEUGEOT, para su mo-



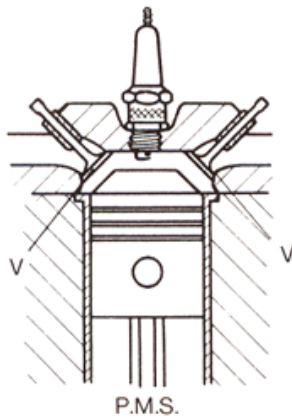


Figura 19. Al llegar al P.M.S. el émbolo introduce su deflector en el interior de la cámara y modifica la forma y el volumen de la misma. En esta posición, y con las válvulas (V), cerradas, también se puede conocer el volumen.

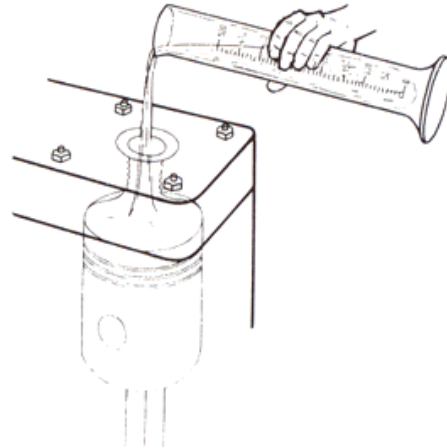


Figura 20. Forma de echar el aceite por el orificio de la bujía. Si no tenéis buen pulso, utilizad un embudo.

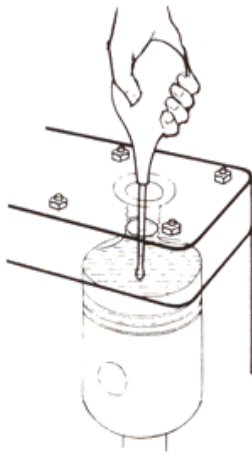


Figura 21. Extracción del aceite por medio de una pera de goma.

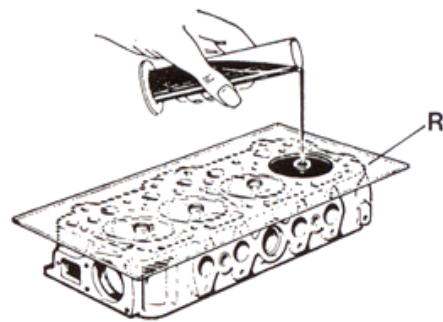


Figura 22. Utilización de una placa de vidrio para sustituir el valor de la junta y hacer la medición de la cámara más exacta.

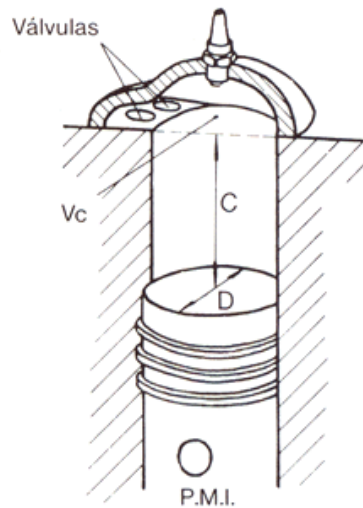


Figura 23. D, diámetro del cilindro. C, carrera. V<sub>c</sub>, volumen de la cámara de combustión.

delos 505, aconsejan el uso de una placa de cristal con el orificio correspondiente a un cilindro para no cometer el error de perder los c.c. (que pueden ser 5 ó 6, o a veces más) que no se controlarían de no tener en cuenta este importante detalle.

### Cálculos de las cámaras

Creo que ahora ha llegado el momento en que un poquito de números no nos van a ir mal para comprender exactamente lo que ocurre con las cámaras de combustión. Vayamos allá sin miedo.

La fórmula que determina la cilindrada unitaria de un motor, o sea la cilindrada de cada uno de sus cilindros aisladamente, es la siguiente:

$$V = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot C$$

En esta fórmula D, es el diámetro del cilindro (véase la figura 23); C, la carrera del émbolo;  $\pi$ , equivale siempre al número 3,1416.

Como puede apreciarse esta fórmula es, sencillamente, la fórmula geométrica del volumen del cilindro.

Para conocer el volumen total de mezcla que puede entrar en el cilindro, cada vez que se abre la válvula de admisión y se produce la carrera de este mismo nombre, hay que añadirle al resultado anterior, el volumen de la cámara de combustión que podemos denominar v. (De hecho es una pretensión teórica, pues los motores atmosféricos nunca logran llenarse totalmente de gas a la presión de 1 atmósfera o



bar, pero por el momento no liemos las cosas y movámonos dentro de la más estricta teoría). El volumen de gas aspirado será pues:

$$V + v$$

Veamos este cálculo prácticamente por medio de un ejemplo:

Supongamos el motor del coche CITROËN, modelo BX, con motor PSA, de cuatro cilindros (Fig. 24) y un diámetro de 83 mm. por una carrera de 73 mm. Hemos medido su cámara de combustión y hemos visto que tiene un desplazamiento de 46,47 mm. ¿Cuál será su relación de compresión?

Apliquemos en primer lugar la fórmula de la cilindrada unitaria, de este modo:

$$V = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot C; \quad V = \frac{8,3^2}{4} \times 3,1416 \times 7,3 = 394,975 \text{ ó } 395 \text{ c.c.}$$

La relación de compresión ( $R_c$ ) se rige ahora por la siguiente fórmula en la que interviene el volumen de la cámara de combustión, cuyo dato conocemos:

$$R_c = \frac{V + v}{v}; \quad R_c = \frac{395 + 46,47}{46,47} = 9,5$$

Debemos partir siempre de la base de *medir* las cámaras de combustión del modo que hemos descrito hace poco. Ahora bien: También ocurre que podemos jugar con esta fórmula, y conociendo la cilindrada unitaria y la relación de compresión, conocer el volumen de la cámara. No os dejéis engañar por este truco fácil y seguid mi consejo: *Medir la cámara*. De otro modo os podéis encontrar después con muy desagradables sorpresas y apurar la relación de compresión más allá de lo que estaba en vuestra voluntad hacer, o al revés. (En todo caso, solamente a nivel teórico podéis utilizar este procedimiento).

Así tenemos que si

$$\frac{V + v}{v} = R_c$$

el volumen de la cámara de combustión ( $v$ ) nos vendrá dado por

$$v = \frac{V}{R_c - 1}$$

Volviendo al ejemplo que nos ocupa tendremos que el volumen de la cámara teórico, vendrá dado por:

$$v = \frac{395}{9,50 - 1} = 46,47 \text{ c.c.}$$

Con estas fórmulas a la vista ya podemos hacernos —y respondernos— todas las preguntas sobre volúmenes. Por ejemplo: Podemos preguntarnos cuál tendría

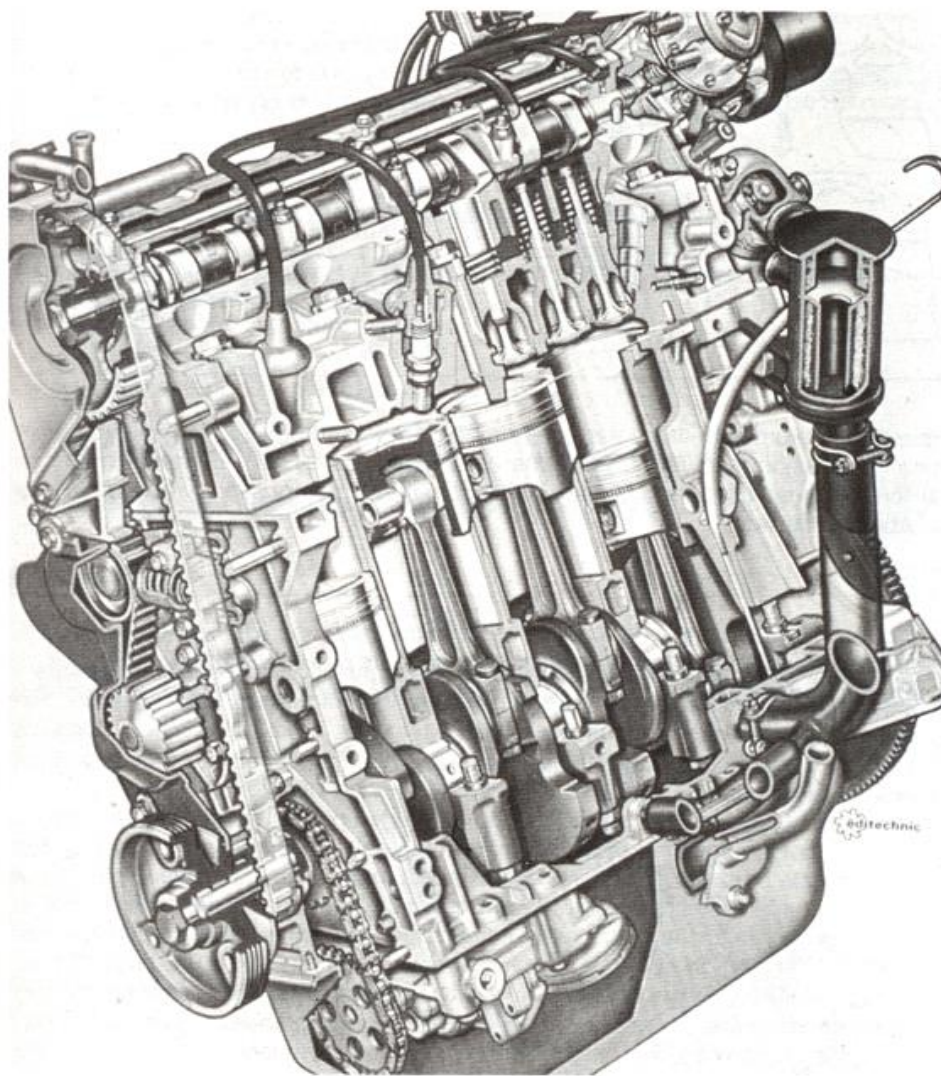


Figura 24. Radiografía de un motor PSA, del Citroën modelo BX.

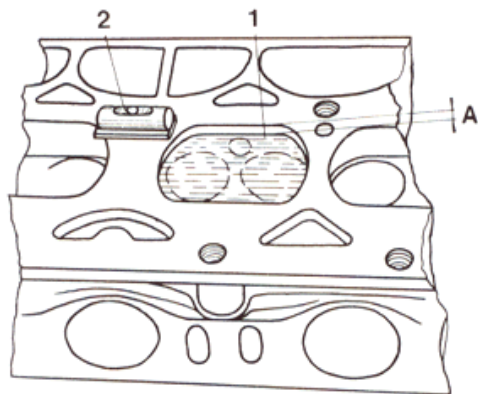


Figura 25. Modo de conocer la medida para rebajar la culata usando el mismo procedimiento del aceite. A, diferencia entre la nueva cámara y la vieja. 1, nivel del aceite. 2, nivel de agua.

que ser el volumen de la cámara de combustión del CITROËN BX, si en vez de tener una compresión de 9,50:1 tuviera una compresión de 10,50:1. Echamos mano de la fórmula que nos da el volumen de la cámara de combustión, y que es la que acabamos de ver:

$$v = \frac{V}{R_c - 1}; \quad v = \frac{395}{10,50 - 1} = 41,58 \text{ c.c.}$$

Suponiendo que hubiéramos decidido llevar nuestro trucaje a esta elevada y comprometida relación de compresión (que ya adelanto desde aquí, no sería conveniente para este motor) deberíamos proceder en la práctica de modo inverso a como lo hemos hecho para medir la cámara, es decir, llenando nuestra probeta con sola y exactamente 41,60 c.c. de aceite y, una vez desmontada la culata y con la total garantía de su horizontalidad por medio de un nivel, se derramará sobre la cámara el contenido de la probeta. Cuando el aceite se halle en reposo y quede perfectamente horizontal, quedará una distancia entre la culata y el nivel del aceite que, correctamente medida (Fig. 25) representará la cantidad de material que la rectificadora tendría que quitar de la culata para conseguir cámaras con las relaciones de compresión de 10,50:1, como nosotros pretendíamos. Por favor: No cerréis aquí el libro y vayáis corriendo a rectificar la culata de vuestro motor. No hay que ser impacientes, y hay que seguir leyendo, porque grandes males podría provocar en la mecánica quien cerrara el libro aquí y comenzara a hacer experimentos. Todavía hay mucho que hablar de las culatas.

Volvamos a las fórmulas que dábamos antes: Supongamos ahora que con el motor que nos ocupa queremos saber qué relación de compresión tendría si le ponemos una junta de culata más gruesa que aumentara en 4,33 c.c. el volumen (v) de la cámara de combustión. (Podría ser el caso de una junta 0,80 mm. más gruesa que la habitual). Veamos la fórmula explicada anteriormente:

$$R_c = \frac{V + v}{v}; \quad R_c = \frac{395 + (46,47 + 4,33)}{46,47 + 4,33} = 8,77$$

Así pues, por el solo hecho de poner una junta más gruesa, habremos rebajado la relación de compresión a 8,77:1, cosa que, como ya veremos más adelante, podría sernos útil en el caso de querer o necesitar echar mano de la sobrealimentación para obtener mayor potencia de un motor.

Es importante dominar con soltura estas fórmulas, pues gracias a ellas puede determinarse la variación de compresión que es apta para el trucaje de un motor determinado.

### Procedimientos para aumentar la compresión de un motor

Cuatro son los sistemas que podemos usar con éxito para aumentar la compresión de un motor. Estos sistemas son:

- a) Rebajar la culata
- b) Colocar émbolos más altos
- c) Levantar el émbolo
- d) Rebajar el bloque.

Veamos por separado cada una de estas operaciones.

#### Rebajar la culata

El rebaje de la culata consiste, sencillamente, en quitarle material de su superficie de contacto con el bloque para hacer que de esta manera las cámaras de combustión disminuyan su volumen. En la figura 26 asistimos al momento en que una

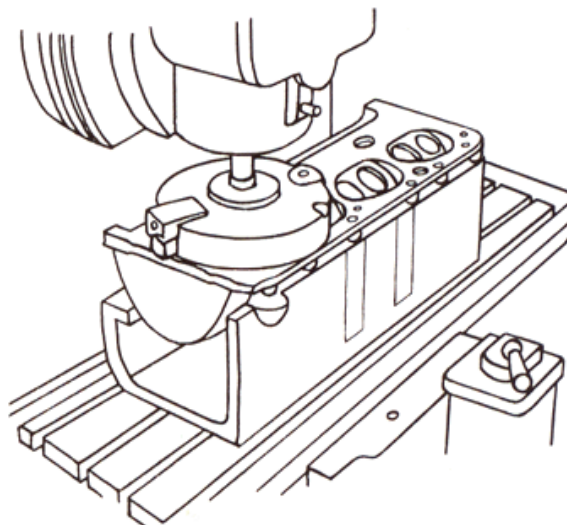


Figura 26. Fresado de una culata para incrementar su relación de compresión resultante.



culata es rebajada por medio de una fresadora de precisión. Para esta operación de fresado de la culata deberá medirse cuidadosamente el rebaje que se pretende lograr debiendo, para mayor seguridad, proceder finalmente a un trabajo de acabado por medio de una rectificadora para asegurar la perfecta horizontalidad de la superficie que entrará en contacto con el bloque a través de la junta.

El rebaje de la culata es una operación que debe considerarse antes con suma atención, ya que este sistema no es siempre el más aconsejable para obtener aumentos de la compresión. En algunos casos no es, ni siquiera, posible. Hay que tener presente que las válvulas, y también el propio émbolo —aquéllas en su posición de máxima abertura, y éste en el exacto P.M.S.— deben dejar unos espacios mínimos de separación entre las partes fijas y las móviles, lo cual constituye la *luz* de estas piezas. En la culata y el bloque que presentamos en la figura 27, a modo de ejemplo, se señala la luz mínima que en el caso de la válvula no puede ser menor de 0,50 mm., y en el caso del émbolo es arriesgado dejar menos de 1 mm.

Teniendo en cuenta estas características hay otros factores que también pueden condicionarnos a la hora de decidir el rebaje de la culata. Por ejemplo resulta muy aventurado rebajar una cámara en la que la bujía no ocupe el centro superior (en el caso de las cámaras hemiesféricas) porque la proximidad del émbolo con respecto a la bujía podría ocasionar, en caso de desgaste, la subida del aceite hacia la cámara proyectándolo sobre la citada bujía y provocando constantes fallas de funcionamiento por cortes en el suministro de la chispa. Tal es el caso que se muestra en la figura 28.

Como es de suponer, una culata rebajada ya no es aprovechable en caso de algún error. Si la relación de compresión resulta mayor de la que nosotros habia-

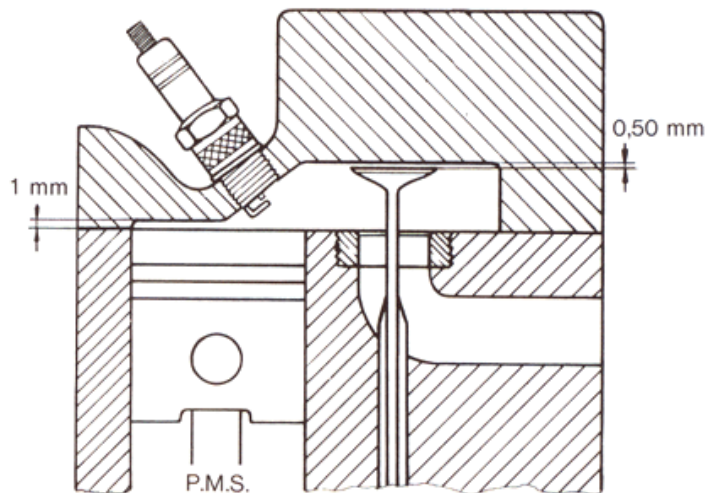


Figura 27. Dimensiones mínimas que es necesario dejar para las válvulas y el émbolo.



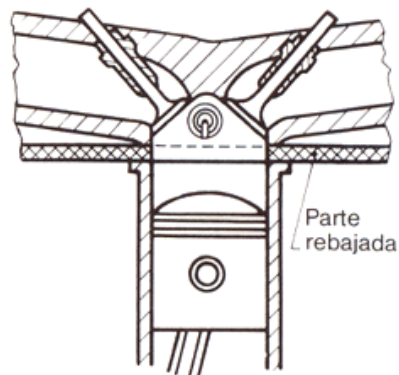


Figura 28. Al rebajar demasiado la cámara podría el émbolo ocasionar problemas de funcionamiento al no estar la bujía colocada en la parte superior de la cámara.

mos previsto, si las válvulas llegan a tocar al émbolo o se produce cualquier otra anomalía no prevista, la culata —que hoy en día no es una pieza precisamente de poco precio— no servirá para otros usos. El rebaje, pues, de la culata es un trabajo comprometido.

Por otra parte, en los motores modernos que ya disponen de relaciones de compresión muy elevadas, que incluso pueden llegar al 9,50:1 o más, ya no nos es posible actuar en el sentido de aumentar esta relación de compresión. Está claro que, últimamente, el estudio de las cámaras de compresión ha merecido una concienzuda atención por parte de los técnicos y, sabedores de que el rendimiento de un motor está en relación directa al aumento de compresión, se está llegando al límite en este sentido, incluso entre los motores de turismo. Una práctica muy corriente de muchos fabricantes actuales consiste en hacer motores básicamente iguales, pero dotados de diversas relaciones de compresión con el fin de poder utilizar diferentes tipos de gasolinas. El mecánico obrará con mejor acierto comprando la culata del motor más apretado y obteniendo así, por la sustitución de la culata, la relación de compresión del motor de mayor rendimiento de la serie, aun cuando deba procederse al uso de las gasolinas extras. Por supuesto, no se puede aumentar la relación de compresión del motor más *apretado* de la gama, para el cual el trucaje deberá orientarse por otros derroteros en base a una mejor carburación, mayor abertura de válvulas, mejor encendido, etcétera, tal como iremos viendo en próximos y sucesivos capítulos.

### Embolos más altos

El hecho de rebajar la culata por medio de un rectificado no es tampoco el único sistema de que disponemos para conseguir aumentar la relación de compresión de un motor, como ya se ha dicho. También podemos acudir al sistema de cambiar los émbolos por otros ligeramente más altos, tal como se muestra en la figura 29.

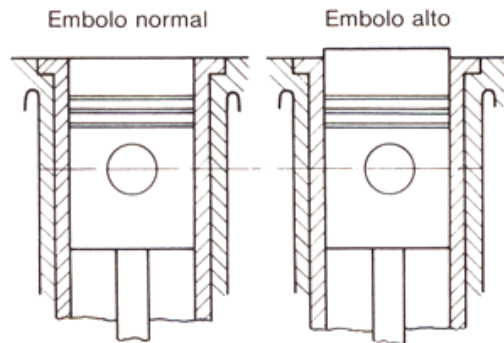


Figura 29. La colocación de émbolos más altos aumenta la relación de compresión. En este caso no es preciso retocar la culata.

Este sistema requiere, no menos que el anterior, el cuidadoso estudio de la cámara de combustión para cerciorarse de que ninguna pieza móvil pueda tener una luz inferior a la que citábamos anteriormente y que quedaba reflejada en la figura 27. Además, este sistema tiene el inconveniente de que rebaja la cilindrada ya que el émbolo, en su P.M.I., queda más alto de lo que ocurre con los émbolos de serie, por lo que no siempre se puede considerar esta solución adecuada ya que no representa un aumento de potencia tan grande como en el caso anterior. Sin embargo, en según qué circunstancias, o compensando la pérdida de cilindrada con el aumento del diámetro, etcétera, este sistema puede tener su razón de ser.

Por otra parte, este sistema requiere la fabricación de émbolos especiales que no todos los modelos de motores poseen. Cuando una empresa se dedica a la fabricación de piezas para el trucaje o la preparación para competiciones en plan industrial es, hasta cierto punto posible, poder disponer de ellos al hacerlos fabricar especialmente; pero el aficionado poco podrá hacer en este terreno, pues no es presumible que encuentre con facilidad cualquier tipo de émbolo para el trucaje que desee.

### Levantar el émbolo

También hay que considerar el procedimiento llamado *levantar el émbolo* y que hemos dejado dibujado en la figura 30. Como puede verse consiste en levantar el émbolo de modo que la distancia entre el taladro u orificio del bulón y la superficie superior quede variada. Para ello se precisan encontrar en el mercado émbolos con las condiciones prescritas. Este tipo de trucaje adolece de los mismos defectos que el anterior en cuanto que reduce también la cilindrada, pero es una posibilidad que no hay que olvidar frente a un proyecto de trucaje de un motor.

Por otro lado, el sistema de levantar el émbolo, al igual que el sistema que hemos descrito anteriormente, tienen la ventaja de que el motor puede volver con facilidad a su relación de compresión de origen con solo cambiar los émbolos, aun cuando esto pueda significar un costo adicional importante al tener que hacer un nuevo rectificadillo para poner los émbolos de serie pero de sobremedida.

### Rebajar el bloque

Finalmente hemos de considerar la otra oportunidad que nos queda para conseguir aumentos de compresión, y que consiste en rebajar el bloque de cilindros con cuyo resultado la culata se hundirá a una posición más baja con respecto al émbolo, y las cámaras quedarán reducidas en su volumen.

Es evidente que este procedimiento es semejante al que hemos descrito con el nombre de elevar el émbolo, pero con la ventaja de que puede hacerse en cualquier motor sin necesidad de estar pendiente de los stocks que pueda tener nuestro proveedor de émbolos especiales. Con todo, hay motores en los que este procedimiento puede ocasionar importantes problemas de centraje posterior en los engranajes del eje o ejes de levas, aun cuando este rebaje del bloque tiene que ser mínimo, por supuesto. De todos modos, antes de elegir el procedimiento que vamos a utilizar para el aumento de la compresión es necesario conocer muy bien el motor que intentamos trucar y estudiarlo muy a fondo, como venimos diciendo, no sea que nos tengamos que arrepentir cuando no haya remedio, de haber sacado material de piezas que ya no pueden adaptarse de nuevo, y tenga que ir todo al cajón de la chatarra.

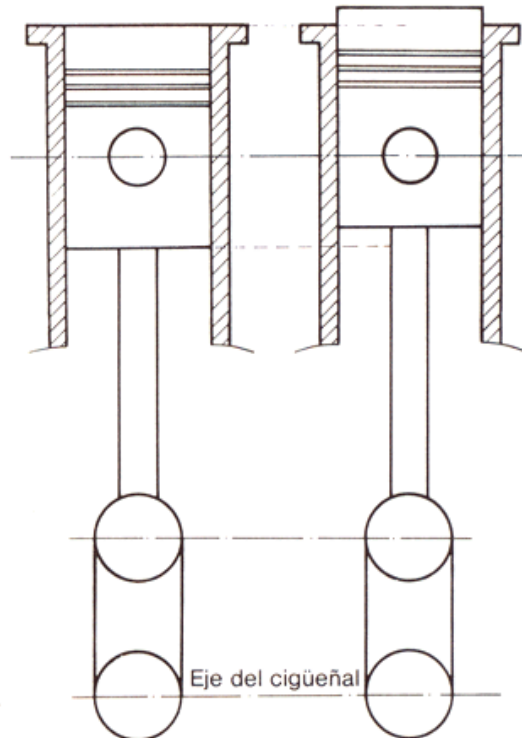


Figura 30. Procedimiento de levantar el émbolo para aumentar el grado de compresión.

El procedimiento de rebajar el bloque suele dar muy buenos resultados si se combina con el trabajo de rebajar la culata, repartiendo la medida que hay que rebajar entre ambas piezas, aunque este sistema sea, evidentemente, más caro.

### Otras posibilidades de aumento de la compresión

Existen otros procedimientos que en cierto modo son ajenos a este capítulo, mediante los cuales se aumenta automáticamente la compresión. Tal es, por ejemplo, el caso de los aumentos de cilindrada. De acuerdo con las fórmulas que hemos dado antes, no cabe duda de que, si mantenemos el volumen de la cámara de combustión pero aumentamos el volumen del cilindro, tendremos una ganancia en la relación de compresión proporcional al aumento del volumen del cilindro.

Pongamos el ejemplo del famoso motor SEAT biálbero, de 1.592 c.c. que posee una relación de compresión de 8,98:1 y cuatro cilindros, de un diámetro de 80 mm. y una carrera de 79,20 mm. Supongamos que nos decidimos a aumentar su relación de compresión a solo 9,10:1. El problema queda circunscrito a la siguiente pregunta: "¿Cuál tendrá que ser el volumen del cilindro (V) de este motor, que quiero que tenga una relación de compresión de 9,10:1, y que tiene una cámara de combustión de un volumen de 49,88 c.c.?"

Para dar solución a este problema hemos de partir de la fórmula que ya conocéis correspondiente a la relación de compresión:

$$R_c = \frac{V + v}{v}$$

En virtud de ella podemos deducir que para saber el valor de V, conocidos los de v y el de  $R_c$  nos encontramos en que

$$V + v = R_c \cdot v$$

luego

$$V = (R_c - 1) \cdot v$$

Aplicando los números que nosotros ya conocemos del motor que nos sirve de ejemplo, tendremos:

$$V = (R_c - 1) \cdot v; \quad V = (9,10 - 1) \times 49,88 = 404,02 \text{ c.c. la cámara.}$$

No es un problema difícil, partiendo de estos datos, conocer qué diámetro debe tener el cilindro (puesto que en la carrera no debemos actuar en este supuesto de aumento de cilindrada). Partiendo de la fórmula geométrica del volumen del cilindro que ya dimos en pasadas páginas podemos encontrar este dato. Así, si

$$V = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot C$$



y disponemos de los datos siguientes que son:  $V = 404,02$ ;  $C$ , igual a  $7,92$  cm.;  $\pi$ , igual a  $3,1416$ , tendremos que

$$404,02 = \frac{D^2}{4} \times 3,1416 \times 7,92$$

en donde nos encontramos en que

$$\frac{D^2}{4} = \frac{404,02}{3,1416 \times 7,92}; \quad \frac{D^2}{4} = 16,238$$

de lo que se deduce que

$$D = \sqrt{16,238 \times 4} = 8,059 \text{ cm. ó } 80,59 \text{ mm.}$$

De este desarrollo se deduce que aumentando solamente  $0,60$  mm. el diámetro del cilindro, lo que equivale a un rectificadito a fondo dentro de las tolerancias sobremedida de este motor, tenemos automáticamente un aumento en la relación de compresión que pasa de  $8,98:1$  a  $9,10:1$ .

Por supuesto, mayores aumentos de cilindrada (hay que cerciorarse siempre de que hayan émbolos sobremedida), aumentarán más la relación de compresión del modo que el propio lector puede encontrar con la utilización de las fórmulas que le hemos proporcionado.

Existen otros sistemas nada recomendables para aumentar la relación de compresión. Yo recuerdo, por ejemplo, que en la famosa copa RENAULT de promoción de pilotos, donde los coches no podían prácticamente ser modificados de forma importante, había quien utilizaba bujías de rosca larga sobre el motor diseñado para llevar bujías de rosca corta (me refiero a las primeras copas RENAULT de promoción en las que se corría con los *R-8 TS* azules y amarillos). Estas bujías, al penetrar de manera ciertamente profunda en el interior de las cámaras de combustión significaban un aumento de compresión de cierta importancia al reducir el volumen de la cámara. Como ya podéis imaginar el problema se presentaba cuando había que sacar la bujía llevándose por delante los hilos de la rosca, y quedaban así unas culatas que daban pena. Era lógico, porque la bujía, al dilatarse con las altas temperaturas de la combustión, se deformaba y luego se deslizaba pésimamente por la zona roscada. Yo nunca puedo aconsejar a nadie que haga estas chapuzas, y no por el valor de una culata o el de acudir al famoso HELI-COIL con el que se clavaba una nueva rosca, sino porque conceptualmente hacer estas barbaridades por parte de un mecánico me parecen el colmo de la irresponsabilidad. Dentro de este mundo picaresco y chapucero podría llenar un saco con anécdotas a cual más tosca e ignorante, pero ¿vale la pena mencionarlas?

Por último también deciros que algo se gana en la compresión acudiendo a poner juntas más estrechas que las de origen, pero la diferencia es pequeña. Vosotros mismos podéis calcularla. Las más finas pueden ser de hasta  $0,70$  mm. y hay que calcularlas pensando que disminuirán su grosor al ser aprisionadas entre culata y bloque.



## Compresión a que puede ser sometido un motor

Hemos llegado a un punto en el que ya os he dado todas las pistas. Os he explicado cuál es el rendimiento térmico de las gasolinas a medida que aumenta la compresión y, en consecuencia, cuál es el rendimiento de los motores. Os he explicado los inconvenientes que presentan, con respecto a las mismas gasolinas, las relaciones de compresión elevadas. Os he dicho (y creo que extensamente) los procedimientos que podemos utilizar para llevar a cabo estos aumentos de compresión. Parece pues, que a partir de aquí será vuestro instinto de buenos mecánicos el que debe decidir qué relación de compresión se sube a un motor determinado.

Por supuesto que a mí no me sería ahora difícil explicaros mi vida y hablaros de mis fracasos y mis éxitos en los motores. Si os contara las cosas desde el principio os tendría que empezar a hablar de cosas mecánicas que ya son de museo. Yo trabajé mucho con motores del SEAT 600 y los RENAULT de aquellas épocas (los *Dauphines*) y posteriormente con los motores que se han ido produciendo a continuación y que si bien en el momento en que escribo estas líneas son de actualidad, puede que dentro de diez años nadie se acuerde de ellos. Por lo tanto, hacer una lista diciendo las cosas que se pueden hacer en estos motores no creo que sirviera para nada a los lectores de dentro de diez años y, la verdad, tampoco gran cosa para los lectores de hoy, en este arte del trucaje donde cada cosa que hacemos debe ser diferente para imprimirle la personalidad de la persona que nos encarga el trabajo. Por lo tanto creo que es mi deber daros la teoría del asunto y dejaros elegir frente a cada trabajo. De esta manera sois vosotros los que debéis decidir. Sin embargo, me creo en la necesidad de daros unos cuantos consejos que podéis o no, tenerlos en cuenta.

En primer lugar, y contando con gasolinas que tienen teóricamente 96 octanos en la Súper, y, excepcionalmente 98 octanos en la Extra, no se pueden hacer grandes elevaciones de compresión en un motor que ya nos sale de fábrica con 9:1. Cierto que si el motor, con esta compresión, aguanta bien la gasolina Súper quiere decir que el diseño de su cámara, su diámetro con relación a la misma, la temperatura de funcionamiento gracias a su sistema de refrigeración, etcétera, son lo suficientemente fiables que nos van a permitir una elevación hasta 9,50:1, a condición de utilizar gasolina Extra permanentemente. Pero, en general, y si no tenemos mucha experiencia en aquel motor concreto, arriesgarse a primera vista a llegar a 10:1 resulta, desde mi punto de vista, muy aventurado. Yo iría subiendo poco a poco.

Por todo esto no cabe duda de que os tenéis que fijar en aquellos motores que tengan de origen compresiones más bajas para obtener resultados importantes por la utilización de este sistema de trucaje que es el aumento de la presión media efectiva por el aumento de la relación de compresión. Por supuesto que a un motor se le pueden mejorar muchas otras cosas que nos pueden proporcionar también interesantes aumentos de potencia, sin que tenga que ser, exclusivamente, el aumento de la compresión, por lo que no hay que precipitarse en tomar este camino, pues puede no ser siempre el más adecuado. En general, todos aquellos motores que tengan una compresión que oscile entre el 8:1, o poco más o menos, y que utilicen bien gasolinas de las llamadas *normales* (89/90 octanos) están en buenas condiciones para obtener sustanciales aumentos en la compresión. Y por cierto que muchos fabricantes tienen por norma hacer un mismo motor, pero con diferen-

tes compresiones, con el fin de que el cliente pueda elegir la gama de gasolinas del mercado. Así, por ejemplo, tenemos la casa alemana AUDI (pongo este ejemplo porque es el primero por orden alfabético) que en su famoso modelo de la serie 80, con motor de 1.588 c.c., fabrica las unidades con las siglas GL para motores que tienen una compresión de 8,20:1, y dan 85 CV a 5.600 r.p.m. Este mismo modelo 80, pero con las siglas GLE, y con la misma cilindrada de motor, pero con una compresión de 9,50:1, proporciona según el fabricante, 110 CV a 6.100 r.p.m. Es evidente que el primer motor se puede aumentar en su compresión hasta una relación de 9:1 tranquilamente, y hasta 9,50:1, a condición de que el usuario de este coche quiera cambiar el tipo de gasolina a utilizar, y es evidente también que en este tipo de trabajos sí hay campo de acción para llevar a cabo trucajes en la compresión.

Tal como está hoy en día el mercado del automóvil, la política de los fabricantes consiste en hacer motores básicamente iguales pero más o menos "apretados", y montarlos después en una gama lo más amplia posible de carrocerías. Es conocido el caso de FORD, por ejemplo, (y entre muchos) que con sus modelos *Fiesta* y *Escort*, en sus cilindradas pequeñas, los provee de iguales motores y con compresiones de 8,50:1 o, a elección, de 9:1. No hay duda de que el primer motor puede ser aumentado de compresión. Esta política puede decirse que es general, y puede servirnos de base para decidir subidas de compresión sin riesgo.

Cuando nos encontremos con motores de relativamente bajas compresiones que el fabricante no utiliza después para hacer un modelo de más alta compresión, como ocurre en las series que acabamos de poner como ejemplo, y más todavía si observamos que estos motores no funcionan bien con gasolinas de bajo octanaje (90 octanos) entonces hemos llegado al momento de desconfiar totalmente a lanzarnos por las buenas a un aumento en la relación de compresión por el solo indicio de que nos parezca pequeña la relación de compresión que el motor tiene, al compararlo con lo que hacen otros fabricantes. Sin duda hay otros factores con los que deberemos contar, y que estarán más ocultos de lo que nos pareció en un principio. Volvamos a los ejemplos: Yo os podría decir que los CITROËN, en sus modelos de la serie GS, y también en los bicilíndricos del modelo 2CV6, con relaciones de compresión de 8,70:1 los primeros, y con 8,50:1 los segundos, están rozando la zona del picado con nuestras gasolinas Súper. Ello es debido a que los motores refrigerados por aire tienen una temperatura habitual de funcionamiento que está por encima de la temperatura a que trabajan los motores refrigerados por agua. Ello hace, lógicamente, que la cámara permanezca a mayor temperatura durante el período de funcionamiento, y aunque la compresión puede parecerse baja, (y de hecho lo es en comparación con los motores refrigerados por agua), el caso es que hay propensión al picado si se intentan aumentos de compresión y se siguen utilizando gasolinas de 96 octanos. O, en todo caso, los aumentos de compresión han de ser muy pequeños si no hacemos un invento importante para intensificar la refrigeración.

Pero incluso dentro de los mismos motores refrigerados por agua pueden haber factores tales como la forma de la cámara de combustión, (ya hemos hablado de ello al principio del capítulo) que influyen grandemente en aceptar más o menos altas relaciones de compresión, y ello tenemos que tenerlo muy en cuenta a la hora de proyectar nuestras modificaciones.

Con estos ejemplos quiero dejar bien claro que el aumento de la compresión



---

## 6. El engrase

---

No pretendo que este capítulo sea demasiado largo ni tampoco (o quizá por ello) que sea un tratado de lo que es la lubricación de un motor. Simplemente algunas cosas relativas a lo que puede ocurrir con el engrase cuando un circuito ya establecido debe servir a un motor trucado, y las consecuencias que mayores fuerzas y presiones pueden tener sobre el motor si se halla deficientemente engrasado. Esto es lo importante para que el diablo no se lleve en pocas horas el fruto de los sudores de un bienhechor mecánico desarrollado durante horas de trabajo.

Voy a decir a continuación algo que todo el mundo sabe, pero que me resulta necesario decir para que quede claro lo que vendrá a continuación: Cuando dos cuerpos sólidos se hallan en contacto y los dos, o uno de ellos, está animado de movimiento, es evidente que se establece un frotamiento entre ambos a consecuencia del cual se genera una cantidad de calor tanto mayor cuanto mayor es el movimiento, calor que, por otra parte, se va acumulando y puede llegar a ser tan importante que las dos piezas sufran un agarrotamiento al ablandarse el material que los constituye y llegar a fundirse. Por lo tanto, de ninguna manera podrían mantenerse en contacto en seco un émbolo y su cilindro, por ejemplo, ya que a las pocas carreras de aquel se produciría el "gripado" o incluso la unión rígida de los mismos. Desde muy antiguo este grave defecto ha sido corregido a base de interponer entre las dos superficies un cuerpo líquido, de la suficiente fluidez como para establecer una fina película, mediante la cual se evite el contacto directo entre las piezas. Ahora bien: Esta fina película tiene que tener dos condiciones fundamentales que consisten en que la película sea tan elástica que no puede romperse y que pueda ser constantemente cambiada para rebajar la temperatura de funcionamiento. Y sobre esto último quiero llamar vuestra atención.

Veamos las características típicas de los aceites minerales usados hoy en día:

Densidad .....	0,885
Punto de inflamación .....	225° C
Punto de congelación .....	— 20° C
Punto de combustión .....	260° C
Viscosidad a 20° C .....	48
Viscosidad a 50° C .....	8,50
Viscosidad a 100° C .....	1,97



Los datos que ahora presento aquí pertenecen a un aceite de la casa SHELL, y son de un SAE 30. Pero esto no tiene mayor importancia. En lo que sí quiero que os fijéis es en la viscosidad, y el cambio tan importante que se presenta a medida que aumenta la temperatura. Ante todo voy a decir algo que sin duda ya sabéis: La viscosidad es la capacidad que tiene un aceite para formar y mantener la película engrasante; y vemos que con la temperatura la viscosidad disminuye con lo que disminuye también el espesor de la película y, consecuentemente, su capacidad para soportar la carga, la fricción interna y la temperatura, que por cierto todavía aumenta más cuanto menor es el grosor de la película porque ésta almacena menor cantidad de calor que luego se lleva hacia el cárter y porque el motor se refrigera menos al ser menor la cantidad de aceite de que consta la película.

Y precisamente el aceite debería actuar de forma inversa, es decir, ser muy fluido en el momento del arranque —o de baja viscosidad— para permitir el arranque fácil y una rápida formación de la película engrasante en todas las piezas donde se produce fricción; e ir aumentando la viscosidad a medida que la temperatura aumenta para mantener de este modo una buena película que evacúe bien el calor, por un lado, y mantenga buen cuerpo entre las piezas sujetas a fricción y con sus mayores cargas. Este es el razonamiento por el que se utilizan aceites multigrado, en los que se pretende tener máxima fluidez a temperatura ambiente y aumento de viscosidad a medida que aumenta la temperatura.

Hasta aquí no digo nada que todos vosotros no sepáis quizá, pero en lo que sí quiero llamaros muy mucho la atención es en el hecho de que la viscosidad decrece de una manera alarmante a medida que el aceite aumenta la temperatura, tal como nos mostraban las características típicas que hemos visto más arriba. Volved a miraras. ¿Os dais cuenta, por ejemplo, que a 50° C —el motor todavía no ha puesto su aguja del reloj de temperatura en su posición de "normal"— el aceite es ya 5,64 veces menos denso que a la temperatura ambiente de 20° C? ¿Y os dais cuenta que a 100° C, que es una temperatura que el aceite del cárter alcanza con facilidad cuando el motor está a temperatura de funcionamiento, es 24,36 veces menos viscoso que a la temperatura ambiente? Y ¿qué pasará si sometéis el motor a una mayor presión media efectiva, por un aumento de la compresión, por ejemplo, y, además, aumentáis el régimen de giro, y corréis con el automóvil a buena velocidad durante horas en un día de verano? En todo este zarandeo sin duda mantendréis la refrigeración por agua a una temperatura de unos 95 grados, pero el aceite seguro que estará rondando los 130 grados C. Y si no lo creéis ponedle un termómetro al aceite y os daréis cuenta de ello.

No tengo ahora datos de la pérdida de viscosidad que se produce entre los 100° C y los 130° C que yo ahora propongo, pero lo que sí puedo deciros es que un motor trucado que trabaje en estas condiciones, o aún peores, debe cambiar el aceite en mucho menos de 1.000 Km. de recorrido si no quiere tener fracasos que no serán culpa del preparador, en lo que respecta a su trabajo en el motor, sino a no haber previsto una mejor refrigeración del aceite. Creo que todo trucaje susceptible de aumentar la temperatura del motor debe contar en su proyecto con la instalación de un radiador de aceite provisto de termostato de la forma y manera que vamos a ver a continuación. Mantener la temperatura del aceite a un nivel similar a la temperatura de refrigeración, es decir, sobre los 90° C, aportará ventajas tan importantes como mantener el propio motor a una mejor temperatura, asegurar una



película de aceite poderosa para mantener los esfuerzos y presiones de fricción de las piezas rodantes y conseguir aumentar la vida del aceite, permitiendo cambios normales del mismo —o más largos— a pesar de tratarse de un motor trucado. Por si fuera poco, la instalación de un radiador de aceite es sencilla además de ser una instalación barata en su precio de adquisición, al menos comparada con el precio de otras modificaciones que sin duda tendremos que llevar a cabo. El radiador no nos dará CV, pero nos asegurará los que consigamos a la mayor fiabilidad de nuestro proyecto de trucaje.

### Instalación de un radiador de aceite

Automóviles refrigerados por aire, como los que van equipados con los motores boxer de CITROËN, en los que la temperatura de funcionamiento normal supera los 100° C —con lo que se colabora, por otra parte, a un mayor rendimiento del motor— requieren encomendar al aceite una misión importante de refrigeración. Así pues, los automóviles fabricados por esta marca, y refrigerados por aire, llevan un completo circuito de aceite en el que no puede faltar el radiador.

Aunque quizá sea de muchos conocido, creo que dar un vistazo a la figura 155, en la que se muestra el circuito de aceite de un CITROËN, modelo GS, puede

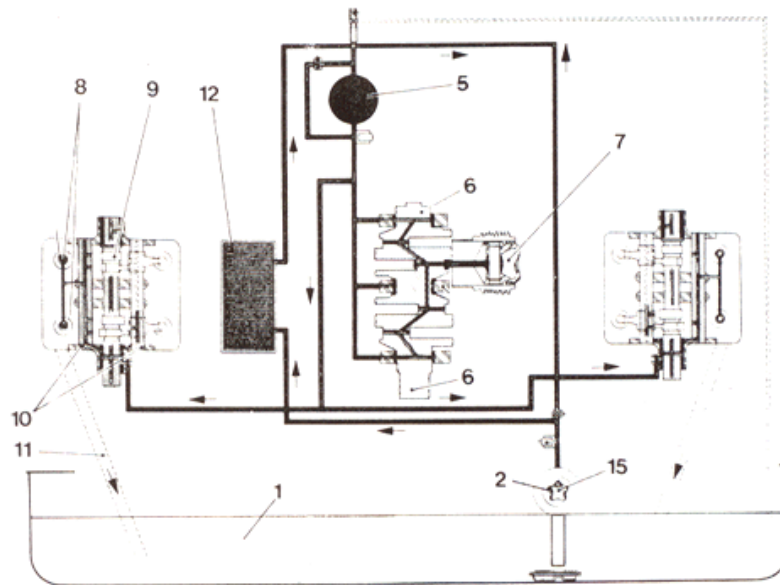


Figura 155. Esquema de funcionamiento del circuito de aceite refrigerado, en el CITROËN, modelo GS.

ser del mayor interés como ejemplo de instalación de un radiador con sus válvulas by-pass y, muy brevemente, vamos a hacer una descripción del funcionamiento de este circuito, lo que espero nos dé una idea para futuras instalaciones de radiadores en motores refrigerados por agua, como serán la mayoría de los que debemos trucar.

En la figura citada tenemos, en primer lugar, el cárter lleno de aceite (1) que es en parte aspirado por la bomba de engrase (2), del tipo Eaton. En el caso del arranque, tanto el termocontacto (3) como la válvula de by-pass (4) se hallan en posición de abierto, por lo que la presión de aceite pasa directamente al filtro (5) y desde allí se distribuye a la parte baja del motor —cigüeñal (6) y cilindro (7)— y, por el otro conducto pasa el aceite hacia las válvulas de escape (8), árbol de levas (9) y ejes de balancines (10), etcétera, tanto de un lado como del otro del motor boxer, descendiendo después el aceite de nuevo hacia el cárter por el conducto de rebose (11).

Este circuito se va reproduciendo hasta que el aceite comienza a calentarse y llega a la temperatura necesaria para poner en circuito el radiador (12). Cuando el termocontacto (3) se calienta, cierra la válvula de by-pass (4) y el circuito se establece a través del radiador, pasando desde aquí al filtro (5) y reanudándose el circuito del mismo modo, pero con el aceite controlado en su temperatura.

En la figura 156 puede verse el tipo de radiador que equipa estos motores, y en la número 157, su colocación bajo el colector de admisión.

La aplicación de un radiador a un motor refrigerado por agua que haya sido trucado puede realizarse por medio de *kits* que existen en el mercado a este efecto, donde no solamente se proporciona el radiador, sino también todos los conductos con su diámetro interior adecuado para que no existan caídas de presión que podrían ser fatales, así como las piezas de aplicación y los racores correspondientes, todo relacionado con la marca y modelo sobre el que estuviéramos trabajando. En la figura 158 podemos ver uno de estos *kits*, provisto además de termostato, y con toda la tornillería y fijaciones necesarias para su aplicación. Estos *kits*, por supuesto, van acompañados de un folleto de instrucciones siguiendo las cuales no suelen haber grandes problemas para proceder a su aplicación. Como puede verse en la figura, la toma de aceite se efectúa en los conductos del filtro de aceite, en el cual hay que sustituir una pieza y todo lo demás queda claro que no ha de tener mayor complicación.

Según la utilización que vaya a hacerse del vehículo se puede acudir a radiadores de 13, 16 ó 19 elementos. Como es lógico, estos últimos son para condiciones de funcionamiento muy severas. En realidad, y entendiendo el trucaje con el criterio que indicábamos al principio del libro, es decir, como mejoramiento de un coche polivalente que ha de correr alegre en carretera pero no en circuito, con un radiador de 13 elementos es suficiente. Si el trucaje ha sido más afinado podrá utilizarse el de 16, por supuesto más caro, pero que asegurará una mayor evacuación del calor por parte del aceite. De todos modos, no perdáis de vista que el aceite está calculado para que no funcione a temperaturas inferiores a los 85° C, por lo que, refrigerarlo en exceso, tampoco reporta beneficio alguno, sino todo lo contrario.

En todos estos equipos hay que asegurarse siempre de que vayan provistos de termostato para que no dificulten el calentamiento del aceite en los momentos que siguen a la puesta en marcha del motor. El termostato permanece cerrado hasta haber conseguido una temperatura en el cárter de los 85° C citados en los que

Figura 156. Vista del radiador de aceite del cilindro GS.

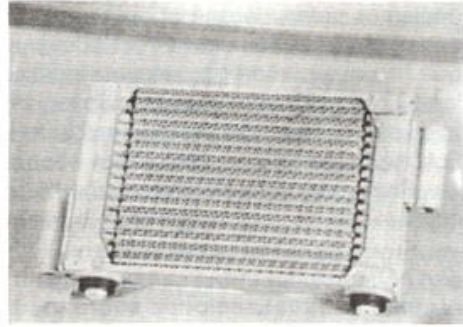


Figura 157. Situación en que se halla colocado el radiador de aceite de la figura anterior.

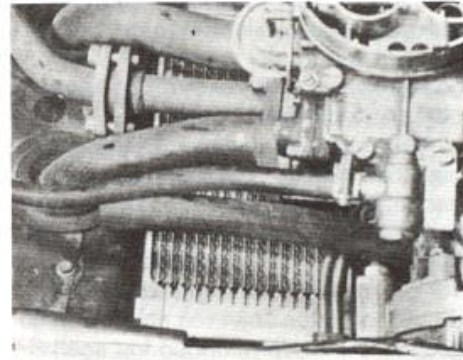
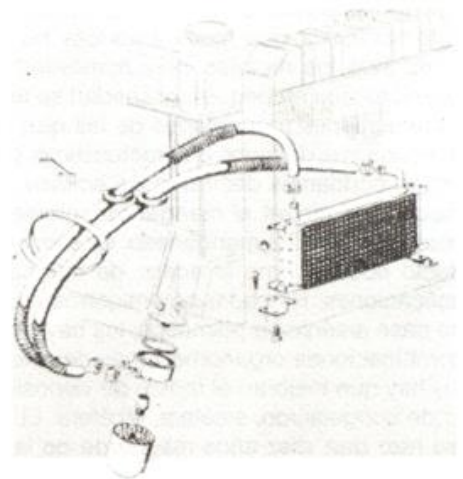


Figura 158. Conjunto de piezas que forman un kit para instalación de un radiador refrigerador de aceite.





esta válvula coloca en circuito al radiador. También hay que asegurarse, tal como decíamos antes, de que no exista una caída de presión en todo el circuito con la adopción de conductos demasiado gruesos, o por cualquier otra causa, de modo que hay que comprobar, una vez realizado el montaje y con un manómetro, los valores proporcionados a diferentes regímenes de giro, teniendo como patrón los valores que el motor había dado antes de la aplicación del radiador y sus conductos. Solamente pequeñas variaciones pueden ser toleradas.

Creo que no es necesario añadir más sobre este tema de la refrigeración del aceite.

### **Algunas puntualizaciones sobre los aceites**

Hasta aquí hemos visto todo lo que sobre el aceite afecta al trucaje y creo que podríamos despedirnos sin más y quedar como unos señores. Pero me creo en la obligación de explicar algo más sobre estos líquidos que alguien ha comparado como la sangre del motor. Y al final ya veréis porqué (o si lo preferís no leáis más y pasad directamente al otro capítulo relativo al aligerado de masas que os está esperando a continuación).

El aceite tiene varias misiones en el motor. La primera y fundamental es, por supuesto, la de engrasar; pero también debe conseguir un grado de cierta estanqueidad entre las superficies, como ocurre en el caso del cilindro y el émbolo; también tiene que conseguir mejorar la refrigeración del motor como hemos estado viendo hasta ahora; y también le cabe la misión de mantener limpia la mecánica del interior del motor y, en buen estado todo su conjunto.

Todos estos objetivos no los han conseguido nunca los aceites animales ni vegetales, e incluso tampoco los aceites minerales puros por más que se hubieran refinado con la mayor perfección. La adición de aditivos en el aceite, lo que dio a partir de 1950 los famosos aceites HD (heavy duty), significó una verdadera revolución en las posibilidades de uso de los aceites y dio un buen empujón a la técnica automovilística que hasta entonces no se atrevía a superar en mucho las 4.000 r.p.m. para los motores de automóviles de turismo. Los aditivos son sustancias químicas que en pequeña cantidad se añaden a los aceites para proporcionarles o incrementarles propiedades de las que se encuentran deficitarios, o para suprimir o reducir sus defectos o características perjudiciales. Si fuera válida alguna comparación podríamos decir que los aditivos actúan de modo similar a como lo hace el carbono, el níquel, el manganeso, etcétera de modo similar a como lo hace el carbono, el níquel, el manganeso, etcétera, que se mezcla con el hierro y crea un producto nuevo, como el acero, de muchas mejores cualidades para determinadas aplicaciones. Hay aditivos anticorrosivos y antioxidantes compuestos de fósforo o de base arsénica o bismútica; los hay detergentes y dispersantes con adiciones de combinaciones organometálicas de zinc, calcio y bario con azufre, cloro y fósforo; los hay que mejoran el índice de viscosidad, antiespumantes, rebajadores del punto de congelación, etcétera, etcétera. El estudio de la química aplicada a los aceites hizo que, diez años más tarde de la creación del HD, se pudieran ya obtener aceites *multigrados*, en los que la curva de viscosidad es muy plana de acuerdo con un cierto grado de temperatura. Estos aceites conservan, a temperatura am-



biente, una viscosidad muy baja que se va manteniendo a base de los aditivos hasta alcanzar altas temperaturas, del tipo de las que pueden esperarse en el interior de un motor. Los aceites multigrados los hemos usado todos y hemos podido certificar sus ventajas a lo largo de varios años de engrasar motores y motores.

Pero la inquieta investigación química no ha parado aquí, y hoy se han generalizado los aceites *sintéticos*, en los que se han conseguido verdaderos milagros, con respecto a los multigrados, en lo que atañe a la resistencia de la molécula a ser partida o separada entre dos superficies en frotamiento. Cuando el aceite multigrado está aguantando presiones equivalentes a  $600 \text{ Kg/cm}^2$ , los sintéticos pueden soportar hasta más de  $20.000 \text{ Kg/cm}^2$ . Consiguientemente tienen una duración cinco o seis veces mayor, además de un muy extenso grado de utilización que suele ir de SAE 15 W 60.

Pues bien: Creo que el tema de los aceites sintéticos también tiene algo que ver con el trucaje, porque mejorar el aceite es, por lo menos, una buena garantía de fiabilidad del motor, dejando al margen los beneficios que podremos obtener con un engrase más efectivo cuya repercusión en potencia no nos es posible traducir ahora por medio de una fórmula.

Bien: No os quiero calentar más la cabeza. Creo que el resumen de este breve capítulo ha de ir por el siguiente camino: Utilizad el mejor aceite del mercado, por un lado; por otro, cuidad de la temperatura, y aseguraos un buen resultado con la adopción de un radiador de refrigeración para el aceite. Esto es todo, en lo que a este tema respecta.



---

# Índice

---

## 1. Aumentos de cilindrada

Aumentar el diámetro del cilindro .....	16
Aumentar la carrera .....	19
Aumentar el número de cilindros .....	24
Acoplar dos motores o más .....	24

## 2. La relación de compresión

Inconvenientes de una relación de compresión elevada.....	30
Medida de la cámara de combustión.....	34
Cálculos de las cámaras .....	39
Procedimientos para aumentar la compresión de un motor.....	43
Rebajar la culata.....	43
Embolos más altos.....	45
Levantar el émbolo.....	46
Rebajar el bloque.....	47
Otras posibilidades de aumento de la compresión.....	48
Compresión a que puede ser sometido un motor.....	50

## 3. Elaboración de la mezcla

Sistemas de la elaboración de la mezcla.....	54
Elaboración de la mezcla con carburador .....	54

Dosificación de la mezcla .....	55
Utilidad de los surtidores y calibres .....	60
1. El difusor .....	60
2. Centrador .....	65
3. Surtidor principal .....	66
4. Surtidor principal de aire .....	69
5. Tubo emulsionador .....	70
6. Circuito de marcha lenta .....	72
7. Surtidor de la bomba de aceleración .....	74
8. Otros elementos .....	76
Características de reglaje de un carburador .....	82
Instalación de varios carburadores a un motor .....	84
ELABORACION DE LA MEZCLA POR INYECCION .....	92
La inyección de gasolina y el trucaje .....	95

#### 4. Aumento de la entrada de aire

LA SOBREALIMENTACION .....	101
Diferentes tipos de compresores .....	103
Turbocompresores accionados por el escape .....	106
Sobrealimentadores volumétricos .....	109
Cambiadores de la onda de presión .....	114
Colocación del sobrealimentador en el motor .....	116
Aplicación de los turbos a los motores Diesel .....	119
Los compresores en números .....	123
Problemas de compresión .....	126
Cálculo de los elementos de los compresores .....	130
Turbocompresores .....	130
Características del rotor .....	130
Número de revoluciones del rodete .....	131
Características de los álabes .....	131
Caudal aspirado .....	132
Velocidad del aire a la entrada al rodete .....	132
Características del estator .....	132
Compresores de tipo roots .....	133
Compresores de paletas .....	135
Volumen de aire desplazado .....	135
Rotor .....	135
Estator .....	136
COLECTORES DE ADMISION .....	137
Motores de cuatro cilindros .....	139
Motores de seis cilindros .....	143
Motores de ocho cilindros .....	146
Motores de doce cilindros .....	149
Otros factores .....	149
COLECTORES Y TUBOS DE ESCAPE .....	150
FILTROS DE AIRE .....	153



<b>5. El encendido</b>	
Encendidos electrónicos con ruptor .....	163
Encendidos electrónicos sin ruptor .....	164
Realizaciones prácticas .....	169
El encendido electrónico de FEMSA .....	172
Algunas consideraciones finales .....	174
Las bujías .....	175
Bujías con electrodos de platino .....	179
<b>6. El engrase</b>	
Instalación de un radiador de aceite .....	183
Algunas puntualizaciones sobre los aceites .....	186
<b>7. Aligerado de masas</b>	
El volante de inercia .....	193
Rebaje de un volante .....	194
Los émbolos .....	197
Aligeramiento del peso en el cigüeñal .....	202
Aligeramiento de las bielas .....	203
Conclusión .....	205
<b>8. La distribución</b>	
Las válvulas .....	211
Los asientos de válvulas y el paso del gas .....	215
Las válvulas y los números .....	219
Trabajos de trucaje en las válvulas .....	221
El eje de levas .....	226
El perfil de las levas .....	226
El ajuste de balancines .....	230
<b>9. Cambio de velocidades</b>	
El cambio de velocidades .....	239
El diferencial .....	241
Las ruedas .....	243
Consejos finales .....	244
<b>10. Frenos y suspensión</b>	
Los frenos .....	245
Cálculo de la frenada .....	246
Modificaciones de los frenos .....	247
La suspensión .....	251

**11. Varios factores**

Aerodinamismo.....	257
La seguridad en el automóvil.....	263
Arcos de seguridad.....	263
Parabrisas laminados.....	265
Desconector de batería.....	265
Depósitos de seguridad.....	265
Cinturones de arnés.....	266
Otros factores.....	267
Consejos para quienes se dediquen al trucaje.....	269

En todos los países, cuando la industria del automóvil alcanza una madurez de desarrollo surge un público entusiasta para el que el automóvil deja de ser un instrumento utilitario y se convierte en un tema deportivo. En este momento nacen, conjuntamente con las grandes fábricas, talleres especializados en la mejora de los motores, los cuales trabajando de manera artesana, convierten los coches normales de fabricación en serie, en vehículos deportivos más veloces que los originarios. Nada más útil para los mecánicos y aficionados que un libro donde se establezcan las bases del trucaje de motores, con el que abordar el conocimiento de este difícil arte.



## Referencias

- [1] R. V. Bayussen y F. S. , Internal combustion engine handbook, SAE International, 2016.
- [2] Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento , «Ingenieros de Confiabilidad: Médicos Holísticos del Cuidado de la Maquinaria,» Mantenimiento Mundial, [En línea]. Available: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/>.
- [3] Ceramizer, «Engine Repair, causes of engine wear,» Ceramizer, 2016. [En línea]. Available: <http://www.ceramizer.com/en/engine-repair-rebuild-engine-wear-causes>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [4] Widman, «Hidrodinamica,» Widman, 2015. [En línea]. Available: <http://www.widman.biz/Seleccion/hidrodinamica.html>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [5] Nebrija, «Lubricacion,» Nebrija, Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.nebrija.es/~alopezro/Lubricacion.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [6] R. Aulestia, «Análisis Tribológico con diferentes tipos de lubricantes,» 15 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://prezi.com/aqknovoyf0nw/analisis-tribologico-con-diferentes-tipos-de-lubricantes-en/> . [Último acceso: Diciembre 2016].
- [7] K. C. Martin y F. C. , «Análisis y desgaste en motores Diesel,» Mexico DF, 2015.
- [8] M. V y S. R. , «Comparative analysis in a Diesel engine,» *ResearchGate*, vol. 1, nº 1, p. 4, 2015.





