



**Centro Universitario de la Defensa  
en la Escuela Naval Militar**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Modificaciones mecánicas de un motor de encendido provocado  
para mejorar su rendimiento*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Víctor Rey Lago

**DIRECTORES:** Miguel Ángel Álvarez Feijoo  
Guillermo David Rey González

**CURSO ACADÉMICO:** 2016-2017

**Universida<sub>de</sub>Vigo**





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Modificaciones mecánicas de un motor de encendido provocado  
para mejorar su rendimiento*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>de</sub>Vigo



## **RESUMEN**

El presente Trabajo de Fin de Grado trata de las modificaciones llevadas a cabo en un motor alternativo de encendido provocado para mejorar su rendimiento. Como base de trabajo se ha utilizado un vehículo comercial con cerca de 30 años, un Citroën AX GT con motor de carburación.

Las modificaciones que se van a realizar son relativamente sencillas, y suponen un notable incremento del rendimiento del motor con un desembolso económico relativamente bajo. Estos cambios son llevados a cabo sin pretender llegar al nivel de exigencia mecánica, prestaciones y desembolso de un motor para uso en competición.

## **PALABRAS CLAVE**

Modificaciones, rendimiento, motor gasolina, carburador, culata.



## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por estar siempre ahí apoyándome y ayudándome en todo lo que pueden tanto en este proyecto como en cualquier cosa de la vida en general.

A mi hermano, en especial, por comprar el vehículo y demás material que hizo falta. Por su tiempo, la gran cantidad de horas de sueño que le he robado para dejar el motor a punto, listo para “correr”. También por aguantarme en los momentos en que las cosas no salían como uno quería, pero que al final se consiguieron. Él ha sido el culpable de la realización de este tipo de trabajo de mecánica.

En especial a mi gran amigo, o también podría decir mi tercer abuelo, Manuel Carrera Sio por su gran colaboración de manera desinteresada en el montaje del motor y de todas las modificaciones y mejoras llevadas a cabo. No importa el momento, la hora o el lugar que siempre está dispuesto a ayudarnos con cualquier cosa. Sin su ayuda y sus conocimientos de mecánica este proyecto no sería posible realizarlo.

A mi tío José Pereira por proporcionarme múltiple material desde documentos para extraer información de talleres oficiales hasta elementos importantes del motor difíciles de conseguir, además de la máquina rectificadora de válvulas.

A mi amigo Fernando Darriba y a su padre, Fernando Darriba Carballido por haberme ayudado a pintar el coche entero sin querer nada a cambio y proporcionarme alguna que otra pieza de un Citroën AX de su propiedad.

A Olimpo, dueño del desguace A PANTALLA, por proporcionarme múltiples piezas con opción de devolverlas si no encajaban bien y que en ocasiones ni me las cobraba.

A Thierry Iglesias por su colaboración en la realización de las pruebas realizadas en el banco de potencia en su taller TECNICAR en Beade, Vigo.

A Oscar Costas, amigo de mi hermano, a mi amigo Samuel Crespo y demás amigos que me han ayudado en lo que han podido aunque solo fuera su compañía o el estar aguantando la linterna o proporcionar alguna herramienta cuando tenía las manos ocupadas.

A mis tutores del TFG Miguel Ángel Álvarez Feijoo y Guillermo David Rey González por dejarme claras las cosas desde el principio diciéndome que el trabajo no se iba a realizar sólo, por marcarme tiempos y exigirme las partes del proyecto para estas fechas puestas y por el tiempo perdido conmigo corrigiéndome la memoria e incluso instalándome algún programa en el ordenador.

GRACIAS A TODOS.



## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| Contenido .....   | 1  |
| Índice de Figuras .....   | 3  |
| Índice de Tablas.....   | 5  |
| 1 Introducción y objetivos .....  | 6  |
| 1.1 Antecedentes .....  | 6  |
| 1.2 Objetivos .....   | 7  |
| 1.3 Estructura .....  | 7  |
| 2 Estado del arte .....   | 8  |
| 2.1 Introducción .....  | 8  |
| 2.2 Esquema clasificación motores .....   | 8  |
| 2.3 Clasificación motores alternativos .....  | 9  |
| 2.4 Máquinas térmicas .....   | 9  |
| 2.4.1 Motores de combustión externa.....  | 10 |
| 2.4.2 Motores de combustión interna .....   | 10 |
| 2.5 Sistemas de admisión, distribución y refrigeración de un motor alternativo..... | 20 |
| 2.5.1 Admisión atmosférica y sobrealimentada.....                                   | 20 |
| 2.5.2 Sistema de distribución.....  | 21 |
| 2.5.3 Sistema de refrigeración .....  | 22 |
| 3 Partes del motor y modificaciones .....   | 24 |
| 3.1 Motor.....  | 24 |
| 3.2 Sistema de distribución .....   | 25 |
| 3.2.1 Árbol de levas de origen .....  | 25 |
| 3.2.2 Árbol de levas modificado.....  | 26 |
| 3.2.3 Válvulas .....  | 28 |
| 3.3 Culata .....  | 30 |
| 3.3.1 Conductos admisión y escape .....   | 31 |
| 3.3.2 Rectificado de los asientos de las válvulas .....                             | 33 |
| 3.3.3 Rebaje de la culata .....   | 35 |
| 3.3.4 Modificación de la cámara de combustión .....                                 | 36 |
| 3.4 Sistema de alimentación (carburador).....                                       | 38 |
| 3.4.1 Carburador de serie.....  | 39 |
| 3.4.2 Modificaciones del carburador .....   | 40 |
| 3.5 Línea de escape .....   | 41 |

|   |    |
|---|----|
| 3.6 Sistema de refrigeración.....                   | 44 |
| 3.7 Sistema de transmisión.....                     | 45 |
| 3.8 Presupuesto .....                               | 50 |
| 4 Resultados / Validación / Prueba.....             | 52 |
| 4.1 Potencia del motor K2A de serie .....           | 52 |
| 4.2 Potencia obtenida tras las modificaciones ..... | 53 |
| 5 Conclusiones y líneas futuras .....               | 55 |
| 5.1 Conclusiones .....                              | 55 |
| 5.2 Líneas futuras .....                            | 56 |
| 6 Bibliografía.....                                 | 57 |
| Anexo I: Sistema de inyección. ....                 | 58 |
| Anexo II: Sistema de carburación. ....              | 59 |
| Anexo III: Sistema de refrigeración de serie. ....  | 60 |
| Anexo IV: Línea de escape de serie. ....            | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1-1. Sistema de distribución de un motor de gasolina. (1).....                                       | 6  |
| Figura 2-1. Carrera, PMS y PMI. ....  | 10 |
| Figura 2-2. Dibujos de la patente de Otto Motor de gas. ....  | 11 |
| Figura 2-3. Diagramas p-V de una máquina de vapor (izquierda) y de un MCIA (derecha).....                   | 11 |
| Figura 2-4. Ciclo Diesel. Aire estándar. (5) .....  | 12 |
| Figura 2-5. Ciclo Otto. Aire estándar. (5) .....  | 13 |
| Figura 2-6. Motor 2T. Ossa 175 SE. ....   | 14 |
| Figura 2-7. Etapas de un motor de dos tiempos de barrido por cárter. (4).....                               | 14 |
| Figura 2-8. Diagrama teórico de un motor de gasolina de 2T. (5) .....                                       | 15 |
| Figura 2-9. Diagrama práctico de un motor de gasolina de 2T. (5) .....                                      | 16 |
| Figura 2-10. Etapas de un motor de cuatro tiempos. ....   | 17 |
| Figura 2-11. Diagrama circular de la distribución de un motor de 4T. ....                                   | 17 |
| Figura 2-12. Diagrama práctico de un 4T. (5).....   | 18 |
| Figura 2-13. Carburador de doble cuerpo de apertura simultánea. Simca 1200. ....                            | 20 |
| Figura 2-14. Turbocompresor radial.....   | 21 |
| Figura 2-15. Enfriador de aire. Citroën BX turbo. ....  | 21 |
| Figura 2-16. Árbol de levas, válvulas y resortes motor K2A de serie.....                                    | 22 |
| Figura 2-17. Tractor refrigerado por agua. ....   | 23 |
| Figura 3-1. Sistema de distribución SOHC. Un solo árbol de levas en cabeza.....                             | 24 |
| Figura 3-2. Camisa diesel (izquierda) y camisa gasolina (derecha).....                                      | 25 |
| Figura 3-3. Diagrama circular de la admisión (izquierda) y del escape (derecha) del AX GT. (10)<br>.....    | 26 |
| Figura 3-4. Diagrama circular de la admisión (izquierda) y del escape (derecha) del AX Sport. (10)<br>..... | 27 |
| Figura 3-5. Árbol de levas de Citroën AX Sport.....   | 27 |
| Figura 3-6. Plano de cierre de la culata con el bloque del motor K2A. ....                                  | 28 |
| Figura 3-7. Máquina rectificadora de válvulas.....  | 29 |
| Figura 3-8. Gráfico diferencia de ángulos entre válvula y asiento de válvula. ....                          | 30 |
| Figura 3-9. Culata motor K2A con su sistema de distribución SOHC.....                                       | 30 |
| Figura 3-10. Mecanizado de los conductos de admisión y de escape de la culata. ....                         | 32 |
| Figura 3-11. Ejemplo de singularidad: cambio de sección en un conducto. ....                                | 32 |
| Figura 3-12. Plantilla de los conductos de admisión en el carburador. ....                                  | 33 |
| Figura 3-13. Máquina rectificadora de asientos de válvulas. ....  | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3-14. Modificación del ángulo de la piedra de carborundum. ....           | 34 |
| Figura 3-15. Mecanizado de los asientos de las válvulas en culata.....           | 35 |
| Figura 3-16. Alojamiento de válvulas en la cámara de compresión.....             | 36 |
| Figura 3-17. Medición del volumen del cilindro en su PMS. ....                   | 37 |
| Figura 3-18. Medición del volumen de la cámara de la culata.....                 | 38 |
| Figura 3-19. Despiece carburador WEBER 36 DCA.....                               | 38 |
| Figura 3-20. Esquema básico de un carburador. ....                               | 39 |
| Figura 3-21. Carburador SOLEX 32-34Z2 PSA 409.....                               | 39 |
| Figura 3-22. Carburador WEBER 36 DCA.....  | 40 |
| Figura 3-23. Conducto admisión de serie (izquierda) y modificado (derecha).....  | 41 |
| Figura 3-24. Colectores 4-2-1 de acero inoxidable. ....                          | 42 |
| Figura 3-25. Silenciador delantero. ....   | 43 |
| Figura 3-26. Silenciador trasero. ....   | 43 |
| Figura 3-27. Electroventilador de serie (izquierda) y modificado (derecha). .... | 44 |
| Figura 3-28. Radiador de serie del Citroën AX.....                               | 44 |
| Figura 3-29. Radiador de mayor tamaño. Citroën Saxo.....                         | 45 |
| Figura 3-30. Caja de cambios 2CA/2CB.....  | 46 |
| Figura 3-31. Caja de cambios Citroën C15. ....                                   | 47 |
| Figura 3-32. Conjunto de piñones de un Citroën Saxo 16v. ....                    | 47 |
| Figura 4-1. Gráfica de rendimiento motor K2A de serie. (10).....                 | 53 |
| Figura 4-2. Diagnósis de potencia después de las modificaciones.....             | 54 |
| Figura 5-1. Citroën AX GT del proyecto. ....                                     | 56 |

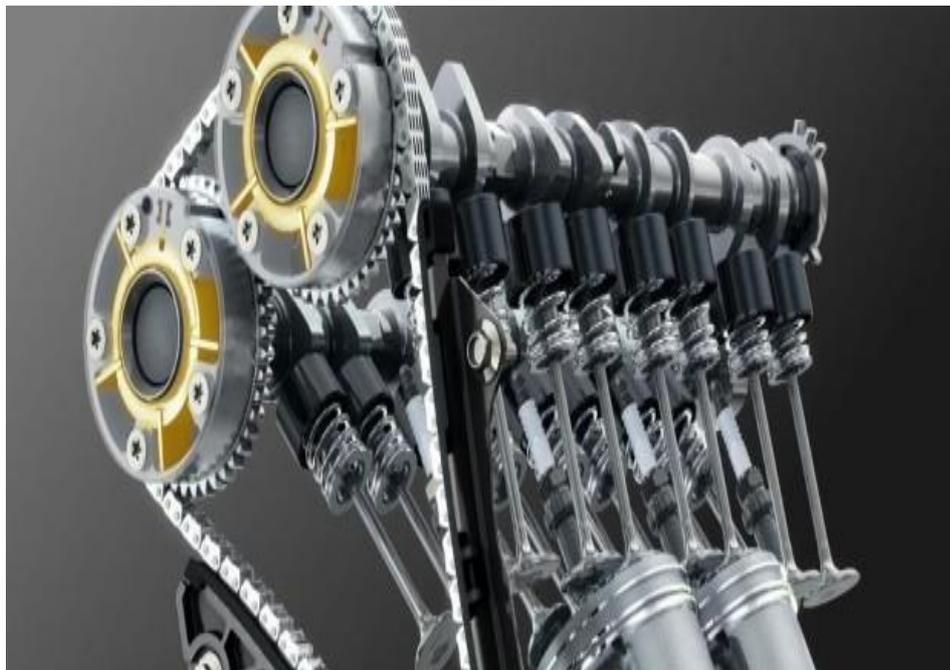
## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2-1 Clasificación motores.....                                  | 8  |
| Tabla 2-2. Clasificación motores alternativos.....                    | 9  |
| Tabla 3-1. Diagrama de la distribución AX GT. (9) .....               | 26 |
| Tabla 3-2. Diagrama de la distribución AX Sport. (9).....             | 26 |
| Tabla 3-3. Características válvulas motor K2A. (9).....               | 29 |
| Tabla 3-4. Características culata K2A. (9).....                       | 31 |
| Tabla 3-5. Características carburador motor K2A. (9).....             | 40 |
| Tabla 3-6. Relación velocidades transmisión 2CA/2CB. (9) .....        | 45 |
| Tabla 3-7. Relación de velocidades caja de cambios MA5. (12) .....    | 48 |
| Tabla 3-8. Medidas neumáticos de serie. ....                          | 48 |
| Tabla 3-9. Velocidad en función del nº vel. y rpm (de serie).....     | 49 |
| Tabla 3-10. Medidas nuevos neumáticos. ....                           | 49 |
| Tabla 3-11. Velocidad en función del nº vel. y rpm (modificada). .... | 50 |
| Tabla 3-12. Presupuesto total de las modificaciones.....              | 51 |
| Tabla 4-1. Valor del par motor. ....                                  | 54 |
| Tabla 4-2. Valores de las potencias.....                              | 54 |

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Antecedentes

La mecánica de los motores cada vez es más y más compleja, debido a la gran evolución que han sufrido desde sus orígenes dando lugar a los complejos motores actuales tal y como se conocen hoy en día. Los nuevos sistemas de inyección, encargados de aportar el combustible al motor, pueden modificar la cantidad del combustible necesario en cada combustión en función de ciertos parámetros obtenidos de varias fuentes del propio motor y el incremento del número de inyecciones por cada ciclo de trabajo. Lo cual ha derivado en una mayor potencia y un mayor rendimiento tanto en motores pequeños, como pueden ser los de los automóviles, como en motores grandes, en el caso de un barco. Además de esto, los complejos sistemas de distribución, tal y como se puede ver en la Figura 1-1, los cuales cuentan con un gran número de piezas y componentes, contribuyen a este aumento de rendimiento. Existen además sistemas de distribución variables, que se ajustan a cada régimen de giro del motor atendiendo a parámetros como a las emisiones, fiabilidad e incluso ruido.



**Figura 1-1. Sistema de distribución de un motor de gasolina. (1)**

Con el implemento de compresores y de turbocompresores con sus respectivos enfriadores aire-aire, se ha contribuido también, en gran medida, a este aumento de potencia. Su comienzo se produce

con los turbocompresores de álaves fijos hasta llegar a los turbocompresores de geometría variable utilizados en la inmensa mayoría de los motores actuales. Tanto los compresores como los turbocompresores son los encargados de crear un aumento de presión en los conductos de admisión para obtener un correcto llenado de los pistones en su etapa de admisión. Los primeros obtienen la energía para su funcionamiento directamente del cigüeñal y los segundos de los gases de escape, los cuales hacen girar a una turbina.

## 1.2 Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto una mejora de rendimiento en un motor de combustión interna de explosión que utiliza un carburador como elemento suministrador del combustible, por medio de una serie de modificaciones mecánicas. Dichas mejoras de rendimiento dentro de unos márgenes aceptables para el motor objeto de estudio sin buscar unas prestaciones muy elevadas de este. Este motor de serie rinde una potencia inferior a la que se obtendrá después de realizar dichos cambios, de los cuales se hablará a lo largo de este trabajo. Con estas modificaciones, el rendimiento en términos de potencia se aproximará al de motores más actuales que ya cuentan con sistemas más modernos.

## 1.3 Estructura

El trabajo se estructurará en los siguientes apartados:

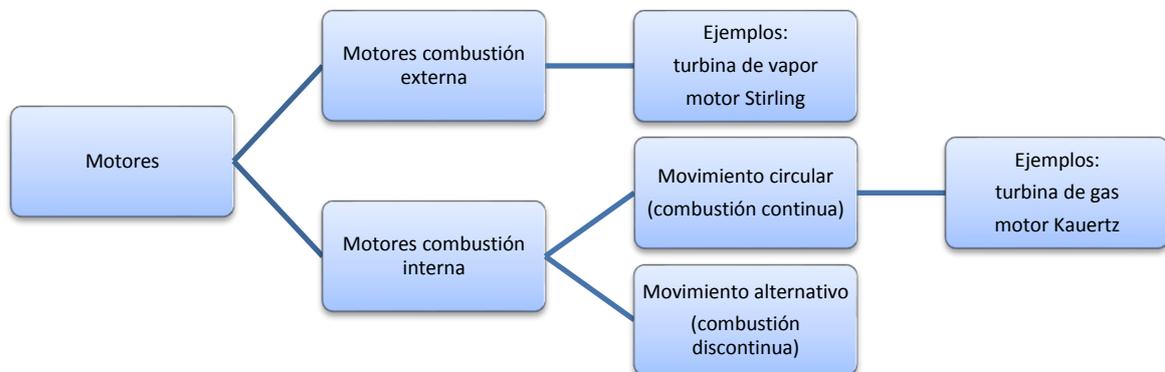
- Una introducción donde se comenta brevemente el estado del arte de los motores de combustión interna.
- Un apartado donde se reflejan las características de origen del motor objeto de estudio obtenidas a partir de los manuales de taller y de despiece del motor, el cómputo de mejoras y modificaciones realizadas al mismo.
- Los resultados que muestran la mejora del rendimiento obtenido con estas modificaciones mecánicas.
- Y las conclusiones obtenidas en el presente trabajo.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Introducción

A lo largo del presente apartado se van a clasificar los diferentes tipos de motores hasta alcanzar el motor objeto de estudio de este trabajo. Se comenzará definiendo las máquinas térmicas hasta llegar al motor de combustión interna de explosión con carburador como sistema de aporte del combustible.

### 2.2 Esquema clasificación motores



**Tabla 2-1 Clasificación motores.**

## 2.3 Clasificación motores alternativos

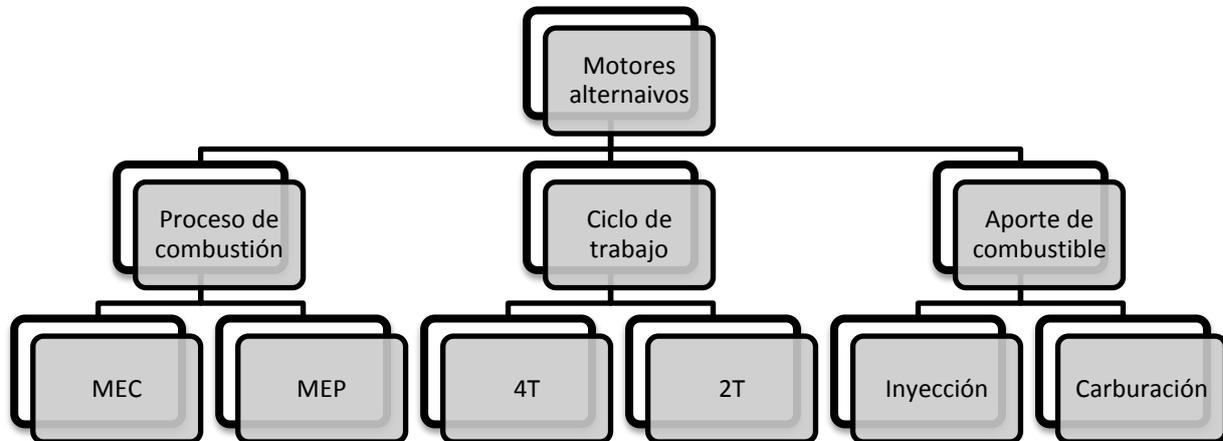


Tabla 2-2. Clasificación motores alternativos.

## 2.4 Máquinas térmicas

Una máquina térmica o motor térmico es un dispositivo que tiene como objetivo convertir la energía calorífica en energía mecánica. Para ello utiliza una serie de sustancias de trabajo, como pueden ser el vapor de agua, el aire o la gasolina entre otras diversas fuentes, que realizan ciertas transformaciones termodinámicas de forma cíclica, para que dicha máquina pueda trabajar de forma continua.

- Antes de comenzar con la clasificación de los motores térmicos se van a definir una serie de conceptos clave relacionados con los motores.
- Combustión: combinación molecular de una materia cualquiera con el oxígeno, de la que se producen óxidos de la materia quemada
- Relación de compresión ( $r$ ): relación entre los volúmenes cuando el pistón se encuentra en el PMI y en el PMS.
- Cilindrada: suma de los volúmenes desplazados de cada pistón.
- PMS (punto muerto superior): posición del pistón en la que se encuentra en la parte más alta del cilindro (Figura 2-1).
- PMI (punto muerto inferior): posición del pistón en la que se encuentra en la parte más baja del cilindro (Figura 2-1).
- Carrera: movimiento lineal alternativo y paralelo al eje del cilindro entre las posiciones extremas (PMS y PMI) (Figura 2-1).
- Ciclo termodinámico: es la evolución de los procesos de una forma sucesiva que experimenta un mismo fluido (sin reacción química) desde un estado termodinámico inicial volviendo a dicho estado de nuevo. Se considera ciclo teórico si la evolución que sufre el fluido se considera ideal.

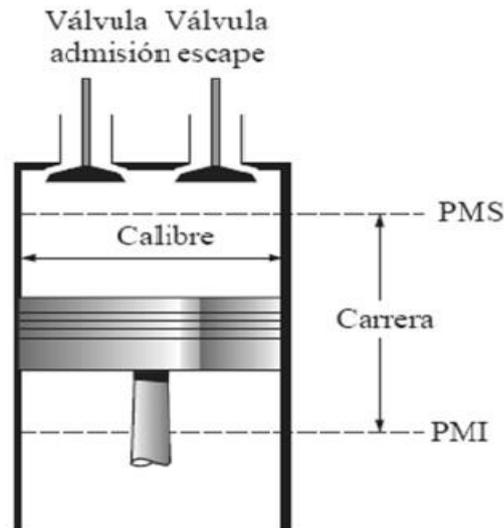


Figura 2-1. Carrera, PMS y PMI.

- Orden de encendido: orden en que se provoca el encendido de los pistones de forma ordenada. Se procura que el orden de encendido no sea sucesivo entre pistones contiguos para, de esta forma, repartir los esfuerzos que se transmiten al cigüeñal.
- Diagrama circular: es la representación de un ciclo completo de trabajo del motor. Se representa con un diagrama de forma circular en el cual se representan los PMS y PMI y a continuación el momento de apertura y cierre de las válvulas de admisión y de escape. (2)

Los motores térmicos se clasifican en: motores de combustión externa y motores de combustión interna.

#### 2.4.1 Motores de combustión externa

Dichos motores se caracterizan porque en ellos el lugar en el que se lleva a cabo la transformación de la energía química del combustible en energía calorífica es diferente del lugar donde la energía calorífica se transforma en energía mecánica (turbina de vapor o motor Stirling).

#### 2.4.2 Motores de combustión interna

En estos motores, la transformación de la energía química en energía calorífica se lleva a cabo en el mismo lugar o en uno muy próximo al de la transformación de la energía calorífica en mecánica, pero siempre en la misma carcasa de dicho motor. Podemos clasificar este tipo de motores en motores de movimiento circular o también conocidos como de combustión continua (turbina de gas, motor Wankel y motor Kauertz) y motores de movimiento alternativo o de combustión discontinua (encendido provocado y encendido espontáneo). (3)

##### 2.4.2.1 Motores de movimiento alternativo

El origen de los motores de combustión interna alternativos actuales es de más de un siglo atrás. Si se quisiera dar una fecha puntual a este hito, que marca el nacimiento de los motores tal y como los conocemos, sería el año 1876. En este año el alemán Nicolaus Otto solicitó la patente titulada *Gasmotor*. Se pueden observar unos dibujos iniciales de la patente en la Figura 2-2.

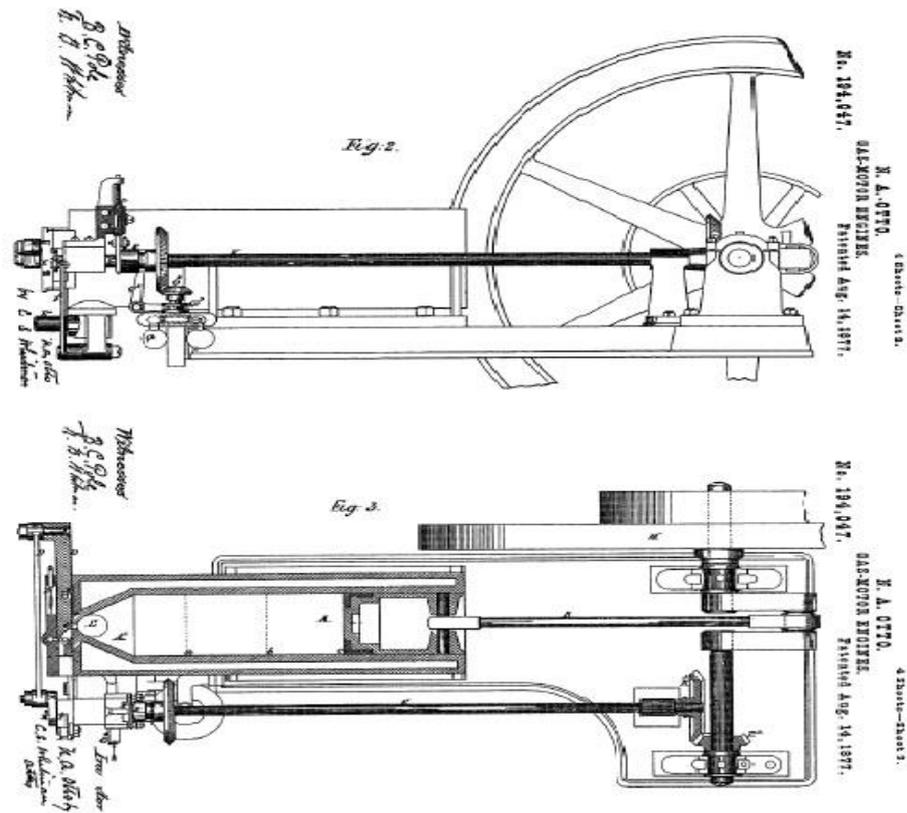


Figura 2-2. Dibujos de la patente de Otto Motor de gas.

El comienzo de los motores de combustión interna alternativos fue, sin duda, las máquinas de vapor desarrolladas en el siglo XVIII, durante la primera revolución industrial. Estos motores tienen en común con las máquinas de vapor que ambos son máquinas volumétricas, o también conocidas como máquinas de desplazamiento positivo. En ellas, el volumen de la masa de fluido de trabajo, el cual está contenido en un recinto delimitado por paredes móviles, se modifica para proporcionar una evolución del motor. Las diferencias entre estas máquinas reside en sus diagramas de presión-volumen tal y como se ve en la Figura 2-3. (4)

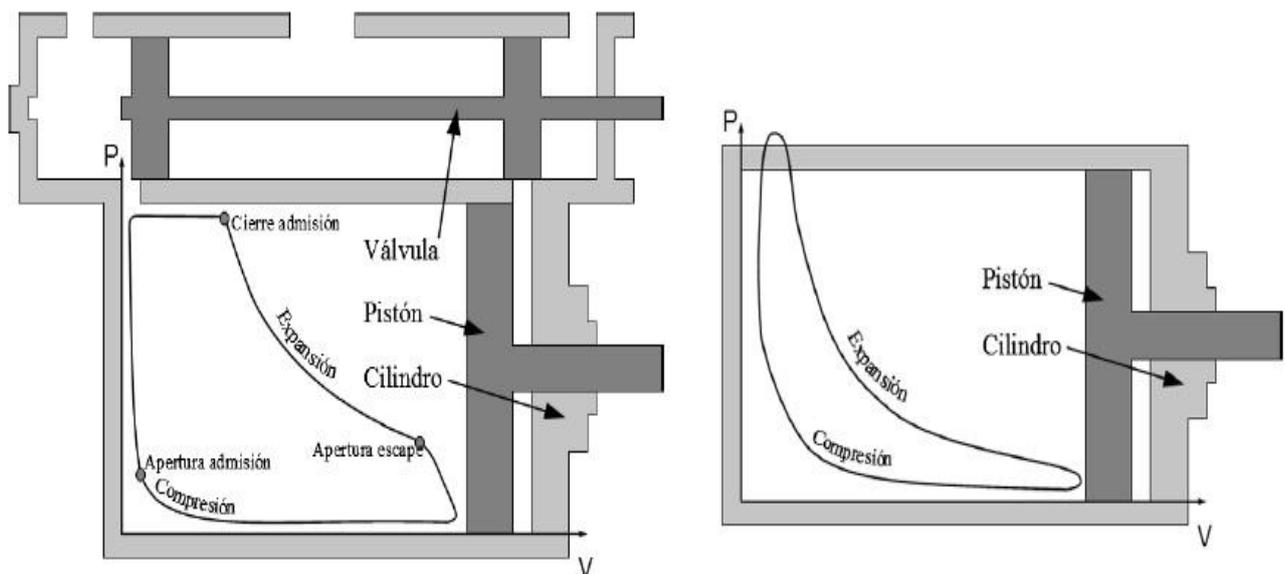


Figura 2-3. Diagramas p-V de una máquina de vapor (izquierda) y de un MCIA (derecha).

### 2.4.2.1.1 Motores de encendido por compresión, (MEC) y encendido provocado (MEP)

Atendiendo al proceso de combustión, los motores de combustión interna alternativos se clasifican en motores de encendido por compresión (MEC) y motores de encendido provocado (MEP).

#### Motores de encendido por compresión (MEC)

Estos motores, conocidos con el nombre de motor Diesel en honor al alemán que lo inventó, se caracterizan porque la combustión comienza con un proceso de autoencendido de la mezcla de combustible al obtenerse temperaturas altas en la cámara de combustión gracias al proceso de compresión. En la etapa de admisión solamente se introduce aire, inyectando el combustible cerca del final de la carrera de compresión, cuando el aire alcanza los niveles óptimos para comenzar con el autoencendido. De esta manera se controla, de manera aproximada, el instante de encendido.

En estos motores la zona de la combustión no está claramente definida, pues se crean muchos frentes de llama donde su evolución viene marcada por el chorro de combustible inyectado y de las turbulencias del aire en la cámara de combustión, lo que propicia unas condiciones adecuadas de la mezcla aire-combustible.

Por esto y para llevar a cabo un correcto proceso de combustión, debemos desarrollar los procesos físicos del chorro de combustible durante la inyección como la penetración, la atomización, la evaporación y la mezcla con el aire.

El ciclo de los motores diesel consta de 4 procesos, considerando que no existe ninguna irreversibilidad interna por lo que no implica fricción ni intercambio de calor con el medio, que se utiliza aire estándar y que se substituye el proceso de combustión por un proceso de adición de calor desde el exterior y el de escape por una cesión de calor también al exterior (Figura 2-4). Los procesos son los siguientes:

- 1-2 Compresión isoentrópica
- 2-3 Calentamiento isobárico
- 3-4 Expansión isoentrópica
- 4-1 Enfriamiento isócoro

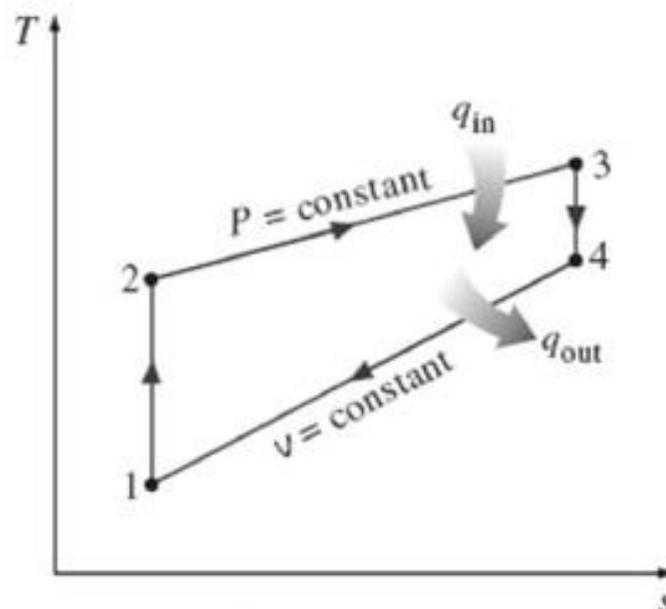


Figura 2-4. Ciclo Diesel. Aire estándar. (5)

### Motores de encendido provocado (MEP)

Para llevar a cabo el proceso de combustión en este tipo de motores es necesario un aporte de energía externo al ciclo termodinámico. En la mayor parte de motores se consigue al hacer saltar una chispa entre los electrodos de una bujía. Para que el proceso de combustión sea lo más eficiente posible ha de hacerse saltar la chispa en el momento adecuado. Durante el proceso de admisión puede introducirse el combustible con el aire (motores con carburador como suministrador del combustible), consiguiendo una mezcla homogénea durante este proceso, o introducirse aire e introducir el combustible posteriormente durante la compresión directamente al cilindro formándose una mezcla heterogénea (motores de inyección directa y mezcla estratificada).

Al igual que el ciclo Diesel, el ciclo Otto también consta de cuatro procesos (Figura 2-5), tomando como suposiciones las mismas que en el apartado anterior, que son los siguientes:

- Compresión isentrópica
- Calentamiento isócoro
- Expansión isentrópica
- Enfriamiento isócoro

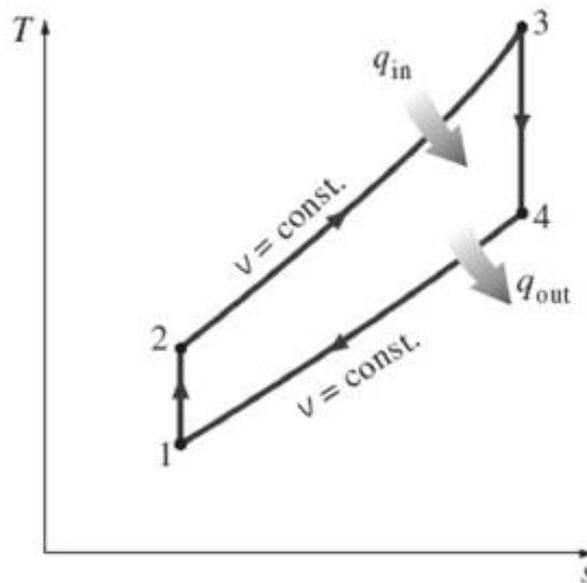


Figura 2-5. Ciclo Otto. Aire estándar. (5)

#### 2.4.2.1.2 Motores de dos tiempos (2T) y cuatro tiempos (4T)

Atendiendo al ciclo de trabajo los motores alternativos pueden clasificarse en motores de dos tiempos (2T) y en motores de cuatro tiempos (4T).

### Motores de dos tiempos (2T)

El ciclo de trabajo en este tipo de motores se completa en dos carreras del émbolo, es decir, en una revolución, 360 grados de giro de cigüeñal. La diferencia principal con los motores de cuatro tiempos se encuentra en el proceso de renovación de la carga, puesto que los procesos de escape y admisión se realizan de forma simultánea, denominado barrido (Figura 2-6).



Figura 2-6. Motor 2T. Ossa 175 SE.

En dicho proceso los gases frescos, los cuales acceden al cilindro a través de unos conductos denominados lumbreras de admisión, son los encargados de expulsar a los gases quemados del interior del cilindro ya que los primeros se encuentran a mayor presión que los segundos, tal y como se ve en la etapa de barrido de la Figura 2-7. Las etapas de compresión y expansión son iguales que en un motor de cuatro tiempos. La diferencia reside hacia la última parte de la expansión, en la cual los motores de dos tiempos comienzan antes el proceso de escape que los motores de cuatro tiempos. Acto seguido y antes de que el émbolo llegue al PMI, comienza el proceso de admisión. La admisión continúa con el recorrido del pistón hacia el PMS hasta que este cierre por completo las denominadas lumbreras de admisión. Estas comienzan a ser cerradas por la parte superior izquierda del pistón en la etapa de barrido de la Figura 2-7.

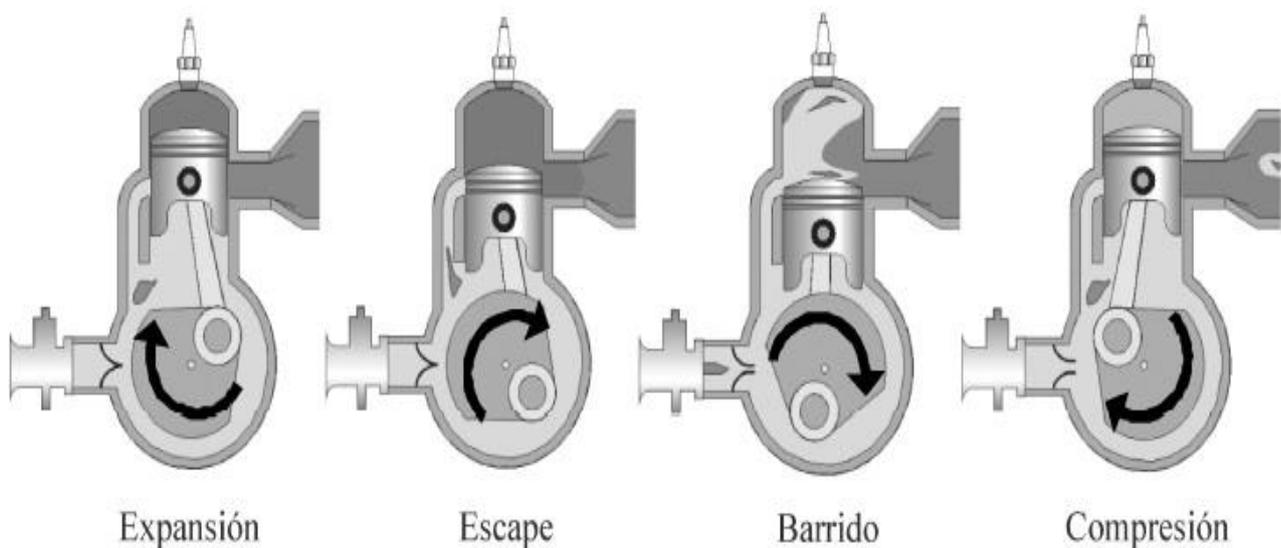


Figura 2-7. Etapas de un motor de dos tiempos de barrido por cárter. (4)

Los motores de 2T pueden ser tanto de encendido provocado como de encendido por compresión. Este tipo de motores no tienen válvulas de admisión pero si pueden tener válvulas de escape. En el

caso de tenerlas, estas serán accionadas mediante un sistema de distribución, de los cuales se hablará más adelante. El otro caso es el que se explica en la Figura 2-7. El ciclo teórico de los 2T queda representado mediante la Figura 2-8.

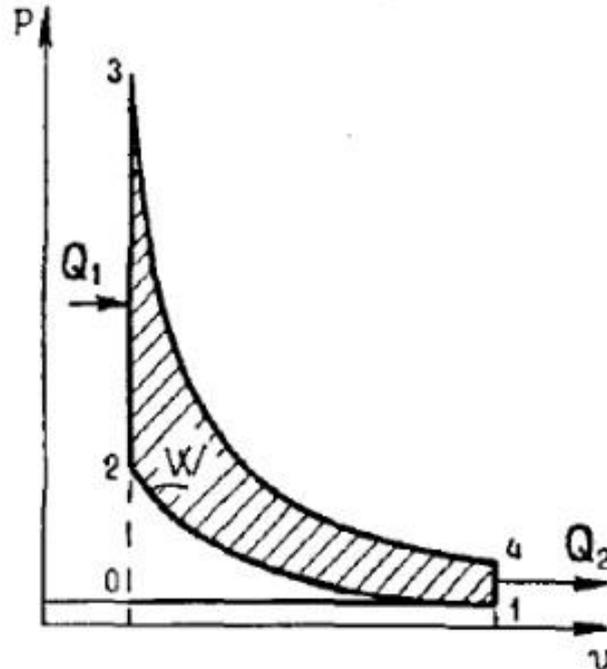


Figura 2-8. Diagrama teórico de un motor de gasolina de 2T. (5)

Este ciclo teórico, como la propia palabra indica, no es exactamente lo que ocurre en la realidad ya que en dicho ciclo no habría accionamiento de válvulas y la admisión y el escape se realizarían puntualmente en el PMS y PMI. En la realidad esto no es exactamente así (Figura 2-9), como veremos en el siguiente ejemplo de un motor diesel de 2T este ciclo queda modificado según los siguientes puntos:

- Punto 1: Inicio de inyección de combustible.
- Punto 2: Fin de inyección de combustible.
- Punto 3: Apertura de galería de escape.
- Punto 4: Apertura de galería de barrido.
- Punto 5: Cierre de galería de barrido.
- Punto 6: Cierre de galería de escape.

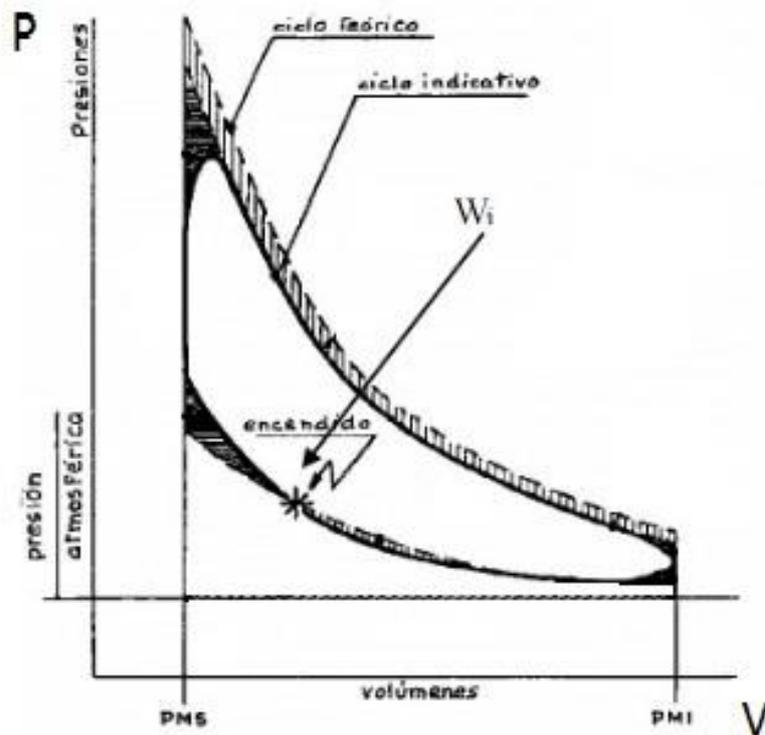


Figura 2-9. Diagrama práctico de un motor de gasolina de 2T. (5)

### Motores de cuatro tiempos (4T)

En estos motores el ciclo de trabajo se realiza, a diferencia de los de dos tiempos, en dos vueltas de cigüeñal, es decir, en cuatro carreras del émbolo, 720 grados de cigüeñal. En estas cuatro carreras del émbolo se realizan las etapas que se detallan a continuación y que se pueden ver de forma gráfica en la Figura 2-10.

- Etapa de admisión: se crea una pequeña depresión en el interior del cilindro con el desplazamiento del émbolo desde el punto muerto superior (PMS), con las válvulas de admisión abiertas y las de escape cerradas hacia el punto muerto inferior (PMI), momento en el que se cierran las válvulas de admisión. Esta pequeña depresión es suficiente para inducir la entrada de aire o de mezcla de aire-combustible, dependiendo del tipo de motor.
- Etapa de compresión: el émbolo se desplaza desde el PMI hacia el PMS con todas las válvulas cerradas comprimiendo el fluido del interior del cilindro. Cerca del PMS se produce la chispa de la bujía en el caso de los MEP o la inyección del combustible si se trata de un MEC.
- Etapa de expansión: con la combustión se produce un aumento de presión de los gases del interior del cilindro desplazando el émbolo hacia el PMI. Esta es la única etapa de la cual se obtiene trabajo.
- Etapa de escape: una vez el émbolo en el PMI se abren las válvulas de escape y este comienza a subir hacia el PMS expulsando los gases procedentes de la combustión hacia el exterior. Al llegar el émbolo al PMS se cierran las válvulas de escape dando comienzo lugar a un nuevo ciclo.

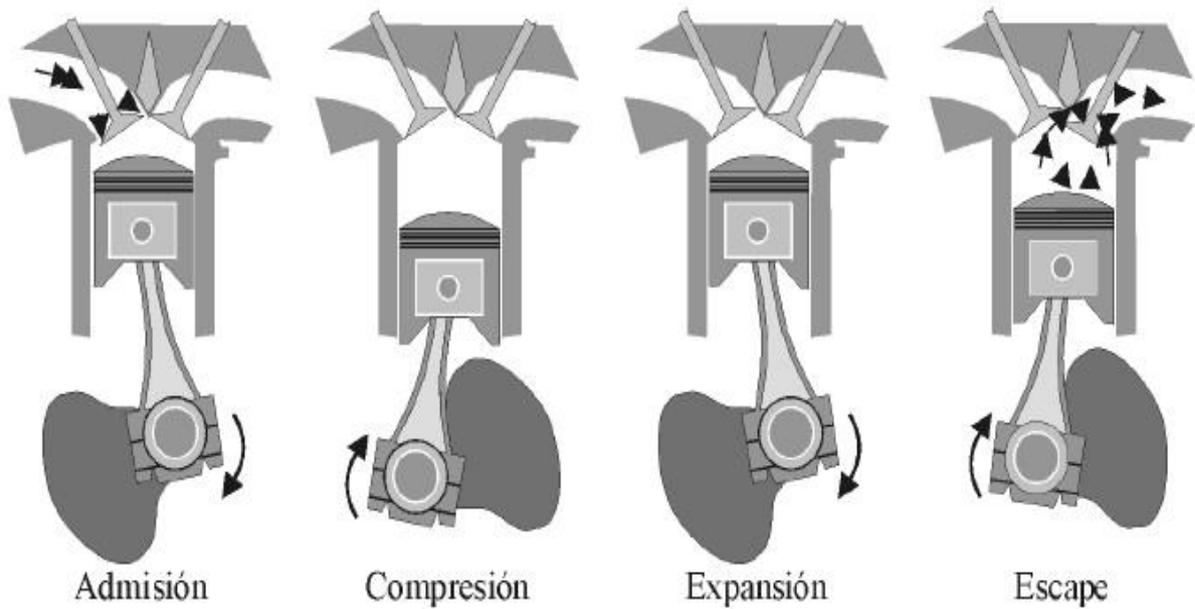


Figura 2-10. Etapas de un motor de cuatro tiempos.

Puesto que la combustión no puede producirse a volumen constante, es necesario modificar ligeramente lo mencionado anteriormente. Dichas modificaciones se realizan en los momentos de apertura y cierre de las válvulas y en el comienzo de la combustión para que estos no coincidan con el punto muerto superior ni con el punto muerto inferior, como se puede observar de forma gráfica en la Figura 2-11.

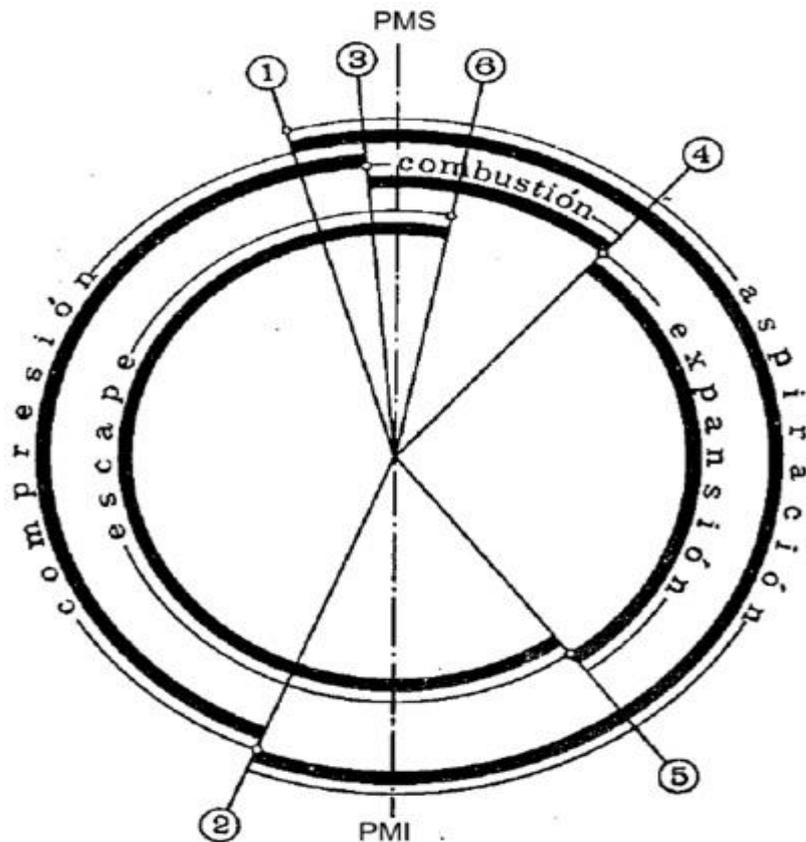


Figura 2-11. Diagrama circular de la distribución de un motor de 4T.

Estas modificaciones son:

- Avance en la apertura de admisión (AAA) (1)
- Retraso en el cierre de la admisión (RCA) (2)
- Avance a la inyección (AI) o avance en el encendido (AE) (3)
- Avance en la apertura de escape (AAE) (5)
- Retraso en el cierre de escape (RCE) (6)

Los anteriores avances o retrasos se pueden definir como el ángulo girado por el cigüeñal desde el punto a tratar hasta el PMS o PMI y viceversa.

La suma de los valores de los ángulos de AAA y de RCE se denomina cruce de válvulas. Durante este periodo las válvulas de admisión y las válvulas de escape permanecen abiertas.

El valor óptimo de todos estos ángulos depende de factores como pueden ser las condiciones de operación del motor, de su régimen de giro, el número de cilindros, la disposición de estos y dimensiones de los colectores de admisión, entre otros factores.

Los motores de cuatro tiempos presentan un diagrama teórico idéntico a los motores de dos tiempos. Al igual que estos, en la práctica se ve modificado por los adelantos de inyección y de apertura de válvulas y retraso de cierre de válvulas. Este diagrama práctico queda reflejado en la Figura 2-12. Este se ve alterado con respecto al teórico por los siguientes puntos:

- Punto 1: Apertura de la válvula de admisión.
- Punto 2: Cierre de la válvula de admisión.
- Punto 3: Inyección de combustible.
- Punto 4: Finalización de la inyección de combustible.
- Punto 5: Apertura de la válvula de escape.
- Punto 6: Cierre de la válvula de escape.

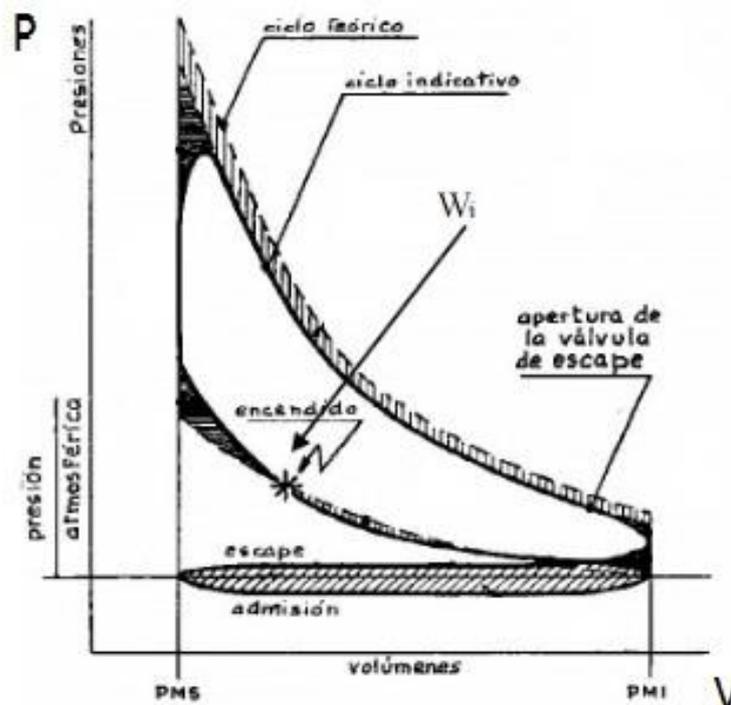


Figura 2-12. Diagrama práctico de un 4T. (5)

### 2.4.2.1.3 Inyección y carburación

Atendiendo a la forma de introducir el combustible en el interior de la cámara de combustión se pueden dividir en motores de inyección y motores de carburación.

#### Motores de inyección

Como norma general, los motores que cuentan con un sistema de inyección encargado de aportar el combustible presentan grandes ventajas sobre los motores que cuentan con carburador como elemento suministrador de la mezcla aire-combustible. Las ventajas se pueden observar tanto en la calidad de la mezcla como en el mejor control de dosado (relación aire-combustible) que se puede llegar a obtener. El tamaño de las gotas del combustible inyectadas es menor que las gotas aportadas por un carburador ya que las primeras son introducidas a una presión superior a la del aire sobre el que se inyecta. Mayoritariamente los sistemas de inyección son eléctricos y electrónicos para obtener la correcta presión de inyección y para calcular la cantidad de combustible necesario para diferentes grados de carga, régimen de motor, posición del acelerador, etc. Ver ANEXO I.

#### Motores de Carburación

El carburador es el elemento de tipo mecánico, utilizado únicamente en motores de encendido provocado, encargado de aportar el combustible líquido y lo mezcla con el aire de admisión mediante el fenómeno de la depresión ocasionada por el flujo de aire cuando circula a través del carburador por un estrechamiento denominado difusor o venturi (Figura 2-13). Este método de aporte de combustible fue utilizado de manera generalizada en los motores de los automóviles hasta la llegada de los sistemas de inyección, mencionados en el apartado anterior. En la actualidad, su uso queda acotado a motores pequeños ya sean de 2T o 4T, en los cuales se les da prioridad a la sencillez o al coste frente a las ventajas de la inyección.

Un dispositivo interno del carburador es la mariposa del acelerador, la cual regula el flujo de aire y por lo tanto la mezcla de aire-combustible. Dicho flujo de aire atraviesa el difusor o venturi, creando una depresión que es mayor que la presión presente en los conductos de admisión. Ver ANEXO II. (6)

El consumo de combustible  $m_f$  se puede calcular mediante la ecuación de Bernoulli, ya que es un fluido incompresible:

$$m_f = C_f * A_f * \sqrt{2 * \rho_f * (\Delta p_d - \rho_f * g * \varepsilon)} \quad (1)$$

Al igual que para el consumo de aire  $m_a$ , considerando los efectos de compresibilidad del aire:

$$m_a = C_a * A_a * \varphi_a * \sqrt{2 * \rho_a * \Delta p_d} \quad (2)$$



Figura 2-13. Carburador de doble cuerpo de apertura simultánea. Simca 1200.

## 2.5 Sistemas de admisión, distribución y refrigeración de un motor alternativo

### 2.5.1 Admisión atmosférica y sobrealimentada

La introducción del aire del exterior, necesario para llevar a cabo el proceso de combustión de un motor alternativo, puede realizarse de dos maneras posibles.

La primera, denominada admisión atmosférica, es realizada por el propio cilindro en su carrera de admisión. Al descender el pistón crea una pequeña depresión por debajo de la presión atmosférica en todo el circuito de admisión, esto hace que el aire entre al cilindro desde el exterior.

La segunda forma tiene lugar con la utilización de los denominados compresores. Estos son elementos externos al propio motor los cuales crean un aumento de la densidad del aire de admisión por medio de un aumento de presión, favoreciendo de esta manera al mejor llenado de los cilindros. Atendiendo al tipo de compresor que se utilice para la sobrealimentación, existen compresores de desplazamiento positivo y los turbocompresores axiales, radiales o de flujo mixto según la circulación del flujo con respecto a su eje de giro (Figura 2-14).



**Figura 2-14. Turbocompresor radial.**

La sobrealimentación tiene, además de estos elementos anteriormente mencionados, elementos periféricos que mejoran el rendimiento de un motor como pueden ser los enfriadores, encargados de reducir la temperatura del aire de entrada al motor (Figura 2-15) (7)



**Figura 2-15. Enfriador de aire. Citroën BX turbo.**

### *2.5.2 Sistema de distribución*

Lo componen todos los elementos mecánicos que realizan la apertura y el cierre de válvulas, tanto de admisión como de escape de un motor. Dicho de otro modo, el sistema de distribución es el encargado de llevar a cabo la renovación de la carga del motor.

Está integrado, en la mayor parte de los casos, por los siguientes elementos: árbol de levas, válvulas, varillas, balancines, taqués, resortes y sistemas de transmisión (Figura 2-16).



**Figura 2-16. Árbol de levas, válvulas y resortes motor K2A de serie.**

Existen diversos tipos de distribución según la posición en que se disponga el árbol de levas. Este puede encontrarse en el bloque o en el lateral (OHV) o en la culata (OHC). El primer caso tiene un mayor número de elementos sensibles a dilataciones y fenómenos de inercia más acusados. El segundo también tiene sus inconvenientes, como puede ser el accionamiento del propio árbol de levas debido a la separación entre este y el cigüeñal.

El árbol de levas es construido en fundición con todas sus levas. Se mecanizan las partes necesarias y se le realizan los tratamientos necesarios para su correcto funcionamiento. Es el encargado de accionar las válvulas y como norma general es movido por el cigüeñal. Los perfiles de las levas que componen dicho elemento presentan líneas complejas en función del rendimiento que se le vaya a exigir al motor.

Conjuntamente con las levas, los muelles también realizaran un papel muy importante ya que son los encargados de mantener cerradas las válvulas evitando que se pierda gran parte de la compresión entre las válvulas y los asientos. Para evitar la presencia del fenómeno denominado resonancia, se suelen instalar alternativas como las de doble resorte cilíndrico o resortes cónicos, entre otras.

### *2.5.3 Sistema de refrigeración*

La refrigeración de un motor alternativo, ya sea de explosión o de compresión, es un problema complejo a tratar. Esto se debe a que los flujos presentes en un motor presentan grandes variaciones de temperatura, desde la admisión con bajas temperaturas hasta el proceso de combustión, en la cual se alcanza una elevada temperatura.



**Figura 2-17. Tractor refrigerado por agua.**

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la transferencia de calor influye directamente en el rendimiento del motor, ya que cuanto mayor sea la transferencia hacia el exterior de las paredes de la combustión, menor será la energía disponible que se utilice para producir un trabajo mecánico. Debido a lo anteriormente mencionado, se podría pensar en aumentar al máximo la temperatura de las paredes que envuelven al proceso de combustión, pero ello no es posible debido a los límites de los propios materiales que forman dicho motor.

La función principal de un sistema de refrigeración es disminuir la temperatura de las partes sólidas que integran un motor evitando un sobrecalentamiento de estas que pueda llevar a un mal funcionamiento o en el peor de los casos a averías.

Existen dos tipos de refrigeración más utilizados hoy en día y son: por líquido o por aire. El primero es el más utilizado en automoción; incluyendo camiones, autobuses e incluso tractores (Figura 2-17). Lo habitual es la utilización de una mezcla entre agua y líquido refrigerante con bajo punto de congelación. Este sistema de refrigeración es complejo debido a la indumentaria exterior que lo compone. En el segundo tipo de refrigeración es el propio aire exterior el encargado de realizar la refrigeración sin la utilización de ningún tipo de líquido refrigerante. Lo habitual es aumentar el área exterior del motor colocando aletas de un material de una elevada conductividad térmica que favorezca el intercambio de calor. Otro mecanismo es el aumento de velocidad del aire que atraviesa el motor.

En condiciones de funcionamiento similares, los sistemas de refrigeración por aire extraen alrededor de un 15% menos de calor que los sistemas por líquido. (8)

## 3 PARTES DEL MOTOR Y MODIFICACIONES

### 3.1 Motor

El motor del presente trabajo, denominado como K2A, pertenece a un Citroën AX GT. Dicho motor, de encendido provocado, tiene una capacidad de 1.360 cc entre sus cuatro pistones en línea, rindiendo una potencia máxima de 63 kW/84 hp a 6400 rpm y un par máximo de 117 Nm a 4000rpm. Su orden de encendido es 1-3-4-2. Se coloca en la parte delantera del vehículo con una orientación transversal. El diámetro de los cilindros es de 75.00 mm y la carrera de los pistones es de 77.00 mm. Su relación de compresión es de 9,3:1. Cuenta con un sistema de distribución de tipo SOHC (Simple Over Head Camshaft), y dos válvulas por cada cilindro, tal y como se ve en la Figura 3-1. El motor es atmosférico, es decir, de aspiración natural y cuenta con un carburador como elemento encargado del aporte de la mezcla aire-combustible necesario para su correcto funcionamiento. Y la aceleración declarada por el fabricante del vehículo es de 0 a 100 km/h en 9,5 s. (9)



Figura 3-1. Sistema de distribución SOHC. Un solo árbol de levas en cabeza.

Para prevenir posibles averías debidas al aumento de potencia que se pretende obtener con todas las modificaciones que se explicarán en los siguientes apartados, se han realizado unos sencillos cambios de piezas en dicho motor.

Entre ellas se encuentra el cambio de cigüeñal, puesto que este es el principal elemento que soportará el aumento de carga y se encargará de transmitir la energía de las combustiones a la caja de cambios. El nuevo cigüeñal es el de serie de un motor de 1.360cc Diesel de PSA, el cual fue diseñado para soportar mayores esfuerzos que el de un motor de gasolina. Ambos cigüeñales presentan las mismas medidas y tolerancias.

Otra modificación del bloque motor han sido las camisas, las cuales se han cambiado por unas de un motor diesel de idénticas medidas. Dichas camisas presentan unos nervios que las hacen más robustas que las camisas de serie (Figura 3-2).



Figura 3-2. Camisa diesel (izquierda) y camisa gasolina (derecha).

## 3.2 Sistema de distribución

El motor K2A cuenta con un sistema de distribución SOHC (Simple Over Head Camshaft). Este tipo de sistema de distribución sitúa el árbol de levas en la culata. Con un único árbol de levas que controla tanto las válvulas de admisión como las de escape a través de balancines.

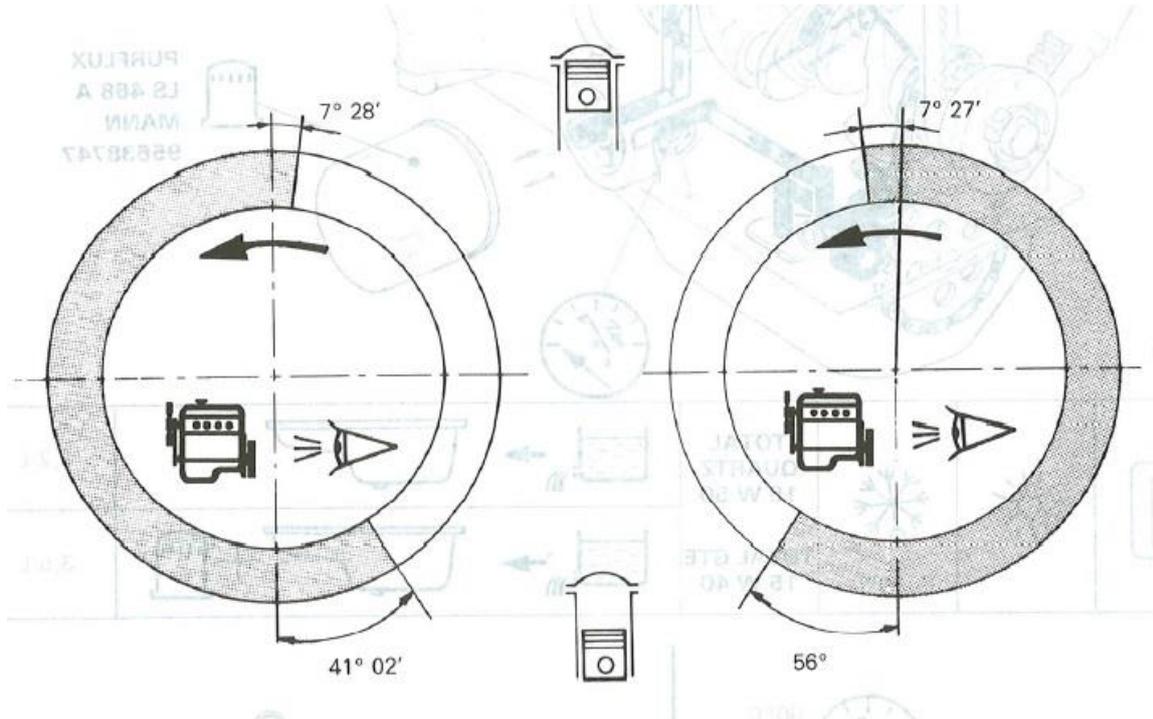
En función de los adelantos y atrasos de la apertura y cierres de válvulas y del cruce entre estas, el motor tendrá una mayor facilidad de llenado de los cilindros debido a que estas estarán abiertas mayor tiempo.

### 3.2.1 Árbol de levas de origen

El árbol de levas de origen presenta los siguientes ángulos de avance y de retraso de aperturas y cierres de las válvulas de admisión y de escape que se detallan en la Tabla 3-1 y en el diagrama circular de la Figura 3-3.

| <b>Motor:</b>                     | <b>K2A</b> |
|-----------------------------------|------------|
| Avance Apertura Admisión (A.A.A.) | 7° 28'     |
| Retraso Cierre Admisión (R.C.A.)  | 41° 02'    |
| Avance Apertura Escape (A.A.E.)   | 56°        |
| Retraso Cierre Escape (R.C.E.)    | 7° 27'     |

**Tabla 3-1. Diagrama de la distribución AX GT. (9)**



**Figura 3-3. Diagrama circular de la admisión (izquierda) y del escape (derecha) del AX GT. (10)**

### 3.2.2 Árbol de levas modificado

Con el cambio del árbol de levas se consigue modificar el diagrama de la distribución del motor y por consiguiente el rendimiento de este. El nuevo árbol de levas presenta los siguientes ángulos de avance y retraso de apertura y de cierre de admisión y de escape, tal y como se puede observar en la Tabla 3-2.

| <b>Motor:</b>                     | <b>M4A</b> |
|-----------------------------------|------------|
| Avance Apertura Admisión (A.A.A.) | 12°        |
| Retraso Cierre Admisión (R.C.A.)  | 50° 48'    |
| Avance Apertura Escape (A.A.E.)   | 48° 48'    |
| Retraso Cierre Escape (R.C.E.)    | 14°        |

**Tabla 3-2. Diagrama de la distribución AX Sport. (9)**

Estos nuevos avances y retrasos se consiguen mediante el alzado de las levas, el cual es diferente con el árbol de levas de origen (Figura 3-4). Esto permite que se incremente el tiempo de la admisión favoreciendo el llenado del motor atmosférico. El tiempo de la etapa de escape permanece aproximadamente constante variando únicamente la apertura y cierre de este para favorecer aún más a la etapa de admisión.

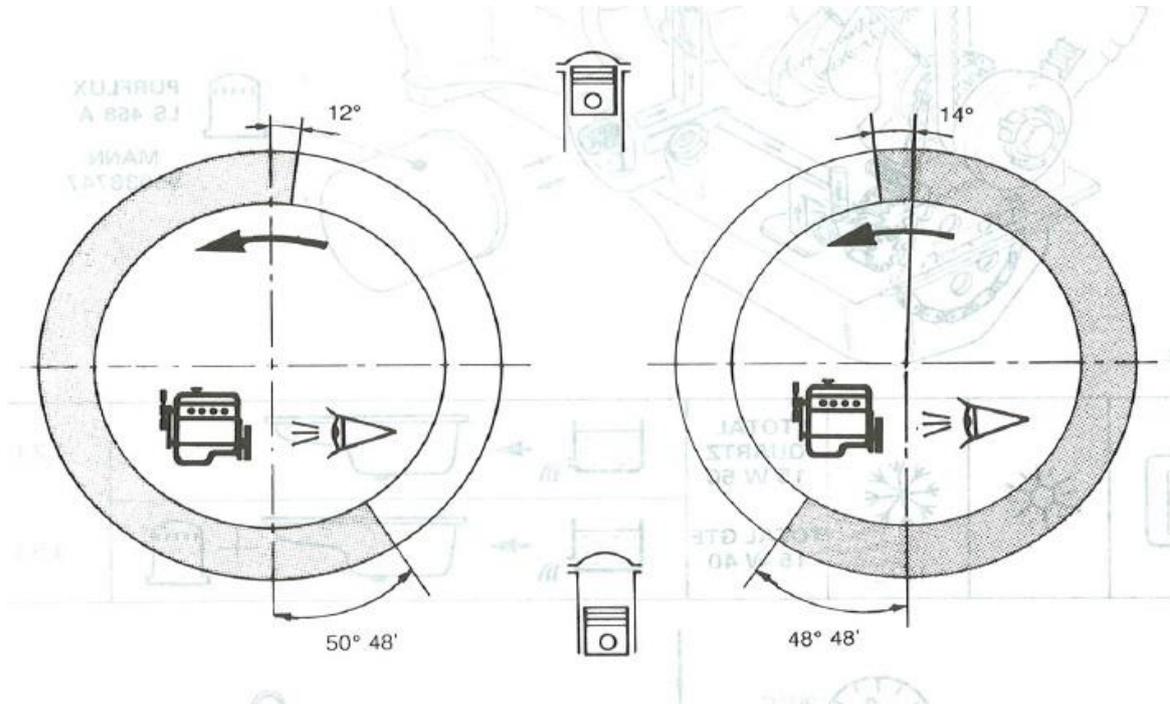


Figura 3-4. Diagrama circular de la admisión (izquierda) y del escape (derecha) del AX Sport. (10)

El nuevo elemento del sistema de distribución (Figura 3-5) pertenece a un Citroën AX Sport.



Figura 3-5. Árbol de levas de Citroën AX Sport.

Dicho árbol de levas presenta las mismas medidas en los apoyos en culata que el de serie por lo que no es necesario un cambio de culata. Por el contrario si es conveniente el cambio de muelles

encargados de realizar el cierre de las válvulas contra los asientos de la culata. A altas revoluciones, los muelles de serie no son capaces de realizar un correcto cierre de válvulas por lo que se pierden prestaciones. Para evitar esto es necesario instalar, junto con el árbol de levas del AX Sport, los muelles del nuevo elemento encargado de la apertura de las válvulas.

### 3.2.3 Válvulas

El motor K2A de Citroën cuenta con ocho válvulas, una de admisión y otra de escape por cada cilindro, tal y como se puede observar en la Figura 3-6. Las válvulas de admisión tienen un diámetro ligeramente mayor que las de escape. Esto se debe a que de esta manera se favorece un mejor llenado del cilindro, ya que este se realiza mediante la succión creada por el propio pistón en su carrera de admisión. Por el contrario, no existe la necesidad de que las válvulas de escape tengan un diámetro mayor, como las de admisión, ya que es el propio pistón el encargado de expulsar al exterior todos los gases procedentes de la combustión en su carrera de escape.



Figura 3-6. Plano de cierre de la culata con el bloque del motor K2A.

Las características generales de las válvulas quedan reflejadas en la Tabla 3-3.

| Motor                        | K2A         |
|------------------------------|-------------|
| Diámetro cabeza de válvulas: |             |
| -Admisión                    | 36,7        |
| -Escape                      | 29,2        |
| Longitud de las válvulas:    |             |
| -Admisión                    | 112,76      |
| -Escape                      | 112,56      |
| Diámetro cola de válvulas:   |             |
| -Admisión                    | 6,980-0,015 |
| -Escape                      | 6,960-0,015 |

Ángulo asiento de válvulas:

|           |      |
|-----------|------|
| -Admisión | 120° |
| -Escape   | 90°  |

---

**Tabla 3-3. Características válvulas motor K2A. (9)**

Las ocho válvulas, al igual que los asientos de las válvulas de la culata, de los cuales se hablará más adelante, se han rectificadas para conseguir un buen cierre contra los asientos, con una máquina rectificadora de válvulas (Figura 3-7). Es importante rectificar las válvulas antes que los asientos para conocer el ángulo exacto de estas, proceder a modificar las muelas abrasivas con los ángulos necesarios para realizar el rectificado de los asientos que se explicará en el subapartado 3.3.2.



**Figura 3-7. Máquina rectificadora de válvulas.**

En la representación de la válvula y el asiento de la Figura 3-8 se puede observar la pequeña diferencia entre los ángulos de la válvula y del asiento de la válvula. Dicha diferencia entre estos dos elementos permitirá un correcto cierre entre ambos cuando el motor alcance la temperatura óptima de trabajo.

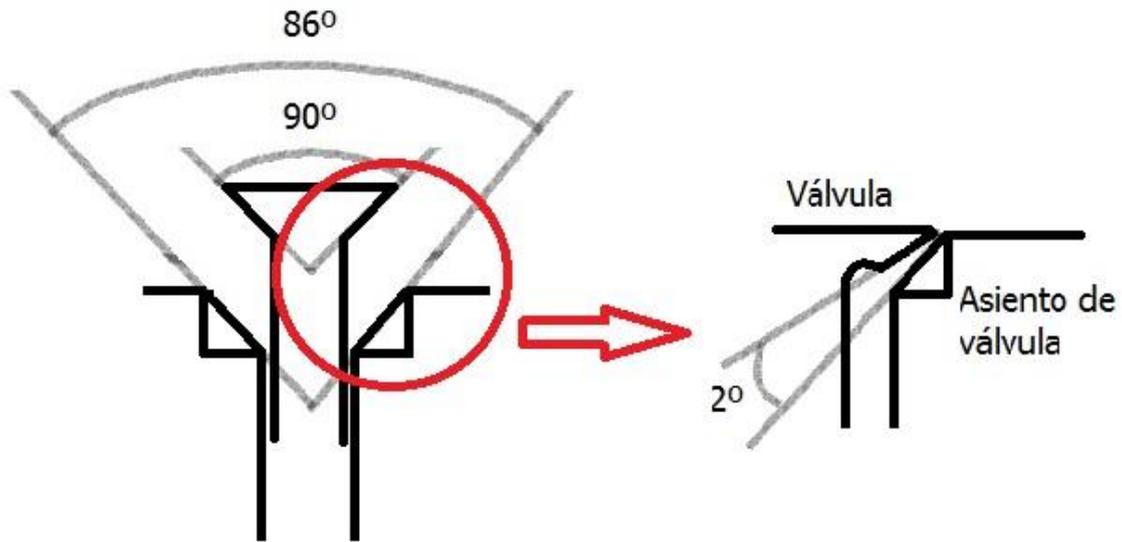


Figura 3-8. Gráfico diferencia de ángulos entre válvula y asiento de válvula.

### 3.3 Culata

También denominada como tapa del cilindro, tiene como función tapar la cámara de combustión para que los gases procedentes de la combustión queden comprimidos en su interior. La cara de cierre de los cilindros es la cara superior, donde van alojadas las válvulas, tal y como se puede ver en la Figura 3-9. En el caso del motor K2A, la culata es de aluminio con alojamiento para cuatro válvulas de admisión y cuatro de escape, con el árbol de levas en cabeza (distribución de tipo SOHC).



Figura 3-9. Culata motor K2A con su sistema de distribución SOHC.

En la Tabla 3-4 se puede observar las características y datos de la culata del motor K2A referentes los diámetros y ángulos de los asientos de las válvulas y su posible deformación.

| Motor                       | K2A     |
|-----------------------------|---------|
| Deformación máx. de culata  | 0,05    |
| Ángulo asiento de válvulas: |         |
| -Admisión                   | 120°    |
| -Escape                     | 90°     |
| Diámetro guía de válvulas:  |         |
| -Admisión                   | 7+0,022 |
| -Escape                     | 7+0,022 |

**Tabla 3-4. Características culata K2A. (9)**

### *3.3.1 Conductos admisión y escape*

La principal mejora que se ha llevado a cabo en la culata ha sido el mecanizado de los conductos de admisión y de escape de los cuatro cilindros. Para ello se han utilizado varias fresas de diferentes tipos y tamaños adecuándolas a las complejas formas de los conductos que forman la culata para eliminar la mayor parte posible de material. Una vez finalizado este proceso se eliminan las pequeñas rugosidades de los conductos con una lija fina. El proceso de eliminación de material se puede observar en la Figura 3-10.

La principal ventaja de este proceso es favorecer el llenado de los cilindros del motor atmosférico objeto de estudio. Para motores en los que se busque unas especificaciones y un rendimiento muy alto a muy altas revoluciones de giro, el cual no es el objetivo de este trabajo, no sería conveniente eliminar totalmente estas pequeñas rugosidades puesto que favorecen la mezcla del aire con el combustible que vaya a entrar al cilindro para obtener una combustión homogénea.

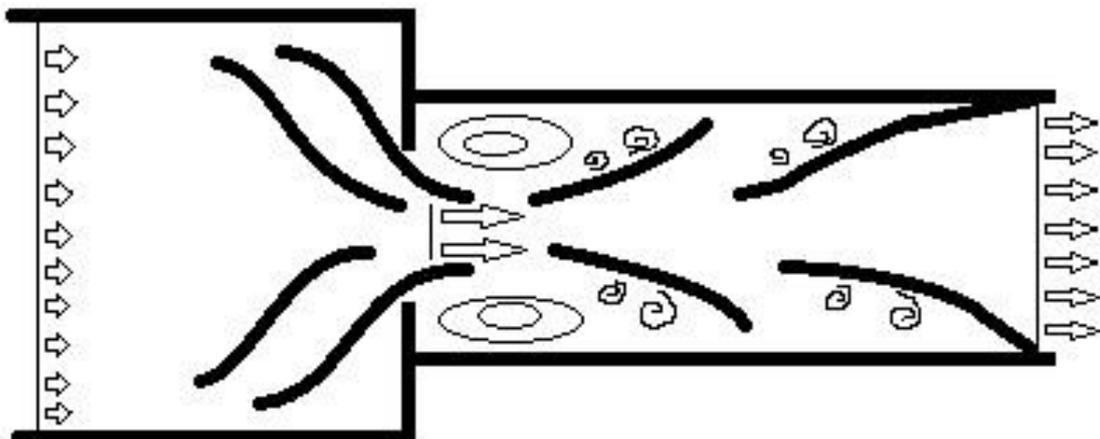
Este es un proceso lento y complejo, ya que se tiene que ir comprobando con frecuencia la similitud con los conductos de los otros cilindros. Si existiese una gran diferencia entre los conductos de los cuatro cilindros variaría el flujo de admisión y escape por lo que el rendimiento de los cilindros no sería igual entre ellos, provocando cargas de trabajo diferentes para cada cilindro. Como consecuencia se produciría una pérdida de rendimiento del motor en general, además podría causar graves averías debido a la diferencia de temperaturas creadas por la variabilidad de las cargas de cada cilindro. Estos podrían dilatarse demasiado y aparecer el fenómeno de gripado del motor. Proceso en el cual los materiales de los elementos móviles que están en contacto llegan a soldarse entre ellos.

Otro motivo que hace que esta reforma sea un proceso lento es la posibilidad de llegar a eliminar demasiado material de los conductos de escape de la culata, dejando un delgado espesor de material entre el conducto de salida de los gases de escape y los conductos internos de circulación del agua de refrigeración del motor. Esto podría llegar a producir puntos de elevada temperatura en zonas de paredes delgadas dando lugar a la formación de burbujas en el agua. Dicho fenómeno sería un grave problema ya que crearía una elevada presión en el circuito de refrigeración llegando al deterioro o ruptura de algún elemento importante tanto del propio motor como del circuito del agua refrigerante.



**Figura 3-10. Mecanizado de los conductos de admisión y de escape de la culata.**

Además de esto y paralelamente, se han enfrentado los conductos de admisión de la culata con el colector de admisión y los conductos de escape de la culata con la entrada del escape, con la finalidad de reducir las turbulencias que se puedan provocar en los cambios de secciones tanto de la mezcla como de los gases de escape (Figura 3-11).



**Figura 3-11. Ejemplo de singularidad: cambio de sección en un conducto.**

Esto perjudicaría, de una forma directa, el llenado y el vaciado de los cilindros. Para llevar a cabo este proceso se realiza una plantilla en una de las partes de unión y se traslada a la otra parte. Para que dicha plantilla sea lo más exacta posible, se debe hacer sobre la misma pieza con la ayuda de un martillo, golpeando suavemente contra las aristas de la propia pieza (Figura 3-12). De esta manera se puede comprobar la diferencia entre estas dos partes que resulta ser la cantidad de material que se necesita eliminar, aproximando estas uniones casi por completo a un conducto continuo.



**Figura 3-12.** Plantilla de los conductos de admisión en el carburador.

Como se ha mencionado anteriormente, ambas operaciones se realizan para evitar turbulencias y favorecer el flujo de aire-combustible de entrada y la salida de gases, aunque estos sean expulsados de forma presurizada por el cilindro.

### *3.3.2 Rectificado de los asientos de las válvulas*

Con la finalidad de obtener un mejor cierre de las válvulas contra los asientos de las válvulas de la culata se ha llevado a cabo un rectificado de estos últimos con una máquina rectificadora de los asientos de las válvulas (Figura 3-13). Los asientos de la culata de este motor son de acero para evitar deformaciones producidas por la válvula en su cierre contra estos. Los asientos son introducidos a presión en la culata de aluminio. Para realizar el rectificado serán necesarias unas muelas especiales de las que se hablará más adelante en este mismo apartado.



**Figura 3-13.** Máquina rectificadora de asientos de válvulas.

Como ya se ha mencionado en la Tabla 3-4, los asientos de las válvulas tienen distintos ángulos ya se trate de los de admisión o de los de escape. Para los primeros se realizarán con una inclinación de  $120^\circ$  y para los segundos de  $90^\circ$ . El primer paso es realizar una extracción de material en las proximidades del asiento, tanto hacia el interior del cono del alojamiento de la válvula, el cual favorecerá el llenado en la etapa de admisión y la expulsión de gases en la etapa de escape, como del cono de salida, para estrechar el asiento y que el diámetro de este no sea mayor que el de la propia válvula. Este proceso se realiza de la misma forma que el rectificado del asiento que será explicado a continuación.

Por último se llevará a cabo el rectificado del asiento propiamente dicho. Para ello se utilizan fresas o muelas abrasivas, realizando un diamantado previo de estas con la finalidad de obtener el ángulo apropiado para cada tipo de válvula (Figura 3-14). Para las de admisión se tendría que utilizar una muela abrasiva con un ángulo de  $60^\circ$  y para las de escape de  $45^\circ$ . Ambos ángulos tienen un valor aproximado a estos valores como ya se ha explicado anteriormente en función de las válvulas.

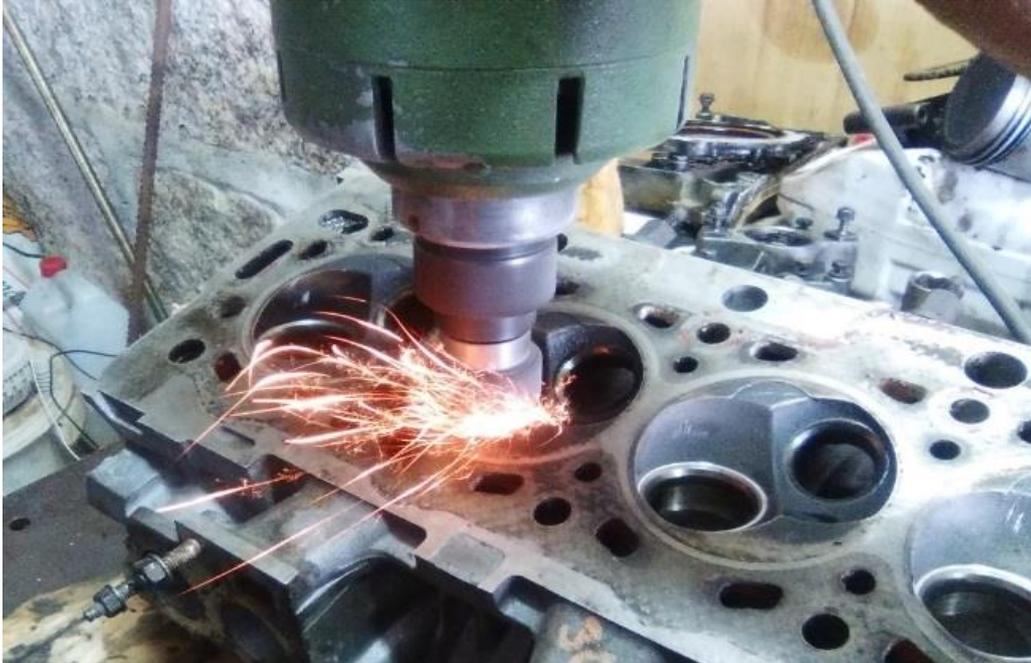


**Figura 3-14. Modificación del ángulo de la piedra de carborundum.**

Dicho ángulo no es exactamente el mismo que el de las válvulas puesto que las elevadas temperaturas que se llegan a alcanzar en la cámara de combustión llegan a producir una ligera deformación en las proximidades del asiento de dichas válvulas. Debido a que el cierre de la válvula contra el asiento en la culata se hace por medio de muelles que tiran de la válvula por su pie, esta tiende a introducir los exteriores del asiento hacia el interior puesto que el vástago tira de la parte central. Dicha deformación hace modificar el ángulo de la válvula, de esta forma obtenemos por ejemplo que las válvulas de escape pasan de  $90^\circ$  a  $87^\circ$  aproximadamente. De esta forma se obtiene un perfecto cierre de válvulas siempre por el exterior del asiento de estas. La diferencia entre ángulos se puede apreciar de una forma clara en la Figura 3-8.

Las válvulas que mayor deformación experimentan son las de escape debido a las altas temperaturas en dicha zona. Esta variación no es tan pronunciada en las válvulas de admisión puesto que estas son refrigeradas constantemente por la mezcla aire-combustible. Esta operación consiste en la extracción del material del asiento hasta dejarlo lo más liso posible para que haga buen cierre con la válvula. Para llevar a cabo el rectificado se inserta una varilla en la guía de la válvula, para centrar la

máquina con el asiento (para describir un movimiento de la muela abrasiva concéntrica). A continuación se coloca la muela de carborundum con la cual se va a trabajar en la máquina y se introduce en la varilla. Dicha máquina girará sobre la varilla describiendo un movimiento orbital y haciendo girar la muela a derechas como se puede observar en la Figura 3-15.



**Figura 3-15. Mecanizado de los asientos de las válvulas en culata.**

Este es un proceso que debe realizarse con una alta precisión o de lo contrario las válvulas no realizarán un correcto cierre contra los asientos de estas, perdiendo gran parte de la compresión de la cámara de combustión. Es suficiente con marcar con lápiz el asiento rectificando y hacer girar la válvula con la mano contra el asiento para comprobar si se ha realizado la operación con éxito. Si dichas marcas de lápiz desaparecen significa que el proceso se ha realizado correctamente.

Existe un mecanismo similar al que se ha explicado anteriormente. Es conocido con el nombre de esmerilado. Dicho proceso se realiza colocando una ventosa en la válvula y pasta de pulir entre el asiento y la válvula. Era utilizado en motores antiguos y de muy bajas revoluciones. En los motores actuales no es recomendado puesto que es la válvula la que se adapta al asiento y no al contrario, ya que este es de una dureza mayor que la primera. Además no existiría esa diferencia de ángulos entre la válvula y el asiento tal y como se ha explicado.

### *3.3.3 Rebaje de la culata*

El rebaje de la culata consiste en la eliminación de material de la cara de cierre de la culata contra el bloque de manera homogénea. Dependiendo de la cantidad de material eliminado se obtendrá una mayor o menor relación de compresión, siendo ambos directamente proporcionales.

Esto se debe a que se reduce la cámara de compresión de los cilindros. Si se tratase de un motor diesel sería necesario realizar un enterrado de válvulas para favorecer el retranqueo, evitando que estas lleguen a tocar con el cilindro en el PMS. En la culata objeto de estudio no ha sido necesario realizar este proceso ya que las válvulas van alojadas en la propia cámara de la culata (Figura 3-16). Dicha culata se ha rebajado 1,2 mm dando lugar a una nueva relación de compresión que se explicará en el apartado 3.3.4.

Modificando la relación de compresión se aumenta, de una forma eficaz, el par motor y por consiguiente la potencia del motor. Consiste en aumentar la temperatura y la presión del gas en el

interior del cilindro con la finalidad de obtener una combustión más potente y rápida. Con la ventaja de ser una combustión más rápida permite retrasar el encendido permitiendo al pistón comprimir, durante ese retraso de encendido, el aire con menos esfuerzo que si ya se estuviese produciendo la combustión.

Este proceso también presenta desventajas si se aumenta de forma excesiva la relación de compresión, en especial con los motores que introducen el combustible con el aire, como el motor objeto de estudio de este trabajo, puesto que un elevado aumento de presión y de temperatura podrían llegar a producir el autoencendido de la mezcla, el cual sería un grave problema. En dicho proceso el motor intentaría cambiar el sentido de giro, puesto que la combustión comenzaría varios grados antes de lo previsto provocando el empuje del pistón hacia abajo cuando este aún estaría comenzando la etapa de compresión. Esto provocaría una gran pérdida de potencia dando lugar a grandes tensiones en diversas partes del motor como pueden ser el pistón, la biela e incluso el cigüeñal.



**Figura 3-16. Alojamiento de válvulas en la cámara de compresión.**

Otro inconveniente sería la detonación o también conocido como picado. Dicho proceso aparece cuando se crean dos ondas que chocan entre sí, una producida por la chispa de la bujía y otra por el aumento de presión en el interior del cilindro. Esto produce grandes fuerzas que empujan al pistón pudiendo llegar a destruir el motor en un breve periodo de tiempo.

#### *3.3.4 Modificación de la cámara de combustión*

La cámara de combustión es el espacio comprendido entre la culata y la cabeza del pistón en donde tiene lugar, como su propio nombre indica, la combustión de la mezcla aire-combustible. Como consecuencia de haber rebajado la culata del motor K2A, se tiene una reducción de la cámara de combustión o lo que es lo mismo un aumento de la relación de compresión.

La relación de compresión ideal (o también denominada teórica) es aproximadamente de 7:1. Dicha relación se conseguiría si las válvulas de admisión se cerrasen justo cuando el pistón pasa por PMI, con unas condiciones de trabajo ideales (altitud, cantidad de  $O_2$ , etc) y sin obstáculos en los conductos de admisión. Como ya se ha explicado en el subapartado 2.4.2.1.2 en el diagrama circular de los motores de cuatro tiempos, las válvulas se cierran pasado el PMI, en función del sistema de distribución que tenga el motor. Debido a estos motivos se calcula la denominada relación de compresión volumétrica, la cual se calcularía desde el cierre de las válvulas de admisión hasta el PMS. Se presentan varios problemas a la hora de calcular el volumen del cilindro ya que cuando se cierran

las válvulas el pistón se encontrará en una cierta posición. Como consecuencia se asume una relación de compresión mayor que la ideal para el correcto funcionamiento del motor. El motor K2A tiene una relación de compresión de serie de 9,3:1 (apartado 3.1).

Para calcular la relación de compresión del caso de estudio, se tiene que calcular el volumen del cilindro cuando este se encuentra en el PMS, de la junta de la culata y de la cámara de la culata. Debido a las complejas formas que presenta la cámara de la culata y la cabeza del pistón, se utiliza aceite para medir el volumen que se puede almacenar en estas cavidades.

Tras la realización de las medidas de los tres elementos (Figura 3-17 y Figura 3-18) se ha calculado la relación de compresión de serie y la nueva relación de compresión mediante la siguiente ecuación:

$$RC = (V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cámara de combustión}}) / V_{\text{cámara de combustión}}$$

En donde:

$$V_{\text{cilindro}} = \text{Área cilindro} * \text{Carrera del pistón}$$

$$V_{\text{cámara de combustión}} = V_{\text{junta culata}} + V_{\text{cabeza pistón}} + V_{\text{culata}}$$



Figura 3-17. Medición del volumen del cilindro en su PMS.

Siendo el volumen del cilindro de  $340.175,60\text{mm}^3$  (340,18cc), igual para antes y después de las modificaciones (dicho resultado se ha obtenido de la operación:  $V_{\text{cilindro}} = \pi * (75/2)^2 * 77$ ).

Datos obtenidos sin realizar modificaciones:

- $V_{\text{cabeza pistón}}$ : 11ml (11cc).
- $V_{\text{junta culata de origen}}$ :  $6.626,80\text{mm}^3$  (6,63cc).
- $V_{\text{culata}}$ : 24ml (24cc).
- $V_{\text{total}}$ : 41,63cc.

$$RC = (340,18 + 41,63) / 41,63 = 9,17:1.$$

Datos obtenidos después de las modificaciones:

- $V_{\text{cabeza pistón}}$ : 11ml (11cc).
- $V_{\text{junta culata de origen}}$ :  $6.626,80\text{mm}^3$  (6,63cc).
- $V_{\text{culata}}$ : 20,50ml (20,50cc).
- $V_{\text{total}}$ : 38,13cc.

$$RC = (340,18 + 38,13) / 38,13 = 9,92:1.$$



Figura 3-18. Medición del volumen de la cámara de la culata.

### 3.4 Sistema de alimentación (carburador)

El carburador es el elemento encargado de suministrar el combustible al motor K2A. Dicho dispositivo trata de ofrecer un buen laminado de la mezcla de admisión, tanto de gasolina como de aire, en el mayor rango de revoluciones posibles de trabajo del motor. Este proceso se obtiene con la utilización de pasos calibrados (conocidos como chiclés), difusores, tubos de emulsión o la mariposa del aire, entre otros (Figura 3-19).



Figura 3-19. Despiece carburador WEBER 36 DCA.

El carburador cuenta con un sistema de suministro de combustible, paralelo al principal, que aporta la cantidad justa para mantener al motor girando, cuando este se encuentra en el estado de ralentí. Durante este tiempo el sistema principal se mantiene cerrado. En la Figura 3-20 se puede ver una representación simplificada de un carburador.

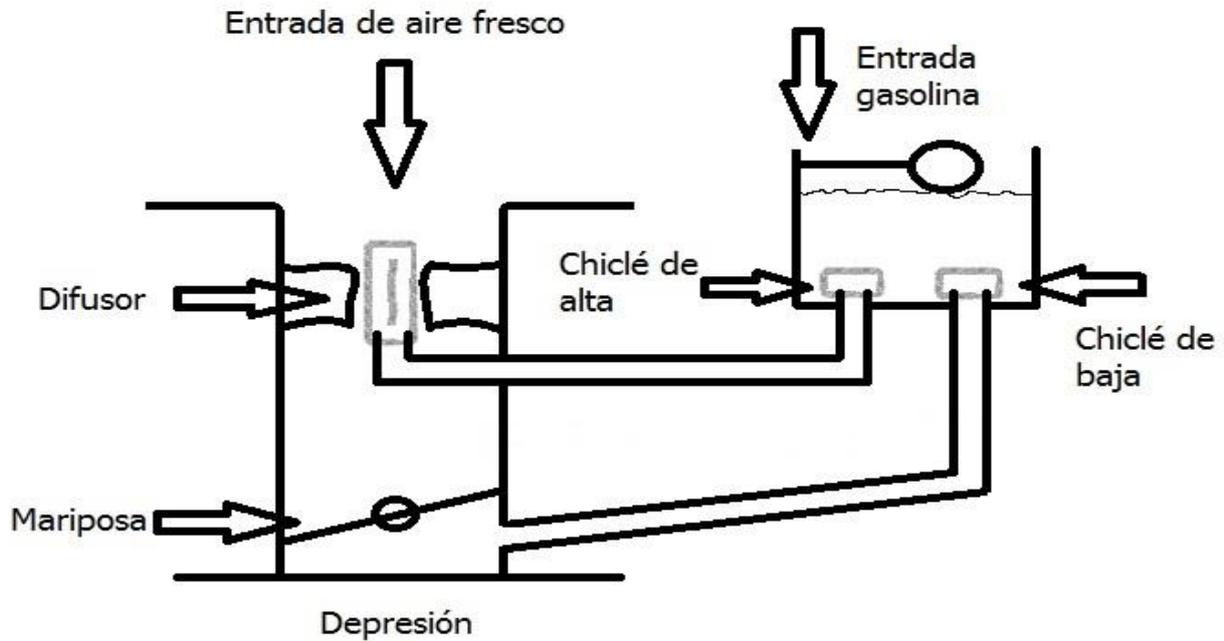


Figura 3-20. Esquema básico de un carburador.

### 3.4.1 Carburador de serie

El Citroën AX GT cuenta con un carburador de apertura diferenciada de doble cuerpo del tipo SOLEX 32-34Z2 (Figura 3-21).

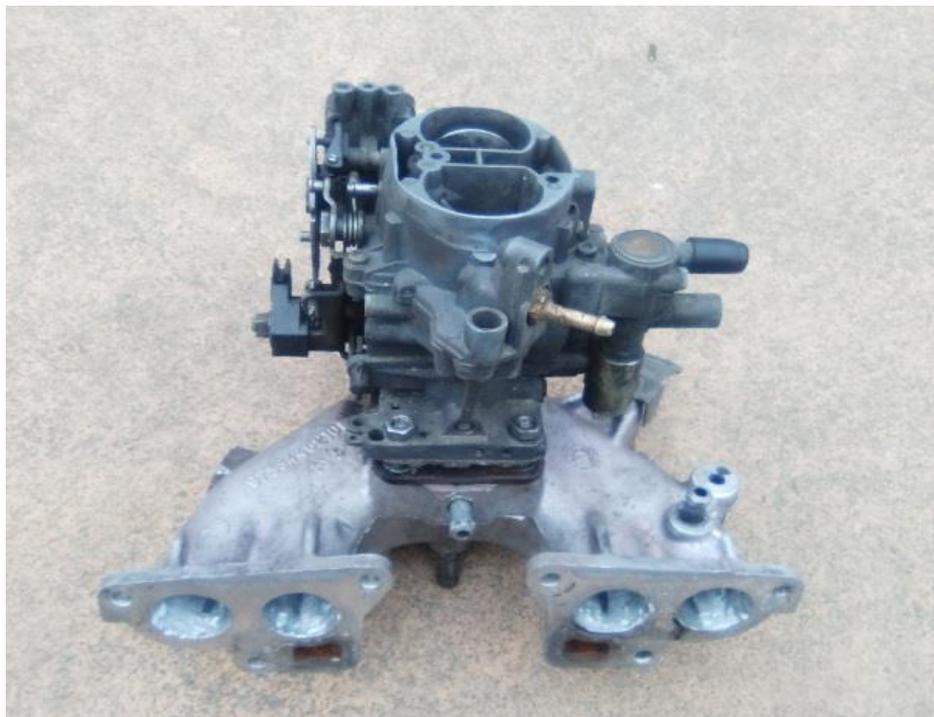


Figura 3-21. Carburador SOLEX 32-34Z2 PSA 409.

Dichos cuerpos tienen diámetros diferentes, el mayor se utiliza a bajas, medias y altas revoluciones del motor mientras que el de menor diámetro solo se usa en altas revoluciones, cuando el motor necesita el máximo aporte de combustible. El aporte del flujo superior es proporcionado en función de la posición en la que se encuentre el pedal de acelerador, el cual será el encargado de realizar la apertura del segundo cuerpo del carburador (aproximadamente cuando el motor se encuentre a un régimen de giro alrededor de las 4.500 rpm).

Los datos técnicos y características de este carburador se pueden observar en la Tabla 3-5.

| <b>Motor</b>       | <b>K2A</b>          |                    |
|--------------------|---------------------|--------------------|
| Marca carburador   | SOLEX               |                    |
| Tipo carburador    | 32-34Z2 PSA 409     |                    |
|                    | 1 <sup>er</sup> cpo | 2 <sup>o</sup> cpo |
| Difusor            | 24                  | 27                 |
| Surtidor principal | 155                 | 175                |
| Ralentí (rpm)      | 750 ± 100           |                    |
| % CO               | 0,8 a 1,2           |                    |
| %CO <sub>2</sub>   | 9                   |                    |

**Tabla 3-5. Características carburador motor K2A. (9)**

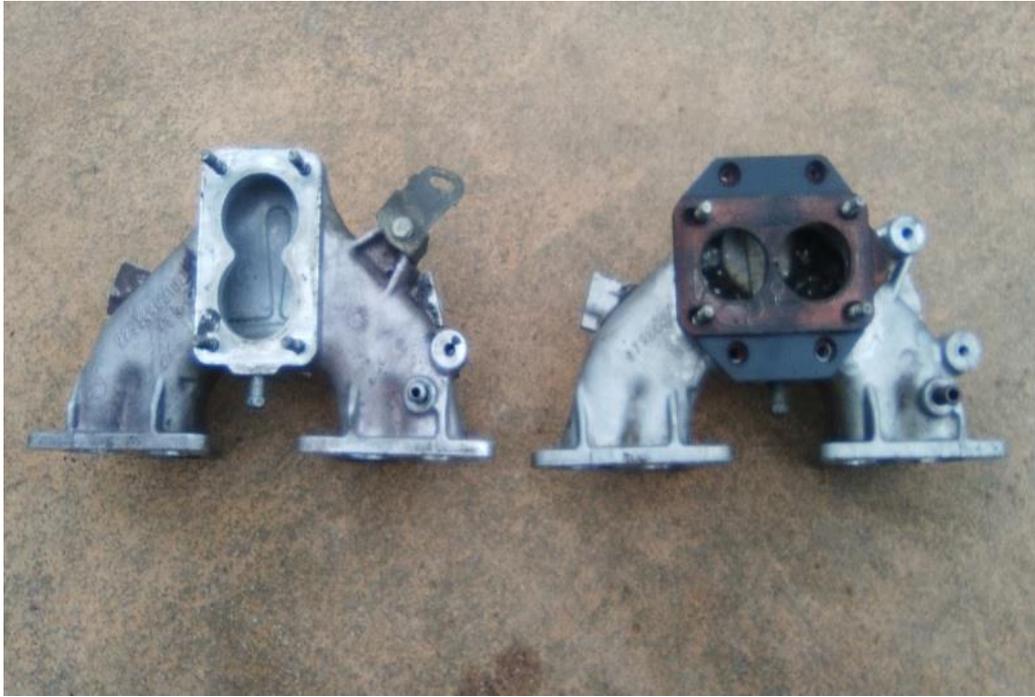
### 3.4.2 Modificaciones del carburador

El nuevo elemento suministrador de la mezcla es un carburador de apertura simultánea de doble cuerpo. Ambos cuerpos tienen el mismo diámetro con idénticas características entre ellos. A diferencia del carburador de serie del motor K2A, este proporciona un mayor flujo de mezcla de forma instantánea independientemente del régimen de giro del motor. Se trata de un carburador del tipo WEBER 36 DCA proveniente de un SIMCA 1200 (Figura 3-22).



**Figura 3-22. Carburador WEBER 36 DCA.**

Dicho carburador se instaló en el colector de admisión del AX. Para ello se reformó el soporte de apoyo del nuevo carburador en los propios conductos de admisión (ver Figura 3-23). Además, se modificó la orientación con respecto al carburador de serie. Este trabajaba con los dos cuerpos perpendiculares a la disposición de los cilindros del motor (Figura 3-21). El nuevo elemento suministrador de combustible trabaja con los dos cuerpos paralelos a la línea del motor (Figura 3-22).



**Figura 3-23. Conducto admisión de serie (izquierda) y modificado (derecha).**

Otra ventaja de este carburador es que la cuba donde se almacena la gasolina se encuentra en la parte delantera de este, evitando que en las aceleraciones del vehículo el suministro del combustible sea escaso debido a que este se desplace hacia la parte posterior. De esta manera la gasolina tiene que vencer a las fuerzas de aceleración para proporcionar el combustible suficiente a los cuerpos del carburador de serie.

Además, el colector de admisión cuenta con un sistema de regulación de la temperatura del aire de admisión (ANEXO III). Dicho sistema de regulación consiste en hacer circular el agua del circuito de refrigeración por un conducto en la parte inferior del colector de admisión, tal y como se puede observar en las marcas de la Figura 3-22. Este conducto de agua es independiente a los conductos de admisión que proporcionan la mezcla a los cilindros. Cuando el agua del circuito de refrigeración alcanza su temperatura de trabajo mantiene caliente los conductos de admisión. De esta manera se consigue que la mezcla aire-combustible entre a una mayor temperatura que el aire del exterior. Por esto, la cantidad de oxígeno y de gasolina se verá reducida pues estos aumentarán de volumen.

Para aumentar la capacidad de aire y de combustible de entrada necesarios para llevar a cabo la combustión, este sistema de regulación de temperatura se eliminó permitiendo la entrada de la mezcla al máximo.

### **3.5 Línea de escape**

La línea de escape es una de las partes más importantes de un motor, la cual contribuye de una forma directa al aumento de rendimiento de un motor alternativo de combustión interna. Como norma general, la línea de escape está compuesta por los siguientes elementos: colector, catalizador, silenciador delantero y silenciador trasero. En el caso objeto de estudio no cuenta con el catalizador

(ANEXO IV). La pérdida de carga en los elementos del sistema de escape, junto con los de admisión, repercute sobre el rendimiento volumétrico y en el trabajo de bombeo del motor.

Su principal función es la extracción de los gases procedentes de la combustión pero, esta no es la única importante ya que además es la parte encargada de la generación de una contrapresión que producen los distintos elementos silenciadores, del tratamiento de los gases de exhaustación y del ruido en el extremo de la línea de escape cuando estos son expulsados al exterior.

El efecto de la contrapresión tiene lugar en el periodo de cruce de válvulas en el que las válvulas de admisión y de escape se encuentran simultáneamente abiertas. Dicho proceso consiste en evitar que parte de la mezcla que entra al cilindro salga al exterior por la válvula de escape. Si la contrapresión es demasiado elevada durante el cruce de válvulas la salida de gases se verá dificultada e incluso se podría llegar a producir un reflujo hacia el colector de admisión a través de la válvula de admisión.

Tras las mejoras realizadas en los conductos de admisión y de escape de la culata así como de las válvulas y de los asientos de las válvulas los cuales aumentan la cantidad de aire fresco admitido, es necesario, de una forma directa, mejorar el sistema de escape que favorezca la evacuación del aumento de gases.

Por este motivo se ha llevado a cabo la modificación de la línea completa del escape, en la cual se ha colocado un colector 4-2-1 (Figura 3-24) con un silenciador delantero y otro trasero.



**Figura 3-24. Colectores 4-2-1 de acero inoxidable.**

Como se puede observar en la Figura 3-24, el conducto de escape del cilindro n°1 se encuentra unido al n°2 y los cilindros centrales entre ellos. Cada pareja se encuentra unida a un tubo que finalmente se unen los dos para continuar el resto de la línea de escape con tan solo un tubo (de aquí se obtienen los números 4-2-1). Mediante esta disposición se contribuye al ya explicado proceso de contrapresión.

A continuación de los colectores se le instalan dos silenciadores. El más cercano al motor, tiene entre sus funciones la de colaborar a crear la contrapresión además de eliminar ruidos procedentes de las explosiones del motor y de los colectores, ya que estos se incluyen habitualmente como parte integrante del motor, hacia el exterior(Figura 3-25). El silenciador trasero, colocado en la parte final de la línea de escape se encarga de reducir al máximo el ruido (Figura 3-26).



**Figura 3-25. Silenciador delantero.**



**Figura 3-26. Silenciador trasero.**

### 3.6 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración es el encargado de extraer el calor procedente de la combustión y cedérselo al ambiente. Para ello utiliza diferentes elementos periféricos como pueden ser el radiador, el electroventilador o el termostato, una de las piezas más importantes en el rendimiento de un motor (Figura 3-27).



**Figura 3-27. Electroventilador de serie (izquierda) y modificado (derecha).**

El termostato es el encargado de mantener una temperatura óptima de trabajo de un motor de combustión interna. Dicho elemento se encuentra situado en la salida del circuito de refrigeración que se comunica con la parte superior del radiador. Permite el paso del agua, que se encuentra en circulación por los múltiples orificios que tiene la culata y entre las camisas y la parte exterior del bloque, al radiador donde será enfriada, bien por el aire del medio si el vehículo se encuentra en movimiento o bien creando un flujo forzado mediante el uso del electroventilador cuando se encuentra parado o circulando a baja velocidad.

Tras todas estas modificaciones explicadas con anterioridad, se ha generado un aumento de potencia y por consiguiente un aumento de temperatura, la cual es necesaria disipar. Para ello es necesario sustituir el pequeño radiador de serie (Figura 3-28) por uno de mayor tamaño para aumentar la capacidad de intercambio de temperatura con el ambiente (Figura 3-29).



**Figura 3-28. Radiador de serie del Citroën AX.**



Figura 3-29. Radiador de mayor tamaño. Citroën Saxo.

### 3.7 Sistema de transmisión

La potencia generada por el motor K2A del Citroën AX GT es transmitida a las ruedas mediante un embrague monodisco en seco a una caja de cambios manual del tipo 2CA/2CB (Figura 3-30) de cinco velocidades. La transmisión de la potencia de la caja de cambios a las ruedas delanteras es mediante ejes estriados y juntas homocinéticas. La relación de velocidades de esta caja de cambios queda reflejada en la Tabla 3-6.

| Relación velocidad: | Nº dientes |
|---------------------|------------|
| 1 <sup>a</sup>      | 12/41      |
| 2 <sup>a</sup>      | 20/39      |
| 3 <sup>a</sup>      | 28/38      |
| 4 <sup>a</sup>      | 37/39      |
| 5 <sup>a</sup>      | 41/35      |
| Marcha atrás        | 12/43      |
| Grupo               | 16/65      |

Tabla 3-6. Relación velocidades transmisión 2CA/2CB. (9)



**Figura 3-30. Caja de cambios 2CA/2CB.**

Una buena relación de piñones de una caja de cambios asegura que tras realizar un cambio de velocidad el régimen del motor se mantenga en un rango de revoluciones óptimo para la utilización de este. La relación de piñones es escogida en función de las características del vehículo como puede ser la motorización del mismo, el tamaño de los neumáticos e incluso su peso y de las prestaciones para las cuales fue diseñado dicho automóvil.

El rango ideal de cualquier motor queda definido por su curva de rendimiento. En ella se refleja la curva de par y la de potencia máxima. Lo conveniente sería mantener las revoluciones del motor entre el par máximo (mayor potencia con menor consumo) y la potencia máxima. Dicho rango varía, en función de las especificaciones o rendimiento que se busca o se espera del motor.

La caja de cambios 2CA/2CB ha sido correctamente diseñada y estudiada para el motor K2A teniendo en cuenta las medidas de los neumáticos de serie. Con el aumento de potencia ha sido necesario modificar estos últimos, los cuales les proporcionarán mayor estabilidad y adherencia a la hora de transmitir la potencia al suelo. Por esto y al mismo tiempo, se ha modificado el sistema de transmisión para intentar mantener el motor entre el rango de revoluciones ideales.

Para obtener el máximo rendimiento del motor objeto de estudio y tras haber modificado las medidas de los neumáticos se ha cambiado la caja de cambios por una de una Citroën C15 (Figura 3-31). Dicha caja de cambios presenta la misma forma exterior y los mismos sistemas de anclaje al motor del AX GT. Este sistema de transmisión procede de un motor idéntico al de este estudio pero con un menor caballaje. Por este motivo el grupo de esta caja de cambios se caracteriza por ser un grupo más corto que el de serie del motor K2A. El grupo es denominado 13/59 (número de dientes de cada piñón que componen el grupo). (11)



**Figura 3-31. Caja de cambios Citroën C15.**

Además, a esta nueva caja de cambios se le ha cambiado el conjunto completo de piñones por unos de un Citroën Saxo 1.6 16 válvulas. Estos piñones presentan la ventaja con respecto a los de la caja de cambios de la Citroën C15 en que son más robustos que los de esta. De esta manera se evitarán posibles problemas debido al aumento de potencia que desarrollará el motor K2A tras las modificaciones explicadas en este apartado del presente trabajo.



**Figura 3-32. Conjunto de piñones de un Citroën Saxo 16v.**

La relación de los piñones del Citroën Saxo 1.6 16 válvulas queda reflejada en la Tabla 3-7:

| <b>Caja de cambios</b> | <b>Nº dientes</b> |
|------------------------|-------------------|
| 1ª Vel.                | 12/41             |
| 2ª Vel.                | 20/39             |
| 3ª Vel.                | 28/38             |
| 4ª Vel.                | 37/39             |
| 5ª Vel.                | 41/35             |
| Marcha atrás           | 12/30             |

**Tabla 3-7. Relación de velocidades caja de cambios MA5. (12)**

Si se compara la anterior tabla con la tabla de la transmisión 2CA/2CB se puede observar que las relaciones entre los números de dientes de las cinco velocidades son exactamente el mismo. La única ventaja que presentan los engranajes del Citroën Saxo con respecto a los del Citroën AX GT es la robustez, puesto que los primeros han sido diseñados para la instalación en motores que rinden una mayor potencia de serie.

La nueva caja de cambios con todas estas anteriores modificaciones variará la velocidad del vehículo ligeramente con respecto a su velocidad de serie y lo que es aún más importante, permitirá mantener al motor girando en el rango ideal de revoluciones, al igual que la caja de cambios de origen, de una forma más sencilla para el conductor.

Las diferencias entre las dos cajas de cambios con sus respectivas ruedas de medida diferente se pueden observar en las siguientes tablas (Tabla 3-8, Tabla 3-9, Tabla 3-10 y Tabla 3-11)

| <b>NEUMÁTICO</b> | <b>Medidas</b> | <b>mm</b> | <b>m</b> |
|------------------|----------------|-----------|----------|
| Ancho            | 155            | 155       | 0,155    |
| Perfil           | 65             | 100,75    | 0,100    |
| Llanta           | 14             | 355,6     | 0,355    |
| Diámetro rueda   |                | 557,1     | 0,557    |

**Tabla 3-8. Medidas neumáticos de serie.**

| <b>Régimen</b> | <b>Velocidades en km/h</b> |               |               |               |               |               |
|----------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                | <b>RPM</b>                 | <b>1ª vel</b> | <b>2ª vel</b> | <b>3ª vel</b> | <b>4ª vel</b> | <b>5ª vel</b> |
| <b>0</b>       |                            | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>750</b>     |                            | 5,67          | 9,94          | 14,28         | 18,39         | 22,71         |
| <b>1000</b>    |                            | 7,57          | 13,26         | 19,05         | 24,52         | 30,28         |

MODIFICACIONES MECÁNICAS DE UN MOTOR DE ENCENDIDO  
PROVOCADO PARA MEJORAR SU RENDIMIENTO

|             |       |       |        |        |        |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <b>1500</b> | 11,35 | 19,88 | 28,57  | 36,78  | 45,42  |
| <b>2000</b> | 15,13 | 26,51 | 38,09  | 49,05  | 60,56  |
| <b>2500</b> | 18,91 | 33,14 | 47,62  | 61,31  | 75,70  |
| <b>3000</b> | 22,70 | 39,77 | 57,14  | 73,57  | 90,84  |
| <b>3500</b> | 26,48 | 46,40 | 66,66  | 85,83  | 105,98 |
| <b>4000</b> | 30,26 | 53,02 | 76,19  | 98,09  | 121,12 |
| <b>4500</b> | 34,04 | 59,65 | 85,71  | 110,35 | 136,26 |
| <b>5000</b> | 37,83 | 66,28 | 95,23  | 122,62 | 151,40 |
| <b>5500</b> | 41,61 | 72,91 | 104,76 | 134,88 | 166,54 |
| <b>6000</b> | 45,39 | 79,53 | 114,28 | 147,14 | 181,68 |
| <b>6500</b> | 49,18 | 86,16 | 123,80 | 159,40 | 196,82 |
| <b>7000</b> | 52,96 | 92,79 | 133,33 | 171,66 | 211,96 |
| <b>7200</b> | 54,47 | 95,44 | 137,13 | 176,57 | 218,02 |
| <b>7500</b> | 56,74 | 99,42 | 142,85 | 183,92 | 227,10 |

**Tabla 3-9. Velocidad en función del n° vel. y rpm (de serie).**

Con las medidas de las ruedas de serie y la caja de cambios 2CA/2CB el motor se mantiene fácilmente en un rango de revoluciones óptimas para circular con el vehículo de manera cómoda para el conductor.

| <b>NEUMÁTICO</b> | <b>medidas</b> | <b>mm</b> | <b>M</b> |
|------------------|----------------|-----------|----------|
| Ancho            | 195            | 195       | 0,195    |
| Perfil           | 50             | 97,5      | 0,097    |
| Llanta           | 15             | 381       | 0,381    |
| Diámetro rueda   |                | 576       | 0,576    |

**Tabla 3-10. Medidas nuevos neumáticos.**

| <b>Régimen</b> | <b>Velocidades en km/h</b> |               |               |               |               |               |
|----------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                | <b>RPM</b>                 | <b>1ª vel</b> | <b>2ª vel</b> | <b>3ª vel</b> | <b>4ª vel</b> | <b>5ª vel</b> |
| <b>0</b>       |                            | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          |

|             |       |       |        |        |        |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <b>750</b>  | 5,25  | 9,20  | 13,22  | 17,02  | 21,02  |
| <b>1000</b> | 7,00  | 12,27 | 17,63  | 22,70  | 28,02  |
| <b>1500</b> | 10,50 | 18,40 | 26,44  | 34,04  | 42,04  |
| <b>2000</b> | 14,00 | 24,54 | 35,25  | 45,39  | 56,05  |
| <b>2500</b> | 17,50 | 30,67 | 44,07  | 56,74  | 70,06  |
| <b>3000</b> | 21,01 | 36,80 | 52,88  | 68,09  | 84,07  |
| <b>3500</b> | 24,51 | 42,94 | 61,70  | 79,44  | 98,08  |
| <b>4000</b> | 28,01 | 49,07 | 70,51  | 90,78  | 112,10 |
| <b>4500</b> | 31,51 | 55,21 | 79,32  | 102,13 | 126,11 |
| <b>5000</b> | 35,01 | 61,34 | 88,14  | 113,48 | 140,12 |
| <b>5500</b> | 38,51 | 67,47 | 96,95  | 124,83 | 154,13 |
| <b>6000</b> | 42,01 | 73,61 | 105,76 | 136,18 | 168,14 |
| <b>6500</b> | 45,51 | 79,74 | 114,58 | 147,52 | 182,16 |
| <b>7000</b> | 49,01 | 85,88 | 123,39 | 158,87 | 196,17 |
| <b>7200</b> | 50,41 | 88,33 | 126,92 | 163,41 | 201,77 |
| <b>7500</b> | 52,51 | 92,01 | 132,21 | 170,22 | 210,18 |

**Tabla 3-11. Velocidad en función del nº vel. y rpm (modificada).**

Como se puede observar después de comparar las anteriores tablas, la velocidad presenta unas variaciones insignificantes tras las modificaciones de la caja de cambios y de los neumáticos con respecto a los valores de serie.

La velocidad punta del vehículo en cualquier velocidad de la caja de cambios se ha reducido en general, aunque son valores próximos. Por el contrario se obtiene una mayor aceleración y respuesta del vehículo.

### **3.8 Presupuesto**

Para realizar el presupuesto de dichas modificaciones se ha recurrido a consultar algunos talleres y diferentes páginas web para estimar el precio de la mano de obra. Según el informe elaborado por el Anuario de Automoción en el 2015 sobre el precio/hora de la mano de obra en los talleres de España es de 40,67€/h de media que con el IVA asciende a un total de 49,21€/h. los precios aproximados se deben a que los elementos o las modificaciones no se han realizado en ningún taller por eso no se puede proporcionar un precio exacto.

A continuación se detallan los precios de los elementos cambiados y de las modificaciones llevadas a cabo del motor K2A (Tabla 3-12).

MODIFICACIONES MECÁNICAS DE UN MOTOR DE ENCENDIDO  
PROVOCADO PARA MEJORAR SU RENDIMIENTO

---

| <b>Elemento/Modificación</b>                                   | <b>Precio</b>    |
|--|------------------|
| Árbol de levas modificado                                      | 130€             |
| Rectificado de válvulas y bruñido camisas                      | 88€              |
| Modificaciones conductos admisión y escape                     | Aprox. 250€      |
| Rectificado asientos de válvulas                               | Aprox. 80€       |
| Rebaje de la culata  | 77€              |
| Reforma conducto de admisión                                   | Aprox. 75€       |
| Línea de escape  | 360€             |
| Sistema de transmisión   | Aprox. 270€      |
| Cigüeñal, camisas, electroventilador,<br>radiador y carburador | Aprox. 300€      |
| Ruedas completas (4)   | 220€             |
| Otros elementos  | Aprox. 260€      |
| Mano de obra 10h (Aprox.)                                      | 492,21€          |
| <b>TOTAL</b>   | <b>2.602,21€</b> |

**Tabla 3-12. Presupuesto total de las modificaciones**

## 4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

### 4.1 Potencia del motor K2A de serie

El motor K2A del grupo Citroën-PSA montado en el Citroën AX GT proporcionaba 85 cv de potencia en sus orígenes. De mecánica sencilla y con un carburador de doble cuerpo encargado de suministrar el combustible estaba a la altura de sus competidores de aquella época.

Para comprobar y verificar que estos motores rendían la potencia que se ofertaba eran expuestos a una serie de pruebas que demostraban la verdadera potencia de dichos motores. Estas pruebas se llevan utilizando desde los comienzos de la historia del automóvil hasta hoy en día con los motores actuales sea la marca que sea.

Si solo se desea analizar exclusivamente el comportamiento del motor, este se fija a un freno dinamométrico el cual proporcionará diversos parámetros del motor.

Si se quieren obtener datos del motor con las transmisiones y las ruedas apoyadas sobre el terreno, se realiza una prueba que consiste en poner el vehículo con sus ruedas motrices encima de una máquina compuesta de un ordenador y de un rodillo el cual giraba cuando el vehículo era puesto en marcha y se le embragaba una marcha. De esta manera el ordenador proporciona unos datos y una gráfica donde se puede visualizar la potencia y el par motor en función del régimen de giro del vehículo en cada momento.

Un ejemplo de esta gráfica de potencia es la que se puede visualizar a continuación (Figura 4-1), la cual es del motor K2A de serie. En ella se puede observar una curva de potencia y una de par motor. La primera es la que se encuentra en la parte superior y su lectura es en la parte izquierda de la gráfica. La curva en la parte inferior es la del par motor y su lectura es en la parte derecha.

Como se puede observar, la potencia máxima es de 85 cv / 61,5 kW a un régimen de giro de 6400 rpm y el par motor máximo es de 11,7 Kg.m (aproximadamente 115 Nm) a 4.000 rpm.

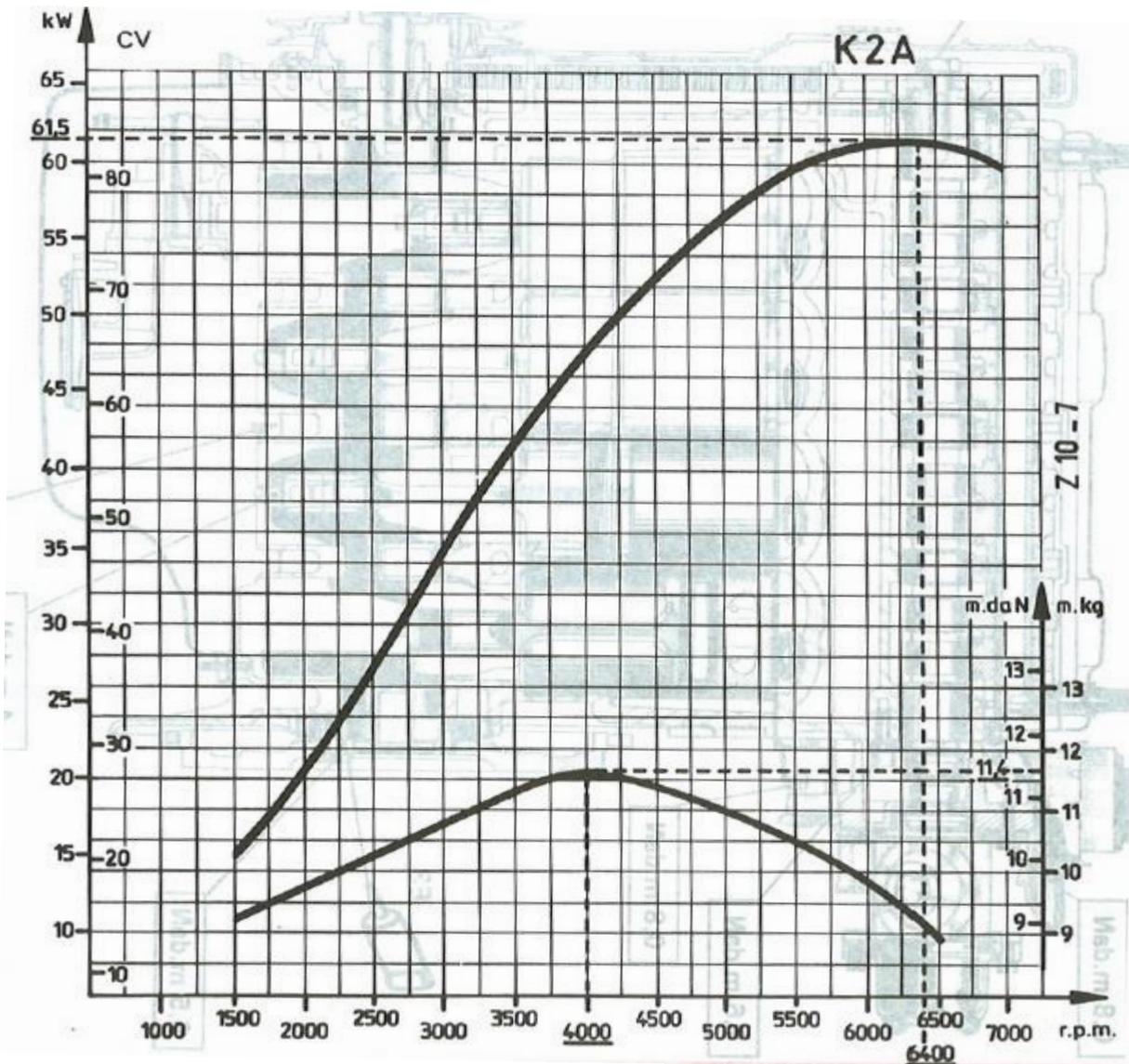


Figura 4-1. Gráfica de rendimiento motor K2A de serie. (10)

## 4.2 Potencia obtenida tras las modificaciones

Tras haber realizado todas las modificaciones en dicho motor y hacer una buena puesta a punto tanto de las regulaciones en el carburador como con el cambio de bujías y de los cables desde estas hasta el distribuidor (encargado de proporcionar la corriente necesaria a la bujía del cilindro que vaya a comenzar con la explosión en el momento adecuado) se ha sometido al vehículo (motor, transmisiones y ruedas) a una prueba de potencia.

Dichas comprobaciones de la potencia final se han realizado en un banco de potencia denominado MAHA LPS 2000 con sistema de frenado, propiedad de la empresa TECNICAR. Dicho banco cuenta con la normativa de medición de potencia DIN 70020.(13)

Tras realizar varios ajustes en el motor y varias pruebas en dicho banco de potencia se ha obtenido la gráfica que se puede ver a continuación en la cual se pueden observar varias curvas de potencia y una del par motor (Figura 4-2).

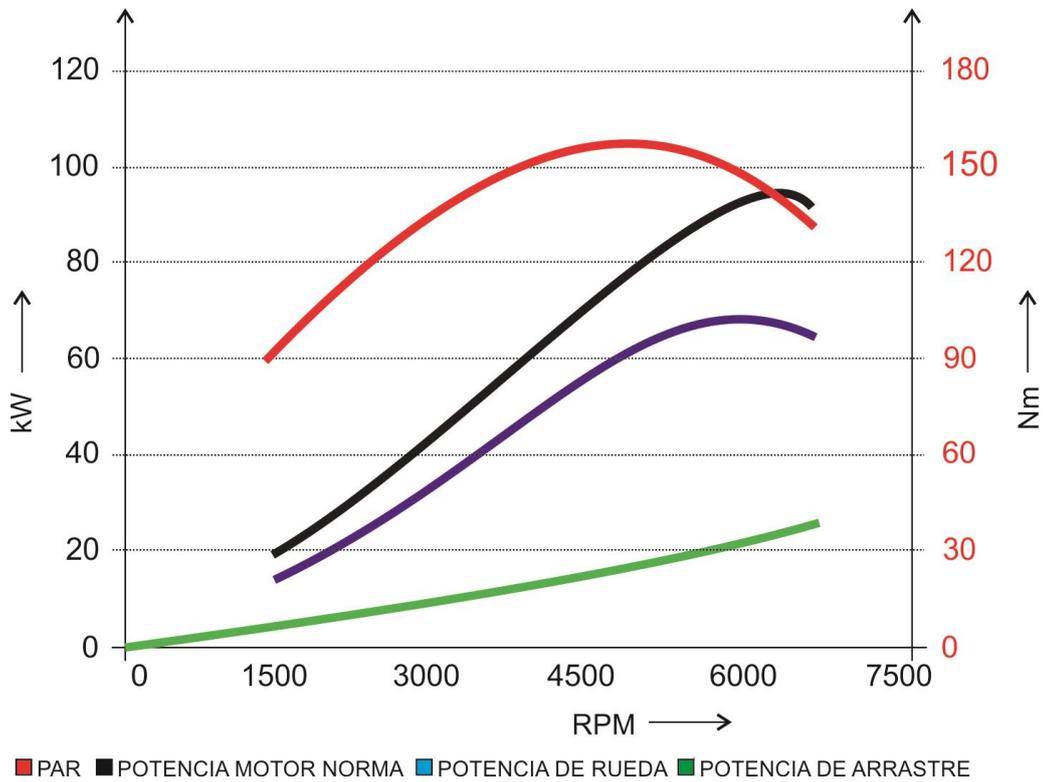


Figura 4-2. Diagnóstico de potencia después de las modificaciones.

| Par motor máximo | RPM   |
|------------------|-------|
| 161 Nm           | 4.800 |

Tabla 4-1. Valor del par motor.

| Potencia        | kW       | cv    |
|-----------------|----------|-------|
| P. motor norma  | 93,0     | 126,4 |
| P. de rueda     | 66,5     | 90,4  |
| P. de arrastre  | 24,5     | 33,3  |
| Máxima potencia | 6300 RPM |       |

Tabla 4-2. Valores de las potencias.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la curva superior representa el par motor (Tabla 4-1) y la inmediatamente inferior hace referencia a la potencia del motor (Tabla 4-2). La curva del par motor se mide en la escala de la derecha de la gráfica obteniendo un valor de 161 Nm a 4.800 rpm. Por el contrario, la curva de la potencia se mide en el lado izquierdo con un valor resultante de 126 cv / 93 kW a 6.300 rpm.

Si se comparan estos resultados con los de serie del motor se puede ver un aumento de potencia de más de 40 cv y cerca de 50 Nm de par motor.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

La finalidad del presente trabajo es la mejora de rendimiento de un motor de encendido provocado mediante una serie de modificaciones explicadas en esta memoria. Tanto las mejoras realizadas como las múltiples líneas futuras de este proyecto son concebidas como un aumento de rendimiento intermedio, sin buscar altísimos rendimientos como podría ser el caso de los vehículos de competición.

Tras la realización de estas modificaciones se ha podido comprobar la mejora de rendimiento y prestaciones del vehículo.

Todas estas transformaciones se han hecho sobre el motor de serie, cambiando elementos como el carburador para aumentar la entrada de aire-combustible o el árbol de levas para mejorar el llenado de los cilindros mediante la succión creada por los pistones en su carrera de admisión. Otros elementos como las camisas o el cigüeñal se han cambiado por unos de mejores características debido a que son elementos críticos sensibles al aumento de relación de compresión por el rebaje de la culata, el mecanizado de los conductos de admisión y escape de esta.

La principal mejora, y la más compleja a su vez, es la modificación de la culata. Con el rebaje de la culata se consigue un aumento de relación de compresión y por consiguiente se convierte en un motor más rápido. El desbaste y el pulido de los conductos de admisión y de escape favorecen, junto con el nuevo árbol de levas, a llevar a cabo un mejor llenado de los cilindros debido al aumento de flujo y evitando pérdidas en rebotes debido a cambios de secciones.

Con el aumento de comburente en el cilindro es necesario un aumento de suministro de combustible. Por este motivo es necesario el cambio del carburador de serie por uno de mayor tamaño para suministrar la gasolina necesaria.

Por último pero no menos importante, el cambio de la caja de cambios ha supuesto una mejora en la conducción del vehículo. Esta modificación a pesar de no contribuir al aumento de potencia, mejora algunas prestaciones del vehículo como pueden ser la aceleración o la recuperación desde bajas revoluciones en cualquier velocidad en la que circule el vehículo. En contrapartida se produce una disminución de velocidad punta en todas las velocidades.

Este motor, de casi 30 años, es una mecánica bastante sencilla comparada con las actuales. No dispone de complejos sistemas de distribución ni sobrealimentación, pero estas modificaciones permiten una notable mejora en el rendimiento con un coste relativamente bajo en cuanto a inversión económica.

## 5.2 Líneas futuras

A pesar de todas las modificaciones llevadas a cabo y explicadas con anterioridad en este manuscrito, siguen siendo múltiples las líneas de mejoras y reformas para seguir aumentando el rendimiento del motor K2A, objeto de estudio de este trabajo. Pero no todas estas líneas tienen que afectar directamente al incremento de potencia propiamente dicho del motor, sino que además es necesario ser capaz de transmitir dicha potencia al terreno en el que se encuentre el vehículo y ser capaz de controlarla para hacer una conducción sencilla y cómoda, tal y como está concebido dicho vehículo (Figura 5-1). Para ello se mencionarán a continuación algunas mejoras para evitar que se produzcan estos inconvenientes.



**Figura 5-1. Citroën AX GT del proyecto.**

En primer lugar se podría comenzar con una mejora del sistema de frenado, que aunque no proporcionará ningún aumento en la potencia del motor, será el encargado de reducir la velocidad en la conducción del automóvil y también inmovilizar al vehículo cuando sea necesario. Como norma general, el sistema de frenado que se le instale a un coche va en función de la potencia o del propio peso del vehículo, entre otros muchos factores.

Otro elemento muy interesante a la hora de mejorar sería el sistema de suspensión. Tras el aumento de potencia, este precario sistema de serie no es capaz de mantener estable al vehículo y tampoco ayuda a imprimir el giro íntegro de las ruedas al terreno. Sería conveniente cambiar los muelles y los amortiguadores por unos de mejores características que proporcionen unas buenas prestaciones.

El vehículo no consta con dirección asistida por lo que sería otra línea para mejorar sin duda alguna. Más que alguna prestación en el incremento de potencia o relacionado con esta, sería una mejora para el conductor a la hora de maniobrar para realizar un estacionamiento o en el manejo del vehículo en la carretera.

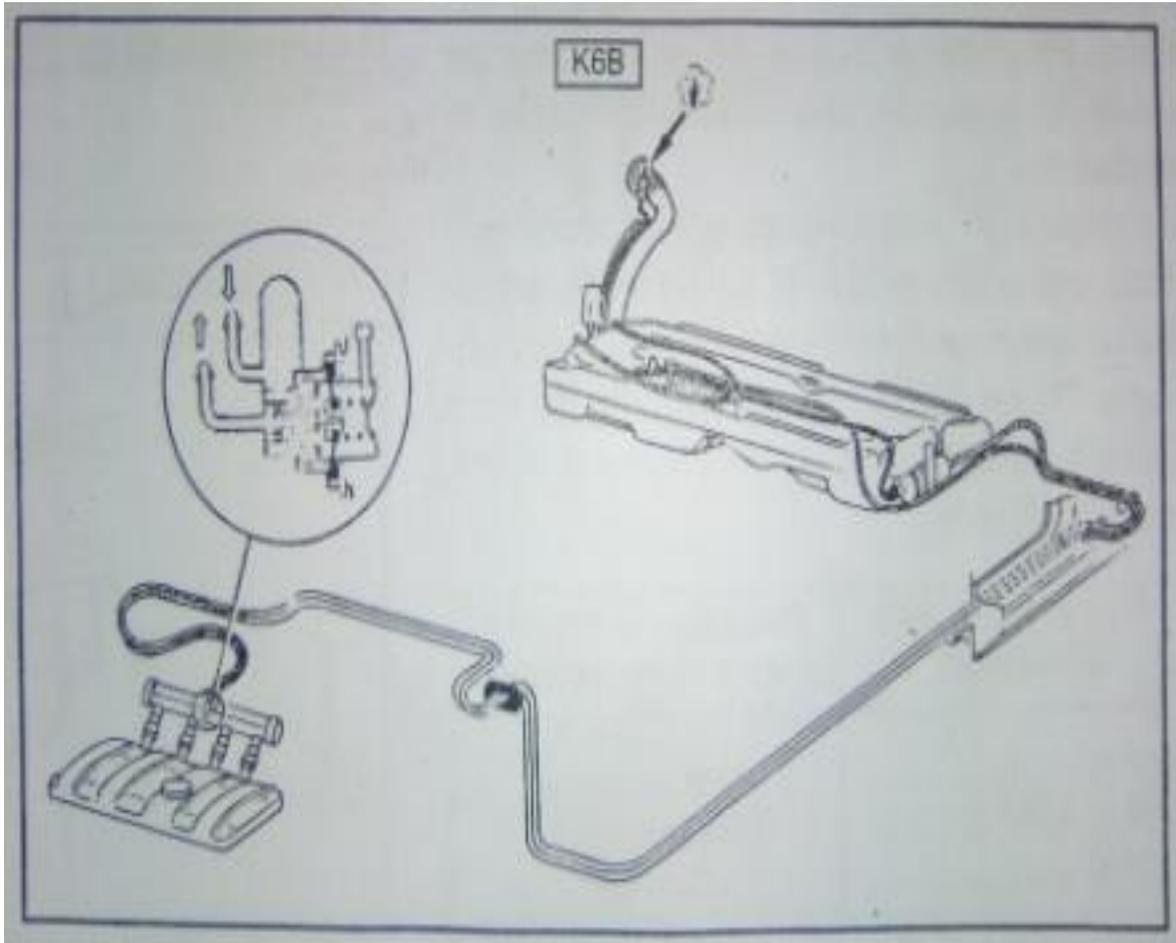
Cabe destacar la importancia de la lubricación en un motor alternativo. Esta es, posiblemente, uno de los aspectos más críticos a la hora de diseñar un motor debido a la elevada y constante fricción entre todos sus elementos móviles. Los más importantes son en los segmentos-cilindros y en el cigüeñal-cojinetes. Además de utilizar un aceite que recoja unas adecuadas características viscosidad, detergencia o aditivos antidesgaste, entre otros, cabe la posibilidad del cambio de la bomba de aceite interna. Para ello sería necesario realizar un estudio del fluido de engrase así como de los materiales a lubricar. Cabría la posibilidad de instalar, además, un enfriador de aceite para contribuir a mantener la temperatura de este estable tanto en los momentos iniciales al encendido como al cabo de un tiempo de estar encendido el motor.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

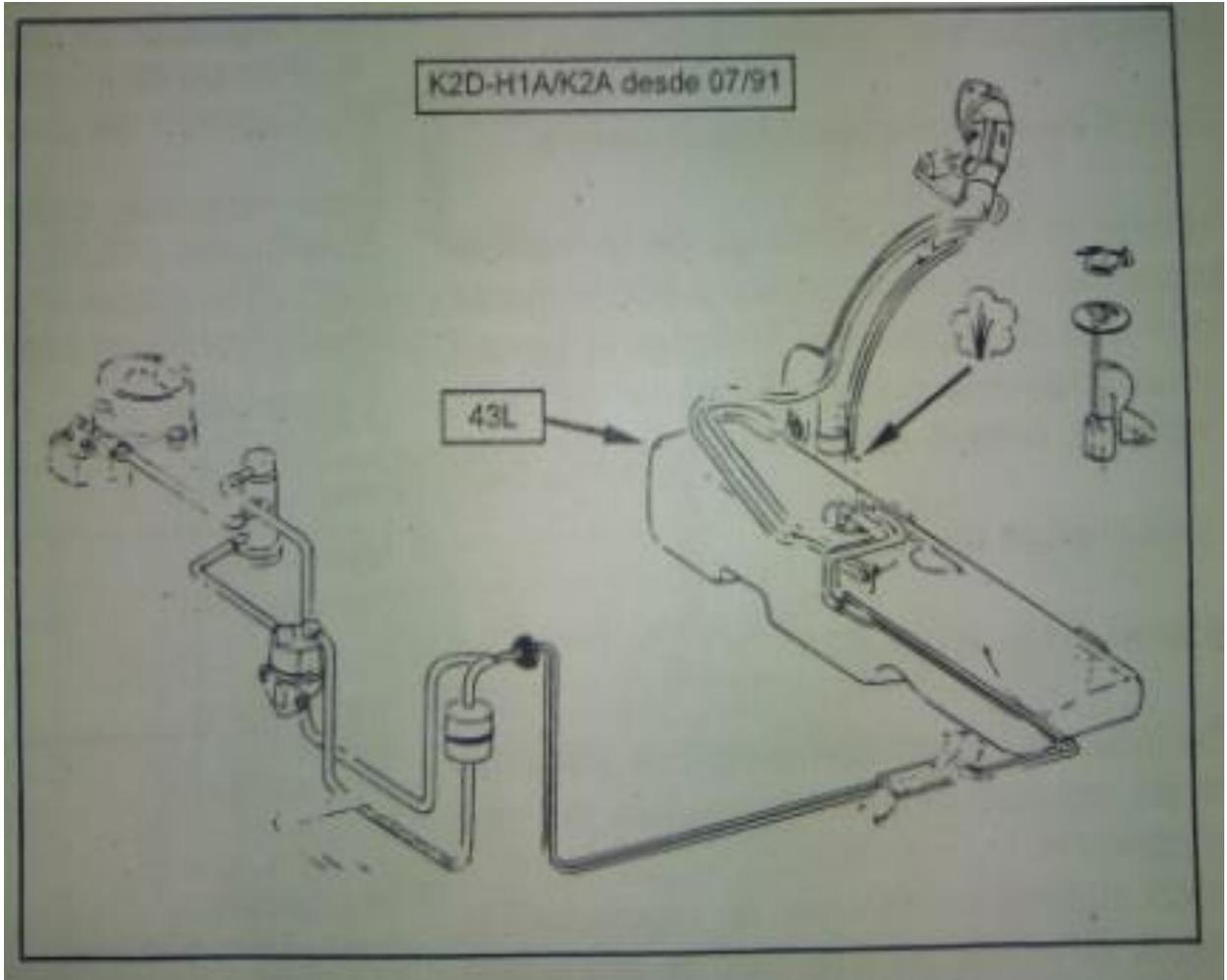
### References

1. Sistema de distribución. [Internet]. [cited 27 de diciembre de 2017]. Available from: [www.pruebaderuta.com/sistema-de-distribucion.php](http://www.pruebaderuta.com/sistema-de-distribucion.php).
2. Cummins CL. Diesel's Engine: From conception to 1918. Carnot USA Books; 1993.
3. Perales Garat J. Motores. Escuela Naval Militar. Publicación 2601. In press 2001.
4. Payri F, Desantes JM. Motores de combustión interna alternativos. Reverté. 2011.
5. Ciclos teóricos y reales de los motores de combustión interna. [Internet]. [cited 23 de febrero de 2017]. Available from: [http://www.academia.edu/9312464/CICLOS\\_TEÓRICOS\\_Y\\_REALES\\_DE\\_LOS\\_MOTORES\\_DE\\_COMBUSTIÓN\\_INTERNA](http://www.academia.edu/9312464/CICLOS_TEÓRICOS_Y_REALES_DE_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTIÓN_INTERNA).
6. Heywood J. Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education; 1988.
7. Janota NWM, Watson N. Turbo charging the internal combustion engine. . 1982.
8. Newcomb TP, Spurr RT. A technical history of the motor car. Taylor & Francis; 1989.
9. Citroën-PSA. Manual de taller Citroën AX. Manual de taller. In press 1993.
10. Citroën-PSA. Motor TU3JP gasolina modelo PSA. Migal. In press 1995.
11. Citroën-PSA. Manual de bolsillo. vehículos industriales. C-15. CAR 000991. In press 1999.
12. Citroën-PSA. Manual de taller Citroën Saxo. In press 2001.
13. Bancos de Potencia MAHA [Internet].; 2017 []. Available from: <http://www.maha.es/banco-de-potencia.htm>.

## ANEXO I: SISTEMA DE INYECCIÓN.



## ANEXO II: SISTEMA DE CARBURACIÓN.



# ANEXO III: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE SERIE.

