

E.T.S. de Ingenieros Industriales, Informáticos y de Telecomunicación

Informatika, Telekomunikazio eta Industria Ingeniarien Goi Mailako Eskola Teknikoa

Estudio y modificación de la gestión electrónica del motor e implementación del sistema eléctrico del prototipo MotoStudent



upna
Universidad
Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Gradua Industria Teknologietako Ingeniaritzan

Trabajo Fin de Grado

Gradu Amaierako Lana

Joseba López Vidarte

Iruñean, 2014ko ekainaren 25ean

José Carlos Urroz Unzueta

Pamplona, a 25 de junio de 2014

*Nafarroako
Unibertsitate
Publikoa*



Universidad
Pública de
Navarra

Resumen

RESUMEN

El presente proyecto se sustenta en los conocimientos adquiridos en la Universidad Pública de Navarra (UPNA) así como en los propiamente desarrollados en la realización del mismo, mediante el uso del material propiamente referenciado en la sección de bibliografía y linkografía.

El trabajo de fin de grado (TFG) aquí expuesto, ha sido extraído como parte del proyecto MotoStudent en el que participa la universidad. El presente TFG trata de analizar el funcionamiento de una centralita original Magneti Marelli y actuar en la medida de lo posible sobre la misma para adaptar así la inyección del motor original Sherco 250i – Racing al prototipo de competición MotoStudent. Se estudiará el cableado original de la instalación eléctrica para poder implementarlo y permitir así el acoplamiento de actuadores externos.

A través de este TFG se desea aportar también, de manera favorable, información útil para futuros graduados en ingeniería que deseen realizar un trabajo entorno al interesante mundo de los motores y la puesta a punto de competición.

LABURPENA

Proiektu hau, bai Nafarroako Unibertsitate Publikoan (NUP) eskuratutako ezagutzan, bai proiektu honen burutzeak suposatu duen lanaren bitartez, bibliografian eta linkografia atalean erreferentziatuak agertzen diren materialaren erabileraren bidez lortutako ezagutzan oinarritzen da.

Aurkezten den proiektua, unibertsitateak parte hartzen duen MotoStudent proiektu zabalagotik ateratako proiektua da. Gradu amaierako lan honen bitartez, Sherco 250i – Racing-aren jatorrizko Magneti Marelli zentralitaren funtzionamendua aztertuko da eta ahal den neurrian motorraren berariazko injezioa, MotoStudent prototipora egokitzea izango du helburu. Jatorrizko instalazio elektrikoa ere aztertuko da, honen prestaketa burutu ahal izateko, kanpo eragileen akoplamendua ziurtatuz.

Gradu amaierako lan honekin, etorkizunean ingeniartzan graduatuak izango direnen alde, motoreen eta hauen doikuntzen arlo interesgarria landu nahi duten ikasleentzat informazio eta argibide bezala balio izatea nahi da.

Índice

ÍNDICE

1. Glosario	10
1.1. Lista de abreviaciones.....	10
2. Proyecto MotoStudent	12
2.1. Introducción	12
2.2. Justificación y objetivos.....	12
2.3. La competición	12
2.4. Toma de decisiones	13
2.5. Principios básicos	14
2.6. Actuación sobre la unidad de control electrónico (ECU)	15
2.7. Actuación sobre los sensores	16
2.8. Actuación sobre los actuadores	17
2.9. Centralitas programables	18
3. Motores	20
3.1. Clasificación de los motores	20
3.2. Motores térmicos	20
3.2.1. Motores de combustión externa	23
3.2.2. Motores de combustión interna.....	24
3.3. Esquema del motor alternativo	25
4. Principios de la puesta a punto de los motores de combustión interna de cuatro tiempos (4T)	26
4.1. Funcionamiento de los motores de combustión interna de encendido por chispa.....	26
4.2. Procesos de combustión.....	29
4.3. Ciclo teórico Otto.....	32
4.4. Ciclo real.....	33

4.5. Prestaciones del motor y factores que las influyen	34
4.5.1. Número de revoluciones	36
4.5.2. Relación de compresión	36
4.5.3. Masa de la carga introducida	36
4.5.4. Combustión y tiempo de encendido	37
4.5.5. Variación de las condiciones atmosféricas	40
4.6. Rendimiento volumétrico	41
4.7. Tipos de cámaras de combustión	43
4.8. Factores que influyen en la combustión	44
4.8.1. Turbulencia	44
4.8.2. Estratificación	44
4.8.3. Razón de mezcla	44
4.8.4. Temperatura	44
4.8.5. Presión	44
4.8.6. Humedad	45
4.8.7. Cantidad de gases residuales	45
4.9. Variación de la presión durante la combustión	45
4.10. Diagrama de las presiones en función del giro del cigüeñal	46
5. Inyección electrónica de combustible y encendido	48
5.1. Historia de la inyección	48
5.2. Ventajas de la inyección electrónica de combustible	49
5.3. Clasificación de los sistemas de inyección	51
5.3.1. Número de inyectores	52
5.3.1.1. Monopunto	52
5.3.1.2. Multipunto	52
5.3.2. Ubicación del inyector	53
5.3.2.1. Directa	53
5.3.2.2. Indirecta	53
5.3.3. Sincronismo de la inyección	53
5.3.3.1. Inyección continua	53

5.3.3.2. Inyección intermitente	53
5.3.3.2.1. Simultánea	54
5.3.3.2.2. Semisecuencial	54
5.3.3.2.3. Secuencial	55
5.3.4. Control y accionamiento de los inyectores	55
5.3.4.1. Mecánicos	55
5.3.4.2. Electromecánicos	55
5.3.4.3. Electrónicos	55
5.4. Determinación del caudal de combustible a inyectar	56
5.5. Sistemas de medición del aire aspirado	58
5.5.1. Sistemas de medición directa	58
5.5.1.1. Caudalímetro de paletas	58
5.5.1.2. Caudalímetro de hilo o membrana caliente.....	58
5.5.2. Sistemas de medición indirecta	59
5.5.2.1. Sistemas P,N	59
5.5.2.2. Sistemas Alpha, N	59
5.6. Sistemas de encendido.....	60
5.6.1. Encendido convencional	61
5.6.2. Encendido electrónico	62
5.6.2.1. Encendido electrónico transistorizado	62
5.6.2.2. Encendido electrónico integral	65
5.6.2.3. Encendido electrónico estático	67
5.6.2.3.1. Encendido a la chispa perdida	69
5.6.2.3.2. Bobina sobre bujía (Sistemas Coil On Plug)	70
5.6.2.3.2.1. Bobina simple	71
5.6.2.3.2.2. Bobina con transistor incorporado	71
5.6.2.3.2.3. Bobina con módulo incorporado	72
5.6.2.4. Sistemas CDI o de encendido por descarga del condensador	73
5.7. Bujías de encendido	73

6. Sistemas de inyección electrónica (EFI) Magneti Marelli	75
6.1. Funcionamiento de la inyección en la unidad de control electrónica Magneti Marelli IAW15P	75
6.2. Estructura interna	77
6.2.1. Memoria de datos	78
6.2.2. Memoria de programa	79
6.2.3. Comunicación interna en la unidad de control	80
6.2.4. Señales de entrada digitales	80
6.2.5. Señales de entrada pulsatorias	80
6.2.6. Señales de entrada analógicas	81
6.2.7. Señales de salida	81
6.3. Sensores y actuadores	82
6.3.1. Sensor de posición de mariposa.....	82
6.3.2. Sensor de régimen y posición	83
6.3.2.1. Sensor inductivo	83
6.3.2.2. Sensor Hall	85
6.3.3. Sensor de temperatura del aire	86
6.3.4. Sensor de temperatura del agua.....	87
6.3.5. Sensor de presión atmosférica	88
6.3.6. Inyectores.....	89
6.3.7. Bobina de encendido.....	90
6.3.8. Válvula de regulación del ralentí	92
7. Sistemas de inyección y encendido programables	93
7.1. Generalidades	93
7.2. Procesos de control	93
7.2.1. Control en lazo abierto	93
7.2.2. Control en lazo cerrado	94

7.3. Mapeo de inyección y encendido	95
7.3.1. Declaración de parámetros	95
7.3.2. Ajuste del mapa de inyección	96
7.3.3. Ajuste del mapa de encendido	99
7.3.4. Ajuste de arranque en frío	100
8. Solución adoptada: Rapid Bike EVO	101
9. Conclusiones	103
10. Líneas futuras	104
AGRADECIMIENTOS	105
BIBLIOGRAFÍA	107
Referencias bibliográficas	108
Referencias linkográficas	109
Bibliografía complementaria.....	110
LISTA DE FIGURAS	111
LISTA DE TABLAS	117
ANEXOS	119
A. Hojas de características	120
A.I. Throttle Position Sensor.....	120
A.II. Temperature – ATS Series.....	121
A.III. WTS09 – Water Temperature Sensor	122
A.IV. IWP048 Fuel Injector.....	123
B. Presupuestos	124
B.I. Haltech	124
B.II. DTA.....	125
B.III. Factura MEF.....	126
C. Esquema eléctrico Sherco 250i – Racing	127

Memoria

1. GLOSARIO

- Lista de abreviaciones

A/D: Analógico/Digital.

ADF: *Atmosphären-Druckfühler* – Sensor de presión atmosférica.

AFR: *Air Fuel Ratio* – Relación aire/combustible.

CAN: *Controller Area Network* – Protocolo de comunicación serie.

CDI: *Capacitor Discharge Ignition* – Encendido por descarga capacitiva.

CKP: *Crankshaft Position sensor* – Sensor de posición del cigüeñal.

CMP: *Camshaft Position sensor* – Sensor de posición del árbol de levas.

COP: *Coil On Plug* – Bobina sobre bujía.

CPU: *Central Processing Unit* – Unidad central de procesamiento.

DIS: *Direct Ignition System* – Sistema de encendido directo.

DOHC: *Double Over Head Camshaft* – Doble árbol de levas.

ECT: *Engine Coolant Temperature* – Temperatura del refrigerante del motor.

ECU: *Electronic Control Unit* – Unidad de control electrónico.

EEPROM: *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* – Memoria tipo ROM programable y borrable eléctricamente.

EFI: *Electronic Fuel Injection* – Inyección electrónica.

EI: *Integrated Electronic Ignition* – Encendido integral.

EOBD: Sistema de diagnóstico OBD Europeo.

GND: *Ground* – Tierra/Masa.

IAT: *Intake Air Temperature* – Temperatura del aire en la admisión.

IDI: *Inductive Discharge Ignition* – Encendido por descarga inductiva.

IGF: *Ignition Feedback* – Retroalimentación del encendido.

IGT: *Ignition Timing* – Tiempo de encendido.

- MAP:** *Manifold Absolute Pressure* – Presión absoluta de la admisión.
- MCIA:** Motor de combustión interna alternativo.
- MCU:** *Microcontroller Unit* – Microcontrolador.
- MEF:** *Moto Engineering Foundation*.
- MPI:** *Multi Point Injection* – Inyección multipunto.
- MS:** *MotoStudent*.
- NTC:** *Negative Temperature Coefficient* – Coeficiente de temperatura negativo.
- OBD:** *On Board Diagnostics* – Sistema de diagnóstico a bordo en vehículos.
- PCM:** *Power Control Module* – Modulo de control del encendido.
- PMI:** Punto muerto inferior.
- PMS:** Punto muerto superior.
- PWM:** *Pulse Width Modulation* – Modulación por anchura de pulso.
- RAM:** *Random Access Memory* – Memoria de almacenamiento.
- RISC:** *Reduced Instruction Set Controller* – Arquitectura computacional.
- ROM:** *Read Only Memory* – Memoria de almacenamiento de lectura.
- RPM:** Revoluciones por minuto.
- SPI:** *Single Point Injection* – Inyección monopunto.
- SW:** *Software* – Soporte lógico de un sistema informático.
- TCI:** *Transistorized Coil Ignition* – Encendido transistorizado.
- TPS:** *Throttle Position Sensor* – Sensor de posición de mariposa.
- USB:** Bus de Serie Universal.
- VDSTS:** *Vehicle Diagnostic Scan-Tool Software*.
- WOT:** *Wide Open Throttle* – Plena carga.



Figura 1.1

2. PROYECTO MOTOSTUDENT

- Introducción

MotoStudent (MS) es una competición promovida por la *Fundación Moto Engineering Foundation* (en adelante MEF). Es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades españolas, europeas y del resto del mundo, donde los grupos de estudiantes han de fabricar una motocicleta de competición. La edición 2013/2014 consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto3 de competición con una cilindrada de 250cc y 4 tiempos.[1]

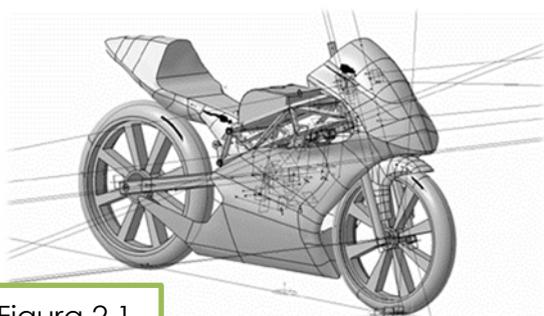


Figura 2.1



Figura 2.2

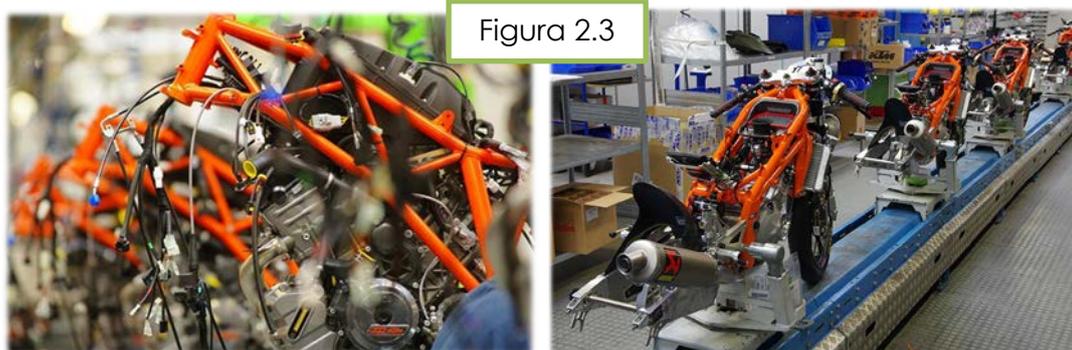
- Justificación y objetivos

En el presente proyecto se pretende estudiar y modificar la gestión electrónica del motor suministrado por la Organización e implementar el sistema eléctrico del prototipo. Para ello se analizará el funcionamiento de la centralita original (*Magneti Marelli*) y se tratará actuar sobre la misma con la finalidad de adaptar la inyección de origen a la de una moto de competición.

Se deberá estudiar la instalación eléctrica original, implementarla y permitir que la misma posibilite el acoplamiento de actuadores externos (gestión del motor externa, sistemas *quickshift*, módulos de encendido...).

- La competición

El equipo formado por la Universidad Pública de Navarra está constituido por ocho integrantes de diferentes especialidades bajo el nombre de UPNa-Racing. El prototipo presentado se evaluará en una competición que tendrá lugar en las instalaciones de *MotorLand Aragón*, en Alcañiz. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados.



Los estudiantes, en un periodo de tiempo de tres semestres, han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.[1]

Aunque la competición tiene una duración de tres semestres, el TFG únicamente se ha desarrollado en un único semestre, el semestre de primavera del último curso del grado en ingeniería en tecnologías industriales.

- Toma de decisiones

El reglamento de la edición MS 2013/2014 indica la posibilidad de adquirir la Unidad de Control Electrónico (ECU) original que acompaña al motor y la instalación eléctrica de la moto, en este caso la *Sherco SE 250i-Racing*. La compra de estos componentes se propone como opcional. En el caso de la instalación eléctrica, ésta incluiría además:

- Botón de corte de encendido.
- Regulador.
- Relé de arranque.
- Sensor de temperatura del aire.
- Bobina de encendido.

Por otro lado se permite la utilización de otras centralitas y la modificación de los mapas electrónicos de las mismas. La ECU original suministrada por La Organización se trata de una centralita de la marca *Magneti Marelli*, que no admite la reprogramación del mapa de gestión del motor mediante sistemas software (SW). Por lo tanto, queda como labor de cada equipo encontrar la manera de modificarla y poder programar un mapa de inyección.[2]

En un principio se planteó no comprar ni la centralita original *Magneti Marelli*, ni la instalación eléctrica ofrecida por la Organización y se propuso adquirir una centralita programable de competición. Tras una primera búsqueda en el mercado nos encontramos con varios modelos, entre ellos una *Sybele Challenger5* de *Skynam*, una *M400* de *Motec* y una *Dell'Orto DoPe ECU*.



Figura 2.4
Kit completo de gestión
Sybele Challenger5



Figura 2.5
Centralita
Motec M400

Estas centralitas se tratan de modelos con precios elevados; superior a los mil euros en el caso de la *Motec* y la *Dell'Orto*. En esta tesitura se replantea adquirir la ECU original de *Magneti Marelli* que se nos ofertaba a un precio de 220€. La opción de comprar una centralita programable con la consiguiente complicación de una adaptación posterior al motor *Sherco*, además de su precio elevado puede llegar a suponer un alto riesgo para el funcionamiento correcto de la moto si no se realiza una adecuada programación de la misma.

Se decide entonces adquirir la centralita original y buscar la manera de actuar sobre la misma. La instalación eléctrica se decide obtenerla por otros medios. Gracias a un taller *Sherco* ubicado en Villava-Atarrabia (Navarra) conseguimos hacernos con una instalación eléctrica defectuosa a fin de arreglarla.



Figura 2.6

De esta manera reducimos los costes respecto a la compra de la instalación proporcionada por la Organización. No obstante, el taller solo proporciona el mazo del cableado y sus conectores, por lo que se necesitarán adquirir el resto de componentes que ya incluía la instalación de la Organización.

- Principios básicos

La operación del motor es gobernada por la centralita, a través de la información suministrada por los diferentes sensores conectados a los distintos pines de conexión en la ECU.

La comunicación con la centralita es posible gracias a los sistemas OBD de diagnóstico que se incorporan (*EOBD, OBDII, CAN protocol, K Line protocol...*) en los vehículos actualmente.

Una reprogramación a una centralita supone una modificación de los parámetros de funcionamiento del motor para que los cambios realizados al motor se ajusten en mayor armonía con la nueva programación de la centralita.

La reprogramación de centralitas requiere años de experiencia profesional. Esta práctica permite a los profesionales optimizaciones individuales para cada motor, ya sea para lograr una mejor economía de combustible o unas altas prestaciones de competición.

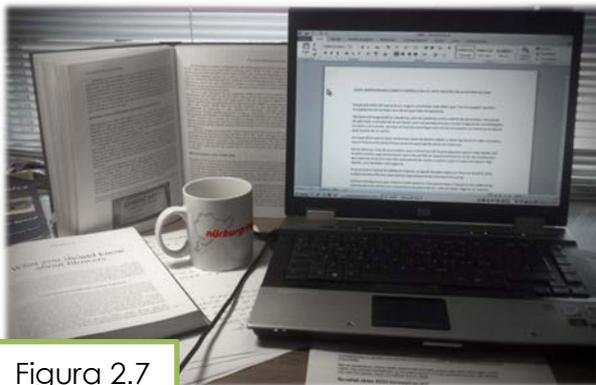


Figura 2.7



Figura 2.8

La actuación sobre los parámetros del motor permite por tanto una mejora de rendimiento que podrá ajustarse en función de las revoluciones y carga del motor.

- Actuación sobre la unidad de control electrónico (ECU)

La primera opción que se sugiere es la reprogramación de la ECU (*Electronic Control Unit*) original a través de su toma de diagnóstico. Esta comunicación con la centralita se realiza por la denominada *línea K*, que se utiliza primordialmente para la comunicación con el exterior. Se establece un flujo de datos por medio de un bus que se puede controlar desde el ordenador (PC) a través de conexiones USB o mediante un cable RS232.



Figura 2.9
Cable RS232



Figura 2.10
Cable USB

Los talleres oficiales *Sherco* utilizan una herramienta denominada VDSTS (*Vehicle Diagnostic Scan-Tool Software*). Este SW es únicamente de diagnóstico, por lo que no permite la modificación de la cartografía de inyección.[3]

Existe una marca comercial que sí permite la modificación y calibración a través de este sistema. *TechnoResearch* tiene a la venta el producto *DirectLink (Flash-Tuner)* que permite variar la tabla de inyección, avance del encendido y calibrar distintas tablas mediante datos de la presión en el colector de admisión y otros muchos parámetros. Incluye la posibilidad de guardar, monitorizar y realizar seguimiento de los datos registrados (*Data Logging*). Nuevamente nos encontramos con un producto sumamente caro, por lo que queda descartado.

Encontramos un producto mucho más barato suministrado por *Immo Tools, Advanced Scooter Workshop*. El problema de esta opción, es que se trata únicamente de una herramienta de diagnóstico al igual que el VDSTS.

El último recurso se basa en acceder por medios propios a la centralita, conociendo el protocolo de comunicación de la misma para poder leer los datos almacenados (mapas de inyección) y escribir sobre los microcontroladores, actuando de esta forma sobre los mismos de manera directa. Esta opción se conoce vulgarmente como flashear la centralita. Las centralitas poseen un proceso de autenticación/criptación que protege a la misma de accesos no autorizados, por lo que en cierta manera estaríamos pirateando el protocolo de la centralita.[15] Este método resulta complejo ya que los fabricantes no publican sus protocolos ni códigos para las centralitas. Además se corre el riesgo de modificar erróneamente algún parámetro que suponga el deterioro de la ECU o del motor.



Figura 2.11

- Actuación sobre los sensores

Una manera de calibrar la inyección del motor, aunque no muy recomendada por profesionales, es la de falsear las medidas obtenidas por los sensores. Una manera sencilla es la de actuar sobre la medición de temperatura, ya sea la del motor como la de la admisión (IAT – *Intake Aire Temperature*).

Esta calibración se basa en poner una resistencia en serie con el sensor de temperatura, normalmente un termistor NTC. Esta actuación puede mejorar en los regímenes bajos del motor, falseando la medición para que enriquezca la mezcla, sin embargo, en regímenes altos se suele perder potencia por ir demasiado rico. Para evitar esto puede colocarse un potenciómetro e ir ajustándolo hasta alcanzar un punto de trabajo que no comprometa demasiado los altos regímenes de vueltas.

Los sistemas más avanzados permiten falsear la señal del sensor en función de las revoluciones, de modo que se realiza una mejor puesta a punto.

- Intervención en los actuadores

En este caso en lugar de actuar sobre las señales que le llegan a la centralita, se dispone de una centralita adicional (*add-on module*) que permite ajustar y modificar las señales de salida de la ECU original (cambios de altitudes, presión atmosférica, temperaturas, etc.). Sin engañar la señal de entrada a la centralita original, se rectifican las señales de salida para dar mejores prestaciones a la moto y de este modo obtener un rendimiento optimizado. La centralita adicional trabaja como una centralita programable que permite su modificación a través de un software utilizando un PC o directamente sobre un monitor o *display* integrado en el hardware de la centralita adicional. Las más extendidas en el mercado son las *Power Commander* de *Dynojet* y las *RapidBike* de *DimSport*.



Figura 2.12
Power Commander



Figura 2.13
RapidBike

Como opciones posibles se barajan:

- *Power Commander III USB.*
- *RapidBike EVO.*
- *RexXer ECU Tuning Tool.*
- *Bazzaz Z-Fi Fuel Controller.*
- *MegaSquirt III.*
- *FuelTech EMS RacePro-1Fi.*
- *IgniTech – Ignijet.*



Figura 2.14
RexXer ECU Tuning

De las opciones disponibles, las más accesibles son precisamente las más ampliamente utilizadas. En el caso de la *Power Commander*, el producto se vende para motos determinadas, con los cableados específicos y una amplia variedad de mapas base. Sin embargo este SW resulta incompatible con *Sherco*, ya que no suele ser común este tipo de reprogramaciones en motos de este tipo (enduro/trial), por lo que nos vemos obligados a descartar esta opción.

La segunda opción más cotizada, la *RapidBike*, sí que posibilita la adaptación del cableado de la centralita adicional al cableado de cualquier moto. El problema aparece cuando la centralita únicamente puede ser modificada con el software oficial del producto en un taller distribuidor oficial de la marca. Existen modelos antiguos que se vendían con el SW de modificación de la centralita adicional *RapidBike*, pero se encuentran descatalogados.

El resto de sistemas se han descartado ya sea por incompatibilidades con el motor *Sherco*, precios elevados o dificultades a la hora de su obtención.

- Centralitas programables

Las unidades de control de motor más simples controlan únicamente la cantidad de combustible inyectado en cada cilindro por cada ciclo de motor. Por otro lado, existen centralitas más avanzadas que controlan el punto de ignición o encendido, el tiempo de apertura/cierre de las válvulas de asiento, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor, etc.

Entre otras funciones, las centralitas realizan control sobre:

- Inyección de combustible.
- Tiempo de encendido.
- Régimen de ralentí.
- Distribución de válvulas variable (admisión/escape).

Las centralitas programables son requeridas en situaciones de modificaciones importantes que puedan influir de manera significativa en el comportamiento final del motor. Por ejemplo, la instalación o cambio del turbocompresor, intercooler, tubo de escape, o cambio a otro tipo de combustible requieren de un reajuste de los valores/mapas almacenados en la centralita. Estas centralitas pueden ser programadas/mapeadas conectándolas a un ordenador portátil, mientras el motor está en marcha.[16]

Una centralita programable de alto rendimiento, frecuentemente se equipa con un dispositivo de almacenamiento (*Data Logger*) que graba los valores de todos los sensores para un posterior análisis usando un software especial en un ordenador. Ésto puede ser muy útil para la puesta a punto del vehículo y se consigue con la observación de los datos buscando anomalías en los mismos.

A la hora de realizar una puesta a punto, además de llevar un registro de todos los datos almacenados, conviene realizar notas de los cambios que se realizan y de los efectos de los mismos. Del mismo modo, es adecuado realizar un único cambio cada vez y no pasar al siguiente hasta comprender el efecto del cambio realizado. Si se cambian varios parámetros a la vez se pierde la noción de la relación de los parámetros con las mejoras o deterioros obtenidos.[4]

Principalmente se disponen de 3 parámetros sobre los que actuar: la cantidad de combustible (mezcla), de aire (válvula de ralentí) y el avance del encendido. Las distintas condiciones de operación se pueden resumir de la siguiente manera:

Tabla 2.1	Mezcla (AFR)	Avance del encendido
Arranque	Muy rica	Retraso del encendido
Calentamiento	Rica	Avance ligero
Ralentí	Enriquecimiento	Aumento del avance
Crucero	Pobre	Avance grande
Mínimas emisiones	Estequiométrica	Avance moderado
Aceleración	Rica	Avance creciente
Plena carga (WOT)	Rica	Avance en función del tipo de combustible, características del motor...
Deceleración	Pobre – Cut off	Avance aumentado



Figura 2.15

3. MOTORES

- Clasificación de los motores

Un motor es un mecanismo que transforma una fuente de energía en trabajo. Según la Real Academia Española (RAE), un motor se define como una máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.

Se pueden clasificar de diversas maneras. En función de la fuente de energía tendremos:

- Motores eléctricos.

- Motores hidráulicos y neumáticos.

Figura 3.1
Motor
asíncrono



Figura 3.3
Motor
hidráulico



- Motores térmicos.

Figura 3.2
Mercedes
AMG V8



Figura 3.4
Motor
neumático



- Motores térmicos

Los motores térmicos son máquinas que se encargan de transformar la energía térmica proveniente, en la mayoría de los casos de la combustión, en energía mecánica directamente utilizable. En el caso de motores endotérmicos la energía proviene de combustibles generalmente de líquidos o fluidos compresibles, tales como la gasolina, el gasóleo, queroseno, etc., aunque también pueden usarse combustibles gaseosos como el propano, hidrógeno, GLP (gas licuado del petróleo), GNC (gas natural comprimido), etc.

En definitiva, parten de una energía química almacenada en un combustible para producir trabajo mecánico. El trabajo útil es realizado por órganos en movimiento alternativo, que giran en movimiento rotatorio o bien son propulsados por el empuje de un chorro fluido a gran velocidad.

Otra de las clasificaciones es catalogar los motores por su movimiento principal:

– Motores rotativos.

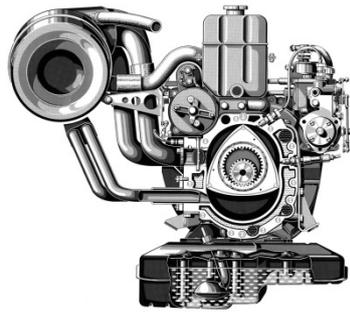


Figura 3.5
Motor
Wankel

– Motores a reacción.



Figura 3.6
Turborreactor

– Motores alternativos.



Figura 3.7
Motor radial o en estrella.
Pratt & Whitney R-4360-35
Wasp Major.
Motor de aviación.

Los motores térmicos son de combustión externa cuando la combustión se produce fuera del fluido de trabajo. Por otra parte, serán de combustión interna o motores endotérmicos cuando el combustible se quema en el fluido mismo, de modo que los productos de la combustión también toman parte de éste.

En la combustión interna, el fluido de trabajo está constituido por una mezcla de combustible y comburente, que posteriormente sufre una oxidación química exotérmica (combustión) de la que se extrae el trabajo. El comburente es el oxígeno en la mayoría de los casos y se obtiene del aire de la atmósfera. En vehículos especiales pueden llegar a usarse otros componentes químicos en lugar del oxígeno.

En este proyecto se van a tratar los motores alternativos ya que el motor suministrado por la Organización es un motor de combustión interna alternativo (MCIA). Son los motores más extendidos en el mundo de la automoción, aunque existan algunos modelos particulares con motores rotativos Wankel (Suzuki: RE5 o Maxda: RX8), incluso con motor de reacción (MTT: YK2).

Los motores de combustión interna alternativos poseen variedad de disposiciones de sus cilindros, que pueden resumirse de la siguiente manera:

Clasificación según la disposición de los cilindros: [5]

- En línea (a).
- En líneas contiguas (b).
- En V (c).
- En W (d).
- En H (e).
- Boxer o contrapuestos (f).
- Según los lados de un polígono (g, h, i).
- En X (l).
- Radial o en estrella (m).
- En haz o paralelos al eje motor (n).

El motor usado en este proyecto se trata de un motor gasolina monocilíndrico cuatro tiempos y ciclo Otto.

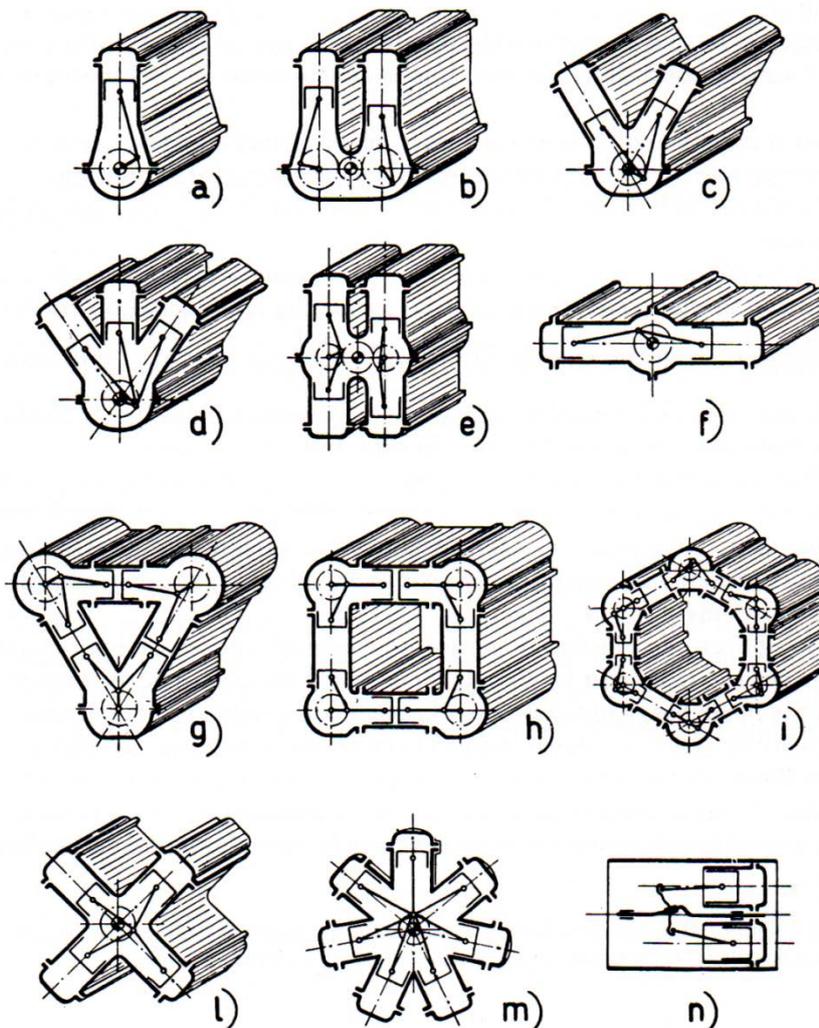


Figura 3.8
Esquemas de las disposiciones
de los cilindros

En la combustión de los motores térmicos será indispensable disponer tanto del combustible como del comburente para que se lleve a cabo la reacción y poder así extraer la energía química almacenada en los mismos.

El aire contiene como se ha dicho el comburente necesario, en nuestro caso consideraremos el oxígeno, que una vez realizada la combustión (temperatura elevada) sale al exterior a una temperatura inferior, debido a que cede parte de ese calor al cilindro en forma de trabajo.

Los MCI se pueden subdividir a su vez por motores de *encendido por chispa* o *encendido provocado* y motores de *encendido por compresión*.

A modo de resumen se propone una tabla en la que se mencionan y clasifican los motores de combustión, tanto de combustión externa como de combustión interna:

– Motores de **combustión externa**:

Tabla 3.1

Fluido condensable	Rotativo	Turbina de vapor de ciclo abierto/cerrado
	Alternativo	Máquina de vapor de ciclo abierto/cerrado
Fluido no condensable	Rotativo	Turbina de gas de ciclo cerrado
	Alternativo	Motor Stirling



Figura 3.9
Motor Stirling



Figura 3.10
Motor a vapor

– Motores de **combustión interna**:

Tabla 3.2

Rotativo	Turbina	Turbina de gas de ciclo abierto
	Volumétrico	Motor Wankel
Alternativo	Encendido por compresión	Motor Diésel
	Encendido provocado o por chispa	Motor de explosión (Otto, Miller, Atkinson...)
Reacción	Cohete	Propulsión líquido/sólido
	Aerorreactor sin compresor	Estatorreactor Pulsorreactor
	Aerorreactor con compresor	Turborreactor Turbofan Turbohélice



Figura 3.11

Motor Sherco SE 250i
 Racing.

Alternativo encendido por
 chispa.

4T monocilíndrico con
 líquido refrigerante.

Cilindrada: 249,4 cc
 Relación de compresión:
 12,6:1

4 válvulas, DOHC por
 cadena.

- Esquema del motor alternativo

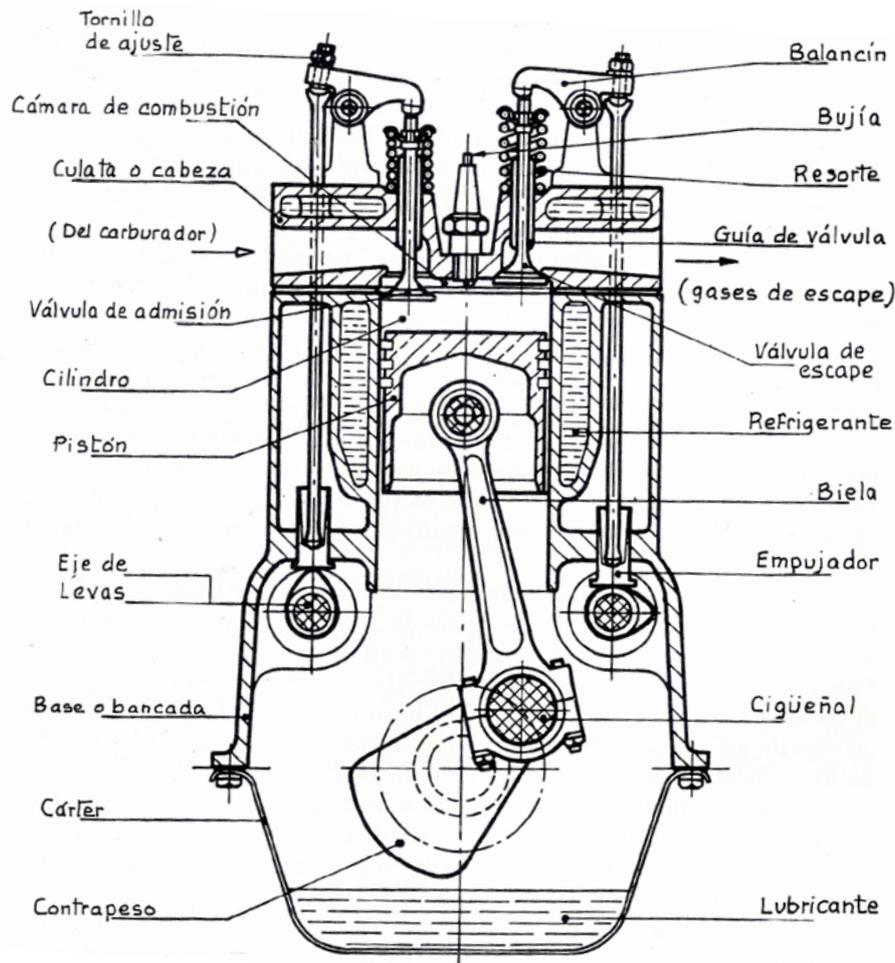


Figura 3.12

La imagen anterior (Figura 3.12) muestra los componentes más comunes en los motores alternativos. El caso expuesto es el de un motor de encendido por chispa, ya que como se puede apreciar posee una bujía en la parte superior de la cámara de combustión.

El volumen encerrado en el cilindro entre la culata y el pistón representa la cámara de combustión. El volumen total del cilindro es el volumen comprendido entre la culata y el pistón cuando este se encuentra en el punto muerto inferior y se mide generalmente en cm^3 , comúnmente denominado cc (centímetros cúbicos). La cilindrada es el volumen desplazado por el pistón con su movimiento desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, también medida en centímetros cúbicos.

La relación volumétrica de compresión es la relación entre el volumen total del cilindro y el volumen de la cámara de combustión (cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior). Generalmente se denomina simplemente relación de compresión.[5]

4. PRINCIPIOS DE LA PUESTA A PUNTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS (4T)

- Funcionamiento de los motores de combustión interna de encendido por chispa

Se denominan motores de combustión interna porque el combustible es quemado en su interior en oposición a aquellos en los que la combustión es realizada en el exterior, como puede ser el caso de un motor a vapor.

Los motores a reacción también son motores de combustión interna, sin embargo, al contrario que los motores usados en automoción, no utilizan el encendido por chispa ya que posee un encendido continuo debido a la combustión del propio combustible.



Figura 4.1

Un motor tiene 3 parámetros primordiales que podemos manipular a fin de optimizar el funcionamiento propio del motor bajo ciertas condiciones:

- La cantidad de aire que entra al motor.
- La cantidad de combustible mezclada con el aire que entra al motor.
- Avance del encendido. Instante de cuando salta la chispa.

El motor usado en este proyecto se trata de un motor monocilíndrico. Este único cilindro tiene un pistón móvil que se encarga de sellar la parte inferior del cilindro y está conectado al cigüeñal a través de una biela. El movimiento vertical del pistón o carrera provoca el movimiento rotacional del cigüeñal gracias al mecanismo biela-manivela que forman.

Los motores de combustión usan la energía de la combustión para hacer mover alternativamente el pistón. En un movimiento de 180° angulares del cigüeñal, el pistón asume dos posiciones extremas:

- P.M.S. = Punto Muerto Superior.
- P.M.I. = Punto Muerto Inferior.

Una fase completa de un motor de explosión de 4 tiempos se compone de dos giros del cigüeñal.

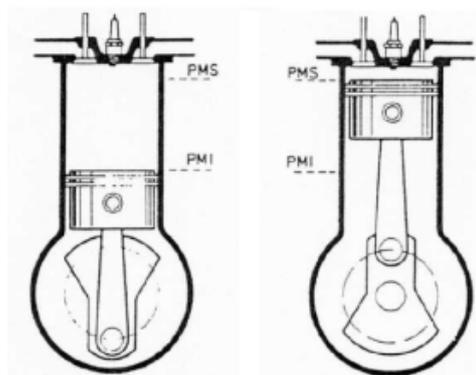


Figura 4.2

Motor de cuatro tiempos:

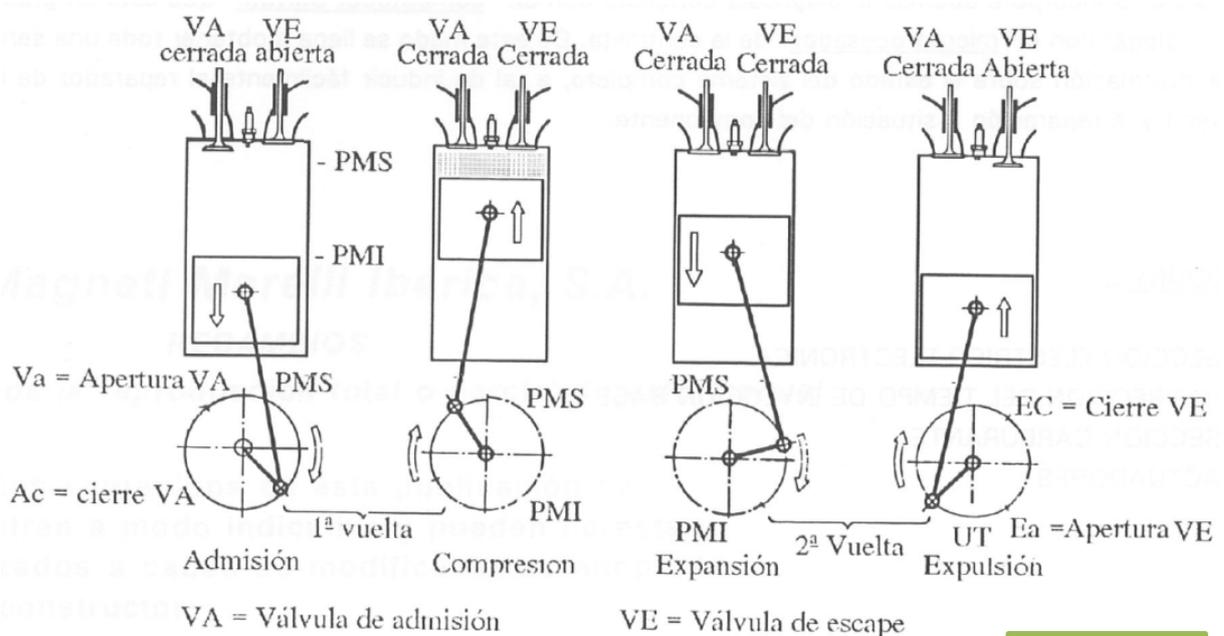


Figura 4.3

— Admisión:

El descenso del pistón aspira la mezcla de aire y combustible del colector de admisión mientras la válvula de admisión se mantiene abierta. La cantidad de combustible que entra al motor debe basarse en la cantidad de aire que también entra a la cámara de combustión para que la mezcla sea apropiada a las condiciones de trabajo. El proceso de determinación de la cantidad de combustible (y el encendido), se denomina puesta a punto del motor o *engine tuning*. Una vez que se ha realizado el ajuste del motor, los inyectores siempre mezclan la cantidad correcta de combustible en el colector de admisión antes de que la mezcla aire/combustible entre al cilindro. En este primer tiempo, el cigüeñal gira 180° , mientras el árbol de levas da 90° angulares. La válvula de escape permanece cerrada durante toda la carrera.

— Compresión:

La válvula de admisión se cierra y debido a la carrera ascendente del pistón la mezcla se comprime, ya que ambas válvulas permanecen cerradas. En este segundo tiempo pueden alcanzarse presiones alrededor de 1MPa ($\approx 150\text{Psi}$).^[4] El combustible quema mejor cuando éste es comprimido, fundamentándonos en que la eficiencia teórica de un motor de combustión interna está ligada a la relación de compresión. Por tanto, la presión alcanzada dependerá de dicha correlación, de la distribución (en caso de que sea variable), apertura de la mariposa y otros factores. En el 2º tiempo el cigüeñal ha dado 360° y el árbol de levas lleva 180° angulares.

— **Explosión/Expansión:**

La mezcla aire/combustible se inflama por acción de la chispa que genera la bujía. Se produce entonces una reacción exotérmica o combustión en la cámara de combustión cuando el pistón se encuentra en una posición cercana a su P.M.S. En consecuencia, se eleva la temperatura y por consiguiente aumenta la presión a lo largo del cilindro. La presión empuja por igual en todas las superficies de la cámara de combustión (expansión de los gases), no obstante, actúa exclusivamente sobre el pistón, ya que es el único componente móvil en la cámara, realizando trabajo efectivo en la carrera descendente del mismo. Los gases de combustión son los que empujan al pistón forzando el giro del cigüeñal. En este tiempo el cigüeñal lleva 540° mientras que el árbol de levas ha girado 270°. Ambas válvulas se encuentran cerradas.

— **Escape:**

Al final de la etapa de expansión (P.M.I.), la válvula de escape se abre, por lo que cuando el cilindro realiza la carrera ascendente (ayudado por la presión residual de los gases aún calientes) empuja hacia fuera a los gases residuales de la combustión a través del colector de escape. La válvula se cierra cuando el pistón se encuentra en una posición cercana a su P.M.S. reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal ha girado ya 720° y el árbol de levas termina girando 360° angulares.

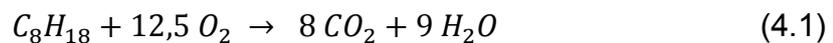
Cuando la etapa de escape se solapa con la de admisión tiene lugar el llamado cruce de válvulas, que sucede cuando la válvula de admisión ya está abierta y la de escape no se ha cerrado por completo. Los motores de serie tienen un cruce de válvulas de unos 20° de giro del cigüeñal. En vehículos de competición, los árboles de levas pueden tener cruces de válvulas incluso de 60° angulares.[19] El cruce beneficia al rendimiento del motor, ya que elimina más efectivamente los gases quemados para que la nueva mezcla sea lo más pura posible.

Estas cuatro etapas se repiten constantemente. Vemos que por cada ciclo de funcionamiento el cigüeñal gira dos vueltas, mientras que el árbol de levas gira únicamente una. Por esta razón el engranaje del árbol de levas siempre tiene el doble de dientes que el del cigüeñal, obteniendo una relación de transmisión de 2:1. Nótese además que únicamente es la expansión la que aporta potencia al sistema y que gracias al volante de inercia se llevan a cabo el resto de etapas. El volante de inercia almacena parte de la energía liberada en la explosión en forma de momento angular que cederá al sistema para que continúe girando.

La cantidad de aire que entra al motor es determinada por la válvula de mariposa o admisión, que actúa bajo las exigencias del acelerador. Una mayor apertura de la válvula de mariposa implica un mayor volumen de aire y por lo tanto mayor potencia de salida siempre y cuando la mezcla aire/combustible sea apropiada. El ratio ideal se denomina mezcla estequiométrica. Una mezcla superior es considerada como “rica” y “pobre” para el caso opuesto. La mezcla estequiométrica se fija en un valor de 14,7:1. Este ratio aplicado a la masa de combustible supone que por cada gramo de gasolina se requieren 14,7 gramos de aire.

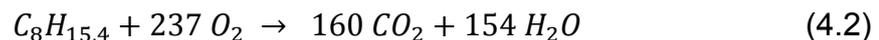
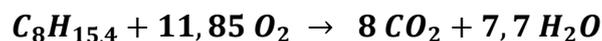
- **Procesos de combustión**

Consideremos la combustión del octano, molécula más representativa de la gasolina.



C_8H_{18} es la fórmula para el octano. El oxígeno (O_2) consumido es el proveniente de la masa de aire que procede de la admisión.

A continuación se muestra una simplificación para una combustión estequiométrica de gasolina, la cual tiene una menor proporción de hidrógeno:



Esta sería la mezcla perfecta de aire/combustible, no obstante no se puede conseguir $C_8H_{15,4}$, pero sí que se podría pensar por ejemplo en una media de varios combustibles del tipo 65% C_8H_{14} + 35% C_8H_{15} .

El carbono (C) tiene una masa atómica aproximada de 12,01u (*unidad de masa atómica unificada – Dalton*), el oxígeno de 16u, y el hidrógeno de 1,008u. Para una mezcla tradicional de gasolina la masa molecular sería:

$$(8) \times 12,01 + (15,4) \times 1,008 = 111,6 \text{ u} \quad (4.3)$$

La masa de la molécula de oxígeno (O_2) sería:

$$(2) \times 16 = 32 \text{ u} \quad (4.4)$$

Por lo que el ratio de oxígeno/gasolina sería de:

$$(11,85 \times 32\text{u}) \div 111,6\text{u} = 3,4 : 1 \quad (4.5)$$

Este ratio sería ideal si el motor aspirase únicamente oxígeno, sin embargo como el oxígeno viene contenido en el aire que entra por la admisión ha de considerarse las proporciones del mismo.[4]

Un aire seco contiene principalmente y de manera aproximada 20,95% de oxígeno (O₂), 78,08% de nitrógeno (N₂) y argón (Ar) en un 0,97%. El peso atómico del nitrógeno es de 14,01u y el del argón de 39,95u. Con lo que:

$$\frac{20,95\% \times (2) \times 16}{78,08\% \times (2) \times 14,01 + 20,95\% \times (2) \times 16 + 0,97\% \times 39,95} = 23,14\% \quad (4.6)$$

Por lo tanto, el ratio másico estequiométrico de aire/gasolina es de:

$$\frac{3,4}{23,14\%} = 14,7 : 1 \quad (4.7)$$

A continuación se muestra una tabla con la relación estequiométrica de diferentes combustibles:

Combustible	Mezcla estequiométrica
Octano (C ₈ H ₁₈)	15,1
Metanol (CH ₃ OH)	6,47
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	9
Hidrógeno (H ₂)	34,3
GLP: mezcla de propano (C ₃ H ₈) y butano (C ₄ H ₁₀)	15,5

Tabla 4.1

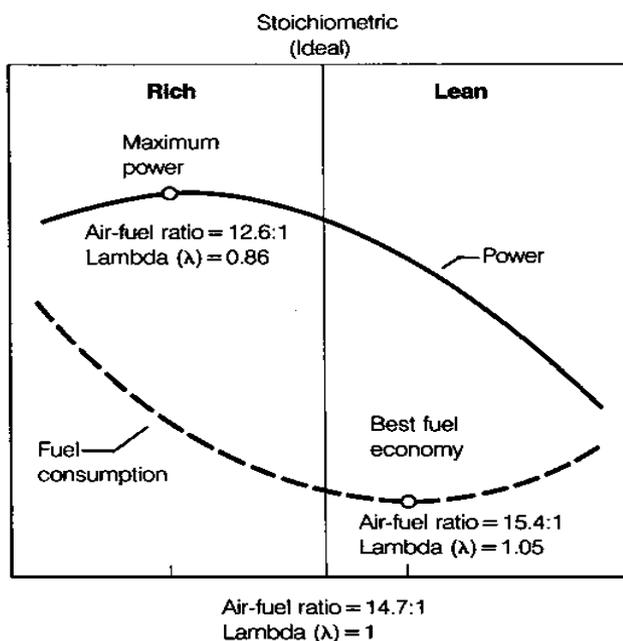


Figura 4.4
Fuente: Bosch Fuel Injection

Aunque la mezcla estequiométrica se considere el ratio ideal, no tiene por qué ser el objetivo óptimo para obtener mayores potencias o economías de combustible. En el caso de buscar una mayor potencia será mejor trabajar con mezclas ricas, es decir, por encima de la mezcla estequiométrica.

Para poder obtener una mezcla adecuada se comprueba la relación de oxígeno en los gases de escape. El motor por sí solo no puede controlar la relación de aire/combustible que entra en la cámara de combustión. Para poder controlar la mezcla es necesario de un sensor que indique el porcentaje de aire y combustible que entra en el motor. A este dispositivo se le llama sensor de oxígeno o sonda lambda. Este sensor situado a la salida del colector de escape del motor, analiza los gases de escape, y envía información constantemente a la gestión electrónica del motor, que adecua la mezcla en función de las circunstancias de funcionamiento del vehículo.



Figura 4.5
Sonda lambda

Una mezcla pobre es resultante de un exceso de aire en la relación aire/combustible. En estas condiciones, en el motor se incrementa la temperatura de la combustión, facilitando la aparición de óxidos de nitrógeno (NO_x), además, si la mezcla es muy pobre, el combustible no llega a inflamarse y el motor se pararía.

Por el contrario, una mezcla rica se debe a un exceso de combustible en la mezcla con respecto al aire que entra en la cámara de combustión del motor. En este caso el exceso de combustible no se puede combinar completamente con el aire, por lo tanto una parte del combustible es expulsado por el escape en forma de hollín y monóxido de carbono (CO).

El sensor lambda nos ofrece una medida de lo que se denomina el factor lambda que no es más que el cociente entre la masa real de aire y la masa teórica de aire necesaria para una mezcla estequiométrica.

- Con una relación lambda 1, se obtiene una combustión perfecta ya que el aire aspirado coincide con el teórico.
- Con una relación "lambda < 1" (por ejemplo 0,8) se indica escasez de aire por lo que la mezcla resulta rica de combustible (el aire aspirado es solo el 80% del necesario).
- Con una relación "lambda > 1" (por ejemplo 1,20) se indica exceso de aire, por consiguiente una mezcla pobre (el aire aspirado es un 120% del teórico, es decir un 20 % más del necesario).

En relación a los gases de escape, para mezclas pobres tenemos menor emisión de CO , aumentando de manera lineal según se enriquece la misma. Por otro lado, las emisiones de CO_2 , al igual que las emisiones de NO_x , obtienen su máximo en una relación cercana a factor lambda igual a 1. En cuanto a los hidrocarburos, aumentan, lógicamente cuando la mezcla es rica.[4]

- Ciclo teórico Otto

Durante el transcurso del fluido de trabajo a través del motor, éste se ve sometido a una serie de transformaciones químicas y físicas (compresión, expansión, combustión, transferencia de calor, rozamiento...) que constituyen el ciclo del motor.

A la hora de estudiar el ciclo teórico se puede acudir a diferentes simplificaciones del tipo ciclo ideal, ciclo de aire y ciclo de aire/combustible, a cada cual más aproximada al ciclo real. En el ciclo ideal el fluido de trabajo es aire que se comporta como un gas perfecto. En el ciclo de aire el fluido sigue siendo el aire, pero en este caso los calores específicos se consideran variables con la temperatura. Por último, en el ciclo aire/combustible se trabaja con valores de tablas de datos obtenidas experimentalmente.[5]

A continuación se representa el ciclo teórico Otto en coordenadas de presión frente a volumen y temperatura frente a la entropía.

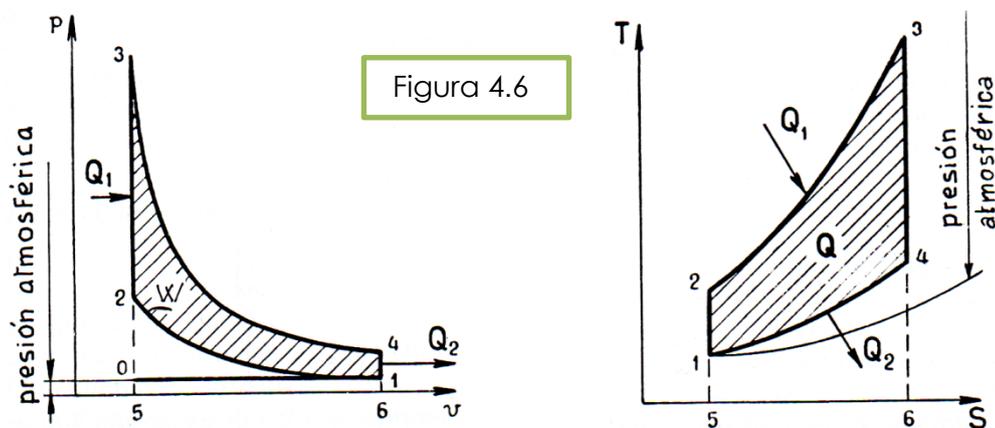


Figura 4.6

- 1-2: Adiabático (sin transferencia de calor con el exterior). Compresión del fluido de trabajo correspondiente al trabajo realizado por el pistón.
- 2-3: A volumen constante. Introducción instantánea del calor aportado.
- 3-4: Adiabático. Expansión correspondiente al trabajo realizado por el fluido de trabajo.
- 4-1: A volumen constante. Extracción instantánea de calor.

En realidad en los motores de 4 tiempos la extracción de calor se produce durante la carrera de escape 1~0. El fluido es introducido en el motor en la carrera de admisión 0~1, representado en el diagrama presión-volumen. En estos supuestos podemos llegar a obtener el rendimiento térmico ideal, que una vez desarrollado se observa que es función de la relación volumétrica de compresión.[5]

- Ciclo real

El ciclo real refleja las condiciones reales de funcionamiento de un motor y se identifica con el diagrama de las presiones medidas en el cilindro, correspondientes a las diferentes posiciones del pistón. Este diagrama se denomina diagrama indicado.

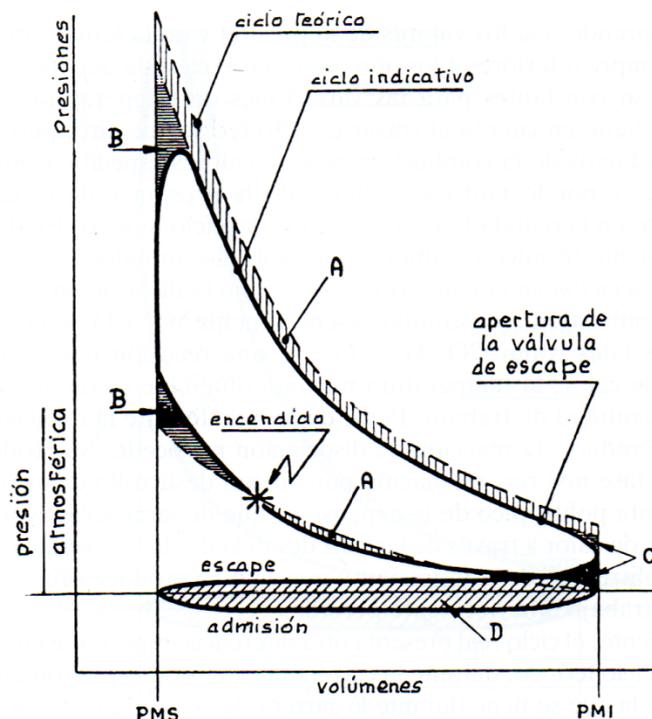
Entre el ciclo indicado y el correspondiente ciclo teórico existen diferencias sustanciales tanto en la forma del diagrama como en los valores de temperaturas y presiones. Las diferencias en la forma del diagrama son debidas a las pérdidas de calor, a que la combustión no es instantánea y a los tiempos de apertura de las válvulas de asiento.

Las líneas de compresión y expansión no son adiabáticas, sino politrópicas, es decir, tienen intercambio de calor con el entorno y suponen una pérdida de trabajo útil. Zonas A del diagrama. La combustión no instantánea produce el redondeamiento de las zonas B del diagrama.

Por otro lado, las diferencias entre los valores de presiones y temperaturas son debidas al aumento de los calores específicos del fluido con la temperatura y la disociación en la combustión. El calor específico a presión constante c_p como el de volumen constante c_v de un gas real aumenta con la temperatura y hacen que los valores de presión y temperatura máxima resulten inferiores a los que se obtendrían si estos fuesen constantes.[5]

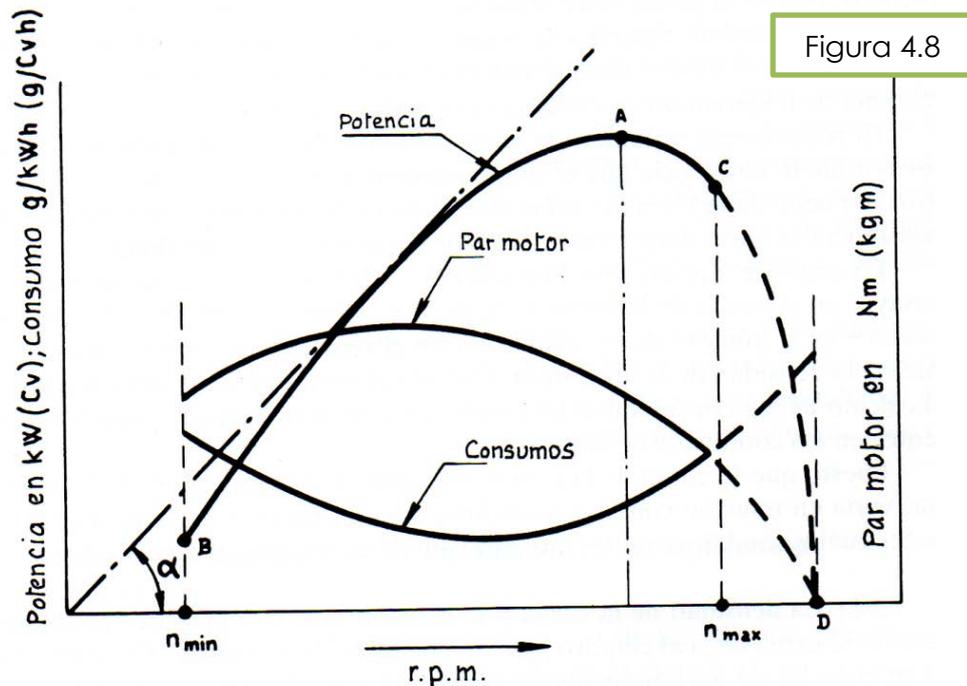
La última distinción se basa en la diferencia de presiones en el cilindro en la carrera de admisión y escape, creando un área correspondiente a un trabajo perdido, también llamado trabajo de bombeo. Zona D del diagrama.

Figura 4.7
Comparación entre ciclo Otto teórico e indicado



- Prestaciones del motor y factores que las influncian

Las curvas características de potencia, par y consumo de combustible en función del número de revoluciones, quedan definidas por las prestaciones propias de cada motor:



De la figura anterior se concluye que la potencia aumenta con las revoluciones hasta un cierto límite, punto A, para luego disminuir. Se puede también ver que el régimen del par máximo es notablemente inferior al de potencia máxima.

Estas curvas se determinan generalmente en un banco de ensayos a plena apertura de la mariposa, es decir, a plena carga.[17] En la figura 4.8 mostrada arriba podemos observar la potencia efectiva, par del motor o momento de torsión y el consumo específico.



Figura 4.9
Banco de rodillos

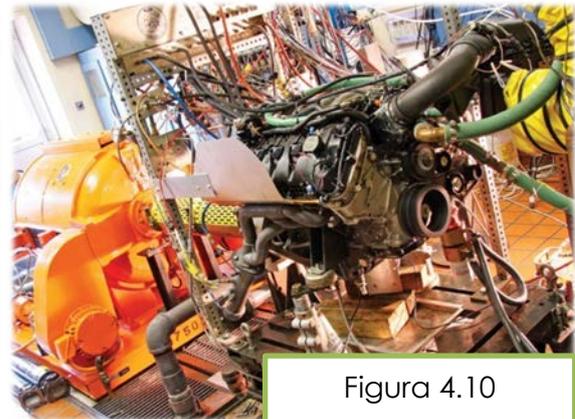


Figura 4.10
Banco de motor

Para cada motor existe una velocidad de rotación para la cual la masa de fluido de trabajo es la máxima posible para cada ciclo. A esa velocidad el área del ciclo indicado, la presión media indicada y el par motor indicado son máximos, por lo que también lo será el producto del rendimiento volumétrico y el rendimiento térmico. La potencia indicada seguirá aumentando con las revoluciones, mientras la masa de fluido para cada ciclo disminuye, aunque no así la masa utilizada por unidad de tiempo, ya que aumenta el número de ciclos.

Si se continúa de esta manera, se alcanza un valor donde la masa de fluido para cada ciclo disminuye más rápidamente que lo que aumenta el número de ciclos, es decir, se reduce la masa por unidad de tiempo, por lo que la potencia indicada disminuirá. Si se mantiene esta situación se alcanzaría el punto D del diagrama, que no suele obtenerse ya que los motores no suelen estar dimensionados para soportar regímenes tan altos. El punto B corresponde con el mínimo necesario para que el motor venza las resistencias mecánicas, ya que por debajo de este punto el motor funcionaría de manera irregular.[5]

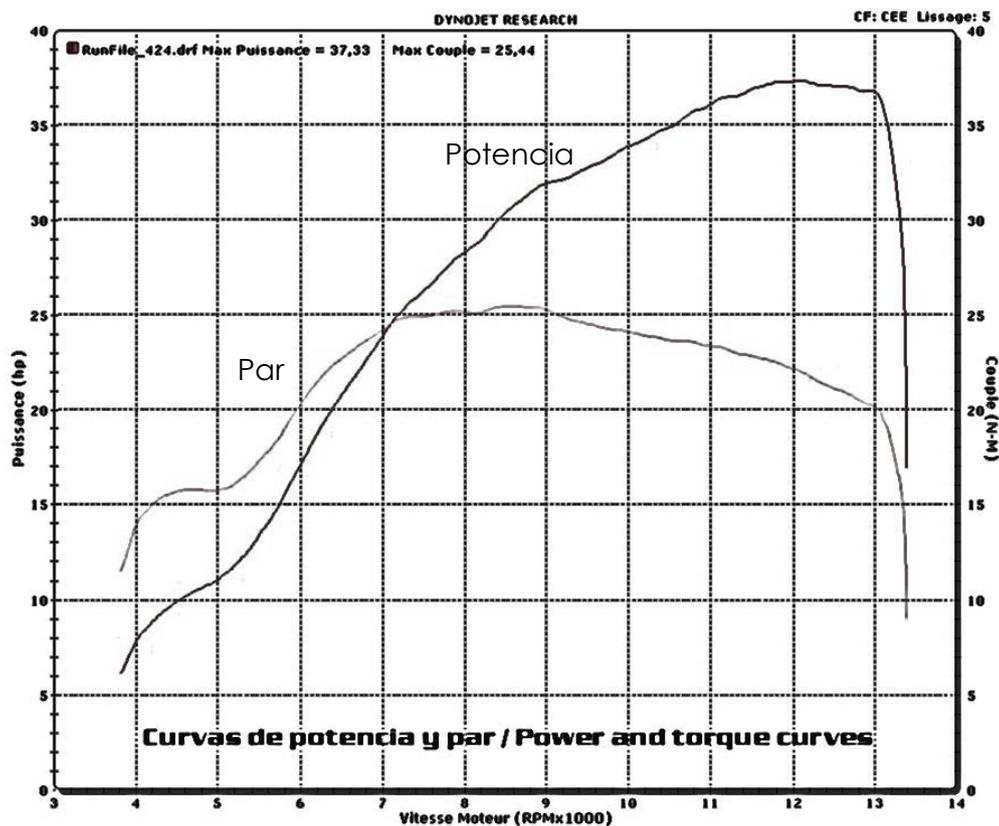


Figura 4.11 - Curvas características del motor Sherco SE 250i

— **Número de revoluciones:**

A bajas velocidades hay mayor disponibilidad de tiempo para la transferencia de calor con las paredes del motor, y por lo tanto tiene una mayor evacuación de calor que en altos regímenes de vueltas. Con el aumento de la velocidad, aumenta el consumo de aire y por lo tanto aumenta la potencia indicada, con el consiguiente incremento en las pérdidas por rozamientos e inercias de partes móviles. Es por eso que cuando se desean altos valores de relación potencia peso se adoptan regímenes elevados, dentro de los límites del pistón y funcionamiento de las válvulas, por lo que deberemos llegar a un compromiso.

— **Relación de compresión:**

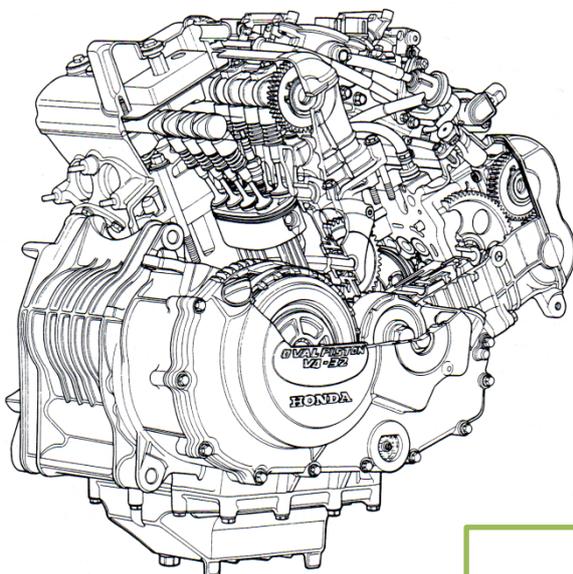
Aumentando dentro de ciertos límites la relación de compresión, aumenta el rendimiento térmico y por tanto la potencia indicada, disminuyendo el consumo específico a igualdad de potencia efectiva. En motores de encendido por chispa esta compresión queda limitada por la detonación, además de que las altas presiones generan más pérdidas de rozamiento y mayores cargas y solicitaciones en diferentes componentes. Los motores con esta característica de compresión del fluido de trabajo se denominan motores sobrealimentados.



Figura 4.12
Motor sobrealimentado

— **Masa de la carga introducida:**

A mayor masa de la carga introducida corresponde mayor potencia. Fijada la cilindrada, la potencia desarrollada por cada ciclo es tanto mayor cuanto mayor es la densidad del fluido introducido.

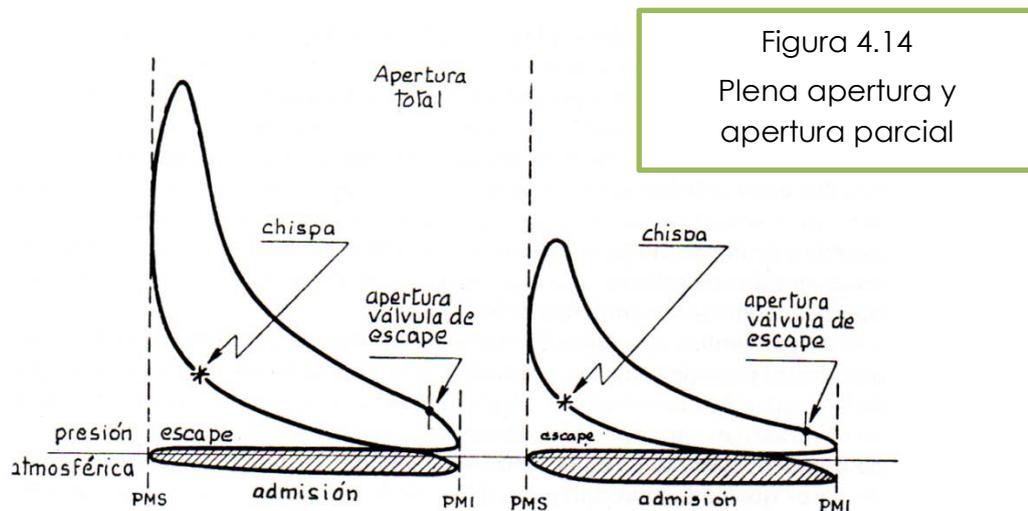


El medio más eficaz para aumentar la masa de la carga introducida es la sobrealimentación mencionada en el apartado anterior. Otro medio es la de mejorar el rendimiento volumétrico, escogiendo adecuadamente las dimensiones de los conductos de admisión y escape y el tiempo de apertura de válvulas. La carga será más densa cuanto menor sea su temperatura a la entrada del cilindro.

Figura 4.13
Motor Honda NR 750 V4 con
pistones ovales y 32 válvulas

Una forma alternativa de aumentar la carga de combustible es ampliando el número de válvulas por cilindro a las cámaras de combustión. El fabricante Honda probó a sustituir los pistones circulares por unos ovales que permitían ampliar la superficie e introducir ocho válvulas por cilindro. (Figura 4.13).

Si estudiamos el efecto de la apertura de la mariposa, que regula el caudal de la mezcla que entra en la admisión, en relación con los diagramas de presión-volumen, vemos que cuando la mariposa está completamente abierta, es decir, con el motor a plena carga, la resistencia al paso del aire es mínima y entra la máxima cantidad de mezcla, por lo que el trabajo útil es máximo y la presión del cilindro es próxima a la atmosférica en las fases de escape y admisión. En cambio cuando la mariposa está parcialmente cerrada, la resistencia al paso de la mezcla es considerable, ésta no entra con la misma rapidez con la que aumenta el volumen en el cilindro por el movimiento del pistón y se crea una depresión en las fases de admisión y escape y el trabajo realizado por el fluido es también menor.[5]



— Combustión y tiempo de encendido:

Para obtener un funcionamiento regular y progresivo es necesario escoger el instante de salto de la chispa o el avance al encendido de modo que en relación con el tiempo empleado por la combustión, el punto de máxima presión corresponda con el comienzo de la carrera de expansión.

En los motores de encendido por chispa, cuanto ésta salta, la combustión empieza en la zona alrededor de los electrodos de la bujía y se propaga en un frente de llama hasta que se quema toda la mezcla. La velocidad de combustión se refiere al avance de la reacción química de oxidación del combustible. Debido al tiempo que dura la combustión, es necesario que la chispa salte en la bujía un poco antes de que el pistón llegue a P.M.S. en la carrera de compresión. Por esto conviene anticipar el encendido de modo que la combustión pueda llevarse a cabo en su mayor parte cuando el pistón se encuentra en las cercanías del P.M.S.

Esta estrategia es lo que se llama avance del encendido, que se mide en grados de giro del cigüeñal respecto al P.M.S. Este ángulo es variable, depende fundamentalmente del régimen de giro y del grado de carga. Puede variar de 0° a 50° , según las condiciones de funcionamiento del motor. Cuando el motor trabaja al ralentí, el avance del encendido típicamente suele fijarse sobre los 5° y sobre los 35° angulares a máxima apertura de mariposa; pudiendo alcanzar valores mayores para cargas parciales.[4]

En una mezcla homogénea, el frente de llama se desplaza en la cámara de combustión causada por la diferencia de presión entre los gases quemados y los que están aún por quemarse. Este frente se desplaza a unos 80 km/h bajo altas presiones en el cilindro y adecuadas proporciones aire/combustible.[4] La combustión tarda del orden de milisegundos, sin embargo, hay que ir adecuando el encendido con el régimen de vueltas del motor. El adelanto del encendido es pequeño cuando el motor gira a bajas vueltas porque el pistón se mueve despacio y la mezcla tiene tiempo suficiente para combustionar próximo al P.M.S. A velocidades mayores el avance debe ser mayor, aunque fenómenos como las turbulencias en la combustión pueden favorecer una más rápida reacción, reduciendo el avance.



Figura 4.15

Un mayor grado de turbulencia permite, en general, obtener una mayor homogeneidad en la carga y aumentar la velocidad de avance del frente de la llama durante la combustión, mejorando el proceso y permitiendo extender el límite de funcionamiento de motores de encendido por chispa a relaciones de aire/combustible por encima de la estequiométrica. Los detalles que influyen en la combustión, incluyen la calidad de la mezcla, la forma y tamaño de la cámara de combustión, la velocidad de propagación de la llama, el diseño de la cabeza del pistón e infinidad de otros factores.

El momento del encendido se suele establecer experimentalmente mediante pruebas para corresponder la potencia máxima obtenible al límite de la detonación o a la regularidad de la marcha del motor. En general, el momento en el cual se hace saltar la chispa corresponde al punto en el cual la presión es la mitad de la que se alcanza en el P.M.S. Si la chispa salta con retraso, la combustión se produce casi totalmente después del P.M.S. y la presión máxima se alcanza cuando el pistón se ha alejado notablemente del punto muerto superior, por lo que el trabajo del ciclo se reduce. Por el contrario si la chispa salta demasiado pronto, la combustión se realiza en gran parte antes del P.M.S. y lleva a la detonación y/o autoencendido.

Normalmente, en los motores se busca que tras encender la mezcla, el frente de llama avance hasta conseguir la máxima presión dentro de la cámara de combustión entre 12° y 14° grados del cigüeñal después del P.M.S.[4]

También es lógico pensar que a mayor velocidad de giro del motor menos tiempo hay para que se queme la mezcla y por tanto a medida que aumentan las rpm debemos adelantar el encendido. La mezcla de máxima potencia (ligeramente rica) es la que más rápido arde, por tanto nos obliga a retrasar el avance del encendido ligeramente mientras que mezclas excesivamente ricas (por un mal ajuste) o pobres (reducir consumos) arden más lentamente, luego necesitan más avance del encendido.

Visto esto, podemos imaginar que adelantando aún más el encendido conseguiremos que la máxima presión se dé antes de esos teóricos $12\sim 14^\circ$ después del P.M.S., cuando la compresión en la cámara es mayor, con lo que la explosión empujará al pistón con más fuerza, produciendo más potencia.

Si trabajamos con el ajuste del avance del encendido sobre un banco de potencia observaremos que a medida que adelantamos el encendido va aumentando la potencia hasta que llegamos a un punto en el que más avance no sólo no significa más potencia sino que sobrepasarlo implica empezar a detonar y/o autoencender.[18]

Hay dos tipos de combustiones rápidas, que se distinguen precisamente por la rapidez con que se producen. Si la combustión es rápida pero sucede a una velocidad menor que la del sonido, se dice que es una deflagración. Si se produce a una velocidad mayor que la del sonido, es una detonación.[20]

En un motor de gasolina, la combustión normal es una deflagración. Hay un frente de llama que se inicia en la bujía y se propaga por la cámara a una velocidad menor que la del sonido. Ese frente de llama aumenta la presión delante de él a medida que se desplaza. Puede ocurrir que, si la presión llega a ser muy alta en algún punto de la cámara, la mezcla de aire y gasolina aún sin quemar produzca una detonación. En tal caso, la energía que inicia la reacción de combustión no la produce ni el arco eléctrico de la bujía ni la llama que se va desplazando, sino el aumento de temperatura local que sigue al aumento de presión. Esa detonación provoca una combustión anormal que no mejora el rendimiento del motor y que, por su violencia, puede causar daños mecánicos graves en los pistones u otras partes de la cámara. Cuando existe detonación, se dice que el motor “pica” (o incluso “pica bielas”).



Figura 4.16

Las variables principales de las que depende la detonación son el avance del encendido, la relación de compresión y el índice de octano del combustible, aunque hay otros factores que influyen, como el diseño de la cámara.

Cuanto mayor es el avance del encendido, mayor es la posibilidad de detonación porque aumenta la presión en la cámara antes de que el pistón llegue al punto muerto superior. En el caso de la relación de compresión, la posibilidad de detonación también sucede por el aumento de la presión en la cámara de combustión.

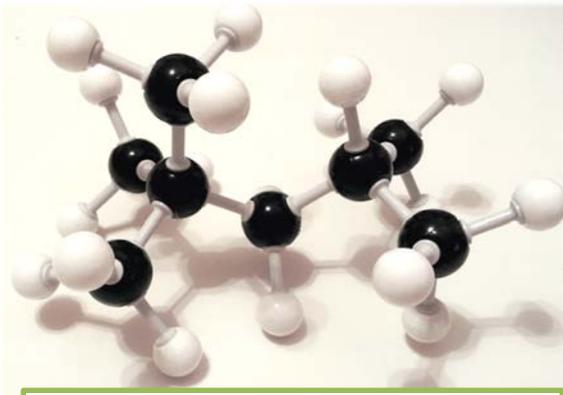


Figura 4.17
Modelo molecular del Isooctano

En cuanto al octanaje, cuanto menor sea éste, mayor es la posibilidad de detonación porque el combustible necesita menos calor para inflamarse.[18] Dicho índice de octanos se obtiene por comparación del poder antidetonante de la gasolina con el de una mezcla patrón compuesta de heptano e isooctano.

Por otro lado, si un motor de gasolina está en mal estado y tiene en algún punto de la cámara una zona incandescente, es posible que esa zona inflame la mezcla antes, a la vez o en lugar de que lo haga la bujía. Dicho fenómeno se conoce como el autoencendido y produce en la cámara de combustión una combustión deflagrante, ardiendo súbitamente y dando lugar a un frente de llama.[20]

— Variación de las condiciones atmosféricas:

Ciertos parámetros varían en función de la altura de funcionamiento y condiciones atmosféricas (presión, temperatura y grado de humedad) en las que trabaja el motor, e influyen notablemente en sus prestaciones.

Estudios en motores de aviación han desvelado que la potencia es directamente proporcional a la presión barométrica y a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta:

$$P_0 = P_e \cdot k_{potencia} = P_e \cdot \left(\frac{p_0}{p} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right) \quad (4.8)$$

Donde P_0 es la potencia en atmósfera estándar ($p_0 = 1,013$ bar y $T_0 = 288$ °K), P_e es la potencia efectiva, p la presión atmosférica ambiente y T la temperatura ambiente. La constante se conoce también como factor de corrección o de potencia.[5]

En cuanto a la humedad, la corrección puede hacerse restando la presión atmosférica a la presión del vapor del agua ambiental y usando este valor en lugar de la presión atmosférica ambiente en la fórmula anterior.

- Rendimiento volumétrico

Las características del motor dependen principalmente de la cantidad de aire utilizado, ya que cuanto mayor es la cantidad de aire introducida, tanto mayor es la cantidad de combustible, con la consecuente mayor potencia extraíble.

El rendimiento volumétrico nos permite conocer el grado de llenado del cilindro y en consecuencia la calidad de la mezcla. Este rendimiento varía con el régimen del motor debido a que cuanto mayor es la velocidad del fluido de trabajo, mayor es de la resistencia ejercida contra el mismo.

Generalmente las paredes de los conductos de aspiración y del cilindro ceden calor a la carga fresca, calentándola, por esto la densidad de la carga disminuye y se tiene una cierta reducción del rendimiento volumétrico, aunque contribuyen en parte a refrigerar el motor, por lo que un enriquecimiento en la mezcla podría llegar a favorecer la disminución de la temperatura del motor.

El rendimiento puede ser mejorado por compresión del fluido antes de ser enviado al cilindro y más aún si entra refrigerado (más denso). Además si se estudian las ondas de presión de los conductos de aspiración y escape conjuntamente con los tiempos de apertura y cierre de las válvulas puede conseguirse una sobrealimentación por inercia de las propias ondas, aprovechando la presión de la onda en la alimentación y su mejor escape en la salida.[5]

El avance de la apertura de la válvula de admisión (**AAA**) con respecto al P.M.S. se debe a que el tiempo de apertura necesario es relativamente largo para que sea un movimiento regular. De esta manera se consigue que para el momento en el que la válvula está completamente abierta se realiza el máximo llenado del cilindro. Gracias a la apertura de la válvula y la depresión que se crea en el cilindro, los gases frescos entran al motor. El retraso del cierre de la válvula de admisión (**RCA**) respecto del P.M.I. se debe a la misma razón, ya que la válvula no deberá superar ciertos valores de velocidad y aceleración. Conviene mantener la válvula abierta mientras sigan entrando gases frescos.

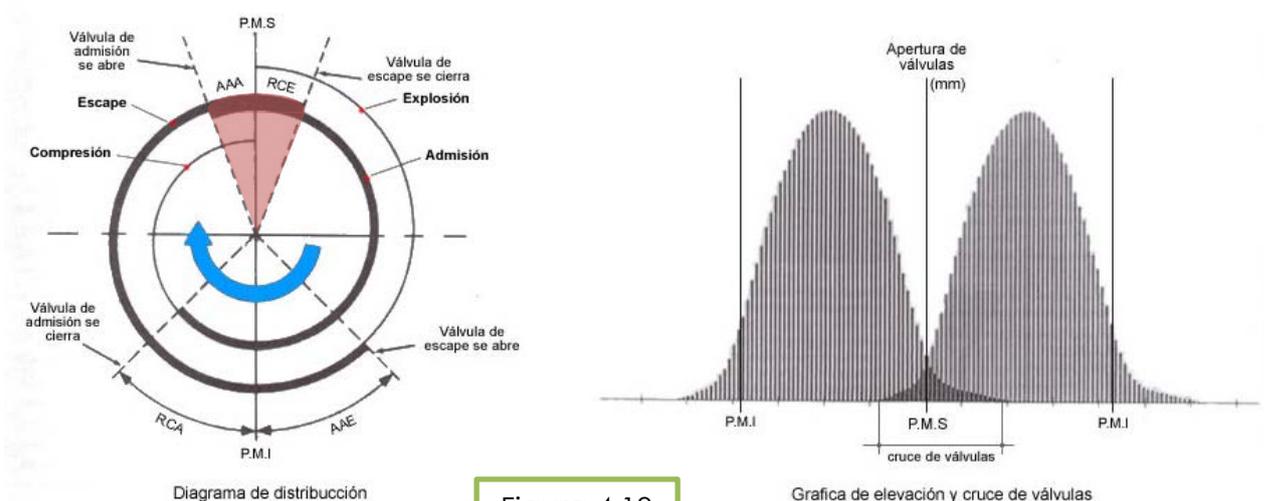


Figura 4.18

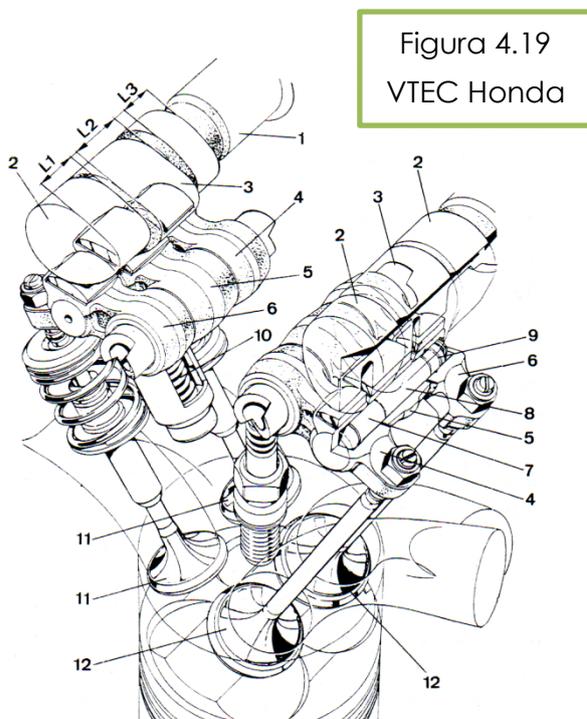
La velocidad de entrada del fluido es elevada, por lo que seguirá entrando mezcla en el cilindro incluso cuando el pistón comienza la etapa de compresión debido al retraso del cierre. Además, cuanto mayor es el régimen del motor, mayor será la energía cinética de los gases y mayor el retraso que hay que dar al cierre de la válvula.[19]

El avance de apertura de la válvula de escape (**AAE**) en relación al P.M.I., antes de la carrera de escape, tiene como efecto rebajar la presión de los gases quemados, además de mejorar la expulsión de los gases quemados. La válvula alcanzará su apertura máxima cuando la carrera de escape ya haya comenzado gracias a este adelanto en la apertura.

El retraso del cierre de la válvula de escape (**RCE**) con respecto al P.M.S. tiene en cuenta, como en el caso de la admisión, la inercia de los gases quemados. El ángulo durante el cual las dos válvulas permanecen abiertas se denomina ángulo de cruce. Este ángulo se puede apreciar sombreado en rojo en la figura 4.18 de la página anterior.

En el caso aplicado del proyecto se trata de una distribución estática, por lo que no permite el ajuste de estos ángulos ya preestablecidos en los perfiles de las levas de la distribución propia del motor. En general son cotas de reglaje fijas, que suelen optimizarse para un régimen de giro en concreto. No obstante también existe la distribución variable. Un ejemplo de la misma sería la VTEC (*Variable Valve Timing and Lift Electronic Control*) desarrollado por Honda. Este sistema emplea una tercera leva adicional que entra en funcionamiento a partir de cierto régimen del motor gracias a la presión ejercida por el aceite del motor sobre la misma, pasando ésta a controlar la admisión y escape con perfiles de leva diferentes.

El mecanismo está controlado por un sistema electrónico que se encarga de regular la variación de la apertura de las válvulas según sea necesario, de esta forma se alarga el recorrido de apertura de las válvulas con tal de aumentar la entrega de potencia y se limita para contener el consumo de combustible de forma variable.



- Tipos de cámaras de combustión

Las diferentes cámaras se diferencian principalmente por la disposición de las válvulas, laterales o en la culata. Aquellas que disponen de válvulas laterales tienen una gran superficie con relación al volumen y no son adecuadas para altas relaciones de compresión, aunque sí son más sencillos, silenciosos y más baratos.[5] Actualmente los motores usan en su mayoría cámaras de combustión con disposición en la culata. La cámara hemisférica es la más usada por tener el mayor rendimiento superficie/volumen. Permite además colocar la bujía en el centro, por lo que se obtiene un mayor rendimiento volumétrico y rapidez de combustión.

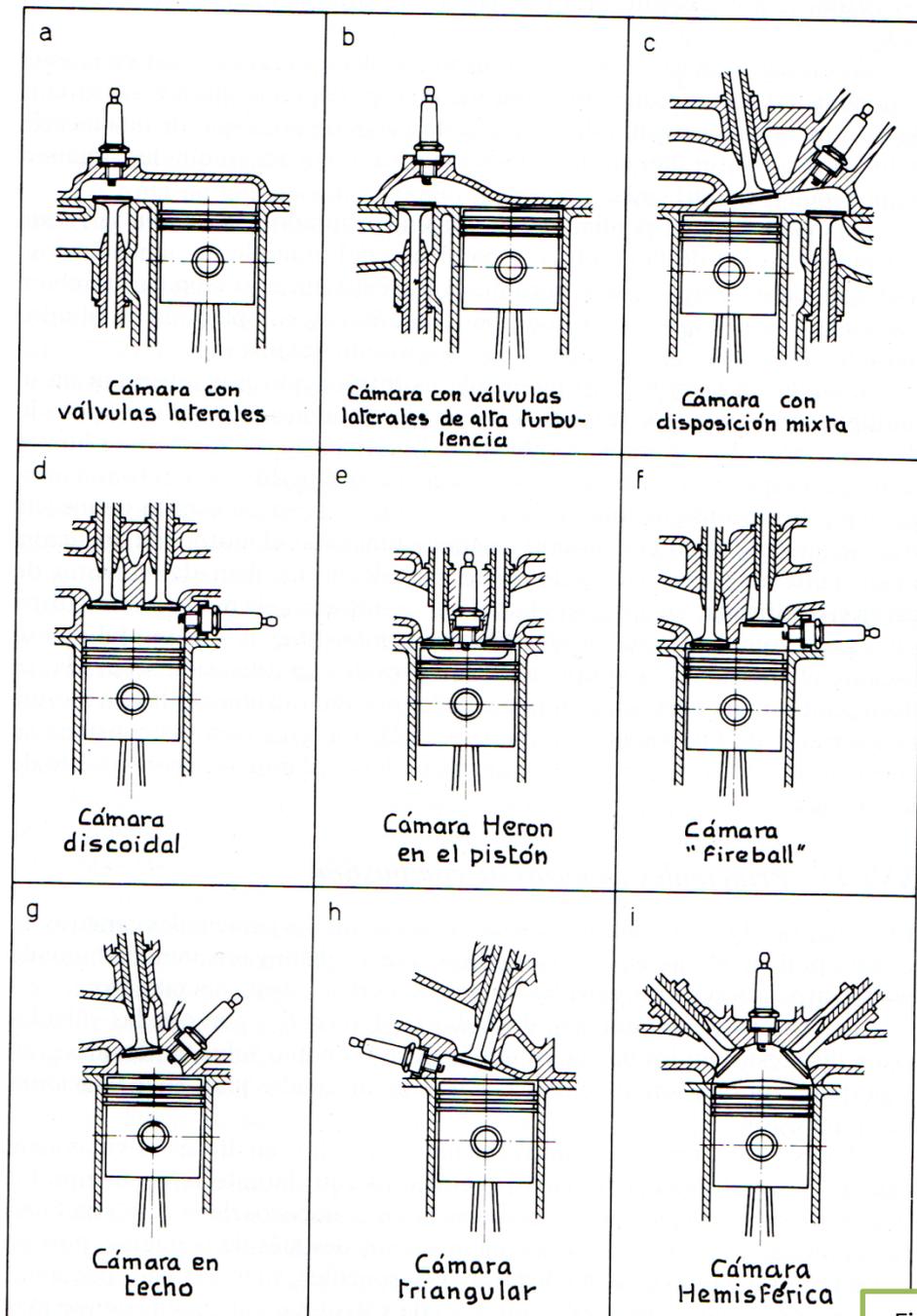


Figura 4.20

- **Factores que influyen en la combustión**

La velocidad de la llama influye en el gradiente de presión, importante a efectos de funcionamiento del motor. Los parámetros más importantes son la razón aire/combustible y turbulencias.[5] Conocer de qué manera afectan estos parámetros a la combustión es interesante porque nos permite ajustar el ya mencionado avance del encendido.

- **Turbulencia:**

La turbulencia consiste en numerosos pequeños vórtices que se forman en el fluido a su paso entre la válvula y el asiento, y del subsiguiente remezclado durante la fase de compresión. La forma de la cámara de combustión influye evidentemente en el grado final de turbulencia.

Por efecto de la turbulencia se crea en el frente de la llama un mezclado de las partículas que se están quemando con las que han de quemarse, de modo que la reacción es activada por el aumento de los contactos. Con el aumento de la velocidad del motor aumenta generalmente la turbulencia y por lo tanto también la velocidad de la llama.

- **Estratificación:**

Idealmente se busca una distribución homogénea de la mezcla, sin embargo, el vórtice generado por la velocidad de admisión de los gases en la cámara de combustión no alcanza tal distribución, por lo que se forman estratos con diferente razón de mezcla.

- **Razón de mezcla:**

La velocidad de la llama alcanza el valor más alto cuando la razón aire/combustible es algo más rica que la razón estequiométrica, aunque si es demasiado rica, esta velocidad disminuirá. También se ve influenciada por la temperatura, presión de entrada al cilindro, humedad, etc., pero su efecto es menos importante.

- **Temperatura:**

Para cada razón de mezcla existe una temperatura óptima a la que la combustión se da de forma muy rápida. Cuanto más nos alejemos de esa temperatura, ya sea por abajo, como por arriba, el tiempo de combustión disminuirá notablemente.

- **Presión:**

Con presiones altas, el inicio de la combustión se ve dificultado, pero mejora la velocidad de propagación posterior, por lo que será necesario alcanzar un compromiso.

— **Humedad:**

Con mezclas húmedas la velocidad de la llama disminuye, ya que parte del calor se utiliza en secar la mezcla.

— **Cantidad de gases residuales:**

La presencia de gases ya combustionados hace evidentemente disminuir la velocidad de combustión. El cruce de válvulas ayuda a mejorar en este aspecto.

• **Variación de la presión durante la combustión**

La velocidad de aumento de presión o gradiente de presión, ejerce una notable influencia sobre la presión máxima y sobre la progresividad con la que la fuerza es transmitida por el fluido al pistón.

El gradiente de presión dependerá de la rapidez con la que se desarrolle la combustión. Una vez que la combustión afecta a una cantidad de mezcla significativa el gradiente aumenta rápidamente para posteriormente disminuir una vez que el frente de llama se reduce.

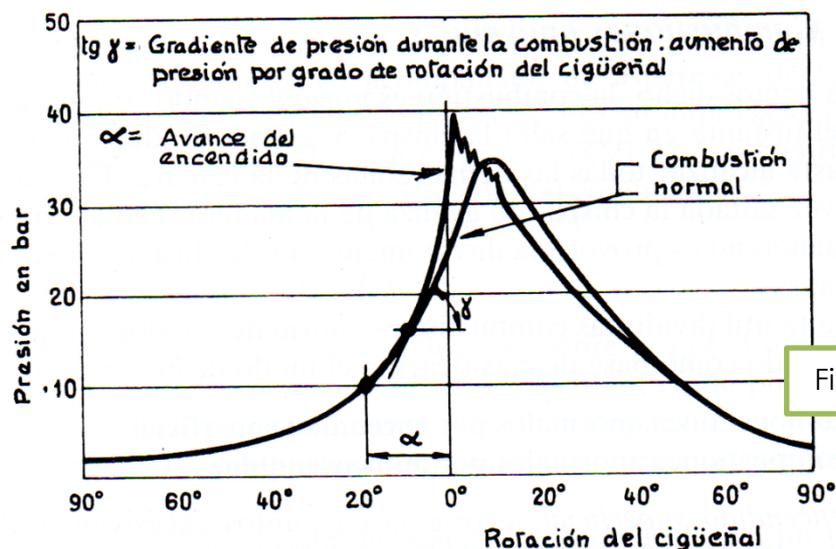


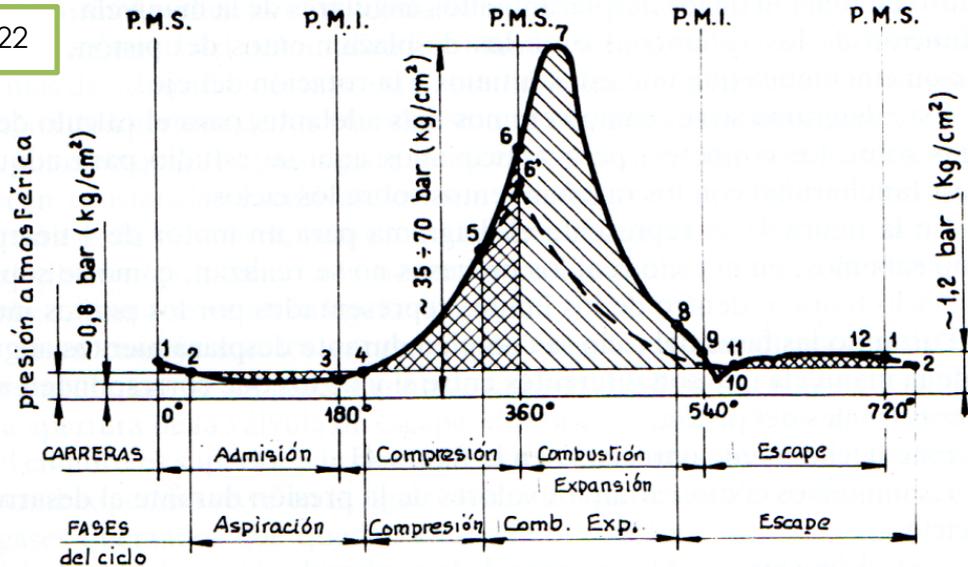
Figura 4.21

El volumen de la cámara de combustión (posición del pistón) en el momento de la combustión tiene una clara influencia en ella, ya que para volúmenes mayores se obtienen gradientes de presiones menores. Si se realiza cuando el pistón ya está muy arriba (volumen pequeño), el gradiente de presión será elevado y alcanzará valores mayores que darán mayor potencia. No obstante, si el gradiente es demasiado elevado, los valores de presión alcanzados serán también muy elevados y las fuerzas que actúan sobre el pistón no serán progresivas, sino que tendremos picos de presión y posibilidad de detonación.[5]

- Diagrama de las presiones en función del giro del cigüeñal:

En la siguiente figura se representa el diagrama de las presiones en el cilindro en función de los desplazamientos angulares del cigüeñal de un motor de 4 tiempos:

Figura 4.22



— **Admisión:**

Al comienzo de la carrera de aspiración 1~2, el interior del cilindro se encuentra a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica, porque el motor aún se encuentra en la fase de escape. A partir del punto 2, el motor aspira aire la mezcla gaseosa a través de la válvula de admisión. A causa de las resistencias de los conductos de admisión se tiene una depresión en la aspiración. Esta depresión será tanto mayor cuanto mayor es la velocidad de la mezcla.

En el punto 3 el pistón comienza su carrera ascendente con el interior del cilindro aún en depresión, por lo que seguirá entrando la mezcla hasta que se alcanza el punto 4 y la presión interior se iguala con la atmosférica. En este punto debe cerrarse la válvula. En caso de permanecer abierta durante un mayor periodo de tiempo, en lugar de un ciclo Otto, obtendríamos un ciclo Atkinson, con una menor relación de compresión.

— **Compresión:**

La compresión de la carga se produce por efecto del movimiento del pistón en la carrera 4~6. Dado que la combustión tarda algunos milisegundos en llevarse a cabo, el encendido se lleva a cabo antes del P.M.S. El punto 6' simboliza la máxima presión alcanzada en caso de falta de encendido.

— **Explosión/Expansión:**

Con el encendido coincidiendo con el punto 5, poco antes del final de la compresión, comienza la combustión. Ésta genera una repentina elevación de la temperatura y de la presión, que alcanza su valor máximo en el punto 7. La combustión finaliza cuando el pistón ya ha recorrido parte de la carrera. A continuación, se lleva a cabo la expansión. Con el aumento del volumen, la presión desciende rápidamente, también debido en parte a la cesión de calor a las paredes del cilindro.

En teoría la expansión debería prolongarse hasta el P.M.I., sin embargo, para facilitar la expulsión de los gases quemados, se realiza el avance de la apertura de la válvula de escape (AAE) en el punto 8.

— **Escape:**

En esta fase, los gases que en el momento de la apertura de la válvula de escape se encuentran a una presión superior son descargados violentamente al exterior. La presión se reduce rápidamente y en el punto 9, cuando comienza la carrera de escape, supera por poco la presión atmosférica, con tendencia a reducirse aún más. De hecho, dependiendo de la configuración del colector de escape y conductos, puede llegar a darse un pico de depresión visible en el punto 10. En el punto 11 el pistón prosigue su carrera ascendente, expulsando los gases del interior del cilindro.

Este proceso se realiza a una presión ligeramente superior a la atmosférica, por efecto de la resistencia que encuentran los gases en los conductos de escape. Una vez alcanzado el punto 12~1, aún continua habiendo algunos gases combustionados en el cilindro que el pistón no puede expulsar, por lo que la fase se prolonga hasta el punto 2. Mientras tanto la válvula de admisión se encuentra completamente abierta, permitiendo el paso a una nueva mezcla. La entrada de la nueva mezcla, permite expulsar esta pequeña parte de gases combustionados en el momento del cruce de válvulas. Un mayor cruce asegura que estos gases sean expulsados por el escape, aunque en ocasiones parte de la mezcla aún sin combustionar también se pierda en el colector de escape, y debido a la alta temperatura que suelen tener estos componentes se produce la combustión al entrar en contacto. Con una mezcla rica y un mayor cruce de válvulas, dentro de unos límites, se pueden mejorar las prestaciones del motor.



Figura 4.23

5. INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE Y ENCENDIDO

- Historia de la inyección

Existe un gran vínculo entre la carburación y la inyección de combustible, ya que la razón de su existencia es debida a las distintas desventajas que presenta el carburador. La carburación comenzó en 1824 con un primer carburador usado en un motor de tipo atmosférico, en el que se incluía un precalentamiento para favorecer la evaporación. En el año de 1865 se solicitó un patente para un carburador, recalando la sencillez de su dispositivo comparado con los complicados generadores de vapor que ya existían.

En 1884 se adaptó a un motor, el carburador construido por *Fernand Forest* el cual incluía una cámara de flotador y una boquilla con rociador de combustible. Un año después Otto logró utilizar en un carburador de superficie mejorado una variedad de combustibles líquidos de hidrocarburos incluyendo gasolina.[6]

Los primeros avances de la inyección de combustible comenzaron realmente en la aviación. Antes de la primera *Guerra Mundial*, la industria de la aviación considero las ventajas obvias que la inyección de combustible proporcionaba. Los carburadores de los aeroplanos eran propensos a congelarse en los cambios de altitud, limitando la potencia disponible, mientras que en la inyección no sucedía esto.

La bomba de inyección fue la primera en tener una carrera variable del pistón como un medio para aumentar o reducir la cantidad de combustible a inyectar. En 1912, *Robert Bosch* convirtió un motor de dos tiempos a inyección de combustible, utilizando una bomba reconstruida de presión de aceite lubricante para inyectar el combustible.

El auge militar que empezó en Alemania con las empresas *Daimler-Benz* y *GmbH* (compañía de *Robert Bosch*) llevó al desarrollo de la inyección de combustible para aviones de combate. Los primeros sistemas de inyección Bosch introdujeron la inyección directa, la cual rocía el combustible bajo alta presión directamente sobre la cámara de combustión, en la misma forma que en el sistema de inyección diésel.



Figura 5.1

La inyección electrónica de combustible se inició en Italia, en 1940, cuando *Ottavio Fuscald* incorporó un solenoide eléctrico como un medio para controlar el flujo de combustible hacia el motor.[6]

En los motores para vehículos, el cambio de la carburación por la inyección se ha desarrollado progresivamente. Primero bajo el empuje de las investigaciones en mejora de prestaciones y más recientemente para reducir las emisiones nocivas.

- **Ventajas de la inyección electrónica de combustible**

Las mejoras introducidas por la inyección son:

- Consumo reducido.
- Mayor potencia.
- Gases de escape menos contaminantes.
- Rápida adaptación a todos los estados de funcionamiento.

La inyección tiene una ventaja potencial, y es que la ausencia del tubo Venturi presente en la carburación le permite un mayor rendimiento volumétrico, mayor par motor y mayor potencia. Al inyectar el combustible en las proximidades de la válvula de admisión, no se producen apenas pérdidas de carga y se puede realizar un aporte de mezclas iguales para todos los cilindros, con lo que no se debe dosificar combustible en exceso para alimentar al cilindro más desfavorecido.

Además posibilita la dosificación precisa de combustible en relación a la carga en toda la gama de revoluciones por lo que permite adaptarse rápidamente a las necesidades de combustible en los diferentes estados de funcionamiento que se pueden dar en el motor. Ésta es una verdadera ventaja ya que permite la libertad de diseño de los colectores de admisión. Con los carburadores, los colectores deben diseñarse de modo que favorezcan la pulverización del combustible evitando acumulaciones de combustible en las superficies. La optimización de los colectores de admisión mejora el llenado de los cilindros. Ésto da lugar a una mayor potencia específica y un aumento del par motor, así como una evolución más favorable del mismo. La capacidad del motor para funcionar a compresión también es mayor en los sistemas de inyección que en los de carburación.

Otra de las ventajas es que no tiene problemas de condensación de gasolina, ni dificultades en grandes aceleraciones o deceleraciones, aunque a costa de una mayor complejidad y mayor precio.

La inyección electrónica se puede comprender en tres grandes ramas:

- Suministro de aire o sistema de aspiración.
- Suministro de combustible o sistema de alimentación.
- Adaptación de la mezcla o sistema de control.

El sistema de inyección electrónica difiere del carburador en la dosificación ya que al accionar el pedal del acelerador se controla la entrada de aire y no la de combustible. Se usa una bomba eléctrica que se encuentra sumergida en el depósito de combustible, que es la encargada de enviar el combustible hacia los inyectores. Éstos están formados por solenoides eléctricos que dosifican y pulverizan el combustible sobre las válvulas de admisión antes de entrar a la cámara de combustión.[6]



Figura 5.2
Inyección electrónica
indirecta Yamaha YZ450F

La cantidad de combustible depende de factores como la temperatura del motor, velocidad del motor, carga y posición de la mariposa. Estos cambios son captados por sensores que envían la información a la centralita.

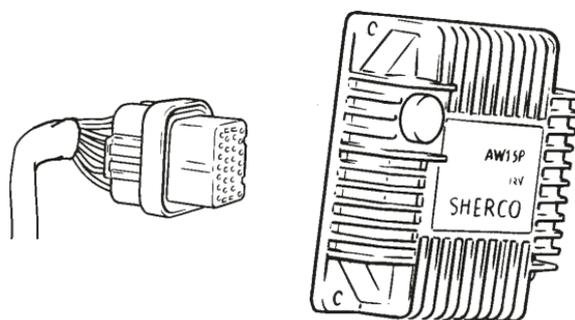


Figura 5.3

Si la inyección pulverizada se hace en los cilindros, es decir, inyección directa, el tiempo de contacto entre el combustible pulverizado y el aire es mucho menor, por lo tanto en ese breve momento se produce la oxidación que tiende a ser detonante en la mezcla, y por ello puede elevarse de 1 a 1,5 la relación de compresión utilizable para el mismo combustible.[6]

El sistema de inyección electrónica está diseñado para suministrar la cantidad adecuada de combustible al motor en todas las condiciones de operación y demandadas de carga. El combustible debe ser pulverizado para permitir una mezcla adecuada del mismo con el aire de la admisión. La inyección electrónica de combustible incluye un suministro más homogéneo a cada cilindro, un mejor rendimiento, contamina menos y posee una mejor economía de combustible.

- Clasificación de los sistemas de inyección

Esquema de clasificación



Tabla 5.1
 Esquema de clasificación de los sistemas de inyección

– **Número de inyectores:**

❖ *Monopunto ~ SPI (Single Point Injection):*

Consiste en único inyector colocado antes de la mariposa de aceleración, en posición similar a la que tendría un carburador, donde la gasolina se manda a impulsos determinados por la centralita en función de la información obtenida gracias a los diferentes sensores. La unidad de control electrónica determina un tiempo de apertura para que al motor le llegue la cantidad justa de combustible.

Figura 5.4



Figura 5.5



❖ *Multipunto ~ MPI (Multi Point Injection):*

Este tipo de inyección tiene tantos inyectores como cilindros tenga el motor. Los inyectores se alojan en la rama de inyección, cerca de la válvula de admisión pulverizando el combustible de forma independiente.

Figura 5.6
Cuerpo de
inyección
Sistema MPI



Figura 5.7
Rampa de
inyección



– **Ubicación del inyector:**

❖ *Indirecta:*

Los inyectores se sitúan cerca de la válvula de admisión. El carburante es inyectado en el colector de admisión, donde se inicia la mezcla antes de que ésta entre al cilindro. Este método puede empeorar la calidad de la mezcla, si ésta se condensa en las paredes de la admisión. Además, en cargas parciales el estrangulamiento del aire causado por la válvula de mariposa supone un desfavorable comportamiento para la homogeneización de la mezcla.

❖ *Directa:*

El inyector se encuentra en contacto con la cámara de combustión e inyecta el combustible al interior de ésta, mejorando la economía de combustible, ya que inyecta la cantidad precisa y por tanto, reduce las emisiones contaminantes. En cargas parciales, como el combustible es inyectado cerca de la bujía, debido a las turbulencias creadas en la propia cámara, se consiguen eficiencias termodinámicas mayores que en el caso de la inyección indirecta.[19]

– **Sincronismo de la inyección:**

❖ *Inyección continua:* Los inyectores inyectan combustible pulverizado de una forma continua e ininterrumpidamente, previamente dosificado y a una determinada presión. La formación de la mezcla se lleva a cabo en la admisión y en los cilindros del motor gracias a las turbulencias que se crean.

❖ *Inyección intermitente:* Los inyectores inyectan combustible pulverizado en los momentos determinados por la unidad centralita, según las informaciones recibidas por los diferentes sensores y las estrategias de funcionamiento programadas en la propia unidad de mando.

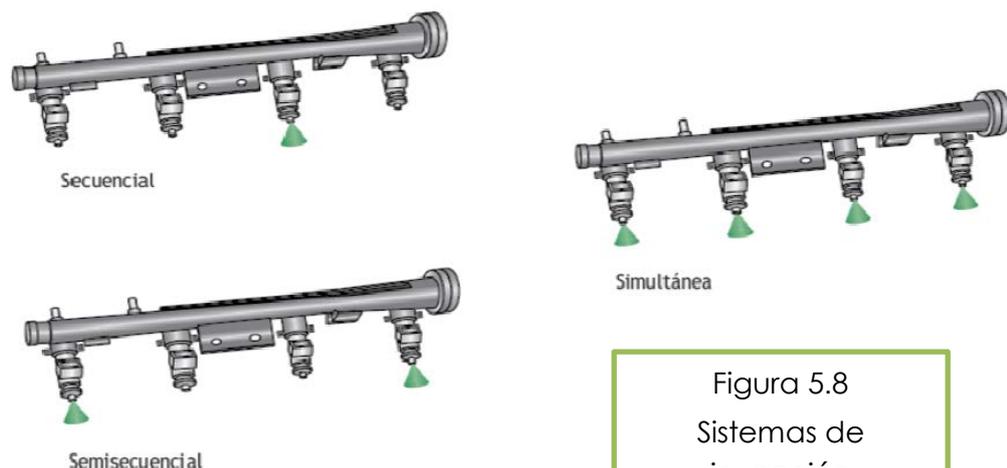
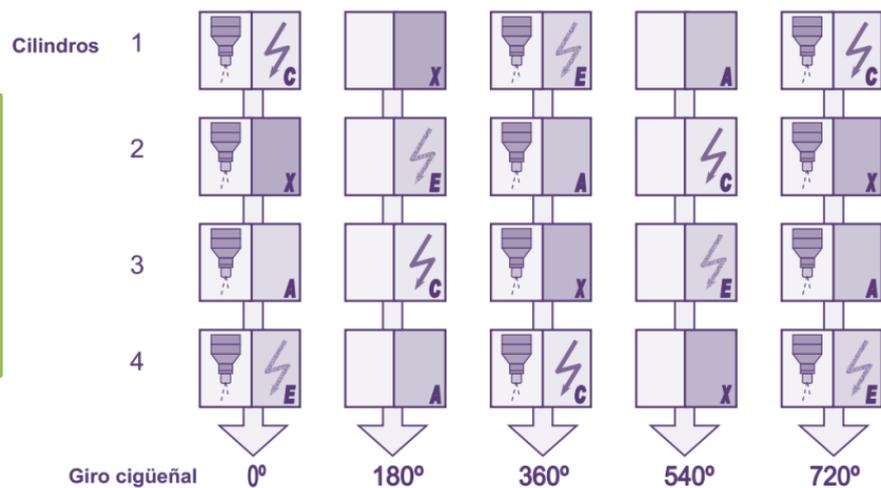


Figura 5.8
Sistemas de
inyección
intermitente

Simultánea:

Se basa en inyectar el combustible simultáneamente en todos los inyectores a la vez y a una determinada frecuencia, la cual no tiene por qué coincidir con la apertura de la válvula de un determinado cilindro, de modo que el combustible inyectado se acumula en el colector de admisión, mientras la válvula de admisión permanece cerrada, por lo tanto, deberá de tratarse de una inyección indirecta. Cuando se abre la válvula se produce la entrada de la mezcla acumulada. La inyección se realiza una vez por vuelta y poco antes del P.M.S. del primer cilindro.

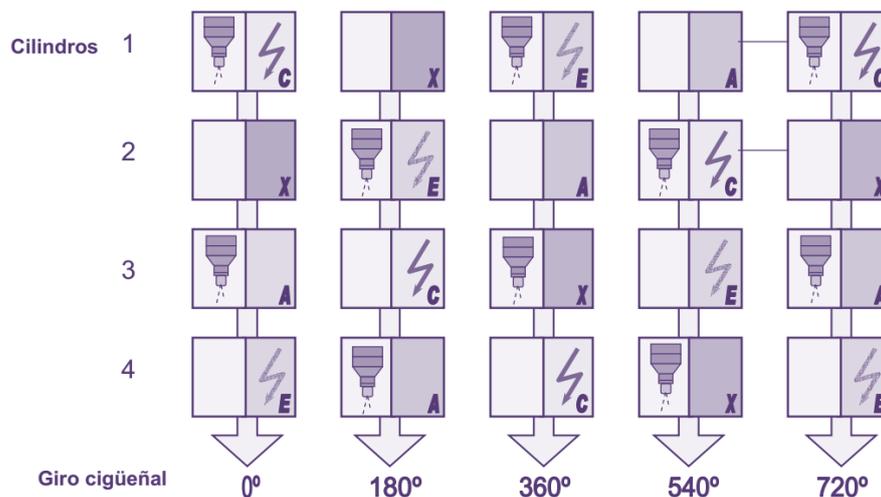
Figura 5.9
 Inyección simultánea
 Fuente: Manuel Gallego Santos



Semisecuencia:

Los inyectores se activan distribuidos por grupos (dos a dos para un motor de cuatro cilindros). Cada uno de los grupos realiza una inyección de combustible por cada revolución del motor. La inyección se realiza poco antes del P.M.S. de los pares de cilindros.

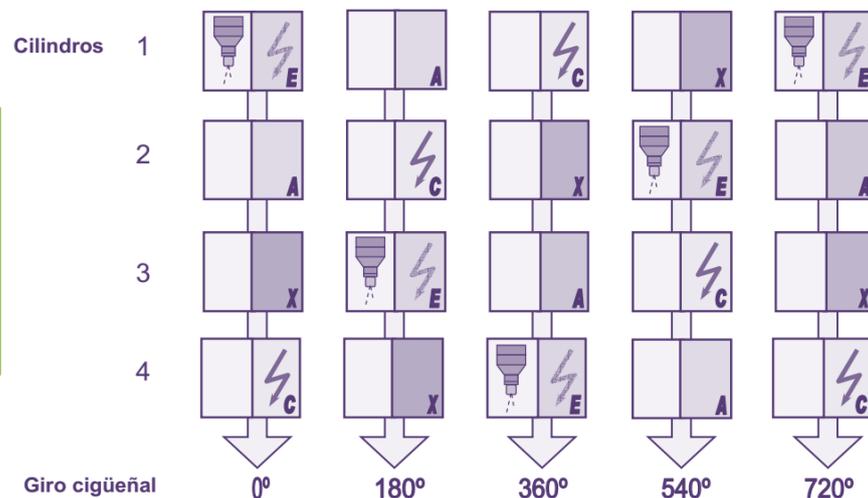
Figura 5.10
 Inyección semisecuencia
 Fuente: Manuel Gallego Santos



Secuencial:

Los inyectores funcionan uno a uno, de forma independiente, realizando el aporte de combustible necesario para la realización de la mezcla mediante una única inyección. La inyección se produce poco antes del momento de apertura de la válvula de admisión y según el orden de encendido. El inyector regula la cantidad de combustible por el tiempo que permanece abierto, y la frecuencia de apertura depende directamente del régimen de giro del motor.

Figura 5.11
Inyección
secuencial
Fuente: Manuel
Gallego Santos



– Control y accionamiento de los inyectores:

- ❖ *Mecánicos*: Se caracterizan por la presencia de un conjunto distribuidor-dosificador que se encarga de determinar la cantidad de combustible que debe enviarse a los cilindros, por medio de inyectores que están abiertos continuamente, permaneciendo constante la presión de inyección. El dosificador está gobernado por un sensor de caudal de aire independiente del motor.
- ❖ *Electromecánicos*: Se basan en inyecciones mecánicas gestionadas por una unidad de control electrónica, que recibe información de diferentes sensores para así gobernar un regulador de presión que adapta el caudal a los diferentes estados de funcionamiento del motor.
- ❖ *Electrónicos*: El combustible es introducido en el motor por medio de electroinyectores cuyos tiempos de apertura son determinados por una unidad de control electrónica, que adapta los tiempos de inyección a las distintas fases de funcionamiento, en función de las informaciones recibidas de unos sensores distribuidos estratégicamente por el motor.

- Determinación del caudal de combustible a inyectar.

El conocimiento del caudal de aire que entra en la carrera del pistón, por lo general nos ofrece el nivel de carga del motor y permite, con el uso del sensor de carga del motor (sistema de medición directa), de régimen y temperatura del aire determinar el tiempo básico de inyección.



Figura 5.12

A fin de adaptar continuamente la mezcla inyectada a las condiciones de funcionamiento, la cantidad de base se corregirá fundamentándose en la información recibida por sensores adicionales:

- Sensor de temperatura del líquido refrigerante del motor (gestión de arranque en frío, aumento de la temperatura del motor...).
- Potenciómetro de la mariposa (gestión de la riqueza de la mezcla al ralentí y con cargas altas, gestión de transitorios, etc.).
- Sonda lambda o sensor de oxígeno (gestión de la riqueza para un rango de operación del motor determinado).
- Se puede incluso añadir una corrección en función de la tensión de la batería con el fin de compensar la influencia de la misma en el tiempo de respuesta de los inyectores.

La inyección *Magneti Marelli IAW15P* efectúa la medición de la masa de aire aspirada o caudal de manera indirecta basándose en varios de los parámetros comentados anteriormente:

- Presión atmosférica.
- Temperatura del aire aspirado.
- Régimen de giro del motor.

Este método también es conocido como sistema Alfa-N o sistemas de ángulo de mariposa-régimen motor. La unidad de mando recoge la información obtenida a través de los sensores y en base a los valores memorizados internamente en su memoria, calcula la masa de aire aspirada por el motor, determinando el tiempo de apertura de los inyectores o tiempo de inyección.

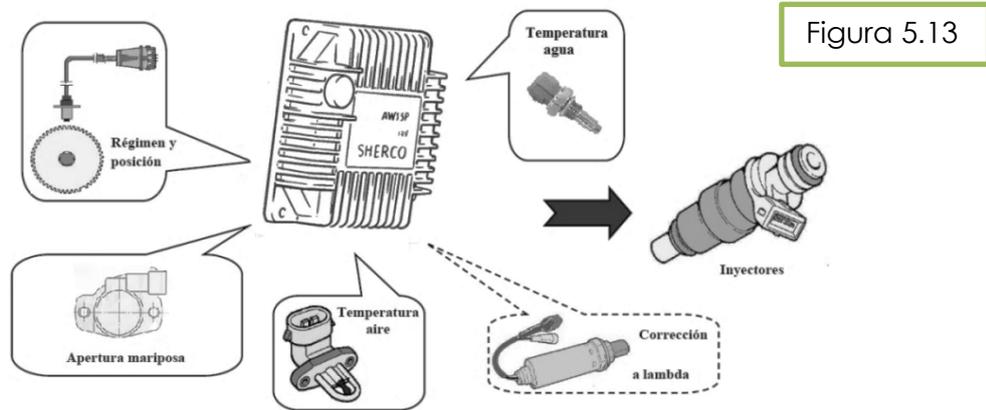


Figura 5.13

A diferencia de lo que se suele montar en otros vehículos, el sistema *Magneti Marelli IAW15P* es un sistema de inyección en lazo abierto. Normalmente se montan lazos cerrados que suelen estar constituidos por sensores de presión absoluta (MAP – *Manifold Absolute Pressure*) complementados con sondas lambda ubicados en el colector de escape. Los sistemas en lazo cerrado son sistemas que se adaptan mejor a las exigencias requeridas por los usuarios ya que permiten autoajustarse a cambios en el funcionamiento como la suciedad en los filtros de aire y el desgaste de los catalizadores, ofreciendo mayor durabilidad al sistema. Además, pueden ofrecer mejores consumos de combustible cuando se tiene un régimen de giro estable.

Los sistemas en lazo abierto son más apropiados para motocicletas de enduro debido a su relativa sencillez. Con los actuales y modernos mapeados de las centralitas ya no es necesario recabar toda la información del funcionamiento del motor a través de sensores extra. La centralita puede llegar a conocer el flujo de admisión en cada revolución si ya ha sido medido y programado en la centralita con anterioridad. Únicamente requiere de parámetros de ajuste como la altitud y posición de la mariposa para optimizar la mezcla de aire/combustible.

La presión de admisión podrá variar debido a factores como el deterioro del motor, holgura en las válvulas y condiciones de suciedad en los filtros de aire, no obstante serán cambios relativamente pequeños, a excepción de un filtro de aire excesivamente sucio u obstruido, el cual debería ser limpiado para corregir su mal funcionamiento. Para compensar todas estas imperfecciones se puede instalar una sonda lambda en el colector de escape para ajustar la mezcla y en consecuencia el consumo de combustible.[21]

- **Sistemas de medición del aire aspirado**

Los sistemas de inyección electrónica efectúan la dosificación precisa de la cantidad de combustible requerida por el motor de combustión interna partiendo de parámetros bien definidos, tales como duración de inyección, posición del dispositivo de dosificación (mariposa), presión de inyección, temperatura del combustible, etc. La dosificación puede efectuarse de modo continuo o intermitente, e incluso sin medición directa del caudal. Con la llegada de la gestión electrónica para la alimentación de motores, no es necesaria la medición del caudal de combustible ya que la electrónica ya se encarga de dosificarlo correctamente.

- **Sistemas de medición directa**

Utilizan medidores de flujo o caudalímetros para obtener una medida directa de la masa de aire aspirado.

Caudalímetro de paletas

El sensor dispone de una aleta sonda que es movida por el aire aspirado venciendo la tensión de un resorte en espiral, por lo cual a un determinado volumen de aire corresponderá a una precisa posición angular. La centralita tiene además en cuenta la temperatura del aire aspirado. La señal se genera por el arrastre de un potenciómetro solidario a la trampilla, que transmite a la centralita una tensión que corresponde al ángulo de desplazamiento de la trampilla o aleta fluctuante. Este sistema está actualmente en desuso.

Caudalímetro de hilo o membrana caliente

El elemento sensible se mantiene a una temperatura constante y superior a la del ambiente mediante una corriente eléctrica suministrada por un dispositivo electrónico. Al hacer pasar el flujo de aire aspirado por el elemento caliente, la

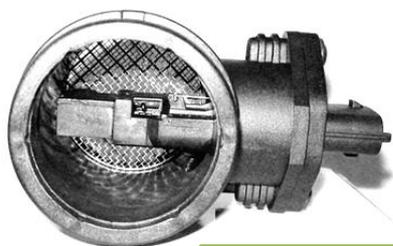


Figura 5.14

cantidad de calor que se absorbe será proporcional a la cantidad de aire (en masa) que fluye por el conducto y por lo tanto al caudal. El hilo caliente forma parte de un circuito de puente de *Wheatstone*, cuya tensión diagonal en bornes es regulada a cero variando la corriente de calentamiento. Si aumenta el caudal de aire, el hilo se enfría y, por tanto, disminuye su

resistencia, lo cual provoca un desequilibrio de la tensión en bornes del puente, que es corregido inmediatamente por el circuito de regulación, elevando la corriente. Podemos decir, que midiendo la intensidad de la corriente necesaria para mantener al elemento sensible a temperatura constante, se puede obtener el caudal de aire aspirado.[7]

– Sistemas de medición indirecta

A diferencia de los medidores de flujo o caudalímetros, estos dispositivos no dan una medida directa de la masa de aire aspirado por el motor.

Sistemas de "Régimen-presión", o sistemas (P, N)

Un sensor de presión mide la presión (absoluta o relativa dependiendo del sistema) existente en el colector de admisión. Esta medida proporciona el valor de llenado de cilindros en cada carrera del motor, precisamente para obtener el flujo de aire de admisión en el punto de funcionamiento del motor considerado (caracterizado por el régimen del motor y el valor de la presión), que será corregido por un factor que depende precisamente del régimen y presión considerada. La medición se corrige mediante la cartografía almacenada en la centralita con la presión en el eje de abscisas y el régimen del motor en el eje de ordenadas, la tercera dimensión es el factor de corrección.[8]

Además el sistema requiere el uso de un sensor de temperatura del aire para corregir la función de la presión en la información de densidad de aire. Los sistemas (P, N) tienen menor coste que los sistemas de medición directa.

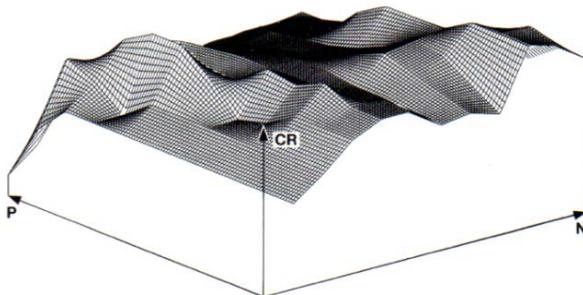


Figura 5.15
Ejemplo de cartografía de inyección (P, N)

CR: Factor de corrección
P: Presión admisión
N: Régimen del motor

Sistemas de "Ángulo de mariposa-rpm", o sistemas (Alpha, N)

En este sistema, un potenciómetro detecta el volumen de aire de admisión como una función de la posición del acelerador. El ángulo del acelerador es un parámetro "aún" menos representativo que la presión de llenado del motor, ya que la aspiración de aire se determina directamente a partir de un sistema de cartografía del ángulo de la mariposa. Para ello será necesario un sistema (sistema de ángulo de mariposa-régimen) que puede funcionar correctamente con una alta resolución angular.

De hecho, si se representa el caudal de aire en función del ángulo de la mariposa acelerador y la velocidad, se descubre que el caudal de aire varía muy rápidamente para ángulos de mariposa pequeños y bajas revoluciones (al ralentí y con cargas bajas).

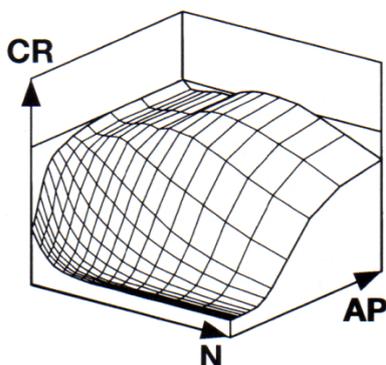


Figura 5.16
Ejemplo de cartografía
de inyección (Alpha, N)

CR: Factor de corrección
N: Régimen del motor
AP: Ángulo de apertura

Por el contrario, para los ángulos más grandes (cargas mayores), una variación angular relativa de más o menos $1,5^\circ$ produciría cambios en la carga de aire un 1% aproximadamente, valor más admisible. Por lo tanto, para un sistema (Alpha, N) es fundamental contar con una muy buena resolución angular para régimen de ralentí y cargas bajas. Esto se logrará en la práctica por el uso de un potenciómetro de doble pista. Una corrección basada en la temperatura del aire también es necesaria. El sistema (Alpha, N) es el más barato de los sistemas disponibles y se utiliza exclusivamente en los sistemas de inyección monopunto.[8]

- Sistemas de encendido

Los motores de combustión interna de encendido provocado, necesitan un sistema capaz de encender la mezcla de aire y gasolina que se introduce y comprime en el interior de sus cilindros. Ésto se logra por medio de una chispa eléctrica que salta en la bujía de encendido e inflama la mezcla, iniciándose así la combustión. El conjunto de elementos que participan en la obtención de dicha chispa se denomina sistema de encendido. Existen diferentes tipos:

- Convencional.
- Electrónico:
 - ❖ Transistorizado (TCI – *Transistorized Coil Ignition*).
 - ❖ Integral (EI – *Integrated Electronic Ignition*).
 - ❖ Estático (DIS – *Direct Ignition System*).

Dentro del encendido estático, nos encontramos a su vez con sistemas a la chispa perdida, sistemas *coil-on-plug* (COP) y sistemas mixtos.

También se pueden clasificar por la manera en la que se realiza la descarga, en los que se distinguen en sistemas CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) y sistemas IDI (*Inductive Discharge Ignition*). Incluso pueden clasificarse en función de si tienen o no distribuidor. En los sistemas inductivos o de encendido por bobina, el tiempo de crecimiento de la tensión secundaria y la duración de la chispa son relativamente largos en comparación con los encendidos capacitivos, no permitiendo su aplicación en motores de alto régimen de funcionamiento, sobre todo en aquellos en los que el número de cilindros es elevado. Para motores de altas prestaciones donde es necesario almacenar una gran cantidad de energía eléctrica para después descargarla en las bujías en intervalos muy cortos de tiempo por el elevado número de revoluciones a la que funcionan estos motores, se utiliza el encendido por descarga de condensador.

A continuación se tratarán los sistemas de encendido inductivo y finalmente se mencionarán los de descarga capacitiva.

– Encendido convencional

El encendido clásico destaca particularmente por tener un ruptor o unos platinos, de accionamiento mecánico, que hacen posible la transformación de tensión en la bobina de encendido, un condensador que protege a los contactos del ruptor a la vez que potencia la chispa. Unos dispositivos de variación del avance (avance centrífugo y avance por vacío), modifican el momento del salto de chispa en función de las condiciones de funcionamiento.

Al accionar la llave de contacto, la tensión de la batería queda aplicada al arrollamiento primario de la bobina de encendido. Cuando los contactos de los platinos o ruptor están cerrados, la corriente fluye a través de ellos, creándose en el primario el consiguiente campo magnético y almacenamiento de una cierta cantidad de energía en la bobina. Cuando el circuito se abre, se interrumpe la corriente por el primario y desaparece el campo magnético, en ese instante se induce una fuerza electromotriz tanto sobre el arrollamiento primario como sobre el secundario de la bobina.

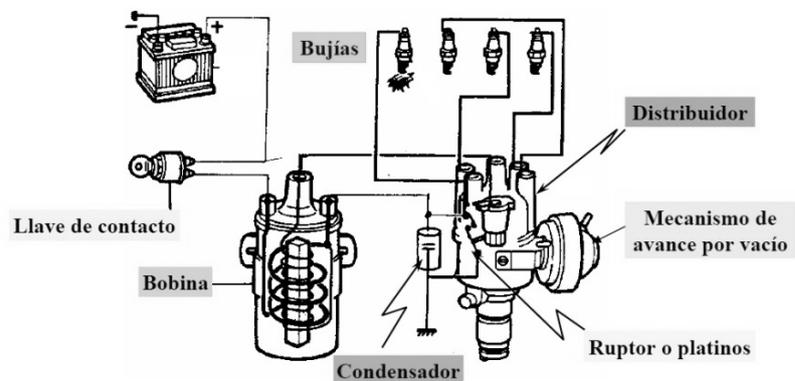


Figura 5.17
Encendido convencional

El condensador se carga mientras los contactos de los platinos siguen abiertos. Así pues, la corriente que saltaría de un contacto a otro en forma de chispa, es absorbida por el condensador. Un instante después, comienza el circuito oscilante de descarga y carga del condensador sobre el primario de la bobina, dando como consecuencia cambios periódicos en el sentido de la corriente eléctrica por el primario, ocasionando una sucesión de saltos de chispa en la bujía. La alta tensión inducida en el secundario, es mandada a la pipa o contacto móvil, que la reparte a la bujía correspondiente a través de los cables de alta.[22]

La corriente por el primario no se establece de una manera instantánea, sino que debido a la aparición de la fuerza electromotriz (*f.e.m.*) autoinducida en el primario, el establecimiento de ésta es lento, alcanzando la corriente máxima en el primario al cabo de un cierto tiempo desde el cierre de los contactos. El tiempo de establecimiento de corriente por el primario es mayor que el tiempo de interrupción de corriente, por lo que los valores de *f.e.m.* inducida en el secundario solo son lo suficientemente grandes, para producir el salto chispa en la bujía, cuando los platinos se abren y no cuando estos se cierran.

– Encendido electrónico

El encendido electrónico es el siguiente paso a los sistemas mecánicos de encendido con platinos o ruptores. Estos sistemas evitan el desajuste del punto de encendido, los fallos de encendido debido a los rebotes de los contactos a altos regímenes, así como el desgaste de los componentes giratorios del encendido convencional.

No obstante nos encontramos con diferentes tecnologías dentro de los sistemas electrónicos que también han ido evolucionando y surgiendo nuevos métodos de encendido.

Encendido electrónico transistorizado

También es conocido como el encendido electrónico sin contactos ya que este sistema suprime los problemas debido a los contactos de los elementos móviles, sustituyendo el ruptor o platinos. En estos sistemas la ruptura eléctrica se realizará con un transistor intercalado en el circuito primario de bobina, de tal manera que el transistor necesitará una débil corriente de mando en su base para poder establecer la corriente de paso por el primario.

En el interior del distribuidor se dispone de un generador de impulsos que hace llegar esos impulsos a un módulo electrónico de mando, en donde después de tratarlos convenientemente, determina principalmente el ángulo de cierre (*dwell angle*) y el punto de encendido.

El ángulo de cierre representa el tiempo de carga de la bobina en ángulos de giro del cigüeñal. Durante este periodo de tiempo la corriente atraviesa el arrollamiento primario produciendo un campo magnético y almacenando cierta cantidad de esta energía en la bobina. En condiciones de regímenes altos del motor, el tiempo de carga de la bobina puede ser demasiado corto y que la bobina no disponga del suficiente tiempo y esta apenas quede cargada.

Un generador de impulsos es capaz de crear señales eléctricas en función de la velocidad de giro del distribuidor que son enviadas al generador de impulsos, donde debidamente conformadas sirven para la señal de mando del transistor de conmutación. El funcionamiento de este circuito consiste en poner la base de transistor de conmutación a masa por medio del circuito electrónico que lo acompaña, entonces el transistor conduce, pasando la corriente del primario de la bobina por la unión emisor-colector del mismo transistor. En el instante en el que uno de los cilindros del motor tenga que recibir la chispa de alta tensión, el generador crea un impulso de tensión que es enviado al circuito electrónico, el cual lo aplica a la base del transistor, cortando la corriente del primario de la bobina y se genera así en el secundario de la bobina la alta tensión que hace saltar la chispa en la bujía.[22]

Dentro de los sistemas de encendido electrónico transistorizado, se pueden clasificar según el tipo de generador de impulsos:

❖ *Generador de impulsos por inducción magnética:*

El generador de impulsos se va situar en el distribuidor, en el lugar del ruptor. Consta de una parte giratoria o rotor y de una fija o estator. El rotor es de acero dulce y lleva tantos dientes como número de cilindros hay. Es movido por el eje del distribuidor. El estator lleva un imán permanente y una bobina arrollada alrededor de una masa metálica.

Por cada uno de los salientes del rotor, en un giro completo de éste, conseguiremos una tensión alterna cuyo valor de pico será función de la velocidad de rotación del distribuidor. El distribuidor utilizado en este sistema de encendido es similar al utilizado en el encendido convencional, la variación del punto de encendido se obtiene mecánicamente mediante el avance por fuerza centrífuga y por depresión o vacío. Los dispositivos de avance del punto de encendido siempre funcionan desplazando el punto de encendido en sentido de avance.

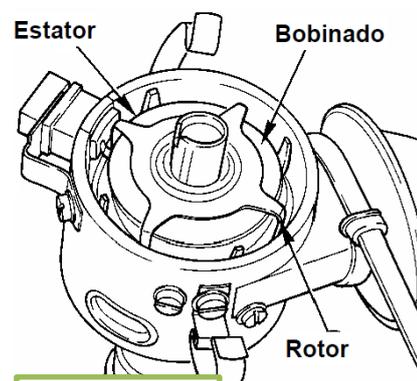


Figura 5.18

El sistema de encendido es similar al utilizado en el encendido convencional, la variación del punto de encendido se obtiene mecánicamente mediante el avance por fuerza centrífuga y por depresión o vacío. Los dispositivos de avance del punto de encendido siempre funcionan desplazando el punto de encendido en sentido de avance.

❖ *Generador de impulsos por efecto Hall:*

El funcionamiento de este generador, se basa en el fenómeno físico conocido como efecto Hall, denominado según *Edwin Herbert Hall*. Cuando un semiconductor es recorrido por una corriente, si se le aplica un campo magnético perpendicular al mismo, se genera una pequeña tensión (tensión Hall) resultante del campo eléctrico (campo Hall) generado en el interior del semiconductor debido a la desviación de las líneas de corriente por el campo magnético.

En el distribuidor se dispone el generador de impulsos que está compuesto por una tabor obturador de material diamagnético (repele los campos magnéticos) y que tiene tantas ranuras como cilindros, solidario al eje del distribuidor de encendido. El tabor obturador, en su giro, se interpone entre un cristal semiconductor y un electroimán.

Cuando la pantalla se sitúa entre estos dos elementos, el campo magnético del electroimán es desviado y cuando entre ambos se sitúa la ranura del semiconductor, recibe el campo magnético del imán y se genera el "efecto Hall".

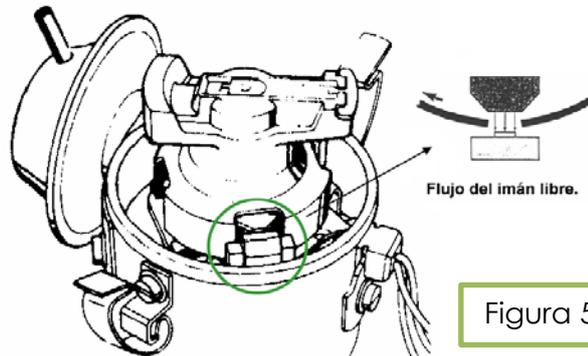


Figura 5.19

Cuando el motor gira, el obturador va abriendo y cerrando el campo magnético Hall generando una señal de onda cuadrada que va directamente al módulo de encendido.[22]

El módulo de mando alimenta de manera constante al integrado Hall, que a su vez proporciona la corriente necesaria al semiconductor, con lo que sólo hay que variar la intensidad del campo magnético, para conseguir una tensión Hall variable. El circuito integrado Hall, actúa como un interruptor, transfiriéndole masa al terminal neutro con la frecuencia que le indique el semiconductor Hall.

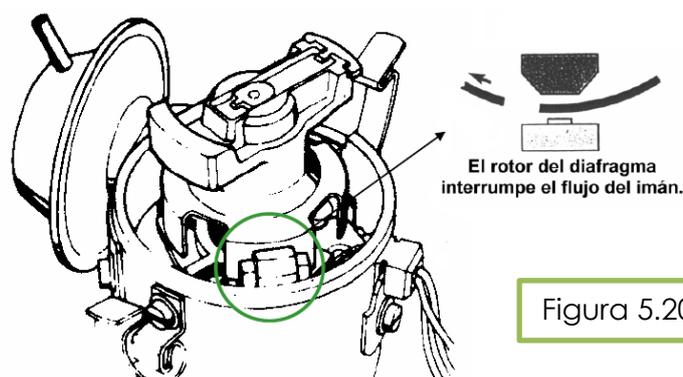


Figura 5.20

El módulo de mando recibe la información del sensor, ya sea inductivo o Hall y produce una caída de tensión en una resistencia de bajo valor en el cable del emisor del transistor a través de una conexión de regulación de limitación de tensión que se ejerce directamente en el mando de la etapa de excitación del transistor de potencia del encendido. Mediante un circuito interno se modifica la duración del ángulo de cierre en función de la velocidad de giro del motor y de la tensión de alimentación, aumentando el ángulo de contacto con altos regímenes de giro y ante bajas tensiones de batería.

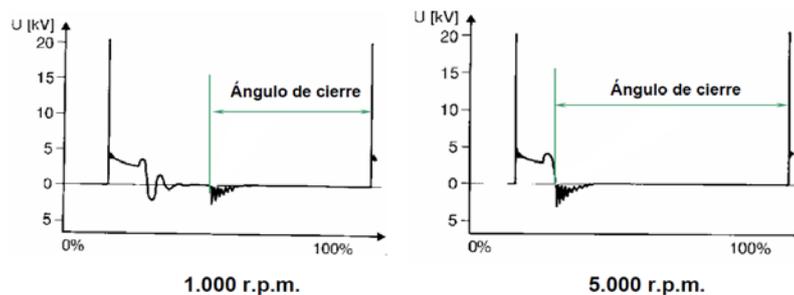


Figura 5.21
Variación del
Dwell Angle

Encendido electrónico integral

El encendido transistorizado presenta una clara mejora respecto al encendido convencional, sin embargo el reglaje del punto de avance se realiza mediante correctores mecánicos ya sean centrífugos o por depresión.

El siguiente paso será por tanto que el avance del encendido sea en todo momento el adecuado para el grado de carga del motor y el régimen de giro, y que todo esto se realice sin ningún tipo de unión mecánica con el motor. La solución será la adopción del encendido electrónico integral o también denominado encendido de campo característico, que suprime totalmente los dispositivos mecánicos de corrección del avance, y los sustituye por sensores electrónicos.

Los distintos valores son memorizados en la unidad electrónica de control. Su ilustración gráfica se representa bien como series de puntos en un sistema tridimensional mediante un mapa tridimensional o por tablas de datos.

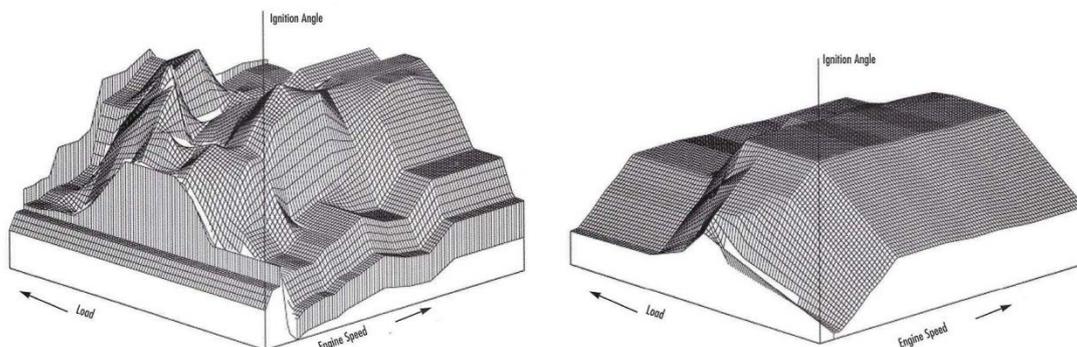


Figura 5.22
Comparativa de cartografía de avance del encendido electrónico y el avance mecánico

Cuanto más alto es el número de puntos o coordenadas que componen un mapa tridimensional o una tabla de datos, más precisa es la respuesta a cada situación específica del motor. El control sobre los tiempos de encendido, basados en numerosas entradas captadas por sensores, permite un ajuste más fino y mucho más detallado del avance del encendido, maximizando así el rendimiento sin riesgo de detonación.[22]

Entre las numerosas entradas, las más importantes serán las de régimen, posición del P.M.S. y carga, pero podemos obtener información de otros sensores como la temperatura del motor, temperatura del aire, sensor de detonación, posición de la mariposa, presión del turbo, presión del aceite, selección del octanaje, etc.

Al igual que sucedía con la inyección, se introducen las cartografías de encendido en la centralita electrónica de control o módulo de encendido para que, a través de las lecturas de los diferentes sensores se consiga un avance del encendido en función de las necesidades de funcionamiento del motor.

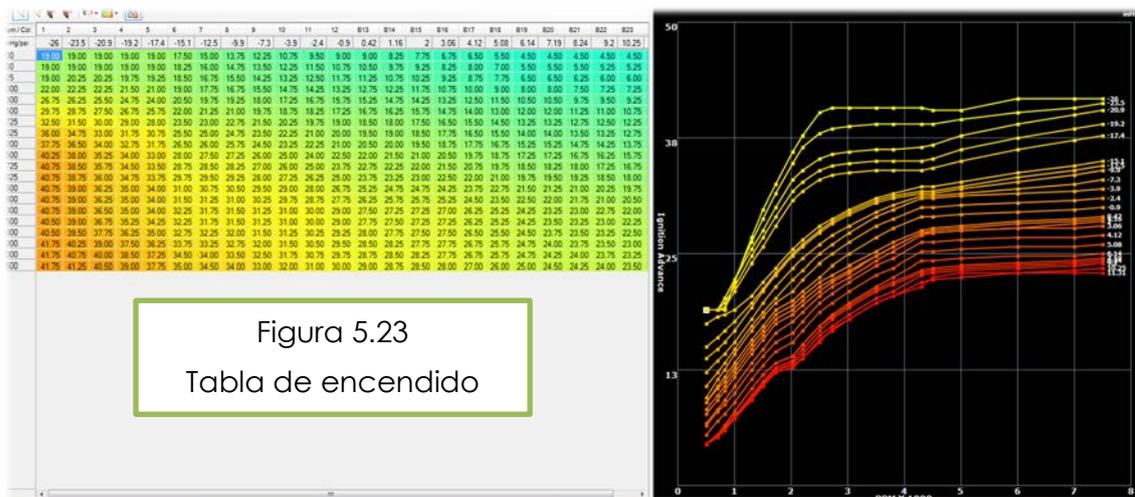


Figura 5.23
Tabla de encendido

Una de las características relacionadas con los sistemas de gestión del avance es aquella según la cual, por motivos de precaución, es necesario siempre mantener un cierto margen de seguridad para evitar que en condiciones puntuales de funcionamiento del motor pudiesen producir detonaciones.

Estos márgenes de seguridad, a veces excesivos pero necesarios aun así, no permiten el máximo aprovechamiento del motor. Para solucionar este inconveniente se emplean sensores de detonación (*knock sensor*) que, montados por lo general en la parte superior del bloque, detectan detonaciones en la culata. Estos sensores están compuestos de cristales piezoeléctricos que generan una señal eléctrica cuando perciben el exceso de vibraciones producidas por los fallos de combustión.

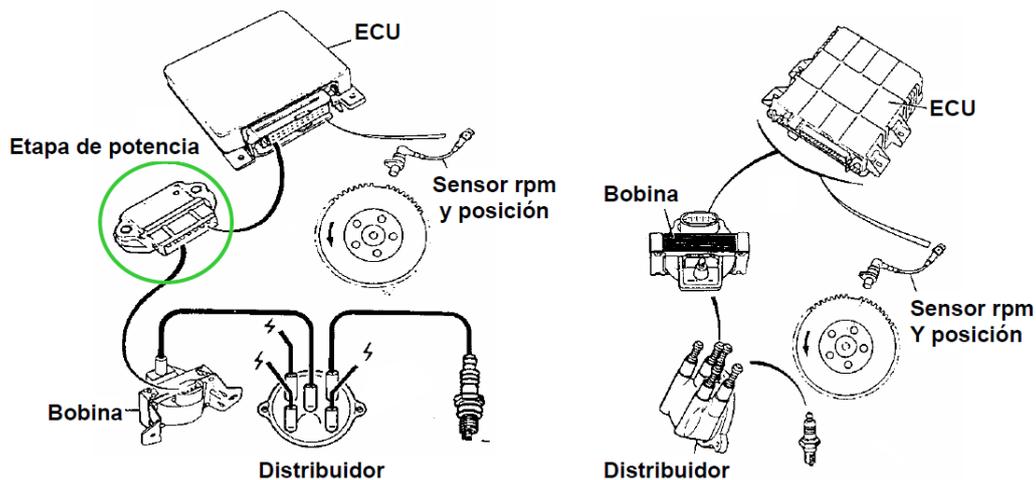


Figura 5.24

La unidad de mando evalúa las señales procedentes del sensor y activa una estrategia de retraso del encendido de una forma paulatina, hasta que la detonación desaparece. Posteriormente, se vuelve a situar el momento de encendido, a pequeños pasos, hacia avance, hasta que queda situado en su valor programado. Si la detonación apareciese en cualquier momento, la centralita volvería a producir el retraso hasta su desaparición.[22]

Nos podemos encontrar encendidos electrónicos integrales gobernados por la centralita, aunque en ciertas ocasiones las unidades de mando la etapa de potencia se montan en el exterior, ya que estas son más susceptibles de avería, con lo que se abarataría el coste de la reparación.

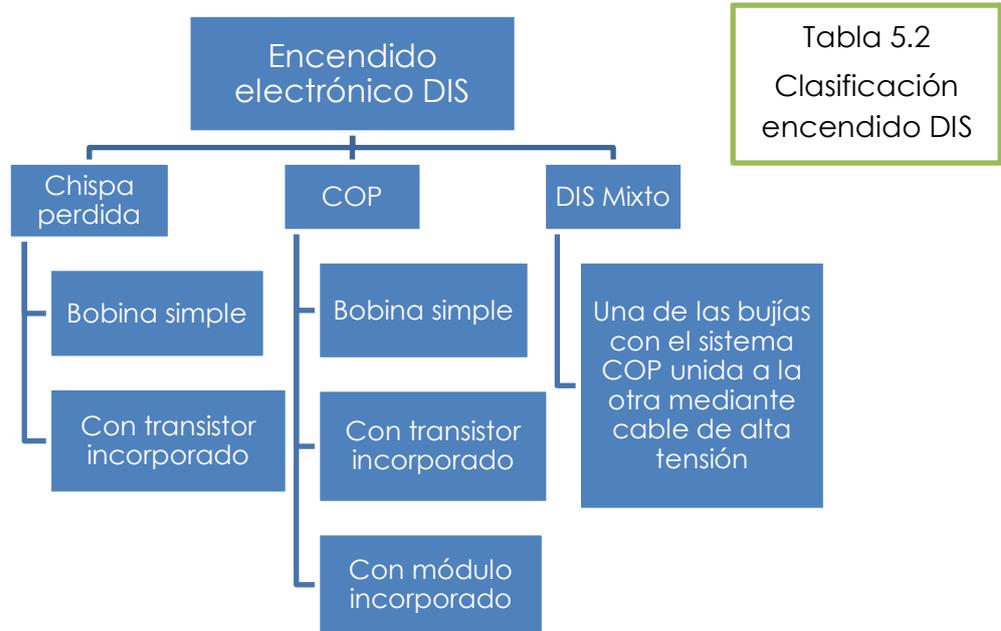
Figura 5.25



Encendido electrónico estático

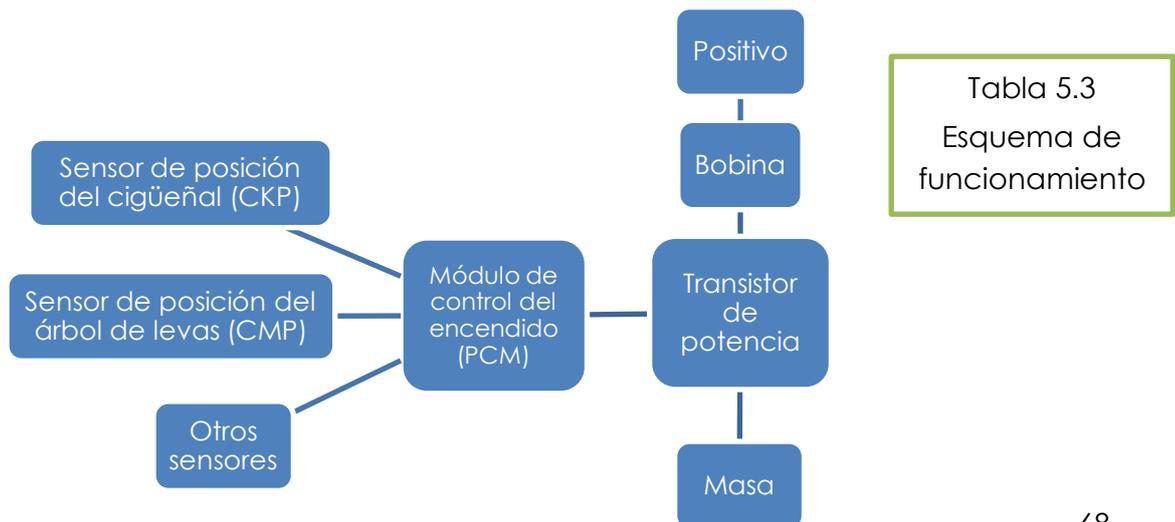
El encendido electrónico estático contiene las funciones del encendido electrónico integral y se suprime la distribución de alta tensión por el distribuidor, por lo que también son conocidos como encendidos sin distribuidor (*distributorless*) o sistemas de encendido directo DIS (*Direct Ignition System*). La alta tensión es distribuida directamente a las bujías a través de una bobina doble o triple según el número de cilindros o mediante bobinas individuales, una para cada una de las bujías.

Los sistemas de encendido DIS se clasifican y diferencian de acuerdo a la configuración de la bobina de encendido que utilizan, que es la que determina el tipo de encendido.



El funcionamiento de estos sistemas se basa en el siguiente método: Los sensores mandan la señal, ya sea a la centralita (ECU) o al módulo de encendido (PCM – *Power Control Module*) que sirven como referencia para activar el transistor de potencia y este a su vez determine el ángulo de cierre (*dwell angle*) del circuito primario mediante señales PWM.

El devanado primario de la bobina recibe el positivo de un relé y recorre el arrollamiento primario hasta el transistor, donde continúa hacia masa en aquellos momentos en los que el módulo de encendido determina la activación del mismo. Este tiempo de circulación de cierre a masa de la corriente se denomina tiempo de encendido. Una vez que se determina el momento de quitar los pulsos al transistor y cortar el cierre a masa, se induce la alta tensión en el devanado secundario de la bobina y salta la chispa entre los electrodos de la bujía en el cilindro que se encuentre en el tiempo de compresión.



Las bobinas en los sistemas DIS se comportan como un autotransformador elevador, con una tensión superior en el secundario.[9] Si medimos con un osciloscopio la tensión en el primario obtenemos la siguiente gráfica:

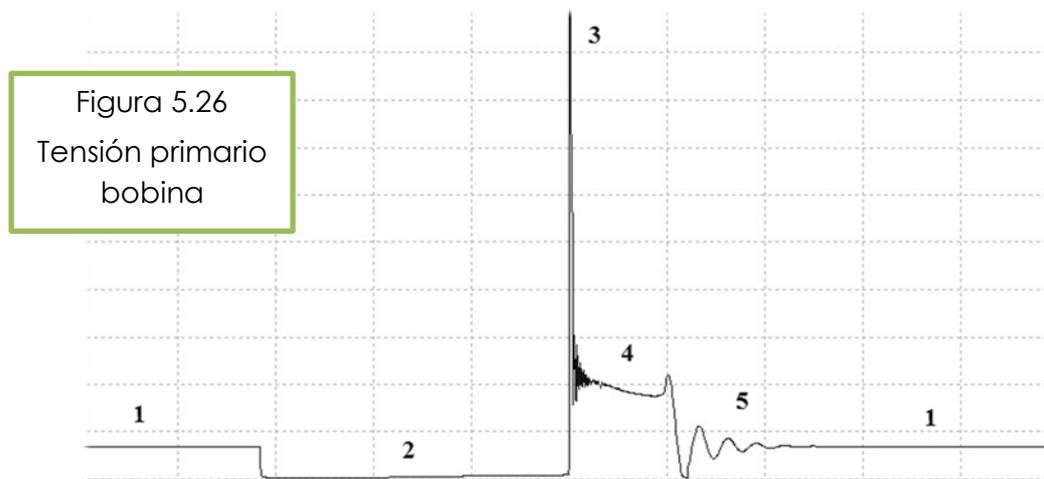


Figura 5.26
Tensión primario
bobina

- 1: La tensión inicial se trata de una tensión constante proveniente del positivo y sirve para alimentar el sistema de carga.
- 2: Cuando el PCM activa el transistor y lo pone en conducción, conecta el primario de la bobina a masa y la bobina entra en saturación. Esta fase se conoce como tiempo de encendido.
- 3: Una vez que se corta el cierre a masa, se induce alta tensión en el secundario y salta la chispa en la bujía.
- 4: La chispa se mantiene durante un tiempo entre los electrodos de la bujía (tiempo de quemado) del orden de unos milisegundos.
- 5: A continuación se dan unas pequeñas oscilaciones, indicativas de la carga aún almacenada en la bobina.

❖ *Encendido a la chispa perdida:*

Este sistema utiliza una bobina por cada dos cilindros, por eso se les denomina a la chispa perdida porque el salto de chispa en una de las bujías no es utilizado para combustionar la mezcla, aunque si tiene una insignificante pérdida de energía. Ésta se aprovecha únicamente en el cilindro que se encuentre en el tiempo de compresión, mientras que en el otro cilindro esta chispa salta sin ningún efecto.

La bobina doble está formada por dos devanados primarios, gobernados de forma alternativa cada uno por una etapa de potencia, y dos secundarios, unido cada uno de ellos por sus extremos, directamente a las bujías.

La alta tensión inducida en los secundarios de forma alternativa, hace que en ambas bujías, conectadas en serie con el secundario en cuestión, se origine un salto de chispa. Las bujías de encendido están ordenadas de tal manera que una de las bujías se enciende en el tiempo de compresión del cilindro, mientras que la otra en el tiempo de escape.[9]

En caso de que las bobinas tengan transistor de potencia incorporado, el PCM únicamente envía a las bobinas una serie de pulsos PWM (*Pulse Width Modulation*) que excitan al transistor para cortar el circuito primario y generar así el salto de la chispa en las bujías.

❖ *Bobina sobre bujía (Sistemas Coil On Plug – COP):*

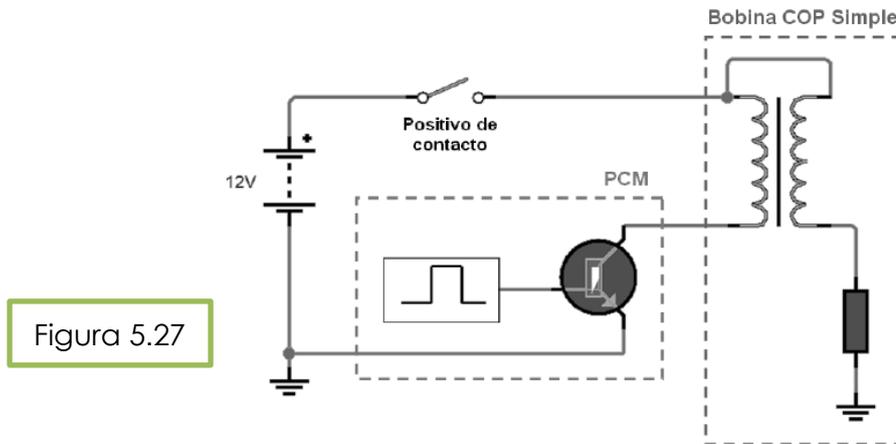
Este tipo de sistema dispone de una configuración muy diferente a las bobinas del sistema a la chispa perdida, su particularidad está en que no dispone de cables de alta tensión, ya que las bobinas van montadas directamente sobre cada bujía, con lo cual se simplifica la resistencia a la alta tensión de los cables y se mejora la eficiencia de quemado. La generación de alta tensión tiene lugar mediante una bobina de encendido para cada cilindro y bujía. Este tipo de sistema es conocido también como encendido independiente y en otros casos como encendido secuencial.

Las bobinas constan en su interior de un primario y un secundario, igual que las bobinas vistas hasta el momento, pero con la particularidad que en el secundario se acopla un diodo especial, que solo permite que la corriente circule por el secundario cuando la tensión aplicada a éste sea elevada, del orden de kV. Con esto se evita la posibilidad de que salte una chispa en el momento de restablecer la corriente por el primario, como consecuencia de la variación de flujo.

La unidad de mando del encendido estático es prácticamente idéntica a la del encendido integral. Al igual que los sistemas a la chispa perdida, el circuito primario se encuentra colocado a positivo de batería a través de un relé, después el sistema COP necesita de la información de un sensor de posición hacia el módulo de encendido para determinar la posición del cilindro. Para estos sistemas, el sensor de fase colocado en el árbol de levas es quien indica al módulo de encendido o centralita que el P.M.S. del cilindro está en el tiempo de compresión ya que con el sensor de régimen y posición lo único que reconoce es que está situado en el P.M.S., pero no sabe qué tiempo del ciclo está efectuando.[9]

– Bobina simple:

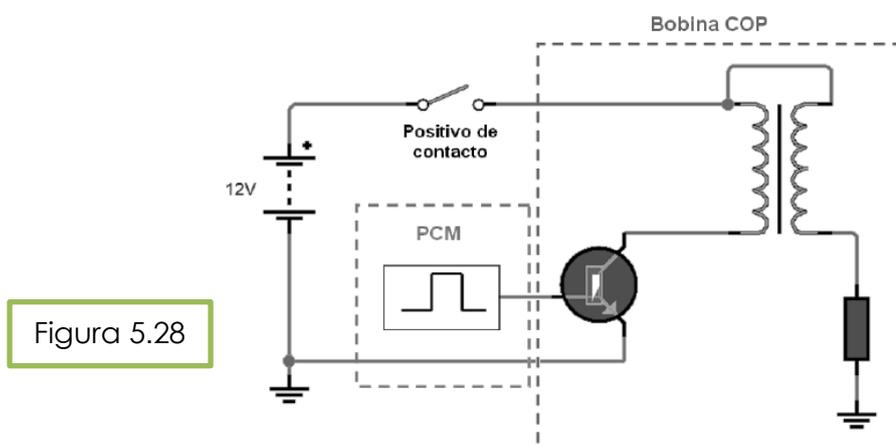
Es la configuración más sencilla para este tipo de bobinas, la cual tiene únicamente dos pines de conexión (positivo de contacto y cierre a masa).



El bobinado secundario comparte positivo con el primario, por lo tanto cualquier descarga de secundario se va a realizar buscando al final el electrodo de masa de la bujía.

– Bobina con transistor incorporado:

Este tipo de bobinas incorpora un transistor en su cuerpo, por lo tanto la señal de mando de la misma va a estar dado por el PCM a través de pulsos, pero a diferencia de las bobinas a la chispa perdida encontramos una bobina por cada cilindro, este tipo de bobinas cuenta con tres pines de conexión.



En este tipo de sistemas la bobina recibe la señal del módulo de encendido hacia el transistor, el positivo proveniente de un relé y una masa.

– Bobina con módulo incorporado:

Este sistema de encendido estático es la última generación en el desarrollo de los encendidos. Las etapas de potencia, al igual que en el encendido integral, se encargan de controlar los tiempos de conducción de corriente por los primarios de las bobinas y también limitan la corriente en el primario de la bobina, para una vez alcanzado el valor nominal, se mantenga constante hasta el momento del encendido.



Figura 5.29

Estas bobinas tienen integrado un módulo que genera una señal de retroalimentación (*feedback*) al módulo de encendido cada vez que se genera una correcta inducción en el circuito primario de la bobina de encendido. Para esto se dispone de un circuito especial que logra generar una señal hacia el PCM cada vez que

éste coloque un pulso al transistor de potencia y ocurra correctamente la inducción del circuito primario.

Una de las características de estas bobinas es que tienen 4 pines de conexión. Para analizar el funcionamiento, lo primero que se debe tener muy claro es que la operación que tiene para generar la chispa es exactamente igual al explicado en las bobinas con transistor incorporado. Lo único que las diferencia es que la de 4 pines gracias a un circuito integrado, envía una señal al PCM cada vez que se genera una inducción en el circuito primario de la bobina.

Internamente el PCM contiene un transistor NPN, que emite un pulso positivo a la bobina conocido como IGT (*Ignition Timing*). Este transistor está conectado directamente al microprocesador. El pulso llega hasta el módulo interno de la bobina y activa la base del transistor. El emisor de este transistor está conectado a masa y es el encargado de abrir o cerrar la masa al primario de la bobina, por lo que un pulso positivo en la salida del PCM (señal IGT) es igual al ángulo de cierre o *dwell angle* en el primario de la bobina.

La señal de retroalimentación o IGF (*Ignition Feedback*) toma la señal del circuito primario, y cada vez que se produce un correcto proceso de inducción del circuito secundario, el IGF manda un pulso al transistor. El pulso es por tanto una comprobación de que el primario de la bobina realizó su trabajo correctamente.[9]

Sistemas de encendido por descarga del condensador (CDI)

El encendido por descarga del condensador de alta tensión, también llamado "encendido por tiristor", se basa en cargar un condensador con energía eléctrica para luego descargarlo provocando en este momento la alta tensión que hace saltar la chispa en las bujías.

En este tipo de encendido, la energía es almacenada en un condensador. Cuando éste está cargado, la descarga se realiza muy rápidamente a través del arrollamiento primario del transformador de encendido, elevando la tensión del condensador al valor de la alta tensión necesaria en el secundario, con el fin de provocar la chispa en la bujía, como en el caso de encendido por bobinado inductivo.

El condensador se descarga a través del tiristor comandado por el circuito de detección de régimen, haciendo la función de interruptor. El transformador utilizado en este tipo de encendido se asemeja a la bobina del encendido inductivo solo en la forma exterior, ya que en su construcción interna varía. En su funcionamiento es un transformador de impulsos que convierte la corriente de carga rápida del condensador, a través de su bobinado primario en una alta tensión que aparecerá rápidamente en el bobinado secundario. La inductancia primaria es muy inferior en el caso de encendidos capacitivos y por consiguiente el circuito de descarga del condensador tendrá una impedancia global pequeña, permitiendo una rápida elevación de la tensión.[19]

El sistema de encendido por descarga de condensador es similar en disposición y funcionamiento al encendido transistorizado, pero como este último, también ha evolucionado y ahora se aplica a sistemas de encendido estáticos que no utilizan distribuidor.

Un ejemplo de encendido de este tipo es el que equipan algunos motores de la marca *Saab* con un sistema de encendido por descarga capacitiva enteramente estático y con avance cartográfico.

- **Bujías de encendido**

Tiene como misión hacer que la corriente, producida en el secundario, salte en forma de chispa entre sus electrodos. La temperatura de la bujía ha de estar dentro de unos límites comprendidos entre los 600°y 800°C.[8] Como se puede apreciar en la figura 5.31, el punto más caliente se corresponde con el pie del aislador.

En caso de que la temperatura de la bujía esté por encima de la temperatura de funcionamiento, se da lugar a encendidos por incandescencia o autoencendidos. Para evitar el deterioro de la bujía se trabajará como máximo a 850°C a fin de evitar el deterioro por recalentamiento ya que además si se sobrepasan los 950°C se producirá el autoencendido.[22]

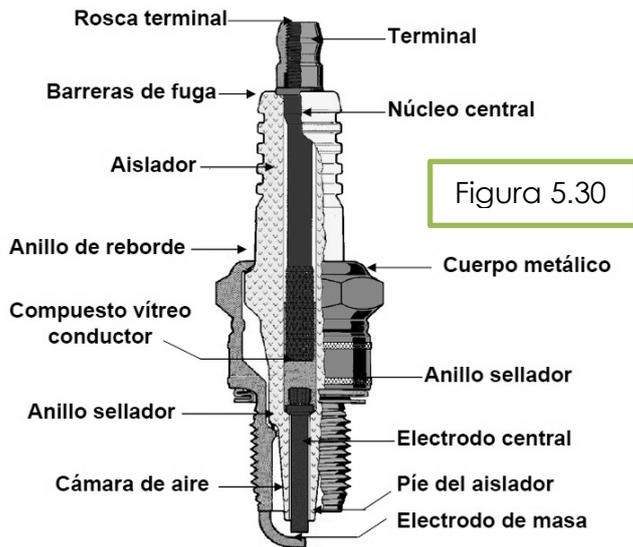


Figura 5.30

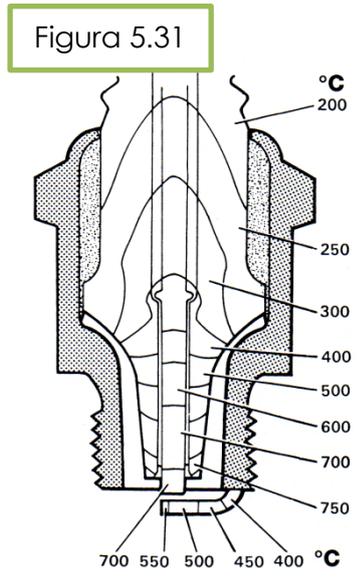


Figura 5.31

Si por el contrario, la temperatura de la bujía es menor de la de funcionamiento, las partículas de aceite y hollín que se depositan sobre el pie del aislador, no desaparecen por ignición, pudiéndose originar derivaciones de corriente. A temperaturas inferiores de 350°C en el pie del aislador la bujía se acaba recubriendo de hollín aceitoso o de carbonilla de aceite. Por lo tanto es importante que la bujía se adapte bien a las temperaturas de funcionamiento del motor para evitar problemas en el encendido.

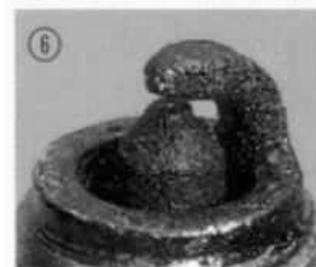
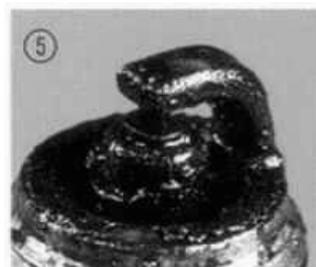
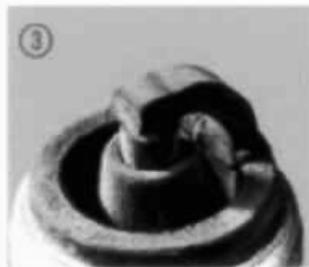
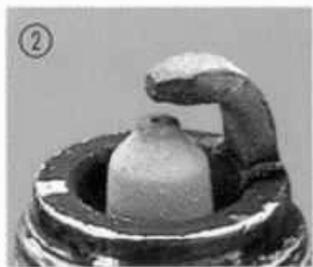
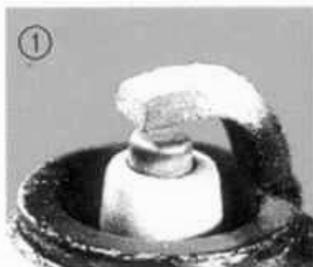


Figura 5.32
 Bujía en su estado de funcionamiento normal

Figura 5.33
 Bujía cubierta de hollín

Figura 5.34
 Bujía engrasada

6. SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA (EFI) MAGNETI MARELLI

- Funcionamiento de la inyección en la ECU Magneti Marelli IAW15P

La unidad de control electrónica o ECU (*Electronic Control Unit*) es la unidad que administra y lleva a cabo la gestión electrónica del motor, manejando para ello varios aspectos de la operación de la combustión interna del motor.

Las unidades de control de motor más simples sólo controlan la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro en cada ciclo de motor. Las más avanzadas controlan el punto de ignición, el tiempo de apertura/cierre de las válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor, y control de otros periféricos.

Para un motor con inyección de combustible, la centralita determinará la cantidad de combustible que se inyecta basándose en diferentes parámetros del motor, por ejemplo, si el motor no ha alcanzado la temperatura suficiente, la cantidad de combustible inyectado será mayor (haciendo que la mezcla sea más rica hasta que el motor esté caliente).

El control electrónico del sistema IAW define y controla los parámetros del motor para optimizar el rendimiento y el consumo a lo largo de la vida útil del mismo, teniendo en cuenta un funcionamiento en operación normal del motor. La ECU se encarga de gobernar tanto la inyección como el encendido además de regular la potencia.

En el caso de la IAW15P, el control del motor se realiza a través de un sistema electrónico estático con distribución estática.[10] El encendido electrónico estático proporciona una mejora respecto a los encendidos que utilizan distribuidor ya que elimina los cables de alta tensión, los elementos móviles y mejora la manera en la que la chispa es creada. El sistema utilizado es el tipo *coil on plug* (COP) de bobina simple.

La centralita calcula internamente el ángulo de avance del encendido óptimo gracias a un mapa interno memorizado (mapa de encendido) al que se accede con los valores obtenidos de carga y régimen. Gracias al sensor de posición del cigüeñal (CKP), la centralita conoce en todo momento la posición del pistón (motor monocilíndrico) respecto a la posición del P.M.S., de esta manera determina el momento exacto en el que enviar la orden de encendido a la bobina.



Figura 6.1

La ECU calcula el tiempo de inyección básico a partir de las señales de caudal de aire. El caudal de aire en la admisión se calcula de manera indirecta a través de los sensores de temperatura, régimen del motor y presión atmosférica, como punto de partida. El tiempo de inyección viene memorizado en un mapa interno en la centralita (mapa de inyección) donde mediante una estrategia *alpha-n* se accede a los tiempos de inyección memorizados, que son proporcionales a la cantidad de combustible inyectado.

La inyección del motor *Sherco 250i-R* se trata de una inyección monopunto, con un inyector tipo *Weber – Magneti Marelli IWP048*. La inyección de la gasolina se realiza a baja presión (5 bares – 500kPa) de manera intermitente y sincronizada por la ECU.

La adaptación óptima de la proporción aire/combustible a cada estado de funcionamiento se realiza mediante un mapa característico memorizado en la ECU. Mediante este mapa la relación de mezcla (o factor lambda) se ajusta a cada estado de funcionamiento, ya que el sistema IAW15P carece de sonda lambda, con la que se podría ajustar de manera más precisa la relación aire/combustible comprobando la cantidad de oxígeno en el colector de escape.

El sistema de inyección utilizado por este tipo de centralitas se basa en la información obtenida a través de 5 sensores:

- Sensor de posición de la mariposa (TPS – *Throttle Position Sensor*).
- Sensor de régimen y posición.
- Temperatura del aire.
- Temperatura del agua.
- Sensor barométrico o de presión atmosférica (ADF *sensor*).

La información del TPS comunica a la centralita la posición de apertura de la mariposa y elabora las estrategias de aceleración, deceleración y ralentí.

El sensor de régimen ofrece la velocidad del cigüeñal o régimen del motor (revoluciones por minuto - rpm) y la posición del P.M.S. del pistón.

El sensor de temperatura del aire permite conocer la temperatura del aire que entra a la válvula de mariposa. Mientras que la información sobre la temperatura del agua permite conocer la temperatura del motor. Este sensor va montado con la parte sensible sumergida en el líquido refrigerante del motor, por lo que si la temperatura del motor aumenta, también lo hará la del agua.

Por último, el sensor ADF o sensor de presión atmosférica es un sensor que viene integrado en la centralita original *Magneti Marelli* y que permite comunicar a la misma, la densidad del aire a través de la lectura de la presión. Esta información permite realizar un ajuste en la mezcla según la altitud a la que se encuentra funcionando el motor.

Estas señales son tratadas por varios circuitos de la centralita (formadores de impulsos, convertidores analógicos-digitales...) para poder ser interpretados por una memoria de datos operativa (RAM – *Random Access Memory*). Todos los programas de base (software), el diagrama característico de encendido e inyección, los valores nominales típicos de cada aplicación son memorizados de forma permanente en una memoria de lectura (ROM – *Read Only Memory*). El microprocesador adquiere de la memoria de datos todas las informaciones emitidas por los sensores y con complejas operaciones aritméticas se efectúa el cálculo del régimen de giro y la cantidad de aire aspirado. En consecuencia en función del programa inscrito en la memoria (ROM), optimizado en la fase de experimentación y homologación del vehículo, envía las señales de salida, a través de etapas de potencia, a los actuadores para realizar la estrategia de control.[10]

- Estructura interna

La centralita contiene en su interior un microcontrolador (MCU) *Motorola MC68HC11F1* que posee memoria EEPROM interna de 512 bytes. Es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente. Se trata de memorias no volátiles, es decir, que no pierden su información cuando no disponen de alimentación eléctrica. La memoria puede ser leída a través de la línea K, que correspondería con los pines 9 y 10 de la centralita. Estos pines son los correspondientes a la toma de diagnóstico. El flujo de datos en este tipo de línea únicamente puede ser unidireccional para un instante determinado. Sin embargo posibilita la comunicación de varios puertos a través de un mismo cable.

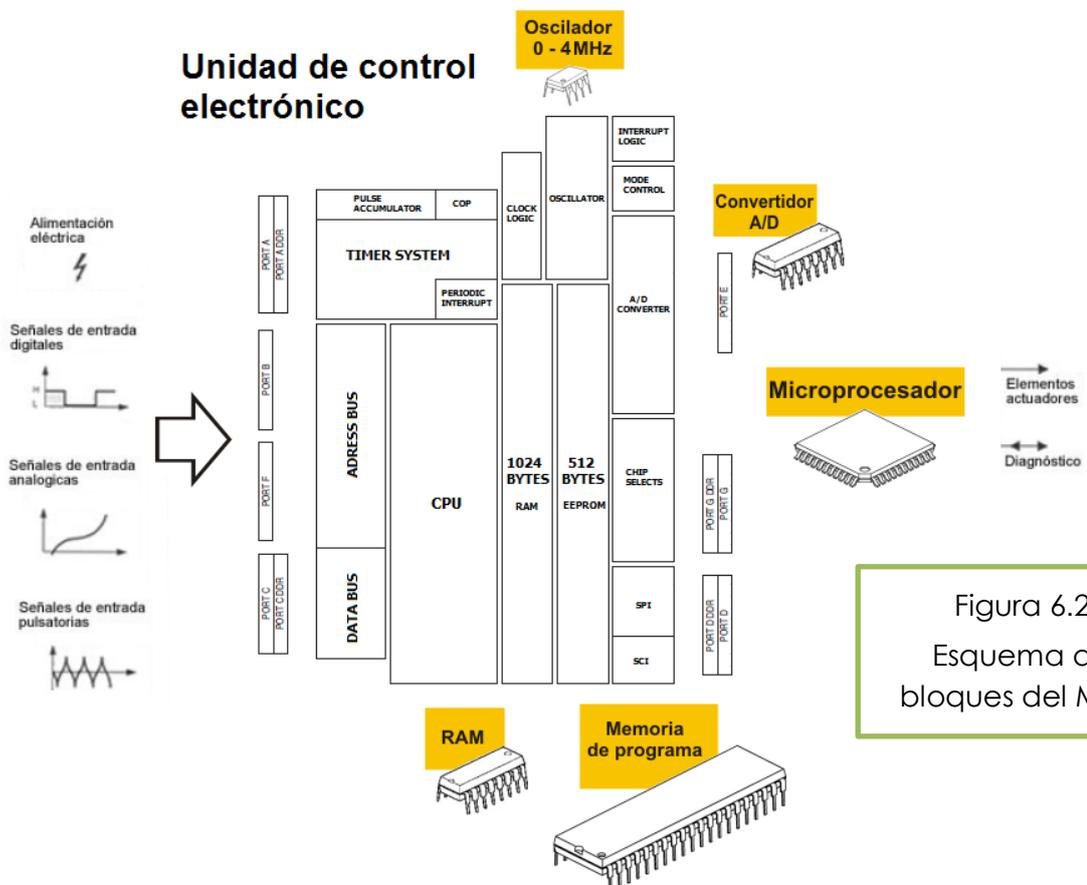


Figura 6.2
Esquema de bloques del MCU

El microcontrolador MC68HC11F1 para el uso en la *Magneti Marelli* IAW15P contiene en su interior la máscara 2E87J. La determinación de si un pin X es

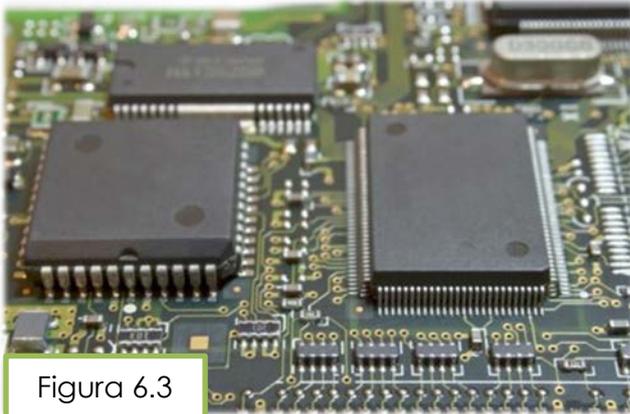


Figura 6.3

puerto de entrada o salida, se configura en la máscara o firmware intrínseco del micro. Por lo tanto, un microcontrolador con un sub-código o máscara distinta, puede afectar el funcionamiento del microcontrolador. Por ejemplo si en un micro con una máscara determinada, el pin 22 es una salida digital, en otro con una máscara diferente puede ser una

entrada analógica. Lo cual cambia por completo toda la disposición de las funciones.

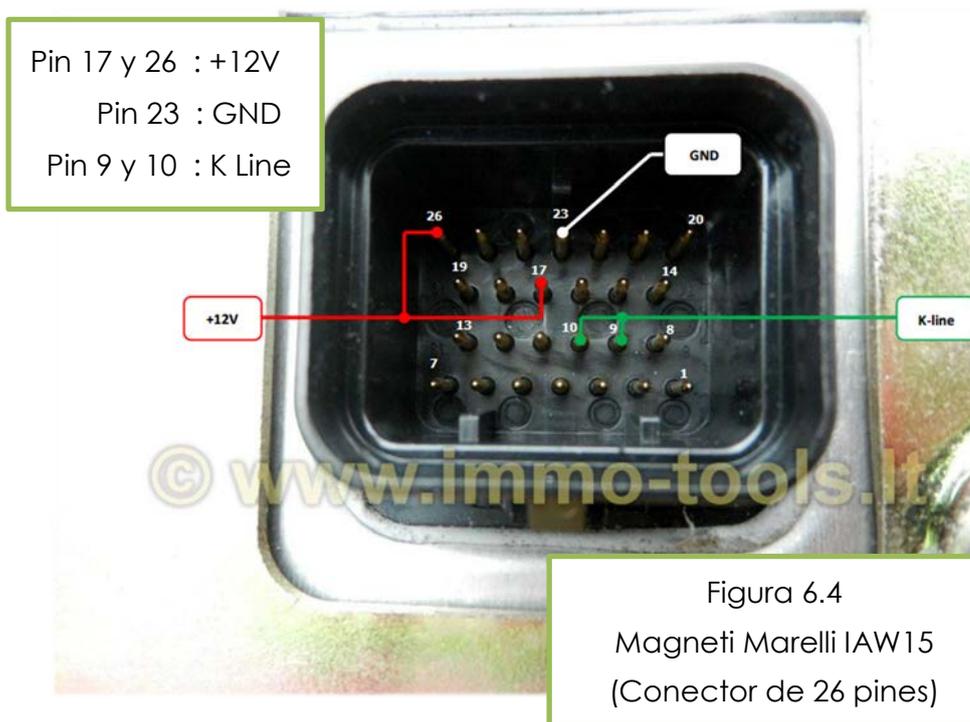


Figura 6.4
Magneti Marelli IAW15
(Conector de 26 pines)

– **Memoria de datos:**

Una memoria de escritura/lectura (RAM) es necesaria para almacenar datos variables, como por ejemplo valores de cálculo y valores de señal. Para el funcionamiento de la memoria RAM, ésta necesita un abastecimiento continuo de corriente. Al desconectar la unidad de control por el interruptor de encendido, esta memoria pierde todos los datos almacenados (memoria volátil).

Los valores de adaptación (valores sobre estados del motor y de servicio) tienen que determinarse de nuevo en este caso al conectar otra vez la unidad de control.

Los datos que no se deben perder (por ejemplo: códigos para el inmovilizador y datos de la memoria de averías) se tienen que almacenar de forma duradera en una EEPROM. Los datos almacenados en este acumulador no se pierden, ni siquiera al desconectarse la batería.[19]

– **Memoria de programa:**

El microcontrolador necesita de un programa (software) que este almacenado en una memoria de valor fijo (no volátil) como las memorias ROM o EEPROM. Adicionalmente existen en esta memoria datos específicos (datos individuales, curvas características y campos característicos). Se trata, en este caso, de datos invariables que no pueden ser modificados durante el servicio del vehículo.

Los datos que llegan de los sensores se envían en forma analógica o digital a la ECU. La unidad de control electrónico es un microcontrolador compuesto por tres unidades básicas. La CPU, la memoria y el subsistema de entradas y salidas que hemos comentado.

Las CPU en automoción para los sistemas de gestión de motor suelen ser de 16 bits, son del tipo RISC (*Reduced Instruction Set Controller*). Se utiliza este tipo de CPU por:

- Instrucciones sencillas en lenguaje ensamblador.
- Tamaño reducido.
- Menor coste y consumo.
- Utiliza una instrucción en cada ciclo de máquina.

La forma de ejecutar las tareas en los microcontroladores es del tipo secuencial: se busca la instrucción, se decodifica y por último se ejecuta. Las instrucciones sencillas se realizan en un tiempo de reloj, instrucciones más complejas necesitan varios tiempos de reloj. El reloj del microcontrolador suele ser una pieza de cuarzo que oscila a alta frecuencia o un oscilador RC (para aplicaciones no críticas).

El microcontrolador tiene asignadas una serie de tareas, algunas de estas son asíncronas y por tanto se tiene que esperar que surja dicho evento para ejecutarla. Si el MCU tiene que hacer una lectura continuada de un puerto determinado cada vez que acaba de ejecutar una tarea para comprobar si se ha activado esta tarea asíncrona, se estará consumiendo memoria, por lo que es habitual que se realice por interrupciones. Las interrupciones permiten realizar las tareas programadas hasta que salte un evento asíncrono.[10]

– **Comunicación interna en la unidad de control**

Los componentes periféricos que apoyan al microcontrolador en su trabajo se tienen que comunicar con éste. Esto tiene lugar a través del bus de direcciones/datos. El microcontrolador emite por ejemplo la dirección RAM, a través del bus de direcciones, cuyo contenido memorizado requiere ser leído.

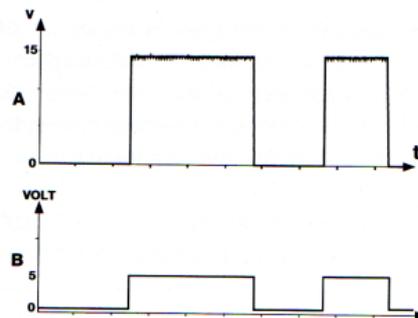
A través del bus de datos serán transmitidos seguidamente los datos correspondientes a la dirección. Para economizar patillas en los componentes, es posible multiplexar el bus de datos y direcciones, o sea que la dirección y los datos se transmiten de forma desfasada, utilizándose los mismos conductores.

– **Señales de entrada digitales:**

Estas señales tienen solamente dos estados: "High" y "Low" o lo que es lo mismo "1" y "0". Ejemplos de señales de entrada digitales son las de conmutación (conexión/desconexión) o señales de sensores digitales como impulsos de revoluciones de un sensor Hall. Pueden ser procesadas directamente por el microcontrolador.[8]

La figura 6.5 muestra un ejemplo de una señal digital. Al igual que el resto de señales también deben acomodarse para adaptarlas a los valores de trabajo del microcontrolador. En general, las señales analógicas suelen ser procesadas, para convertir la señal analógica a un estado lógico digital legible por el microcontrolador:

Figura 6.5
Ejemplo de señal digital
U: tensión en V
t: tiempo en s



En la figura anterior se pueden ver dos señales, la primera corresponde a la señal digital que se envía inicialmente, mientras que la segunda señal se trata de una onda cuadrada ya acondicionada a los valores de trabajo de la unidad electrónica o ECU.

– **Señales de entrada pulsatorias:**

Estas señales procedentes de sensores inductivos con informaciones sobre el número de revoluciones del motor y la marca de referencia (P.M.S.), son preparadas en una parte propia del circuito de la unidad de control. A su vez se suprimen impulsos parásitos, y las señales pulsatorias son transformadas en señales digitales rectangulares.

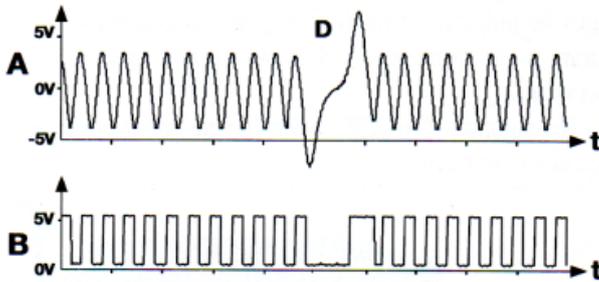
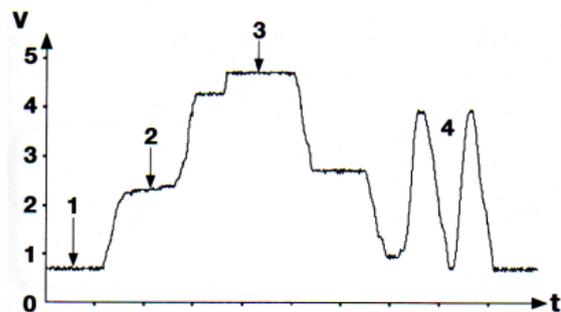


Figura 6.6
Ejemplo de señal pulsatoria
U: tensión en V
t: tiempo en s

– **Señales de entrada analógicas:**

Son señales que habitualmente proceden de sensores como el caudalímetro, sensores de temperatura, TPS, tensión de la batería, etc. Una señal de este tipo es una señal eléctrica que varía su valor de la tensión o voltaje de manera constante. Suelen utilizarse para representar magnitudes del entorno físico mediante tensión, medidas con sensores de diferentes tipos como los mencionados.[8] A continuación se muestra una señal analógica de un sensor de posición de mariposa para diferentes posiciones de la misma:

Figura 6.7
Ejemplo de señal analógica
U: tensión en V
t: tiempo en s



1: Ralentí 2: Carga parcial 3: Plena carga
4: Fase de aceleración/deceleración

La señal analógica puede ser convertida a digital a través de un convertidor A/D con una frecuencia de adquisición que debe ser compatible con la evolución temporal de la señal muestreada. Esto evitaría la saturación del microcontrolador en el muestreo de una señal de temperatura, mucho más lenta que por ejemplo la señal de la sonda lambda.

– **Señales de salida:**

Las señales de control de frecuencia para la inyección de las etapas de potencia y las señales de mando para el encendido sí se consideran señales de salida, pero no así las señales para la interrupción de corriente. Por otro lado están las señales ON / OFF (abierto / cerrado) a los relés de potencia y LEDs.

- **Sensores y actuadores**

Los sensores son elementos que envían señales a la unidad de control electrónico respecto al funcionamiento del motor (temperatura, régimen, presión, etc.). Pueden ser sin alimentación (generadores) o con alimentación externa (moduladores). Los requisitos que han de cumplir los sensores en automoción son variados: han de ser fiables, robustos, baratos, ligeros, pequeños y de bajo consumo. Además de estas cualidades deberán satisfacer:

- Precisión.
- Resolución.
- Linealidad.
- Sensibilidad.

Por otro lado, los actuadores reciben órdenes de la centralita para ejecutar determinadas acciones. En función del cometido que desempeñan pueden ser inyectores, bobinas de encendido u otro tipo de reguladores.[3] Como previamente se ha comentado la gestión electrónica del motor utiliza la información de 5 sensores para realizar su estrategia tanto de encendido como de inyección.

A continuación se presentan las características de los sensores que se utilizan, a excepción del sensor de presión atmosférica, que al estar integrado en la centralita no se incluye en el esquema eléctrico de la moto. En el apartado de anexos del proyecto, en el anexo C, se detalla el esquema eléctrico de la centralita junto con los diferentes sensores y actuadores. Asimismo, se presenta una leyenda en la que se identifica cada pin de la centralita. Algunos pines se identifican como no conectados por hacer referencia al alumbrado y electroventilador de la moto original.

- **Sensor de posición de mariposa:**

Se trata de un potenciómetro monopista. Un potenciómetro es una resistencia variable lineal que varía proporcionalmente al desplazamiento del cursor sobre la pista resistiva. El sensor contiene 3 pines, la centralita alimenta al sensor con una tensión de 5 voltios y masa a dos de sus pines, el tercero es la señal de la posición de la mariposa.[11]

En base a la tensión de referencia enviada a la centralita, ésta reconoce la condición de apertura de la válvula de mariposa y corrige adecuadamente el porcentaje de la mezcla aire/combustible. Con la mariposa cerrada, se envía a la centralita una señal eléctrica de tensión la cual efectuará el reconocimiento de la condición de ralentí según el número de r.p.m. del motor.



Figura 6.8

– **Sensor de régimen y posición:**

Los sensores de rpm y P.M.S. pueden ser de dos tipos, los inductivos o de reluctancia variable y los de efecto Hall.

Sensor inductivo

Los sensores inductivos, también llamados de reluctancia variable, no requieren alimentación para su funcionamiento. Son reconocibles por tener únicamente dos pines de conexión. Están formados por un imán permanente, una pieza polar ferromagnética, un transductor de impulsos y una rueda metálica dentada. La pieza polar corresponde a la parte del núcleo alrededor de la cual está incorporado un devanado inductor, o la misma está constituida por uno o varios imanes permanentes.



Figura 6.9

El sensor inductivo funciona mediante la variación del campo magnético generada por el paso de los dientes de la rueda dentada o rueda fónica situada en el cigüeñal. La señal del sensor podrá verse alterada por factores como:

- Régimen del motor.
- Proximidad de la rueda fónica respecto del sensor.
- Fuerza del campo magnético generado por el imán.

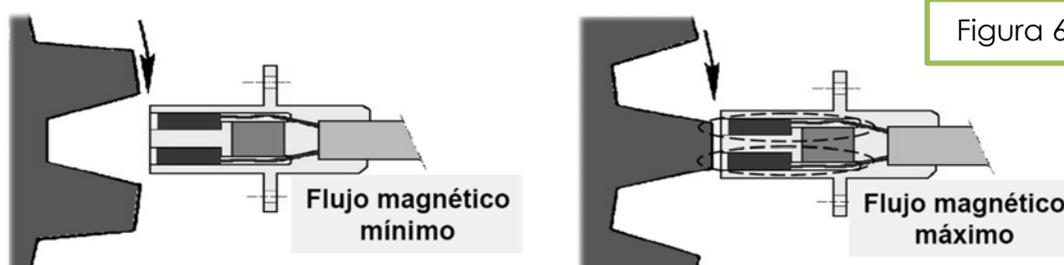
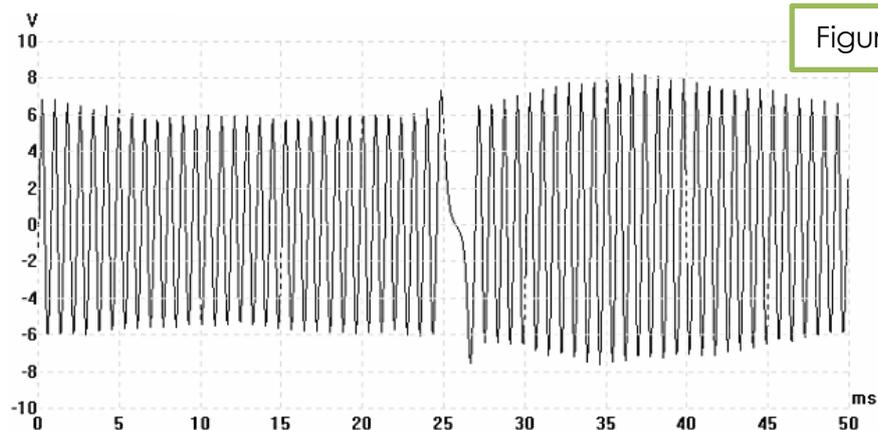


Figura 6.10

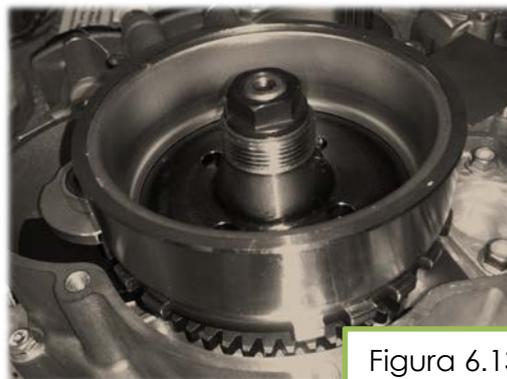
El perfil de los dientes de la corona genera un perfil de tensión alterna, cuya frecuencia indica a la unidad de mando el régimen de giro del motor. La ausencia de dientes, genera una señal de referencia que permite a la unidad de mando reconocer, con un cierto avance, el P.M.S. del cilindro.[22]



Si se mide la señal mediante un osciloscopio la forma de onda resultante se asemeja a la figura 6.11. Esta forma de onda en particular está tomada con el motor en funcionamiento, por lo que se puede apreciar como la tensión pico a pico difiere de un momento a otro. Esto es debido a que en la etapa de compresión el motor gira levemente más despacio, por lo que el voltaje es algo menor. Posteriormente vemos que su tensión vuelve a crecer una vez alcanzado el P.M.S.

El punto muerto superior está identificado por el hueco existente en la rueda fónica. Habitualmente suelen tener uno o dos dientes de menos. Los patrones de dentado más comunes son los conocidos como *Ford 36-1*, *Bosch 60-2*, *Rover 18-1*, *Toyota 36-2*, *Motronic 24-2*, *Motronic 24-1*, etc.

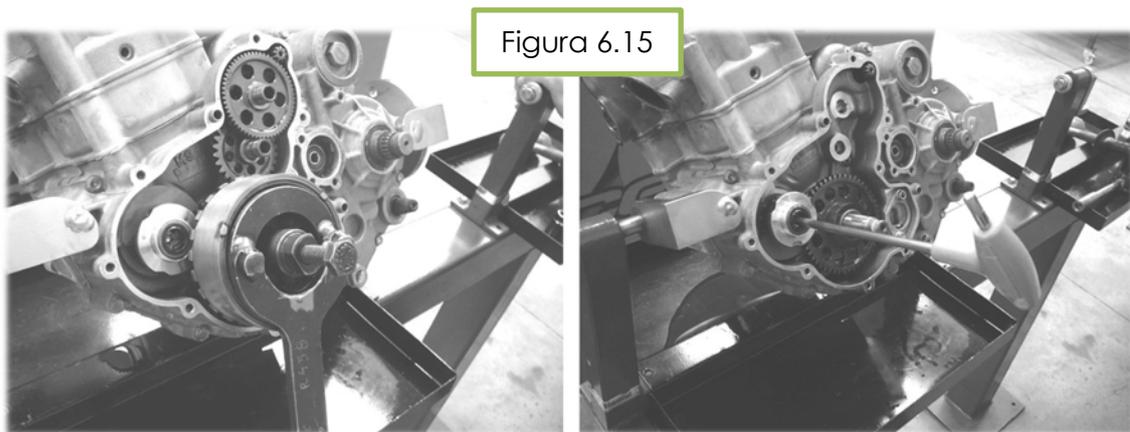
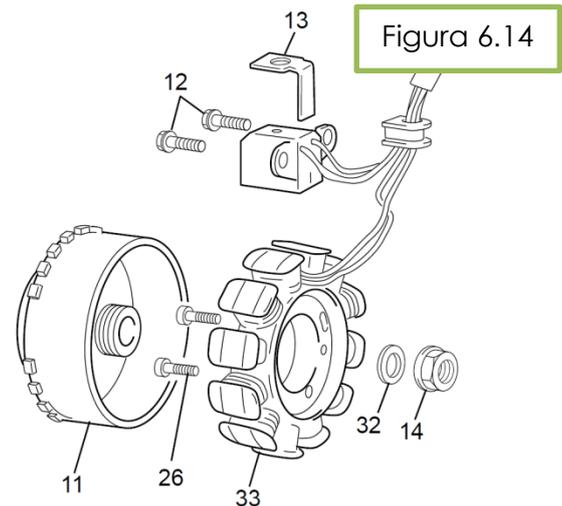
En el caso del proyecto, el motor *Sherco 250i Racing* monta una rueda fónica del tipo *Motronic 24-2*. El primer número hace referencia al número total de dientes que tendría la rueda sin considerar los huecos. El segundo número se refiere a la cantidad de dientes que le faltan. Por lo tanto, la rueda fónica tiene 22 dientes en total.



En este caso la rueda dentada viene incorporada en el rotor del alternador, por lo que no permite una fácil sustitución, ya que se necesitaría un bloque similar con otro patrón de dientes diferente. Generalmente suelen ir separados, por lo que la sustitución de la rueda fónica no presenta mayor problema.

En la figura 6.14 podemos apreciar el grupo del alternador más el sensor inductivo fijado por un par de tornillos (12) al soporte del sensor (13), una tuerca, una arandela (32), el rotor (11) y el estator (33).

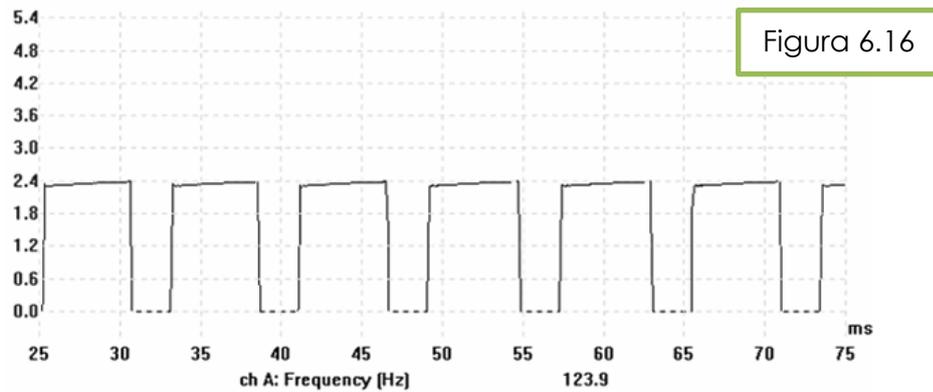
Además, para sustituir el rotor del alternador se requiere un utillaje específico de Sherco (Ref. 1815), lo cual dificulta aún más el reemplazo de esta pieza.[12] Este útil puede apreciarse en la figura inferior:



Sensor Hall

Los sensores de efecto Hall para el sensado de la posición del cigüeñal son detectores magnéticos basados en el efecto Hall que envían a la centralita la información necesaria para el funcionamiento del motor. Este tipo de sensores poseen 3 pines de conexión. Uno para alimentación, generalmente 5 voltios, una conexión a tierra o masa y una salida de señal a la centralita.[11]

El sensor genera una señal digital en que se envía como tensión lógica a la centralita. Cada ranura o diente, los cuales están posicionados a unos determinados grados según la cilindrada del vehículo, genera una inversión de polaridad en la tensión Hall, lo que ocasiona una onda de señal cuadrada. La onda cuadrada puede variar en amplitud si se mide con un osciloscopio, no obstante, no será de mayor importancia ya que es la frecuencia lo que verdaderamente interesa. Cuando el sensor se encuentre con el hueco de dientes, la señal cuadrada también presentará un hueco, por lo que la centralita es capaz de reconocer el P.M.S. La centralita utiliza esta información para determinar la secuencia y tiempo de encendido.



Aunque en este caso se trate de un sensor de posición del cigüeñal (CKP), los sensores de efecto Hall también son muy utilizados como sensores de fase o de posicionamiento del árbol de levas (CMP). En el caso de los sensores de fase, además de la posición del P.M.S. conocemos en qué carrera del motor se encuentra. El sensor de fase es utilizado por la mayoría de los vehículos con instalaciones de inyección secuencial, donde la unidad de mando sincroniza la inyección de combustible en el preciso momento que es abierta la válvula de admisión.[13]

En el caso del motor *Sherco* 250i-R, éste no lleva sensor de fase y el sensor de posicionamiento del P.M.S. se realiza mediante un sensor inductivo, mostrado en la figura 6.9.

– Sensor de temperatura del aire:

Los sensores de temperatura se utilizan para medir la temperatura del refrigerante, aceite, aire admisión, combustible, gases de escape... Hay dos tipos de sensores de temperatura: los termistores y los termopares.

Los termistores son resistencias basadas en semiconductores. Estos pueden ser NTC (*Negative Temperature Coefficient*) o PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Los termistores del tipo PTC aumentan su resistencia si aumenta la temperatura, por eso se les llama de coeficiente positivo. Su zona de funcionamiento se considera lineal debido a que su inercia térmica es de acción lenta.



Figura 6.17

Por otro lado tenemos los sensores de tipo NTC, que serán los sensores de temperatura que incluye la moto. Estos sensores varían su resistencia de forma no lineal y de manera inversa a la variación de la temperatura, por eso se les llama de coeficiente negativo.[11]

Para la obtención de la temperatura medida se puede aplicar una fórmula exponencial aproximada o mediante un acceso a una tabla ROM, como será el caso. El sensor de IAT (*Intake Air Temperature*) es alimentado por la centralita a 5 voltios. El otro pin del sensor es la masa también proveniente de la ECU. De esta forma la unidad de control electrónico puede en cualquier momento valorar las variaciones de resistencia del sensor a través de los cambios de tensión y obtener así la información de temperatura del aire aspirado.

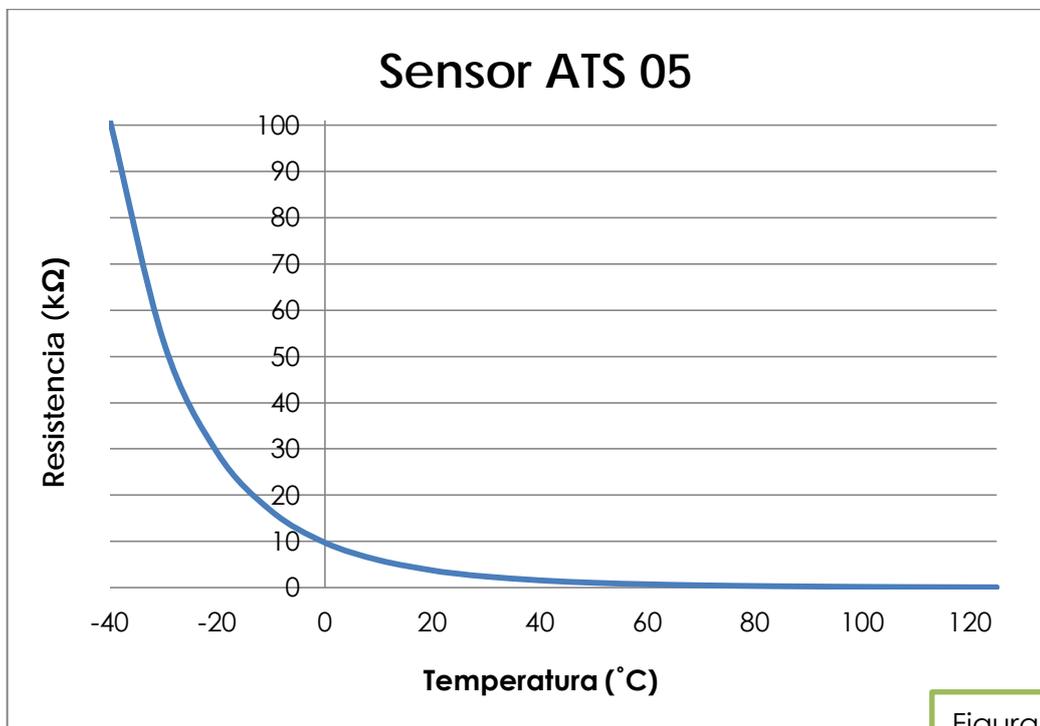


Figura 6.18

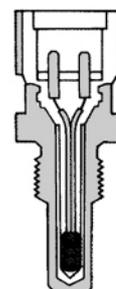
Esta información, junto con la información de los diferentes sensores es un dato esencial para poder establecer la cantidad de aire aspirado por el motor, en función de la cual la computadora deberá elaborar el tiempo de inyección.

– **Sensor de temperatura del agua:**

Al igual que el sensor de temperatura del aire aspirado, se alimenta a 5 voltios por un pin mientras que el otro es llevado a la centralita. El tipo de sensor que monta la moto es un sensor del tipo NTC formado por un cuerpo de latón que funciona como protección del elemento resistivo que se encuentra en su interior.



Figura 6.19



El sensor ECT (*Engine Coolant Temperature*) está generalmente enroscado dentro del bloque del motor, en el colector de la toma inferior o en el cabezal del cilindro para proveer un contacto directo con el refrigerante.[11]

Con el motor frío existe un empobrecimiento de la mezcla aire/combustible debido a la mala turbulencia que las partículas de combustible tienen a bajas temperaturas, a la reducida evaporación del combustible y a la fuerte condensación en las paredes internas del colector de admisión. Es por esto que la centralita electrónica, adquiere del sensor la información de la temperatura del líquido refrigerante y corrige el tiempo de inyección, aumentándolo con el motor trabajando en frío y disminuyéndolo hasta los valores indicados por los mapas, cuando el motor alcanza su temperatura normal de funcionamiento.

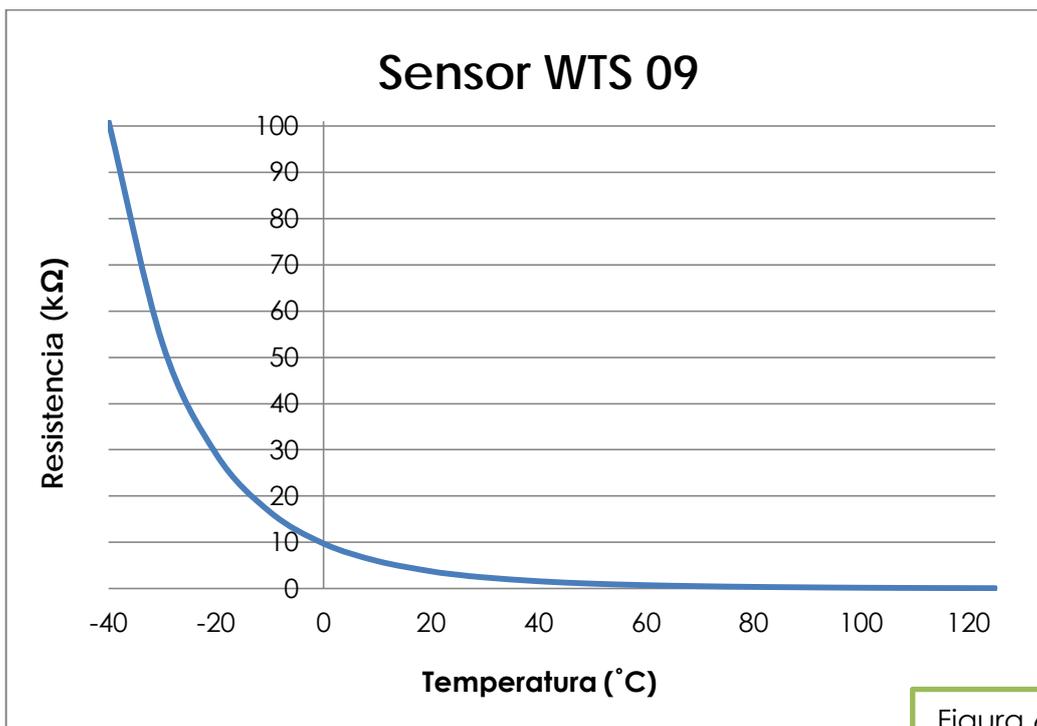


Figura 6.20

– **Sensor de presión atmosférica:**

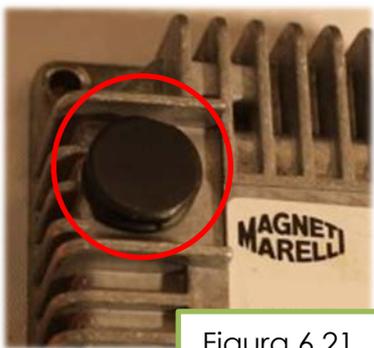


Figura 6.21

El sistema de inyección *Magneti Marelli* IAW15P incluye un sensor de presión para realizar así una corrección barométrica de la inyección. Esta clase de sensores suelen ir integrados en las propias centralitas y dan una indicación de la densidad del aire para compensar el efecto de la altitud en sus motores, ya que a mayores altitudes, menor será la densidad del aire del entorno y puede llevar a un mal funcionamiento de la centralita.[24]

– **Inyectores:**

El inyector es una válvula de inyección de combustible con actuación electromagnética. Se localiza en el colector de admisión (monopunto), o en el conducto de admisión de cada cilindro (multipunto).



Figura 6.22

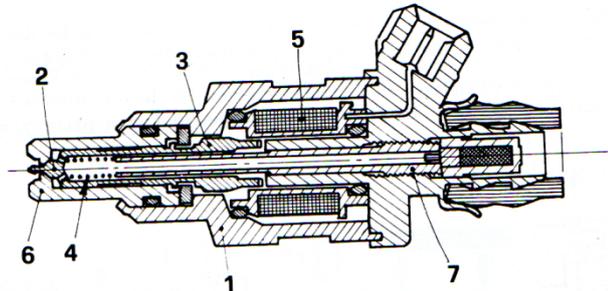


Figura 6.23 – Electroinyector

1. Cuerpo – 2. Aguja – 3. Ancla magnética
4. Resorte helicoidal – 5. Bobina – 6. Punta
7. Empujador regulable – 8. Filtro de carburante

Están esencialmente compuestos de un núcleo comandado por un electroimán y un muelle de retorno.

Cuando el solenoide no está excitado, la aguja está forzada contra el asiento de la válvula mediante el resorte helicoidal, cerrando el paso de combustible. Cuando se excita la bobina del solenoide, el eje de la aguja resulta atraído y se eleva para que el combustible pueda fluir a través del paso. La masa de combustible inyectado se controla variando la duración del pulso de corriente que excita la bobina del solenoide. Considerando constantes las características fijas del carburante (densidad, viscosidad...) la cantidad de carburante inyectado solo depende del tiempo de apertura del electroinyector.[22]

Los electroinyectores suelen ir instalados sobre el conducto de admisión, de modo que pulverizan sobre la válvula de admisión. Como se puede apreciar en la figura 6.22, dos anillos de goma aseguran la estanqueidad sobre el conducto de admisión y sobre el colector de carburante. El inyector que viene incluido el cuerpo de inyección suministrado por la Organización se trata de un inyector *Weber Marelli* Monopunto IWP048. Están diseñados para que pulvericen el carburante formando un cono de 24°.[23]

Son dispositivos del tipo todo o nada porque solo pueden permanecer en dos estados estables, abierto o cerrado. En estado de "abierto" (todo) dejan pasar carburante mientras que cuando están cerrados (nada) no dejan pasar carburante. La unidad de mando (ECU) transfiere masa a los electroinyectores, para que estos se abran, durante el tiempo estimado por la misma. El cierre a masa del circuito se lleva a cabo en la unidad electrónica de mando a través de una etapa de potencia.

– **Bobina de encendido:**

Las bobinas de encendido constituyen la parte de potencia de los sistemas de encendido. Estos componentes, están formados por arrollamientos de material conductor (cobre) en su interior.

Transforman la tensión existente en los bornes de la batería al valor necesario para producir la chispa entre los electrodos de las bujías (del orden de kilovoltios). En el interior de las bobinas de encendido se encuentran dos bobinas: la bobina primaria, cuyo alambre de cobre es más grueso, y la bobina secundaria, que es considerablemente más largo y cuyo alambre de cobre es más fino.

Las salidas de los devanados secundarios pueden estar conectadas, en función del tipo de sistema, directamente a las bujías (sistemas de encendido estático) o a un distribuidor de alta tensión. Para evitar que se produzcan descargas eléctricas en el interior de la bobina o hacia afuera, los alambres de la bobina primaria y secundaria deberán estar aislados. Para ello entra en juego, por un lado, la calidad del arrollamiento, y por otro lado, la masa de relleno.

Las bobinas de encendido tienen un núcleo de hierro laminado envuelto en la bobina primaria y secundaria. El impulso de alta tensión de una bobina se genera en la bobina secundaria con ayuda de la inducción magnética. Para ello, en primer lugar la bobina primaria se carga con la tensión de la batería a través de la conexión de baja tensión de la bobina. Al mismo tiempo, alrededor de la bobina primaria se forma un campo magnético. Si se interrumpe este flujo de corriente, el campo magnético decae. Debido a esta reducción en el campo, se activa un impulso de tensión en la bobina secundaria.

La relación de espiras determina en gran parte la relación entre las tensiones del primario y secundario, pero independientemente de la relación de espiras, hay otros factores que afectan al voltaje real del impulso de alta tensión emitido. De este modo, la fuerza del campo magnético creado en la bobina primaria es tan importante como la velocidad a la que se satura. También el grosor de la bobina secundaria y el tiempo que necesita para cargarse tienen una gran influencia en el resultado final.[25]

En cuanto a los diferentes tipos de bobinas que podemos encontrarlos con:



Figura 6.24
Bobina clásica



Figura 6.25
Bobina doble



Figura 6.26
Coil On
Plug



Figura 6.27
Rampa de bobinas



Figura 6.28
Bobinas en
bloque



En el caso del motor *Sherco 250i - Racing*, la bobina de encendido que incluye es una bobina de la marca comercial *Denso* del tipo COP de las que ya hemos hablado con anterioridad.



Figura 6.29
Bobina Denso



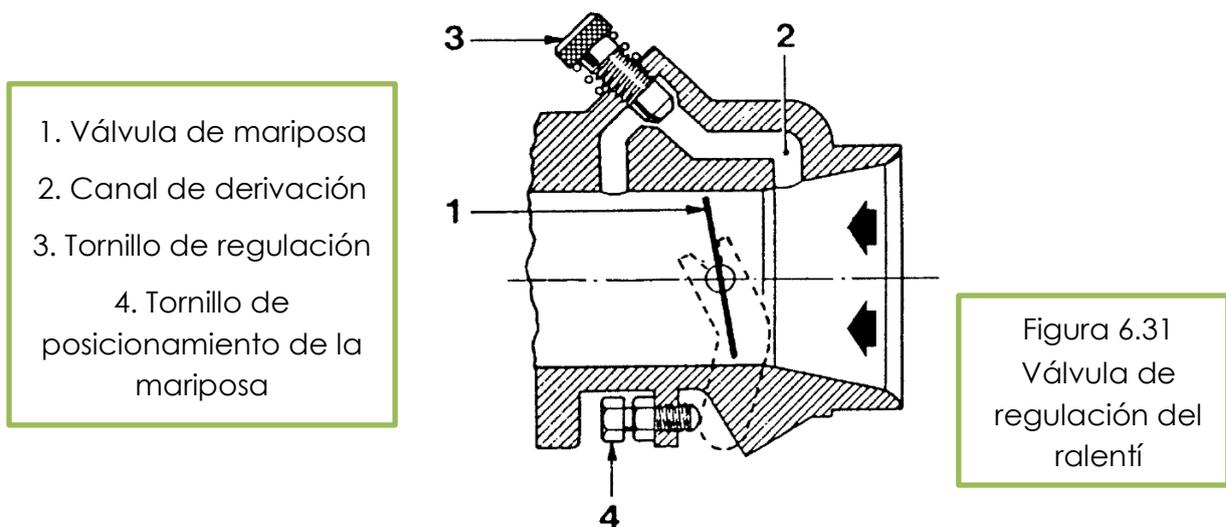
Figura 6.30
Motor
Sherco SE
250i - R

– **Válvula de regulación del ralentí:**

El control de marcha mínima o ralentí se utiliza para estabilizar la velocidad del motor durante arranques en frío y después de operación tras un periodo de calentamiento.

El actuador del ralentí trata de regular el número de revoluciones mínimas del motor cuando éste se encuentra en reposo. Administra el aire que entra al cuerpo de aceleración y gracias a esta regulación se mantiene una aceleración constante sin mayores oscilaciones en el régimen del motor, permitiendo un funcionamiento más suave del mismo.

Algunos vehículos tienen motores paso a paso para regular el ralentí, sin embargo por simplicidad otros usan el ajuste más básico utilizando un simple tornillo a través de un canal de derivación o *bypass*.



La cantidad de aire aspirado se determina mediante la apertura de la válvula de mariposa. El aire necesario para el mantenimiento del régimen de ralentí circula por el canal de derivación que se aprecia en la figura 6.31. Éste posee un tornillo de ajuste que permite la estrangulación del canal si se rosca hacia el interior.

La adaptación de la cantidad de aire que entra al colector de admisión cuando el motor se encuentra trabajando al ralentí, se realiza por tanto mediante este tornillo y determinará la velocidad del régimen mínimo del motor. En la figura puede observarse un segundo tornillo con una contratuerca que permite a la válvula de mariposa cerrarse correctamente, evitando posibles golpes con el resto del colector. Este último tornillo no debe usarse para ajustar el régimen de ralentí.

7. SISTEMAS DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO PROGRAMABLES

- **Generalidades**

La implementación de un sistema de inyección y encendido programable permite variar con facilidad los parámetros que gobiernan tanto la inyección como el encendido del motor. Estos sistemas no poseen una cartografía previa almacenada, ni programa alguno grabado en la unidad de control. Las centralitas originales que incorporan los vehículos ya disponen de mapas y cartografías iniciales porque previamente han sido desarrolladas y ajustadas en bancos de potencia. Por el contrario, en las centralitas programables se deben ingresar los parámetros correspondientes antes de llevar a cabo la puesta en marcha del vehículo.

En estados estacionarios y transitorios, la centralita toma las señales de los distintos sensores, para una marcha óptima del vehículo en cada estado. Un estado transitorio depende de las condiciones iniciales y desaparece al cabo de cierto tiempo, mientras que un estado estacionario, independientemente de las condiciones iniciales, permanece después de desaparecer el estado transitorio.[14]

Mediante la información de las revoluciones del motor y la posición de la válvula de mariposa, el sistema detecta un estado transitorio del motor, o en su defecto un estado estacionario, lo que permite tener un control en los distintos estados de funcionamiento del mismo.

- **Procesos de control**

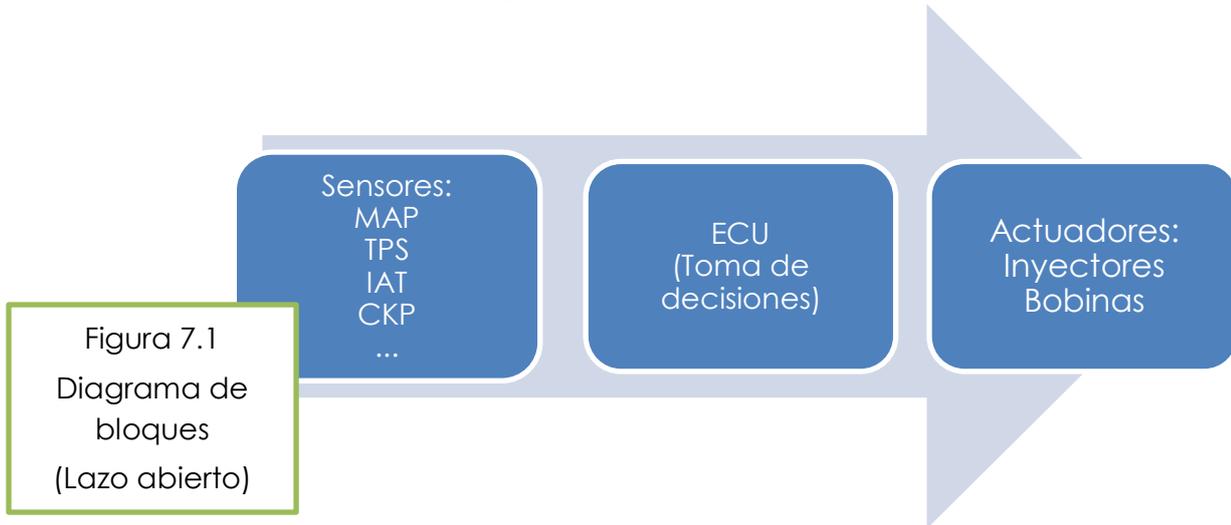
Los procesos de control que pueden realizarse a través de las centralitas programables pueden ser en lazo abierto o en lazo cerrado (con sonda lambda). Estos últimos son los más ampliamente utilizados y más recomendados, por permitir un ajuste mucho más fino de la inyección.

- **Control en lazo abierto:**

Los sistemas de control en lazo abierto realizan controles más sencillos ya que no realizan ningún control sobre la salida. No obstante la mayoría de vehículos usan un lazo cerrado, en general por motivos de limitación de las emisiones, ya que gracias a la información obtenida mediante la sonda lambda se puede regular la mezcla aire/combustible de forma que se reduzcan las emisiones contaminantes vertidas a la atmósfera.

En cuanto a vehículos de competición se refiere, aunque es aconsejable añadir un control de lazo cerrado, no es tan necesario como en el control de las emisiones, por lo que nos podemos encontrar controles en lazo abierto, tal y como sucede con el motor *Sherco*.

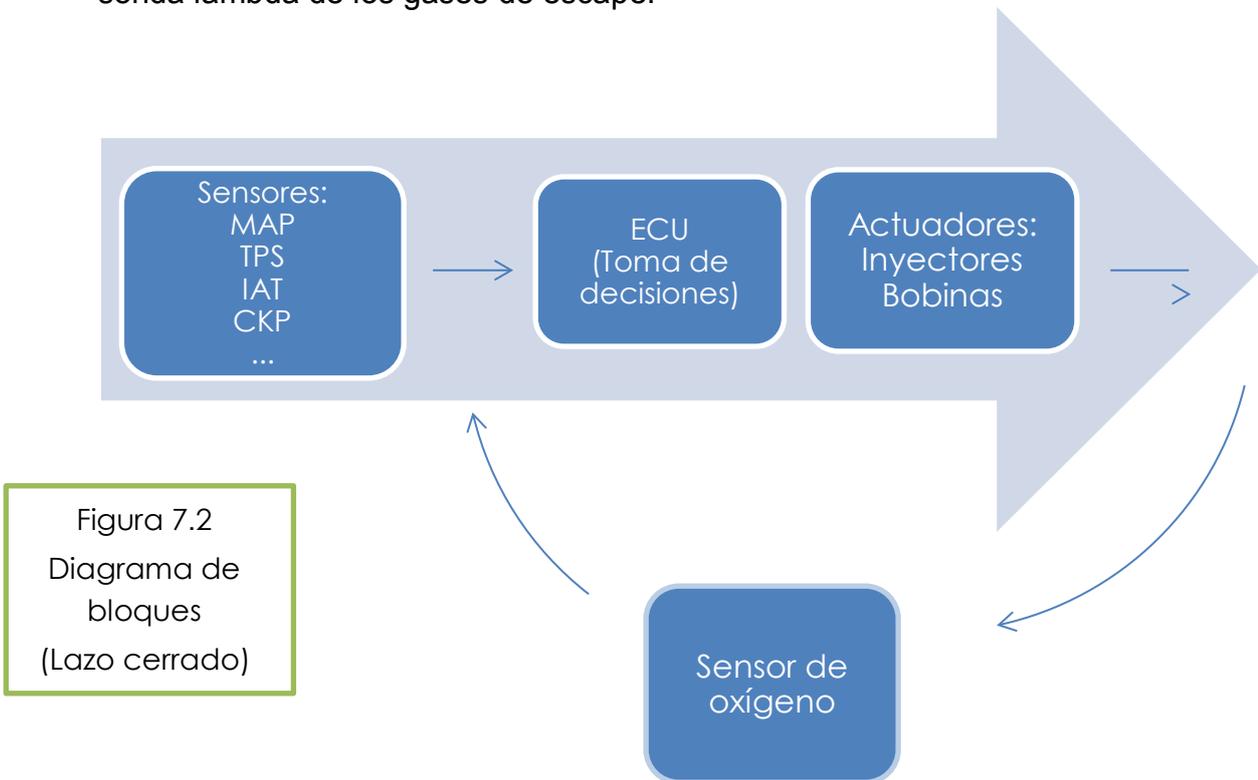
Un control de los sistemas de inyección y encendido programables por lazo abierto puede ser como el siguiente:



En este tipo de sistemas no realimentados, las salidas no afectan a la acción de control, por lo que la precisión del sistema depende de la calibración tanto de los sensores de entrada como de los actuadores.[14]

– **Control en lazo cerrado:**

Una de las ventajas de las centralitas programables es la posibilidad de añadir un lazo de realimentación, donde se toma una medida de la salida y permite obtener el error de actuación (diferencia entre la referencia y la señal de salida retroalimentada). Este tipo de medida de la salida suele ser la de la sonda lambda de los gases de escape.



Las ventajas de este tipo de control sobre el lazo abierto son:

- ❖ Mayor exactitud en el seguimiento de la referencia.
- ❖ Menor sensibilidad a perturbaciones.
- ❖ Menor sensibilidad a cambios en las características de los componentes.
- ❖ Mayor velocidad de respuesta.

- Mapeo de inyección y encendido

El proceso de cartografiado tanto de inyección como de encendido que se realiza a través de centralitas programables, independientemente del precio o marca de la centralita, se basa en la obtención de los valores de estos mapas a través de procesos de interpolación.[14]

En el proceso del análisis numérico, se conoce como proceso de interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del previo conocimiento de un conjunto de puntos dados. En ingeniería y otras ciencias es frecuente disponer de un cierto número de puntos obtenidos por muestreo o experimentos y pretender construir una función que los ajuste.

La interpolación es por tanto la metodología empleada para la construcción de los mapas de inyección y encendido realizados a partir de un conjunto de puntos contenidos en tablas. Por lo tanto, si una determinada señal no tiene exactamente un valor determinado su tabla correspondiente, la ECU realiza internamente una interpolación mediante algoritmos de interpolación para producir el valor exacto entre los puntos más próximos en la tabla.

- **Declaración de parámetros:**

Antes de comenzar con cualquier diseño de un mapa, es necesario declarar parámetros correspondientes al motor, encendido y otras características.[14] Como en cualquier programa, esta declaración de parámetros servirá a la centralita para la realización de cálculos.

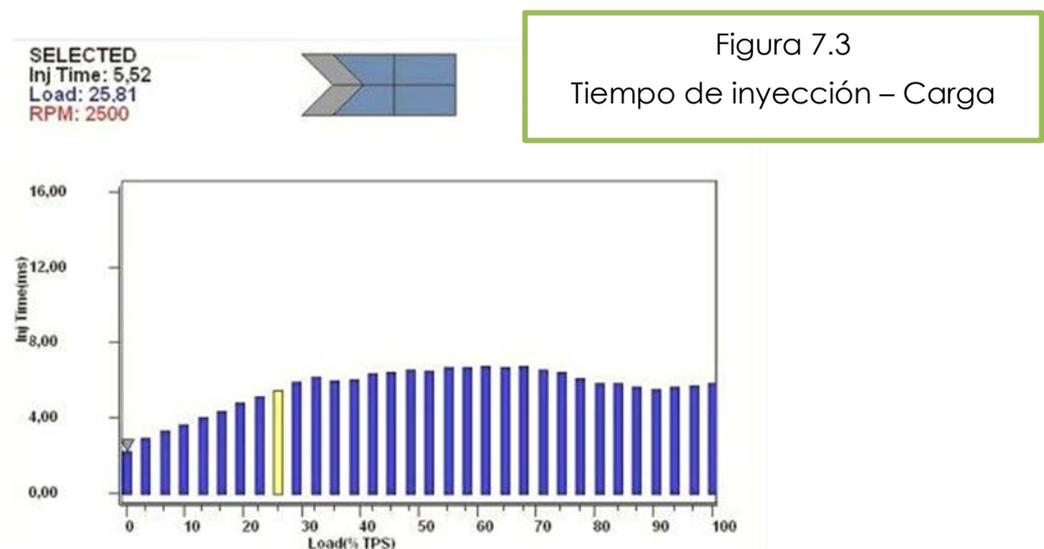
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">❖ Tipo de motor.<ul style="list-style-type: none">○ Alternativo○ Rotativo | <ul style="list-style-type: none">❖ Modo de aspiración.<ul style="list-style-type: none">○ Atmosférico○ Turbo |
|--|--|

- ❖ Número de cilindros.
- ❖ Tipo de encendido.
- ❖ Revoluciones mínimas.
- ❖ Control de la admisión.
 - MAP
 - TPS
- ❖ Revoluciones máximas.
- ❖ Tipo de inyección.

– **Ajuste del mapa de inyección:**

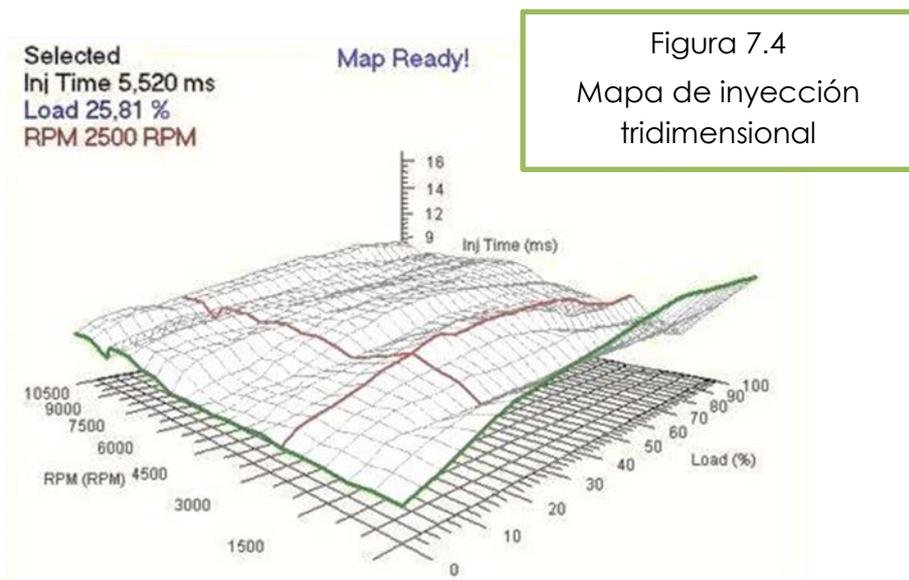
La cantidad de combustible inyectado es dosificada variando el pulso de inyección en cada ciclo de rotación. A cada vuelta de cigüeñal los inyectores se mantienen abiertos durante el denominado tiempo de inyección, previamente ajustado en la tabla en milisegundos.

Para regular la inyección del motor y establecer los valores de tiempo de la inyección para cada intervalo de carga del motor se parte de la señal del TPS o MAP. Con esto se forma la tabla que será utilizada como base para las correcciones oportunas y se determina el tiempo exacto de la inyección.



El mapa de inyección además incluye correcciones porcentuales para los diferentes regímenes de giro del motor. La ECU verifica el tiempo de inyección en el mapa principal y aplica la corrección para el régimen de vueltas en el que se encuentre. De esta forma se forman mapas tridimensionales, en función del régimen del motor, del tiempo de inyección y de la carga (TPS o MAP).^[14]

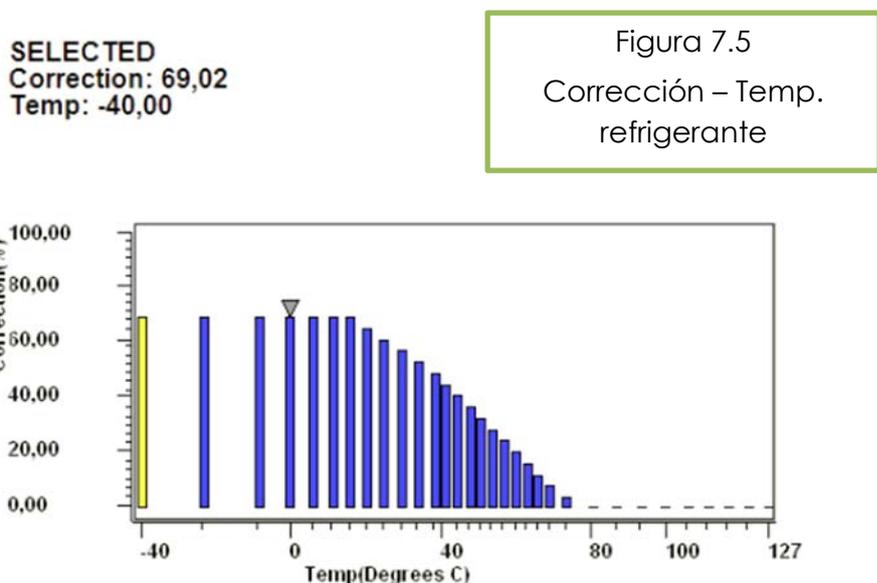
Gracias a la corrección porcentual no es necesario hacer una tabla para cada régimen de vueltas, lo cual requeriría mucha memoria EEPROM de la centralita programable.



En los regímenes más altos del motor se pierde eficiencia volumétrica, generando una menor necesidad de combustible respecto a regímenes más bajos. Si no se realizase corrección alguna, gran parte de la potencia sería desperdiciada por tener una mezcla excesivamente rica.[14]

Además de la corrección por rpm, también existen otras correcciones como las correcciones por temperaturas o por tensión de la batería.

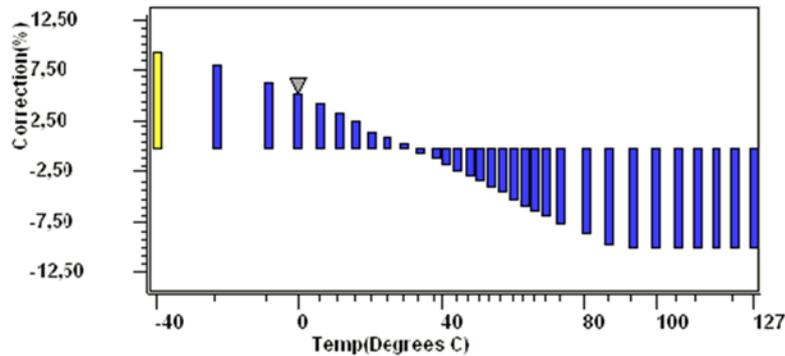
La corrección por temperatura del motor se realiza en base al sensor de temperatura del motor que proporciona la temperatura del líquido refrigerante. Este parámetro térmico ejerce gran influencia sobre la relación aire/combustible necesaria para la combustión. Es necesario enriquecer la mezcla en los arranques en frío hasta que el motor alcance su temperatura nominal de funcionamiento.



En cuanto a la corrección de la temperatura del aire de admisión (IAT) se realiza mediante la información obtenida por el sensor colocado en el colector de admisión del motor. Gracias a este sensor se puede optimizar la corrección de la mezcla, ya que adapta automáticamente la inyección a diferentes temperaturas de aire, causadas por variaciones climáticas o por características del motor. Puede ser de gran importancia en motores turbo.

SELECTED
 Correction: 9,46
 Temp: -40,00

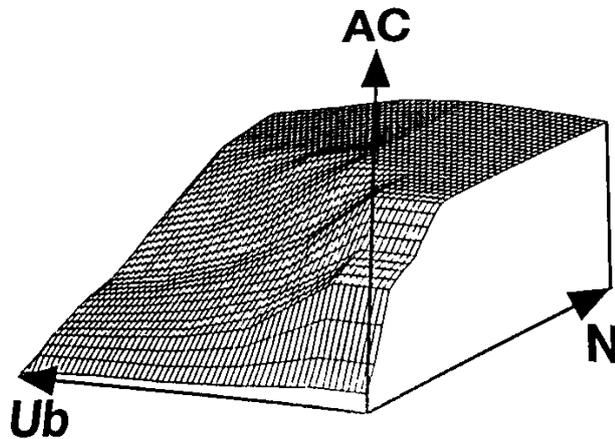
Figura 7.6
 Corrección – Temp.
 admisión



Otra de las correcciones es la comentada corrección por tensión de la batería. Es importante corregir la inyección con tensiones de baterías bajas ya que la disminución de alimentación de los inyectores tiene influencia sobre el tiempo de apertura de los mismos. Se trata de una corrección bastante suave, pero muy útil en casos de gran variación de tensión.

Figura 7.7
 Ejemplo del ángulo
dwell frente la
 tensión de la batería

AC: *Dwell Angle*
 N: Régimen del motor
 Ub: Tensión de la batería



Este efecto se ve incrementado cuando se trata de inyectores de gran caudal que trabajan con menor tiempo de inyección a bajas vueltas ya que son los que más afectados se ven por la reducción de la tensión.[14]

– **Ajuste del mapa de encendido:**

Al igual que en el mapa de inyección, también será necesario declarar los parámetros de encendido. Un parámetro importante a declarar es el ángulo de cierre (*Dwell angle*) que determina el tiempo de carga de la bobina. Su importancia reside en que cada módulo de potencia y bobina poseen un *dwell* específico y si se toma un valor incorrecto del mismo podemos disminuir la chispa o saturar la bobina y acabar dañando la misma.

Los valores se toman de una tabla de encendido que ha de ser rellenada con los valores deseados para cada rango de revoluciones.

Esta es la gran ventaja que ofrecen los sistemas de encendido programables, pues permiten hacer un mapeo con punto de encendido específico para cada revolución y carga del motor.

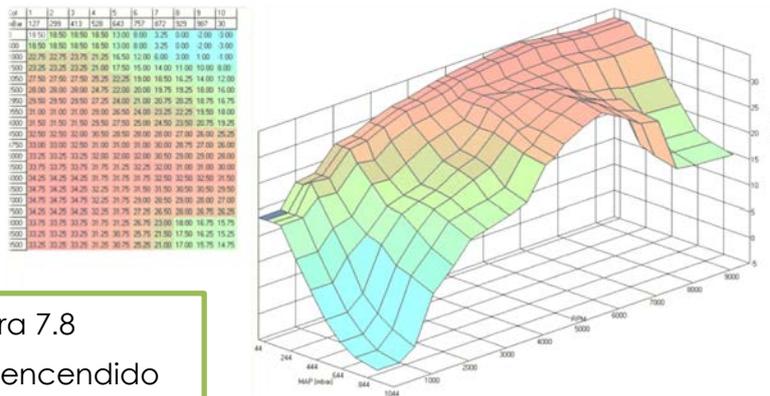


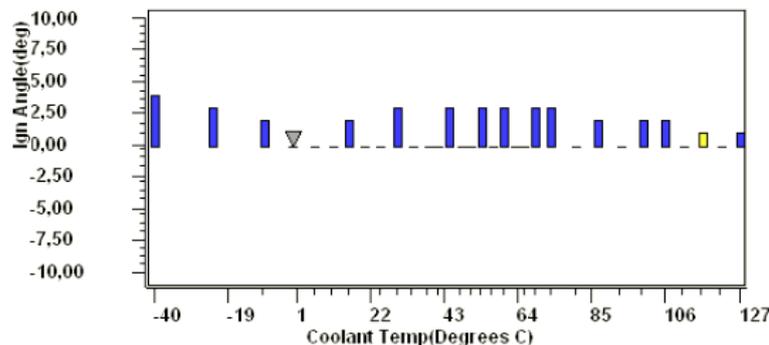
Figura 7.8
 Mapa de encendido

Al igual que el mapa de inyección, éste también posee correcciones por temperaturas de refrigerante y admisión.

La corrección por temperatura del motor ofrece mejoras significativas, por ejemplo se puede retrasar un poco el punto de encendido cuando el motor alcanza temperaturas elevadas.

SELECTED
 Ign Angle: 1,00
 Coolant Temp: 116,20

Figura 7.9
 Avance – Temp.
 refrigerante

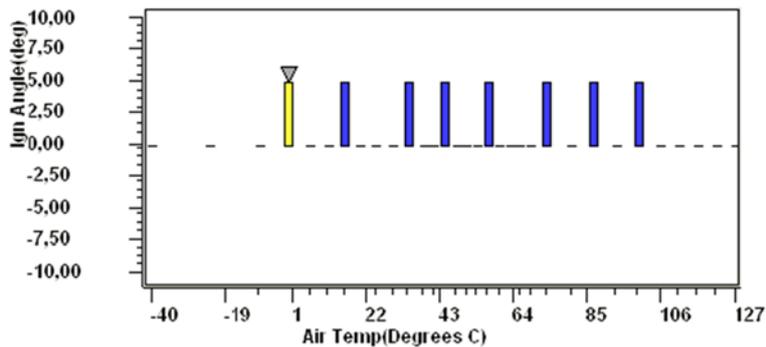


El tiempo de encendido se avanza para mejorar la conducción cuando la temperatura del refrigerante es baja. Además para evitar las detonaciones y el sobrecalentamiento, el tiempo de encendido se retrasa cuando la temperatura del refrigerante es extremadamente alta.[14]

Por otro lado, la corrección por temperatura de la admisión (IAT) permite un mayor avance cuando el aire que entra en la cámara de combustión es más frío (más denso), aunque con altas temperaturas se deberá retrasar el punto de encendido para evitar dañar el motor.

SELECTED
Ign Angle: 5,00
Air Temp: -0,58

Figura 7.10
Avance – Temp.
admisión



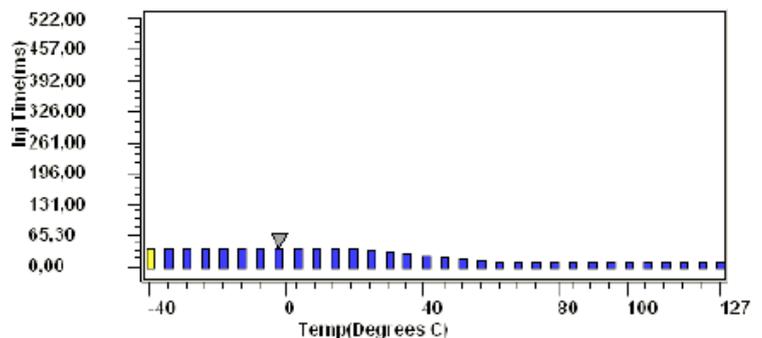
– Ajuste de arranque en frío:

Gracias a la función de arranque en frío se facilita el arranque y marcha del motor aun cuando éste no ha alcanzado su temperatura normal de funcionamiento. El volumen de combustible necesario en el arranque será mayor cuando el motor esté frío y se reducirá cuando vaya alcanzando su temperatura.

En esta fase de arranque, junto con los impulsos de inyección normales, se unen los impulsos suplementarios de arranque, con el resultado de aumentar notablemente los tiempos de apertura de los inyectores para garantizar el enriquecimiento necesario.

SELECTED
Inj Time: 40,94
Temp: -40,00

Figura 7.11
Tiempo de inyección –
Temp. motor



8. SOLUCIÓN ADOPTADA: RAPID BIKE EVO

Las unidades Rapid Bike son un sistema completo en sí mismo, que permite el uso de un único módulo, obteniendo los mismos beneficios que con otros sistemas con varios módulos. Para un ajuste de competición, no hará falta comprar una centralita programable y sustituirla por la original de la moto, bastará con comprar un cableado adecuado al motor y actualizar el SW interno de funcionamiento de la Rapid Bike.

Las centralitas Rapid Bike son unidades adicionales especialmente desarrolladas para motocicletas que permiten una rápida recalibración electrónica de la gestión del motor sin necesidad de intervenir en el mapeado existente dentro de la unidad original. La conexión a la electrónica de origen se realiza a través de conectores y cables originales.

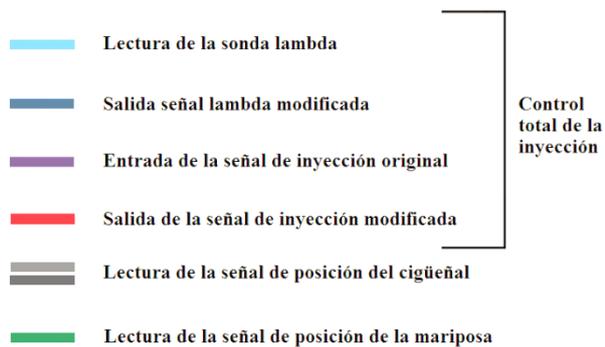
La Rapid Bike EVO ofrece posibilidades de control y regulación del sistema de inyección mediante una sola centralita, capaz de controlar simultáneamente los valores de inyección y la señal de la sonda lambda, manteniendo el nivel de las prestaciones a lo largo del tiempo.

Entre otras funciones destaca el cambio electrónico con posibilidad de modificar el tiempo de corte de acuerdo con el número de vueltas y posición de la marcha, aunque por motivos económicos se desestimarán. Permite también una autoadaptación de la inyección incluida en el accesorio de ampliación *My Tuning-Bike* que trabaja conectado a la línea CAN-BUS y usa una sonda lambda lineal para el auto-remapeado de la inyección en base a una relación de aire/gasolina (AFR) preestablecida.



Figura 8.1
Rapid Bike EVO & My Tuning-Bike

El módulo electrónico adicional o centralita adicional Rapid Bike EVO se instala entre la centralita de serie y los inyectores.



Esta disposición entre la centralita original y los inyectores permite un control total de la inyección mediante el ajuste del AFR en los inyectores, pudiendo ajustar el valor de éste en todo el régimen de vueltas.

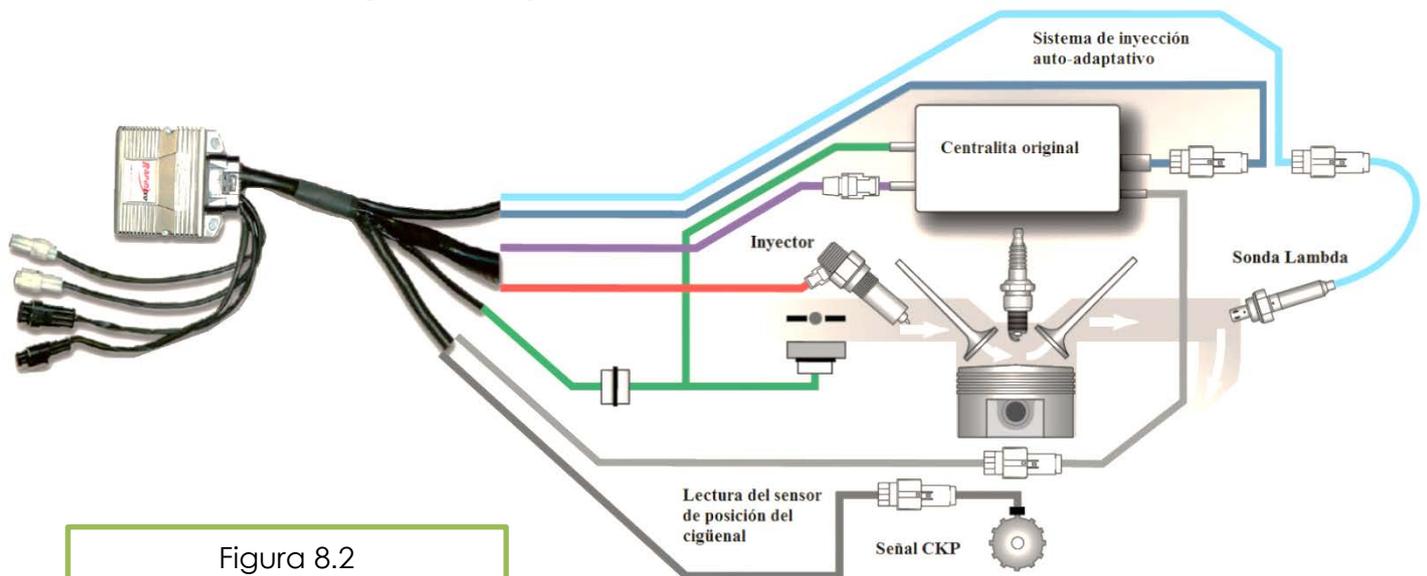


Figura 8.2
Esquema de conexionado

Por otro lado, el uso del accesorio *My Tuning-Bike* permite una corrección adicional al mapa de inyección mediante la utilización de una sonda lambda, y esta corrección se añade de manera automática al mapa de inyección. Como consecuencia, se obtiene una constante actualización de los valores de inyección auto-ajustándose en cada punto de trabajo. Las mejoras en este aspecto son más visibles a bajas y medias vueltas, donde las limitaciones del motor pueden ser más notables.

Rapid Bike EVO tiene la capacidad de almacenar más de un mapa de inyección, es decir, permite una gestión multimapa, no obstante se requiere de un selector de mapas no incluido con el módulo.

La siguiente opción a la EVO es la RACING, que además de la inyección permite la gestión del encendido. Sin embargo resulta también más cara, por lo que se ha decidido desestimarla.

9. CONCLUSIONES

La gestión electrónica del motor resulta una materia distante y difícil de comprender para la mayoría de usuarios. Es un campo relativamente nuevo y dada la actual implantación de la electrónica en la mayoría de sistemas de toda clase, ha sufrido unos avances tecnológicos considerables. Gracias a estos avances y las nuevas tecnologías, los sistemas de gestión electrónica se han impuesto en la sociedad, en detrimento de los sistemas mecánicos.

Este hecho ha beneficiado al continuo avance de la tecnología, ya que aporta mejoras respecto a los sistemas mecánicos, sin embargo también presenta una complejidad mayor de funcionamiento. Estas dificultades han llevado a hacer que la tecnología resulte menos transparente y menos accesible para el público en general.

Un ejemplo de ello es la sustitución de los motores de carburación por los de inyección electrónica. Una puesta a punto de la carburación no es tarea sencilla, y menos realizar una buena carburación para que el motor trabaje correctamente en todo el rango de revoluciones, no obstante, es una labor más accesible para los usuarios, es decir, basta con un destornillador y una llave fija para ir jugando con los chiclés y las agujas del carburador a fin de enriquecer ligeramente la mezcla.

Actualmente, es necesaria una comunicación con la centralita para poder variar cualquier parámetro de gestión del motor. Aunque existen protocolos estándar como el OBD, solo sirven para la toma de datos y diagnóstico de las centralitas. Si queremos leer y escribir sobre las mismas se requiere del SW original del producto (no disponible para los usuarios), de soluciones comerciales de precio elevado, o de gran conocimiento de las estructuras internas de las centralitas para poder aplicarle ingeniería inversa y actuar directamente sobre la centralita original.

Por otro lado, se puede sustituir la centralita de serie, por una programable de una marca comercial compatible con el motor que se desee potenciar. Existen soluciones variadas. Por un lado se encuentran las centralitas de alto rendimiento usadas en competición, que tienen un alto precio de mercado. No obstante, también existen marcas comerciales que comercializan centralitas de gestión electrónica del motor más sencillas, que no permiten una gestión completa del motor, si no que se limitan a modificar algunos de los parámetros. Las más simples únicamente permiten actuar sobre la inyección (700 ~ 1000€).

Finalmente existe la posibilidad de montar centralitas como las MegaSquirt, que se tratan de soluciones de bajo coste (300€ ~ 500€), diseñadas para funcionar con un amplio rango de motores. Son más accesibles para los usuarios, aunque como inconveniente, se necesita realizar una configuración completa de las mismas antes de poder empezar a cartografiar los mapas.

10. LÍNEAS FUTURAS

Como ya se mencionó al principio del TFG, el trabajo como tal, forma parte del proyecto MotoStudent. Esta competición se llevará a cabo en octubre del 2014, no obstante, para el 30 de septiembre de 2014, la moto debe estar finalizada y el proyecto entregado.



Figura 10.1
Ejemplo de construcción de una Moto3

El presente TFG incluye el trabajo de campo realizado para la búsqueda de una solución a la inyección electrónica del prototipo MS, además de la información técnica necesaria para la comprensión de la gestión electrónica de los motores.

La puesta en práctica de la solución adoptada (Rapid Bike EVO), junto con su cartografiado y puesta a punto del motor no se incluyen en el TFG por límites de fechas en la presentación del mismo. Estas soluciones vendrán contenidas en el proyecto MS, ya que mediante el módulo adicional de inyección se podrá realizar la gestión electrónica de la inyección y ajustarla en banco para optimizar así el rendimiento del motor, mejorando aquellos aspectos que la centralita original de serie no ofrece.

Al tratarse de una centralita de serie, los mapas de gestión que se incluyen suelen ser bastante conservadores en cuanto a prestaciones del motor, ya que se optimizan para unos consumos reducidos, emisiones y una durabilidad elevada. Sin embargo, un ajuste de competición, no presta tanta atención a estos factores y trata de apurar a su máximo la potencia disponible en el motor.

Figura 10.2
Ejemplo de una Moto3 de competición



Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

En este apartado deseo mostrar mi agradecimiento a aquellos que me han ayudado a llevar adelante el proyecto. Quiero agradecer a mi director del TFG, José Carlos Urroz por los consejos e indicaciones que me ha ido dando estos meses y agradecer también su interés por el proyecto.

Desde aquí también me gustaría agradecer a Pedro M. Diéguez su tutelaje a lo largo del grado y asimismo expresar mi agradecimiento por mostrarse siempre tan dispuesto a ayudar y a dar consejo. Agradecerle también la visita guiada al edificio de talleres para enseñarme el proyecto del *Volkswagen Polo* bi-fuel (hidrógeno-gasolina) llevado a cabo por la E.T.S.I.I.T. en la UPNA.

Agradecer también a mis padres y hermano por apoyarme. Por último dar las gracias a aquellos profesores que a lo largo del grado se han mostrado disponibles para atender mis dudas y por prestarme su ayuda cuando la he necesitado.

ESKERRAK

Atal honetan, proiektu honen garapenean, haien laguntza eskaini didaten pertsona guztiei eskerrak eman nahiko nizkieke. Nire gradu amaierako lanaren zuzendariari, José Carlos Urroz-i eskertu hilabete hauetan zehar eman dizkidan aholku eta argibideengatik, bai eta proiektuan erakutsi duen interesarengatik.

Hemendik ere, nire adeitasuna Pedro M. Diéguez-i adierazi nahiko nioke, graduan zehar tutore bezala egin dituen keinuengatik eta beti hain eskuragarri eta laguntzeko prest agertzeagatik. Tailerretako eraikineran egindako bisita gidatuarengatik ere eskerrak eman nahiko nizkioke NUP-en, Informatika, Telekomunikazio eta Industria Ingeniarien Goi Mailako Eskola Teknikoak garatu zuten Volkswagen Polo bi-fuel (hidrogenoa-gasolina) erakusteagatik.

Guraso eta anaiari ere eskerrak eman, erakutsitako babesagatik. Azkenik, graduan barrena eskuragarri eta izandako zalantzak argitzeko prest azaldu diren irakasle orori eskertu, bai eta behar izan dudanean haien laguntza eskaintzeagatik.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Referencias bibliográficas

- [1] MOTOSTUDENT (2013). Reglamento Técnico General. MEF, Alcañiz (Aragón).
- [2] MOTOSTUDENT (2014). Preguntas Frecuentes (FAQ). MEF, Alcañiz (Aragón).
- [3] SHERCO MOTORCYCLES (2012). Manual de taller SE 250i-R.
- [4] BOWLING, BRUCE A. & GRIPPO, ALBERT C. (2013). Principles of Tuning Programmable EFI Systems. MegaSquirt – MegaManual, (EE.UU.).
- [5] GIACOSA, D. (1986). Motori endotermici. Ulrico Hoepli, Milano (Italia).
- [6] AMÁN, ALEXANDRA A. & CASTELO, JUAN C. (2012). Construcción e implementación de un tablero didáctico de un sistema de inyección electrónica Motronic. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).
- [7] PÉREZ, A. (2007). Sistemas de control, inyección y encendido para motores térmicos y alternativos de ciclo Otto. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona (Cataluña).
- [8] BENOIT, L. (1996). Technologie des injections électroniques et performances moteur. E.T.A.I., París (Francia).
- [9] JIMENEZ, JORGE.E. (2012). Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP. Escuela Politécnica del Ejército, (Ecuador).
- [10] MAGNETI MARELLI IBÉRICA S.A. (2012). Sistema de inyección electrónica secuencial con encendido integrado IAW. Manual didáctico, Barcelona (Cataluña).
- [11] GRUPO FIAT (2007). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares – Componentes inyección-encendido. Escuela Profesional E.P. San Francisco, León (Castilla y León).
- [12] SHERCO MOTORCYCLES (2012). Spare part's book SE 250i-R.
- [13] HEISLER, H. (1998). Advanced Engine Technology. Arnold, Londres (Reino Unido).
- [14] BAUTISTA, WELLINGTON P. & MOROCHO, FREDY O. (2009). Implementación de un sistema de inyección y encendido programable. Universidad Politécnica Salesiana, (Ecuador).

- Referencias linkográficas

Página sobre hackeo de una centralita usando protocolo K-Line. Disponible en:

[15] <https://www.defcon.org/images/defcon-21/dc-21-presentations/Illera-Vidal/DEFCON-21-Illera-Vidal-Dude-WTF-in-My-Car-Updated.pdf>

Enciclopedia libre – Centralitas programables. Disponible en:

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/Engine_control_unit

Página de artículos del motor – Potenciación y bancos de potencia. Disponible en:

[17] <http://8000vueltas.com/2012/11/12/bancos-de-potencia>

[18] <http://8000vueltas.com/2013/03/19/chips-repros-y-centralitas-el-arte-oscuro-de-la-potenciacion>

Página de difusión de conocimientos en mecánica del automóvil. Disponible en:

[19] <http://www.aficionadosalamecanica.net/>

Página especializada en información de motor – Glosario. Disponible en:

[20] <http://www.km77.com/>

Concesionario *Scotty Dirt Bike Spares* – Magneti Marelli IAW15P. Disponible en:

[21] <https://www.scottysdirtbikespares.com/all-about-gas-gas-fuel-injection/fuel-injection-system-on-2005-2007-gas-gas-fs.html>

I.E.S. Barajas – Manuel Gallego Santos. Disponible en:

[22] <http://mgallegosantos.wordpress.com/>

Competition Systems. Sensores, actuadores y conectores. Disponible en:

[23] <http://www.mmcompsys.com/>

Página web oficial de la marca *Sherco Motorcycles*. Disponible en:

[24] <http://www.sherco-moto.com>

Página de la empresa *NGK*. Disponible en:

[25] <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/bobinas-de-encendido/estructura-de-una-bobina-de-encendido/>

Terminología: <http://www.mmc-chiptuning.com/dictionary>

- **Bibliografía complementaria**

MARTÍN, J. J. & PÉREZ, M. A. (2004). Tecnología de la electricidad del automóvil – Cap. 4. Componentes eléctricos y electrónicos básicos. Cie Dossat, Madrid (Comunidad de Madrid).

DENTON, T. (2004). Automobile electrical and electronic systems. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford (Reino Unido).

ALONSO, J. M. (2009). Técnicas del Automóvil. Equipo eléctrico – Cap. 5. Computadoras y redes multiplexadas. Paraninfo, Madrid (Comunidad de Madrid).

ARIAS-PAZ, M. (2003). Motocicletas – Cap. 2. El motor. Cie Dossat, Madrid (Comunidad de Madrid).

ARIAS-PAZ, M. (2005). Manual de automóviles – Cap. 7. La inyección de gasolina. Cie Dossat, Madrid (Comunidad de Madrid).

ARIAS-PAZ, M. (2005). Manual de automóviles – Cap. 13. Encendido. Cie Dossat, Madrid (Comunidad de Madrid).

BANISH, G. (2007). Engine management: Advanced Tuning. CarTech, Minnesota (EE.UU.).

HARTMAN, J. (2004). How to tune and modify engine management systems. Motorbooks Workshop, Minnesota (EE.UU.).

PAYRI, F. & DESANTES, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos – Cap. 2. Clasificación de los MCIA. Universitat Politècnica de València, Valencia (Comunidad Valenciana).

PAYRI, F. & DESANTES, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos – Cap. 3. Parámetros básicos. Universitat Politècnica de València, Valencia (Comunidad Valenciana).

PAYRI, F. & DESANTES, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos – Cap. 17. Encendido eléctrico. Universitat Politècnica de València, Valencia (Comunidad Valenciana).

PAYRI, F. & DESANTES, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos – Cap. 23. Control de motores. Universitat Politècnica de València, Valencia (Comunidad Valenciana).

Lista de figuras

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Fuente: Google Imágenes	11
Fig. 2.1 – Fuente: UPNa-Racing	12
Fig. 2.2 – Fuente: UPNa-Racing	12
Fig. 2.3 – Fuente: KTM - Factoría de Mattighofen (Austria)	13
Fig. 2.4 – Fuente: NSB Concept - Tienda online.....	14
Fig. 2.5 – Fuente: Motec	14
Fig. 2.6 – Fuente: Motos Six Days - Tienda/Taller de motos	14
Fig. 2.7 – Fuente: 8000 vueltas - Página de artículos del motor	15
Fig. 2.8 – Fuente: Google Imágenes	15
Fig. 2.9 – Fuente: Google Imágenes	15
Fig. 2.10 – Fuente: Google Imágenes	15
Fig. 2.11 – Fuente: TechnoResearch Inc.	16
Fig. 2.12 – Fuente: Dynojet.....	17
Fig. 2.13 – Fuente: Dimsport	17
Fig. 2.14 – Fuente: RexXer	17
Fig. 2.15 – Fuente: Ducati	19
Fig. 3.1 – Fuente: Google Imágenes	20
Fig. 3.2 – Fuente: Mercedes AMG	20
Fig. 3.3 – Fuente: Google Imágenes	20
Fig. 3.4 – Fuente: Google Imágenes	20
Fig. 3.5 – Fuente: Google Imágenes	21
Fig. 3.6 – Fuente: Google Imágenes	21
Fig. 3.7 – Fuente: Google Imágenes	21
Fig. 3.8 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	22
Fig. 3.9 – Fuente: Google Imágenes	23
Fig. 3.10 – Fuente: Google Imágenes	23
Fig. 3.11 – Fuente: Arpem - Catálogo Sherco SE 250i - Racing	24
Fig. 3.12 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	25

Fig. 4.1 – Fuente: Google Imágenes	26
Fig. 4.2 – Fuente: Apuntes Máquinas Térmicas (UPNA)	26
Fig. 4.3 – Fuente: MAGNETI MARELLI IBÉRICA S.A.	27
Fig. 4.4 – Fuente: Robert Bosch Corp.	30
Fig. 4.5 – Fuente: Google Imágenes	31
Fig. 4.6 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	32
Fig. 4.7 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	33
Fig. 4.8 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	34
Fig. 4.9 – Fuente: Google Imágenes	34
Fig. 4.10 – Fuente: 8000 vueltas - Página de artículos del motor	34
Fig. 4.11 – Fuente: MEF	35
Fig. 4.12 – Fuente: Google Imágenes	36
Fig. 4.13 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	36
Fig. 4.14 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	37
Fig. 4.15 – Fuente: Google Imágenes.....	38
Fig. 4.16 – Fuente: Google Imágenes.....	39
Fig. 4.17 – Fuente: Google Imágenes.....	40
Fig. 4.18 – Fuente: Aficionados a la mecánica (Página web)	41
Fig. 4.19 – Fuente: BENOIT, L. (1996). Technologie des injections électroniques et performances moteur	42
Fig. 4.20 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	43
Fig. 4.21 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	45
Fig. 4.22 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	46
Fig. 4.23 – Fuente: Google Imágenes.....	47
Fig. 5.1 – Fuente: Google Imágenes	48
Fig. 5.2 – Fuente: Yamaha.....	50
Fig. 5.3 – Fuente: SHERCO Spare part's book SE 250i-R	50
Fig. 5.4 – Fuente: Elaboración propia.....	52
Fig. 5.5 – Fuente: Google Imágenes.....	52
Fig. 5.6 – Fuente: Google Imágenes.....	52

Fig. 5.7 – Fuente: Google Imágenes.....	52
Fig. 5.8 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	53
Fig. 5.9 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	54
Fig. 5.10 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	54
Fig. 5.11 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	55
Fig. 5.12 – Fuente: Google Imágenes.....	56
Fig. 5.13 – Fuente: Elaboración propia.....	57
Fig. 5.14 – Fuente: Google Imágenes.....	58
Fig. 5.15 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	59
Fig. 5.16 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	60
Fig. 5.17 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	61
Fig. 5.18 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	63
Fig. 5.19 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	64
Fig. 5.20 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	64
Fig. 5.21 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	65
Fig. 5.22 – Fuente: Robert Bosch Corp.	65
Fig. 5.23 – Fuente: 8000 vueltas - Página de artículos del motor	66
Fig. 5.24 – Fuente: Google Imágenes.....	67
Fig. 5.25 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	67
Fig. 5.26 – Fuente: JIMENEZ, JORGE.E. (2012) Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP.....	69
Fig. 5.27 – Fuente: JIMENEZ, JORGE.E. (2012) Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP.....	71
Fig. 5.28 – Fuente: JIMENEZ, JORGE.E. (2012) Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP.....	71
Fig. 5.29 – Fuente: Google Imágenes.....	72
Fig. 5.30 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	74
Fig. 5.31 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	74
Fig. 5.32 – Fuente: Aficionados a la mecánica (Página web)	74

Fig. 5.33 – Fuente: Aficionados a la mecánica (Página web)	74
Fig. 5.34 – Fuente: Aficionados a la mecánica (Página web)	74
Fig. 6.1 – Fuente: Elaboración propia.....	75
Fig. 6.2 – Fuente: Elaboración propia.....	77
Fig. 6.3 – Fuente: Google Imágenes.....	78
Fig. 6.4 – Fuente: Immo-Tools	78
Fig. 6.5 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	80
Fig. 6.6 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	81
Fig. 6.7 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	81
Fig. 6.8 – Fuente: Elaboración propia	82
Fig. 6.9 – Fuente: Elaboración propia.....	83
Fig. 6.10 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress).....	83
Fig. 6.11 – Fuente: Pico Technology - Automotive Waveforms	84
Fig. 6.12 – Fuente: Elaboración propia.....	84
Fig. 6.13 – Fuente: Elaboración propia.....	84
Fig. 6.14 – Fuente: SHERCO Spare part's book SE 250i-R	85
Fig. 6.15 – Fuente: SHERCO Manual de taller SE 250i-R	85
Fig. 6.16 – Fuente: Pico Technology - Automotive Waveforms	86
Fig. 6.17 – Fuente: Google Imágenes.....	86
Fig. 6.18 – Fuente: Elaboración propia.....	87
Fig. 6.19 – Fuente: Google Imágenes.....	87
Fig. 6.20 – Fuente: Elaboración propia.....	88
Fig. 6.21 – Fuente: Elaboración propia.....	88
Fig. 6.22 – Fuente: Google Imágenes.....	89
Fig. 6.23 – Fuente: GIACOSA, D. (1986) Motori endotermici	89
Fig. 6.24 – Fuente: BERU Systems - Ignition coils	91
Fig. 6.25 – Fuente: BERU Systems - Ignition coils	91
Fig. 6.26 – Fuente: BERU Systems - Ignition coils	91

Fig. 6.27 – Fuente: BERU Systems - Ignition coils	91
Fig. 6.28 – Fuente: BERU Systems - Ignition coils	91
Fig. 6.29 – Fuente: Elaboración propia.....	91
Fig. 6.30 – Fuente: Arpem - Catálogo Sherco SE 250i Racing.....	91
Fig. 6.31 – Fuente: MOTO GUZZI Workshop Manual.....	92
Fig. 7.1 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	94
Fig. 7.2 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	94
Fig. 7.3 – Fuente: Weinlich GmbH	96
Fig. 7.4 – Fuente: Weinlich GmbH	96
Fig. 7.5 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	97
Fig. 7.6 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	98
Fig. 7.7 – Fuente: BENOIT, L. (1996) Technologie des injections électroniques et performances moteur	98
Fig. 7.8 – Fuente: Google Imágenes.....	99
Fig. 7.9 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	99
Fig. 7.10 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	100
Fig. 7.11 – Fuente: Universidad Politécnica Salesiana	100
Fig. 8.1 – Fuente: JAMPARTS.....	101
Fig. 8.2 – Fuente: Dimsport – Rapid Bike	102
Fig. 10.1 – Fuente: KTM	104
Fig. 10.2 – Fuente: KTM	104
Fig. C.1 – Fuente: Elaboración propia	127
Fig. C.2 – Fuente: Elaboración propia	127
Fig. C.3 – Fuente: Elaboración propia	128
Fig. C.4 – Fuente: Elaboración propia	128
Fig. C.5 – Fuente: Elaboración propia	128

Lista de tablas

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 – Fuente: MegaSquirt – MegaManual	19
Tabla 3.1 – Fuente: Apuntes Máquinas Térmicas (UPNA)	23
Tabla 3.2 – Fuente: Apuntes Máquinas Térmicas (UPNA)	24
Tabla 4.1 – Fuente: MegaSquirt – MegaManual	30
Tabla 5.1 – Fuente: Manuel Gallego Santos (Wordpress)	51
Tabla 5.2 – Fuente: JIMENEZ, JORGE.E. (2012) Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP	68
Tabla 5.3 – Fuente: JIMENEZ, JORGE.E. (2012) Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y COP	68
Tabla 6.1 – Fuente: Grupo BorgWamer BERU Systems GmbH.....	90

ANEXOS

ANEXO A.I.

Throttle Position Sensor

PF1C/00 TPS Rotary Potentiometer



Description

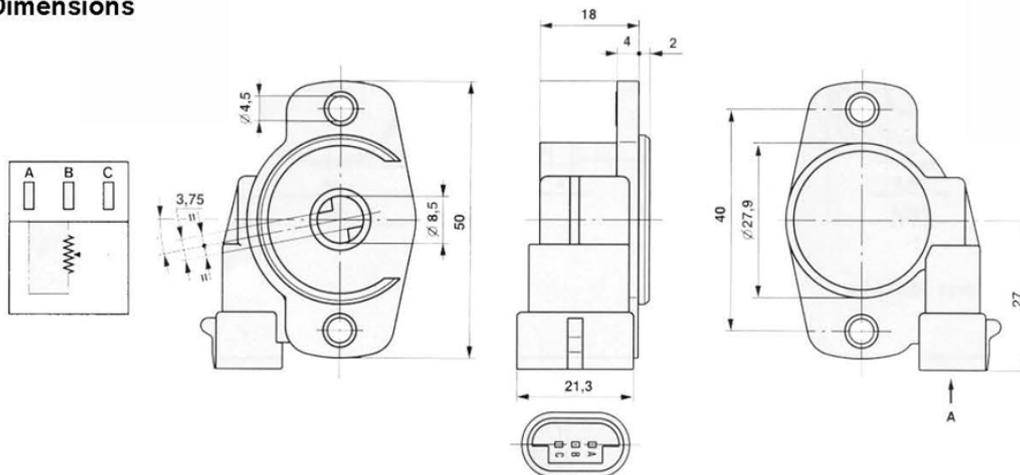
Automotive specification rotary potentiometer housed in a fibreglass reinforced PBT casing. Output drive direction is 'anti clockwise' when viewed from the mounting face of the sensor.

Typical applications are for throttle position measurement within a low cost or low volume serial production engine.

Drive method – D shaft.



Dimensions



Technical Data

Housing PBT
 Power supply 5 Vdc
 Connector Metripack 3 way
 Mechanical travel 122° +/- 8°
 Mounting holes spacing 40 mm
 Resistance 1.2 Kohm
 Usable electrical travel 105° +/- 3°

Accuracy +/- 3 %
 Temperature range -30 > +125 °c
 Vibration 20g
 In the range 60 > 1000Hz

Ordering information

Part No.	Description	Order Code
PF2C	Rotary throttle potentiometer	219244240500
CS14	3 way Packard connector kit	

Competition Systems Ltd Hyjuniper, Long Lane Shaw, Berkshire, RG14 2TA England	For further details please contact	Tel: +44 (0)8707 444666 Fax: +44 (0)8707 444888 www.competitionssystem.com mail@competitionssystem.com
--	------------------------------------	---

Specification subject to change without notice

ANEXO A.II.

Temperature – ATS Series

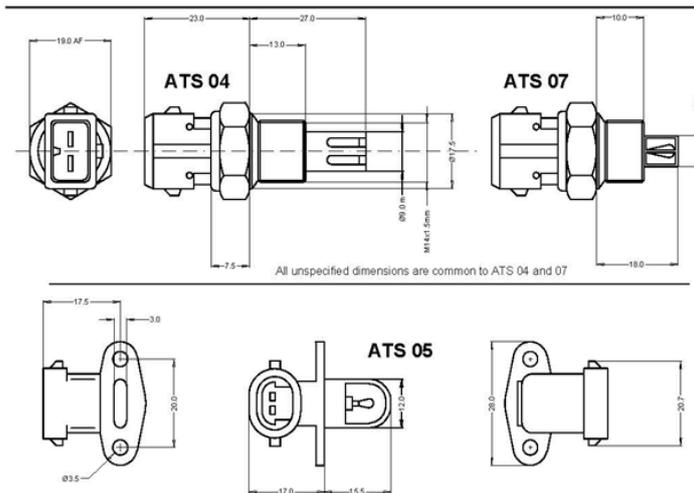
NTC Weber Air Temperature Sensor



Description

The ATS04 / 05 / 07 are analogue sensors with a temperature dependant resistor providing a variable resistance across the 2 contacts. Signal is negative temperature coefficient (NTC).

Active device is a thermistor fitted coated leads in a hermetically sealed brass / ABS housing.



Temperature °C	Resistance kΩ
-40	100.95
-30	53.1
-20	29.12
-10	16.6
0	9.75
10	5.97
20	3.75
25	3
30	2.42
40	1.6
50	1.08
60	0.75
70	0.53
80	0.38
90	0.28
100	0.2
110	0.15
125	0.1

Technical Data

Resistance @ 25 °C..... 3 kΩ
 Accuracy from nominal values..... 5% (W/°C)
 @ -40 > +125 °C
 Maximum operating voltage..... 5 V (series)
 Thread..... M14 x 1.5
 Seal..... 19mm Hex
 Weight..... 26 g
 Connector..... Mini – Timer 2 way
 Max tightening torque 07 / 04..... 24 Nm

Ordering information

Part No.	Connector	Description	Order Code
ATS04	2 way minitimer	Air temperature sensor – long	21510020900
ATS07	2 way minitimer	Air temperature sensor – short	215810400101
ATS05	2 way Packard	Air temperature sensor – loop type	219244250500
CS12	2 way Packard	Connector kit for ATS05	

For further details please contact

Competition Systems Ltd
 Hyjuniper, Long Lane
 Shaw, Berkshire,
 RG14 2TA
 England

Tel: +44 (0)8707 444666
 Fax: +44 (0)8707 444888
 www.competitionssystem.co.uk
 mail@competitionssystem.co.uk

Specification subject to change without notice

ANEXO A.III.

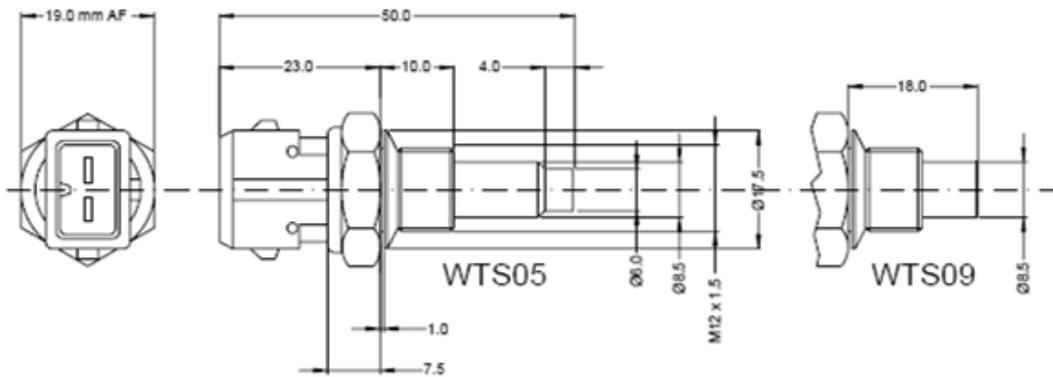
WTS05 / 09

NTC Weber Temperature Sensor



Description

The WTS05 / 09 are analogue sensors with a temperature dependant resistor providing a variable resistance across the 2 contacts. Signal is negative temperature coefficient (NTC). Active device is a thermistor fitted coated leads in a hermetically sealed brass housing.



Technical Data

Resistance @ 25 °C 3 kΩ
 Accuracy from nominal values 5% (W/°C)
 @ -40 > +125 °C
 Maximum operating voltage 5 V (series)
 Thread M12 x 1.5
 Seal 19mm Hex
 Weight 26 g
 Connector Mini – Timer 2 way
 Tightening torque 24 Nm max

Temperature	Resistance
°C	kΩ
-40	100.95
-30	53.10
-20	29.12
-10	16.60
0	9.75
10	5.97
20	3.75
25	3.00
30	2.42

Temperature	Resistance
°C	kΩ
40	1.60
50	1.08
60	0.75
70	0.53
80	0.38
90	0.28
100	0.20
110	0.15
125	0.10

Ordering information

Part No.	Connector	Description	Order Code
WTS09	2 way minitimer	Fluid temperature sensor - short	215810500200
WTS05	2 way minitimer	Fluid temperature sensor - extended	83800242000

For further details please contact

MM Competition Systems Ltd Unit 3, Old Station Business Park, Compton, Berkshire, RG20 6NE England	Tel: +44 (0)8707 444888 Fax: +44 (0)8707 444888 www.mmcompsys.com mail@mmcompsys.com
--	---

Specification subject to change without notice

ANEXO A.IV.

IWP048 Fuel injector

5 hole – Cone spray, fuel injector



Description

This IWP048 "Pico" top feed injector is a production component with a multi hole 'cone' spray pattern and a wide range of applications for engines typically up to 30bhp per cylinder (depending on injection pressure)

The characteristics of the injector are a fast pulse response, high precision, high dynamic range and optimum fuel atomisation. These are achieved by a high performance ON-OFF actuating electromagnet with opposing expansion poles that moves an internal injector valve on high-precision ground cylindrical slides, and a high precision nozzle.

The injector has a stainless steel body, a fuel-resistant plastic connector, martensitic stainless steel internal valve and an electromagnet with a low carbon content stainless steel armature.

The electrical connection to the control unit is via a Mini-Timer plastic plug.



Technical Data

Performance - Typical

Flow..... Fully open
 At 3 bar 215 cc/min – 2.45g/s
 Cone – Inclusive 85% 24 °
 Linearity range (at = 4 ms pulse) ± 4 %
 Max. fuel pressure 500 kPa
 Maximum duty cycle 90 %
 Operating temperature range -30...110 °C
 Vibration (peak) 30 g

Power supply 14 Vdc

Mechanical Characteristics

Height 47.2 mm
 Outside diameter (connector excluded) 15.3 mm
 Weight 35 g

Electrical Characteristics

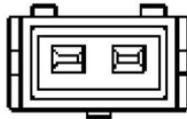
Connector Mini-Timer 2 way
 Power supply 8 + 16 Vdc
 Resistance 14.5 Ω
 Driver type ON-OFF

Test conditions

Fluid N-Heptane
 density (@ 20°C) 0.684 kg/litre
 Ambient and fluid temperature 23 °C

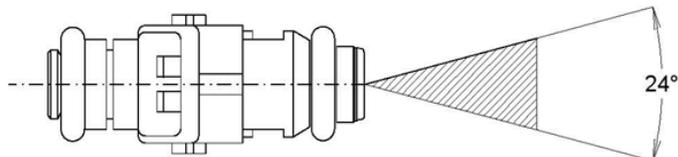
Electrical connections

PIN	Description
1	GND
2	+12 V



1 2

Spray Data



Ordering information

Part No.	Connector	Description
IWP048	2 way minitimer	5 hole cone spray fuel injector – Red band

For further details please contact

Competition Systems Ltd
 Hyjuniper, Long Lane
 Shaw, Berkshire,
 RG14 2TA
 England

Tel: +44 (0)8707 444666
 Fax: +44 (0)8707 444888
 mail@competitionsystems.co.uk
 www.competitionsystems.co.uk

Specification subject to change without notice

ANEXO B.I.

Pro #1 Performance Research and Development S.L

CIF: ES B 70085923

C/ Ronda de Outeiro 318 5D CP 15011, LA CORUÑA, SPAIN

Tlf: +34 696 361 163

e-mail: ramonrey@pro-1performance.com

PRESUPUESTO Nº 014-B355

CLIENTE: *Universidad Pública de Navarra* N/D FECHA: 14/03/2014
CONTACTO: *Idem*

Ref.	Concepto	Cantidad	Precio und.	Total
Pro 31100	Equipo Haltech SPRINT 500 Pro Cableado (sn terminales a sensores) Sensor MAP 1,5 bar integrado Relés Bosch Cable de PC USB con software	1	936,50 €	936,50 €
Pro T10114	Equipo Haltech E6X Con conector SIN cableado (es necesario cablear a los pines del conector de la centralita) Sensor MAP 1,5 bar integrado Relés Bosch Cable de PC RS232 serie con software	1	475,50 €	475,50 €
Pro 37250	Sensor temp. aire Haltech con conector y pines	1	33,15 €	33,15 €
Pro 37299	Sensor temp. agua Haltech con conector y pines	1	33,15 €	33,15 €
Pro 37300	Sensor pos. de mariposa conector y pines	1	- €	- €
Pro 38200	Bobina encendido con módulo integrado Haltech	1	133,18 €	133,18 €
TOTAL OPCION S500 (IVA INCL)				1.374,54 €
TOTAL OPCION E6X usada (IVA INCL)				776,61 €

OBSERVACIONES:

Los precios anteriormente descritos están sujetos a impuesto de IVA donde aplique.

La validez de la oferta descrita es de 30 días desde la fecha de emisión de la misma.

El listado de componentes/servicios expuesto no es excluyente y, una vez definida la ingeniería de detalle puede variar el alcance

En caso de que sea preciso incluir trabajos o elementos adicionales durante el montaje o puesta a punto se le comunicará debidamente al cliente con los cargos correspondientes.

(*) El cliente proveerá fusibles, caja de fusibles y porta relés así como soporte para los sensores suministrados

No dude en realizar cualquier consulta. Le atenderemos con mucho gusto.

Gracias por su confianza en Pro-1 Performance

Ramón Rey

www.pro-1performance.com

ANEXO B.II.



DTA Race Electronics
Unit 10, Boston Court
Kansas Ave
Manchester
M50 2GN
England

Tel: (+44) (0)161 877 1419
Fax: (+44) (0)161 877 7086
Email: office@dtafast.co.uk
Website: www.dtafast.co.uk

Universidad Pública de Navarra

14/4/2014

Pro-Forma Invoice

Quantity	Product	Price UKP(£)	Discount	Total UKP(£)
1	S40PRO	£495.00	25	£371.25
1	Serial Cable	£45.00	20	£36.00
1	USB Adapter	£20.00	20	£16.00
1	S40I Slice Kit	£49.00	20	£39.20
1	Spliced Red Wire 22G	£12.00	20	£9.60
1	Carriage	£40.00	0	£40.00

Total **624,24 €**
VAT 21% **131,09 €**
Total **755,33 €**

All Payments in UKP(£) to bank below, or by Credit Card

Bank:- Santander UK PLC
21 Prescott Street
London
E1 8BR
United Kingdom

Account Name:- DTA in Bradford Ltd
Account No.:- 41956104
Sort Code:- 09-06-66
Swift:- ABBYGB2L
IBAN:- GB71 ABBY 0906 6641 9561 04
BIC:- ABBYGB2LANB



Fundación Moto Engineering Foundation
C.I.F. G44223477
 Parque Tecnológico del Motor de Aragón
 Apartado de correos 196, 44600 Alcañiz (Teruel)
 e-mail: info@fundacionmef.org
 www.fundacionmef.org

Nº Factura: 011-14

Fecha: 24/02/2014

Cliente:

Univ. Pública de Navarra
 Campus de Arrosadia, s/n
 31006 Pamplona
 Q-3150012-G

Cantidad	Concepto	Precio/unidad	Total
1,00	Componentes adicionales al motor proporcionado en el kit MotoStudent 2013-2014: ECU	220,42	220,42 €



G-44.223.477
PARQUE TECNOLÓGICO DEL MOTOR DE ARAGÓN
 Apdo. Correos 196 - 44600 ALCAÑIZ

Total base imponible

220,42 €

Forma de pago: Transferencia bancaria al nº de c/c:

ES26 3080 0008 11 2105439422

Fecha de vencimiento: 28/02/2014

21% I.V.A.

46,29 €

Total factura

266,71 €

ANEXO C: ESQUEMA ELÉCTRICO SHERCO 250I - RACING

Como anexo al proyecto se incluye un esquema eléctrico de la instalación eléctrica de la moto. En un principio se pensó que podría ser viable implementar un cableado basándose en la instalación original. Aunque realizar el cableado pueda parecer tarea sencilla, (más aun si se dispone de un esquema de conexionado de todos los pines) en la práctica se complica cuando se empieza a necesitar de elementos que no son tan corrientes. Los conectores son más complicados de conseguir de lo que en un principio parece, ya que se necesitan conectores específicos para las diferentes conexiones. Generalmente suelen venderse en grandes cantidades y es difícil encontrar un suministrador que venda unos pocos conectores a precio razonable.

La instalación eléctrica suministrada por la Organización se ofrecía por unos 320€. Ésta, además del mazo de cables, incluía:

- Instalación eléctrica de inyección.
- Cableado motor Racing.
- Botón de corte de encendido.
- Regulador.
- Relé de arranque.
- Sensor temperatura del aire de admisión (IAT).
- Bobina de encendido.

Para llevar a cabo el prototipo MotoStudent, se decidió no comprar dicha instalación. Por el contrario, se optó por adquirir una instalación defectuosa de segunda mano en el taller *Six Days Motos* de Villava-Atarrabia. La reparación necesaria únicamente afectaba a los cables usados para el diagnóstico de la ECU; una reparación sencilla que no afecta de manera directa a la gestión electrónica del motor como tal. El precio del cableado fue de 50€, a falta de comprar el resto de componentes ya incluidos en la instalación ofrecida por la Organización. La compra de este material adicional supuso unos 230€ aproximadamente. Se muestran a continuación algunos de los componentes:



Figura C.1
Regulador



Figura C.2
Bobina



Figura C.3
Relé bomba de combustible

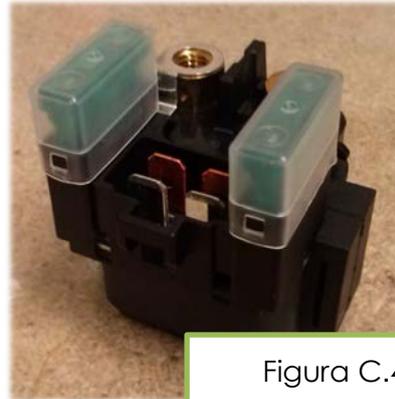
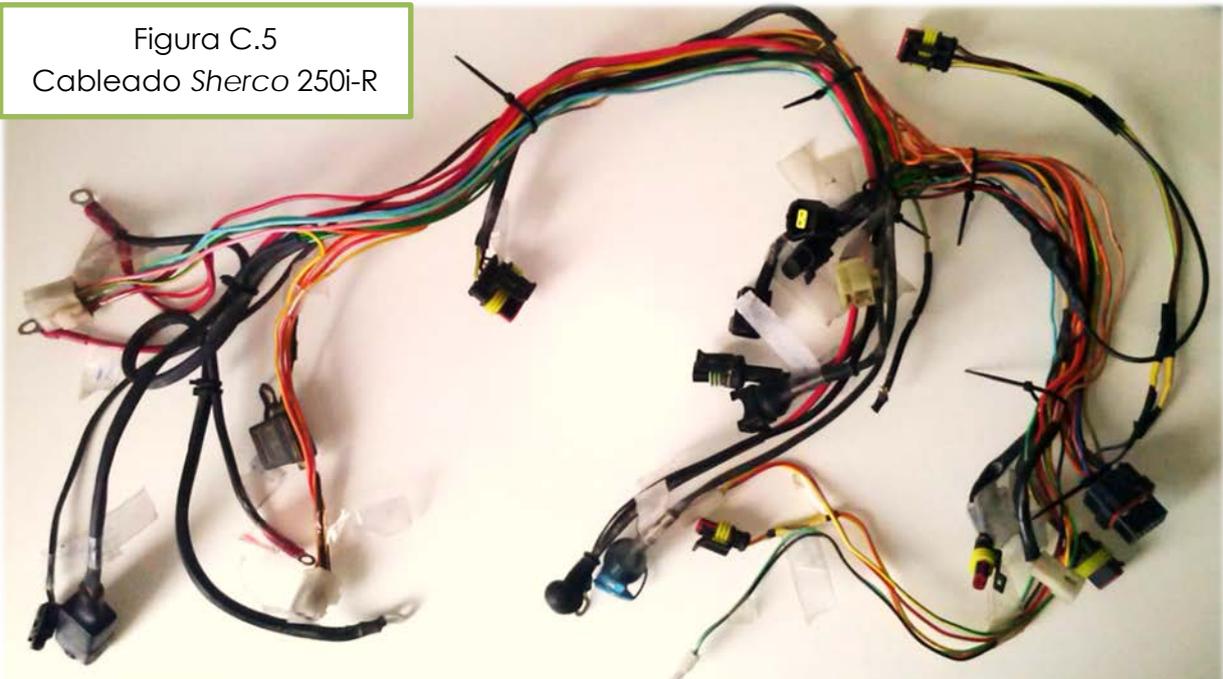


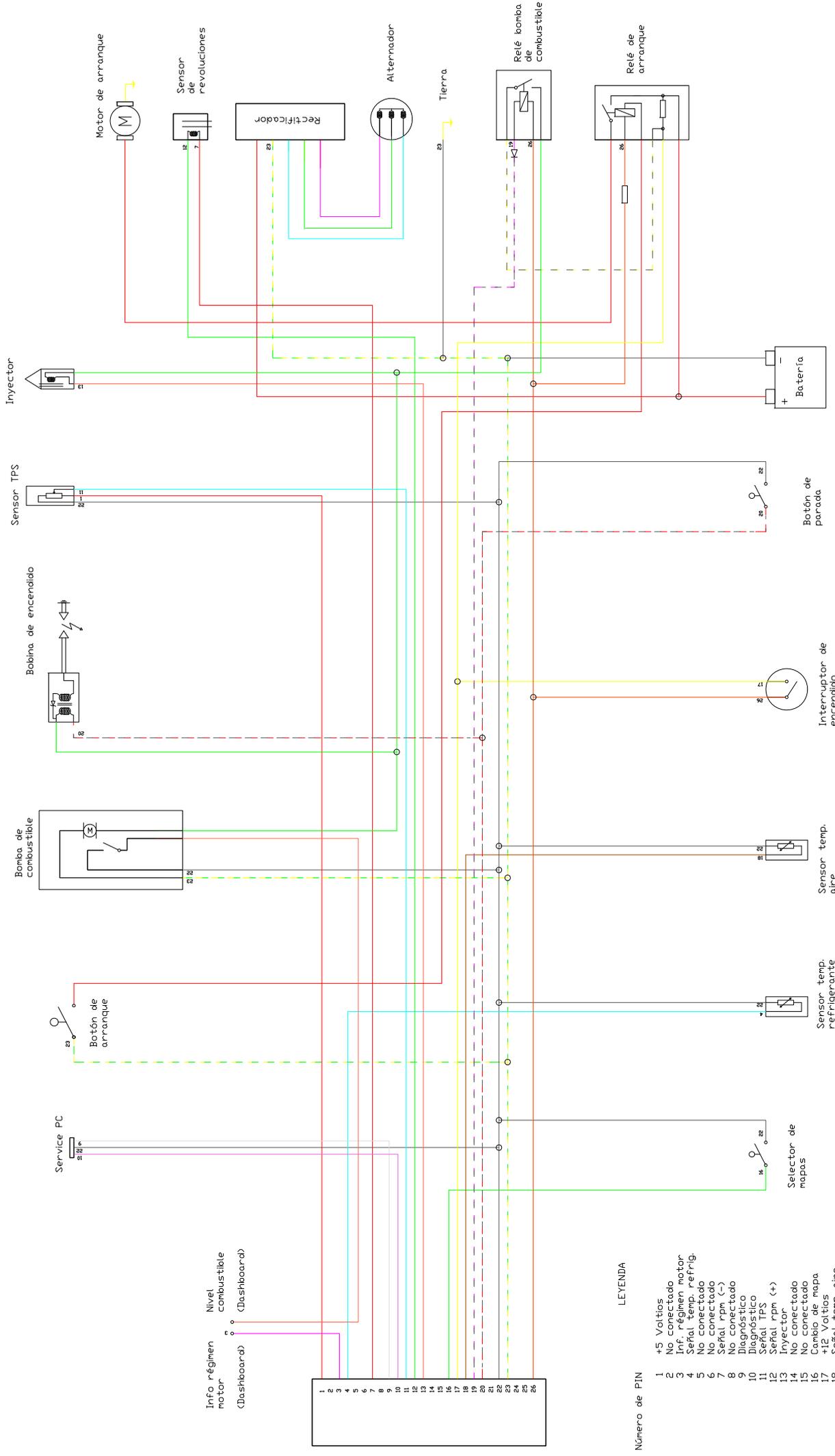
Figura C.4
Relé de arranque

El ahorro obtenido apenas alcanza los 50€ de diferencia, no obstante, realizar la reparación del cableado ha permitido entender el funcionamiento del mismo. Se ha analizado su unión con los diferentes sensores que envían su información a la unidad de control electrónico y estudiado el funcionamiento de la propia instalación.

A continuación se muestra la disposición del cableado adquirido aun sin montar sobre el prototipo. Para una correcta identificación se añadieron los nombres de cada sensor y conexión al cableado mediante cinta adhesiva para posteriormente localizarlos más fácilmente en su montaje sobre el prototipo MotoStudent. La página final del proyecto se dedica al esquema de la instalación realizado.

Figura C.5
Cableado Sherco 250i-R





LEYENDA

- 1 +5 Voltios
- 2 No conectado
- 3 Inf. régimen motor
- 4 Señal temp. refrig
- 5 No conectado
- 6 Señal rpm (-)
- 7 No conectado
- 8 Señal rpm (+)
- 9 Diagnóstico
- 10 Diagnóstico
- 11 Señal TPS
- 12 Señal rpm (+)
- 13 Inyector
- 14 No conectado
- 15 No conectado
- 16 Cambio de mapa
- 17 +5 Voltios
- 18 Señal temp. aire
- 19 Mando relé bomba
- 20 Mando relé bobina
- 21 No conectado
- 22 Masa sensores
- 23 Masa potencia
- 24 No conectado
- 25 No conectado
- 26 Positivo (+)

 <p style="text-align: center;">Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	<p>E.T.S.I.I.T.</p> <p>GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</p>	<p>DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</p>
<p>PROYECTO: ESTUDIO Y MODIFICACIÓN DE LA GESTIÓN ELECTRÓNICA DEL MOTOR E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO MOTOSTUDENT</p>		<p>REALIZADO: LOPEZ VIDARTE, JOSEBA</p>
<p>PLANO: ANEXO C: ESQUEMA ELÉCTRICO SHERCO 2500 - RACING</p>		<p>FIRMA: </p> <p>FECHA: 25/06/14</p> <p>ESCALA: NA</p> <p>Nº PLANO: 1</p>