



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

TRABAJO FIN DE GRADO

**Calibración de una unidad de control
de un motor de motocicleta de 125 c.c.
y su efecto en las emisiones.**

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

Autor: Miguel Ángel Montiel Barceló
Director: José Hernández Grau
Codirector: Daniel Albaladejo



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Índice

Introducción y objetivos.....	2
Metodología.....	2
CAPÍTULO 1. ACTUACIONES PREVIAS	4
1.1. Descripción de la celda de ensayos y definición de la bancada del motor.	4
1.1.1. Celda de ensayos.	4
1.1.2. Freno dinamométrico.	7
1.1.3. Armario de potencia.	9
1.1.4. Sistema de medición de condiciones ambientales de la celda.	11
1.1.5. Definición de la bancada del motor.	11
1.2. Recopilación de las especificaciones del motor, manual de taller, esquema de cableado y componentes electrónicos.	17
1.2.1 Descripción del motor	17
1.2.2. Manual de taller	21
1.2.3. Esquema de cableado	26
1.3. Formación relativa a medida de los parámetros de prestaciones, consumo y emisiones, y programa de pruebas de motores en banco motor.....	29
1.3.1. Funcionamiento del motor de combustión interna alternativo de 4 tiempos.	29
1.3.2. Parámetros relativos a nuestros ensayos	33
1.3.3. Estequiometría de la reacción de combustión.....	34
1.4. Especificación y documentación de todos los sensores necesarios para la toma de datos.	39
1.4.1. Sensores de medida de la temperatura.	39
1.4.2. Sensores de medida de la presión.	42
1.4.3. Par.	45
1.4.4. Velocidad.....	47
1.4.5. Flujo másico.....	49
1.4.6. Concentración o cantidad de un gas en una mezcla de gases.	53
1.4.7. Concentración de oxígeno	54
1.4.8. Pulso de inyección.	56
1.4.9. Pulso de la bujía.	59
1.5. Instalación de todos los sensores sobre el motor para la adquisición de parámetros. ...	61



1.5.1. Colector de admisión.....	61
1.5.2. Tubo de escape.....	63
1.5.3. Cigüeñal.....	64
1.5.4. Bancada del motor.	65
1.6. Puesta en marcha, conexión y calibración de la instrumentación de medida.....	67
1.6.1 Equipos auxiliares.....	67
1.6.2. Conexión y calibración de todos los sensores.	71
CAPÍTULO 2: CONFIGURACIÓN DE LA CENTRALITA PROGRAMABLE.....	83
2.1. Funcionamiento de las centralitas.	83
2.2. Creación de mapas.	85
2.3. Instalación de la ECU programable sobre nuestro motor.	91
2.4. Cargar mapas en la centralita.	92
CAPÍTULO 3: ENSAYOS	95
3.1. Primer ensayo: Centralita original a máxima potencia.	95
3.2. Segundo Ensayo. Mapa base de la centralita programable a máxima potencia.	97
3.3. Variación de parámetros con la centralita programable.....	102
3.4. Tercer ensayo. Mapa de Máxima potencia con la centralita programable.	103
3.5. Cuarto ensayo. Mapa de mínimas emisiones con la centralita programable.....	109
3.6. Consumos.....	111
3.7. Medidas realizadas con el osciloscopio.	114
CAPITULO 4. CONCLUSIONES.....	116
4.1. Consumos.....	116
4.2. Prestaciones.	116
4.3. Emisiones específicas.	117
Bibliografía.....	121

Introducción y objetivos.

El presente trabajo de fin de grado es el resultado de un proyecto de investigación y desarrollo llevado a cabo entre la empresa privada Italkit S.L. y el departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Italkit S.L. es una empresa totalmente ligada al mundo de los motores de combustión interna alternativos ya que se dedica al diseño, fabricación y suministro de componentes y recambios para cualquier motor de motociclismo del mercado actual.

Podemos decir además, que debido a su dilatada experiencia en este campo de la ingeniería ha llegado a convertirse en un referente nacional en el desarrollo de componentes de alto rendimiento para motores de competición, participando incluso como patrocinadores oficiales en el Campeonato de España de Motociclismo.

Por todo ello la empresa siempre está a la vanguardia de la innovación y desarrollo para ofrecerles a sus clientes las más altas calidades y garantías en todos sus productos.

Pero se prevé un cambio de paradigma a medio plazo en el mundo de los motores de combustión interna debido a las nuevas medidas anticontaminación que luchan contra la emisión de gases de efecto invernadero. Así que en este contexto actual, Italkit se ha embarcado decididamente en la investigación de procedimientos y desarrollos que minimicen las citadas emisiones y así poder garantizar que sus productos sigan siendo competitivos a la par que respetuosos con el Medio Ambiente.

Metodología

Para alcanzar estas metas se han sugerido varias líneas de trabajo y actualmente se está investigando sobre la que se describe a continuación, que es el objeto del presente trabajo de fin de grado.

El objetivo consiste en la consecución de controlar y disminuir en la medida de lo posible la generación de emisiones en un motor monocilíndrico de combustión interna alternativo de 125 centímetros cúbicos adquiriendo una centralita programable que nos permitirá variar parámetros que afectan al ciclo termodinámico, con el fin de determinar si es posible alcanzar un correcto compromiso entre prestaciones, consumos y emisiones.

Pero... ¿Qué es una centralita?

Una centralita o E.C.U. (Engine Control Unit) es básicamente un sistema electrónico de control que gobierna todos los aspectos relativos al funcionamiento de los motores de combustión interna.

Dicho sistema de control está sensorizado de tal forma que recibe de forma continua señales que le informan del estado de funcionamiento real en que se encuentra el motor en cada momento. Y tras procesar dichas señales genera otras señales de salida que intervienen en los parámetros del motor consiguiendo mediante este tipo de sistemas optimizar el rendimiento.

Por lo que cabe pensar que teniendo acceso al interior de las centralitas seríamos capaces de intervenir esas señales y parámetros con el fin de adquirir cierto control sobre el funcionamiento del motor.

Y por suerte para nosotros, en el mercado actual se comercializan centralitas que permiten al usuario reconfigurar dentro de unos ciertos límites todos los parámetros mencionados. Por ello para acometer los objetivos del proyecto hemos adquirido una centralita de este tipo.

Tras esta decisión el siguiente paso consiste en conseguir un motor de pequeña cilindrada para poder probar y estudiar las múltiples posibilidades que nos brinda este tipo de dispositivos. Y además, contamos con las instalaciones de la universidad destinadas a los ensayos de motores.

Finalmente, para poder alcanzar los objetivos de forma exitosa hemos creado un excepcional equipo de trabajo compuesto por cuatro miembros.

En primer lugar, mencionaré al director y líder del proyecto: El profesor José Hernández Grau, cuya dilatada experiencia, enorme dedicación y sobre todo, por su gran amor a este trabajo han posibilitado el desarrollo y consecución del mismo.

Y en segundo lugar, siguiendo fielmente sus directrices e indicaciones nos encontramos tres estudiantes de Ingeniería. Javi, Rubén y un Servidor.

CAPÍTULO 1. ACTUACIONES PREVIAS

Durante este capítulo se recogerán todos los pasos previos que se han tenido que ejecutar con el fin de tener todos los equipos e instalaciones en condiciones óptimas para realizar los ensayos de forma exitosa.

1.1. Descripción de la celda de ensayos y definición de la bancada del motor.

1.1.1. Celda de ensayos.

La Universidad cuenta con un edificio llamado CEDIT enteramente destinado a la investigación en diferentes campos de la ingeniería dotado con sofisticados equipos y todo el instrumental necesario para tal fin ubicado en el Centro Tecnológico de Fuente Álamo.



Ilustración 1.1.1.1. Edificio CEDIT

Y dentro de este edificio el departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos dispone de un espacio reservado exclusivamente a ensayos de motores térmicos, de modo que este lugar es el idóneo para llevar a cabo nuestros trabajos a pie de campo.

Y aquí es donde comenzamos nuestra andadura, ya que las primeras sesiones consistieron en la visita a este edificio donde tuvimos nuestra primera toma de contacto con todos los equipos e instalaciones donde se hayan los bancos necesarios para poder ensayar nuestro motor en un entorno controlado y obtener resultados con totales garantías.

Concretamente, durante el desarrollo de esta primera fase nos familiarizamos con todos los aspectos relativos a la celda de ensayos y todos los equipos auxiliares sin los cuales no habiéramos podido desarrollar el presente proyecto.

En la siguiente imagen podemos apreciar la planta de la instalación donde se encuentra nuestra celda:

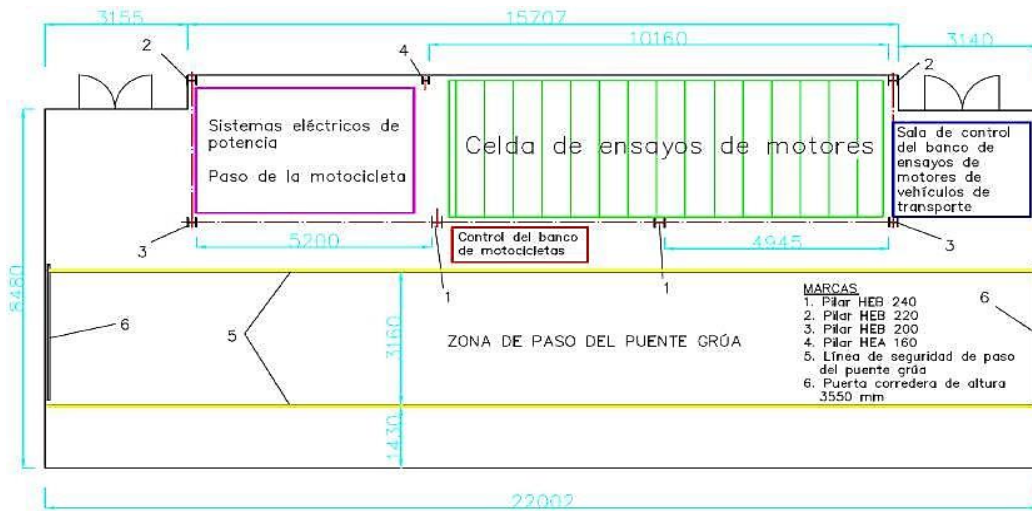


Ilustración 1.1.1.2. Planta de las instalaciones donde se haya la celda de ensayos.

El espacio cuenta con dos entradas para el paso de personal y la introducción de pequeños equipos y un enorme pasillo que siempre ha de estar despejado pues es el canal por donde se desplaza el puente grúa.

En la siguiente imagen se detallan la planta y el perfil de la celda de ensayos y la disposición de los dos bancos de pruebas que se hayan en su interior.

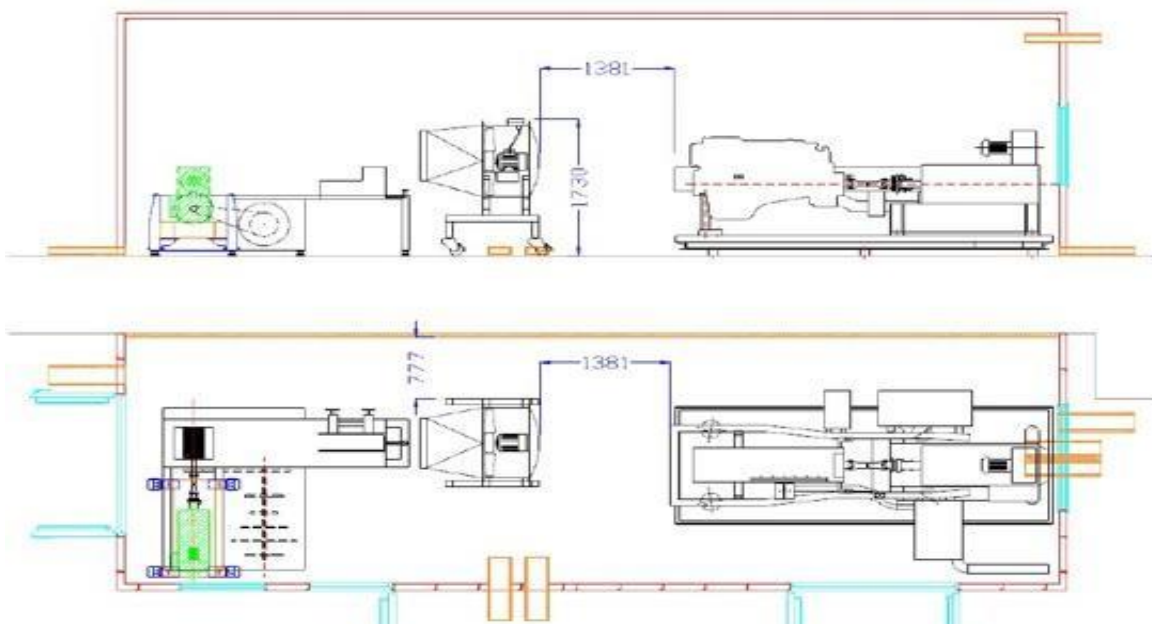


Ilustración 1.1.1.3. Planta y perfil de la celda de ensayos

Actualmente están instalados nuestro motor de motocicleta y un motor de gran cilindrada de un camión procedente de otro proyecto de investigación de modo que este último permanecerá inactivo durante nuestros trabajos.

Otro aspecto muy importante de la celda es el dimensionado de la instalación extractora y de ventilación de aire debido al peligro que conlleva la generación de monóxido de carbono por parte de los motores cuando se realizan los ensayos.

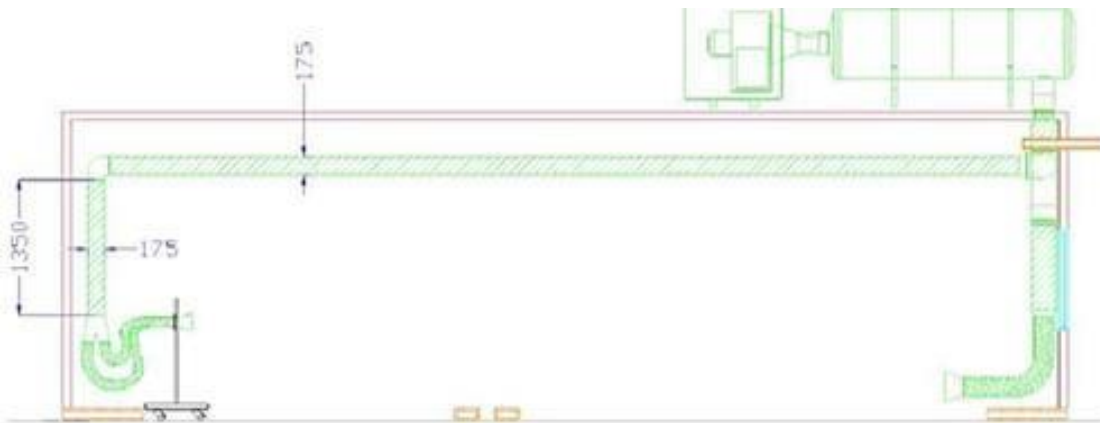


Ilustración 1.1.1.4. Detalle del sistema de ventilación y extracción de gases.

Y como vemos, hay dos tomas que se han de conectar directamente a los sistemas de escape de los motores y ellas se encargarán de absorber todos los gases de la combustión para mandarlos directamente a la atmósfera. Nosotros solo utilizaremos la toma de la izquierda de la imagen ya que es la más cercana a nuestro motor.

Como medida de seguridad siempre se ha hecho especial hincapié en la activación de este sistema antes de iniciar cualquier ensayo ya que de lo contrario se corre un gran riesgo de sufrir ciertos percances con graves consecuencias.

Cabe mencionar también que dentro de la celda de ensayos disponemos tanto de bancos inerciales o de rodillos como de bancos dinamométricos para probar las prestaciones de diferentes motores. Pero para el desarrollo de nuestro proyecto se optó por emplear finalmente uno de los dos frenos dinamométricos disponibles.

1.1.2. Freno dinamométrico.

El freno dinamométrico empleado para ensayar nuestro pequeño motor se muestra en la siguiente imagen.

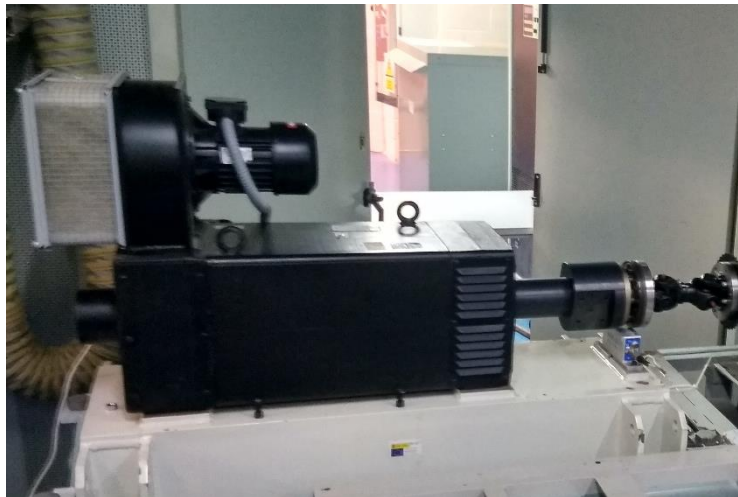


Ilustración 1.1.1.5. Freno dinamométrico empleado en los ensayos.

La decisión de emplear este freno en concreto se tomó en base a la potencia de nuestro motor y a la gran versatilidad que nos brinda este tipo de dispositivos puesto que nos permite realizar todas las modalidades de ensayos posibles. Desde los ensayos transitorios donde se ponen a prueba aspectos tales como la aceleración del motor hasta los ensayos estacionarios en un punto de funcionamiento concreto.

El modo de operación del freno es muy sencillo, mediante transmisiones de cadena conectamos el eje del freno al eje del cigüeñal de nuestro motor que es por donde sale toda la potencia de nuestro sistema.



Y para entender cómo funciona el freno hay que tener bien claro que su función es la de mantener inalterada la velocidad angular de su eje (la cual ha de ser previamente consignada por nosotros) independientemente de la potencia o par que esté generando el motor al que está conectado. En otras palabras, el freno va reajustando el par de su propio eje para mantener la velocidad consignada independientemente del punto de funcionamiento del motor ensayado.

De esta forma podemos recrear dentro de nuestra celda todas las condiciones de funcionamiento real del motor en pista.

Otra función indispensable que realiza el freno es la disipación de toda la potencia mecánica

Ilustración 1.1.1.6. Sistema de transmisiones mecánicas para acoplar ambos sistemas.

generada por el motor.

Si omitimos ciertas pérdidas de energía mecánica debido a los rozamientos de las partes móviles podemos decir que toda la potencia que sale del cigüeñal de la moto acaba dentro del freno. Y la pregunta más pertinente sería: ¿Dónde acaba toda esa enorme cantidad de energía? Pues bien, el freno tiene la capacidad de transformar dicha energía mecánica en energía eléctrica la cual es enviada directamente al armario de potencia. Él tras recibir toda esa energía se encarga de manipularla y hacerla apta para su volcado a la red eléctrica convencional, consiguiendo extraer toda esa energía de nuestros sistemas.

Y antes de pasar a la descripción del armario de potencia adjunto una tabla con las principales características del freno dinamométrico:

Marca y modelo	Maquina eléctrica ABB 160 152 kW – 400 V TVC160L.5
Tensión	400 V
Potencia nominal	152 kW
Par nominal	500 N·m
Corriente nominal	300 A
Rendimiento S1	97,5 %
Velocidad nominal	2.900 rpm
Frecuencia nominal	97,5 Hz
Momento de inercia	0,40 kgm ²
Cos φ	0,824
Protección	IP 23
Velocidad máxima a potencia	4.650 rpm
Velocidad máxima mecánica	6.000 rpm
Servicio	S1
Sobrecarga de par	2,5
Encoder	HTL 1024 incorporado
Refrigeración	Ventilación forzada RadialUP
Protecciones térmicas	Devanados: 3 PTC en serie
Temperatura operativa	5-40 °C
Peso	310 kg

Tabla 1.1.1.1. Especificaciones técnicas del freno dinamométrico

1.1.3. Armario de potencia.

El armario de potencia es un equipo esencial puesto que cumple dentro de la celda de ensayos con dos cometidos imprescindibles. Por un lado, controla todos los aspectos del funcionamiento del freno dinamométrico y por otro lado, como ya se ha comentado, se encarga de recibir y procesar toda la potencia que absorbe el freno proveniente del motor ensayado para posteriormente volcarla en unas condiciones aceptables a la red eléctrica convencional. Con esto se entiende que el armario está equipado con diversos circuitos electrónicos de potencia (convertidores y rectificadores) para procesar una señal eléctrica variable y transformarla a una señal con un determinado número de armónicos que la hacen apta y compatible electromagnéticamente con el resto de equipos.

En la siguiente ilustración se aprecian la celda y el armario de potencia, así como nuestra mesa de trabajo desde donde operamos y controlamos todos los aspectos relativos a los ensayos.



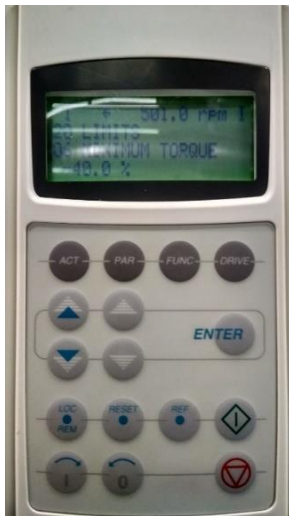
Ilustración 1.1.2.1. Disposición de la celda y el armario de potencia.

A su vez, para controlar el armario uno de los compañeros del proyecto se encargó de realizar mediante el software Labview un programa e interfaz que se ajustara perfectamente a nuestras necesidades para poder realizar todos los ensayos previstos de forma satisfactoria.



Ilustración 1.1.2.2. Captura de la interfaz del software de control de banco.

Con ese programa se inician las comunicaciones con el armario para su control y se realizan los procesos rutinarios para rearmarlo y así poder realizar los ensayos. Y una vez completadas estas acciones consignamos la velocidad de giro del freno y se van monitorizando en tiempo real la evolución de estas magnitudes.



Cabe mencionar que cuando se reinicia el armario hemos de configurar los límites de operación del par y de la velocidad desde el siguiente panel que se encuentra instalado sobre el propio armario.

Ilustración 1.1.2.3 Panel de configuración del armario de potencia.

Y por último, debido a las altísimas velocidades y pares que alcanzan algunas partes móviles dentro de la celda en pleno ensayo describiré brevemente el sistema de seguridad del armario ya que conviene conocer su ubicación y activación en caso de emergencia.

Si por cualquier incidencia hemos de desactivar el freno dinamométrico se aconseja consignar directamente la velocidad con el valor "0" desde el ordenador, pero si la desactivación es más urgente acudirémos directamente a la pulsación de la seta de emergencia que se haya en la puerta central del armario.

De esta forma se corta la energía enviada al freno y su velocidad va decayendo hasta desaparecer. Finalmente, y una vez solucionada la incidencia se procederá al rearme para seguir con los ensayos.

Como digo, este sistema de seguridad hay que tenerlo presente y saber activarlo ya que debido a los elementos con los que trabajamos no estamos exentos de sufrir incidencias o imprevistos los cuales hemos de saber subsanar con la mayor urgencia posible y así evitar males mayores.



Ilustración 1.1.2.4. Seta de emergencia y botonería de rearme del armario de potencia.

1.1.4. Sistema de medición de condiciones ambientales de la celda.

Dentro de la celda de ensayos las condiciones ambientales del aire cobran una enorme relevancia ya que de ellas dependen estrechamente los resultados obtenidos de las pruebas. Por ello disponemos de una pequeña estación meteorológica que da cuenta de magnitudes tales como la temperatura, la presión y la cantidad de vapor de agua contenido en el aire. Con dichos parámetros, además corregiremos algunos de los resultados del motor a la hora de realizar ciertos cálculos sobre consumo y gastos másicos de aire que van a ser de gran utilidad para la implementación del modelo de simulación de inyección.



Ilustración 1.1.3.1. Display de la estación meteorológica de la celda.

1.1.5. Definición de la bancada del motor.

La empresa ha proporcionado el motor y para poder instalarlo y acoplarlo al freno dinamométrico ha sido necesario diseñar una bancada exclusivamente para él. El montaje de la misma se realizó a partir de las especificaciones dimensionales del motor en el taller mecánico de la Universidad situado en el sótano del edificio de I+D+I de Antigones.



Ilustración 1.1.4.1. Edificio I+D+I

Allí tuve el primer contacto con el proyecto y mi primera labor fue la medición de todas las piezas y elementos de la bancada al ritmo en que se iba construyendo y montando. Con lápiz y papel fui plasmando todas las piezas de acero para posteriormente recrear la estructura definitiva de forma detallada en el programa informático de dibujo y diseño SolidWorks.

A continuación, se muestran algunas fotografías de los despieces y su representación gráfica mediante las cuales se conforma finalmente la bancada completa.



Ilustración 1.1.4.2. Detalle del montaje de la bancada.

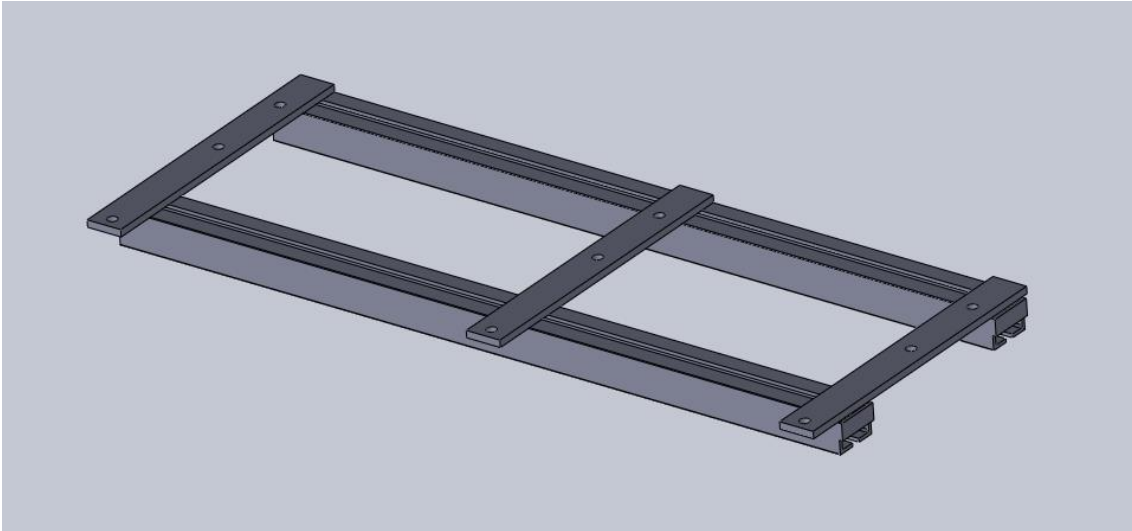


Ilustración 1.1.4.3. Representación gráfica de la ilustración 1.1.4.2.

La siguiente imagen muestra la base de la bancada completa. Esta parte hace de unión entre la estructura fija instalada en la celda y nuestro motor.

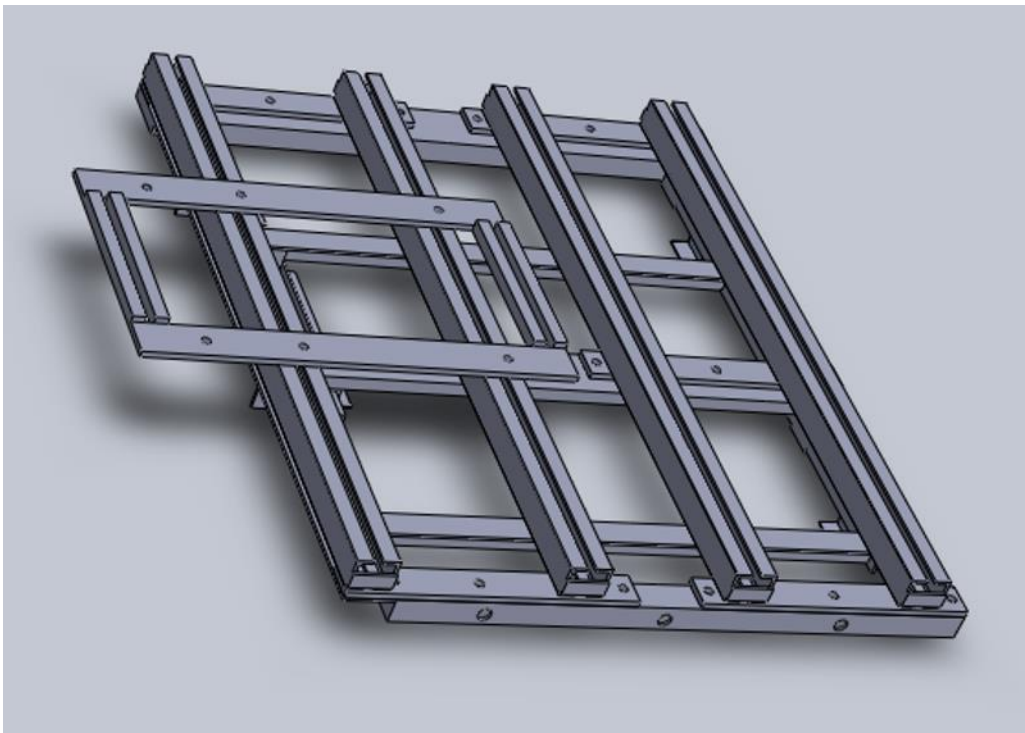
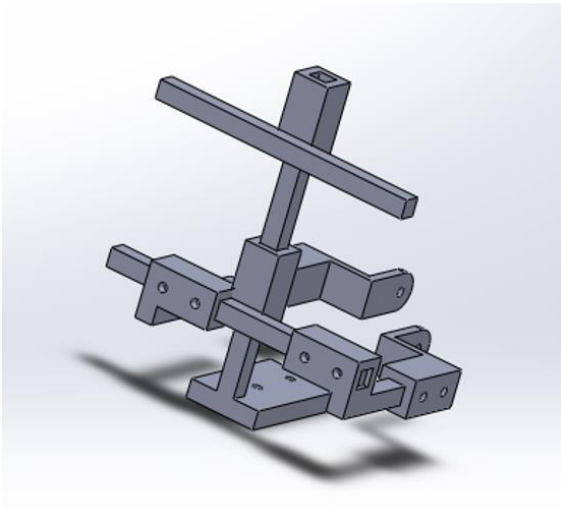


Ilustración 1.1.4.4. Representación gráfica de la base de la bancada.



*Ilustración 1.1.4.5.
Representación gráfica
del soporte trasero del*



*Ilustración 1.1.4.6. Imagen
real del soporte trasero del
motor.*

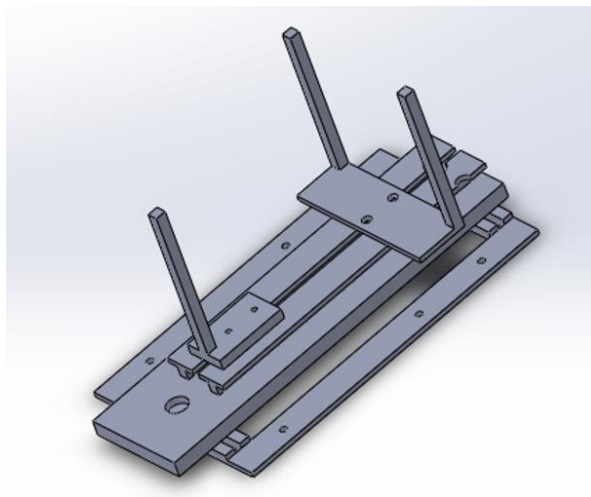


Ilustración 1.1.4.7. Soporte completo del motor.



Ilustración 1.1.4.8. Vista frontal del motor instalado en su bancada.

Finalmente, y uniendo todas las piezas y elementos llegamos a la representación de la bancada completa. A partir de ella se monta y fija el motor y las transmisiones de cadena con las que conseguimos acoplar todo el sistema al freno dinamométrico.

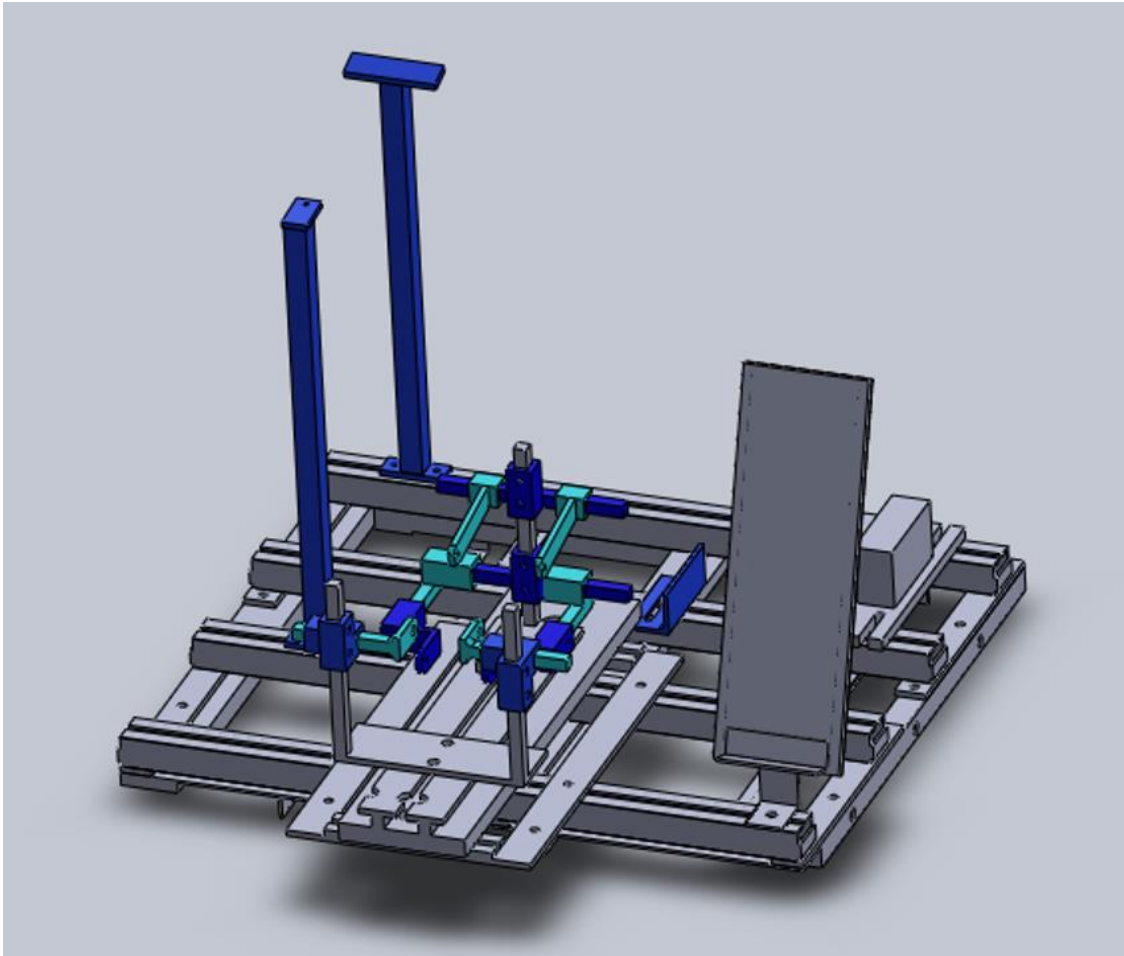


Ilustración 1.1.4.10. Representación gráfica de la bancada completa.

La importancia de este punto es crucial ya que nos basamos en esa representación para determinar la ubicación de los elementos auxiliares necesarios para los ensayos, así como futuras modificaciones que se puedan llevar a cabo.

1.2. Recopilación de las especificaciones del motor, manual de taller, esquema de cableado y componentes electrónicos.

Este es un breve tema sobre los aspectos técnicos más relevantes acerca de nuestro motor, conviene que tengamos unos ciertos conocimientos y así estar prevenidos ante cualquier incidencia en su funcionamiento. Por ello se recogen a continuación algunos datos y las características más importantes.

1.2.1 Descripción del motor

El motor que hemos utilizado para nuestros ensayos proviene de una motocicleta YAMAHA YZF de 125 c.c. del año 2008.



Ilustración 1.2.1.1. Motocicleta cuyo motor es el objeto de nuestros ensayos.

El modelo de motocicleta tuvo bastante éxito de ventas y por ello no cuesta mucho verlas actualmente circular a pesar del año en que se comercializaron. Así que por su disponibilidad y por sus características se eligió este motor para el desarrollo de nuestro proyecto.

Las características principales del motor aparecen reflejadas en el siguiente cuadro:

Tipo de motor	4 tiempos
N.º Cilindros	1
Cilindrada	124,7 cm ³
Diámetro pistón x carrera	52,0 x 59,6
Relación de compresión	11,20:1

Tabla 1.2.1.1. Características principales del motor.

En el siguiente plano se detallan las partes más importantes de sus elementos constitutivos.

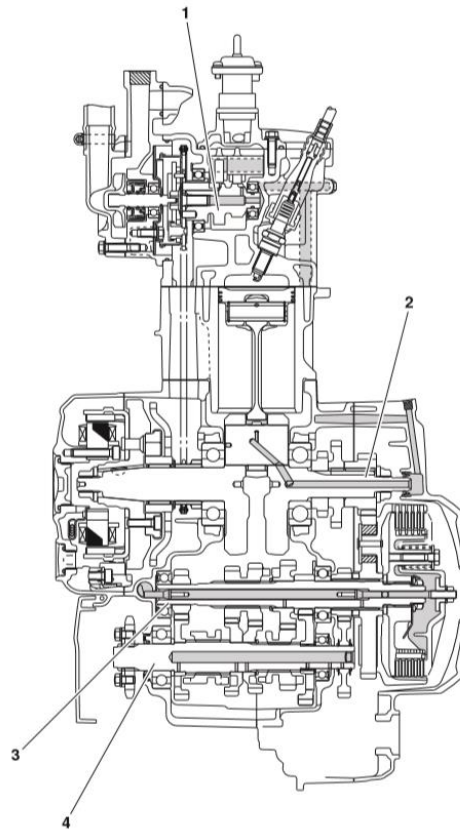


Ilustración 1.2.1.2. Corte de nuestro motor

Como prestaciones más importantes presento en las siguientes tablas el par desarrollado a las diferentes velocidades tanto en cigüeñal como en rueda para las diferentes marchas de la caja de cambios. Dichas prestaciones las garantiza el fabricante para el motor en plenas condiciones de funcionamiento:

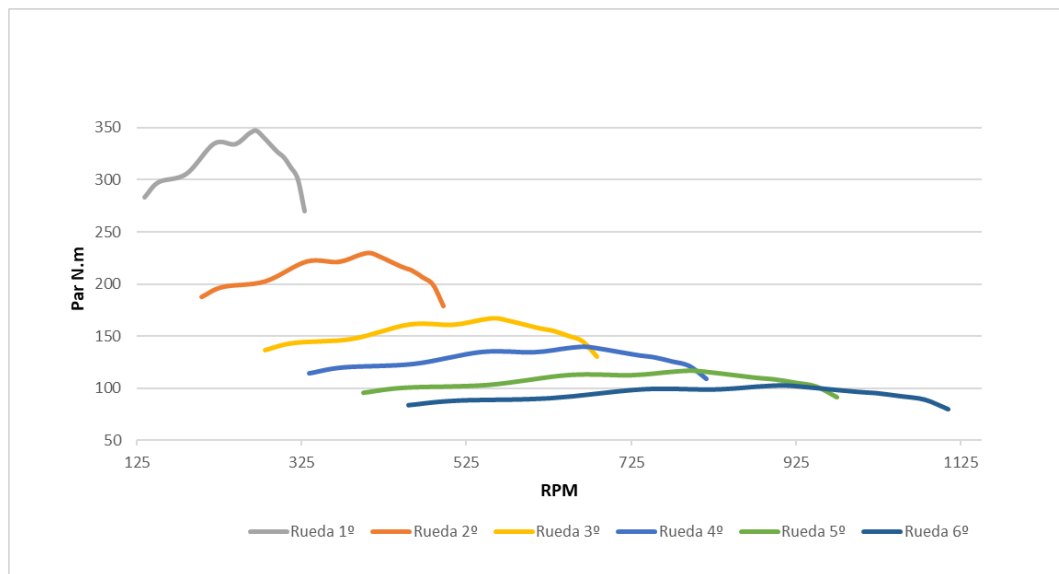
Cigüeñal			Rueda 1º		Rueda 2º		Rueda 3º	
RPM	PAR (N·m)	% PAR máx cigüeñal	RPM_1	PAR_1 (N·m)	RPM_2	PAR_2 (N·m)	RPM_3	PAR_3 (N·m)
3987	9,59	81,62	134,9	283,4	203,9	187,5	280,4	136,4
4487	10,08	85,79	151,9	297,8	229,5	197,1	315,5	143,3
5486	10,35	88,09	185,7	305,8	280,6	202,4	385,8	147,2
6479	11,33	96,43	219,3	334,8	331,3	221,5	455,6	161,1
7230	11,31	96,26	244,7	334,2	369,7	221,2	508,4	160,8
7728	11,65	99,15	261,5	344,2	395,2	227,8	543,4	165,7
7981	11,75	100,00	270,1	347,2	408,2	229,8	561,2	167,1
8224	11,56	98,38	278,3	341,6	420,6	226,0	578,3	164,4
8724	11,08	94,30	295,3	327,4	446,1	216,7	613,5	157,6
8975	10,89	92,68	303,8	321,8	459,0	212,9	631,1	154,9
9225	10,56	89,87	312,2	312,0	471,8	206,5	648,7	150,2
9475	10,19	86,72	320,7	301,1	484,6	199,3	666,3	144,9
9723	9,14	77,79	329,1	270,1	497,2	178,7	683,7	130,0

Rueda 4º		Rueda 5º			Rueda 6º	
RPM_4	PAR (N·m)_4	RPM_5	PAR (N·m)_5	%PAR máx 5	RPM_6	PAR (N·m)_6
334,5	114,3	399,7	95,7	81,6	455,1	84,0
376,5	120,1	449,8	100,5	85,8	512,2	88,3
460,3	123,4	550,0	103,2	88,1	626,3	90,7
543,6	135,0	649,5	113,0	96,4	739,6	99,3
606,6	134,8	724,8	112,8	96,3	825,3	99,1
648,4	138,8	774,7	116,2	99,1	882,2	102,1
669,7	140,0	800,1	117,2	100,0	911,1	102,9
690,0	137,8	824,5	115,3	98,4	938,8	101,3
732,0	132,1	874,6	110,5	94,3	995,9	97,1
753,1	129,8	899,7	108,6	92,7	1024,5	95,4
774,0	125,9	924,8	105,3	89,9	1053,1	92,5
795,0	121,4	949,9	101,6	86,7	1081,6	89,3
815,8	108,9	974,7	91,2	77,8	1109,9	80,1

Tabla 1.2.1.2. Prestaciones del motor.

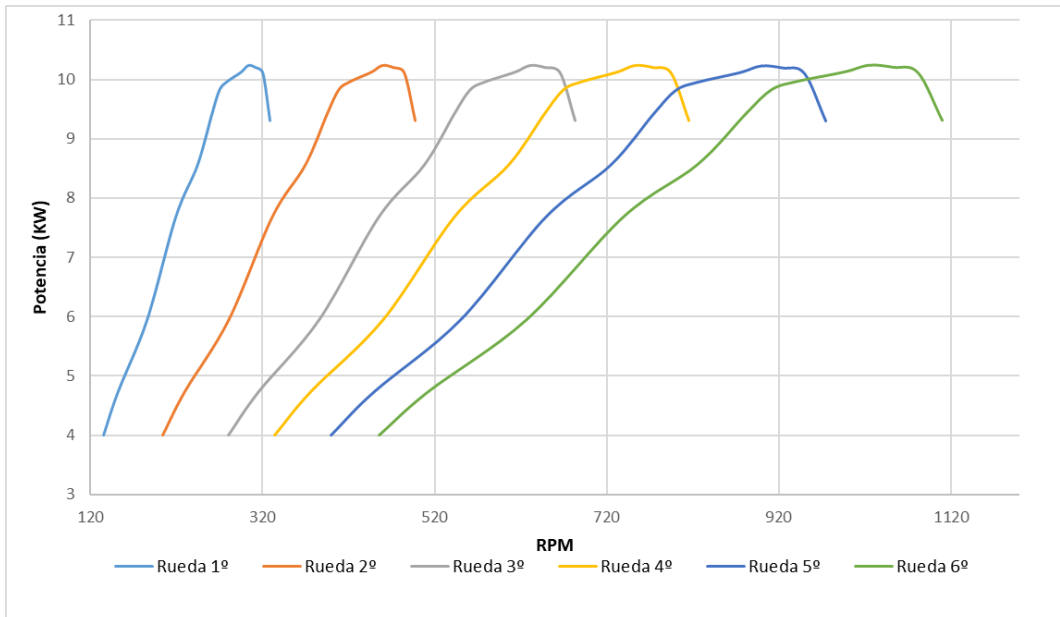
Y las gráficas correspondientes a las tablas anteriores se presentan a continuación:

En primer lugar, tenemos el par desarrollado en función de la velocidad en rueda donde se obtiene la máxima fuerza y mínima velocidad para la primera rueda en contraposición a la sexta marcha, donde sucede todo lo contrario, se obtiene la máxima velocidad con el mínimo par.



Gráfica 1.2.1.1. Par en función de la marcha y de las rpm's.

Y en segundo lugar en la siguiente gráfica se muestra la potencia de salida para cada una de las diferentes marchas y obviamente la potencia en todas es prácticamente la misma ya que ésta no depende de las relaciones de transmisión, solo depende del motor.



Gráfica 1.2.1.2. Potencia en función de la marcha y de las rpm's.

Estos valores han sido obtenidos a máxima potencia o dicho de otra manera, con el acelerador al máximo.

1.2.2. Manual de taller

El manual de taller lo hemos utilizado para consultar las especificaciones y procedimientos necesarios para la realización de diferentes labores de reparación y mantenimiento.

1.2.2.1. Niveles de aceite.

El correcto funcionamiento del motor depende estrechamente de la adecuada lubricación de sus todas sus partes móviles. Para ello hemos de comprobar regularmente los niveles de aceite según especifica el manual de taller.

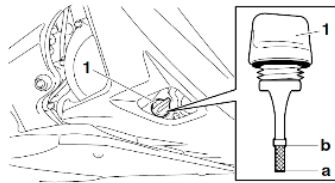


Ilustración 1.2.2.1.1. Detalle de los niveles de aceite.

Dicha comprobación del nivel de aceite se realiza desenroscando la pieza de la figura y comprobando que el aceite cubre por completo el extremo comprendido en la letra a y b. Este sencillo procedimiento se ha realizado siempre antes de comenzar cada sesión de ensayos.

1.2.2.2. Motor de arranque

El motor de arranque es básicamente un motor eléctrico que induce el suficiente movimiento inicial del cigüeñal para iniciar el ciclo termodinámico.



Ilustración 1.2.2.1.2. Motor de arranque.

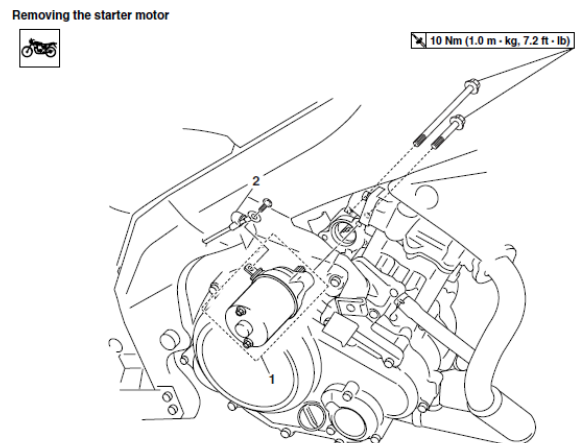
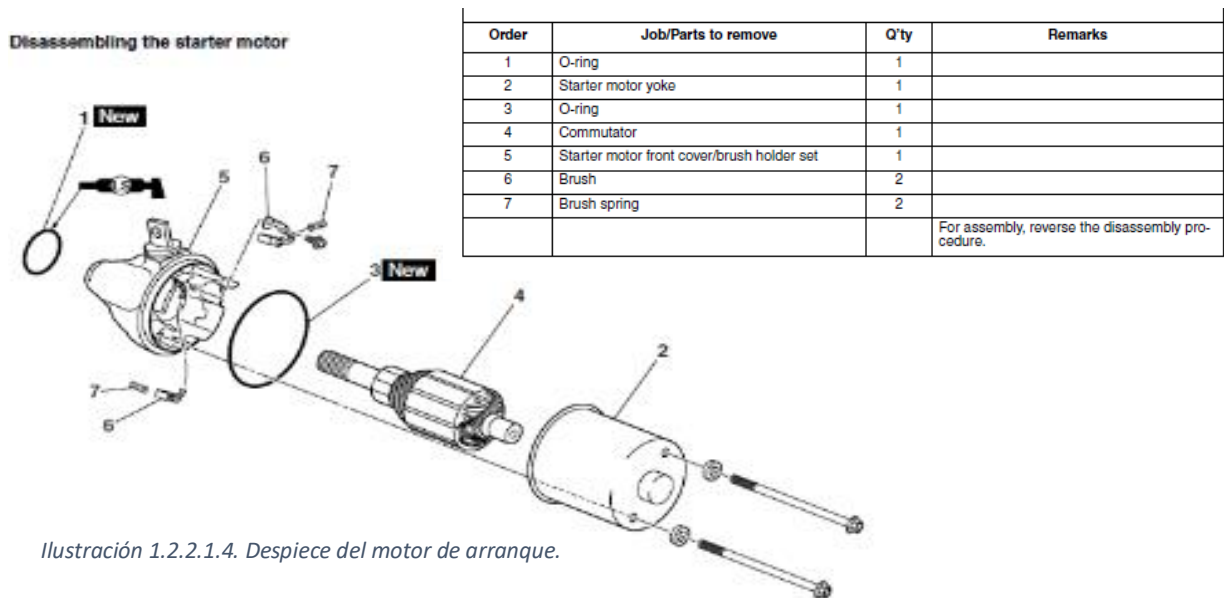


Ilustración 1.2.2.1.3. Detalle de la ubicación del motor de arranque.

Le dedico unos párrafos ya que durante el transcurso de las pruebas hemos hecho un uso continuado de él y lo hemos forzado hasta tal punto que empezó a hacer un ruido extraño que nos hizo pensar que lo habíamos fundido parcialmente y se optó por desmontarlo y buscar un recambio para el mismo.

Y para extraerlo y analizarlo exhaustivamente consultamos el manual de taller para hacerlo de forma correcta. Por ello adjunto algunas imágenes de las páginas concretas donde se detallan los elementos que lo componen y toda la tornillería.



No obstante una vez extraído del motor se optó por desarmarlo y verificar el estado de sus componentes internos.

Esta inspección se realizó en la sede central de la empresa por sus técnicos especializados y se determinó que no había marcas de desgaste y que aparentemente tanto el embobinado, las escobillas y los rodamientos estaban en perfectas condiciones así que se rearmó y se volvió a montar en la motocicleta.

Y para concluir, creemos que los ruidos se originan cuando se sobrecalienta el motor al ser forzado en exceso durante breves periodos de tiempo ya que técnicamente está diseñado para realizar unos pocos giros en el momento del arranque únicamente.

1.2.2.3. Caja de fusibles:

Los fusibles del sistema eléctrico cumplen con la vital función de proteger al mismo ante posibles sobretensiones y posibles cortocircuitos.

Cada fusible de los que vemos en la imagen se encarga de la protección de los diferentes subsistemas eléctricos.



Ilustración 1.2.2.3.1. Fotografía de la caja de fusibles del motor.

Y cabe destacar que dicha caja de fusibles ha sido abierta en tres ocasiones ya que yo mismo y debido a las numerosas modificaciones y descuidos he fundido el fusible principal.

1.2.2.4. Partes internas del motor

Durante el transcurso del proyecto fue necesario inspeccionar las partes internas del motor por lo que nos tuvimos que apoyar en el manual de taller para desmontar la culata y el cilindro siguiendo los siguientes pasos.

En primer lugar, procedimos a la retirada del tubo de escape desatornillando los dos tornillos de sujeción. Finalizado este paso el motor se quedó como se aprecia en la siguiente imagen:

Posteriormente procedimos a retirar la bujía y los espárragos fijadores del cilindro tal y como indica la siguiente imagen extraída del manual de taller.

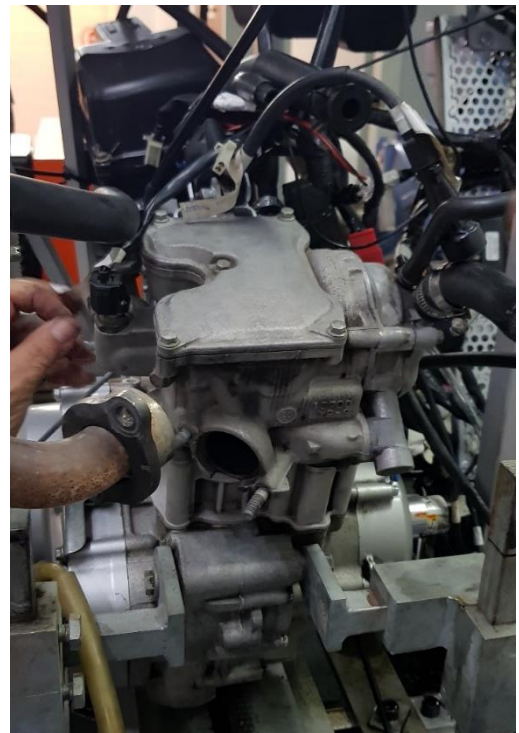


Ilustración 1.2.2.4.1. Detalle del colector de escape.

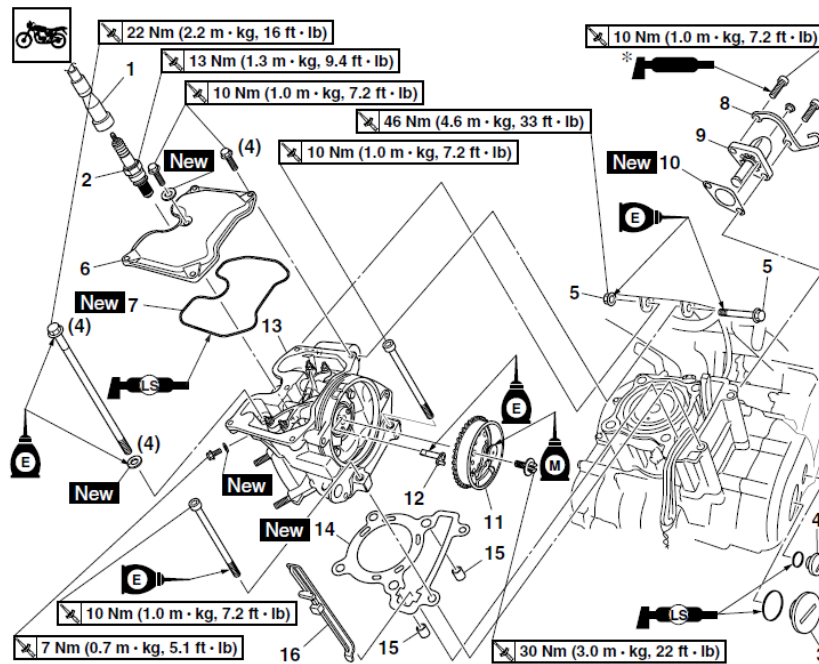


Ilustración 1.2.2.4.2. Despiece del cilindro del motor

Acto seguido extrajimos la tapa de la culata y las juntas selladoras y una vez finalizados esos pasos podía observarse a simple vista las dos válvulas de admisión y de escape tal y como se aprecia en el esquema e imagen siguiente:

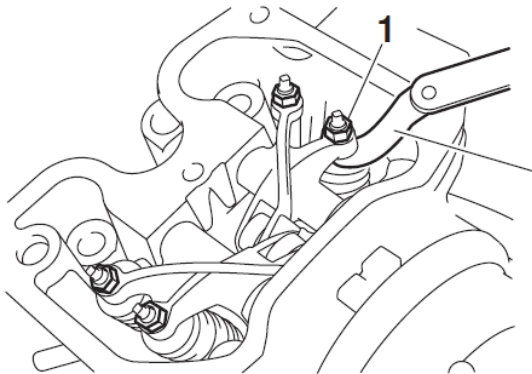


Ilustración 1.2.2.4.3. Esquema de las válvulas.



Ilustración 1.2.2.4.4. Imagen real de las válvulas.

En este punto el manual de taller advertía de que teníamos que llevar especial cuidado de no soltar la cadena de distribución para que no se colara hacia el interior.

NOTE: _____

To prevent the timing chain from falling into the crankcase, fasten it with a wire "1".

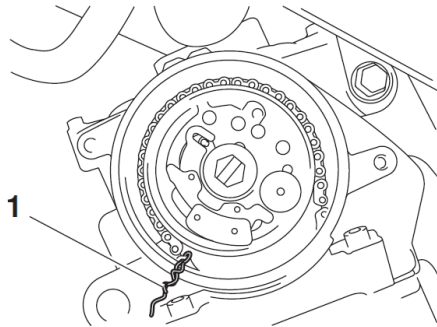


Ilustración 1.2.2.4.5. Esquema del árbol de levas.

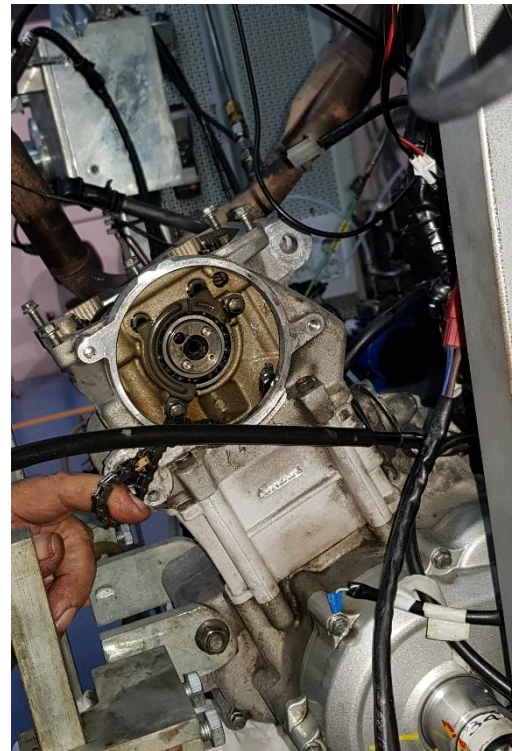


Ilustración 1.2.2.4.6. Imagen real del árbol de levas.

En las imágenes se aprecia la cadena de distribución cuyo cometido es la sincronía de la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

Llegados a este punto procedimos a retirar el cilindro y se realizó una minuciosa inspección ocular para determinar el estado en que se encontraba el recubrimiento de la aleación "Nikasil" de las paredes del mismo. Tras la finalización de esta inspección no se observó ningún desperfecto ni marcas de desgaste por lo que se siguió inspeccionando otros componentes



Ilustración 1.2.2.4.7. Detalle de la biela y parte del cigüeñal.

Removing the cylinder and piston

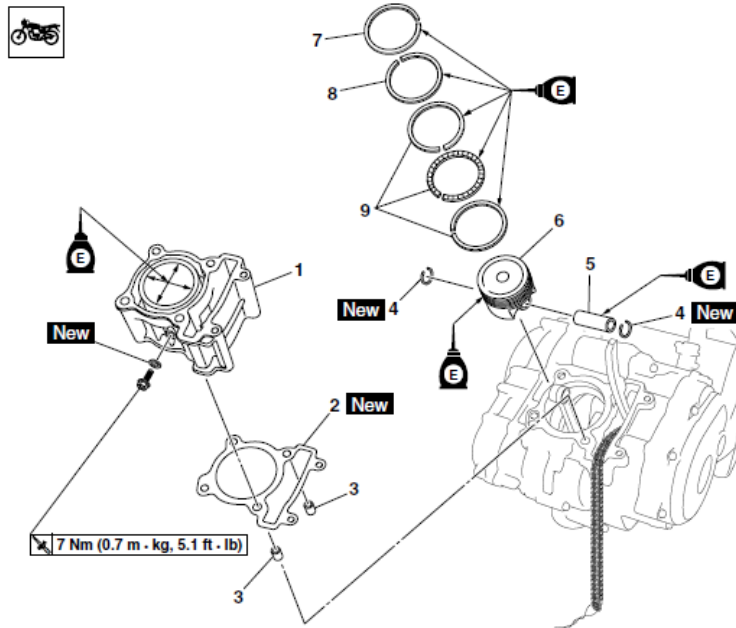


Ilustración 1.2.2.4.8. Detalle del despiece realizado.

1.2.3. Esquema de cableado

El estudio del esquema de cableado ha resultado ser de vital importancia por todas las manipulaciones que hemos tenido que realizar sobre el mismo para hacer creer a la centralita que la moto estaba rodando en carretera en condiciones normales cuando en realidad ha estado totalmente parada en nuestra bancada.

Para ello se han realizado varios puentes, como por ejemplo el del caballete ya que las motos no arrancan si éste está extendido. En la siguiente ilustración se detalla este elemento junto al color de los cables que lo componen, lo que facilita las labores de búsqueda dentro del mazo de cables y su correcta manipulación.

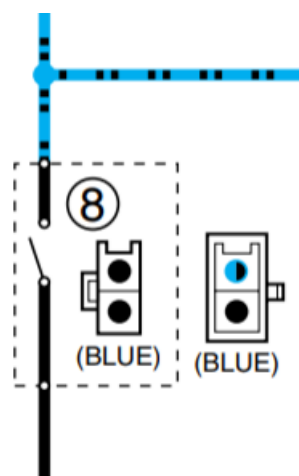


Ilustración 1.2.2.5.1. Detalle del esquema eléctrico del caballete

También ha sido necesario localizar el inclinómetro que lleva incorporado la moto cuya función es cortar el suministro eléctrico de la motocicleta cuando detecta un ángulo excesivo. Este no es más que un sistema de seguridad por si el piloto sufre una caída con el fin de apagar el motor en este supuesto y evitar males mayores.

Y también para localizar y acceder a los cables del inyector. Ya que las señales de control del mismo son de nuestro interés.

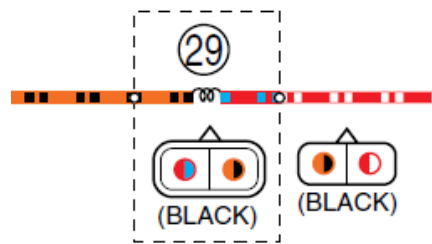
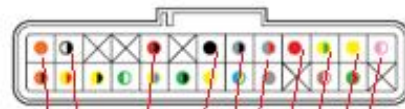


Ilustración 1.2.2.5.2. Esquema eléctrico del inyector.

Cabe destacar que la correspondencia entre cada cable y cada sensor representados gráficamente en el esquema eléctrico y los reales de la moto ha resultado muy fácil por el código de colores empleado. Ya que cada uno tiene exactamente el mismo color que en el esquema representado.



También esta parte ha sido muy importante para determinar la ubicación exacta de la ecu original y su esquema de cableado y conectado para tener la certeza que nuestra ecu programable es compatible con nuestra moto.

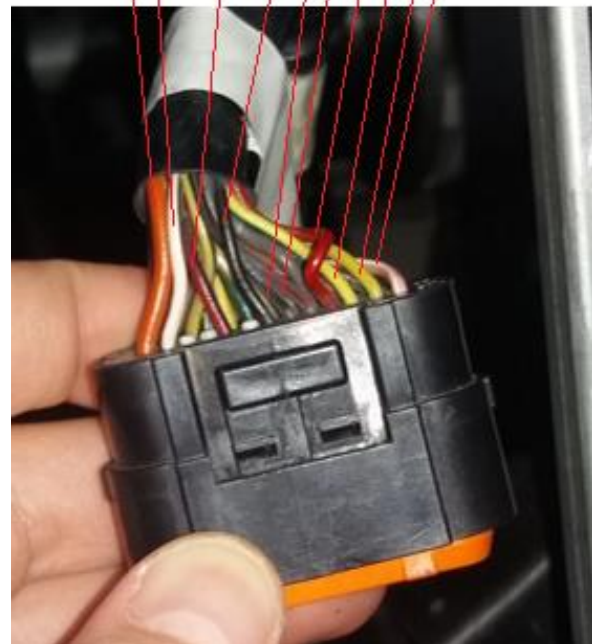


Ilustración 1.2.2.5.3. Esquema eléctrico del conector de la centralita.

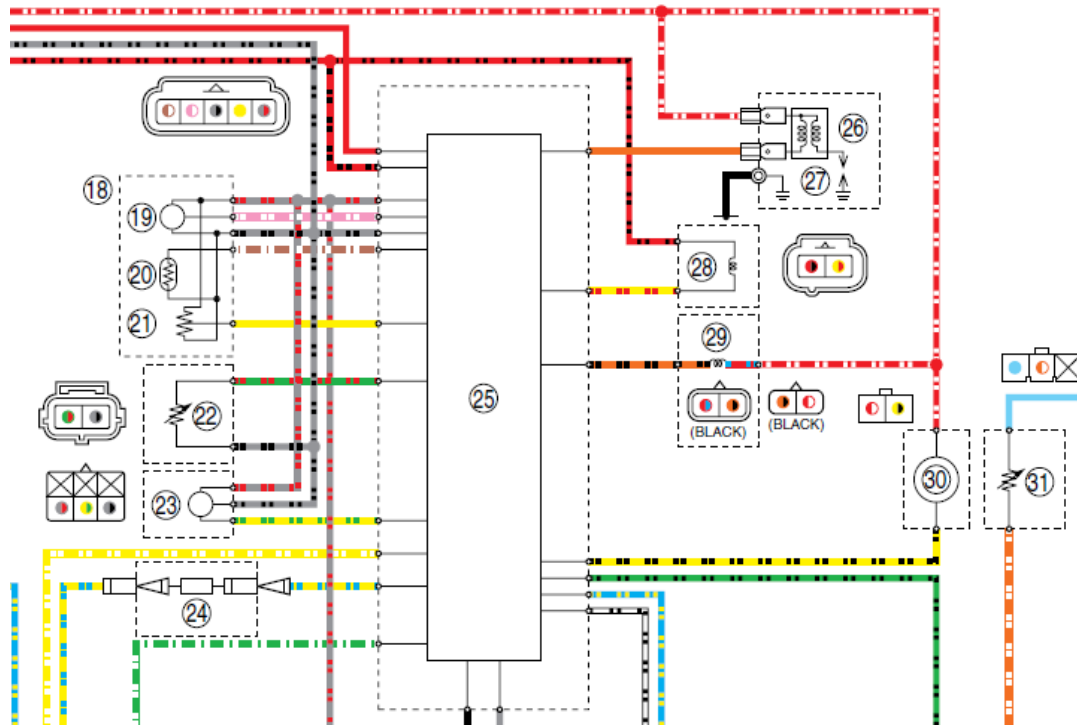


Ilustración 1.2.2.5.4. Esquema eléctrico de la centralita.

Número	Elemento
18	Cuerpo de sensores de la mariposa
19	Sensor de presión del aire de admisión
20	Sensor de temperatura del aire de admisión
21	Sensor de posición del acelerador
22	Sensor de temperatura del líquido refrigerante
23	Sensor de inclinación (inclinómetro)
24	Conector para autodiagnóstico
25	Centralita (ECU)
26	Autotransformador de la bujía
27	Conector de la bujía
28	FID (Fast idle solenoid)
29	Inyector
30	Bomba de combustible

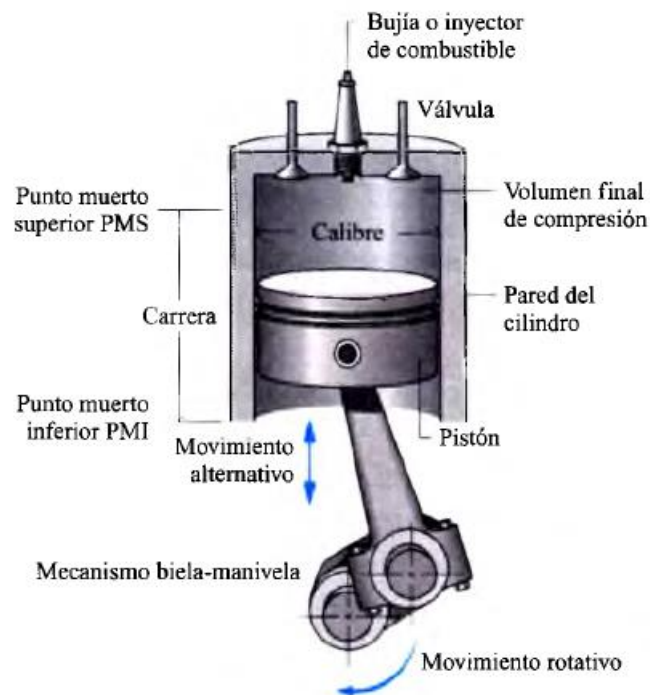
Tabla 1.2.2.5.1. Sensores y elementos conectados a la centralita.

1.3. Formación relativa a medida de los parámetros de prestaciones, consumo y emisiones, y programa de pruebas de motores en banco motor.

El objetivo de este capítulo es la breve exposición del funcionamiento de un motor de combustión interna alternativo.

1.3.1. Funcionamiento del motor de combustión interna alternativo de 4 tiempos.

Los motores de combustión interna alternativos se basan en la producción en el interior de su cilindro de la reacción química de combustión mediante la cual se nutren del calor necesario para aumentar la presión de la mezcla de gases presentes y así conseguir generar un determinado trabajo mecánico por el movimiento del pistón.



1.3.1.1. Esquema básico de un motor de combustión interna alternativo de 4 tiempos.

En la figura observamos las partes fundamentales de este tipo de motores y el citado trabajo mecánico se puede obtener teóricamente con las siguientes expresiones matemáticas durante la fase de expansión:

$$dW = P(V, T, t) * A_{\text{pistón}} * dl$$

Como se aprecia en la anterior expresión la presión dentro del cilindro es una función de tres variables las cuales variarán a lo largo del movimiento del pistón.

No obstante, el tiempo apenas tiene influencia en las propiedades de la mezcla de gases debido al tiempo característico del proceso de expansión y en consecuencia se puede considerar un proceso cuasiestacionario y finalmente se puede omitir esta variable de la ecuación resultando:

$$dW = P(V, T) * A_{pistón} * dl$$

Donde integrando la expresión anterior a lo largo de la carrera del pistón obtenemos el trabajo por ciclo.

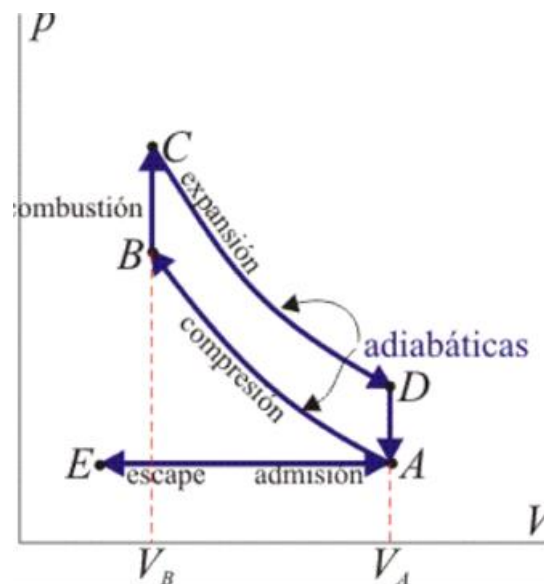
$$W = \int_{PMS}^{PMI} P(V, T) * A_{pistón} * dl$$

También se puede poner las expresiones anteriores en función de la velocidad del pistón como sigue:

$$dW = P(V, T) * A_{pistón} * v_{pistón} * dt$$

Y la velocidad del pistón a su vez se puede poner en función de la velocidad de giro del cigüeñal:

Nuestro motor se engloba dentro de esta definición y además es de cuatro tiempos, lo que significa que el ciclo termodinámico se puede dividir en cuatro etapas bien diferenciadas las cuales componen el ciclo Termodinámico de Otto:



En la figura se reflejan las propiedades de la presión y volumen dentro del cilindro para las cuatro fases donde además se tienen en cuenta que las áreas bajo las diferentes curvas coinciden con los trabajos mecánicos recientemente expuestos.

El inicio del ciclo se produce con la fase de admisión durante la cual se abre la válvula de admisión y debido a la presión negativa que genera el pistón en su movimiento descendente se absorbe la mezcla de aire y combustible hacia el interior del cilindro. Este proceso queda reflejado en la figura mediante la curva E-A donde se observa que se aumenta el volumen de la cámara de combustión sin que haya una variación teórica de presión en su interior.



Ilustración 1.3.1.2. Fase de admisión.

Y como efectivamente el proceso es isobárico según la integral y según el área bajo la curva el trabajo es nulo.

Cuando finaliza esta fase se cierra herméticamente la válvula de admisión y el pistón comienza su carrera ascendente. Conforme se desplaza el volumen del interior del cilindro comienza a disminuir y por consiguiente la presión en el interior comienza a ascender produciéndose la segunda fase denominada compresión. Línea A-B del gráfico.



Ilustración 1.3.1.2. Fase de compresión.

Esta compresión de la mezcla favorece las condiciones de inflamabilidad y conlleva un mayor aprovechamiento energético del combustible. Pero en este caso se requiere un cierto trabajo mecánico para completar la fase de forma que el área y la integral no es nula per

El fin de esta etapa lo marca el momento en el que la bujía genera la chispa que inicia la ignición de la mezcla para dar paso a la tercera fase del ciclo: explosión.



Ilustración 1.3.1.3. Fase de combustión.

Durante esta fase la combustión de la mezcla hace elevar la temperatura y por consiguiente la presión en el interior del cilindro con tanta virulencia que empuja súbitamente el pistón hacia abajo creándose el movimiento mecánico con el que se obtiene la potencia del motor.

Según las fórmulas anteriormente expuestas el trabajo mecánico desarrollado se obtiene con la integral que coincide con el área bajo la curva C-D del gráfico.

Y finalmente se utiliza esta inercia para para conseguir la cuarta y última etapa del ciclo la cual consiste en la expulsión del cilindro de los productos derivados del proceso de combustión.



Ilustración 1.3.1.4. Fase de expulsión.

Esta etapa coincide con la línea A-E del gráfico donde disminuye el volumen del cilindro sin que cambie la presión.

Como resumen se obtiene un trabajo pulsante o periódico, aunque debido a la frecuencia de los motores la percepción que sentimos es la de un trabajo estacionario o continuo.

$$dW = \vec{F} * d\vec{r} \quad [J]$$

$$dW = \vec{F} * \vec{v} * dt \quad [J]$$

$$\frac{dW}{dt} = \vec{F} * \vec{v} \quad [W]$$

Y si ambos vectores son paralelos el producto escalar se reduce a la multiplicación de sus módulos resultando la potencia desarrollada:

$$P = F * v$$

$$P = N * \omega$$

1.3.2. Parámetros relativos a nuestros ensayos

Ahora expondré detalladamente dos parámetros sumamente importantes en el funcionamiento del motor. El motivo de hacerlo de esta manera se debe a que son los dos únicos parámetros que nos permite variar la centralita.

1.3.2.1 Avance de encendido:

El avance de encendido en los motores de cuatro tiempos es el ángulo de desfase entre la generación de la chispa en los electrodos de la bujía y la posición del pistón con respecto al punto muerto superior durante su movimiento ascendente en la etapa de compresión.

Adelantar la chispa antes de que el pistón complete su carrera es necesario ya que tanto la ignición de la mezcla como como la llegada del frente de presión hasta la cabeza del pistón conllevan un cierto tiempo. Por lo citado, este avance es totalmente necesario para aprovechar la energía del combustible al máximo, y además debe de ser variable para adaptarse a todas las condiciones de funcionamiento del motor.

1.3.2.2. Inyección:

La mayoría de motores de cuatro tiempos introducen la mezcla de combustible y aire al cilindro mediante la inyección. Con este sistema se obtiene un mayor control en la proporción de la mezcla y una eficiente dosificación del combustible.

Para ello se equipa cada cilindro con su correspondiente inyector los cuales trabajan como si de válvulas se tratara. Concretamente, debido a que el circuito de combustible está presurizado cuando los inyectores reciben la señal eléctrica procedente de la centralita de apertura éstos retraen su aguja interna y dejan salir el combustible.

1.3.3. Estequiometría de la reacción de combustión.

Debidos a los objetivos del proyecto conviene tener nociones básicas sobre los procesos químicos que tienen lugar en el interior del motor. Por lo que en este capítulo describiré la reacción de combustión.

Los reactivos de la reacción teórica son exclusivamente un hidrocarburo (combustible) y oxígeno que en unas determinadas condiciones de inflamabilidad y con una cierta energía de activación se transformarán en agua y dióxido de carbono según la siguiente ecuación estequiométrica donde se refleja dicha reacción para el hidrocarburo metano:

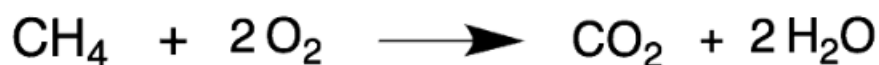
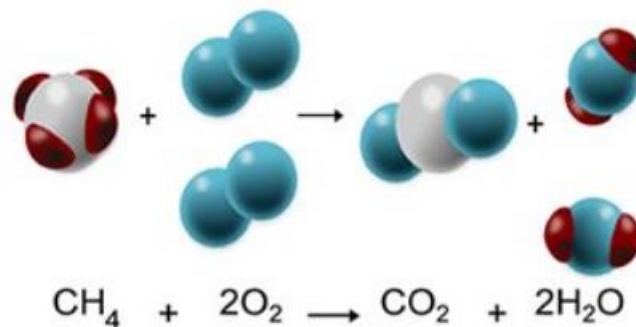


Ilustración 1.3.2.1. Reacción de combustión para el metano.

Esta reacción química es muy exotérmica debido a las entalpías de los reactivos por lo que en los motores se inyecta combustible y aire atmosférico (para aportar el oxígeno necesario a la reacción) para generarla.

Pero en las reacciones de combustión reales no se cumple únicamente la ecuación de conservación de la masa anterior y aparecen otro tipo de gases y compuestos. Además, las proporciones de aire y combustible no suelen ser las estrictamente necesarias apareciendo en los reactivos ciertas proporciones de oxígeno y combustible que no han participado en la reacción.

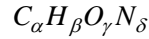
Por todo ello se trabaja con un factor que nos indica si las mezclas son pobres o ricas entre el aire y el combustible inyectado el cual se denominada factor Lambda o AFR (Air-Fuel-Ratio).

Este factor se define como como la relación entre la proporción de aire y el combustible que está entrando y de él depende estrechamente las prestaciones del motor.

Una vez definida la variable anterior podemos establecer el gasto másico de aire si disponemos además de gasto másico de combustible como:

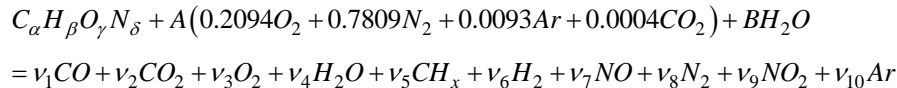
$$m_a = AFR \cdot m_f$$

El hidrocarburo combustible, gasolina, a efectos de cálculo puede considerarse constituido de la forma:

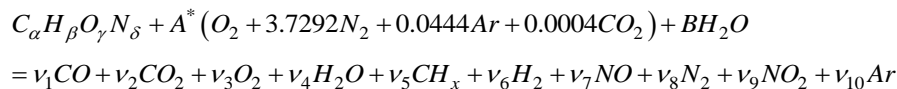


Así como el aire se compone por un 78,09% de nitrógeno, un 20,94% de oxígeno, un 0,93% de argón y un 0,04% de dióxido de carbono.

La ecuación química de la combustión de este combustible genérico considerando la presencia de vapor de agua en el aire y monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos inquemados en los gases de escape, es:



o



La relación aire – combustible se define como:

$$AFR = \frac{m_a (kg_a)}{m_f (kg_f)} = \frac{\frac{A^* \left(\frac{kmol_{O_2}}{kmol_f} \right)}{n_{O_2a} \left(\frac{kmol_{O_2}}{kmol_a} \right)} \cdot M_a \left(\frac{kg_a}{kmol_a} \right)}{M_f \left(\frac{kg_f}{kmol_f} \right)}$$

Se han planteado dos métodos distintos de determinación del AFR, uno a partir de la resolución de las ecuaciones anteriores y otro en que se adoptan algunas simplificaciones y resulta de la aplicación del coeficiente de exceso de aire de Brettschneider.

1.3.2.1. Método del balance de C, H y O.

Se plantean las ecuaciones de conservación de masa para el carbono, hidrógeno y oxígeno

Carbono: $\alpha + 0.0019A^* = \nu_1 + \nu_2 + \nu_5$

$$\begin{aligned} \text{Hidrógeno:} \quad & 2B + \beta = 2\nu_4 + x \cdot \nu_5 + 2\nu_6 \\ \text{Oxígeno:} \quad & (2 + 2 \cdot 0.0019)A^* \gamma + = \nu_1 + 2\nu_2 + \nu_3 + 2\nu_4 \end{aligned}$$

y la reacción de conservación del gas de agua:

$$\begin{aligned} H_2O + CO &\leftrightarrow H_2 + CO_2 \\ K &= \frac{[CO][H_2O]}{[CO_2][H_2]} \end{aligned}$$

Este valor se puede asumir constante porque el equilibrio termodinámico de la reacción del gas de agua, en el enfriamiento durante la fase de expansión del motor se congela a temperaturas inferiores a 1200 °C. Por lo que se toma la constante correspondiente a estas temperaturas, es decir, $K = 3.5$.

Combinando las anteriores ecuaciones se obtiene A^* en función de los valores de emisiones medidos:

$$A^* = \left(\frac{\alpha A_1 - \gamma + \frac{\beta K [CO_{2D}]}{2A_2} - \frac{\alpha A_3 A_4}{2A_2}}{2.0038 + A_5 - \frac{A_5 K [CO_{2D}]}{A_2} + \frac{0.0019 A_3 A_4}{2A_2} - 0.0019 A_1} \right)$$

donde, se emplean los coeficientes auxiliares:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{[CO_D] + 2[CO_{2D}] + 2[O_{2D}] + [NO_D] \cdot 10^{-4} + 2[NO_{2D}] \cdot 10^{-4}}{[CO_D] + [CO_{2D}] + K_1 \cdot [HC_D] \cdot 10^{-4}} \\ A_2 &= K [CO_{2D}] + [CO_D] \\ A_3 &= \frac{K [CO_{2D}]}{[CO_D] ([CO_D] + [CO_{2D}] + K_1 \cdot [HC_D] \cdot 10^{-4})} \\ A_4 &= x \cdot K_1 \cdot [HC_D] \cdot 10^{-4} [CO_D] \\ A_5 &= 4.7755 \frac{HR_{atm} / 100 \cdot P_{vapsat}}{P_{atm} - HR_{atm} / 100 \cdot P_{vapsat}} \end{aligned}$$

(A1.18)

donde K_1 es el factor de conversión para medida FID. Dado que se ha medido en base hexano este valor corresponde a 6, por lo que el AFR según la ecuación A1.12, quedaría como:

$$AFR = \frac{M_a}{n_{O_2,a}} \frac{1}{M_f} A^* =$$

$$= \frac{138.324}{12.011\alpha + 1.008\beta + 15.999\gamma + 14.007\delta} \cdot \left(\frac{\alpha A_1 - \gamma + \frac{\beta K [CO_{2D}]}{2A_2} - \frac{\alpha A_3 A_4}{2A_2}}{2.0038 + A_5 - \frac{A_5 K [CO_{2D}]}{A_2} + \frac{0.0019 A_3 A_4}{2A_2} - 0.0019 A_1} \right)$$

Se asume la hipótesis de que los hidrocarburos no quemados en los gases de escape tienen una composición igual a la del carburante, por lo que

$$x = \beta / \alpha .$$

1.3.2.2. Utilizando el λ de Brettschneider

Brettschneider determinó analíticamente este coeficiente de exceso de aire asumiendo las simplificaciones:

- Combustible sin presencia de nitrógeno.
- Aire de admisión seco.
- Sin formación NO y NO₂ en los gases de escape.

El coeficiente de exceso de aire λ se define como:

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_S}$$

Planteando el balance para una combustión completa, se determina la relación aire-combustible estequiométrica (AFR_S):

$$AFR_S = \frac{\left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2} \right) \cdot \frac{M_a}{n_{O_2,a}}}{\alpha M_C + \beta M_H + \gamma M_O}$$

A partir de las ecuaciones A1.12 y A1.21, se deduce la relación siguiente:

$$\lambda = \frac{A^*}{\left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2} \right)}$$

y el AFR es igual a:

$$AFR = \frac{\lambda \cdot \frac{M_a}{n_{O_2a}}}{\alpha M_C + \beta M_H + \gamma M_O} \left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2} \right).$$

La ecuación propuesta por Brettschneider para la determinación de este coeficiente de exceso de aire, es:

$$\lambda = \frac{[CO_{2D}] + \frac{[CO_D]}{2} + [O_{2D}] + \left[\frac{\beta/\alpha}{4} \cdot \frac{K}{K + \frac{[CO_D]}{[CO_{2D}]}} - \frac{\gamma/\alpha}{2} \right] \cdot ([CO_{2D}] + [CO_D])}{\left(1 + \frac{\beta/\alpha}{4} - \frac{\gamma/\alpha}{2} \right) \cdot ([CO_{2D}] + [CO_D] + K_1 \cdot [HC_D] \cdot 10^{-4})}$$

Finalmente el AFR quedaría:

$$AFR = \frac{138.324 \cdot \left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2} \right)}{12.011\alpha + 1.008\beta + 15.999\gamma} \cdot \frac{[CO_{2D}] + \frac{[CO_D]}{2} + [O_{2D}] + \left[\frac{1,5103}{3.5 + \frac{[CO_D]}{[CO_{2D}]}} - 0,0088 \right] \cdot ([CO_{2D}] + [CO_D])}{1,4228 \cdot ([CO_{2D}] + [CO_D] + 6 \cdot [HC_D] \cdot 10^{-4})}$$

Nosotros obtendremos el factor AFR mediante el segundo método gracias a las hojas de cálculo redactadas en Excel en las que introduciremos únicamente el consumo de combustible y las medidas de las concentraciones en los gases de escape.

1.4. Especificación y documentación de todos los sensores necesarios para la toma de datos.

Esta fase se llevó a cabo íntegramente en la celda de ensayos y a continuación se detallan todos los sensores empleados para la adquisición de datos donde se expondrá la descripción de la magnitud física que va a captar, el principio de funcionamiento del sensor y finalmente su constitución.

1.4.1. Sensores de medida de la temperatura.

La temperatura es la magnitud física que describe el estado de excitación molecular o la energía interna de un cuerpo. Así a mayor temperatura mayor energía interna o mayor estado de vibración.

Existen varias escalas de medida dependiendo de en qué ámbito se trabaje, pero la escala más usual es la centígrada donde se establece un rango de 100 unidades para la variación de temperatura que sufre el agua desde que se produce su fusión (0°C) hasta que alcanza la ebullición (100°C).

Así cada una de estas unidades es el grado centígrado: °C.

Esta magnitud es muy importante ya que tiene una gran influencia sobre el resto de parámetros de funcionamiento del motor.

Para la medida de las diferentes temperaturas que son de nuestro interés hemos utilizado termopares y termorresistencias.

1.4.1.1. Termopares

El principio de funcionamiento de los termopares se basa en el efecto Seebeck.

Dicho efecto consiste en que si unimos por un extremo dos cables de metales diferentes y hay una diferencia de temperatura entre dicha unión y las otras dos puntas libres se generará una diferencia de potencial entre las mismas.

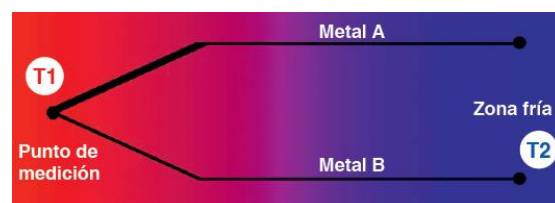


Ilustración 1.4.1.1. Principio de funcionamiento del termopar.

Según lo dicho y observando la figura, entre los bornes de la zona fría aparecerá una f.e.m. que es prácticamente proporcional a la diferencia de temperaturas (T_1 y T_2).

Es importante comentar que según lo explicado la temperatura obtenida será relativa con respecto de la zona fría pero debido a que los termopares se emplean para medir altas temperaturas normalmente se omite este error de medida.

Como conclusión, para realizar una medición de forma correcta solo es necesario que la unión de los metales esté a la temperatura de aquello que queremos medir.

Según lo mencionado anteriormente la constitución de este sensor es bastante simple y podemos hacernos una idea muy cercana observando la imagen la siguiente imagen.

Como se aprecia la unión de los filamentos metálicos se encapsula para protegerla y posteriormente se prolongan los cables hasta el instrumento que sea capaz de medir la diferencia de potencial de los mismos. Debido a que normalmente estos instrumentos de medición tienen impedancia infinita se pueden prolongar estos cables todo lo necesario sin temor a que haya caídas de tensión que adulteren la medida.



Ilustración 1.4.1.2. Constitución del termopar.

1.4.1.2. Termorresistencias (RTD: Resistance temperature detector)

Las termorresistencias basan su principio de funcionamiento en la variación que sufre la resistividad eléctrica de un metal con la variación de la temperatura.

A nivel microscópico los átomos de un metal están unidos entre sí compartiendo una gran cantidad de electrones de valencia. Estos electrones forman lo que se denomina “mar de electrones” los cuales tienen gran libertad de movimiento cuando se les aplica un campo eléctrico. Pero esa libertad de movimiento se ve condicionada por el resto de átomos que conforman la red metálica. Así que cuantas menos interacciones sufran dichos electrones más fácil les será viajar por el campo eléctrico. Y aquí la temperatura es donde tiene una gran influencia, ya que a mayor temperatura mayor estado vibracional tendrán los átomos de la red los cuales interferirán en la trayectoria de los electrones dificultando su movimiento. En otras

palabras, a mayor temperatura mayor resistividad eléctrica y viceversa. Y este fenómeno será el que utilizan las termorresistencias para determinar la temperatura.

$$R = R_0 (1 + \alpha T)$$

En nuestra celda de ensayos disponemos de una termorresistencia Pt100 de 4 hilos la cual presenta una resistividad de 100 ohmios (Ω) a 0° centígrados.

El hecho de tener 4 hilos conlleva que el circuito eléctrico interno tiene la configuración idónea para realizar una medición lo más fidedigna posible y hace que no sea necesario que los cables estén equilibrados. Esto se debe a que por dos de los bornes se alimenta la termorresistencia con una intensidad constante y por los otros dos bornes restantes se mide la caída de potencial que sufre la termorresistencia. Así que según la ley de Ohm si se le inyecta a un elemento resistivo una intensidad constante y este empieza a variar el voltaje medido en los bornes será porque está variando su resistividad:

$$V = I * R [V]$$

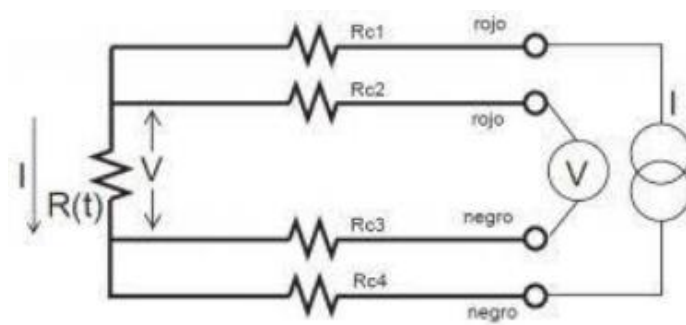


Ilustración 1.4.1.3. Esquema eléctrico de la termorresistencia.

Esta configuración implica que no sea necesario que los cables estén compensados ya que la intensidad inyectada a la pt100 no depende de la longitud de los mismos y si el dispositivo que mide la caída de potencial tiene impedancia interna infinita apenas se derivará intensidad por sus bornes y no habrá caída de potencial debido a la longitud de los cables.

Como se aprecia en la siguiente figura, la termorresistencia se encuentra confinada dentro de un vaina metálica perforada para que el fluido cuya temperatura queremos medir fluya y tenga un estrecho contacto con la termorresistencia.



Ilustración 1.4.1.4. Constitución de la termorresistencia.

1.4.2. Sensores de medida de la presión.

La presión se define como la fuerza ejercida sobre una superficie:

$$P = \frac{F}{A} [Pa]$$

Su unidad en el Sistema Internacional es el Pascal que equivale a 1 Newton aplicado a 1 metro cuadrado de superficie. Pero esta unidad no es práctica en el mundo industrial ya que es un valor especialmente bajo de presión. Por eso se suele trabajar con otras unidades más prácticas cuyas equivalencias se muestran a continuación:

TIPOS DE PRESIONES:

En la superficie terrestre la masa de aire de la atmósfera genera una determinada presión así que hemos de tener en cuenta dicha presión para obtener otras presiones que son de nuestro interés.

De modo que pueden definirse las siguientes presiones:

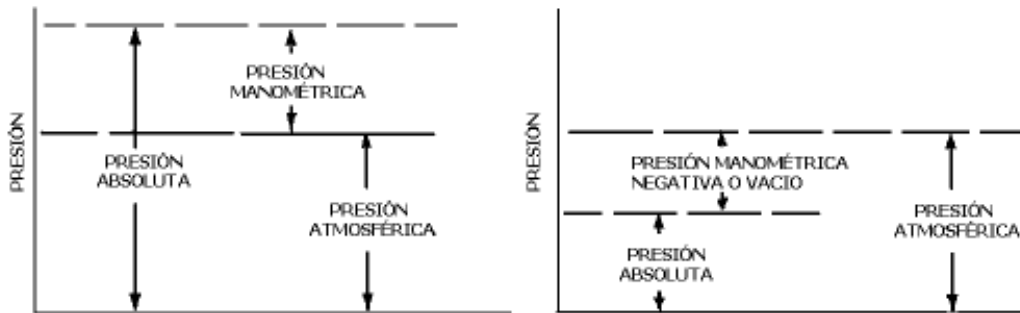


Ilustración 1.4.2.1. Tipos de presiones.

1.4.2.1. Transmisores de presión

Estos sensores se componen de una membrana flexible que es capaz de deformarse cuando se le aplica una determinada presión. Sobre esta membrana puede haber un elemento piezorresistivo o una galga extensométrica que son capaces de variar sus propiedades en función de la deformación experimentada y generar una señal eléctrica medible cuya magnitud depende del grado de dicha deformación.



La constitución de la mayoría de estos sensores suele ser bastante robusta ya que están diseñados para funcionar en ambientes industriales.

Ilustración 1.4.2.2. Constitución típica de los transmisores de presión industriales.

Y normalmente tienen dos tomas de presión ya que es bastante usual trabajar con presiones diferenciales.

Nuestros transmisores de presión:



Ilustración 1.4.2.3. Nuestro transmisor de presión atmosférica.

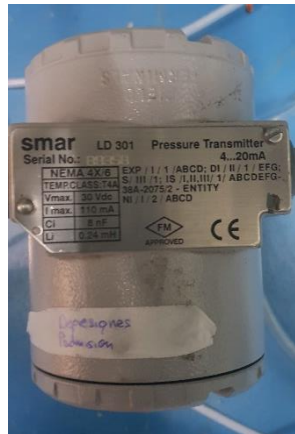


Ilustración 1.4.2.4. Nuestro transmisor de presión en el colector de admisión.



Ilustración 1.4.2.5. Nuestro transmisor de presión en el tubo de escape.

1.4.2.2. Presión cilindro

Para la medida de dicha magnitud en el interior de nuestro cilindro se requiere una instrumentación especial debido a las altísimas presiones y temperaturas que se alcanzan en dicho punto y a la criticidad de esta parte del motor. Así que el principio de funcionamiento de este sensor difiere de los anteriores.

Principio de funcionamiento:

Por ello disponemos de una bujía especial con dos cometidos: Por un lado, se comporta como una bujía convencional generando la chispa en el momento exacto para generar la ignición. Y por otro lado está equipada con una pequeña placa circular constituida de material piezoeléctrico que queda completamente introducida en el cilindro y es capaz de captar las altísimas presiones que se alcanzan en la fase de expansión.



Ilustración 1.4.2.6. Sensor de presión cilindro.

1.4.2.2.1. Efecto piezoeléctrico

Este fenómeno se manifiesta únicamente con determinados materiales los cuales pueden ser naturales o sintéticos y consiste en que si se aplican sobre ellos tensiones mecánicas y se llegan a deformar aparece sobre su superficie una diferencia de potencial eléctrico que deriva en una descarga.

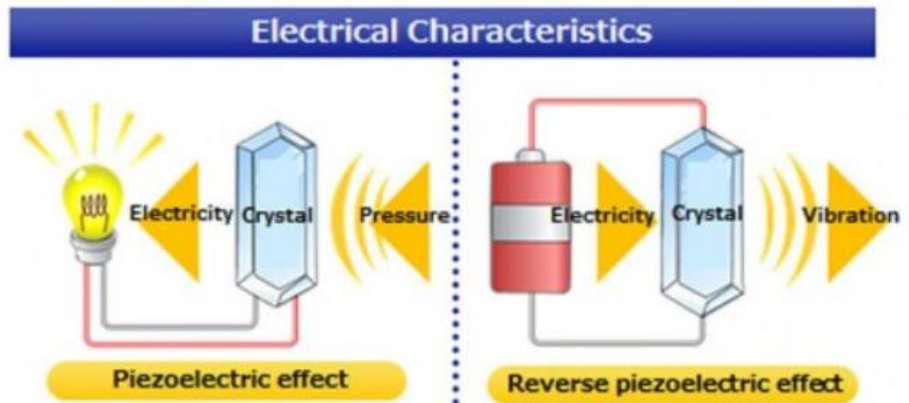


Ilustración 1.4.2.2.1. Fenómeno físico de piezoelectricidad.

Este efecto también se da a la inversa, si se le aplica una descarga eléctrica a dicho material podremos conseguir que se deforme.

1.4.3. Par.

El par motor o el momento es simplemente el producto escalar de un vector posición y un vector fuerza.

$$M = \vec{F} \cdot \vec{r}$$

Dicho en otras palabras, es una fuerza aplicada a una cierta distancia.

Su unidad en el Sistema Internacional es el Newton metro y es una magnitud muy utilizada en sistemas mecánicos donde están presentes ejes giratorios.

1.4.3.1. Torquímetro

En nuestro proyecto disponemos de un sensor que mide el par motor en la rueda trasera de nuestra moto. Dicho sensor se compone de un rotor intercalado en mitad del eje cuyo par queremos medir y un estátor fijo y separado físicamente del eje giratorio.

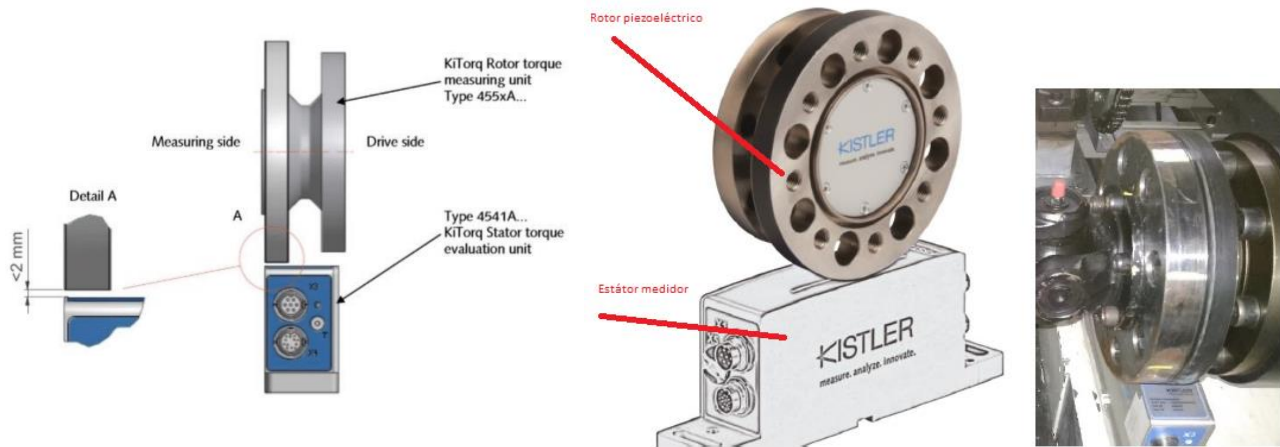


Ilustración 1.4.3.1. Torquímetro empleado en los ensayos.

El principio de funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico. Cuando el eje está transmitiendo par por el rotor del sensor se retuerce internamente por dicha acción y en su interior hay unas bandas de material piezoeléctrico que con dicha deformación generan una señal eléctrica que es recogida por el estátor. Y mediante dicha señal se infiere el par transmitido por el eje.

La enorme ventaja de este sensor es que mediante su sistema de medición no interviene ni altera la magnitud a medir ya que no hay interacción física entre ellos.



Ilustración 1.4.2.2. Transmisiones de cadena.

1.4.4. Velocidad.

Uno de los parámetros más relevantes en el mundo de la automoción es la velocidad a la que se mueven los vehículos. Usualmente dicha velocidad se define como la variación del espacio recorrido por un móvil dividido por el tiempo empleado en cubrir dicha distancia.

Pero en el banco de ensayos en el cual nuestro motor está fijado dicha velocidad habrá que inferirla a través de la velocidad angular de algún eje en movimiento conectado al motor.

Esta última velocidad se define como la variación del ángulo del eje que gira dividido del tiempo empleado en hacerlo. En el sistema internacional dicha velocidad angular se expresa en radianes por segundo:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} \frac{[rad]}{[s]}$$

Pero por costumbre no se emplean estas unidades en automoción usándose casi en exclusiva las unidades de revoluciones o giros completos del eje en un minuto que son las “revoluciones por minuto” o “RPM”.

Para captar dichos giros en nuestro banco disponemos de dos equipos los cuales medirán en diferentes puntos dichas velocidades. Por un lado, el torquímetro Kistler antes mencionado también es capaz de medir la velocidad a la que está girando su rotor así que aprovecharemos esta posibilidad para medir la velocidad del eje del freno dinamométrico la cual se relaciona con la velocidad de giro del cigüeñal del motor mediante las siguientes fórmulas lineales:

R1	Cigüeñal - Caja de cambios		R2	Caja de cambios - Eje piñón		R3	Eje piñón - Eje rueda		Rt	TOTAL
	73/24	3,042	1°	34/12	2,833		48/14	3,429	1°	29,547
			2°	30/16	1,875				2°	19,554
			3°	30/22	1,364				3°	14,221
			4°	24/21	1,143				4°	11,918
			5°	22/23	0,957				5°	9,975
			6°	21/25	0,84				6°	8,76

Tabla 1.4.4.1. Relaciones de transmisión para la caja de cambios de nuestro motor.

Y por otro lado disponemos de un encóder conectado directamente al eje del cigüeñal.

1.4.4.1. Encoder

Un encóder es un dispositivo que se asemeja a un motor eléctrico de corriente continua de pequeñas dimensiones el cual dispone de un eje que cuando gira genera impulsos eléctricos.

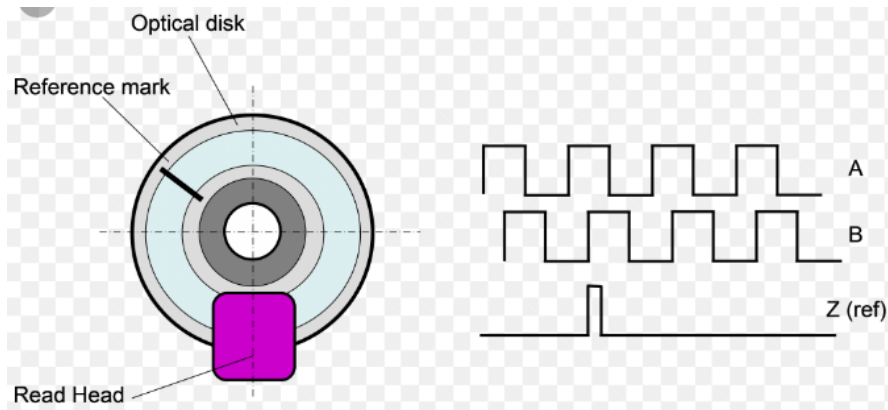


Ilustración 1.4.4.1. Pulsos TTL del encoder.

Y a partir de dichos impulsos se pueden caracterizar las velocidades angulares.

El encoder es el encargado de medir la velocidad angular del eje del cigüeñal. Para ello se acopla directamente al eje del cigüeñal y de esta forma ambos ejes giraran solidarios.



Ilustración 1.4.4.2. Encoder empleado en los ensayos.

El encoder solo genera pulsos de señales conforme gira por ello hemos de conectarlo al osciloscopio para poder ser capaces de determinar el intervalo de tiempo entre pulsos.

De esta forma seremos capaces de determinar la velocidad a la que gira el encoder y en consecuencia a la velocidad a la que gira el eje del cigüeñal.

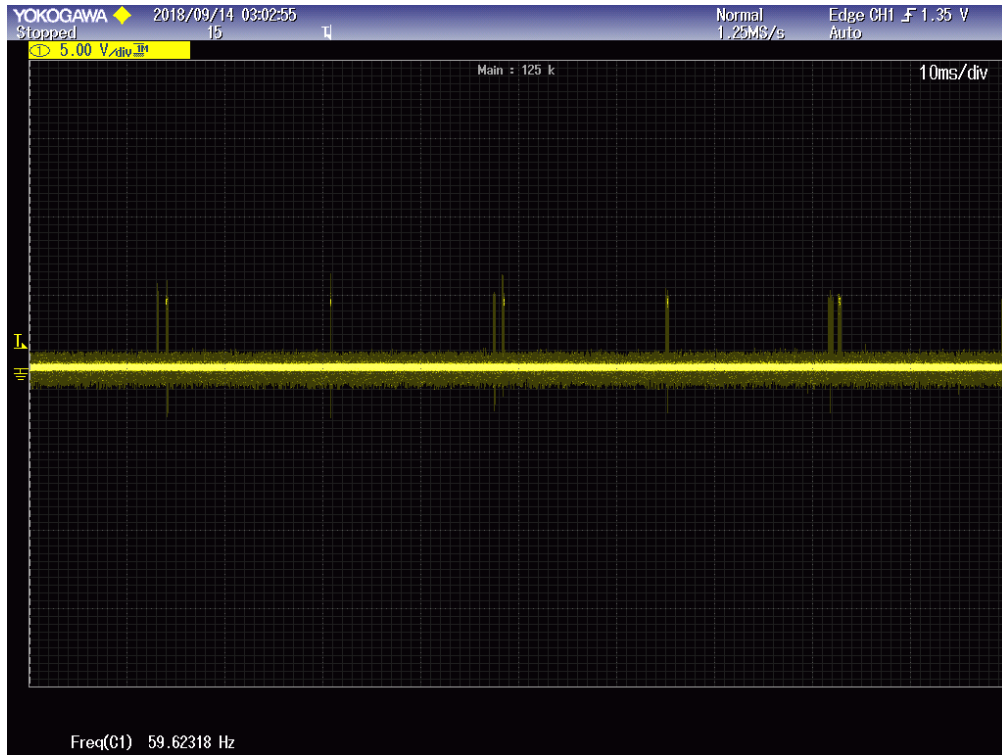


Ilustración 1.4.4.3. Pulsos del encoder captados con el osciloscopio.

1.4.5. Flujo másico.

El flujo másico se define como la cantidad de material de una sustancia (normalmente un fluido) que atraviesa una cierta superficie genérica e imaginaria en la unidad de tiempo.

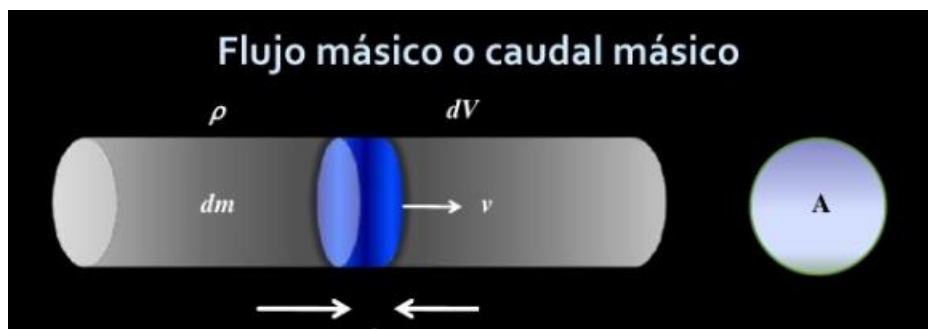


Ilustración 1.4.5.1. Definición de flujo másico.

$$dm = \rho * A * dl$$

$$dm = \rho * A * v_{\text{fluido}} * dt$$

Siendo la densidad del fluido y A el área de la sección.

$$dm = \rho * \iint_A v(t, x, y) * dx * dy * dt$$

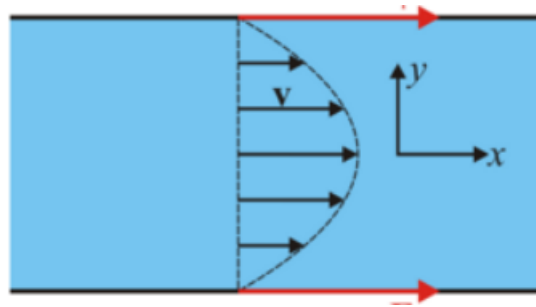


Ilustración 1.4.5.2. Representación del flujo en una superficie genérica.

$$\frac{dm}{dt} = \rho * \iint_A v(x, y, t) dx * dy$$

Donde despreciando fenómenos de capa límite y un flujo totalmente laminar para unas condiciones estacionarias el flujo másico toma la siguiente forma:

$$\dot{m} = \rho * A_{\text{sección}} * v$$

1.4.5.1. Aceleración de Coriolis.

Para introducir este fenómeno físico empezaré describiendo qué es un sistema de referencia no inercial. Pues bien, dicho sistema es aquel que está sometido a un vector aceleración genérico. Es decir, que la velocidad de dicho sistema puede variar tanto en módulo como en dirección. Esto es importante ya que la aceleración de Coriolis solo aparece en dichos sistemas y se manifiesta sobre los cuerpos que se están moviendo con respecto a los mismos.

Un ejemplo de dicho fenómeno sería el siguiente. Si establecemos un sistema de referencia con base en la superficie terrestre obtenemos un sistema de referencia no inercial ya que La Tierra está en rotación. Y ahora bien, si nos disponemos a disparar un proyectil desde el ecuador con dirección norte, en el momento de la salida del cañón dicho proyectil tendrá una velocidad con dirección sur-norte y la misma velocidad de rotación de la tierra en e.

Conforme avanza el proyectil la velocidad de rotación de la superficie de la tierra va disminuyendo mientras que la velocidad este-oeste del proyectil permanece invariable.

Entonces un observador que se encontrara sobre Europa vería que el proyectil se va curvando en el cielo hacia la izquierda. Es decir, que el proyectil se estaría desviando hacia el este.



$$\vec{F}_{Coriolis} = -2 \cdot m(\vec{\omega} \times \vec{v})$$

Donde m es la masa en Kg del objeto.

Es el vector velocidad angular del sistema de referencia no inercial respecto de un sistema de referencia inercial.

Es el vector velocidad del cuerpo.

Y debido al producto vectorial de la fórmula y a la regla de la mano derecha la fuerza de Coriolis siempre actuará perpendicularmente a la dirección del movimiento del cuerpo.

Pues nuestro medidor de flujo másico se basa en este principio para dicha medida y está formado por dos tubos paralelos en forma de U que tienen una cierta elasticidad. A estos tubos se les hace oscilar a su frecuencia natural al igual que si se hace vibrar un diapasón. Cuando no discurre fluido la vibración de ambos está en fase y ambos tubos permanecen sin deformarse.

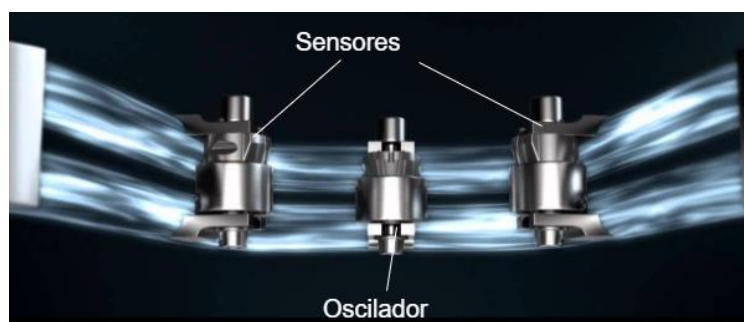


Ilustración 1.4.5.4. Constitución del medidor de flujo másico de Coriolis.

Pero cuando empieza a circular fluido por los tubos oscilantes éste se ve sometido a una fuerza de Coriolis también alternante que depende de la velocidad de dicho fluido, de su masa y de la vibración de los tubos.

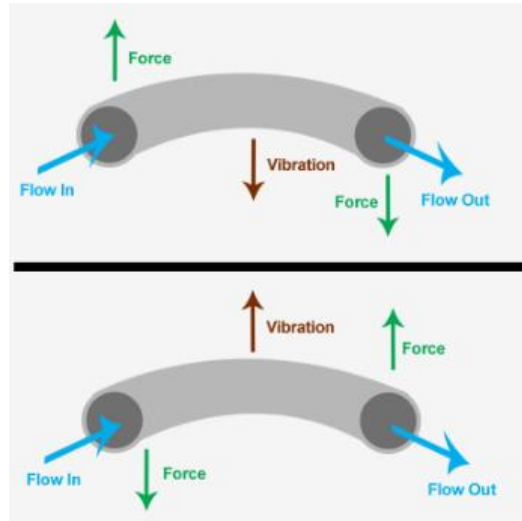


Ilustración 1.4.5.5. Diagrama de fuerzas en los conductos del medidor.

De modo que como se aprecia en la figura éstos se deforman y se produce un desfase entre ellos. Este desfase es recogido por unos sensores y el medidor es capaz de determinar el flujo másico.

Nosotros disponemos de dicho medidos el cual se haya confinado dentro de un pequeño armario metálico el cual sirve de protección.



Ilustración 1.4.5.6. Medidor de flujo másico empleado y su esquema básico.

1.4.6. Concentración o cantidad de un gas en una mezcla de gases.

En una mezcla de gases existen varias formas de caracterizar la presencia o proporción de cada uno de ellos.

Usualmente dicha magnitud se expresa como fracción molar o como concentración en tanto por ciento.

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

Siendo n_i el número de moles de la sustancia, m_i la masa de la sustancia y M_i la masa molar.

$$y_i = \frac{n_i}{M_t}$$

Definición del sensor

Para determinar dichas concentraciones disponemos de un analizador de gases que es capaz de detectar las concentraciones de O_2 , CO_2 y CO en tanto por ciento como las partes por millón de hidrocarburo en los gases de escape.

Ilustración 1.4.6.1. Analizador de gases Horiba Mexsa.



El principio de funcionamiento para determinar la concentración de cada gas es diferente debido a la propia naturaleza de los mismos. Por un lado, para la medición de la concentración del oxígeno se utiliza una célula electroquímica la cual veremos en el siguiente punto.

Y para el resto de gases se utiliza la técnica de la Espectropía de Absorción.

Esta técnica consiste en la medición cuantitativa de la absorción que produce la materia cuando se la somete a radiación con unas determinadas longitudes de onda y frecuencias.

La disposición más común es dirigir un haz de radiación generado a una muestra y detectar la intensidad de la radiación que pasa a través de ella. La energía transmitida se puede utilizar para calcular la absorción.

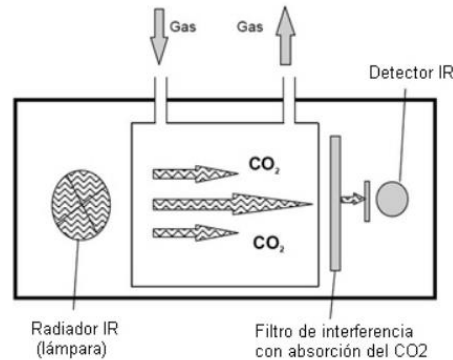


Ilustración 1.4.5.2. Principio de funcionamiento del analizador.

Las frecuencias donde se producen las líneas de absorción, así como sus intensidades relativas, dependen principalmente de la estructura electrónica y molecular de la muestra. Las frecuencias también dependerán de las interacciones entre las moléculas en la muestra, la estructura cristalina en los sólidos y de varios factores ambientales (por ejemplo, temperatura, presión, campo electromagnético). Las líneas también tendrán un ancho y una forma que se determinan principalmente por la densidad espectral o la densidad de los estados del sistema.

1.4.7. Concentración de oxígeno

Concentración de oxígeno en los gases de escape: Esta magnitud es muy importante en el funcionamiento del motor ya que da cuenta de cómo se está produciendo la combustión del combustible con el oxígeno en el interior del cilindro. Según hemos visto anteriormente si introducimos en el cilindro más oxígeno del necesario una parte se combinará con los átomos de carbono del combustible y otra parte quedará sin reaccionar saliendo del cilindro inalterado.

Para captar dicha magnitud haremos uso de una sonda lambda la cual viene a ser básicamente un medidor de oxígeno y está formada por un electrolito sólido de circonio el cual a partir de 300 °C es conductor iónico de oxígeno. Esta sonda se instala normalmente en el colector de escape o en el tubo de escape y siempre antes del catalizador para tener un control sobre el proceso de combustión que se produce dentro del motor.



Ilustración 1.4.7.1. Sonda lambda.

El principio de funcionamiento consiste en muestrear la mezcla de gases provenientes del cilindro y compararla con una muestra de aire atmosférico.

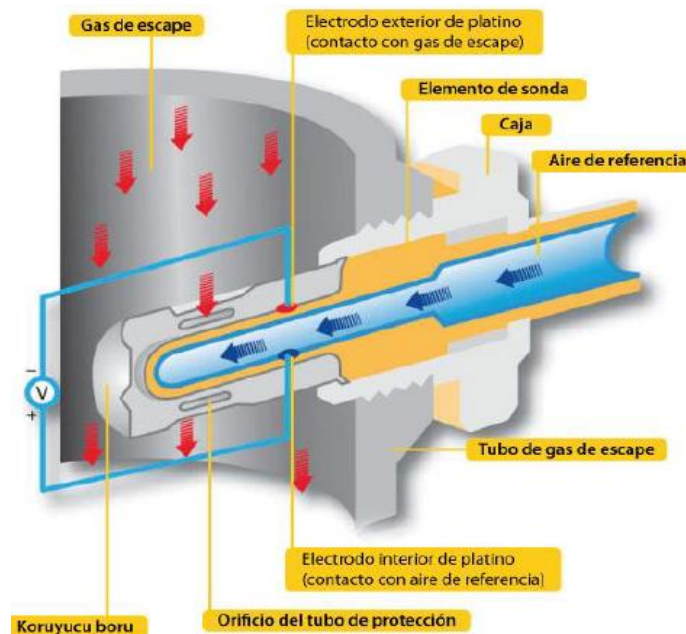


Ilustración 1.4.7.2. Principio de funcionamiento de la sonda lambda.

Como entre ambas corrientes la concentración de oxígeno es diferente aparece un flujo de iones de este elemento que atraviesan el sustrato desde el aire de referencia hasta los gases de escape con el fin de equilibrar ambas concentraciones. El sustrato de óxido de circonio está además recubierto de un electrodo de platino así que cuando se produce la migración de iones aparece en él una diferencia de potencial eléctrico que depende de la diferencia de concentraciones.

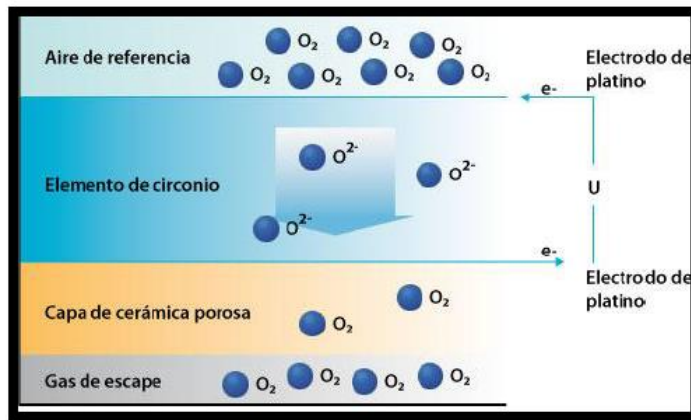


Ilustración 1.4.7.3. Potencial eléctrico creado por la migración de iones.

De esta forma dicha diferencia de potencial es prácticamente igual al factor lambda.

Como se aprecia en las imágenes anteriores la constitución de este dispositivo este elemento tiene forma circular y el punto de medición para el muestreo del gas se introduce normalmente en el tubo de escape antes del catalizador de tal forma que el mismo incorpora una rosca para su fácil instalación en este punto.



Ilustración 1.4.7.4. Constitución de la sonda.

1.4.8. Pulso de inyección.

Esta no es realmente una magnitud física como tal, pero es necesario captar dicha señal eléctrica para ser capaces de determinar la cantidad de combustible que se le está inyectando al motor en cada ciclo.

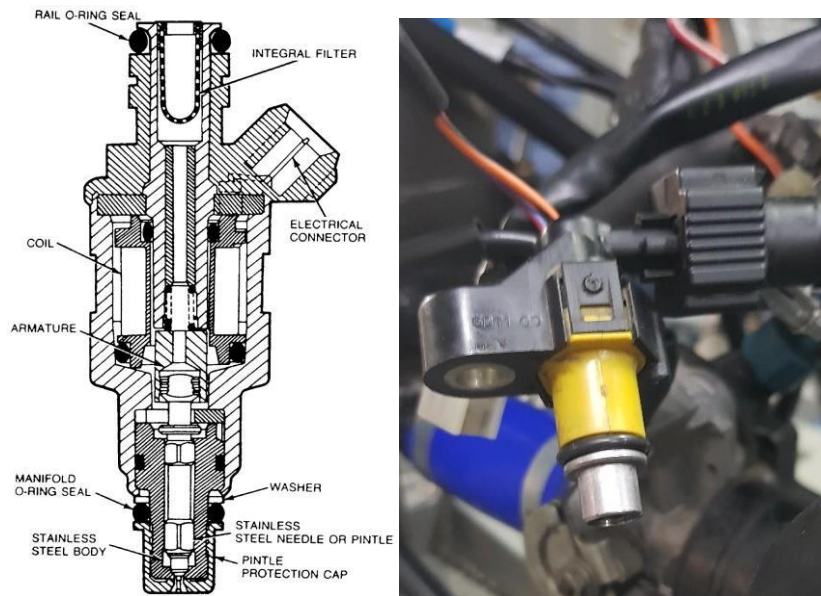


Ilustración 1.4.8.1. Constitución del inyector de la motocicleta.

Como se aprecia en las imágenes el inyector viene a ser básicamente una electroválvula que se abre y cierra cíclicamente para permitir el paso de combustible.

Su esquema electrónico es muy simple y funciona de la siguiente manera:

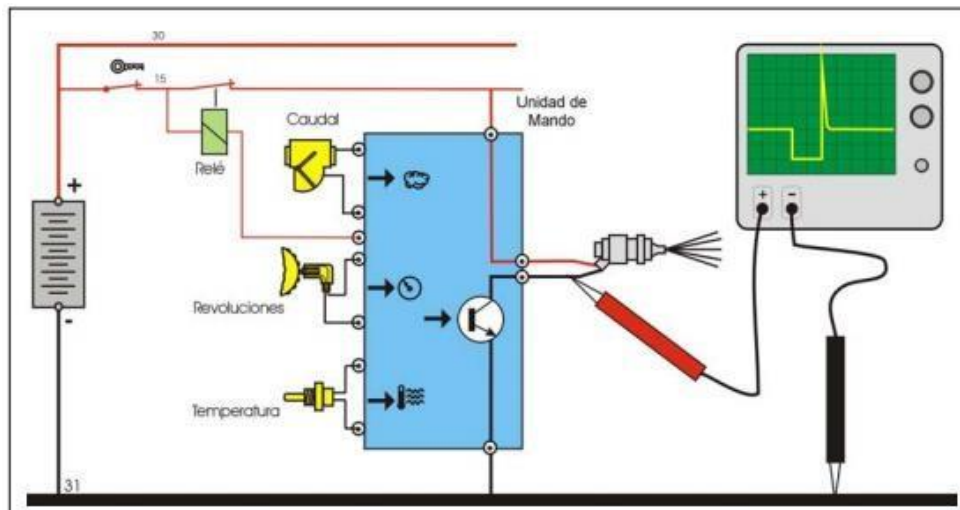


Ilustración 1.4.8.2. Esquema eléctrico del inyector.

El polo positivo del embobinado del inyector siempre se encuentra alimentado al voltaje de la batería mientras que el polo negativo se encuentra conectado a la centralita y solo cuando ella da la orden se cierra el circuito mediante la activación de la compuerta de un Mosfet de potencia que hace que circule el amperaje necesario para crear el campo magnético suficiente para vencer la fuerza del resorte y retraer la aguja para que fluya el combustible.



Ilustración 1.4.8.3. Flujo de combustible en inyectores.

De esta manera la centralita gobierna la cantidad de combustible inyectado en cada ciclo termodinámico reajustando el tiempo de apertura del inyector en función de las condiciones de funcionamiento del motor.

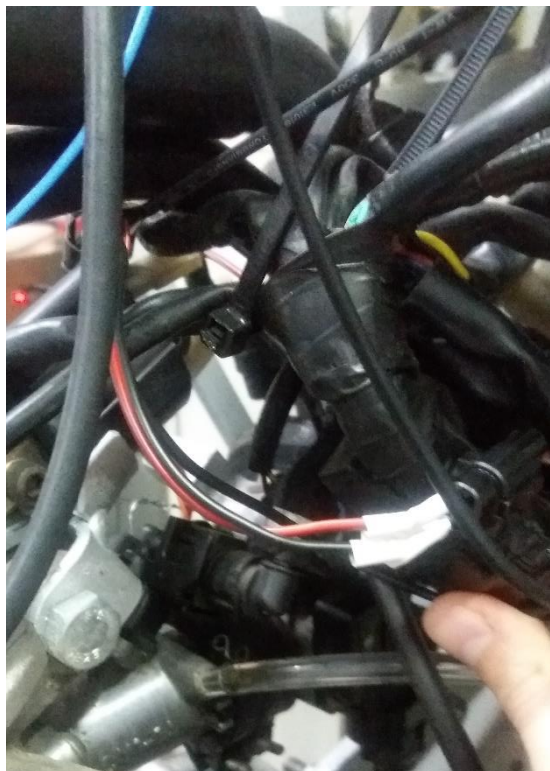


Ilustración 1.4.8.4. Puente eléctrico para pinchar la señal del inyector.

Su constitución interna es bastante simple. Por un lado la parte eléctrica no es más que un solenoide que cuando circula intensidad crea un campo magnético lo suficientemente potente como para contrarrestar la fuerza ejercida por el resorte.

Mientras que circule corriente por el embobinado el inyector permitirá el paso de combustible, y solo cuando esta cesa se producirá el corte por la acción del resorte que accionará la aguja la cual finalmente taponará el conducto por donde circula el combustible.

1.4.9. Pulso de la bujía.

Al igual que ocurre con el pulso de inyección es necesario poder captar también el pulso de la bujía ya que el avance de encendido depende del momento exacto del chispazo.



Ilustración 1.4.9.1. Chispa entre los electrodos de la bujía.

Para ello disponemos de una pinza amperimétrica que abraza al cable de la bujía de forma que cuando el encendido genera la señal eléctrica circula una intensidad cuyo campo electromagnético es captado por dicha pinza y envía esa información directamente al osciloscopio.

Como resumen al capítulo se adjunta la siguiente tabla donde se recopilan todos los sensores empleados y la magnitud física que han de captar:

Magnitud física	Parámetro del ensayo	Sensor
Temperatura	Temperatura aire admisión	Termorresistencia
	Temperatura gases de escape	Termopar Tipo K
	Temperatura gases de escape precatizador	Termopar Tipo K
	Temperatura gases de escape poscatizador	Termopar Tipo K
	Temperatura aire ambiental de la celda de ensayos	Estación meteorológica
Presión	Presión ambiental de la celda de ensayos	Estación meteorológica
	Presión atmosférica	Transmisor de presión
	Presión aire en el colector de admisión	Transmisor de presión
	Presión gases de escape	Transmisor de presión
	Presión cilindro	Osciloscopio
Cantidad de vapor de agua en el aire	Humedad relativa de la celda de ensayos	Estación meteorológica
Par	Par en rueda	Torquímetro Kistler
Velocidad angular	Velocidad angular en rueda	Torquímetro Kistler
	Velocidad angular del cigüeñal	Encóder
Flujo másico	Consumo de combustible	Dispositivo de Coriolis
Concentración de oxígeno	Concentración de oxígeno en los gases de escape	Sonda lambda
Concentración de gas en una mezcla	Concentración de monóxido de carbono en gases de escape	Analizador Horiba Mexsa
	Concentración de dióxido de carbono en gases de escape	
	Concentración de hidrocarburos inquemados en gases de escape	
	Concentración de oxígeno en los gases de escape	
Pulso de inyección	Cantidad de combustible inyectado por ciclo	Osciloscopio
Pulso de la bujía	Avance de encendido	Osciloscopio
Potencia	Potencia del motor	Torquímetro Kistler

Tabla 1.4.1. Resumen de todos los sensores empleados en los ensayos.

1.5. Instalación de todos los sensores sobre el motor para la adquisición de parámetros.

Ahora procederé a describir la instalación de cada sensor sobre nuestro motor y la exposición de los mismos durante el presente capítulo se hará en función del lugar del motor donde se hayan colocados.

1.5.1. Colector de admisión.

Por el colector de admisión discurre el aire procedente de la atmósfera el cual tras pasar por el filtro de aire se introducirá en el cilindro para aportar el oxígeno necesario en la reacción de combustión. Es muy importante determinar las propiedades de este aire ya que de ellas dependen directamente el resto de parámetros del motor así como los productos derivados de la reacción de combustión.

Además, en función de dichas propiedades se realizarán posteriormente ciertas correcciones en los cálculos para tener en cuenta todos los factores que intervienen y así obtener los datos más fiables posibles.

Por todo ello hemos sensorizado el colector de admisión para obtener tanto la presión como la temperatura del aire tras pasar por la mariposa.



Ilustración 1.5.1.1. Detalle de la válvula de mariposa.

En el siguiente esquema se aprecia la instalación de los dos sensores en el colector:

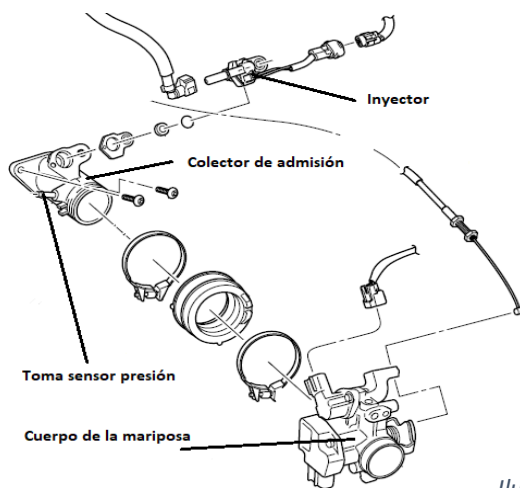


Ilustración 1.5.1.2. Esquema del colector de admisión.



Ilustración 1.5.1.3. Toma para la instalación de la termorresistencia Pt100.



Ilustración 1.5.1.4. Toma en el colector de admisión para la presión.

Como digo, para adquirir la temperatura de dicho aire se ha instalado nuestra termorresistencia Pt100 y con respecto a la presión o mejor dicho a la depresión que se produce tras la mariposa en el ciclo de admisión se ha dispuesto de un sensor de presión relativa con respecto a la presión atmosférica.

Aquí debo hacer una aclaración:

En condiciones normales de funcionamiento, por ejemplo, a 5000 RPM se va a producir un ciclo termodinámico completo 2500 veces por minuto y, en consecuencia, la fase de admisión va a ocurrir 42 veces por segundo.

Esto ocasiona que el flujo que circula por el colector sea no estacionario con unas oscilaciones de presión incapaces de ser captadas por nuestro sensor. De modo que el valor que nos esté mostrando será un valor característico del punto de funcionamiento, pero no un valor real de presión.

1.5.2. Tubo de escape.

Para la instalación de todos estos sensores tuvimos que desmontar el tubo de escape y llevarlo a un mecánico metalúrgico que se encargó de perforarlo en ciertos puntos para posteriormente soldarle la racorería correspondiente a cada sensor.



Ilustración 1.5.2.1. Tubo de escape con los sensores instalados.

En la anterior imagen se aprecia con total claridad el orificio donde va montada la sonda lambda, los termopares y la toma del analizador de gases. Además, para una mayor comprensión y visualización de este punto se adjunta el siguiente esquema:

Número	Sensor
1	Termopar
2	Sonda lambda
3	Sensor de presión
4	Termopar precatalizador
5	1º Toma para el analizador de gases HORIBA MEXSA.
6	2º Toma para el analizador de gases HORIBA MEXSA.
7	Termopar postcatalizador.

Tabla 1.5.2.1. Lista de sensores instalados en el tubo de escape.

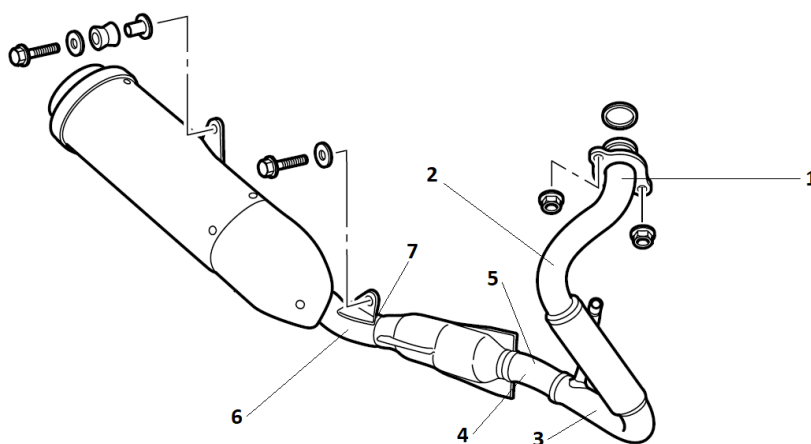


Ilustración 1.5.2.2. Esquema de instalación de los sensores en el tubo de escape.

1.5.3. Cigüeñal.

En esta parte del motor se conecta de forma solidaria el encoder y para ello se ha realizado un útil específico para dicha conexión el cual se coloca en la parte del motor que se muestran en la siguiente imagen:

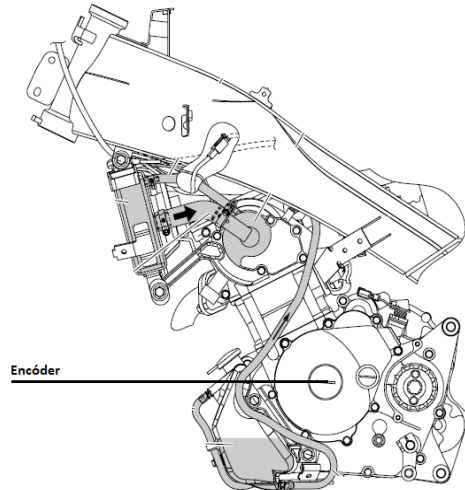


Ilustración 1.5.3.1. Ubicación del encoder sobre el motor.

Para ello se desenrosca un pequeño tapón de plástico y se aprovecha dicha rosca para acoplar nuestro útil el cual sirve de soporte para el encoder.

De esta forma captaremos la velocidad del cigüeñal con total y absoluta precisión ya que ambos ejes girarán exactamente con la misma velocidad.



Ilustración 1.5.3.2. Acoplamiento flexible del encoder.



Ilustración 1.5.3.3. Soporte de fijación del encoder.

Vemos además que el acoplamiento cuenta con una parte flexible la cual se encarga de absorber las fuertes vibración que se producen en este punto del motor.

1.5.4. Bancada del motor.

En esta parte del sistema se haya colocado el sensor de Coriolis el cual se encarga de determinar el caudal de combustible que le está llegando al cilindro procedente del depósito.

Para ello se ha de realizar un puente entre el depósito de combustible y el cuerpo de la mariposa donde se haya el inyector.



Ilustración 1.5.4.1. Depósito de gasolina.

Dicho sensor se coloca entonces en serie con el conducto original del combustible.



Ilustración 1.5.4.2. Instalación del medidor del flujo másico sobre la bancada.

Sensor	Ubicación
Termorresistencia	Colector de admisión
Termopar Tipo K	Inicio del tubo de escape
Termopar Tipo K	Tubo de escape, antes del catalizador
Termopar Tipo K	Tubo de escape, despues del catalizador
Estación meteorológica	Dentro de la celda de ensayos
Transmisor de presión atmosférica	Dentro de la celda de ensayos
Transmisor de presión de admisión	En el colector de admisión tras la mariposa
Transmisor de presión gases de escape	En el tubo de escape tras el codo
Torquímetro Kistler	Intercalado en el eje del freno dinamométrico
Encóder	Instalado en el eje del cigüeñal
Dispositivo de Coriolis	Instalado sobre la propia bancada del motor
Sonda lambda	En el tubo de escape antes del catalizador
Analizador Horiba Mexsa	En el tubo de escape antes del catalizador

Tabla 1.5.1. Resumen de la ubicación de cada sensor.

1.6. Puesta en marcha, conexión y calibración de la instrumentación de medida.

Una vez instalados todos los sensores sobre nuestro motor llega el momento de alimentarlos para verificar que están funcionando correctamente para posteriormente iniciar el proceso de calibración.

Y para ello queda describir los equipos auxiliares sin los cuales este propósito sería imposible.

1.6.1 Equipos auxiliares.

1.6.1.1. Osciloscopio

Este equipo es totalmente imprescindible en los ensayos puesto que con él captamos y monitorizamos en tiempo real las señales de inyección, bujía, presión cilindro y velocidad angular del cigüeñal.

Una captura típica de esta señales se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 1.6.1.1. Osciloscopio empleado en los ensayos.



Ilustración 1.6.1.2. Captura de señales mediante el osciloscopio en uno de los ensayos.

1.6.1.2. Enfriador de gases de escape

El enfriador es como su propio nombre indica un dispositivo que se encarga de hacer descender la temperatura de los gases de escape con el objetivo de condensar el vapor de agua fruto de la reacción de combustión y poder analizar el flujo gaseoso en base seca.

Temperatura de rocío

Esta es la temperatura límite a partir de la cual se inicia la condensación del vapor de agua presente en el aire. Para determinar dichos valores se han de acudir a las tablas de propiedades termodinámicas del agua para su estado de saturación o mezcla bifásica.

Este estado particular de la sustancia se caracteriza porque la podríamos encontrar tanto totalmente en estado líquido, totalmente en estado gaseoso o como una mezcla de ambas fases en cualquier proporción. Esto lo podemos ver de forma cotidiana en los mecheros cuando una parte del gas está licuado y la otra parte está en forma gaseosa.

Todo esto es para sustancias puras pero cuando hablamos de mezclas de gases la cosa cambia un poco. Siguiendo la teoría () todos los gases de la mezcla están a la misma temperatura y cada uno de ellos ejerce una presión parcial (que es la que ejercerían si estuvieran solos en el volumen) que depende exclusivamente de su fracción molar.

La importancia de entender esto radica en que las propiedades termodinámicas de cada gas dependen exclusivamente de la temperatura de la mezcla y de la presión parcial de cada uno. Así que la temperatura que hemos de alcanzar para que se produzca la condensación del agua depende de la fracción molar, y en consecuencia de su presión parcial.

Conociendo la fracción molar podemos obtener la presión parcial, y con esa presión parcial acudimos a las tablas de saturación del agua. Estas tablas se grafican en función de un solo parámetro, o bien la temperatura de saturación o bien la presión de saturación. Nosotros acudiremos a estas últimas y una vez que sepamos la temperatura de rocío sabremos a qué temperatura se iniciará la condensación.

Pero hay que tener en cuenta un aspecto muy importante y es que a medida que vaya condensando vapor irá disminuyendo la fracción molar y con ella la presión parcial. Y si se mantiene la temperatura pero decae la presión no se condensará más vapor. Por eso es necesario bajar aún más la temperatura o ir buscando el valor de la temperatura de rocío en función de la disminución de la fracción molar.



Ilustración 1.6.1.3. Enfriador de gases de escape.

1.6.1.3. Amplificador de carga

Este dispositivo complementa al sensor de presión del cilindro y su función consiste en amplificar la señal eléctrica del elemento piezoeléctrico y tratarla para que sea apta para su lectura por parte del osciloscopio.

Cuando se produce la inflamación del combustible en el interior del cilindro se alcanza la máxima presión del ciclo la cual actúa sobre la pequeña placa piezoeléctrica de tal forma que aparece una descarga eléctrica. Dicha descarga tras pasar por el amplificador de carga es tratada y convertida a una señal eléctrica en voltaje con la siguiente forma de onda:



Ilustración 1.6.1.4. Amplificador de carga.

1.6.1.4. Bomba impulsora de gases de escape:



El equipo analizador de gases de escape necesita un cierto caudal constante de la mezcla de gases para muestrear en continuo las diferentes concentraciones. Por ello se optó por instalar esta bomba para conseguir enviar un suministro constante de flujo al analizador.

Así que el cometido de la bomba de la imagen consiste en extraer la mezcla de gases directamente del tubo de escape y enviarla al analizador. Por lo que su instalación se ha realizado en serie a estos dos elementos.

Por último podemos decir acerca de ella que se alimenta directamente de la red eléctrica convencional.

Ilustración 1.6.1.5. Bomba impulsora de los gases de escape.

1.6.1.5. Sistema de refrigeración del sensor de presión en el escape.

Debido a que el transmisor de presión de los gases de escape se haya justo a la salida del cilindro está expuesto a altísimas temperaturas, con lo que para que pueda operar de forma adecuada dispone de un circuito por el cual circula agua continuamente que mantiene la temperatura del mismo en un rango aceptable.

El equipo de la figura funciona enviando un caudal constante de agua al sensor y enfriando el agua que viene caliente del mismo.



Ilustración 1.6.1.6. Bomba del circuito de refrigeración del transmisor de presión del tubo de escape.

1.6.1.6. Datalogger

Este equipo se encarga principalmente de recibir las señales eléctricas (tanto en voltaje como en intensidad) de todos los sensores para traducirlas a las magnitudes físicas reales.



Ilustración 1.6.1.7. Datalogger empleado en los ensayos.

Para ello el datalogger viene acompañado de un software el cual nos permite configurar y calibrar cada sensor para así poder establecer las relaciones entre las magnitudes físicas reales y las señales asociadas.

Por otro lado, el conexionado de cada sensor se realiza directamente sobre las pastillas que se ven en la siguiente imagen.

Como se aprecia todos los cables de los sensores llegan hasta las mismas y es ahí donde elegimos cada canal para cada sensor.

Una vez conectado un sensor hemos de abrir el programa informático e indicarle al datalogger en qué canal se ha conectado y cuáles son sus rangos de medida y los rangos de la señal de salida.



Ilustración 1.6.1.8. Pastillas de conexión del datalogger.

1.6.2. Conexionado y calibración de todos los sensores.

Es necesario ser capaces de captar todas las señales eléctricas provenientes de todos los sensores instalados para recopilar todos los parámetros relativos al funcionamiento del motor, y para ello requerimos de la conexión a sus correspondientes equipos receptores de señal.

Por otro lado, algunos de ellos requieren de una determinada calibración para que midan las magnitudes físicas de forma correcta. Así que en las siguientes líneas se detallan las conexiones y procedimientos de calibración de los mismos.

1.6.2.1. Conexionado y calibración de los termopares.

El conexionado de estos dispositivos es muy simple ya que se componen únicamente de dos hilos los cuales van respectivamente conectados al canal alto y bajo del datalogger.

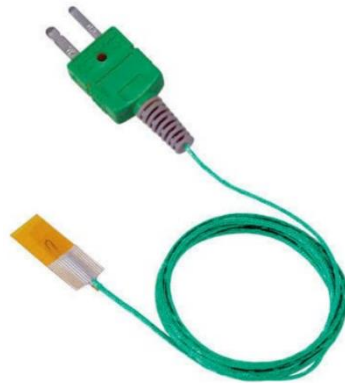


Ilustración 1.6.2.1. Termopar.

Cabe señalar que la longitud de los cables teóricamente no tiene influencia en la medición ya que podemos suponer que el datalogger tiene impedancia interna infinita así que no debería haber intensidad en dichos cables y en consecuencia no debería haber caída de tensión asociada a la resistencia eléctrica. Así que pueden tener una la longitud indeterminada o no es necesario que estén equilibrados.

Con respecto a la calibración, estos dispositivos no requieren de tal procedimiento y es suficiente con indicarle al datalogger el tipo de termopar del que se trata.

Tipo termopar	Metales	Rango temperatura
B	+ Platino – 30% Rodio - Platino – 6% Rodio	0 + 1700 °C
C	+ Tungsteno – 5% Renio - Tungsteno – 26% Renio	0 + 2320 °C
E	+ Níquel – Cromo - Cobre – Níquel	-200 + 900 °C
J	+ Hierro - Cobre – Níquel	0 + 750 °C
K	+ Níquel – Cromo - Níquel – Aluminio	-200 + 1250 °C
N	+ Níquel – 14,2% Cromo – 1,4% Silicio - Níquel – 4,4% Silicio – 0,1% Magnesio	-200 + 1250 °C
R	+ Platino – 13% Rodio - Platino	0 + 1450 °C
S	+ Platino – 10% Rodio - Platino	0 + 1450 °C
T	+ Cobre - Cobre – Níquel	-200 + 350 °C

Tabla 1.6.2.1. Tipos de termopares.

Como se aprecia en la tabla adjunta existen múltiples tipos de termopares en función del material del que están hechos y el color del cable que recubre los hilos es indicativo del tipo de material estableciéndose un código universal.

Y en nuestro caso nosotros empleamos tres termopares del tipo k.

1.6.2.2. Conexión y calibración de la termorresistencia Pt100.

El conexionado de la termorresistencia sí que guarda diferencias con respecto a los termopares. Como se ha descrito anteriormente nuestra Pt100 dispone de 4 hilos, dos de medición del voltaje y los otros dos restantes son los encargados de la inyección de intensidad a la misma.

Así que para conectarlo correctamente al datalogger habrá que configurarlo indicándole explícitamente que el sensor es efectivamente una Pt100 de 4 hilos y él mismo automáticamente reservara 2 canales.

Si recordamos el esquema eléctrico expuesto en capítulos anteriores los dos cables rojos son puntos eléctricos del circuito equivalentes y lo mismo ocurre con los negros. Así que para conectar la Pt100 se coge un cable rojo y otro negro cualesquiera y se conectan al canal de medición del datalogger y los dos cables rojo y negro restantes se conectan juntos al canal que nos haya indicado previamente el datalogger.



Ilustración 1.6.2.2. Termorresistencia Pt100.

La termorresistencia tampoco requiere de una calibración específica, basta con indicarle al datalogger que se trata de una Pt100 de 4 hilos y ya está lista para medir.

1.6.2.3. Transmisores de presión.

Existen diversos transmisores de presión que cuentan con diferentes números de hilos en función de si la señal es en voltaje o en intensidad. Por lo que los conexionados serán diferentes dependiendo del tipo de transmisor.

Transmisores de 4 hilos: En el caso de estos transmisores el esquema típico de conexionado se muestra en la siguiente ilustración:

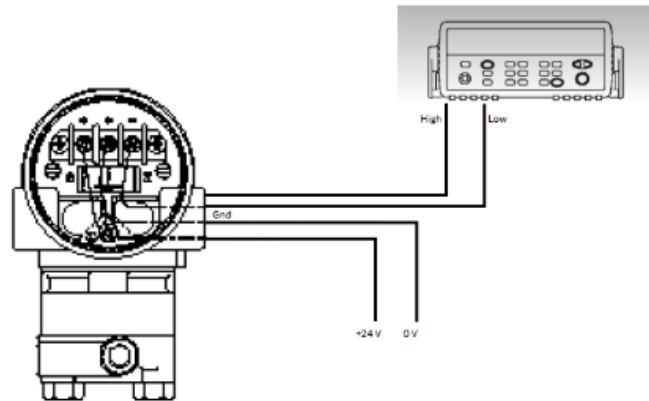


Ilustración 1.6.2.3.1. Transmisor de presión de 4 hilos.

Podemos decir que su circuito eléctrico interno está dividido en dos subcircuitos aislados entre sí. Quedando por un lado el circuito de alimentación del propio sensor y por otro lado el circuito de medición.

Transmisores de 3 hilos: En el caso de que los transmisores de presión dispongan de tres hilos éstos ofrecerán una salida en voltaje y su esquema típico se aprecia en la siguiente figura:

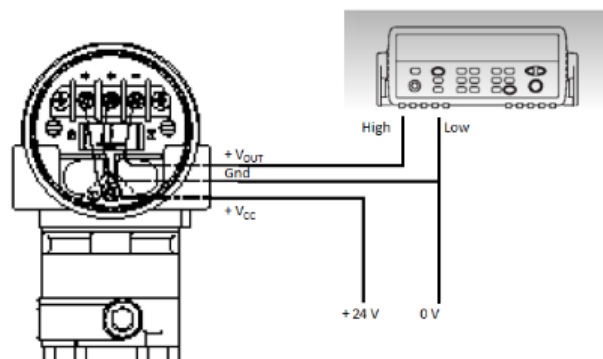


Ilustración 1.6.2.3.2. Transmisor de presión de 3 hilos.

En este caso el circuito de alimentación y el de señal del transmisor están separados pero comparten el cable de masa. Por eso el hilo de alimentación del transmisor va conectado directamente a los 24 voltios de alimentación y el de señal va conectado al positivo del datalogger. Finalmente, para cerrar ambos circuitos eléctricos, tanto el del transmisor como el del datalogger se comparte el cable de masa.

Transmisores de 2 hilos: En el caso de los transmisores de presión de dos hilos se trata de transmisores cuya señal es en intensidad cuya magnitud variará entre los 4 y los 20 miliamperios en función de la intensidad de la presión.

El esquema de conexión se aprecia en la siguiente figura donde se conecta el hilo positivo del sensor a la alimentación de 24 voltios y el hilo negativo se conecta al positivo del datalogger. Y finalmente para cerrar el circuito eléctrico se conecta el negativo del datalogger a masa.

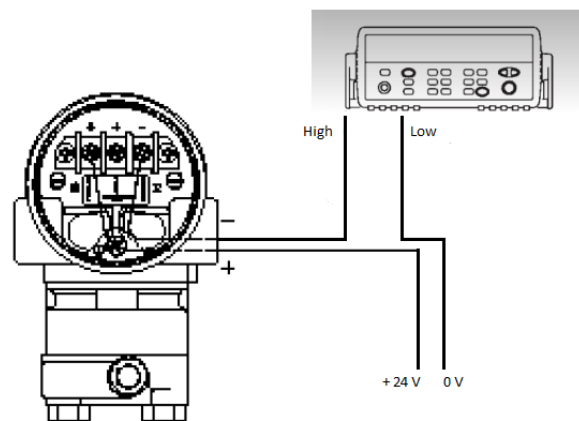


Ilustración 1.6.2.3.3. Transmisor de presión de 2 hilos.

La calibración de estos sensores se realiza desenroscando su tapa y accediendo a su panel de conexiones. Por lo general dispondrán de un tornillo que permite hacer ciertos ajustes de medición.

Si se trata de un transmisor diferencial se procederá dejando libres sus dos tomas de presión y girando el tornillo que acabamos de mencionar.

1.6.2.4. encoder.

El encoder se conecta al osciloscopio puesto que se generan pulsos que depende de la velocidad de giro del cigüeñal y debido a las altas frecuencias de los mismos solo podemos captarlos mediante el osciloscopio. Para ello se emplea cualquiera de los de los 4 canales de los que dispone.

El encoder no requiere de una calibración como tal pero para nuestro proyecto tuvimos que hacer un ajuste mediante el cual tratamos de sincronizar cualquiera de los múltiples pulsos que genera el mismo durante el giro completo de su eje con el punto muerto superior del pistón.

Esto es muy importante para que todas las medidas del osciloscopio tengan el mismo origen de tiempos y seamos capaces de describir con precisión todo el proceso termodinámico dentro del cilindro mientras se suceden las cuatro fases del mismo.

Para ello hemos procedido a forzar el movimiento del pistón con el propio motor eléctrico de la moto y siempre con la bujía extraída para que no haya combustión pero sí apertura y cierre de las válvulas de admisión y expulsión. La consecuencia de esto es que cuando el pistón esté en su punto muerto superior la presión será la máxima (en la fase de compresión ambas válvulas están cerradas) y ese pico lo podemos monitorizar con el osciloscopio. Ahora si además vamos captando los pulsos del encoder seremos capaces de determinar el desfase relativo entre ambas señales.

Y finalmente para lograr alcanzar la sincronización lo que hemos de hacer es mover de forma manual y con mucha delicadeza el estátor del encoder (el cual está acoplado a la moto pero aflojando dos tornillos es libre de girar) hasta que veamos en la pantalla del osciloscopio que ambas señales se igualan en el tiempo.

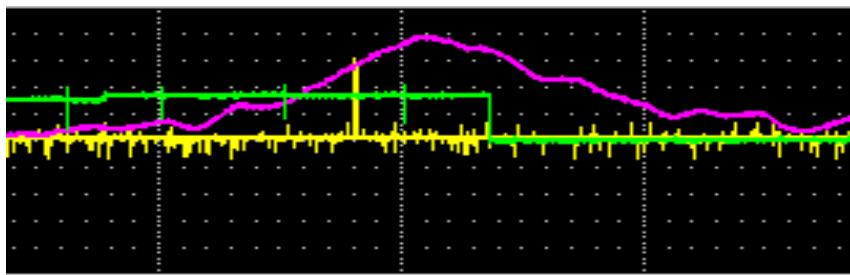


Ilustración 1.6.2.4.1. Sincronización de señales en la calibración del encoder.

Las señales que buscamos sincronizar en la imagen son la de color amarillo y rosa donde se aprecian dos valores máximos con prácticamente medio milisegundo de desfase.

1.6.2.5. Medidor de Coriolis

Este sensor se conecta directamente al datalogger mediante dos hilos. Cabe mencionar que la señal es en intensidad generándose 4 mA para cuando no circula fluido por sus conductos y 20 mA cuando se alcanza el rango máximo.

Tras la instalación del medidor monitorizamos su señal de salida mediante el datalogger y resultó que aún cuando no discurría fluido aparecían en torno a 23 miliamperios cuando los rangos nominales han de estar comprendidos entre 4 y 20 miliamperios.

Así que nos conectamos a él mediante el intercomunicador HART para tratar de reconfigurarlo y restablecer los límites de medida.

1.6.2.6. Analizador de gases:

El analizador de gases se alimenta directamente de la red eléctrica convencional para funcionar pero sus salidas de señal son en voltaje, de modo que existen dos cables por cada gas analizado los cuales van directamente al datalogger. Así cada par de cables van respectivamente al canal alto y bajo del datalogger puesto que la señal es en voltaje

Calibrar el analizador sí que es un minucioso proceso en el cual se requieren bombonas que contienen los gases que el analizador puede medir para poder realizar los “ceros”. De modo que se disponen de bombonas de dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno e hidrocarburos en base seis. Para ello se le inyecta al analizador el gas de una de estas bombonas cuya concentración es conocida y se han de ir manipulando ciertos potenciómetros internos para que haya coherencia entre la concentración real del gas y lo que está midiendo.

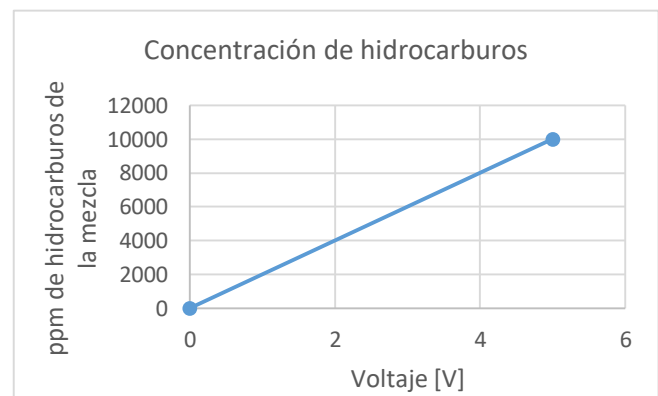
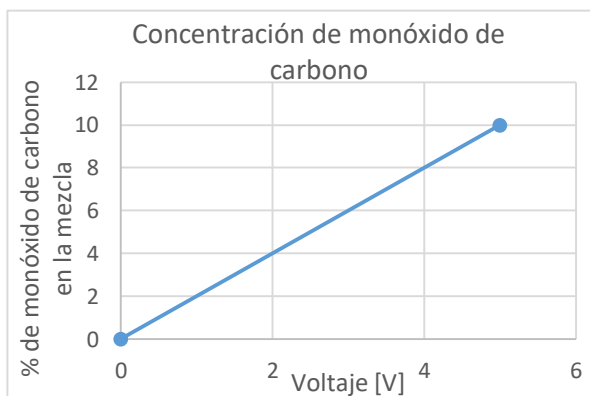
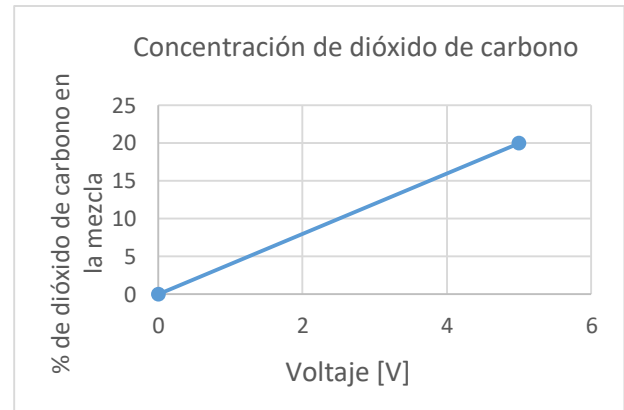
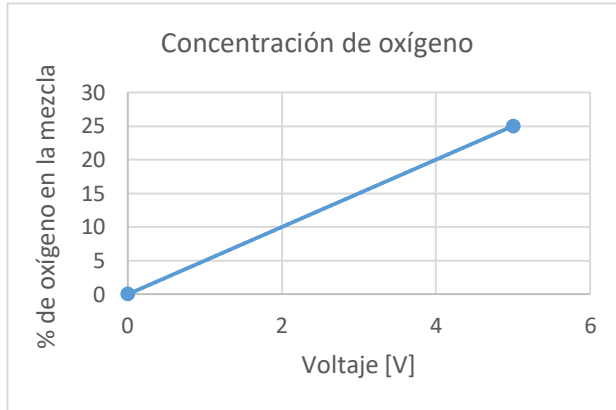


*Ilustración 1.6.2.6.1.
Circuitería para calibración
del analizador de gases.*

Por otro lado y una vez finalizado el proceso de calibración las ecuaciones que hay que introducir al datalogger se obtienen a partir de la siguiente tabla:

Valores medidos	Rango medida	Sistema de señal
Concentración de oxígeno [%]	0 - 25%	0 - 5V
Concentración de dióxido de carbono [%]	0 - 20%	0 - 5V
Concentración de monóxido de carbono [%]	0 - 10%	0 - 5V
Concentración de hidrocarburos [ppm]	0 - 10000 ppm	0 - 5V

Tabla_1.6.2.6.1. Rangos de calibración del analizador.



A parte del proceso anterior existe otro procedimiento menos preciso pero mucho más rápido y semiautomático para la calibración del analizador. Este procedimiento consiste en apretar un botón específico del analizador y él mismo comienza el proceso de autocalibración. Cuando se inicia lo que hace el analizador es absorber aire atmosférico cuya concentración de gases es prácticamente constante y de valor conocido de tal forma que se “autocalibra”.

Este procedimiento es importante hacerlo con cierta frecuencia ya que el analizador tiene una cierta deriva con la medición del oxígeno.

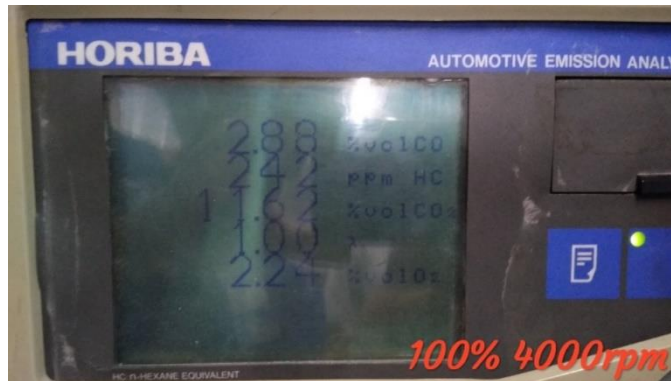


Ilustración 1.6.2.6.2. Detalle del display del analizador de gases.

1.6.2.7. Sonda lambda

Debido a que la señal de salida de la sonda lambda también es en voltaje solo se requiere de un canal en el datalogger para su conexionado, conectando el positivo de la sonda al High y el negativo al Low.

A parte de esta salida la sonda dispone de su propio display que indica a tiempo real el valor del exceso de aire.



Ilustración 1.6.2.7.1. Display de la sonda lambda.

La calibración de ajuste de cero se realiza empleando el tarro con tres aberturas de la siguiente imagen:



Ilustración 1.6.2.7.2. Dispositivo de calibración de la sonda lambda.

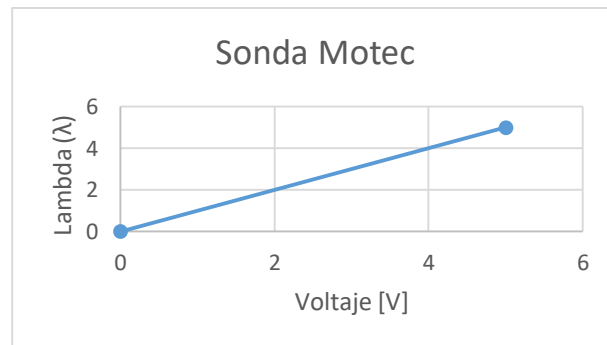
Para ello se introduce la sonda por una de ellas y por otra se inyecta una mezcla de gases con una concentración conocida de oxígeno para verificar que la sonda está midiendo correctamente. Una vez que ha finalizado este procedimiento la ecuación o recta que hemos de introducir en el datalogger se obtiene del siguiente cuadro:

Valores medidos	Rango medida	Sistema de señal
Concentración de oxígeno [adimensional]	0 – 5	0 – 5V

Tabla 1.6.2.7.1. Rangos de calibración de la sonda lambda.

Así que la ecuación es la siguiente:

$$\lambda = V \text{ [adimensional]}$$



Gráfica 1.6.2.7.1. Recta de calibración de la sonda lambda.

1.6.2.8. Torquímetro

Como se aprecia en la siguiente imagen el torquímetro cuenta con diferentes conexiones, pero nosotros usamos únicamente la que va directamente al ordenador. Por ello la conexión se realiza mediante cable USB.



Ilustración 1.6.2.8.1. Esquema de conexiones del torquímetro.

Con respecto a su calibración hemos de abrir el software de configuración del mismo y ahí estableceremos los correspondientes ajustes. Como vemos, la interfaz del mismo es bastante sencilla e intuitiva:

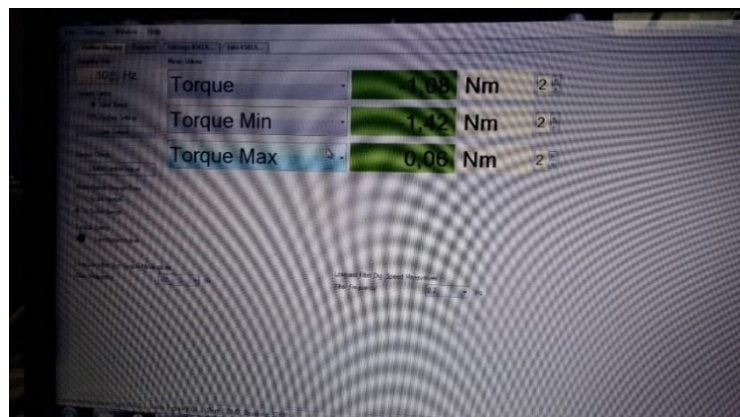


Ilustración 1.6.2.8.2.
 Captura de la interfaz del software del torquímetro.

A continuación se adjunta una tabla resumen del capítulo:

Sensor	Cableado	Tipo de señal	Lectura del parámetro
Termopar Tipo K	2 hilos	Voltaje	Datalogger
Termopar Tipo K	2 hilos	Voltaje	Datalogger
Termopar Tipo K	2 hilos	Voltaje	Datalogger
Termorresistencia	4 hilos	Voltaje	Datalogger
Sensor de presión atmosférica	2 hilos	Voltaje	Osciloscopio
Sensor de presión colector admisión	2 hilos	Intensidad	Osciloscopio
Sensor de presión en los gases de escape	3 hilos	Voltaje	Osciloscopio
Sensor de presión cilindro	Cable especial	Pulso eléctrico	Osciloscopio
Encóder	2 hilos	Pulso eléctrico	Osciloscopio
Medidor flujo másico	2 hilos	Intensidad	Datalogger
Analizador Horiba Mexsa	Cable RS232	Voltaje	Datalogger
Sonda lambda	Dos hilos	Voltaje	Display & osciloscopio
Torquímetro Kistler	Usb	-	Monitor
Estación meteorológica	-	-	Display del propio sensor

Tabla 1.6.1. Resumen del capítulo.

CAPÍTULO 2: CONFIGURACIÓN DE LA CENTRALITA PROGRAMABLE.

Para alcanzar los objetivos marcados al inicio del proyecto disponemos de la centralita programable GP2 EVO de la compañía ATHENA la cual nos permite variar el tiempo de inyección y el avance de encendido en cada ciclo dentro de unos ciertos rangos.



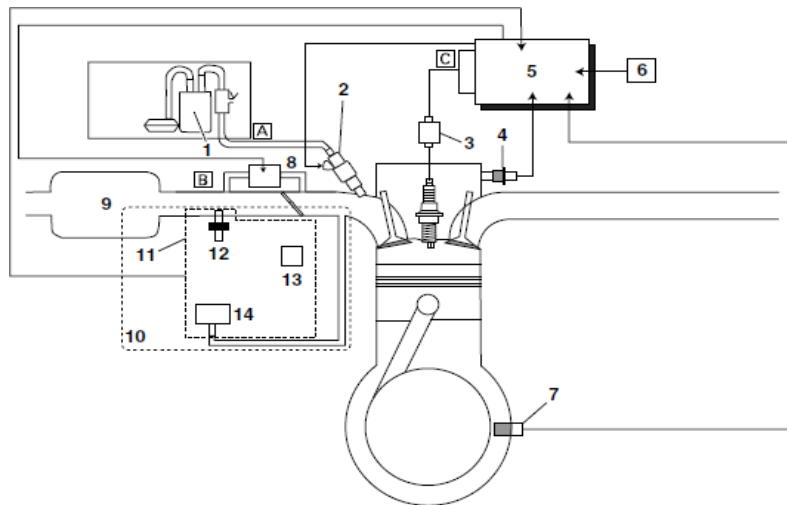
Ilustración 2.1. Centralita programable adquirida para la realización del proyecto.

Durante el presente capítulo se expondrán todos los aspectos técnicos para su configuración y manejo con el fin de adquirir una idea precisa de su funcionamiento y posibilidades.

2.1. Funcionamiento de las centralitas.

En un motor de motociclismo y en condiciones estacionarias la centralita recalcula continuamente el avance de encendido y el tiempo de inyección en función únicamente del régimen de vueltas del cigüeñal del motor y del ángulo o porcentaje de apertura de la válvula de mariposa.

Así que podemos hablar de que hay una relación unívoca entre esas dos variables de entrada y esas dos variables de salida estando toda esa información de forma estructurada y ordenada dentro de la memoria de la centralita. Así, a esta organización interna se la conoce comúnmente como mapa motor.



- | | |
|---|--|
| 1. Bomba de combustible | 10. Cuerpo de la mariposa |
| 2. Inyector de combustible | 11. Conjunto de sensores del cuerpo de la mariposa |
| 3. Bobina de encendido | 12. Sensor de temperatura del aire de admisión |
| 4. Sensor de temperatura del refrigerante | 13. Sensor de posición del acelerador |
| 5. ECU (unidad de control electrónico) | 14. Sensor de presión del aire de admisión |
| 6. Sensor del ángulo de inclinación | A. Sistema de combustible |
| 7. Sensor de posición del cigüeñal | B. Sistema de aire |
| 8. FID (solenoido de ralentí rápido) | C. Sistema de control |
| 9. Caja del filtro de aire | |

Ilustración 2..1.1. Esquema de funcionamiento del control electrónico de un motor de combustión interna.

Y aquí radica la utilidad de nuestra centralita ya que nos permite variar dentro de unos rangos las dos variables de salida en función de los valores de las variables de entrada.

De tal forma que si nosotros queremos realizar variaciones de estos parámetros sobre el motor nuestra centralita nos ofrece dos formas de hacerlo: Por un lado, se pueden realizar los mismos ajustes de forma global para cualquier combinación de revoluciones y mariposa o bien podemos ser más minuciosos e ir realizando ajustes personalizados a ciertas combinaciones de puntos que son de nuestro interés.

Para ello nos apoyaremos en el software maya el cual nos permite el manejo, creación y carga de los mapas en la centralita.

También cabe añadir que la centralita programable alberga su propio mapa base interno, desconocido y diferente al original que nos podemos extraer, así que todas las variaciones realizadas se efectuaran sobre ese mapa oculto.

2.2. Creación de mapas.

La centralita nos permite variar el avance de encendido y la inyección mediante dos procedimientos totalmente diferentes pero que a la vez son complementarios.

2.2.1. End Of Line.

El primero de ellos conocido como “EOL” (“End Of Line” o “Fin De Línea”) nos permite aplicar estos cambios en los parámetros de forma masiva a todos los puntos de funcionamiento del mapa motor, es decir, nosotros podemos ordenar el mismo aumento de inyección o el mismo retraso en el avance de encendido para cualquier combinación de mariposa y revoluciones del motor. La ventaja de este procedimiento radica en la optimización del tiempo en el desarrollo y prueba de mapas, pero como contrapartida el ajuste realizado es excesivamente grosero ya que no todos los puntos van a funcionar de forma óptima con las mismas variaciones de parámetros.

A pesar de la enorme desventaja mencionada, este procedimiento puede ser de gran ayuda en ciertos casos ya que cuenta con la ventaja de que los cambios realizados se aplican instantáneamente e incluso se pueden realizar con el motor encendido en medio de un ensayo sin necesidad de descargar y/o cargar mapas.

Para aplicar estas variaciones sobre nuestra centralita en primer lugar nos vamos al icono de herramientas y posteriormente clicamos en “End Of Line”.

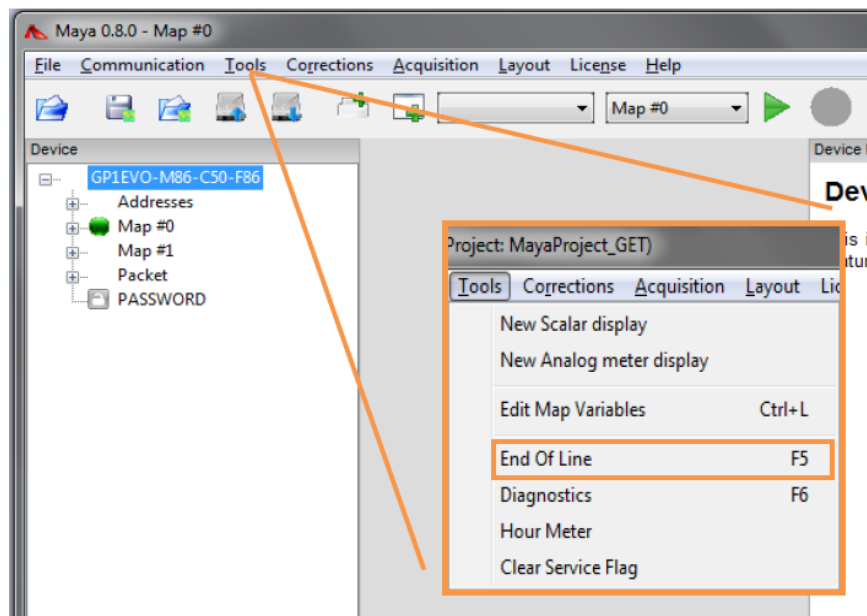


Ilustración 2.2.1.1. Procedimiento de calibración mediante el EOL.

Una vez completados esos pasos nos saldrá la pestaña del “EOL”. En ella ciclaremos sobre “Read End Of Line” Para actualizar los valores y saber cuáles están actualmente consignados en la centralita.

Ahora tendremos la posibilidad de variar tanto la inyección como el avance de encendido yendo a las casillas que aparecen en las siguientes imágenes:

Variación del tiempo de inyección para el mapa 1 y el mapa 2.

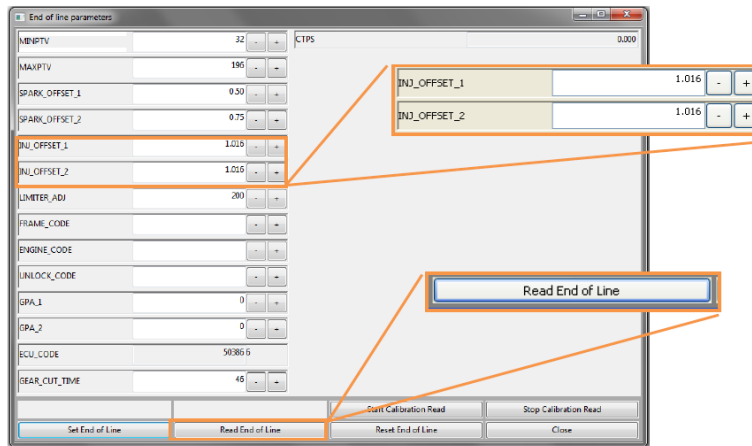


Ilustración 2.2.1.2. Variación de la inyección mediante el EOL.

Como vemos las variaciones se pueden realizar simultáneamente para ambos mapas.

Por otro lado para variar el avance de encendido acudimos a sus casillas correspondientes y procedemos a ejecutar los cambios deseados.

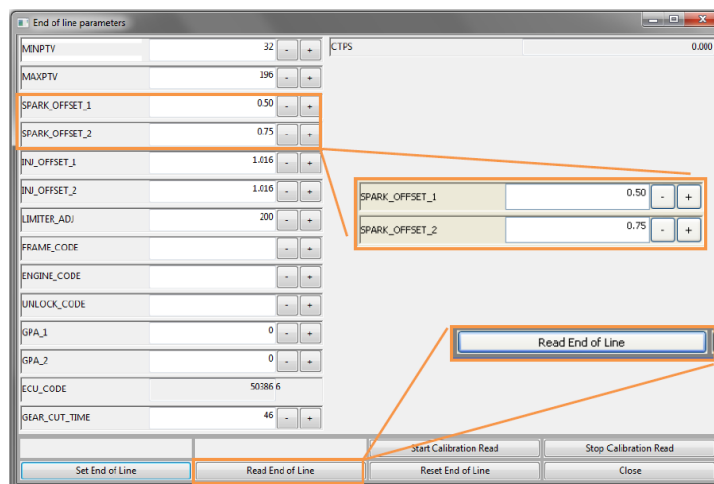


Ilustración 2.2.1.3. Variación del avance de encendido mediante el EOL.

Una vez realizados los cambios sobre esa interfaz es totalmente imprescindible hacer clic en el icono “Set End Of Line” para que efectivamente los cambios sean consignados internamente en la memoria de la centralita.

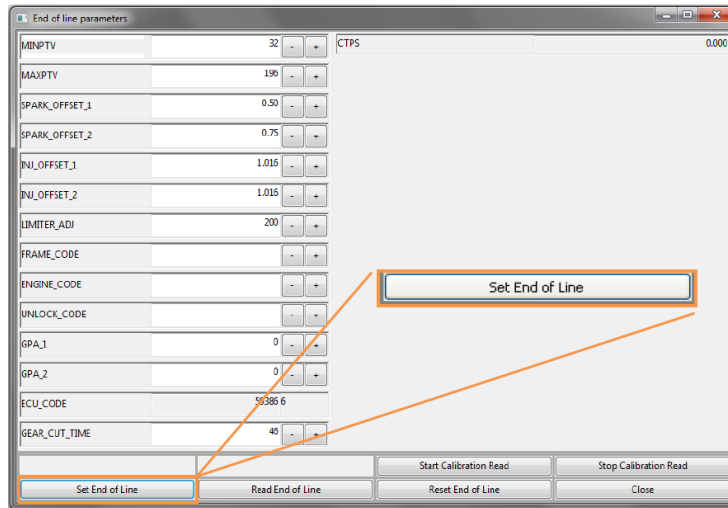


Ilustración 2.2.1.4. Efectuar cambios en la centralita mediante el EOL.

Por último se muestran las equivalencias entre la variación de valores y la variación que conllevan sobre los parámetros reales.

Equivalencias para el tiempo de inyección:

Valor INJ_OFFSET	Aumento o disminución correspondiente (%)	Valor INJ_OFFSET	Aumento o disminución correspondiente (%)
0.898	- 10 %	1.102	+ 10 %
0.906	- 9.5 %	1.109	+ 11%
0.914	- 9 %	1.117	+ 11.5%
0.922	- 8 %	1.125	+ 12.5%
0.930	- 7 %	1.133	+ 13.5%
0.938	- 6 %	1.141	+ 14%
0.945	- 5.5 %	1.148	+ 15%
0.953	- 5 %	1.156	+ 15.5%
0.961	- 4 %	1.164	+ 16.5%
0.969	- 3 %	1.172	+ 17.2%
0.977	- 2.5 %	1.180	+ 18%
0.984	- 2 %	1.188	+ 19%
0.992	- 1 %	1.195	+ 19.5%
1.000	+ 0 %	1.203	+ 20 %
1.008	+ 1 %	1.211	+ 21%
1.016	+ 1.5 %	1.219	+ 22%
1.023	+ 2 %	1.227	+ 22.5%
1.031	+ 3 %	1.234	+ 23.5%
1.039	+ 4 %	1.242	+ 24%
1.047	+ 4.5 %	1.250	+ 25%
1.055	+ 5.5 %	1.258	+ 25.8%
1.063	+ 6 %	1.266	+ 26.5%
1.070	+ 7 %	1.273	+ 27%
1.078	+ 8 %	1.281	+ 28%
1.086	+ 8.5 %	1.289	+ 29%
1.094	+ 9.5 %	1.297	+ 30%

Tabla 2.2.1. Equivalencias entre parámetros.

Valores máximos y mínimos permitidos en el avance de encendido.

Valor SPARK_OFFSET mínimo	- 30°
Valor SPARK_OFFSET máximo	+ 5°
Precision	± 0,25°

Tabla 2.2.2. Valores máximos de avance.

Los valores de signo negativo crean un retraso del punto de encendido (la chispa se produce más cerca del P.M.S.).

Los valores de signo positivo crean un adelanto del punto de encendido (la chispa se produce más lejos del P.M.S.).

2.2.2. Matrices o mapas motores

Este es el segundo procedimiento y la diferencia más notoria con respecto al anterior consiste en que podemos hacer un ajuste muy fino en todo el arco de funcionamiento del motor ya que nos permite ajustar los parámetros de avance y encendido en una gran variedad de puntos de forma individual y totalmente personalizada.

Para ello hay que acceder necesariamente a los mapas de motor:

En la siguiente imagen vemos el mapa para el tiempo de inyección. Como se aprecia cada columna se corresponde con una velocidad de giro del cigüeñal. Y cada fila se corresponde con un porcentaje de apertura de mariposa. De esta forma se organizan una gran variedad de puntos de funcionamiento del motor y en consecuencia podemos variar la inyección en esos puntos.

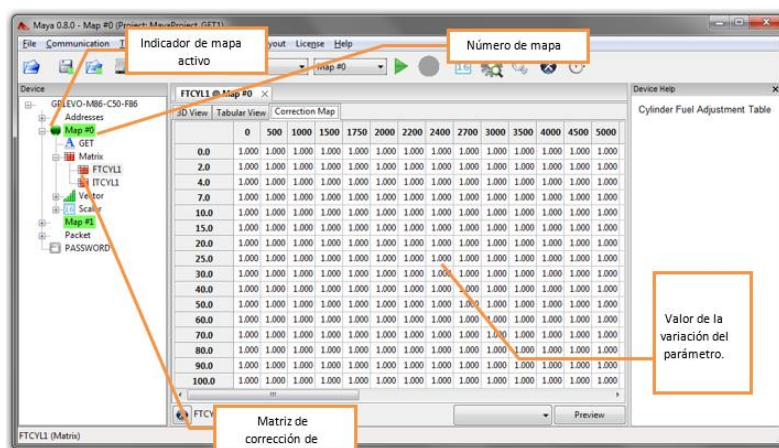


Ilustración 2.2.1.5. Mapa de inyección.

La forma de proceder es clicar sobre cada celda y establecer el valor deseado.

Offset: el valor establecido en el campo es adicional al de la celda o celdas a modificar

Gain: el valor establecido en el campo es multiplicado al de la celda o celdas a modificar

El valor final de la celda obtenido mediante la función **Edit** es igual a:

$$\text{new_value} = (\text{old_value} \times \text{Gain}) + \text{Offset}$$

Donde:

Gain: valor especificado en el campo **Gain** de la ventana **Edit**

Offset: valor especificado en el campo **Offset** de la ventana **Edit**

La siguiente tabla muestra la variación porcentual correspondiente a los diversos valores de **Gain** y el valor final de la celda a modificar (suponiendo un valor inicial de esta última igual a 1):

Valor GAIN	Aumento o disminución correspondiente (%)	Valor Celda
0.90	- 10 %	0.898
0.92	- 8 %	0.922
0.94	- 6 %	0.938
0.96	- 4 %	0.961
0.98	- 2 %	0.977
0.99	- 1 %	0.992
1	+ 0 %	1.000
1.01	+ 1 %	1.01
1.02	+ 2 %	1.02
1.04	+ 4 %	1.04
1.06	+ 6 %	1.06
1.08	+ 8 %	1.08
1.1	+ 10 %	1.10

Para calcular el valor de **Gain** a introducir se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{GAIN} = \frac{\pm \text{Porcentaje deseado}}{100} + 1$$

Donde:

Porcentaje deseado: representa el valor que se quiere lograr (por ejemplo, + 7 % o - 3 %)

Los valores máximo y mínimo (expresados en porcentaje y en valor de GAIN) son:

Magnitud	Valor de GAIN	Valor porcentual correspondiente
GAIN mínimo	0.00	- 100 %
GAIN máximo	1.99	+ 100 %

Tabla 2.2.2.1. Configuración de valores en cada celda para el mapa de inyección.

Y con respecto al mapa de avance la forma de proceder es totalmente idéntica, una vez abierto el mapa se clicca en la celda deseada y se establece la variación cuya equivalencia es directa.

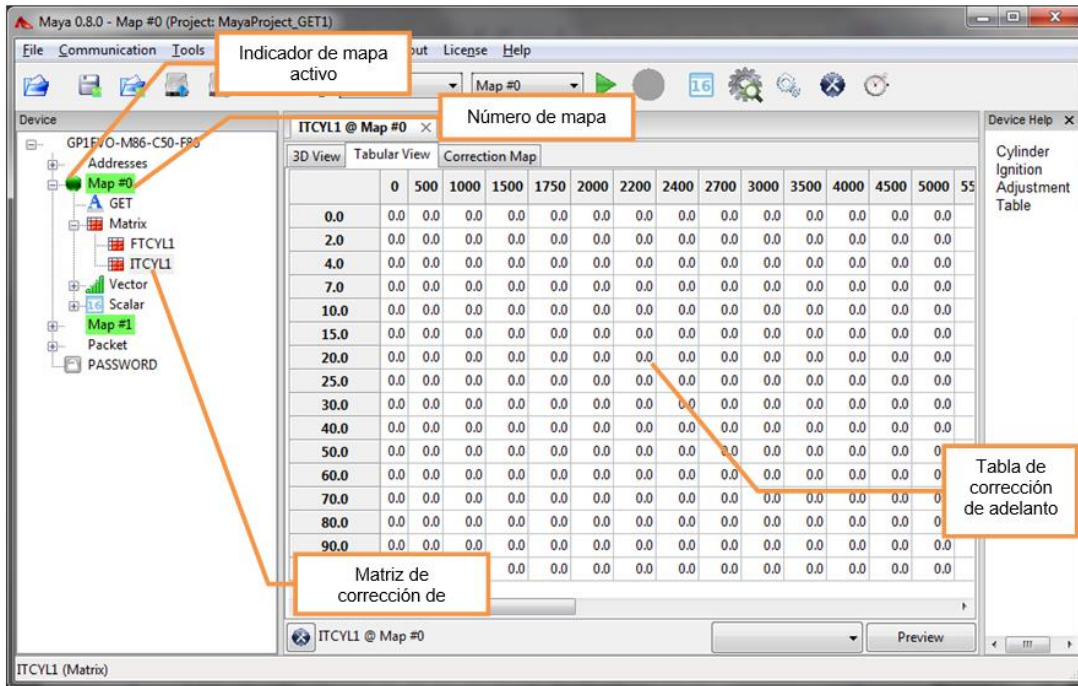


Ilustración 2.2.2.1. Mapa de avance de encendido.

OFFSET	Valor
OFFSET mínimo	- 64 °
OFFSET máximo	+ 64 °

Tabla 2.2.2.2. Valores máximos permitidos para el mapa de avance.

2.3. Instalación de la ECU programable sobre nuestro motor.

Para realizar el correcto intercambio entre centralitas procederemos en primer lugar desconectando la centralita original del resto del sistema eléctrico de la motocicleta retirando su conector correspondiente.



Ilustración 2.3.1. Centralita original.



Y en segundo lugar desconectaremos el sensor de velocidad del cigüeñal conocido también como “pick-up”. Buscaremos para ello el conector cuyos cables sean del color de los reflejados en el esquema.



Ilustración 2.3.2. Pick-up.

Una vez estén completadas estas dos acciones realizaremos el procedimiento inverso de conexionado con la centralita programable y verificaremos que todas las conexiones se han realizado de forma correcta.



Ilustración 2.3.3. Conector de la centralita.

2.4. Cargar mapas en la centralita.

Una vez confeccionados los mapas motores que deseamos probar llega el momento de transferírseles a la centralita.

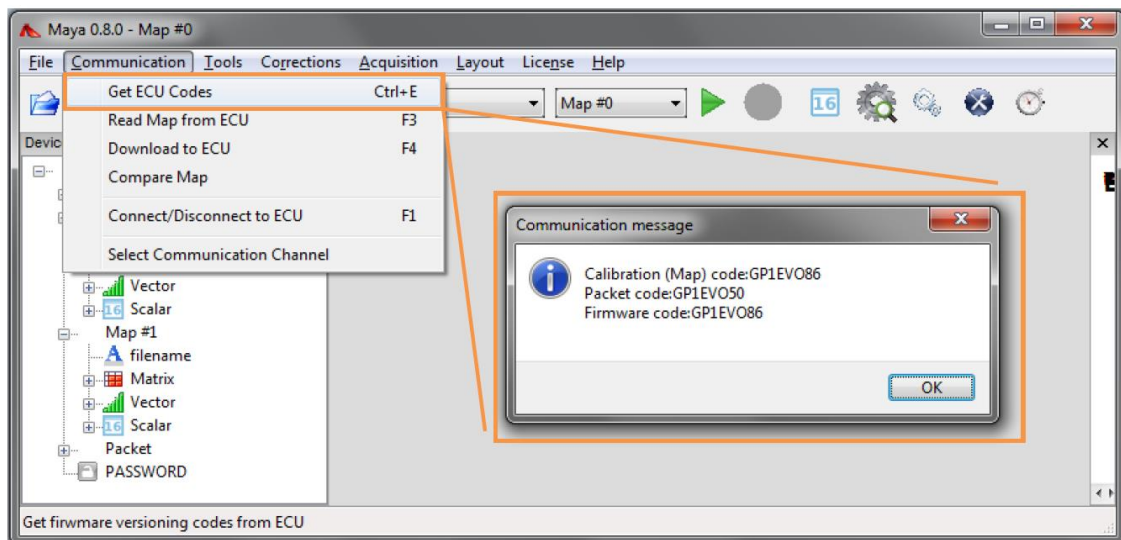
Para ello como primer paso es totalmente necesario que la centralita esté instalada correctamente en la motocicleta y alimentada. Es decir, tanto el contacto (interruptor principal) como el interruptor de seguridad han de estar accionados. Esto es debido a que la ECU necesita tener alimentación eléctrica procedente de la batería para funcionar.



Ilustración 2.4.1. Interruptores de la motocicleta.

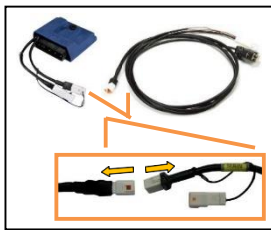
Una vez realizados los pasos anteriores nos comunicaremos con la centralita mediante el cable Usb y acudiremos al software Maya para verificar que la comunicación se ha producido de forma exitosa.

Para ello haremos clic en “Communication” y en “Get ECU Codes”, entonces nos deberá aparecer la siguiente ventana:



2.4.2. Procedimiento para verificar la correcta comunicación con la centralita.

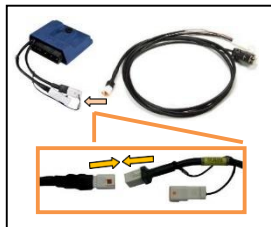
Si no aparece entonces ningún error podemos comenzar la programación.



1º. Apagaremos la ECU cortándole la energía retirando el cable de conexión.

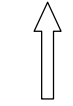


2º. Con la ECU apagada pondremos el cable de la imagen en modo programación.

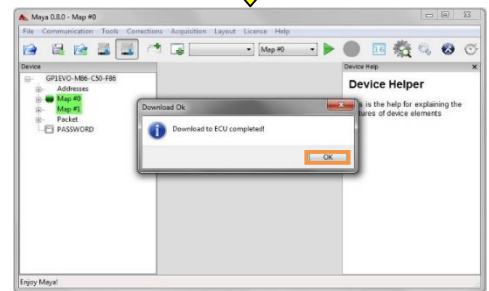
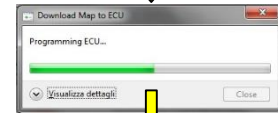
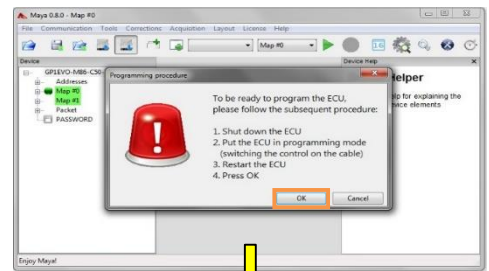
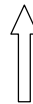


3º. Volvemos a alimentar a la centralita reconectando el cable de conexión.

5º. Nos saldrá la siguiente ventana y le decimos a todo que "ok".



4º. Hacemos ahora clic en ese icono.



Esquema 2.4.3. Programación de la centralita.

Tras este procedimiento la transferencia del mapa se habrá realizado de forma exitosa por lo que ya podemos retirar el cable de conexión y el de programación.

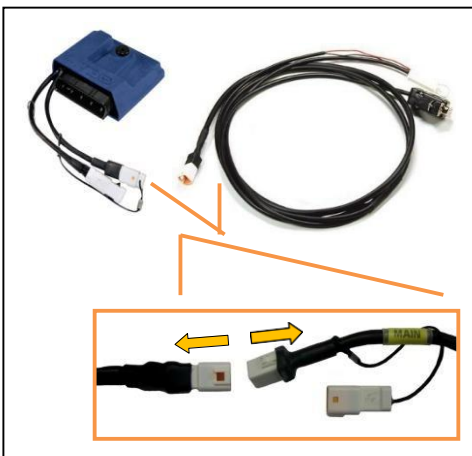


Ilustración 2.4.4. Retirada del cable de comunicación.

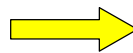


Ilustración 2.4.5. Desconexión del interruptor de programación.



Ilustración 2.4.6. Cable de conmutación para el modo de programación.

La centralita tiene la posibilidad de almacenar en su memoria dos mapas diferentes y es el usuario el que los conmuta según sus necesidades conectando el siguiente par de cables.

Esto para nosotros tiene la enorme ventaja de ahorrarnos el doble de tiempo ya que podemos cargar dos mapas a la vez sin tener que realizar dos veces el proceso de comunicación con la ECU. Además, con el motor arrancado se pueden conmutar los mapas aunque se recomienda detener el motor y anular la alimentación eléctrica de la centralita.

CAPÍTULO 3: ENSAYOS

Con todos los pasos anteriormente descritos completados llega el momento de realizar por fin los ensayos programados para poder determinar si la variación de parámetros con la centralita conlleva verdaderamente cambios en las prestaciones, consumos y emisiones del motor.

3.1. Primer ensayo: Centralita original a máxima potencia.

La primera fase de los ensayos ha consistido en determinar el estado real en que se encuentra nuestro motor. Este punto es crucial para el desarrollo del proyecto ya que necesitamos unos datos y parámetros de referencia para que puedan ser comparados con los que vayamos obteniendo posteriormente cuando realicemos las modificaciones prevista con la centralita programable.

Para ello disponemos de las especificaciones (Par y potencia) que garantiza el fabricante para un motor nuevo en distintas condiciones de funcionamiento por lo que el primer ensayo ha consistido en llevar al motor a esos puntos de funcionamiento y determinar las prestaciones que es capaz de entregarnos para compararlas con los datos del fabricante.

Los puntos del ensayo elegidos se caracterizan por tener todos la mariposa completamente abierta al 100 %. Y para recorrerlos iremos variando la velocidad en rueda con el freno dinamométrico. De modo que este ensayo se ha realizado a máxima carga donde le estamos pidiendo al motor que nos dé su máxima potencia.

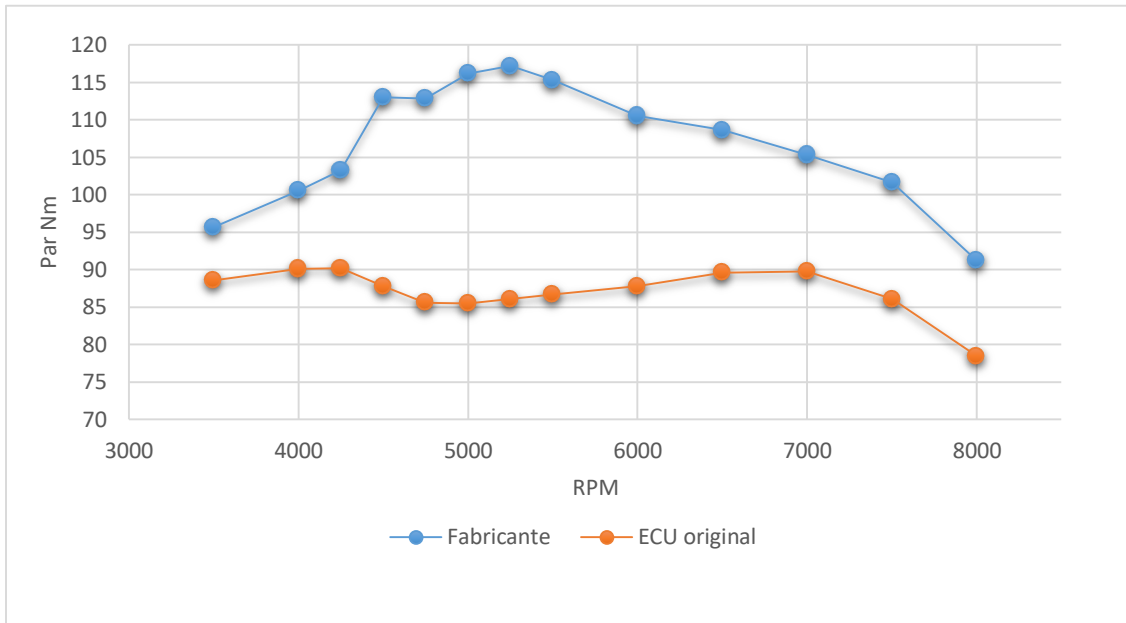
Así que en estas condiciones hemos captado todas las magnitudes y sobre todo el par en rueda que nos iba entregando el motor.

En la siguiente tabla se muestran los pares obtenidos para las diferentes velocidades de funcionamiento del motor y los datos que nos brinda el fabricante para hacer la comparativa de prestaciones.

RPM (cigüeñal)	Par Fabricante (N.m)	Par ECU original (N.m)
3500	95,66	88,6
4000	100,55	90,1
4250	103,24	90,2
4500	113,02	87,8
4750	112,82	85,6
5000	116,21	85,5
5250	117,21	86,1
5500	115,31	86,7
6000	110,52	87,8
6500	108,63	89,6
7000	105,34	89,8
7500	101,65	86,1
8000	91,17	78,5

Tabla 3.1.1. Comparativa de Par.

Ahora me dispongo a graficar los valores tabulados para alcanzar una mejor comprensión de los mismos.

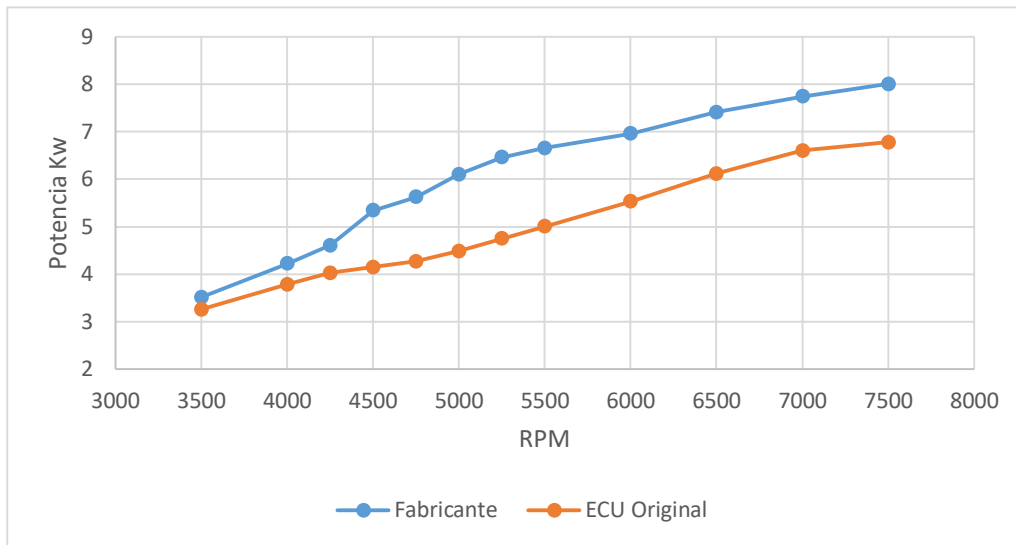


Gráfica 3.1.1. Comparativa de prestaciones.

Y con respecto a la potencia tenemos los siguientes resultados:

Comparativa de Potencia (kW)		
RPM	FABRICANTE	ECU ORIGINAL
3500	3,51	3,26
4000	4,22	3,78
4250	4,61	4,02
4500	5,34	4,15
4750	5,63	4,27
5000	6,10	4,49
5250	6,46	4,75
5500	6,66	5,01
6000	6,96	5,53
6500	7,41	6,11
7000	7,74	6,60
7500	8,00	6,78
8000	7,66	6,59

Tabla 3.1.2. Comparativa de potencia.



Gráfica 3.1.2. Comparativa de prestaciones.

Donde como se aprecia comparando ambos conjuntos de datos hay una gran diferencia entre valores, lo que nos lleva a pensar que ha de haber algún tipo de problema mecánico, bien sea por la rotura de algún componente o el deterioro o desgaste de uso del motor. Por ello llegado a este punto se optó por desmontar el motor y revisar sus partes más críticas.

3.2. Segundo Ensayo. Mapa base de la centralita programable a máxima potencia.

Tras los resultados anteriores se optó por instalar la centralita programable y avanzar en el proyecto realizando los ensayos programados. De modo que tras el intercambio de centralitas se replicó el ensayo anterior, es decir, mariposa al máximo de apertura y diversos valores de velocidad en rueda con la quinta marcha.

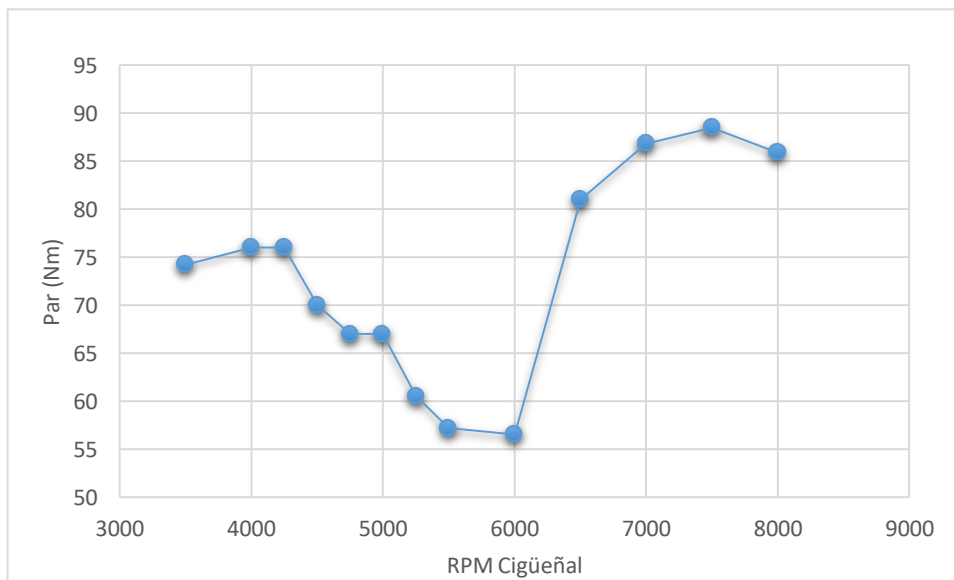
Y aquí vuelvo a recordar que el mapa base de la centralita programable nos es totalmente desconocido así que con el trascurso de esta prueba aprovechamos para ir caracterizándolo en estos puntos de operación.

Y finalmente los valores obtenidos durante este segundo ensayo se detallan a continuación:

MAPA BASE	
RPM	Par N.m
3500	74,20
4000	76,00
4250	76,00
4500	70,00
4750	67,00
5000	67,00
5250	60,50
5500	57,20
6000	56,50
6500	81,00
7000	86,80
7500	88,50
8000	85,90

Tabla 3.2.1. Par obtenido con el mapa base de la centralita programable.

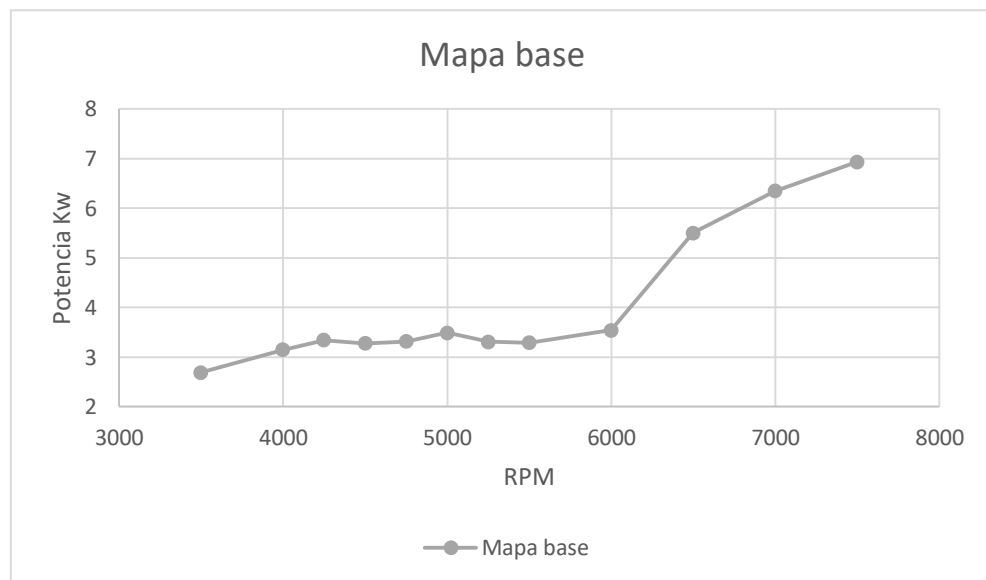
Y gráficamente tenemos la siguiente imagen de los mismos:



Gráfica 3.2.1. Par obtenido con el mapa base de la centralita programable.

Potencia (kW)	
RPM	MAPA BASE
3500	2,69
4000	3,15
4250	3,34
4500	3,28
4750	3,31
5000	3,49
5250	3,31
5500	3,29
6000	3,54
6500	5,50
7000	6,35
7500	6,94

Tabla 3.2.2. Potencia obtenida con el mapa base de la centralita programable.



Gráfica 3.2.2. Potencia obtenida con el mapa base de la centralita programable.

Donde surgen nuevos problemas...

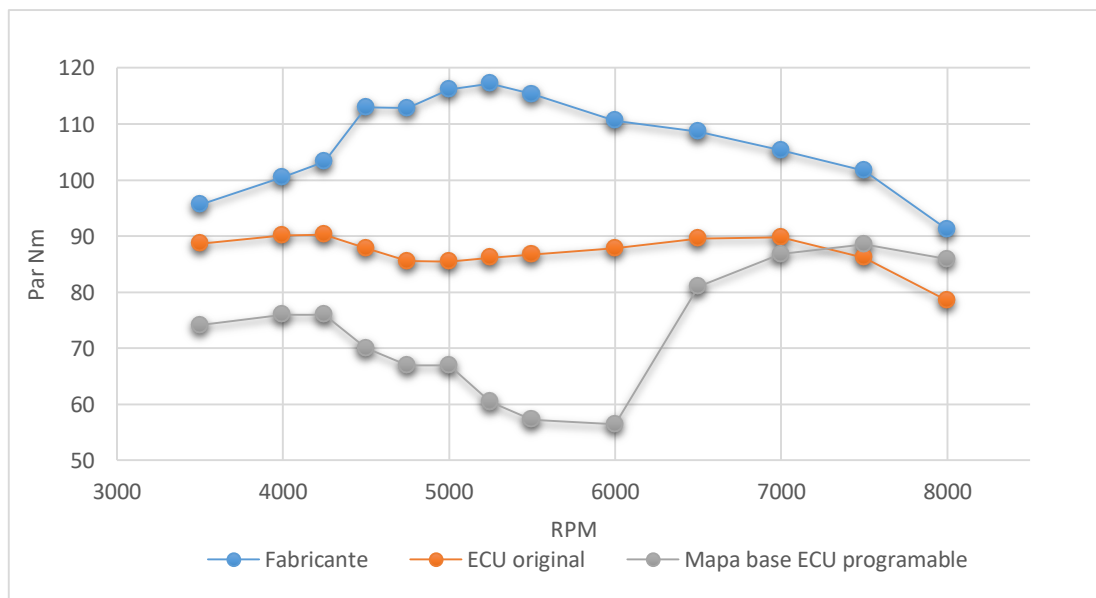
A tenor de los resultados recientemente obtenidos hay una enorme pérdida de potencia a partir de las 4250 rpm y curiosamente el motor se recupera a partir de las 6500 rpm. Es como

si la centralita indujera un corte electrónico que limita las prestaciones en ese rango de funcionamiento. Esto nos hizo pensar que el mapa base interno de la centralita no era el correcto, pero como no se puede manipular de ninguna manera no nos quedó otra opción que iniciar la recalibración de la centralita programable.

Como punto final a este capítulo se exponen los valores obtenidos en los ensayos de par hasta el momento. Los del fabricante, los de la centralita original y los de la centralita programable con el mapa base.

Comparativa de Par (N.m)			
RPM	FABRICANTE	ECU ORIGINAL	MAPA BASE
3500	95,66	88,60	74,20
4000	100,55	90,10	76,00
4250	103,24	90,20	76,00
4500	113,02	87,80	70,00
4750	112,82	85,60	67,00
5000	116,21	85,50	67,00
5250	117,21	86,10	60,50
5500	115,31	86,70	57,20
6000	110,52	87,80	56,50
6500	108,63	89,60	81,00
7000	105,34	89,80	86,80
7500	101,65	86,10	88,50
8000	91,17	78,50	85,90

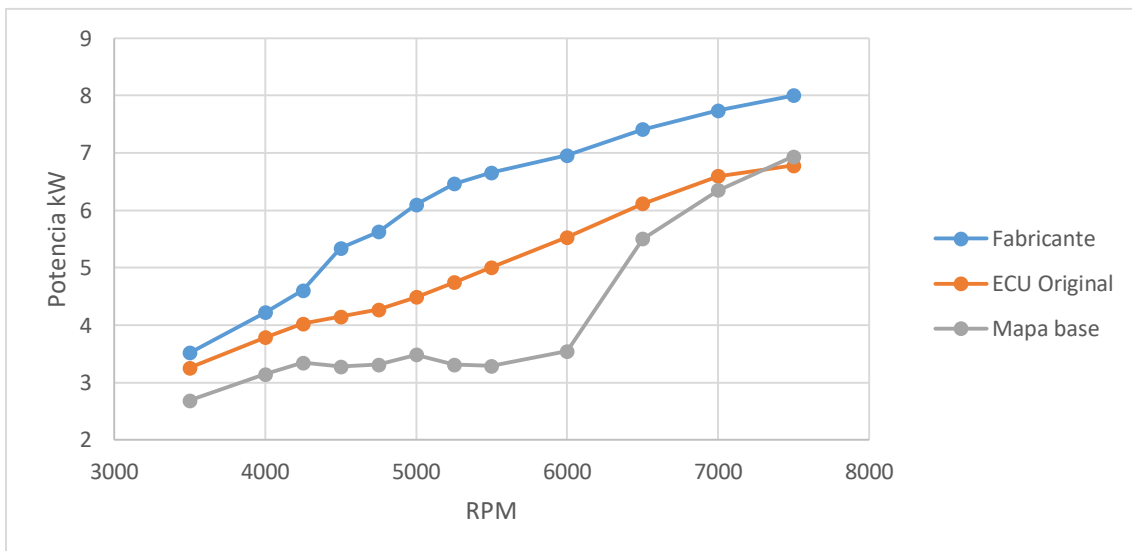
Tabla 3.2.3. Comparativa de par.



Gráfica 3.2.3. Comparativa de par.

Comparativa de Potencia (kW)			
RPM	FABRICANTE	ECU ORIGINAL	MAPA BASE
3500	3,51	3,26	2,69
4000	4,22	3,78	3,15
4250	4,61	4,02	3,34
4500	5,34	4,15	3,28
4750	5,63	4,27	3,31
5000	6,10	4,49	3,49
5250	6,46	4,75	3,31
5500	6,66	5,01	3,29
6000	6,96	5,53	3,54
6500	7,41	6,11	5,50
7000	7,74	6,60	6,35
7500	8,00	6,78	6,94

Tabla 3.2.4. Comparativa de potencia.



Gráfica 3.2.4. Comparativa de potencia.

En ellos se hace patente la gran diferencia existente entre ellos. No obstante son los datos que necesitamos para continuar con el desarrollo del proyecto.

3.3. Variación de parámetros con la centralita programable.

Tras caracterizar el estado del motor y su funcionamiento con la nueva ECU llega el momento de comprobar si somos capaces de variar parámetros mediante la centralita programable cuyo efecto sea palpable desde el punto de vista de las emisiones, del consumo y de las prestaciones.

Como punto de partida, nos propusimos variar avance e inyección en uno de los puntos concretos conflictivos del mapa (dentro del rango de funcionamiento donde decaían las prestaciones) base de la ECU con la esperanza de recalibrar la centralita y conseguir al menos un funcionamiento aceptable. Y para optimizar el tiempo en la celda de ensayos lo que hicimos fue comprobar únicamente el par obtenido siempre en el mismo punto de ensayo. De esta forma a iguales condiciones de funcionamiento podíamos determinar si efectivamente variaban las prestaciones con la variación de los parámetros de la centralita.

En la siguiente tabla se muestra todo el proceso de tanteo realizado reflejando los valores de tiempo de inyección y avance de encendido y el par obtenido para 6500 rpm y 100 % de mariposa.

Par en función de las variaciones del avance y tiempo de inyección								
Punto	INYECCIÓN	AVANCE	PAR(Nm)		Punto	INYECCIÓN	AVANCE	PAR(Nm)
1	0,797	15	83,2		15	0,852	6	84
2	0,5	15	81,36		16	0,852	5	85
3	0,898	12	84,2		17	0,852	2	85,5
4	0,5	5	82,7		18	0,852	-2	85,1
5	0,898	8	84,2		19	0,703	-2	88,5
6	0,953	5	81,9		20	0,848	-2	83,3
7	0,953	8	82,88		21	0,648	-3	89,3
8	1,5	5	0		22	0,648	-2	89,2
9	1,5	8	0		23	0,648	-4	88,34
10	1,008	8	79,28		24	0,648	-5	88,6
11	1,102	5	50		25	0,602	-3	89,4
12	0,852	18	82,1		26	0,547	-3	87,9
13	0,852	22	80,8		27	0,609	-3	90,15
14	0,852	7	85		28	0,617	-3	89,75

Tabla 3.3.1. Valores obtenidos durante el análisis de sensibilidad.

Y tras los resultados llegamos a la conclusión de que el mapa de máxima potencia o la recalibración buscada se podía conseguir con los siguientes parámetros en concreto:

SEGÚN PRESTACIONES	inyeccion	0,609
	avance encendido	-3

Tabla 3.3.2. Parámetros internos para configurar el mapa de máxima potencia.

Y en contraposición a los valores anteriores descubrimos que con los siguientes parámetros podíamos alcanzar un mapa más moderado con la generación de emisiones y consumos.

SEGÚN EMISIONES	inyeccion	0,547
	avance encendido	-3

Tabla 3.3.3. Parámetros internos para configurar el mapa de mínimas emisiones.

Por lo que se optó por aplicar esas correcciones a todo el arco de funcionamiento del motor y hacer otra tanda de ensayos completa para probar dichos valores.

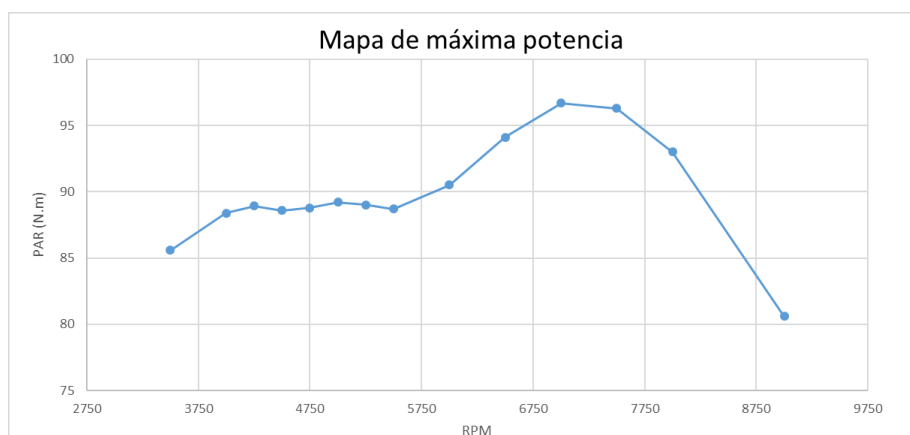
3.4. Tercer ensayo. Mapa de Máxima potencia con la centralita programable.

De modo que rehicimos un mapa motor completamente nuevo incorporando las variaciones de tiempo de inyección y encendido obtenidas durante el tanteo y se lo cargamos a la ECU programable.

Y una vez transferido dicho mapa realizamos un ensayo completo a mariposa completamente abierta y en la quinta marcha obteniéndose los siguientes resultados:

Par N.m	
RPM	ECU CALIBRADA
3500	85,6
4000	88,4
4250	88,92
4500	88,6
4750	88,8
5000	89,2
5250	89
5500	88,7
6000	90,5
6500	94,1
7000	96,7
7500	96,3
8000	93
9000	80,6

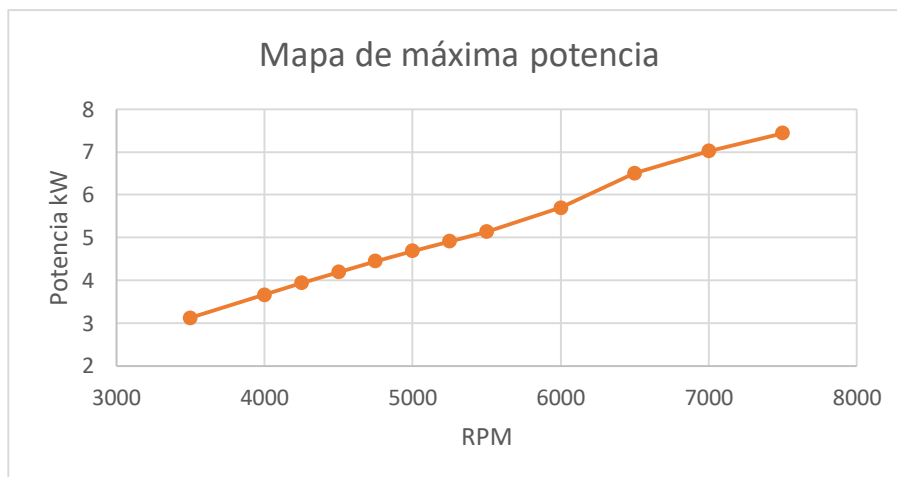
Tabla 3.4.1. Par con el mapa de máxima potencia.



Gráfica 3.4.1. Par con el mapa de máxima potencia.

Potencia kW	
RPM	ECU CALIBRADA
3500	3,12
4000	3,66
4250	3,94
4500	4,19
4750	4,45
5000	4,68
5250	4,91
5500	5,14
6000	5,70
6500	6,50
7000	7,02
7500	7,44

Tabla 3.4.2. Potencia para el mapa de máxima potencia.

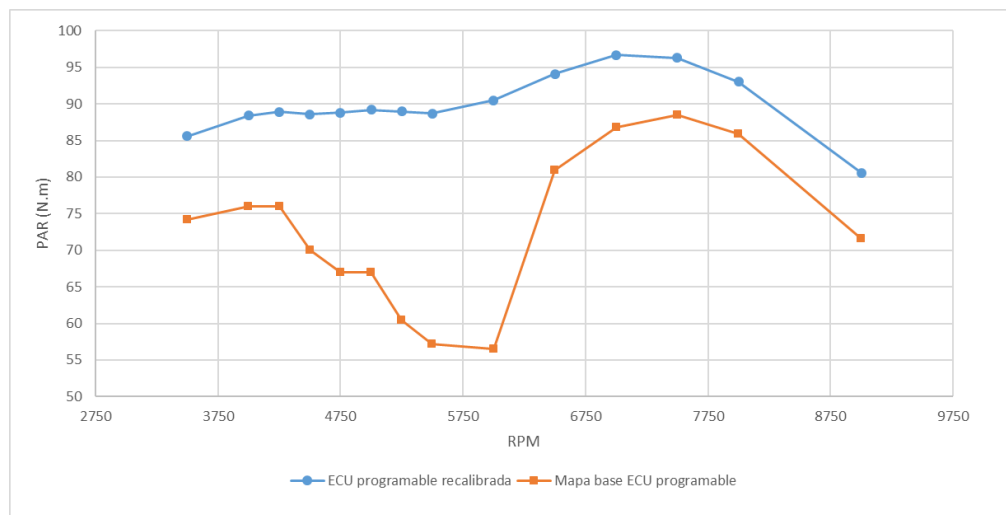


Gráfica 3.4.2. Potencia para el mapa de máxima potencia.

Y si los comparamos con el mapa base nos podemos enorgullecer de haber eliminado los puntos críticos del funcionamiento del mapa base tal y como se aprecia en la siguiente comparativa de valores:

Par N.m		
RPM	MAPA BASE	ECU CALIBRADA
3500	74,2	85,6
4000	76	88,4
4250	76	88,92
4500	70	88,6
4750	67	88,8
5000	67	89,2
5250	60,5	89
5500	57,2	88,7
6000	56,5	90,5
6500	81	94,1
7000	86,8	96,7
7500	88,5	96,3
8000	85,9	93
9000	71,6	80,6

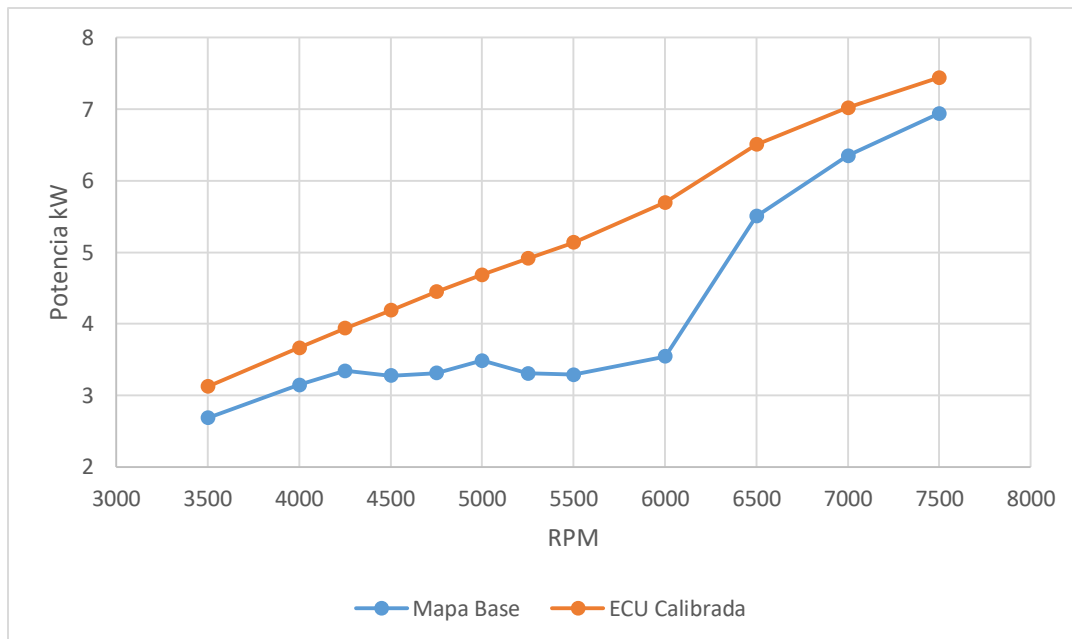
Tabla 3.4.3. Comparativa de par.



Gráfica 3.4.3. Comparativa de prestaciones tras la recalibración electrónica.

Potencia kW		
RPM	MAPA BASE	ECU CALIBRADA
3500	2,69	3,12
4000	3,15	3,66
4250	3,34	3,94
4500	3,28	4,19
4750	3,31	4,45
5000	3,49	4,68
5250	3,31	4,91
5500	3,29	5,14
6000	3,54	5,70
6500	5,50	6,50
7000	6,35	7,02
7500	6,94	7,44

Tabla 3.4.4. Comparativa de potencia.

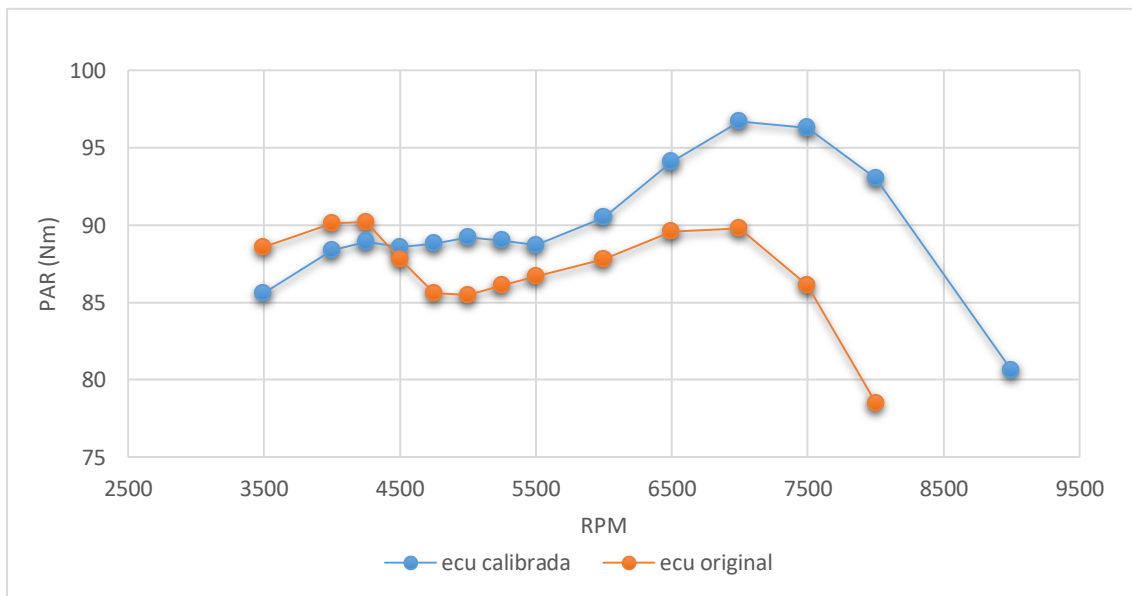


Gráfica 3.4.4. Comparativa de potencia tras la recalibración electrónica.

Donde por suerte hemos conseguido arreglar bastante bien la curva e incluso, si comparamos los valores obtenidos con la centralita original a partir de 4500 rpm conseguimos mejorar las prestaciones con respecto a la centralita original.

Comparativa de Par (N.m)		
RPM	ECU ORIGINAL	ECU CALIBRADA
3500	88,60	85,6
4000	90,10	88,4
4250	90,20	88,92
4500	87,80	88,6
4750	85,60	88,8
5000	85,50	89,2
5250	86,10	89
5500	86,70	88,7
6000	87,80	90,5
6500	89,60	94,1
7000	89,80	96,7
7500	86,10	96,3
8000	78,50	93

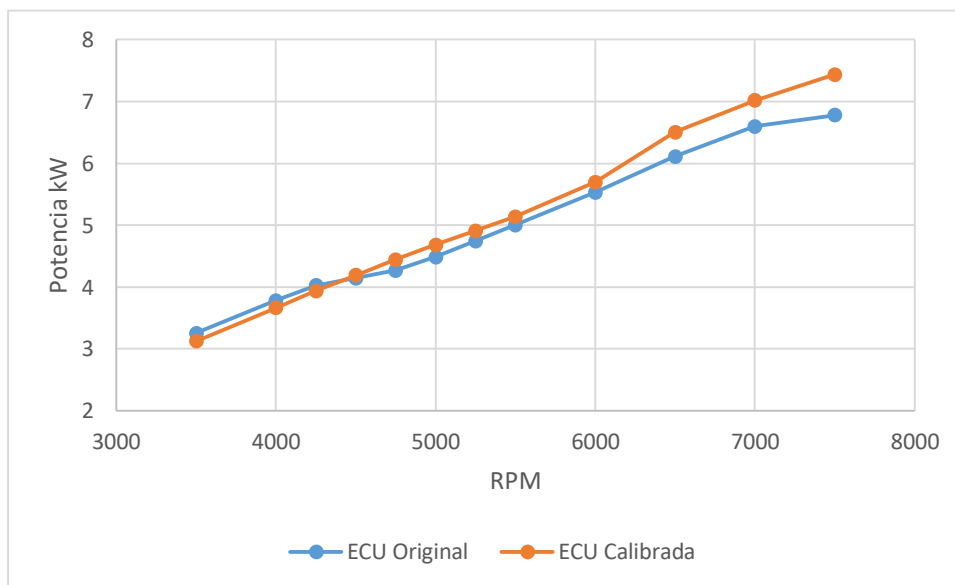
Tabla 3.4.5. Comparativa de potencia.



Gráfica 3.4.5. Comparativa de par tras la recalibración electrónica.

Comparativa de Potencia Kw		
RPM	ECU ORIGINAL	ECU CALIBRADA
3500	3,26	3,12
4000	3,78	3,66
4250	4,02	3,94
4500	4,15	4,19
4750	4,27	4,45
5000	4,49	4,68
5250	4,75	4,91
5500	5,01	5,14
6000	5,53	5,70
6500	6,11	6,50
7000	6,60	7,02
7500	6,78	7,44

Tabla 3.4.6. Comparativa de potencia.

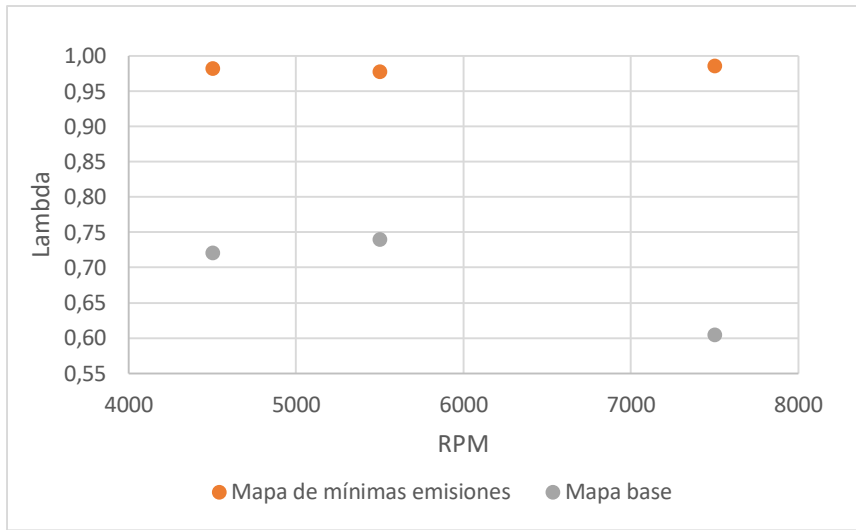


Gráfica 3.4.6. Comparativa de potencia tras la recalibración electrónica.

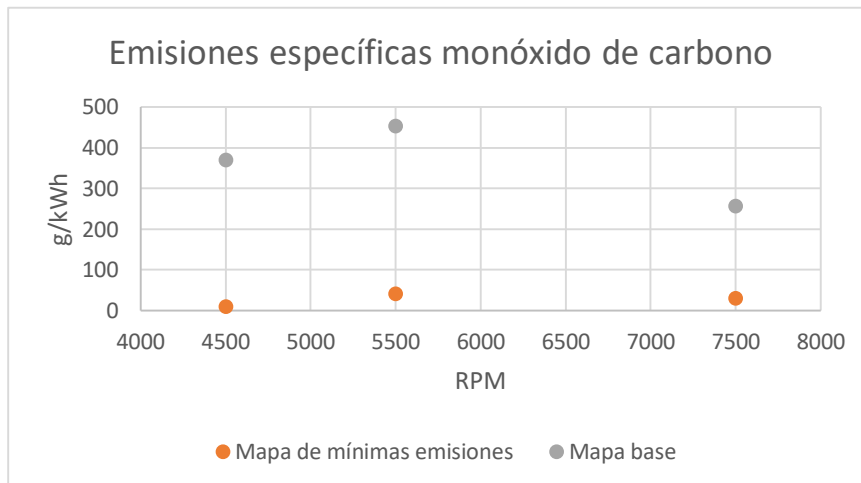
3.5. Cuarto ensayo. Mapa de mínimas emisiones con la centralita programable.

Tras la realización del anterior ensayo, por razones ajenas a nuestra voluntad solo dispusimos del tiempo suficiente para probar 3 únicos puntos del mapa confeccionado correspondiente al de mínimas emisiones. Durante el estudio de sensibilidad con respecto a las emisiones íbamos buscando un factor lambda de valor 1.

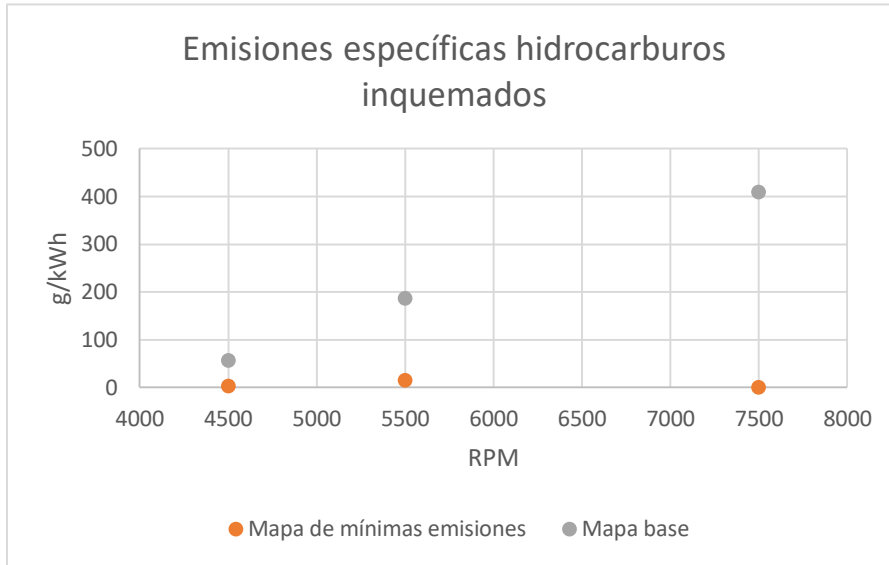
En la siguiente tabla se expone el par obtenido en los mismos:



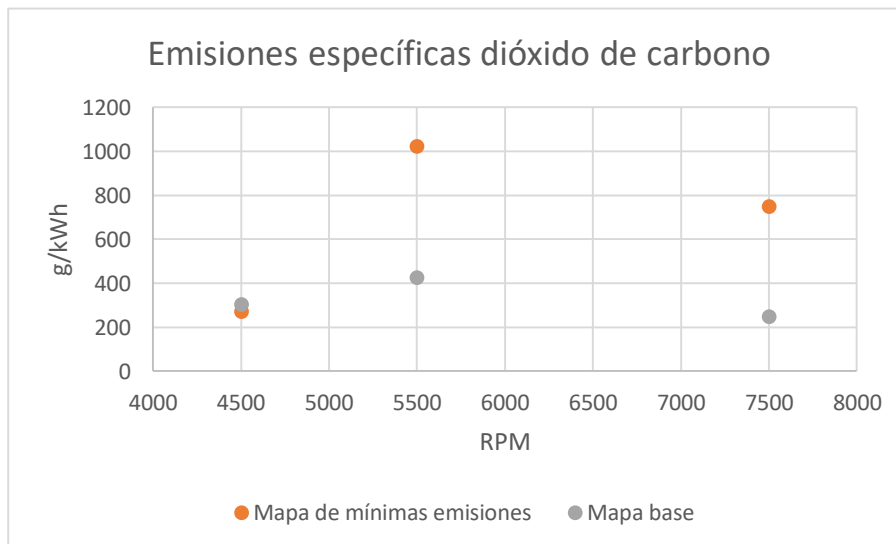
Gráfica 3.5.1. Comparativa del factor lambda



Gráfica 3.5.2. Comparativa de las emisiones específicas para el monóxido de carbono.



Gráfica 3.5.3. Comparativa de las emisiones específicas de hidrocarburos inquemados



Gráfica 3.5.4. Comparativa de las emisiones específicas para el dióxido de carbono.

Donde como se aprecia con esas variaciones se ha conseguido disminuir considerablemente las emisiones.

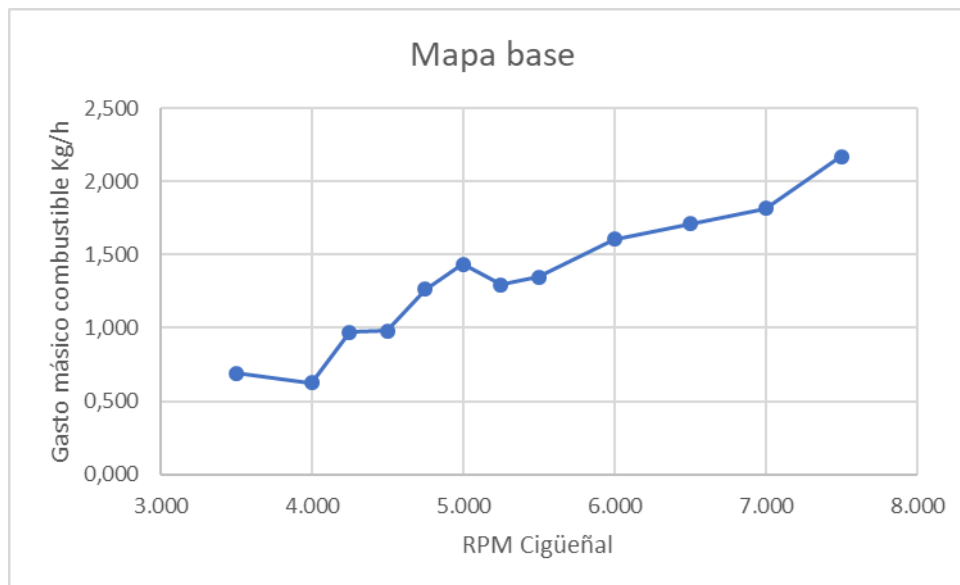
3.6. Consumos.

En este apartado se reflejan los consumos observados por el motor en los ensayos con la centralita programable ya que es uno de los parámetros más importantes del ensayo.

Con respecto al mapa base el consumo registrado en cada punto se refleja en la siguiente imagen:

RPM	MAPA BASE		Consumo Kg/h
	inyeccion	avance encendido	
3500	0	0	0,692
4000	0	0	0,626
4250	0	0	0,971
4500	0	0	0,981
4750	0	0	1,263
5000	0	0	1,436
5250	0	0	1,296
5500	0	0	1,348
6000	0	0	1,605
6500	0	0	1,710
7000	0	0	1,815
7500	0	0	2,172

Tabla 3.6.1. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa base.



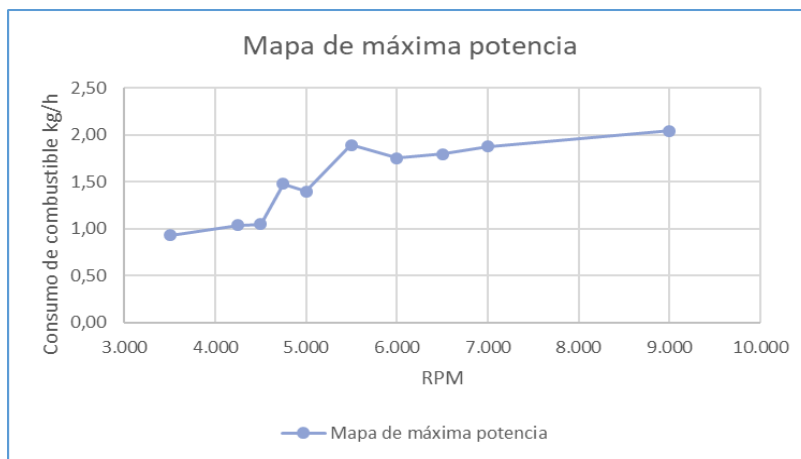
Gráfica 3.6.1. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa base.

RPM	SEGÚN PRESTACIONES		Consumo Kg/h
	inyeccion	avance encendido	
3500	0,609	-3	0,933
4000	0,609	-3	0,683
4250	0,609	-3	1,039
4500	0,609	-3	1,052
4750	0,609	-3	1,480
5000	0,609	-3	1,399
5250	0,609	-3	1,072
5500	0,609	-3	1,893
6000	0,609	-3	1,752
6500	0,609	-3	1,796
7000	0,609	-3	1,877
7500	0,609	-3	1,238
8000	0,609	-3	1,251
9000	0,609	-3	2,042

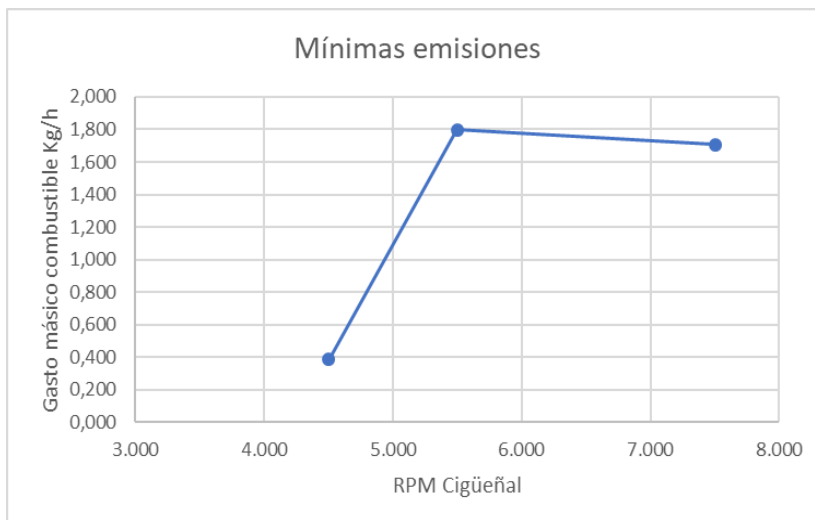
Tabla 3.6.2. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa de máxima potencia.

RPM	SEGÚN EMISIONES		Consumo Kg/h
	inyeccion	avance encendido	
3500	0,547	-3	
4000	0,547	-3	
4250	0,547	-3	
4500	0,547	-3	0,387
4750	0,547	-3	
5000	0,547	-3	
5250	0,547	-3	
5500	0,547	-3	1,798
6000	0,547	-3	
6500	0,547	-3	
7000	0,547	-3	
7500	0,547	-3	1,706
8000	0,547	-3	
9000	0,547	-3	

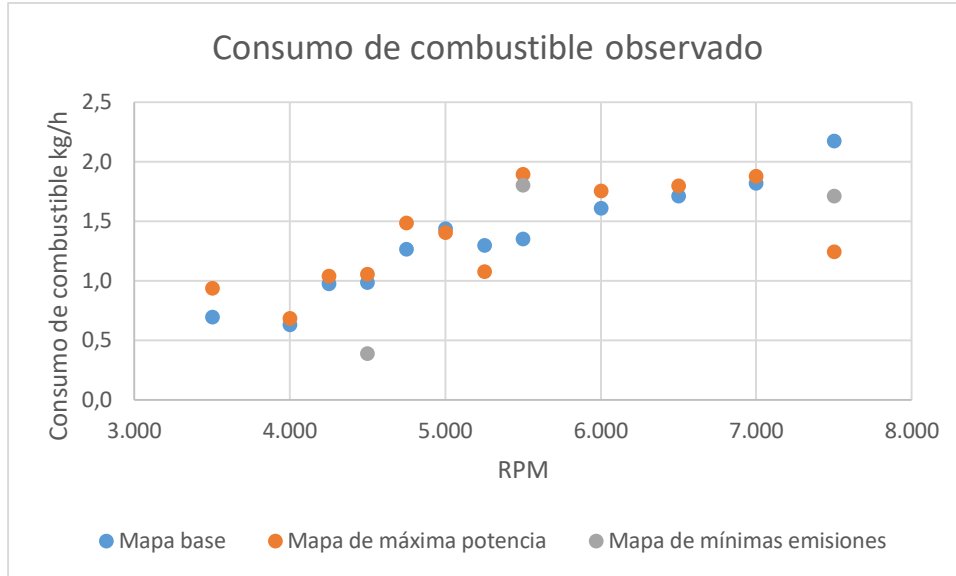
Tabla 3.6.3. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa de mínimas emisiones.



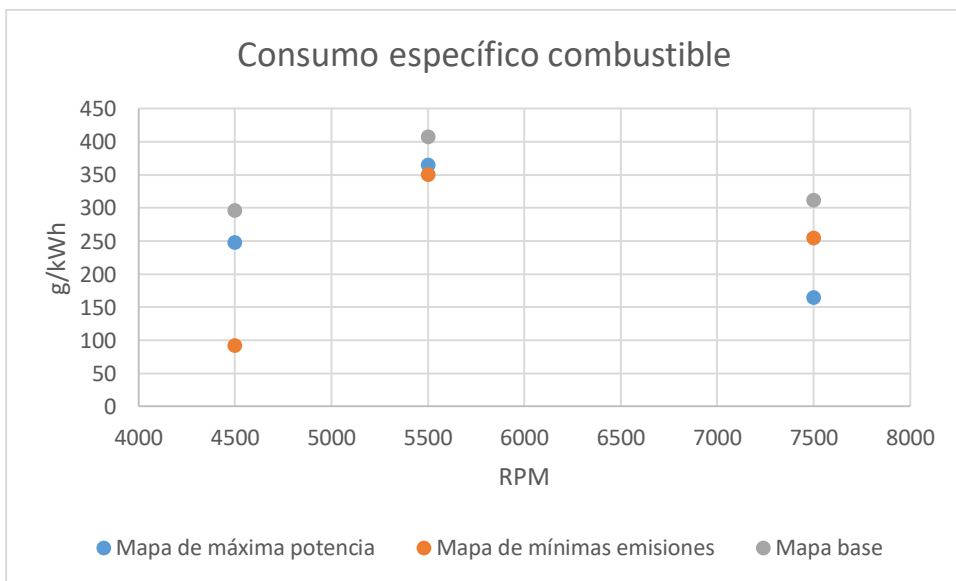
Gráfica 3.6.2. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa de máxima potencia.



Gráfica 3.6.3. Consumo en los puntos del ensayo para el mapa de mínimas emisiones.



Gráfica 3.6.4. Comparativa de consumos observados.



Gráfica 3.6.5. Comparativa de consumos específicos.

3.7. Medidas realizadas con el osciloscopio.

Estas medidas se han captado para tener constancia de la verdadera magnitud de la variación producida tanto en el tiempo de inyección como en el avance de la chispa cuando programamos la centralita.

Para ello empezamos recogiendo las medidas de los cuatro canales del osciloscopio del mapa base de la ecu programable.

Mapa base.

MEDIDAS REALIZADAS MEDIANTE OSCILOSCOPIO						
PUNTO	% MARIPOSA	RPM	Pulso Inyección (ms)	Tiempo de Iny a Iny (ms)	P. Cilindro (V)	Periodo(ms)
1	100	3500	12,42	34,29	4,68	17,41
2	100	4000	12,37	30	4,2	15,2
3	100	4250	12,51	28,16	4,11	14,32
4	100	4500	12,65	26,64	3,2	13,4
5	100	4750	12,69	25,13	2,1	12,47
6	100	5000	12,71	23,97	2,03	12,2
7	100	5250	12,74	22,68	2,37	11,35
8	100	5500	12,85	21,87	2,46	10,97
9	100	6000	12,89	19,93	2,62	10,02
10	100	6500	12,78	18,16	-	9,2
11	100	7000	12,75	16,79	2,65	8,56
12	100	7500	12,22	16,27	2,53	7,96

Tabla 3.7.1. Medidas de osciloscopio para el mapa base de la centralita programable.

Mapa de máxima potencia.

MEDIDAS REALIZADAS MEDIANTE OSCILOSCOPIO							
PUNTO	% MARIPOSA	RPM	Pulso Inyección (ms)	Tiempo de Iny a Iny (ms)	P. Cilindro (V)	Periodo(ms)	Avance(ms)
1	100	4000	7,76	29,74	6,64	15,17	1,32
2	100	4250	7,89	28,17	-	14,25	1,24
3	100	4500	7,94	26,75	-	13,11	1,17
4	100	4750	8,01	25,31	6,25	12,45	1,1
5	100	5000	8,07	23,97	6,04	12,14	1
6	100	5250	8,12	22,89	6,06	11,3	0,98
7	100	5500	8,1	21,75	5,68	10,98	0,94
8	100	6000	8,23	19,86	5,42	9,9	0,84
9	100	6500	8,1	18,36	5,51	9,26	0,76
10	100	7000	8,14	17,14	6,06	8,6	0,68
11	100	7500	7,96	15,92	5,43	7,92	0,62
12	100	8000	7,63	15	5,35	7,44	0,56
13	100	9000	7,03	13,37	-	6,7	0,48

Tabla 3.7.2. Medidas de osciloscopio para el mapa de máxima potencia de la centralita programable.

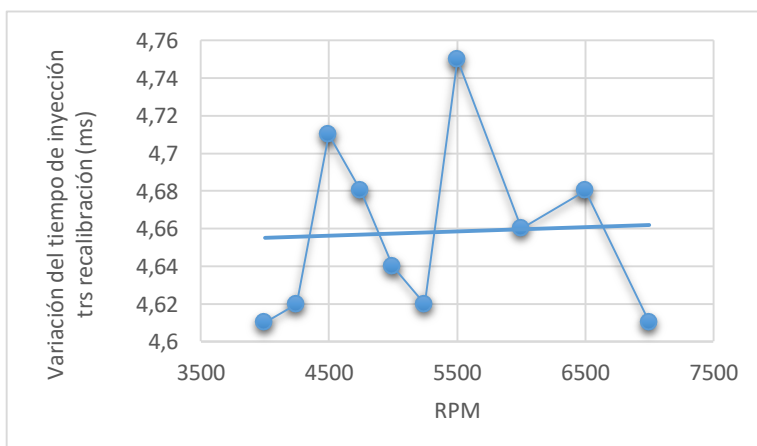
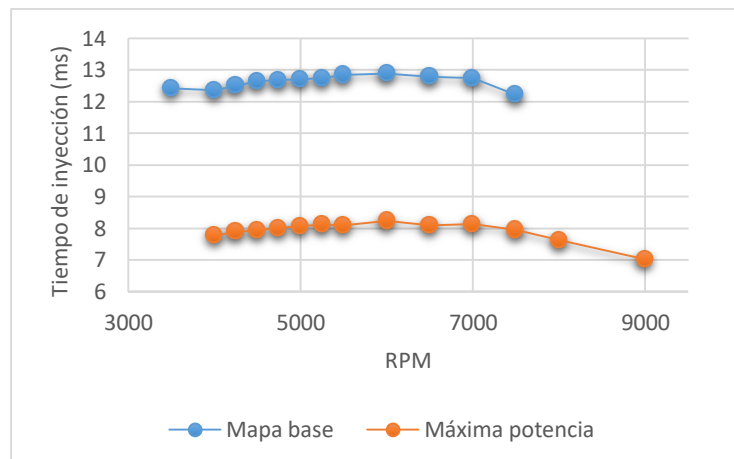
A continuación, realizamos una comparativa para el tiempo de inyección del mapa base y del mapa número 1. Como puede apreciarse se ha decrementado prácticamente por igual el tiempo de inyección de todos los puntos del arco de funcionamiento.

Concretamente con esa disminución entorno al 36 % conseguimos aumentar la potencia con respecto al mapa base.

RPM	Pulso Inyección (ms)		% decremento
	Mapa base	Máxima potencia	
3500	12,42	-	-
4000	12,37	7,76	37,27
4250	12,51	7,89	36,93
4500	12,65	7,94	37,23
4750	12,69	8,01	36,88
5000	12,71	8,07	36,51
5250	12,74	8,12	36,26
5500	12,85	8,1	36,96
6000	12,89	8,23	36,15
6500	12,78	8,1	36,62
7000	12,75	8,14	36,16
7500	12,22	7,96	34,86
8000	-	7,63	-
9000	-	7,03	-

Tabla 3.7.3 Comparativa de medidas de osciloscopio para el mapa base y el de máxima potencia de la centralita programable.

Gráfica 3.7.1. Comparativa de medidas de osciloscopio para el mapa base y el mapa de máxima potencia de la centralita programable.

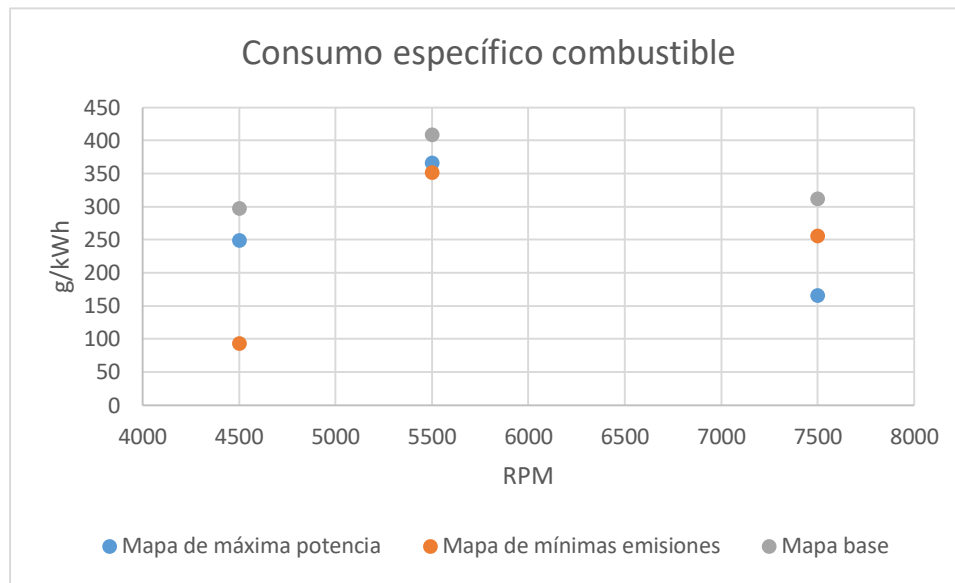


Gráfica 3.7.2. Variación del tiempo de inyección entre el mapa base y el de máxima potencia.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES.

En este capítulo se exponen de forma resumida los valores y resultados obtenidos en los ensayos para realizar comparativas entre los dos mapas de la recalibración electrónica.

4.1. Consumos.

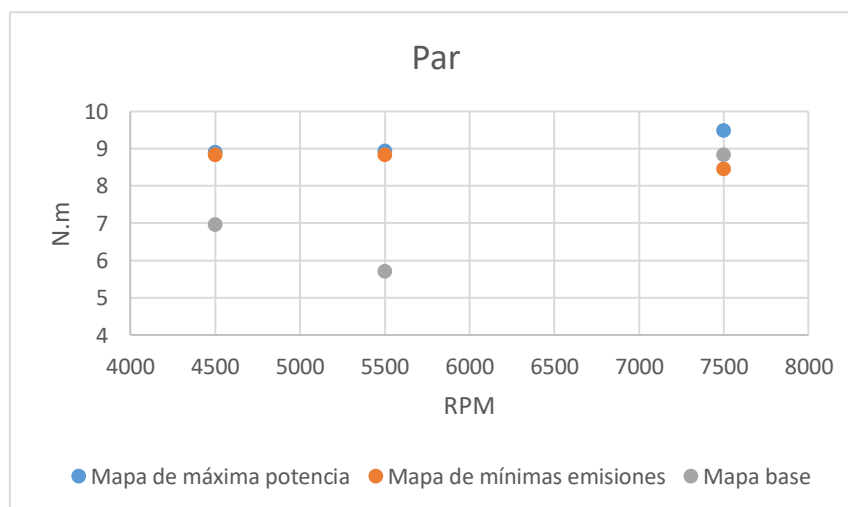


Gráfica 4.1.1. Comparativa consumos específico de combustible.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Consumo específico	g/kWh	296,7396	248,44	92,44	408,12	365,61	350,97	311,66	165,19	255,16

Tabla 4.1.1. Comparativa consumos específico de combustible.

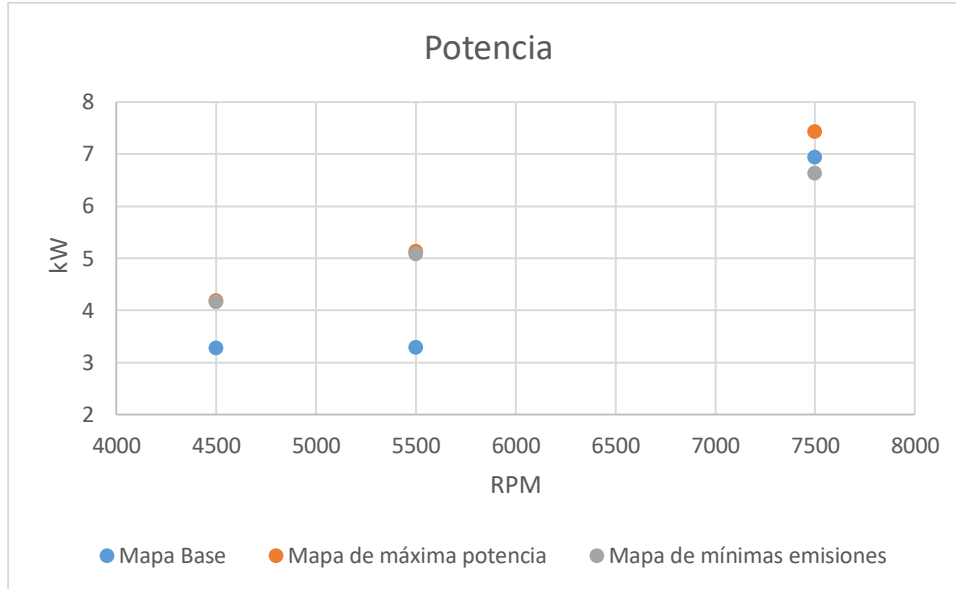
4.2. Prestaciones.



Gráfica 4.2.1. Comparativa de par.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Par corregido	N.m	6,96	8,89	8,82	5,71	8,92	8,82	8,83	9,47	8,45

Tabla 4.2.1. Comparativa de par.

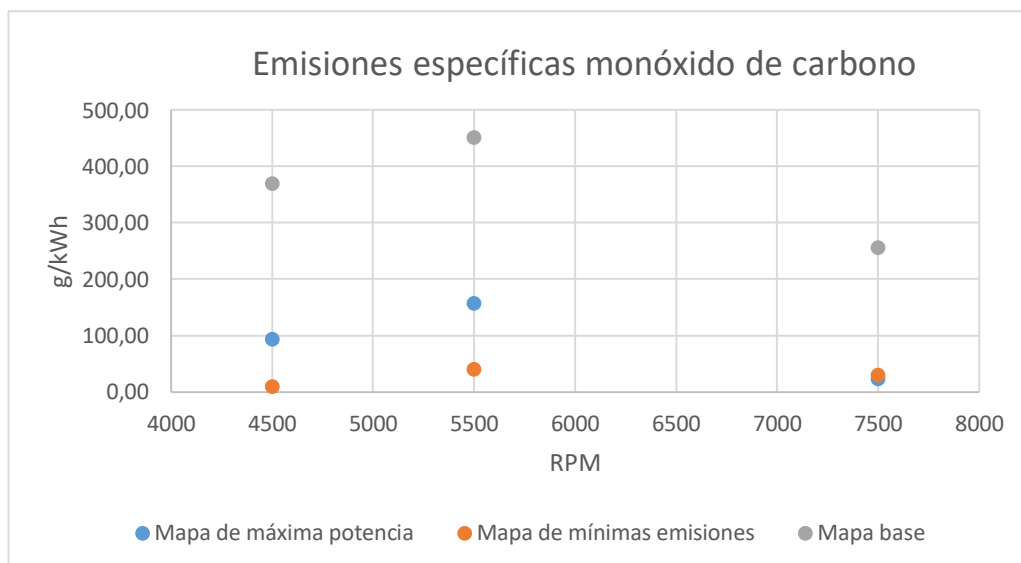


Gráfica 4.2.2. Comparativa de potencia.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Potencia corregida	kW	3,28	4,19	4,16	3,29	5,14	5,08	6,94	7,44	6,63

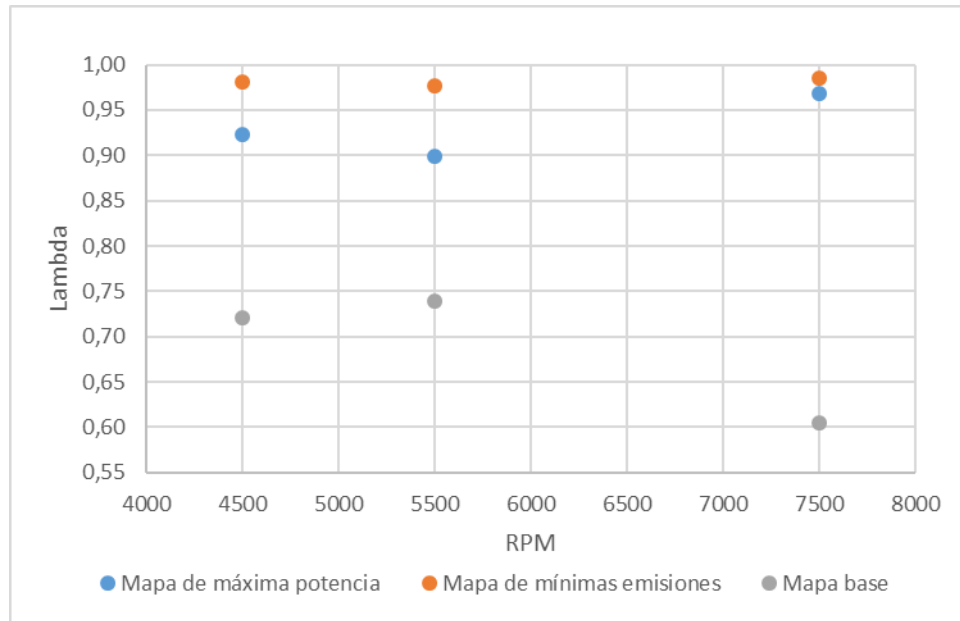
Tabla 4.2.2. Comparativa de potencia.

4.3. Emisiones específicas.



Gráfica 4.3.1. Comparativa de emisiones de monóxido de carbono.

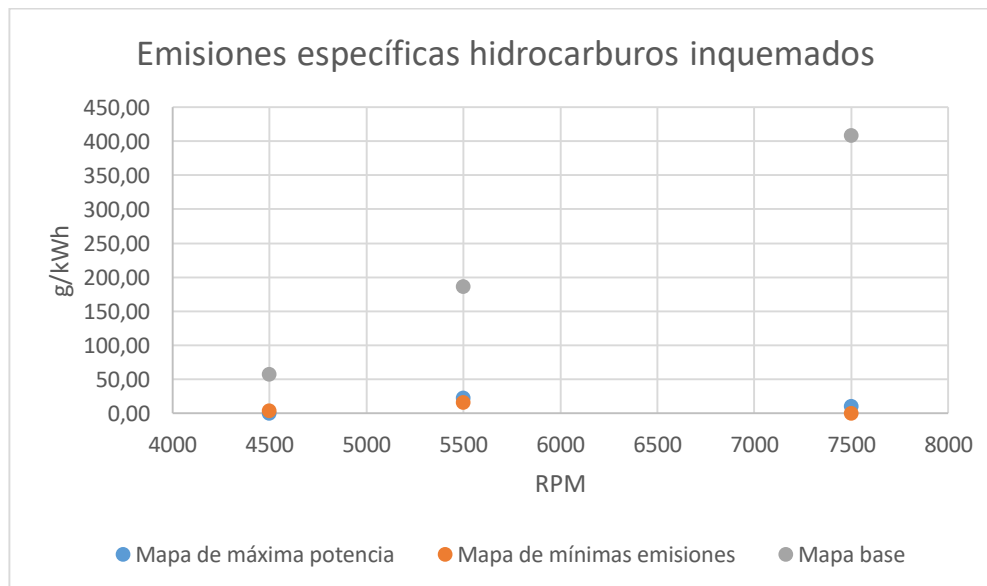
Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Emisiones específicas Moxóxido de Carbono	g/kWh	369,72	94,19	10,04	452,07	157,43	40,91	256,32	23,71	29,58



Gráfica 4.3.2. Comparativa del factor lambda.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Lambda Brettschneider	-	0,72	0,92	0,98	0,74	0,90	0,98	0,60	0,97	0,99

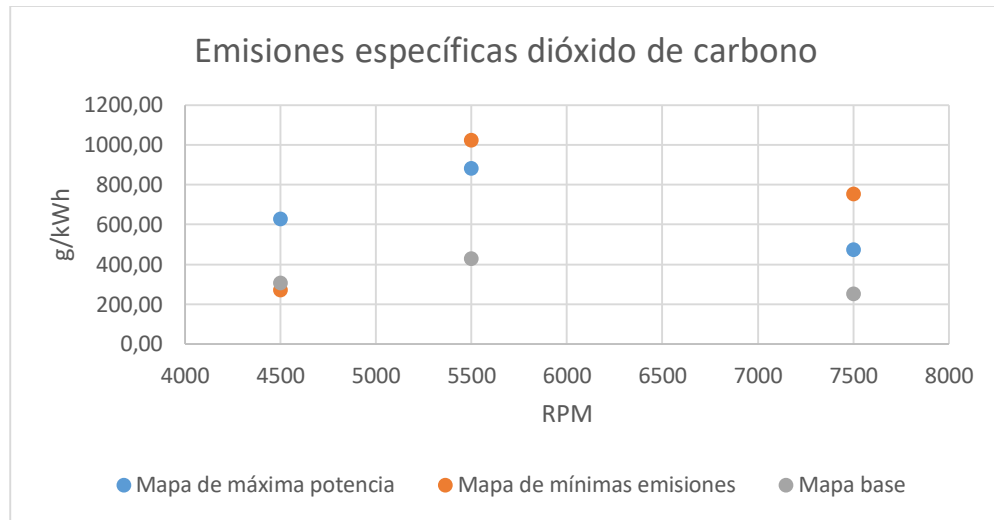
Tabla 4.3.2. Comparativa del factor lambda.



Gráfica 4.3.3. Comparativa de emisiones de hidrocarburos inquemados.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Emisiones específicas hidrocarburos inquemados	g/kWh	57,33	0,16	3,65	186,73	22,45	15,43	409,24	10,02	0,11

Tabla 4.3.3. Comparativa de emisiones de hidrocarburos inquemados.



Gráfica 4.3.4. Comparativa de emisiones de dióxido de carbono.

Velocidad de giro del motor	rpm	4500			5500			7500		
Variación avance de encendido	Grados	0	-3		0	-3		0	-3	
Variación de inyección	-	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547	0	0,609	0,547
Emisiones específicas Dióxido de Carbono	g/kWh	304,28	628,41	270,58	427,27	879,64	1021,90	249,83	472,07	750,87

Tabla 4.3.4. Comparativa de emisiones de dióxido de carbono.

Como recapitulación a todo el proyecto y en virtud de estos últimos datos expuestos estamos en disposición de discutir objetivamente si hemos alcanzado el objetivo deseado de obtener un correcto compromiso entre emisiones, consumos y prestaciones en nuestro motor.

En primer lugar, lo que sí está claro es que tras todos los resultados alcanzados hasta el momento podemos decir que efectivamente hemos sido capaces de manipular y controlar ciertos parámetros del motor mediante la centralita programable cuyos efectos han sido palpables desde el punto de vista de prestaciones, consumos y emisiones.

Pero... ¿hay diferencias considerables entre los mapas confeccionados?

Pues desde el punto de vista del par o la potencia observamos que hasta el régimen de vueltas en torno a las 5250 las diferencias son mínimas. No obstante, a partir de esa velocidad si nos fijamos en los datos sí que tenemos un mayor par para el mapa de máxima potencia frente al de mínimas emisiones.

Con respecto al consumo de combustible ocurre justo lo contrario, sí que se tiene un menor valor de este parámetro para el mapa de mínimas emisiones hasta las 5250 rpm, pero a partir de ahí las diferencias vuelven a ser mínimas.

Y en lo relativo a las emisiones, si nos fijamos en el factor lambda podemos comprobar que las proporciones aire-combustible se mantienen muy cercanas a las proporciones teóricas para el mapa de mínimas emisiones frente a una combustión muy rica en combustible alcanzada con el mapa de máxima potencia.

Y finalmente si nos fijamos en las gráficas de emisiones pueden apreciarse en todas que no existen patrones que nos indiquen diferencias claras entre ambos mapas en todo el rango de funcionamiento del motor.

Por lo que podemos concluir que sí existen diferencias en diferentes puntos de funcionamiento para ambos mapas, pero el método de hacer la misma variación de parámetros internos de la centralita en todo el arco de funcionamiento del motor resulta ineficaz para alcanzar los objetivos marcados.

Dicho esto, el siguiente paso que habría que acometer sería el de realizar ajustes personalizados para cada uno de los puntos permitidos por la centralita programable y ensayarlos en la celda con el fin de crear un mapa preciso que se adecúe a nuestras necesidades.

Así que hemos de ser conscientes de que aún queda un largo camino por recorrer en esta línea de investigación, no obstante, estamos satisfechos por haber establecido una base fiable a partir de la cual continuar para de tratar alcanzar las metas marcadas por la empresa Italkit.

Por lo que resumiendo podemos destacar las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado y ejecutado las adaptaciones necesarias en un banco de ensayos de motores para el montaje de un motor a ensayar con el objetivo de desarrollar un procedimiento de calibración de una ecu motor.
- Se ha establecido un procedimiento de la calibración con bajo coste de ensayo para cada posición de mariposa del motor para maximizar las prestaciones del motor. En este caso se ha desarrollado con posición de mariposa completamente abierta (ensayo de máxima carga).
- Se ha desarrollado un procedimiento de recalibración para conseguir en todos los puntos un λ que nos permita mínimas emisiones en un motor con catalizador de 3 vías. de CO y HC.

Bibliografía

- STONE, C.R., “*Air flow measurement in internal combustion engines*”, SAE Technical series 890242. 1989. Detroit
- CHAN, S.H., ZHU, J., “*Exhaust Emission based air-fuel ratio model (I): literature reviews and modelling*” SAE paper 961020, 1996.
- BRETTSCHEIDER, J., “*Ampliación de la ecuación para el cálculo del coeficiente de aire lambda*”, BOSCH Technische Berichte, 1994
- AGÜERA SORIANO, J.: Termodinámica Lógica y Motores Térmicos. — Madrid, Editorial Ciencia 3 S. L., 1999.
- CARRERAS, COMAS y CALVO: Motores de combustión interna. Fundamentos.-- Barcelona, Edicions UPC, 1993.
- Directiva 80/1269/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la potencia de los motores de los vehículos a motor. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 31/12/80
- HEYWOOD, J.B.: Internal Combustion Engine Fundamentals.- New York. McGraw-Hill, 1988.
- International Standard ISO 1585. Road vehicles – Engine test code – Net power. Genève: International Organization for Standardization, 1992.
- MUÑOZ TORRALBO, M.; PAYRI GONZALEZ, F.: Motores de Combustión Interna Alternativos.- Valencia. Servicio de Publicaciones de la UPV, 1983.
- TAYLOR, C.F.: The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice.- Cambridge, Massachusetts. The MIT Press, 1985.
- Manual de funcionamiento de Matlab.
- Libro “Fundamentos de Termodinámica” Howard N. Shapiro, Michael J. Moran
- Manual de funcionamiento del osciloscopio Yokogawa.
- Apuntes de la asignatura Ingeniería Térmica del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la UPCT.
- -Manual de funcionamiento de los controladores de inyección de MegaSquirt <http://www.megamanual.com/v22manual/mfuel.htm>.
- “Diagnostics for Automotive Electronic Throttle Body Systems”- 2005 American Control Conference Autor: Qi Ma, Liang Shao and Stephen Yurkovich.
- “Delphi Electronic Throttle Control Systems for Model Year 2000”-SAE 2000 World Congress Detroit Autor: Daniel McKay, Gary Nichols and Bart Schreurs.
- “Toyota Electronic Throttle Control Investigation”- Autor: David W. Gilbert, Ph.D.
- “Diagnosis of automotive electronic throttle control systems”- Clemson University.
- Autor: R. Conaster, J. Wagner, S. Ganta, I. Walker.
- Documentación aportada por el departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
- Normativa europea sobre las emisiones contaminantes.