



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CICLO DE CONDUCCIÓN REAL (RDE) EN UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES TÉRMICOS DE AUTOMOCIÓN

AUTOR: FERNANDO REDONDO PUELLES

TUTOR: DR. JOSÉ MANUEL LUJÁN MARTÍNEZ

Curso Académico: 2017-18

ÍNDICE:

DOCUMENTO I: MEMORIA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1.	INTRODUCCIÓN	8
1.2.	HISTORIA DE LOS MCIA	9
1.3.	HISTORIA DE LOS AUTOMÓVILES.....	10
1.4.	MCIA EN LA ACTUALIDAD.....	11
1.4.1.	MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN (MEC)	11
1.4.2.	MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP)	12
1.5.	EMISIONES CONTAMINANTES	13
1.5.1.	DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	14
1.5.2.	ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX).....	15
1.5.3.	MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	16
1.5.4.	HIDROCARBUROS (HC)	16
1.5.5.	PARTÍCULAS Y HUMO	17
1.6.	NORMATIVAS ANTICONTAMINANTES	18
1.7.	OBJETO DEL TRABAJO	20
1.8.	VIABILIDAD.....	21
1.9.	DESARROLLO Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	21
1.10.	COMPOSICION DEL TRABAJO.....	22
1.11.	JUSTIFICACIÓN.....	23

CAPÍTULO 2: NORMATIVA EURO

2.1.	INTRODUCCIÓN	25
2.2.	NORMATIVA EURO	25
2.3.	RDE (Real Driving Emissions)	29
2.3.1.	INTRODUCCIÓN	29
2.3.2.	REQUISITOS GENERALES.....	29

2.3.3.	CONDICIONES AMBIENTALES	30
2.3.4.	CONDICIONES DINÁMICAS	31
2.3.5.	REQUISITOS DEL TRAYECTO.....	31
2.3.6.	VENTANAS DE PROMEDIADO MÓVIL	32
2.3.6.1.	DEFINICION DE LAS VENTANAS DE PROMEDIADO	32
2.3.6.2.	EVALUACIÓN DE LAS VENTANAS	33
2.3.6.3.	VERIFICACIÓN DE LA COMPLECIÓN Y NORMALIDAD DEL TRAYECTO	34
2.3.7.	INTERVALOS DE POTENCIA.....	34
2.3.7.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIAS MÓVILES	35
2.4.	EMISIONES DE CO2	36

CAPÍTULO 3: SISTEMAS ANTICONTAMINANTES

3.1.	INTRODUCCIÓN	40
3.2.	MEDIDAS ACTIVAS	40
3.2.1.	SISTEMA DE INYECCIÓN.....	41
3.2.2.	SISTEMA DE SOBREALIMENTACION Y DE FORMACIÓN DE LA MEZCLA	42
3.2.3.	SISTEMA EGR	43
3.3.	MEDIDAS PASIVAS	46
3.3.1.	CATALIZADOR DE TRES VÍAS.....	46
3.3.2.	CATALIZADOR DE OXIDACIÓN DIÉSEL (DOC).....	47
3.3.3.	FILTRO ATRAPA PARTÍCULAS (DPF/FAP).....	48
3.3.4.	CATALIZADOR SELECTIVO DE REDUCCIÓN DE NOX (SCR)	49
3.3.5.	LEAN NOX TRAP (LNT)	50

CAPÍTULO 4: NISSAN PULSAR

4.1.	INTRODUCCIÓN	53
4.2.	NISSAN PULSAR	53
4.2.1.	MOTOR R9M.....	54
4.2.2.	SISTEMAS ANTICONTAMINANTES	55

CAPÍTULO 5: INSTALACIÓN

5.1.	INTRODUCCIÓN	57
5.2.	LOCALIZACIÓN	57
5.3.	SALA DE ENSAYOS.....	57
5.3.1.	BANCADA.....	58
5.3.2.	SISTEMA DE FRENO	58
5.3.3.	TRANSMISIÓN.....	58
5.3.4.	SISTEMA ELÉCTRICO	58
5.3.5.	SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN.....	59
5.3.6.	SISTEMA DE SEGURIDAD	59
5.4.	SISTEMA HORIBA	59
5.4.1.	SIMULACIÓN DEL VEHÍCULO	60
5.4.2.	SIMULACIÓN DEL CONDUCTOR.....	62

CAPÍTULO 6: ENSAYO RDE

6.1.	INTRODUCCIÓN	65
6.2.	METODOLOGÍA.....	66
6.3.	VALIDACIÓN DEL ENSAYO	67
6.3.1.	REQUISITOS AMBIENTALES	67
6.3.2.	REQUISITOS DEL TRAYECTO.....	67
6.4.	VERIFICACIÓN MEDIANTE VENTANAS DE PROMEDIADO MÓVIL	71
6.5.	VERIFICACIÓN MEDIANTE INTERVALOS DE POTENCIA	72
6.6.	CONCLUSIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES

1.	INTRODUCCIÓN	79
2.	CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA.....	79
3.	CONDICIONES A CUMPLIR EN LA INSTALACIÓN.....	80
4.	NORMATIVA PARA LOS OPERADORES	80

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

1.	INTRODUCCIÓN	83
2.	SALARIO DE LOS TRABAJADORES.....	83
3.	COSTES DE EQUIPOS Y SISTEMAS.....	83
4.	COSTE DE MATERIALES Y RECURSOS ENERGÉTICOS.....	84
5.	PRESUPUESTO TOTAL.....	84

DOCUMENTO I: MEMORIA

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento esta enfocado principalmente a los motores de combustión interna alternativos, concretamente los destinados a automoción, y de su problemática debido a la contaminación que estos emiten al usarse. Y es que con el transcurso de los años, el parque automovilístico mundial va creciendo considerablemente, actualmente se datan aproximadamente unos 1.200 millones de vehículos circulando en todo el mundo.

En España concretamente, se cuenta con unos 27 millones de automóviles, con una población aproximada de 45,6 millones, se traduce en 0,59 coches por habitante, teniendo en cuenta la población que no conduce, bien por ser menor de edad o porque ya son demasiado ancianos, este dato se traduce en que a día de hoy prácticamente toda la población española con capacidad de conducir dispone al menos de un automóvil.

Teniendo en cuenta el ritmo actual de crecimiento de la población mundial, principalmente la población China, y que esta, actualmente no cuenta con el parque automovilístico que le correspondería a su población, se prevee que la cantidad de automóviles crezca considerablemente en los próximos años, alcanzandose unos 2.500 millones para 2035, y 5.000 millones para 2050, si la evolución actual sigue su curso.

En la siguiente figura, se observa como ha ido evolucionando el parque automovilístico mundial con el transcurso de los años.

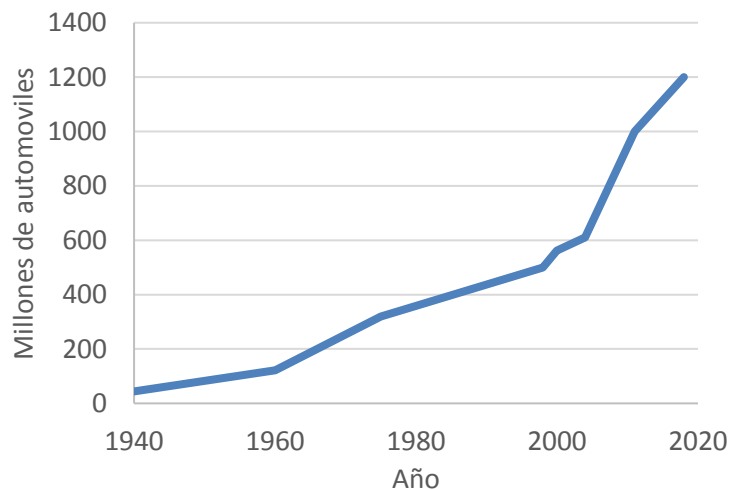


Figura 1.1: Evolución nº de automóviles

Pero el problema no reside en que cada vez haya mas automóviles en las calles y carreteras, el problema se encuentra en el combustible con el que funcionan la gran mayoría, los llamados combustibles fósiles y las emisiones contaminantes producto de su combustión.

Existen otras tecnologías de propulsión con el fin de reducir la cantidad de emisiones contaminantes, como por ejemplo los motores eléctricos, pero actualmente el número de coches propulsados con estos motores es residual, datandose unos 2 millones de vehículos, lo que supone un 0,2% del total, sí que tienen una mayor relevancia las estrategias de hibridación.

1.2. HISTORIA DE LOS MCIA

Los primeros motores tenían diferentes tecnologías constructivas y funcionaban con diversas fuentes de energía como por ejemplo, carbón, gases, aceites, energía eléctrica etc.

Estos motores nacen con el principal propósito de sustituir a la fuerza animal, pero no es hasta finales del siglo XIX, concretamente en 1876, cuando se concibe el primer motor de combustión interna alternativo, desarrollado por el ingeniero alemán Nikolaus Otto, el conocido como motor de encendido provocado, o también motor Otto en honor a su inventor.

Este motor era de cuatro tiempos y utilizaba gas como combustible, y aunque se trataba de un motor de grandes dimensiones, ya que estaba pensado más para uso industrial que automovilístico, la potencia máxima que podía otorgar era tan sólo de 3 caballos de vapor a 180 revoluciones por minuto.

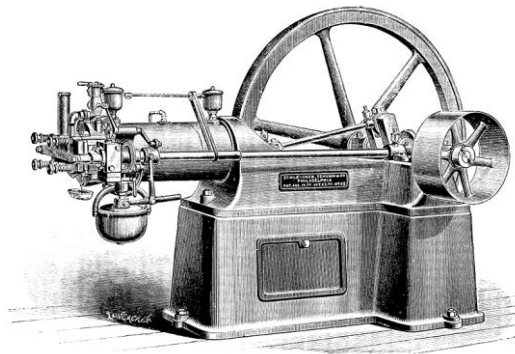


Figura 1.2: Motor Otto

Transcurridos unos años desde el nacimiento del motor de encendido provocado, en el año 1892 Rudolf Diesel, también ingeniero alemán, desarrolló el primer motor de encendido por compresión.

Este motor, también era de grandes dimensiones, contaba con una potencia mayor al anterior, alcanzando un valor de hasta 25 CV, pero tenía un rendimiento muy bajo, de tan sólo el 10%.

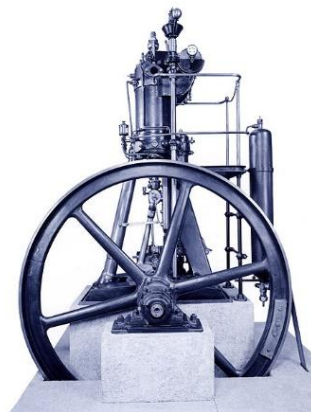


Figura 1.3: Motor Diésel

1.3. HISTORIA DE LOS AUTOMÓVILES

El desarrollo de los primeros automóviles es anterior al de los motores de combustión interna alternativos, Nicolas-Joseph Cugnot un escritor e inventor francés, construyó el que es considerado como el primer automóvil en el año 1769. Este automóvil, disponía de tres ruedas, dos traseras y una delantera la cual era la motriz, y para su propulsión, este automóvil contaba con una máquina de vapor.



Figura 1.4: Automóvil de Cugnot

En los sucesivos años se fueron desarrollando diferentes tipos de automóviles con diferentes conceptos de motor, y diferentes combustibles. Pero no es hasta 1886 cuando Karl Benz, construyó el primer modelo de un automóvil propulsado con un motor de combustión interna alternativo, el Benz Patent-Motorwagen, el cual usaba gasolina como combustible, y se puede observar en la siguiente figura.

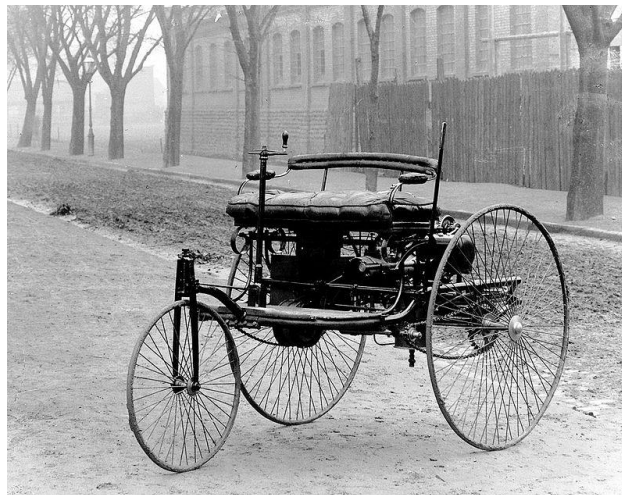


Figura 1.5: Automóvil de Karl Benz

Este automóvil disponía de un motor de un único cilindro, con una cilindrada de 954 centímetros cúbicos, y otorgaba una potencia de 0,7 CV.

Ya entrados en el siglo XX, se empiezan a fabricar cada vez más automóviles, y con el transcurso de los años empiezan a concebirse como una herramienta de uso cotidiano, como lo son actualmente.

A continuación se destacan una serie de hitos históricos, que marcaron el desarrollo de los automóviles:

- 1888: Bertha Benz viaja 80 kilómetros, desde Mannheim hasta Pforzheim, con el automóvil desarrollado por su marido, para así demostrar su gran potencial.
- 1905: Alfred Buchi patentó un motor turbo-sobrealimentado.
- 1908: Henry Ford comienza a producir automóviles en una cadena de montaje.
- 1925: Jonas Hesselman presenta el primer motor gasolina de inyección directa.
- 1933: Citroën Rosalie, primer turismo con motor diésel.
- 1936: Mercedes lanza el 260D, el primer automóvil diésel fabricado en serie.
- 1978: Mercedes produce el primer turismo sobrealimentado, el Mercedes 300 SD.
- 1989: El grupo Volkswagen desarrolla un motor diésel de inyección directa, turboalimentado para automóviles.

1.4. MCIA EN LA ACTUALIDAD

Los motores de combustión interna alternativos han ido evolucionando progresivamente en los últimos años, y se trata de una tecnología que se encuentra altamente implantada en nuestra sociedad, contando estos con múltiples aplicaciones.

Dado que este trabajo se centra en los motores de combustión dedicados a la automoción, se va a realizar una breve descripción de los motores térmicos que conciernen a esta.

Actualmente, en la industria automovilística para la propulsión de vehículos, reinan principalmente dos tecnologías o principios de funcionamiento, los motores de encendido provocado y motores de encendido por compresión, los cuales se exponen a continuación.

1.4.1. MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN (MEC)

También conocido como motor Diésel debido al inventor de este tipo de motores, el ingeniero alemán Rudolf Diésel. El principio de funcionamiento de este tipo de motor, se basa principalmente en realizar la inyección cuando el pistón está ya en las proximidades del punto muerto superior, para acto seguido comenzar la combustión, el inicio de la combustión como el propio nombre de este tipo de motores indica, se realiza por compresión, por lo que estos motores cuentan con la característica constructiva de contar con una alta relación de compresión, ya que sin ella no se alcanzarían las condiciones necesarias para iniciar la combustión. En la siguiente figura, se observan cada uno de los cuatro tiempos o carreras del pistón.

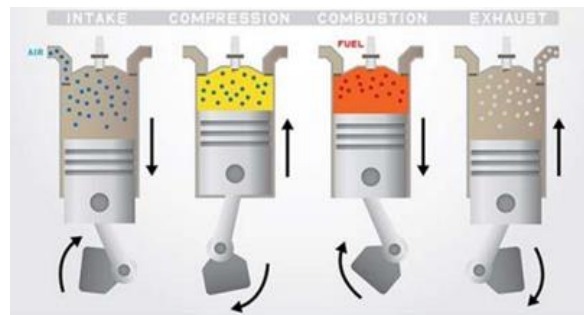


Figura 1.6: Motor MEC

En estos motores se produce una combustión por difusión, por lo que el combustible y el aire van mezclándose y al mismo instante se inicia la combustión de la mezcla, con el fin de mejorar la combustión, generalmente se realiza una inyección a alta presión para mejorar la atomización, mezcla y evaporación del combustible. Y también cobra una gran importancia la presión de sobrealimentación en estos motores, tal es dicha importancia que en la actualidad los motores diésel con aspiración natural han quedado completamente obsoletos.

Estos motores tienen como principal ventaja su alta economía y que utilizan un combustible relativamente barato, razón principal por la que su uso está ampliamente extendido, los inconvenientes que se pueden encontrar residen en las emisiones contaminantes que se producen por su uso, las cuales se enumeran en el siguiente apartado, [1.5 Emisiones Contaminantes](#). Este trabajo concretamente, se ha centrado en el estudio de un vehículo propulsado por un motor de encendido por compresión.

1.4.2. MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP)

Los motores de encendido provocado siguen el principio de funcionamiento del motor ideado por Nicolaus Otto en 1876. Su funcionamiento se basa en realizar la inyección del combustible durante la carrera de admisión, y durante esta y la posterior carrera de compresión, realizar la mezcla aire-combustible, además también es necesario utilizar un combustible con alto índice de octanaje, lo que supone resistencia a la autodetonación, por último cabe destacar que es necesario el aporte de una fuente de energía externa, como por ejemplo una bujía de encendido para iniciar la combustión.

Debido a que la mezcla de combustible y aire tiene tiempo suficiente para homogeneizarse totalmente, estos motores realizan una combustión por deflagración premezclada. En la siguiente figura, se ven cada uno de los cuatro tiempos que realiza este motor.

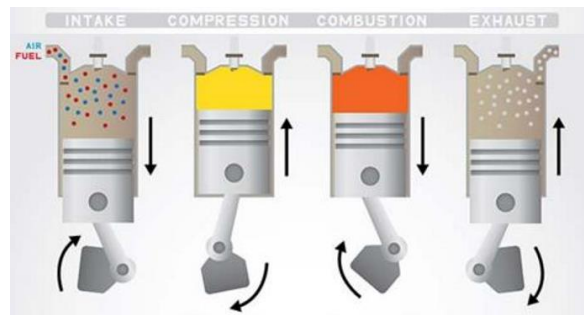


Figura 1.7: Motor MEP

El principal inconveniente de esta tecnología, reside en el bajo rendimiento que tienen estos motores cuando funcionan a bajo grado de carga, debido a que el trabajo de bombeo es muy elevado, este trabajo de bombeo es consecuencia de la existencia de una válvula de mariposa en la admisión, con el objetivo de conseguir que el dosado de la mezcla siempre sea el mismo, (cercano al estquiométrico) estrangulando la admisión y reduciendo la entrada de aire.

Con el fin de mejorar el rendimiento de estos motores, en los últimos años se ha ido introduciendo la llamada formación de mezcla estratificada, la cual consiste en que a bajo régimen y bajo grado de carga, realizar una combustión similar a la que realizaría un motor de encendido por compresión, en la que se inyecta en la carrera de compresión cuando el pistón esta cercano al punto muerto superior, y realizar la combustión en las inmediaciones de la bujía. Así se reduce el trabajo de bombeo, ya que se eliminaría la válvula de mariposa en la admisión, lo que supondría una mejora del rendimiento.

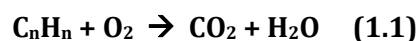
Pero con la aplicación de la conocida como mezcla estratificada, no son todo ventajas, los principales inconvenientes se enumeran a continuación:

- Incompatibilidad a alta carga y alto régimen.
- Dificultad en el control del motor especialmente en transitorios.
- Diseño complicado en cuanto a cámara de combustión se refiere, teniendo que realizar inyección directa.
- Alto coste.

1.5. EMISIONES CONTAMINANTES

En la actualidad, la mayoría de los automóviles usan como medio de propulsión motores de combustión interna alternativos, con combustibles fósiles como fuente de energía, ya sea gasóleo, gasolina, gases licuados del petróleo etc.

La reacción química tipo e ideal, que se produce al realizar una combustión de este tipo, entre un hidrocarburo cualquiera y oxígeno es la siguiente:



Como se observa, los productos obtenidos en una combustión ideal serían Dióxido de Carbono (CO_2) y agua (H_2O). Pero en los motores térmicos de automoción, esta combustión ideal no se produce por los siguientes motivos:

- En primer lugar, no se utiliza Oxígeno como comburente, sino el aire procedente de la atmósfera. Este aire cuenta con la siguiente composición de gases, y aproximadamente con el peso porcentual que se describe a continuación:
 - Nitrogeno: 78%.
 - Oxígeno: 20,9%.
 - Argón: 0,9%.
 - Dióxido de Carbono: 0,03%.
 - Otros gases: 0,17%.
- Las combustiones pueden llevarse a cabo en condiciones no estequiométricas, lo que se traduce en combustiones incompletas y dan lugar a otros tipos de compuestos diferentes a los esperados, o que no se consiga "quemar" todo el combustible por diferentes razones, y den lugar a la aparición de hidrocarburos sin quemar en los gases de escape.
- Posibles impurezas en el combustible, como por ejemplo la presencia de Azufre, Oxígeno, Nitrógeno etc.

A continuación, se presentan los posibles compuestos y productos que se producen tras la combustión de los motores de combustión interna alternativos actuales, los cuales son considerados como emisiones contaminantes.

1.5.1. DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

Cómo se ha puntualizado anteriormente, el Dióxido de Carbono es un producto que se obtiene tras una combustión ideal, y aunque este compuesto no es perjudicial para la salud humana si no es en muy altas concentraciones, hay evidencias de que el efecto invernadero es consecuencia de las emisiones de CO_2 (y otros gases relacionados con la actividad humana), y es que la emisión de este compuesto ha ido aumentando paulatinamente con los años, como se puede observar en la siguiente gráfica.

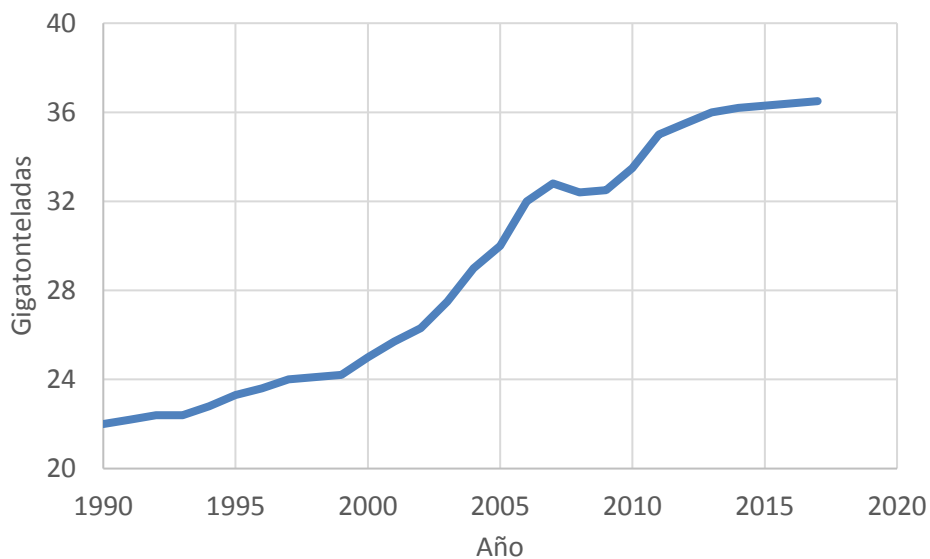


Figura 1.8: Emisiones de CO₂ mundiales

Las emisiones de Dióxido de Carbono están relacionadas directamente con el consumo de combustible de los automóviles, por lo que la reducción de este se obtiene únicamente con la mejora del rendimiento, o estrategias basadas en el uso de biocombustibles o hibridación.

1.5.2. ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

La formación de NO_x es debida a que como se ha comentado en el punto anterior, los automóviles no usan Oxígeno como comburente sino aire procedente de la atmósfera, y este aire tiene una gran cantidad de Nitrógeno, concretamente un 78%, aunque también es posible su formación gracias al propio Nitrógeno que pueda encontrarse presente en el combustible.

La familia de los NO_x, está compuesta principalmente por dos gases:

- Monóxido de de Carbono (NO).
- Dióxido de Carbono (NO₂).

De los dos compuestos, es el Dióxido de Nitrógeno, el que tiene efectos mas adversos para la salud, además la mayoría del Monóxido de Nitrógeno acaba oxidándose en la atmósfera con mucha facilidad, dando lugar a NO₂.

Pero para la producción de dicha familia de componentes además es necesario que se den las siguientes condiciones, conocidas como las tres ``T``:

- Temperatura elevada (T>1800 K).
- Tiempo elevado de residencia.
- Turbulencia elevada.

Los efectos negativos que pueden producir en la salud humana, son muy diversos, inflamación de las vías aéreas, afecciones a órganos, al sistema circulatorio, al sistema inmunitario etc.

En el medio ambiente producen acidificación y eutrofización de sistemas, también participan en la formación de smog, ozono y lluvia ácida, y de la misma forma contribuyen a la formación de partículas inorgánicas, como por ejemplo ácido nítrico.

En la actualidad es el gas contaminante más preocupante, debido a su peligrosidad para el ser humano, y principalmente a las grandes concentraciones de este que se dan en los grandes núcleos urbanos, llegando incluso a restringirse el tráfico en algunas ciudades.

1.5.3. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

La emisión de Monóxido de Carbono se debe a que se ha producido una combustión incompleta en la cámara debido a una mezcla rica global o parcial, es decir, se produce una combustión con un dosado superior al estequiométrico, por lo que la reacción química no es la ideal, y no se consigue oxidar hasta obtener el CO₂ deseado, dando lugar a la formación de CO.

Debido a que se forma en mezclas ricas, es más común en motores de encendido provocado que trabajan con dosados cercanos al estequiométrico, que los de encendido por compresión, ya que estos últimos siempre trabajan con dosados inferiores al estequiométrico.

El CO tiene una gran peligrosidad para la salud, debido a su gran afinidad con la hemoglobina (pigmento rojo contenido en la sangre, cuya función consiste en captar el oxígeno de los alveolos pulmonares y comunicarlo a todos los tejidos y regiones, y en tomar el dióxido de carbono de estos y transportarlo a los pulmones para ser expulsado), dando lugar a la carboxihemoglobina, que al desplazar al oxígeno en la hemoglobina da lugar a isquemia e hipoxia, a lo que corazón y cerebro especialmente son muy sensibles.

En bajas concentraciones de CO, este causa fatiga en personas sanas y dolor pectoral en pacientes con enfermedades cardíacas. A mayores concentraciones llega a provocar problemas de visión y coordinación, mareos y confusión. Cuando la concentración ya es muy elevada la exposición a este compuesto puede ser fatal, causando la muerte en pocos minutos.

1.5.4. HIDROCARBUROS (HC)

La emisión de hidrocarburos, al igual que en el caso del Monóxido de Carbono, también puede ser debida a una combustión incompleta, pero además, tanto en motores de encendido por compresión como de encendido provocado, también pueden emitirse debido a:

- Cortocircuito de mezcla fresca, en la que durante el cruce de válvulas, se expulsa combustible junto a los gases quemados de la anterior combustión.

- Apagado de llama, por efectos de pared y pequeños volúmenes.

Aunque cabe puntualizar que las emisiones de hidrocarburos en motores de encendido por compresión actuales, son prácticamente despreciables en condiciones normales, debido a que estos trabajan con un dosado global pobre. Los posibles casos de aparición de estas sustancias en los gases de escape, se dan durante transitorios o arranques en frío.

Estos hidrocarburos, presentan una composición muy variada, por lo que tienen efectos muy diversos, por ejemplo, determinados hidrocarburos son importantes en la formación de smog.

1.5.5. PARTÍCULAS Y HUMO

En primer lugar, debido a la evolución de la normativa, y del desarrollo de nuevos equipos de medida, hay que realizar una distinción entre partículas y humo, a continuación se expone la distinción que realiza la normativa:

- **Partículas:** Es cualquier material que se acumula en un medio filtrante tras diluir los gases de escape con aire filtrado limpio, y cuando la temperatura sea inferior a 325 K.
- **Humos:** Son las partículas en suspensión de los gases de escape de un motor diésel, que absorben reflejan o retractan la luz.

La composición química de las partículas, depende de las condiciones de funcionamiento, en la siguiente figura se presentan unos valores medios.

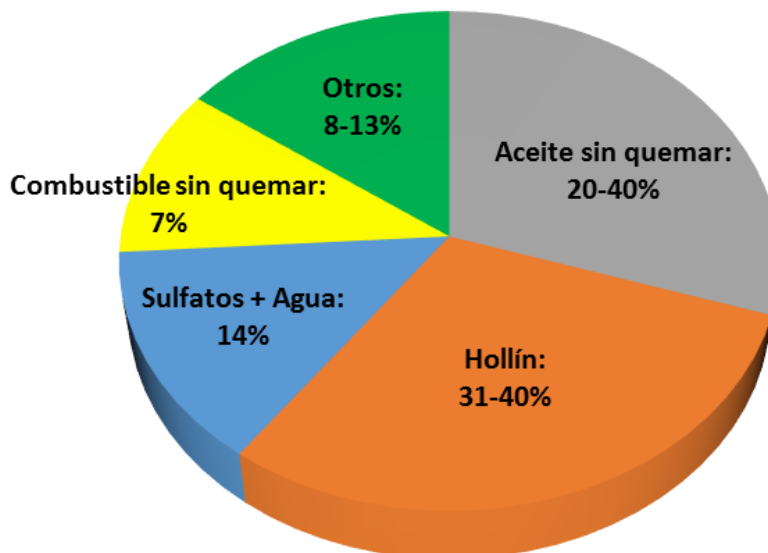


Figura 1.9: Composición partículas

Dentro de los humos, se encuentra el conocido como hollín, es un tipo de humo con un color negro característico, y su formación es debida principalmente a los siguientes motivos:

- Deficiente formación de la mezcla debido a:
 - Sistema de inyección ineficiente.
 - Insuficiente movimiento del aire.
 - Alto régimen del motor.
- Temperatura y presión elevadas.
- Favorecido en combustión por difusión (Realizada en motores diésel).

Los efectos que tienen los humos y las partículas en la salud y medio ambiente principalmente, son los siguientes:

- Suciedad ambiental.
- Efectos en el sistema respiratorio: Se forman depósitos en el tejido pulmonar que a corto plazo dan lugar a irritaciones y a un largo plazo tienen efecto cancerígeno.

Por último, cabe puntualizar que el efecto de absorción de partículas, es inversamente proporcional al tamaño de estas, lo que ha hecho que la normativa evolucione, y no solo se midan partículas en cuanto a masa sino también en cuanto a número, para controlar el tamaño de estas y así reducir la emisión de nanopartículas.

1.6. **NORMATIVAS ANTICONTAMINANTES**

Como se observa en el apartado anterior, los motores térmicos destinados a automoción que funcionan con combustibles fósiles, emiten multitud de sustancias contaminantes con diferentes grados de peligrosidad y diversos efectos en el medio ambiente y sobre el ser humano.

Este hecho hizo que se desarrollasen normativas en cuanto a emisión de estas sustancias en vehículos. Estas normativas nacen a mediados del siglo XX cuando el problema de la contaminación ambiental es ya un hecho.

En Europa concretamente se implanta la normativa Euro, que regula la emisión de Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y partículas, para validar que un automóvil cumplía con los límites impuestos, se realizaba un mismo ciclo de homologación para todos los vehículos. Este ciclo, conocido como NEDC (New European Driving Cycle), no representa una conducción real, ya que es muy poco exigente con el motor y sumado a que fue diseñado en 1992 para la primera norma Euro 1, y que los vehículos y motores han evolucionado notablemente en los últimos años, hace que este ciclo diverja demasiado con la conducción que luego realizaría cada usuario en su vehículo.

El hecho de la baja exigencia a la que se ve sometido un motor actual durante la realización de este ciclo, ha hecho que los fabricantes tengan una estrategia de control en las zonas afectadas por el ciclo y otra diferente por las zonas fuera del ciclo, por ejemplo en zonas de alto par y régimen no se realiza recirculación de gases, ya que estos puntos de funcionamiento no se ven representados en el ciclo NEDC, y se busca un buen comportamiento del motor en cuanto a

potencia y rendimiento, esta práctica puede considerarse que se encuentra dentro de la legalidad, aunque no sea demasiado ética.

Pero los fabricantes no pararon aquí, si no que fueron mas allá, cometiendo un fraude de grandes dimensiones conocido como el "Diésel gate", el cual estalló en el año 2015, cuando salió a la luz que el grupo Volkswagen hacía uso en alguno de sus vehículos, de un software que era capaz de detectar cuando un vehículo estaba siendo sometido al ciclo NEDC y entonces cambiaba la estrategia de control de motor con el objetivo de reducir emisiones durante la realización de la prueba.

A consecuencia del uso de dicho dispositivo fraudulento, los vehículos pasaban las pruebas cumpliendo los límites impuestos por la normativa, pero después en su funcionamiento normal, especialmente en lo que a emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) se refiere, estas eran hasta 40 veces mayores que el nivel legislado.

Tras diversas investigaciones también fue descubierto que los demás fabricantes también sobrepasaban con creces las emisiones de NO_x , debido a que los fabricantes solo realizaban estrategias de reducción de emisiones en las zonas del mapa motor que son necesarias para realizar el ciclo NEDC. En la siguiente figura, se representa la presión media efectiva (BMEP) en bares, el régimen del motor en revoluciones por minuto y el Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) en gramos de combustible consumido por kWh generado, que es una medida de eficiencia de gasto de combustible, y se observa la zona de un automóvil Euro 6 que estarían incluidas en el ciclo NEDC, zonas de bajo régimen y baja carga.

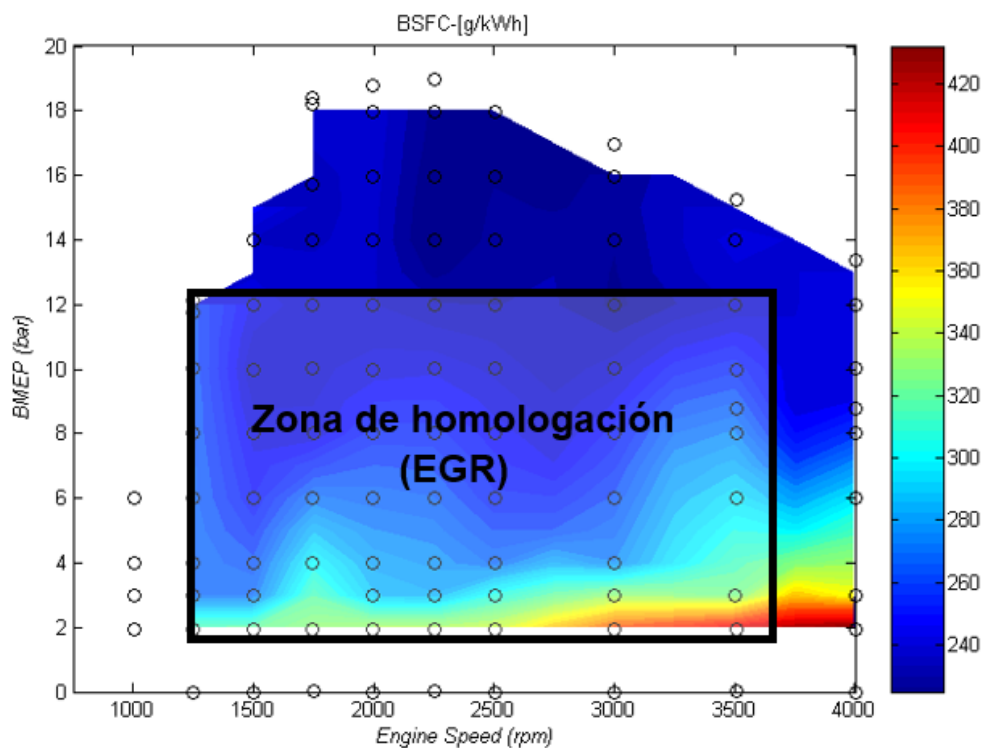


Figura 1.10: Mapa motor

Tras el transcurso de los citados acontecimientos, en Europa se decide tomar cartas en el asunto y se opta por implantar un nuevo ciclo, el denominado como ciclo RDE (Real Driving Emissions), que consiste en un ciclo realizado en carretera, y no en una sala de ensayos como el anterior, y para ello se a de utilizar un sistema de medida de emisiones portátil, conocido como PEMS (Portable Emissions Measurement System). En la siguiente imagen, se observa un vehículo con un sistema PEMS instalado.



Figura 1.11: PEMS

El estudio y análisis del ciclo RDE, es la base del presente trabajo, y sus principales características y pautas a seguir para su realización se desarrollan en el siguiente capítulo.

1.7. OBJETO DEL TRABAJO

La finalidad del presente trabajo fin de máster, es la implementación de un ciclo de conducción real (RDE) en un banco de ensayos de un motor diésel totalmente automatizado, así como la posterior validación del cumplimiento por parte de dicho ciclo, de los requerimientos que dicta la normativa. Para ello se determinaran de forma conveniente los parámetros de control automático de la celda de ensayos y se impondrán unas condiciones determinadas de operación del motor.

La realización de ensayos tipo RDE en una instalación de ensayo de motores, tiene múltiples posibilidades y ventajas, ya que es mucho mas rápido, práctico, eficiente y económico que si estos ensayos deben hacerse con un automóvil en la vía urbana. Y ante la implantación de la normativa EURO 6, en la que para homologar un vehículo, se deben cumplir unos límites muy restrictivos en cuanto a emisiones contaminantes realizando un ciclo de este tipo, este tipo de ensayos cobran gran interés.

1.8. VIABILIDAD

El presente trabajo fin de máster ha sido realizado gracias a la conjunción de los siguientes elementos, que juntos cada uno de ellos aseguran su viabilidad y la posibilidad de ser realizado en condiciones óptimas.

- En primer lugar, al alumno Fernando Redondo Puelles se le otorgó la posibilidad de la realización de prácticas de empresa en el Instituto del CMT motores térmicos, y conjuntamente de un trabajo fin de máster, en el período de duración de dichas prácticas, concretamente durante 5 meses.
- La viabilidad económica se consigue gracias al convenio que existe entre el instituto CMT y las empresas Valeo y Renault, y también al contrato de prácticas entre el instituto y el alumno.
- Por otro lado ha sido indispensable la aportación de mano de obra altamente cualificada y experta, compuesta por profesores, técnicos, y demás personal de laboratorio.
- Y por último y no de menos importancia, la disponibilidad de infraestructuras con la que cuenta el departamento, que dispone de diferentes instalaciones y salas de ensayos, motores térmicos, diferentes equipos de medidas, sistemas de control, seguridad etc., para poder llevar a cabo de forma exitosa el presente estudio.

1.9. DESARROLLO Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El desarrollo del trabajo que se desarrolla en el presente documento, ha contado con las diferentes etapas que se enumeran a continuación:

- **ETAPA 1:** El primer paso a dar será el de recoger información sobre normativa referente normativa anticontaminantes y a los ensayos RDE, haciendo especial énfasis en las condiciones que deben cumplir para ser considerados como válidos.
- **ETAPA 2:** A través de un archivo de datos de un ensayo RDE real, llevado a cabo en el 2016 por el Instituto CMT motores térmicos, adecuar un nuevo archivo, que contenga las consignas necesarias a introducir en una instalación de ensayos de motores térmicos de automoción, con un formato compatible al software del que se dispone dicha instalación.
- **ETAPA 3:** En esta etapa se han determinado los parámetros del vehículo a simular que son necesarios para ser introducidos en el software, así como las características del conductor.
- **ETAPA 4:** Antes de realizar los ensayos, se debe revisar que el motor se encuentra en perfectas condiciones, por lo que habrá que revisar cada uno de sus niveles y parámetros, y comprobar que estos sean los adecuados. También hay que comprobar que los diferentes sensores instalados, sistemas de control del motor y sistemas de seguridad funcionan correctamente.

- **ETAPA 5:** En esta etapa se ha procedido a la realización de los diferentes ensayos, hasta obtener el resultado deseado, realizando la modificación de parámetros necesarios hasta obtener el resultado deseado, que no es otro que el de llevar a cabo un ensayo RDE válido en una sala de ensayos.
- **ETAPA 6:** Tras obtener los resultados de los ensayos, con la información obtenida, se procede al estudio y análisis de los mismos para comprobar que se cumplen los requerimientos de un ensayo RDE.
- **ETAPA 7:** Sexta y última etapa, que consiste en la redacción del presente trabajo fin de máster.

1.10. COMPOSICION DEL TRABAJO

Este trabajo fin de máster cuenta con tres documentos que se exponen a continuación:

1. **Memoria:** Primer documento, el cual se divide en los siguientes capítulos:
 - Capítulo 1: Introducción.
En este capítulo, se realiza una introducción del proyecto, así como una breve introducción histórica de los motores de combustión interna alternativos, y principios de funcionamiento y por último una pequeña explicación sobre la formación de emisiones contaminantes que producen los motores térmicos de automoción.
 - Capítulo 2: Normativa EURO.
Este capítulo consiste en un recorrido a lo largo de los años de la evolución de la normativa de control de emisiones contaminantes, y finalmente se realiza una explicación de las características que ha de tener un ciclo RDE (Real Driving Emissions) para que sea considerado como válido.
 - Capítulo 3: Sistemas anticontaminantes.
Se realiza una enumeración de los sistemas de reducción de emisiones contaminantes que equipan los vehículos actuales, así como una breve explicación del principio de funcionamiento de cada uno de estos.
 - Capítulo 4: Nissan Pulsar.
En este apartado, se desarrollan las características del automóvil que se ha simulado en la sala de ensayos y del motor con el que se han llevado a cabo.
 - Capítulo 5: Instalación.
Consiste en la descripción de la sala de ensayo y los sistemas con los que esta cumple, para que los ensayos sean llevados a cabo de forma efectiva, eficaz y segura.

➤ **Capítulo 6: Ensayo RDE.**

Es el último capítulo de ese documento, en el se estudia el ensayo RDE realizado, se verifica su validez a través del cumplimiento de las directrices que rige la normativa y por último un breve apartado de resumen y conclusiones.

2. Pliego de condiciones:

En el segundo documento, se procede a realizar un listado de las condiciones a cumplir durante la realización del presente trabajo fin de máster, para que este sea llevado de la manera mas segura, eficiente y eficaz posible. Condiciones que afectan a la sala de ensayo, instalación, y trabajadores.

3. Presupuesto:

Por último, en el tercer documento se describen los diversos recursos materiales y humanos necesarios para la realización del proyecto, y el coste que conlleva cada uno de ellos, para así poder calcular un presupuesto total aproximado del trabajo fin de máster.

1.11. JUSTIFICACIÓN

Como se comentaba en puntos anteriores, la normativa de emisiones contaminantes en automóviles es cada vez mas restrictiva, con límites cada vez mas bajos, y con la implantación próxima de los ciclos de conducción real, los fabricantes tienen una tarea ardua y compleja para conseguir el cumplimiento de estos límites, por lo que disponer de un ensayo RDE válido, que pueda ser llevado a cabo en una instalación de ensayos de motores que simula un automóvil real, ofrece múltiples posibilidades, sobre todo de análisis de resultados obtenidos, para después proceder a realizar diferentes mejoras con diferentes fines, como por ejemplo el de reducir consumos y por tanto emisiones de Dióxido de Carbono con conducciones más eficientes, o reducir emisiones contaminantes con tal de cumplir la normativa vigente.

En segundo lugar, la realización de este trabajo certifica que se han alcanzado los conocimientos necesarios para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia, así como el de incrementar conocimientos en cuanto a normativa, control y simulación de motores térmicos de automoción, e implementación de medidas anticontaminantes en estos.



CAPÍTULO 2: NORMATIVA EURO

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

2.1. INTRODUCCIÓN

A medida que el parque mundial de automóviles aumentaba considerablemente en la segunda mitad de siglo XX, se empiezan a vislumbrar los efectos de la contaminación que produce el uso de vehículos con motores de combustión, en la población y en el medio ambiente, a raíz de este suceso, nacen las primeras normas que regulaban la emisión de contaminantes, estas se desarrollaron en los últimos años de la década de los 70 en Estados Unidos, con el fin de reducir la emisión de gases nocivos para la población. En la Unión Europea no se implantarían normativas similares hasta años posteriores.

Con la implantación de estas restricciones, se consiguió que los fabricantes aumentaran la inversión en tecnologías dedicadas a la reducción de emisiones contaminantes y así lograr cumplir con la normativa y con ello, a fabricar automóviles con mayor compromiso con la sociedad y el medio ambiente.

Actualmente, aunque con distintos tipos de normativas y diferentes niveles de exigencia, son muchos los países que tienen alguna norma de este tipo implantada, aunque cabe puntualizar que hay una no despreciable cantidad de países que no se rigen por ninguna norma, y no establecen límites de emisión de contaminantes.

2.2. NORMATIVA EURO

En 1987 en Europa, nace la primera normativa Euro, la denominada Euro 1, aunque no fue implantada hasta cinco años después, concretamente en el año 1992. Esta normativa afectaba tanto a vehículos diésel, como gasolina, y regulaba la emisión de los siguientes contaminantes:

- **NO_x**: Denominados Óxidos de Nitrógeno, en los que se incluyen el NO y el NO₂.
- **HC**: Hidrocarburos sin quemar.
- **CO**: Monóxido de carbono.
- **PM**: Partículas.

Para proceder al cumplimiento de la normativa, se estableció un ciclo de homologación, el denominado NEDC (New European Driving Cycle), dicho ciclo cuenta con las siguientes características:

- Duración: 20 minutos.
- Distancia recorrida: 11,06 km.
- Velocidad media: 31,6 km/h.
- Velocidad máxima: 120 km/h.
- Aceleración máxima: 1m/s².
- Porcentaje de tiempo a ralentí: 33%

Dispone de dos zonas, zona urbana, la cual consiste en repetir un mismo ciclo en 4 ocasiones y una zona extra-urbana.

En la siguiente figura se representa dicho ciclo.

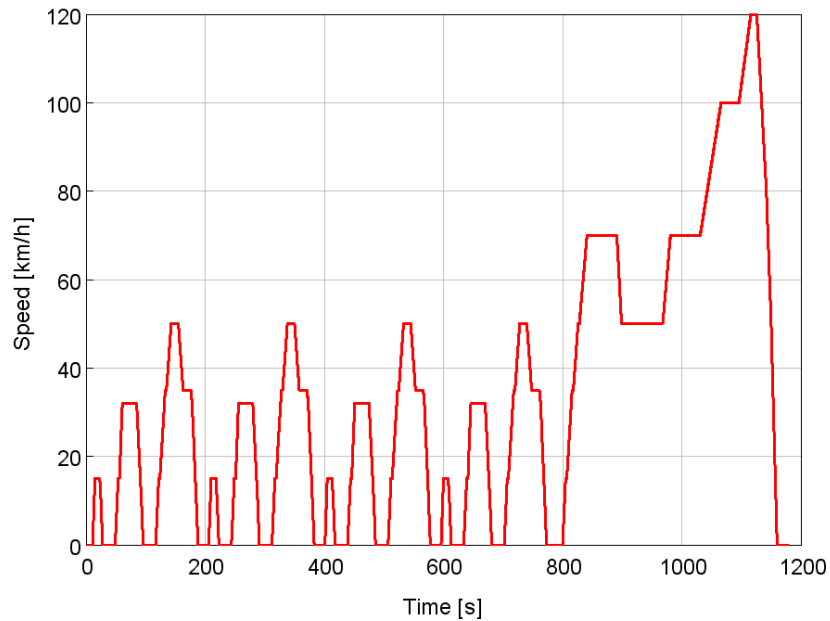


Figura 2.1: Ciclo NEDC

La normativa europea, ha mantenido el mismo ciclo de homologación con el transcurso de los años, y ha seguido controlando las mismas sustancias, pero ha ido evolucionando, estableciendo unos límites cada vez más restrictivos, dicha evolución se ve claramente en la siguiente figura.

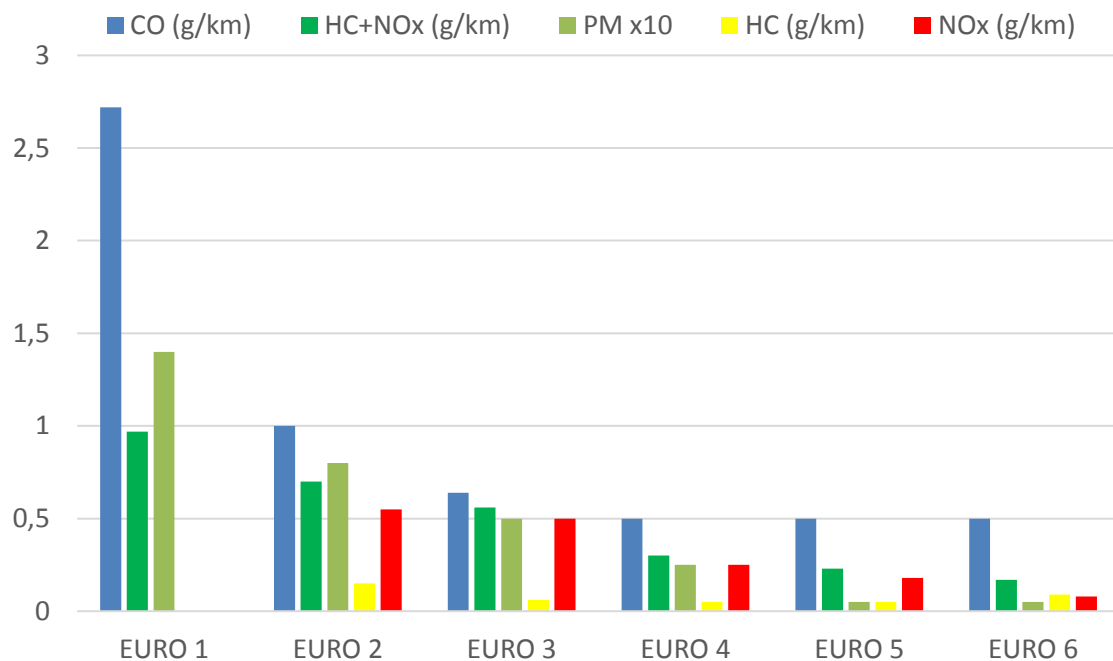


Figura 2.2: Límites emisiones contaminantes

La reducción de los límites contaminantes en cada uno de las sustancias reguladas desde la primera norma hasta la actual Euro 6, se ha minorizado en los siguientes porcentajes.

- PM – 96%
- NO_x – 90%
- HC – 82%
- CO – 80%

La implantación de límites cada vez mas exigentes, ha condicionado y mucho a los fabricantes, hasta el límite de que a la hora de desarrollar un nuevo automóvil, los fabricantes priorizan enormemente el cumplimiento de la normativa de emisiones contaminantes durante la etapa de diseño.

La siguiente tabla recoge los valores de los límites de emisiones, en cada una de las diferentes normas EURO, expuestos en la anterior figura:

	Valido a partir de:	Límites (g/km)				
		CO	HC	NOx	HC+NOx	PM
EURO 1	01/01/1992	2,72	-	-	0,97	0,14
EURO 2	01/01/1996	1	0,15	0,55	0,7	0,08
EURO 3	01/01/2000	0,64	0,06	0,5	0,56	0,05
EURO 4	01/01/2005	0,5	0,05	0,25	0,3	0,025
EURO 5	01/09/2009	0,5	0,05	0,18	0,23	0,005
EURO 6	01/08/2014	0,5	0,09	0,08	0,17	0,005

Tabla 2.1.: Normativa EURO

En el siguiente gráfico, se puede observar en escala temporal cuando se aplican los cambios de normativa, y cabe destacar que en el año 2017, se sustituye el ciclo NEDC, por el ciclo WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle) para cuantificar las emisiones de CO₂, y el RDE (Real Driving Emissions) para el cumplimiento de las emisiones contaminantes, las características de dichos ciclos se exponen a continuación.

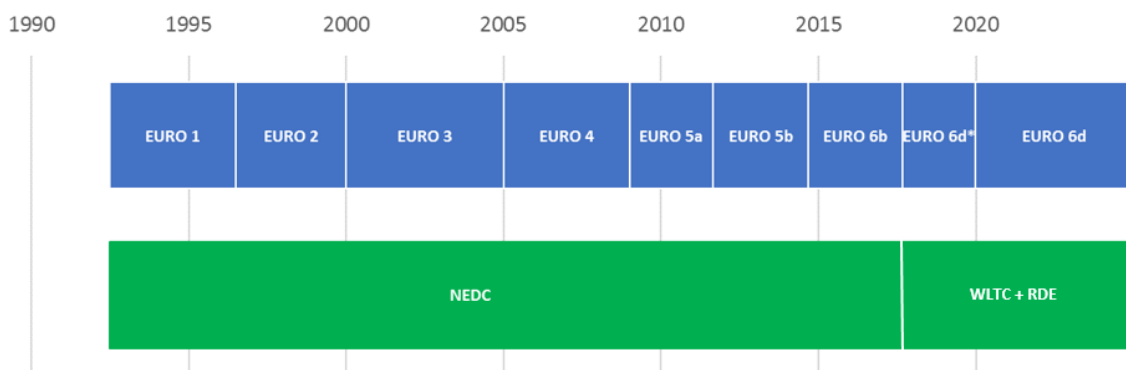


Figura 2.3: Evolución temporal Normativa EURO

Actualmente nos encontramos en la Euro 6d, es una normativa temporal, en la que se aplica un factor de conformidad en las emisiones contaminantes el cual se explicará a continuación.

Como se observaba en la figura (2.3), no es hasta el 2017, en la denominada Euro 6b, cuando se modifica el ciclo de homologación, sustituyendo el anterior NEDC, el cual se quedaba obsoleto, y se trataba de un ciclo que se alejaba en desmedida de las condiciones reales de circulación, por un nuevo procedimiento, que conlleva conjuntamente ciclos RDE que se exponen a continuación y el denominado WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures), este ciclo es un poco más exigente, a continuación, se recogen las características más significativas:

- Duración: 30 minutos.
- Distancia recorrida: 23,26 km.
- Velocidad media: 46,3 km/h.
- Velocidad máxima: 131,6 km/h.
- Aceleración máxima: $1,6\text{m/s}^2$.
- Porcentaje de tiempo a ralentí: 13%.

En el nuevo ciclo se diferencian cuatro zonas, las denominadas low, medium, high y extra-high, la cual se representa en la siguiente figura.

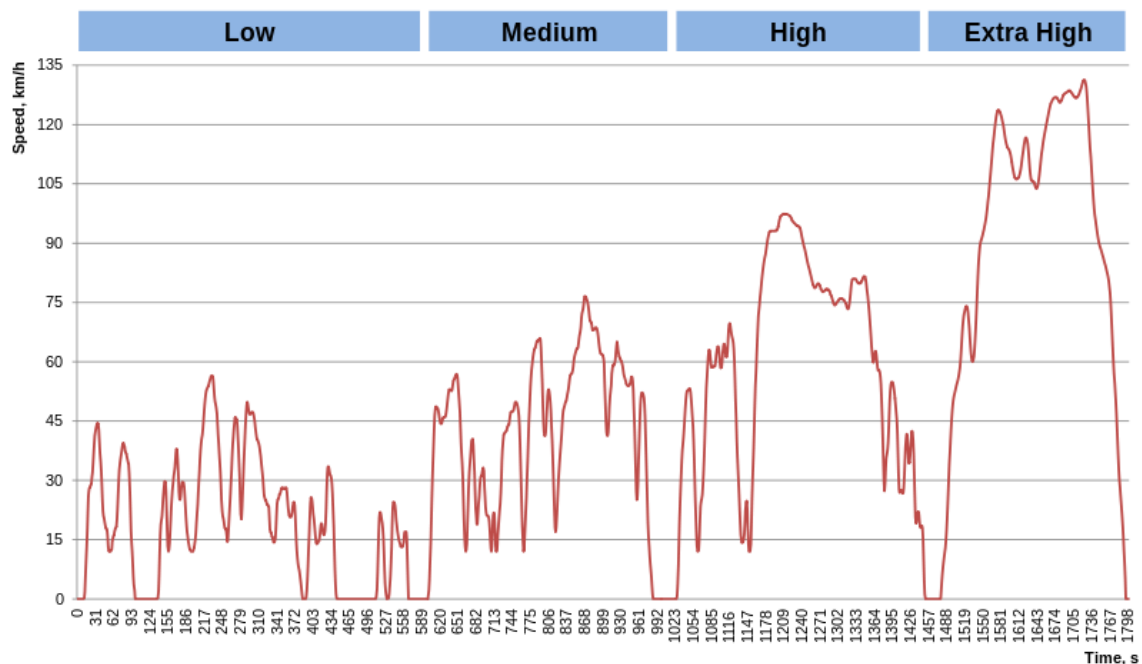


Figura 2.4: Ciclo WLTP

Este ciclo, se acercaba más a una conducción real, y estaba más adecuado para los automóviles actuales, ya que los automóviles han sufrido un gran avance tecnológico desde 1987 a 2017, por lo que a diferencia del anterior ciclo, este incluye aceleraciones más severas.

Pero aunque se trata de un ciclo de homologación mas exigente, no termina de asemejarse completamente al comportamiento habitual de un conductor tipo en su vehículo. En la actualidad, este ciclo solo se usa para la medición de emisiones de CO₂, y no para la validación del cumplimiento de los límites de las diferentes emisiones contaminantes.

Por lo que para la medición de sustancias contaminantes se decidió implantar el denominado ciclo RDE(Real Driving Emissions), que se mencionaba anteriormente, el cual es la base de estudio de este trabajo, y que se presenta a continuación.

2.3. RDE (Real Driving Emissions)

2.3.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la Comisión Europea, basándose en sus investigaciones y en informaciones externas, llego a la conclusión de que las emisiones generadas en conducción real, en los vehículos Euro 5/6 superaban sustancialmente las emisiones medidas en el NEDC, sobre todo a lo que respecta a las emisiones de NO_x, por lo que decidió desarrollar un nuevo procedimiento de ensayo que representase las condiciones reales de conducción, y es así como nace el denominado ciclo RDE (Real Driving Emissions), este ciclo se basa principalmente en medir las emisiones contaminantes en la carretera, y no en un banco de ensayos con un ciclo fijo para todo tipo de automóviles, como se realizaba anteriormente. Para ello habrá que hacer uso de sistemas portátiles de medición denominados como PEMS (Portable Emissions Measurement Systems).

Las características y directrices que a de seguir el ciclo de homologación, se recogen en el Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión de 10 de Marzo de 2016, las cuales se proceden a enumerar y explicar en los siguientes apartados.

2.3.2. REQUISITOS GENERALES

Al cerciorar que las condiciones reales de conducción, en cuanto a nivel de exigencia del motor, diferían mucho de las que son necesarias para realizar un ciclo NEDC o WLTC, resultado obvio que cumplir los límites de contaminantes que dicta la actual Euro 6 resultaba muy difícil, por lo que se implanto un factor de conformidad con el fin de aumentar estos límites, y poder dar un poco de margen a los fabricantes, ya que resultaba imposible cumplir con dichos límites en conducción real, la ecuación para el cálculo de los nuevos límites, mediante la aplicación del factor de conformidad antes mencionado, se expone a continuación.

$$NTE_{\text{pollutant}} = FC_{\text{pollutant}} * \text{Euro6} \quad (2.1)$$

Las emisiones emitidas de cada sustancia contaminante en un ensayo RDE, no superaran los valores NTE(Not To Exceed), donde Euro6 es el límite de emisiones que dicta la norma Euro 6

para cada contaminante, y FC es la factor de conformidad para cada contaminante. Se contabilizará y regulara la emisión de los contaminantes que se enumeran a continuación:

- NO_x
- Numero de partículas, PN.
- CO.
- HC.
- HC + NO_x.

Los límites que dicta la normativa Euro 6, son los siguientes:

	Límite Euro 6 (g/km)
CO	0,5
HC	0,09
NO _x	0,08
HC+NO _x	0,17
PM	0,005

Tabla 2.1: Límites Norma Euro 6

En un principio, se ha estipulado un factor de conformidad con valor 2.1, que al aplicarlo a la ecuación (2.1), se obtienen los siguientes límites (Not To Exceed):

	Límite Euro 6 (g/km)	FC	Not To Exceed (RDE)
CO	0,5	2,1	1,05
HC	0,09	2,1	0,189
NO _x	0,08	2,1	0,168
HC+NO _x	0,17	2,1	0,357
PM	0,005	2,1	0,0105

Tabla 2.2: Límites Ciclo RDE

Se ha estipulado que para el año 2020, el factor de conformidad se vera reducido hasta un valor de 1.5, lo que complicaría aun más el cumplimiento de la normativa.

2.3.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales que se deben cumplir a la hora de realizar un ensayo de homologación de tipo RDE, afectan a la altitud y temperatura, y se describen a continuación:

- Altitud moderada ≤ 700m s.n.m. (700 ≥ Altitud ampliada ≤ 1300).
- 0°C ≥ Temperatura moderada ≤ 30°C. (Temperatura ampliada entre -7 y 0, y entre 30 y 35°C)

No obstante la temperatura moderada, será superior a 3°C, y la más baja de las ampliadas será superior a -2°C.

2.3.4. CONDICIONES DINÁMICAS

En cuanto a condiciones dinámicas, son varias las directrices que ha de seguir un ensayo de esta tipología, a continuación se describen las más reseñables.

A la hora de llevar a cabo un ensayo RDE, los patrones de conducción, las condiciones y las cargas útiles, deberán ser representativos de la familia de vehículos, además el sistema de aire acondicionado deberá funcionar de forma que se corresponda al posible uso que haría el conductor.

Otra de las condiciones a la hora de realizar un ensayo, afecta al filtro de partículas que llevan instalados la mayoría de coches actuales, especialmente los Diésel, por lo que si se produce una regeneración periódica del filtro durante un ensayo, este podría invalidarse, y repetirse, pero si se repite la regeneración durante el segundo ensayo, se incluirían los contaminantes emitidos durante esta en la evaluación de las emisiones.

2.3.5. REQUISITOS DEL TRAYECTO

En todos los ensayos de homologación se deben cumplir unas pautas en lo que se refiere a tipo de trayecto para que este sea válido, el ciclo de conducción deberá contar con tres zonas de conducción perfectamente diferenciadas, las cuales se especifican a continuación:

- Zona urbana: Velocidad máxima de 60km/h.
- Zona rural: Velocidad entre 60 y 90km/h.
- Zona autopista: Velocidad por encima de 90km/h.

El trayecto, constará aproximadamente de un 34% (de la distancia total del trayecto) de funcionamiento en zona urbana, un 33% en zona rural y un 33% en autopista, estableciéndose una tolerancia de +-10%, exceptuando el funcionamiento en zona urbana que no deberá representar nunca menos del 29% de la distancia total del trayecto.

También se especifica, que la distancia mínima recorrida en cada tramo o zona será de al menos 16km.

La velocidad media en zona urbana estará entre 15-30km/h, las paradas (definidas como los periodos en que la velocidad es menor de 1km/h) deberán representar al menos el 10% de la duración. El funcionamiento en zona urbana, incluirá varias paradas de 10 o más segundos, y se evitara que una parada excesivamente larga que represente por si sola más del 80%.

El intervalo en autopista, deberá abarcar velocidades de entre 90 y como mínimo 110km/h. y la velocidad deberá ser superior a 100km/h durante un mínimo de 5 minutos.

Las emisiones durante el arranque en frío se registraran, pero se excluirán de la evaluación de las emisiones. El arranque en frío será el tiempo que transcurre hasta que se llega a una temperatura de 70°C en el refrigerante, sin que se exceda un máximo de 5 minutos.

El trayecto en su totalidad, a de tener una duración de entre 90 y 120 minutos.

Y por último, la altitud sobre el nivel del mar, de los puntos de partida y de llegada no diferirá en mas de 100m.

2.3.6. VENTANAS DE PROMEDIADO MÓVIL

El método de validación de las ventanas de promediado móvil, ofrece una visión general de las emisiones contaminantes en condiciones reales, para ello el ensayo se ha de dividir en subsecciones, también denominadas ventanas y así realizar un tratamiento estadístico posterior, el cual está destinado a determinar que ventanas son las adecuadas para evaluar el rendimiento del vehículo.

La normalidad o validez de las ventanas se determina comparando las emisiones de CO₂ específicas ,con una curva de referencia que se explica a continuación.

La implantación de este método para el análisis del ensayo, consta con las siguientes etapas:

- ETAPA 1: Segmentación de datos y exclusión de las emisiones de arranque en frío.
- ETAPA 2: Cálculo de las emisiones por ventanas
- ETAPA 3: Identificación de las ventanas normales
- ETAPA 4: Verificación de la compleción y normalidad del ensayo.
- ETAPA 5: Cálculo de las emisiones utilizando las ventanas normales.

2.3.6.1. DEFINICION DE LAS VENTANAS DE PROMEDIADO

Para conseguir discretizar el ensayo en ventanas, se debe proceder de la manera que se expone a continuación.

En primer lugar, las emisiones instantáneas se integraran utilizando el método de ventanas de promediado móvil, basado en la masa de referencia de CO₂.

Para determinar la duración ($t_{2,j}-t_{1,j}$) de la j^{a} ventana de promediado se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_{CO_2}(t_{2,j}) - M_{CO_2}(t_{1,j}) \geq M_{CO_2ref} \quad (2.2)$$

Donde:

- $M_{CO_2}(t_{i,j})$ es la masa de CO₂ medida entre el inicio del ensayo y el tiempo $t_{i,j}$.

- M_{CO2ref} , masa de referencia de CO_2 , cuyo valor corresponde a la mitad de la masa de CO_2 emitida por un vehículo durante el ciclo WLTC.

Para establecer la duración, se seleccionará un valor de $t_{2,j}$ de manera que:

$$M_{CO2}(t_{2,j} - \Delta t) - M_{CO2}(t_{1,j}) < M_{CO2ref} \leq M_{CO2}(t_{2,j}) - M_{CO2}(t_{1,j}) \quad (2.3)$$

Donde Δt es el periodo de muestreo de los datos.

2.3.6.2. EVALUACIÓN DE LAS VENTANAS

Para obtener las emisiones de CO_2 específicas, en primer lugar el vehículo habrá sido sometido a un ensayo WLTP, o habrá que disponer de la información que se obtiene en cuanto a emisiones de Dióxido de Carbono, tras realizarlo. Con esta información, ya es posible establecer los tres puntos que se explican a continuación y que sirven para poder dibujar la curva característica de CO_2 .

Puntos de referencia de la curva característica de CO_2 :

- **Punto P1:**
Vp1= 19 km/h (velocidad media de la fase de velocidad baja del ciclo WLTP)
 $M_{CO2, P1}$ = emisiones de CO_2 del vehículo durante la fase de velocidad baja del ciclo WLTP
* 1,2 [g/km]
- **Punto P2:**
Vp2= 56,6 km/h (velocidad media de la fase de velocidad alta del ciclo WLTP)
 $M_{CO2, P2}$ = emisiones de CO_2 del vehículo durante la fase de velocidad alta del ciclo WLTP
* 1,1 [g/km]
- **Punto P3:**
Vp1= 92,3 km/h (velocidad media de la fase de velocidad extra alta del ciclo WLTP)
 $M_{CO2, P3}$ = emisiones de CO_2 del vehículo durante la fase de velocidad extra alta del ciclo WLTP * 1,05 [g/km]

Con dichos puntos, y estableciendo los siguientes límites:

- Las ventanas de la parte urbana, serán velocidades menores a 45km/h.
- Las ventanas de la parte rural, se caracterizan por velocidades mayores de 45km/h y menores de 80km/h.
- Las ventanas de la parte autopista, serán velocidades mayores a 80km/h y nunca superiores a 145km/h.

Ya es posible representar la curva característica de CO_2 del vehículo, y las de las tolerancias primarias y secundarias de un 25% y 50% respectivamente, las cuales se exponen en la figura (2.5).

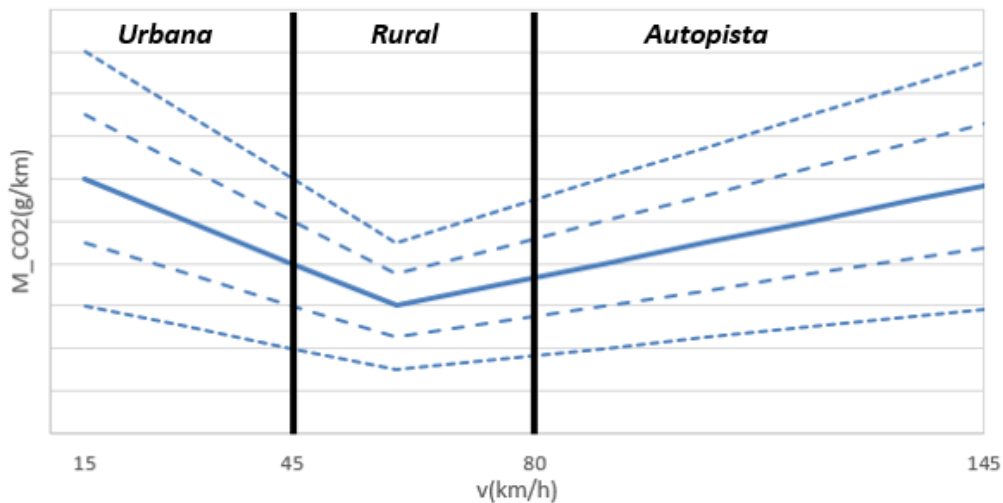


Figura 2.5: Curvas de CO₂ ventanas de promediado móvil

2.3.6.3. VERIFICACIÓN DE LA COMPLECIÓN Y NORMALIDAD DEL TRAYECTO

Para que el trayecto sea validado, las ventanas deben cumplir una serie de requisitos, los cuales se especifican en forma de tolerancias.

La tolerancia primaria y la tolerancia secundaria de la curva característica de CO₂ del vehículo, las cuales se encuentran graficadas en la figura 2.5, son respectivamente 25% y 50%. El ensayo será considerado como válido, cuando al menos el 50% de las ventanas en zona urbana, rural y autopista, se encuentren dentro de la tolerancia primaria.

A su vez, este debe incluir al menos un 15% de ventanas en zona urbana, en zona rural y en autopista.

Si no se cumple el requisito mínimo especificado del 50% de las ventanas en tolerancia primaria, esta tolerancia podrá aumentarse por etapas de un 1%, hasta alcanzar el objetivo del 50%. Cabe puntualizar que al utilizar ese mecanismo, la tolerancia primaria no deberá exceder nunca el 30%, por lo que solo se podrá aumentar cinco puntos porcentuales.

2.3.7. INTERVALOS DE POTENCIA

Otro método igual de válido que el expuesto en el punto anterior, y que sirve también para evaluar las emisiones contaminantes, es el de discretización en intervalos de potencia, dichos intervalos serán clasificados con la potencia de rueda del vehículo.

La potencia de rueda real, es la potencia total necesaria para superar la resistencia del aire, la resistencia a la rodadura, la inercia longitudinal del vehículo y la inercia giratoria de las ruedas.

2.3.7.1. CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIAS MÓVILES

En este método los intervalos de velocidad para las zonas urbanas, rural y de autopista, difieren ligeramente del anterior, estos intervalos se exponen a continuación:

- Zona urbana: Velocidad máxima de 60km/h.
- Zona rural: Velocidad entre 60 y 90km/h.
- Zona autopista: Velocidad por encima de 90km/h.

A su vez, hay que determinar las clases de potencia y las proporciones de tiempo. Estos se establecen con el fin de que los valores de potencia normalizados sean representativos de todo vehículo ligero. Los intervalos de potencia y los límites a cumplir se especifican en la siguiente tabla.

Clase de potencia nº.	$P_{c,norm}$		Trayecto total		Partes urbanas	
	De >	a ≤	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior
1+2		0,1	15%	60%	5%	60%
3	0,1	1	35%	50%	25%	50%
4	1	1,9	7%	25%	1%	25%
5	1,9	2,8	1%	10%	>5 computos	5%
6	2,8	3,7	>5 computos	2,5%	0%	2%
7	3,7	4,6	0%	1%	0%	1%
8	4,6	5,5	0%	0,5%	0%	1%
9	5,5		0%	0,25%	0%	0%

Tabla 2.3: Límites intervalos de potencia

Los valores de las columnas de potencia, se desnormalizaran multiplicándolos por P_{drive} , que es la potencia de rueda real del vehículo, sometido al ensayo de normalización en el banco dinamométrico, con los siguientes valores de velocidad y aceleración de referencia:

- $a_{ref} = 0,45m/s^2$
- $v_{ref} = 70km/h$

La clase de potencia de rueda máxima que debe considerarse, es la mas alta del cuadro que incluya $P_{rated} * 0.9$, siendo P_{rated} , la potencia máxima del motor declarada por el fabricante.

Para que un ensayo sea considerado como válido, las proporciones de tiempo de las distintas clases de potencia, han de situarse dentro de los intervalos que se especificaban en la tabla (2.3), tanto para la totalidad del trayecto, como para la parte urbana.

2.4. EMISIONES DE CO₂

Las emisiones de Dióxido de Carbono no se rigen por la misma norma que las emisiones de CO, NO_x, HC y PM, sino que la normativa aplicable regula las emisiones específicas medias por flota de vehículos de cada uno de los fabricantes.

El límite de emisión varía en función de la masa de los vehículos que produce cada fabricante, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Límite CO}_2 \text{ (g/km)} = \text{Objetivo} + a * (\text{M}-\text{M0}) \quad (2.4)$$

Los parámetros de esta ecuación han ido evolucionando con el transcurso de los años, como se observa en la siguiente tabla.

Tipo de vehículo	Años	a	Objetivo	M0
		g/km/kg	g/km	kg
Coches de pasajeros	2012-2015	0,0457	130	1372
	2016	0,0457	130	1392,4
	2019	0,0457	130	1392,88
	2020	0,0333	95	Por determinar
Vehículos comerciales ligeros	2014-2017	0,093	175	1706
	2018	0,093	175	1766,4
	2020	0,096	147	Por determinar

Tabla 2.4: Normativa límites de CO₂

El parámetro **M** es la masa media de la flota de vehículos de cada fabricante y **M0** es la masa media de la flota de todos los vehículos europeos en los últimos tres años.

En la figura (2.6), se desarrolla la ecuación (2.4), con valores actuales y con los valores a aplicar a partir de 2020, tanto para coches de pasajeros como vehículos comerciales ligeros.

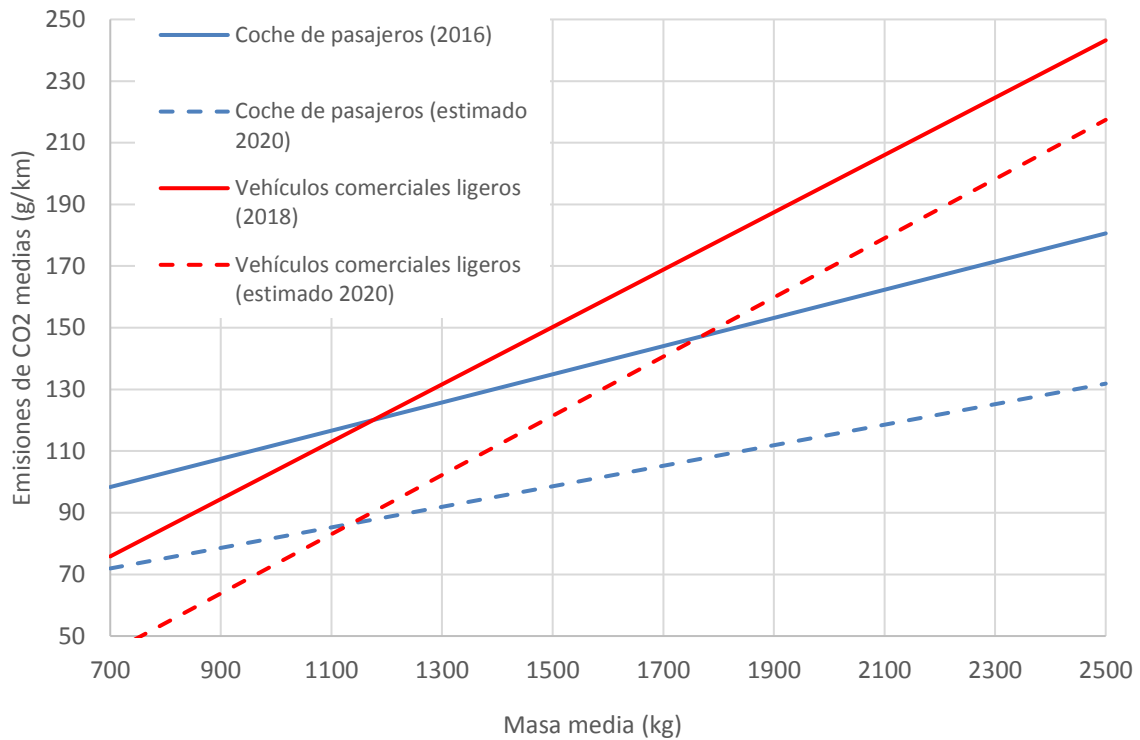


Figura 2.6: Límites CO₂

Si los fabricantes exceden el límite impuesto por la masa media de su flota, estos son multados económicamente, desde 2012 y hasta 2018, las sanciones son las siguientes:

- 5€ por el primer gramo.
- 15€ por el segundo gramo.
- 25€ por el tercer gramo.
- 95€ por el cuarto gramo.

Estas penalizaciones, se aplican por cada vehículo vendido por cada fabricante.

A partir de 2019, esta penalización se verá incrementada, aplicándose 95€/g desde el primer gramo que se exceda del límite.

Como se especificaba en la figura (2.3), a partir de 2017 el WLTC es introducido remplazando al NEDC, pero hasta 2020 se usa el software CO2MPASS, el cual se trata de una herramienta que transpone las emisiones medidas con el ciclo WLTC en emisiones que se obtendría con un NEDC, con las que se calcularían los posibles excesos de emisiones.

A partir del año 2021 y hasta 2024, los fabricantes tendrán un único objetivo de referencia basado en el ciclo WLTC. El objetivo de referencia, se basa en el límite de cumplimiento obtenido en el 2020 con el ciclo NEDC y el que se obtiene también en ese mismo año con el WLTC, en la siguiente ecuación se refleja el cálculo del límite objetivo.

$$WLTC_{\text{OBJETIVO}} = WLTC_{2020} * \frac{NEDC_{2020_OBJETIVO}}{NEDC_{2020}} \quad (2.5)$$

Donde:

- **WLTC₂₀₂₀**: Es la media de emisiones de CO₂ medidas en 2020 bajo el ciclo WLTP.
- **NEDC_{2020_OBJECTIVO}**: Es el objetivo de emisiones de CO₂ en 2020.
- **NEDC₂₀₂₀**: Es la media de emisiones de CO₂ medidas en 2020 bajo el ciclo NEDC.

Por último, para calcular el límite de emisión específico, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Límite CO}_2 \text{ (g/km)} = \text{WLTC}_{\text{OBJECTIVO}} + a * [(M_{\emptyset} - M_0) - (M_{\emptyset,2020} - M_{0,2020})] \quad (2.6)$$

Donde:

- **WLTC_{OBJECTIVO}**: es el valor obtenido en la ecuación (2.5).
- **a**: es el coeficiente de la tabla (2.4).
- **M₀**: es la masa de referencia de ese año.
- **M_{0,2020}**: Es la masa de referencia de 2020.
- **M_∅**: Es la masa media de cada fabricante de ese año.
- **M_{∅,2020}**: Es la masa media de cada fabricante en el año 2020.



CAPÍTULO 3:

SISTEMAS

ANTICONTAMINANTES

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

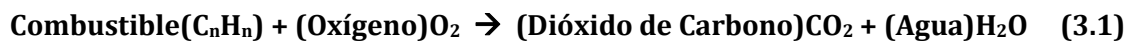
Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

3.1. INTRODUCCIÓN

Debido a una normativa europea cada vez mas exigente, los fabricantes de automóviles han tenido que ir desarrollando nuevos sistemas y estrategias, con el fin de reducir la cantidad de emisiones contaminantes de las sustancias que se han recogido en capítulos anteriores, es decir los gramos por kilómetro de:

- NO_x, Óxidos de Nitrógeno.
- PN, Numero de partículas.
- CO, Monóxido de Carbono.
- HC, Hidrocarburos.

Además también se ha trabajado en la reducción de la emisión de CO₂, lo que se traduce en una reducción del consumo específico del automóvil, es decir lo que se conoce coloquialmente por litros consumidos a los 100km, ya que la emisión de CO₂, cumple una relación directa con los litros de combustible consumidos mediante la combustión ideal que se expone en la formula química (3.1).



Los fabricantes de automóviles, tras una gran inversión en investigación y desarrollo de medidas anticontaminantes, han desarrollado diferentes sistemas que pueden dividirse en dos tipos de medidas, por un lado las conocidas como medidas activas, cuyo propósito es evitar la producción de emisiones contaminantes, y por otro lado las pasivas, cuyo fin es una vez que dichas emisiones se han producido eliminarlas, o evitar que sean expulsadas a la atmósfera.

A continuación se exponen los principales sistemas que se encuentran en cada tipo de medida.

3.2. MEDIDAS ACTIVAS

Las medidas activas, como se ha comentado en el anterior punto, tienen como fin evitar la formación de sustancias contaminantes en la cámara de combustión.

Estas se basan en optimizar los procesos físicos y químicos que conllevan a la formación de estas sustancias, por lo que para su desarrollo, requieren del conocimiento de los procesos relevantes del funcionamiento del motor. Cabe puntualizar, que a medida se producen efectos contrapuestos, es decir, al reducir la producción de un tipo de sustancia, se estaría aumentando la producción de otra que también es contaminante, los conocidos como "trade-offs".

3.2.1. SISTEMA DE INYECCIÓN

La inyección en los motores, tanto diésel como gasolina ha sufrido importantes avances con el transcurso de los años. Salvando algunas diferencias entre estos dos tipos de motores, actualmente la mayoría de los motores de los automóviles cuentan con la siguiente configuración tipo:

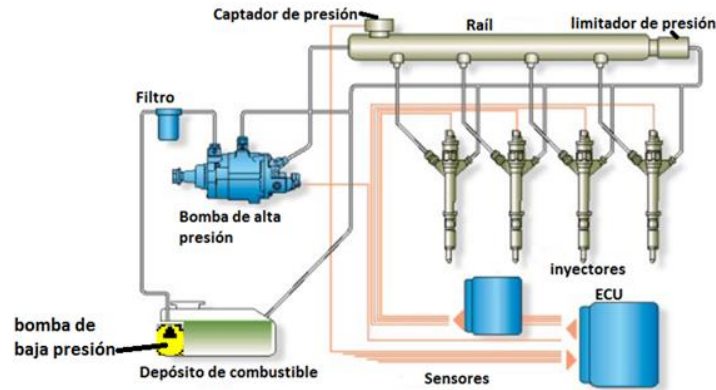


Figura 3.1: Sistema de inyección

Esta configuración, como se aprecia en la figura (3.1), se basa un depósito de combustible, una bomba de baja presión, un filtro para eliminar posibles impurezas en el combustible, una bomba de alta presión que llega a otorgar presiones de hasta 2000-3000 bar en motores diésel, y de unos 100-200 bar en motores MEP, un raíl de presión común, y un inyector por cilindro controlado electrónicamente mediante la ECU (Engine Control Unit).

La reducción de emisiones contaminantes en MEP se consigue básicamente gracias a el control preciso de la formación de la mezcla, mediante inyección con control electrónico en la que se procura trabajar con dosados relativos cercanos a la unidad, con el fin de conseguir un rendimiento adecuado en el posterior catalizador de tres vías que se explicará en el apartado de soluciones pasivas.

Los motores diésel, dada la característica de que realizan la inyección cuando el pistón esta cerca del punto muerto superior, y la combustión se realiza instantes después de comenzar a inyectar, es necesario realizar una inyección que consiga mezclar correctamente el combustible y el aire, esto se consigue gracias a:

- Alta presión de inyección para conseguir una rápida vaporización y atomización del combustible.
- Varios orificios por inyector, entre 5 y 8, y de muy pequeño tamaño(0,08-0,25mm).

Gracias a ello, se consigue reducir la formación de hollín, y de hidrocarburos sin quemar.

3.2.2. SISTEMA DE SOBREALIMENTACION Y DE FORMACIÓN DE LA MEZCLA

Antiguamente los motores diésel eran los únicos que contaban con sistema de sobrealimentación, pero en la actualidad se va extendiendo la implantación de este tipo de sistema en motores MEP, esto es debido a que se consigue una mejor formación de la mezcla, una mejora del rendimiento y también una mayor potencia específica máxima en ambos tipos de motores.

En cuanto a la formación de la mezcla también se destacan los parámetros de diseño de la cámara de combustión, como forma, posición, tamaño. En los motores gasolina se distinguen básicamente tres tipologías de cámara de combustión, las cuales se presentan a continuación.

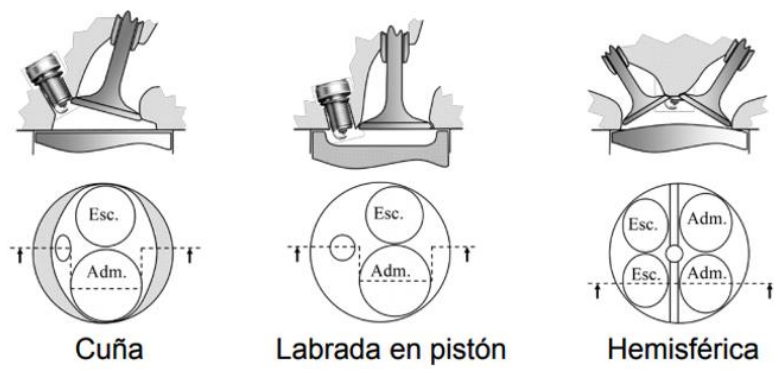


Figura 3.2: Cámaras de combustión MEP

En cada una de ellas, se buscan diferentes objetivos, entre los que destacan:

- Que el frente de llama recorra la menor distancia posible.
- Ayudar a la formación de la mezcla.
- Mitigar la detonación.
- Facilitar la renovación de la carga.
- Utilización de todo el aire y combustible, es decir, ausencia de zonas muertas.

En los motores diésel, la formación de la mezcla cobra si cabe mas importancia por la complejidad que supone inyectar el combustible, y acto seguido proceder al autoencendido de este. Para ello se busca que el aire y el combustible se mezclen de la forma mas homogénea posible, esto se consigue mediante un funcionamiento adecuado del sistema de inyección además de las medidas que se exponen a continuación:

- Aplicar ``swirl`` o torbellino a los gases de entrada en la cámara.
- Cámara con forma de ``bowl``.



Figura 3.3: Bowl y Swirl en un motor MEC

3.2.3. SISTEMA EGR

El sistema EGR, tal y como indican sus siglas (Exhaust Gas Recirculation) consiste en volver a introducir parte de los gases obtenidos tras la combustión en la cámara.

El sistema de EGR nació en los años 60 en motores diésel de pequeña cilindrada sobrealimentados, también se utilizó en motores de encendido provocado con el fin de evitar el problema de la autodetonación.

Actualmente, esta técnica se encuentra totalmente implantada en motores tanto de encendido por compresión, como de encendido provocado. Aunque cabe destacar que las tasas de EGR son mayores en motores diésel.

El objetivo principal de recircular los gases de escape consiste en reducir la emisión de NO_x , esto se consigue gracias a que al introducir mayor cantidad de gases inertes (CO_2 y H_2O), se obtiene una combustión a menor temperatura, puesto que el calor específico del gas recirculado es superior a la del aire, se produce una reducción de temperatura de llama, además al introducir menor cantidad de oxígeno, la combustión es más lenta y se disminuye así el pico de presión.

A continuación se realiza una clasificación de los diferentes sistemas de EGR, por un lado atendiendo al lugar donde se extraen los gases, este sistema se puede clasificar como EGR interno o externo:

- **EGR interno:** Esta técnica es bastante simple, ya que no es necesario implementar ningún dispositivo adicional. La realización de esta modalidad de EGR, se consigue mediante un perfil característico en las levas de escape, que consigue abrir las válvulas de escape durante la carrera de admisión. Este método a pesar de las ventajas constructivas, tiene múltiples inconvenientes, como por ejemplo la imposibilidad alguna de regulación, o que también se necesitan mayores presiones de sobrealimentación.

- **EGR externo:** En este caso a diferencia del anterior, el gas inerte a introducir en la cámara, procede de algún punto de la línea de escape del motor en el que se extrae, y a partir de ahí, el gas fluye mediante un conducto gracias al gradiente de presiones. Este método tiene como principal ventaja la posibilidad de su regulación mediante una válvula y un sistema de control.

Dentro del sistema de EGR externo, atendiendo en que punto de la línea de escape se extraen los gases de la combustión y del circuito posterior que recorren, se puede diferenciar entre EGR de alta y baja presión.

- **EGR de alta presión:** Este sistema tiene como ventaja su simplicidad, ya que los gases son extraídos del colector de escape, e introducidos directamente al colector de admisión, tras el paso por una válvula de control. Como principales desventajas, se encuentran las siguientes:
 - El proceso de accionamiento de la turbina del compresor se ve perjudicado, debido a que se ve reducida la cantidad de gases que pasan por la turbina.
 - Al introducir gases a alta temperatura, disminuye la densidad global en la admisión, lo que se contrapone a el trabajo realizado por el compresor, y al enfriamiento posterior en el intercooler, que tenían como objetivo obtener una alta densidad del aire.
- **EGR de baja presión:** Esta técnica de recirculación elimina los dos problemas que tenía el de alta, ya que con esta técnica la totalidad de los gases pasan por la turbina y la temperatura de los gases de combustión a introducir en la cámara tienen una menor temperatura. Esto se consigue gracias a que se los gases recorren el siguiente circuito, tras pasar por la turbina, los gases pasan por el filtro de partículas, y de aquí gracias a la acción de una válvula de contrapresión en el escape, parte de los gases son llevados a un intercambiador de calor, para posteriormente ya ser introducidos en la línea de admisión, pasando por el compresor, intercooler y por último ser introducidos en la cámara. Aunque no todo son ventajas, este sistema tiene como principal inconveniente la posible aparición de condensados que podrían dañar la rueda del compresor.

En la siguiente imagen, se expone una esquematización de los dos sistemas de EGR externo.

EGR basse pression - Low pressure EGR

Recirculation des gaz d'échappement par une boucle froide
Exhaust Gas Recirculation through Cold Loop

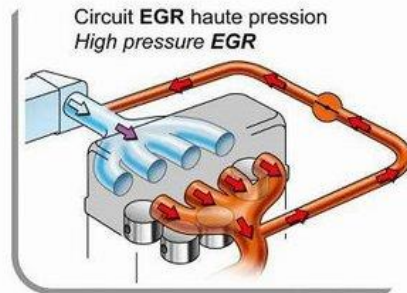
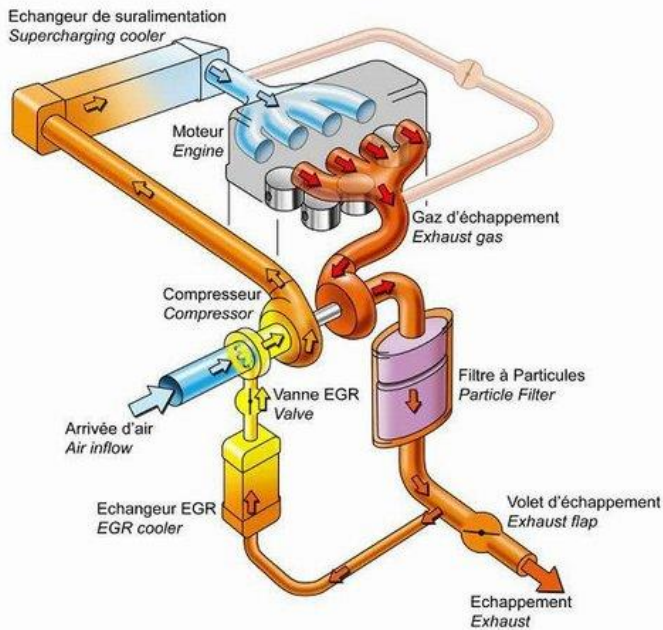


Figura 3.4: EGR de alta y baja presión

Por último, también se divide la forma de realizar la recirculación entre EGR de sustitución, o de adición.

- **EGR de sustitución:** En este tipo de EGR, la masa total de gases introducidos en la cámara de combustión es constante, por lo que a medida que se recircule mayor cantidad de gases, la cantidad de aire fresco introducida es menor. Este sistema es aplicado en motores de encendido por compresión.
- **EGR de adición:** En este caso, la masa total de gases no es constante y si lo es la cantidad de aire fresco introducido. Este tipo de recirculación, se lleva a cabo en motores de encendido provocado, ya que estos siempre trabajan con dosados constantes y cercanos al estequiométrico.

3.3. MEDIDAS PASIVAS

Con el transcurso de los años y con la aplicación de una normativa cada vez más exigente, con las medidas activas no era suficiente, por lo que empezaron a desarrollarse y a implantarse nuevas estrategias denominadas como medidas pasivas, también conocidas como sistemas de postratamiento.

Las medidas pasivas son llevadas a cabo una vez que se ha realizado la combustión y no se ha podido evitar la producción de determinadas sustancias contaminantes, por lo que tienen como cometido eliminar dichas sustancias o evitar que estas sean expulsadas a la atmósfera.

Este tipo de medidas cuentan con la principal ventaja de no afectar al funcionamiento del motor, ya que se trata de un postratamiento que se realiza en la línea de escape del motor. A continuación se exponen las más importantes.

3.3.1. CATALIZADOR DE TRES VÍAS

Este catalizador solo se instala en motores de encendido provocado, ya que para el correcto funcionamiento de este los gases de escape no deben contener Oxígeno, para ello, es de vital importancia la instalación de la conocida como sonda lambda, cuyo propósito es que el motor trabaje constantemente con un dosado relativo determinado, el cuál es cercano al estequiométrico.

Tras realizarse la combustión en un MEP, en los gases de escape se encuentran básicamente tres tipos de sustancias contaminantes:

- Óxidos de Nitrógeno (NO_x).
- Monóxido de Carbono (CO).
- Hidrocarburos sin quemar (HC).

Cuando el motor trabaja con el dosado relativo estipulado por la sonda lambda, este catalizador tiene un rendimiento cercano al 100% en cuanto a la eliminación de dichas sustancias se refiere. Esta eliminación se lleva a cabo siguiendo los siguientes procesos químicos que se exponen a continuación.

Proceso	Entrada		Combinación		Resultado
Oxidación	CO	+	O_2	=	CO_2
Oxidación	HC	+	O_2	=	$\text{CO}_2 + \text{Agua}$
Reducción	NO_x	+	CO	=	$\text{CO}_2 + \text{N}_2$

Tabla 3.1: Procesos químicos catalizador 3 vías

Este catalizador está formado por pequeños canales, cada uno de aproximadamente 1 mm. de diámetro, que se encuentran recubiertos con algún material catalítico activo, que normalmente

son aluminio, cerio, circonio, platino, paladio y rodio. La presencia de estos metales preciosos, hacen que el coste de estos catalizadores sea bastante elevado.

En la figura (3.5), se aprecia un esquema de como sería el modo de funcionamiento de este tipo de catalizador.

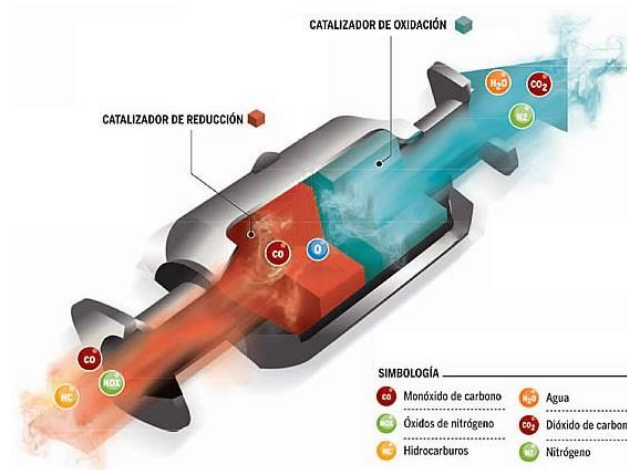


Figura 3.5: Catalizador de 3 vías

3.3.2. CATALIZADOR DE OXIDACIÓN DIÉSEL (DOC)

A diferencia de los gases de escape que son producidos en los motores de encendido provocado, en los motores de encendido por compresión hay multitud de Oxígeno, al trabajar estos con dosados inferiores al estequiométrico. Este es el motivo por el cuál no es posible instalación de un catalizador de tres vías en este tipo de motores, ya que tratar reducir químicamente los NO_x en un ambiente oxidante resulta extremadamente complicado. Por lo que por lo general, los motores Diésel se encuentran equipados con este tipo de catalizadores de oxidación en los que se llevas a cabo los siguientes procesos.

Proceso	Entrada		Combinación		Resultado
Oxidación	CO	+	O ₂	=	CO ₂
Oxidación	HC	+	O ₂	=	CO ₂ + Agua
Oxidación	NO	+	O ₂	=	NO ₂

Tabla 3.2: Procesos químicos en catalizador de oxidación diésel (DOC)

Tras realizarse los procesos que se detallan en la tabla (3.2), se produce una reacción exotérmica, la cual incrementa la temperatura de los gases de escape. A continuación en la figura (3.6) se expone un esquema de funcionamiento de este tipo de catalizador.

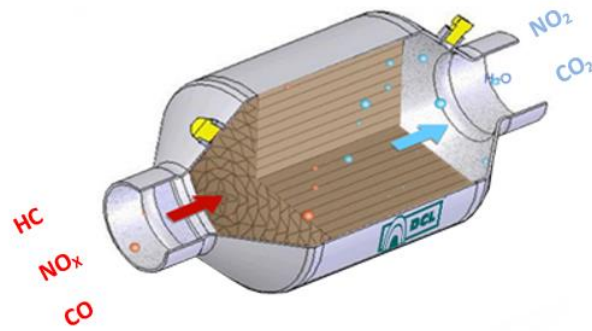


Figura 3.6: Catalizador de oxidación diésel (DOC)

3.3.3. FILTRO ATRAPA PARTÍCULAS (DPF/FAP)

Este sistema anticontaminantes, como su nombre explica, se basa en filtrar los gases de escape, y evitar la expulsión de las partículas que estos contienen. Su principio de funcionamiento es muy básico, ya que simplemente se basa en retener físicamente partículas en un medio poroso. Este sistema, necesariamente tiene que sufrir una regeneración tras un período de tiempo determinado, esta regeneración consiste en oxidar las partículas sometiendo a estas a altas temperaturas. Mediante dos sensores de presión a la entrada y a la salida de dicho filtro, se obtiene la diferencia de presiones, cuando el gradiente es demasiado elevado, habría que proceder a la regeneración.

Para realizar la regeneración, que consiste en oxidar las partículas mediante un aumento de la temperatura de los gases de escape, se pueden llevar a cabo diferentes acciones, que se recogen a continuación.

- Inyección atrasada o en el colector de escape.
- Dopado con sustancias que reducen la temperatura de oxidación.
- Recubrimientos catalíticos que disminuyen la temperatura de oxidación.
- Uso de calentadores eléctricos.

Este filtro y su correcto funcionamiento se vuelve imprescindible a la hora de realizar EGR de baja presión ya que los gases de escape tras atravesarlo, son introducidos en el compresor.

En la siguiente imagen, se puede apreciar el funcionamiento de estos filtros, que no es más que el de la colocación de una gran cantidad de celdas de minúsculo tamaño, que se encarguen de atrapar las partículas.

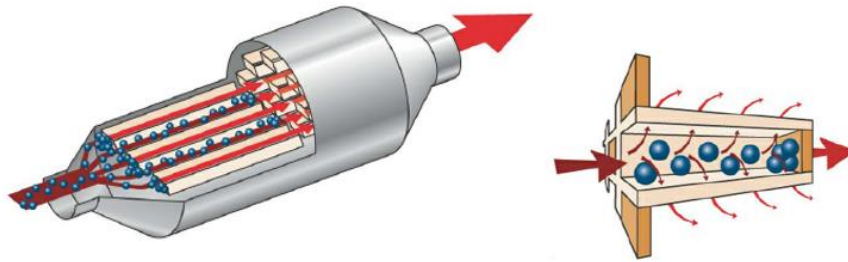
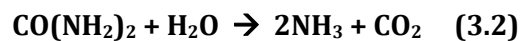


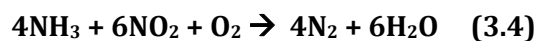
Figura 3.7: Filtro atrapa partículas (DPF/FAP)

3.3.4. CATALIZADOR SELECTIVO DE REDUCCIÓN DE NO_x (SCR)

El catalizador selectivo de reducción de NO_x surge como medida de eliminación de esta familia de gases, especialmente en motores Diésel donde con el sistema de EGR no es suficiente. Este se basa en la reducción de los Óxidos de Nitrógeno mediante el uso continuo de amoníaco (NH₃). Con el fin de evitar usar amoníaco directamente ya que se trata de una sustancia tóxica, se utiliza en su lugar Urea. La Urea se transforma en amoníaco por hidrólisis mediante la siguiente reacción química.



Una vez ya se dispone del amoníaco, ya es posible hacerlo reaccionar con los NO_x, y mediante las siguientes reacciones químicas de reducción, se obtienen los siguientes productos.



Los automóviles que incorporan este sistema han de llevar un depósito con Urea líquida, la cual hay que reponer cada cierto kilometraje.

A continuación se presenta un esquema tipo de un catalizador de reducción de NO_x (SCR).

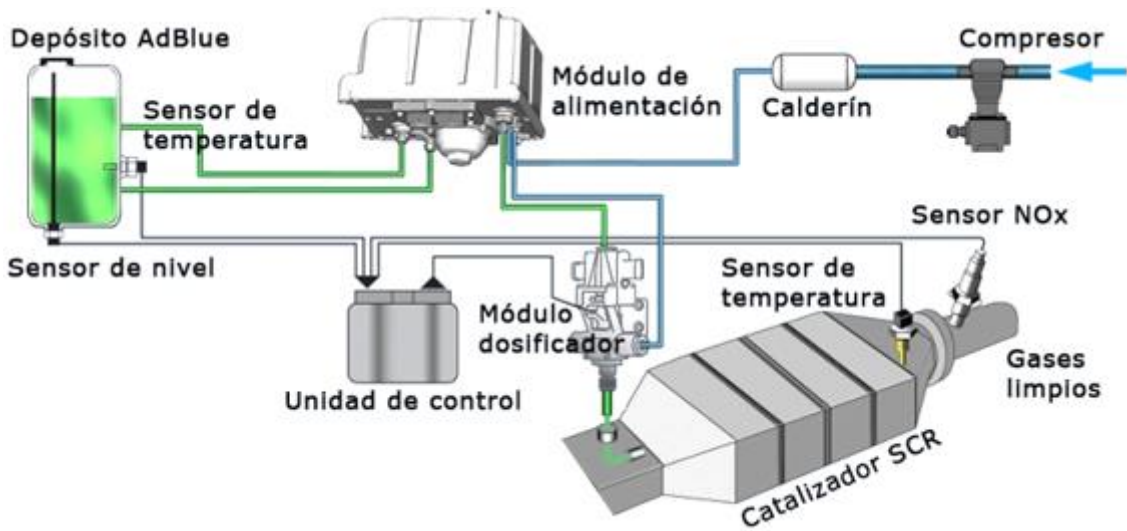


Figura 3.8: Catalizador selectivo de reducción de NO_x (SCR)

3.3.5. LEAN NO_x TRAP (LNT)

Por último, otra medida que tiene como objetivo reducir la emisión de NO_x en automóviles Diésel, es la de la trampa de NO_x, principalmente se basa en que cuando el motor actúa en condiciones normales, este trabaja con mezcla pobre, por lo que hay Oxígeno en el escape, con este O₂, el NO, se oxidaría dando lugar a NO₂, y una vez oxidado se almacena en la trampa.

Cuando la trampa esta colmatada, se procedería a realizar una regeneración, para realizarla es necesario que el motor trabaje con mezcla rica, para que haya CO en los gases generados. Este Monóxido de Carbono, es necesario para que reaccione con el NO₂, y los productos que se obtendrían serían CO₂ y N₂, como se recoge en la siguiente reacción.

Proceso	Entrada	Combinación	Resultado
Reducción	NO ₂	+ CO	= CO ₂ + N ₂

Tabla 3.3: Procesos químicos en Lean NO_x Trap

Para conseguir la regeneración es posible realizar diferentes estrategias, con el fin de conseguir una mezcla rica en combustible, algunas se recogen a continuación:

- Estrangulamiento de la admisión.
- Incrementar la recirculación de los gases de escape (EGR).
- Inyección adicional en el combustible, ya sea con postinyecciones en la cámara, o en el colector de escape.

En el siguiente esquema se observa en la parte superior cual seria el funcionamiento en condiciones normales, y en la inferior cuando se produce la regeneración.

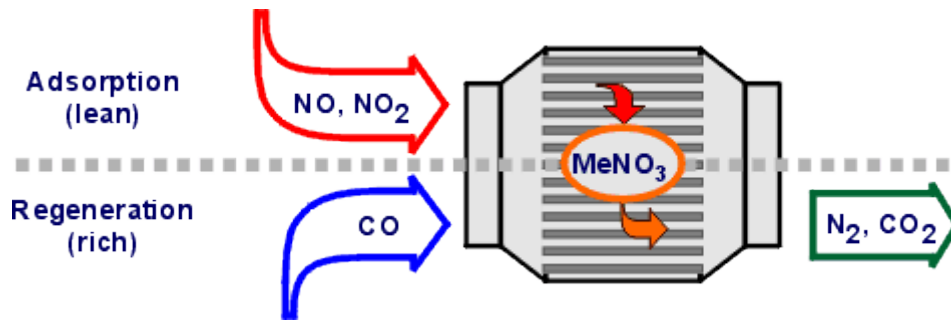


Figura 3.9: Lean NO_x Trap (LNT)



CAPÍTULO 4:

NISSAN PULSAR

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se procede a realizar una descripción del vehículo que se simulará en la sala de ensayo, el vehículo elegido es un Nissan Pulsar, se ha elegido este modelo debido a que el Instituto CMT motores térmicos, disponía de información de un ensayo real realizado por uno de los técnicos del laboratorio, en el que se hacía uso de este vehículo. El ensayo fue llevado a cabo bajo las directrices de un ensayo RDE (Real Driving Emissions), tras realizarse se obtuvo una amplia información sobre el ensayo, y a partir de esta, se podrá simular un ensayo de este tipo en una sala de motores térmicos de automoción.

Cabe destacar que este vehículo se encuentra equipado con un motor Renault K9K diésel sobrealimentado, con una cilindrada de 1500 cm³ y una potencia máxima de 82kW, pero debido a la falta de disponibilidad de este motor, los ensayos se realizarán con un motor similar a este, el conocido como motor R9M, cuyas características se describen a continuación.

4.2. NISSAN PULSAR

El automóvil modelizado en la sala de ensayos, es un Nissan Pulsar del año 2016, en la siguiente tabla se recogen sus principales características.

NISSAN PULSAR		
Nº de puertas		5
Velocidad Máxima	km/h	190
Capacidad depósito	litros	46
Longitud	mm	4387
Anchura	mm	1768
Altura	mm	1520
Distancia entre ejes	mm	2700
Neumáticos		195/60 R16
Clasificación gases de escape		Euro 6
Emisión CO2 ponderada	g/km	94
Peso en orden de marcha	kg	1270-1352
Peso máximo admisible	kg	1785
Nº de engranajes		6
Transmisión		Manual
Tracción		Delantera

Tabla 4.1: Características Nissan Pulsar

En la figura (4.1) se ve representado el automóvil que se ha simulado en la sala de ensayo.



Figura 4.1: Nissan Pulsar

Otro dato de suma importancia a la hora de realizar la simulación del vehículo, es el del valor del coeficiente aerodinámico de penetración (C_x), el cual establece junto a el área frontal del vehículo, la resistencia que ofrece al viento, en este caso se trata de un modelo bastante aerodinámico y su valor es de 0,29.

4.2.1. MOTOR R9M

El motor R9M es uno de los motores que se encuentran en una de las salas de ensayo del Instituto CMT motores térmicos, y es el encargado de propulsar el Nissan Pulsar que se va a simular para realizar múltiples ensayos, es un motor fabricado por Renault, utiliza diésel como combustible, y cuenta con aspiración turboalimentada e intercooler. En la siguiente tabla se recogen las principales prestaciones y características.

MOTOR R9M		
Combustible		Diésel
Aspiración		Sobrealimentado
Cilindrada	cm ³	1598
Cilindrada unitaria	cm ³	399,5
Relación de compresión		15,4 : 1
Potencia máxima	kW/rpm	96/4000
Par máximo	Nm/rpm	320/1750-2500
Nº de cilindros		4 en línea
Diametro del cilindro	mm	80
Carrera del cilindro	mm	79,5
S/D		0,9937
Nº de válvulas por cilindro		4

Tabla 4.2: Características Motor R9M

Observando la tabla de características anterior, se puede cerciorar que la relación de compresión es bastante alta para un motor diésel, también destaca el dato de la relación carrera/diámetro (S/D), que indica que se trata de un motor ligeramente supercuadrado, cuando por lo general los motores diésel suelen ser alargados.

También se observa que ese motor cuenta con 4 válvulas por cilindro, lo que daría un valor total de 16 válvulas, para ello cuenta con un doble árbol de levas en cabeza de tipo DOHC (Double Overhead Camshaft).

Dicho motor, además cuenta con un sistema de inyección common-rail con una presión máxima de 1600 bares.



Figura 4.2: Motor R9M

4.2.2. SISTEMAS ANTICONTAMINANTES

Dado que se trata de un vehículo homologado bajo las directrices de las norma Euro 6, dispone de un complejo sistema de reducción de emisiones contaminantes, para cumplir con los límites que estipula dicha normativa.

Concretamente dispone de los siguientes sistemas:

- EGR de alta y baja presión.
- Lean NO_x TRAP (LNT).
- Filtro de partículas (FAP/DPF)

El principio de funcionamiento y principales características de cada uno de estos sistemas se encuentran recogidos en el capítulo 3.

Además también se encuentra equipado con el sistema start-stop, con el fin de reducir el consumo de combustible y por tanto la emisión de Dióxido de Carbono.



CAPÍTULO 5: INSTALACIÓN

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

5.1. INTRODUCCIÓN

Para poder realizar los ensayos, se ha hecho uso de una de las instalaciones de ensayos para motores térmicos de automoción de las que dispone el Instituto CMT Motores Térmicos, dicha instalación se encuentra ocupada por el motor Renault R9M, y además cuenta con múltiples elementos de control y seguridad y diferentes sistemas de medida. En los siguientes puntos se recogen las características y prestaciones de dicha sala.

5.2. LOCALIZACIÓN

Los ensayos de simulación del automóvil, se han realizado como se mencionaba en el punto anterior en una de las salas de ensayos de las que dispone el Instituto CMT Motores Térmicos en la Universidad Politécnica de Valencia, dicha sala se encuentra concretamente en el edificio 8P del campus de Vera (Valencia). En la siguiente imagen se puede apreciar su localización.



Figura 5.1: Campus de Vera (UPV)

5.3. SALA DE ENSAYOS

La sala donde se han realizado los ensayos debe estar equipada con los pertinentes sistemas y equipos, y cumplir los requisitos necesarios para que los ensayos sean llevados a cabo de forma segura, eficaz y correcta.

Esta sala cuenta con el espacio donde se sitúa el motor, y sistemas necesarios para realizar el ensayo como la bancada o el freno. En la zona donde se encuentra el motor, debe haber un espacio lo suficientemente amplio como para que los técnicos puedan acceder sin complicaciones, en caso de tener que realizar alguna revisión, reparación o implementación del algún sistema de medida o equipo.

Además también se cuenta con un sistema de extracción de los gases de escape del motor, para ser analizados posteriormente por el pertinente equipo de medida.

A continuación se detallan algunos de los sistemas y elementos mas importantes que componen la sala.

5.3.1. BANCADA

Dado que el motor esta diseñado para propulsar un automóvil, a la hora de instalarlo en una sala de ensayos, habrá que disponer de una bancada, que asegure una perfecta sujeción de este y que esta este perfectamente anclada al suelo. Además también debe absorber las vibraciones que produce el motor mediante unos muelles, para no transmitir las vibraciones al suelo.

5.3.2. SISTEMA DE FRENO

La instalación del freno es primordial para simulación de la conducción real, ya que es el encargado de ejercer en cada instante la resistencia correspondiente en cada instante, esta resistencia es la correspondiente a las sumas de las fuerzas aerodinámicas, fuerza de rozamiento, y fuerzas de inercia correspondientes al peso del vehículo.

El dispositivo del freno, se encuentra acoplado al motor en el eje del cigüeñal en lugar del embrague y la posterior caja de cambios que irían instalados en un vehículo.

5.3.3. TRANSMISIÓN

La transmisión es uno de los elementos indispensables en la sala, ya que es la encargada de transmitir el par generado en el motor hasta el sistema de freno y viceversa. Debido a que se produce una gran oscilación de pares ejercidos por el freno en un lado y el motor por el otro, esta se encuentra sometida a grandes esfuerzos, por lo que resulta de extrema importancia que la transmisión realice esta unión de forma segura y efectiva, además esta perfectamente aislada para que en caso de rotura, los posibles trozos no lleguen ocasionar desperfectos en la sala.

5.3.4. SISTEMA ELÉCTRICO

Con el fin de alimentar los diferentes sistemas de control, seguridad, análisis etc., la sala se encuentra alimentada por una red trifásica con un voltaje de 380V. En el exterior de la sala se encuentra el cuadro eléctrico, con los debidos interruptores diferenciales y magnetotérmicos, con el fin de garantizar el buen funcionamiento de la sala y la seguridad del personal.

5.3.5. SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Al tratarse de una sala cerrada, esta se ve obligada a disponer un sistema de ventilación, y extracción de gases, este sistema será el encargado de realizar las siguientes funciones:

- Eliminar los gases de escape , y de posibles gases que se produzcan por evaporación de combustible.
- Mantener una temperatura óptima de funcionamiento en el habitáculo del motor.

5.3.6. SISTEMA DE SEGURIDAD

Debido a la peligrosidad de los ensayos al trabajar con motores de combustión interna, que utilizan gasóleo o gasolina como combustible, la sala cuenta con un sistema de detección de incendios. Además también se encuentra equipada con extintores diseñados para extinguir fuegos de origen eléctrico debido a la grandes potencias e intensidades con las que se encuentran alimentados algunos elementos, como por ejemplo el sistema de frenado que funciona con una corriente de 310 A.

Como se especificaba en el apartado de sistema eléctrico, la sala cuenta con un cuadro eléctrico equipado con los correspondientes sistemas de seguridad, mediante la instalación de interruptores diferenciales y magnetotérmicos, diseñados mediante las pautas que especifica la normativa vigente del código técnico de baja tensión.

Ante posibles fallos de funcionamiento del motor y de una posible rotura de la estanqueidad entre el habitáculo donde se encuentra el motor, y la zona donde se encuentran los diferentes técnicos, la sala cuenta con un sistema de detección de Monóxido de Carbono (CO), debido a la peligrosidad de este gas, que no es detectable por el ser humano, y que en grandes concentraciones tiene consecuencias fatales. También se dispone de un sistema de extracción de gases.

5.4. SISTEMA HORIBA

El grupo HORIBA esta formado por 48 empresas distribuidas en 27 países, este grupo ofrece una amplia gama de instrumentos y sistemas para aplicaciones de investigación y desarrollo en el sector de automoción. Su primer laboratorio se estableció en el año 1945 en Japón, y es en 1964 cuando se crea el primer analizador de emisiones para automóviles, el conocido como MEXA-1, el cual se detalla en la siguiente imagen.



Figura 5.2: Analizador de emisiones MEXA-1

En la actualidad, cuenta con múltiples sistemas y aplicaciones para el desarrollo de diferentes investigaciones en motores de combustión interna alternativos. Las salas de ensayos del CMT cuentan con los sistemas de control y análisis de este fabricante, en la figura (5.3) se puede observar la sala de ensayos donde se han llevado a cabo los ensayos de este trabajo en la que se encuentran instalados los equipos Horiba.



Figura 5.3: Sala de ensayos

5.4.1. SIMULACIÓN DEL VEHÍCULO

Para llevar a cabo la simulación del vehículo, en primer lugar, habrá que introducir múltiples parámetros relacionados con las características del motor, caja de cambios, embrague automóvil etc.

También es estrictamente necesario, establecer el sistema de control del motor, el cual estipula que consignas deben seguirse en la realización del ensayo. En la siguiente imagen se presenta un esquema de cómo se lleva a cabo el control.

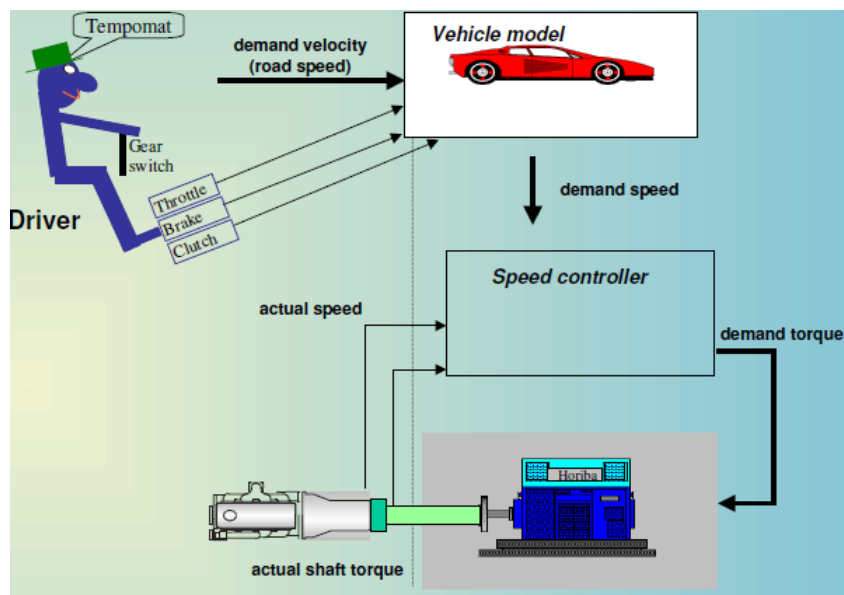


Figura 5.4: Simulación vehículo

En los ensayos que se han realizado en este trabajo, las consignas que se implantaran en cada momento a la hora de ensayar, y son las que debe seguir el motor y el freno, son las de velocidad del vehículo y la de marcha engranada en cada momento. A través de estas, y mediante los parámetros pertinentes que han de ser introducidos en cuanto a características del vehículo, el sistema de control es capaz de establecer el punto de funcionamiento del motor y el par resistente del freno.

Para introducir los parámetros que se comentaban, de características del vehículo, se hace uso del software STARS. Para ello, habrá que introducir parámetros en cada uno de los siguientes elementos.

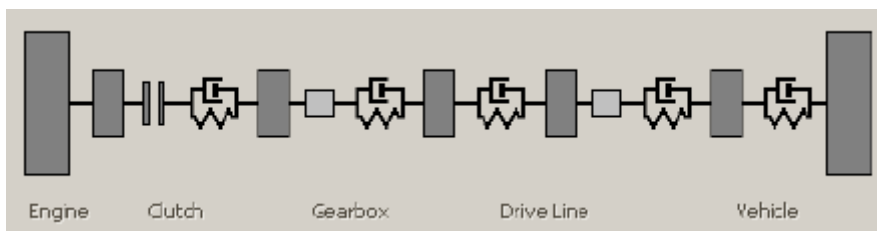


Figura 5.5: Parámetros simulación Software STARS

Para el embrague (Clutch) hay que introducir los parámetros de máximo par a transmitir y de la inercia de este.

En la caja de cambios (Gearbox), se debe completar con las relaciones de transmisión de cada marcha de la caja de cambios real, la cual incorpora el vehículo a simular, y que se encuentran recogidas en la tabla (5.1).

Relación de transmisión	
1ª	13,90
2ª	7,35
3ª	4,75
4ª	3,20
5ª	2,47
6ª	2,11

Tabla 5.1: Relaciones de transmisión Nissan Pulsar

La relación de transmisión recoge la relación entre las revoluciones por minuto del motor a la salida del cigüeñal, y la que se obtiene tras pasar por la caja de cambios, en cada una de las diferentes marchas engranadas.

Lo conocido como "Drive Line" correspondería a el diferencial del motor, en el que se introduce su eficiencia.

Por último en el apartado vehículo, se especifican los siguientes parámetros:

- Peso del vehículo.
- Dimensiones.
- Tamaño de los neumáticos.
- Inercia de las ruedas.
- Coeficiente de resistencia aerodinámica (Cx).

5.4.2. SIMULACIÓN DEL CONDUCTOR

Por último, tras introducir los parámetros que se refieren a características del vehículo, se procede a especificar el modo de conducción, en este apartado se especifica el tipo de control que ha realizar, lo que se traduce en realizar una conducción mas suave o mas agresiva, modificando los diferentes parámetros de un controlador PID.

Además, también se especifica el modo de realizar los cambios de cada una de las marchas y de cómo se ha de realizar la salida desde parado, para ello, como se recoge en la figura (5.5), hay que estipular en que momento se realiza cada acción y la duración de esta, es decir, cuando se produce el desacoplamiento entre motor y caja de cambios al pisar un hipotético pedal de embrague, el momento de realizar el cambio de velocidad, como progresivamente se va transmitiendo par mediante el deslizamiento progresivo del embrague, y como se aumenta el porcentaje de accionamiento del acelerador, con el fin de que el motor no llegue a pararse, tal y como realizaria cada conductor a la hora de realizar un cambio de marcha . A continuación, se expone una imagen del programa donde se aprecia como realizar todos estos cambios en la figura (5.5), concretamente se especifica como se realizaría el cambio a primera velocidad desde punto muerto.

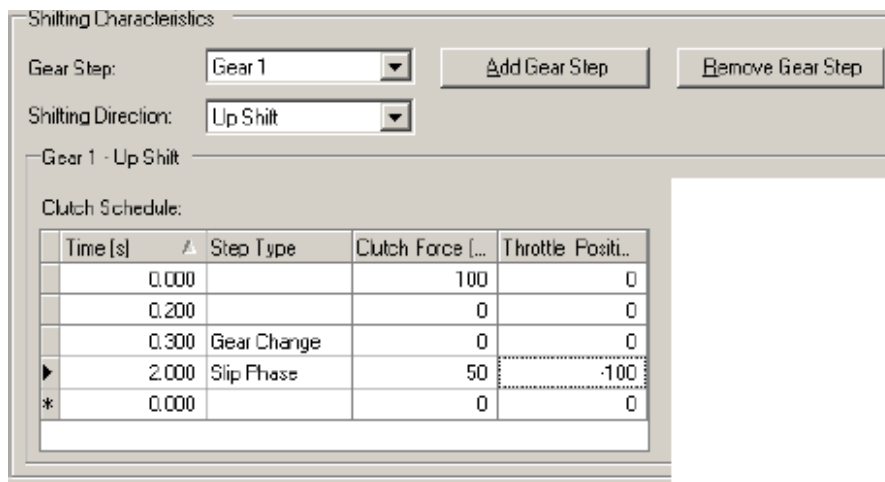


Figura 5.6: Cambio de marcha Software STARS



CAPÍTULO 6:

ENSAYO RDE

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

6.1. INTRODUCCIÓN

Para la realización de la simulación de un ensayo en una instalación, con las características RDE que dicta la normativa, se ha hecho uso de un ensayo real del que dispone el CMT motores térmicos. Este ensayo fue realizado en el año 2016, en la provincia de Valencia con el Nissan Pulsar que se especificaba en el capítulo 4, realizando el recorrido que se detalla en la siguiente imagen.

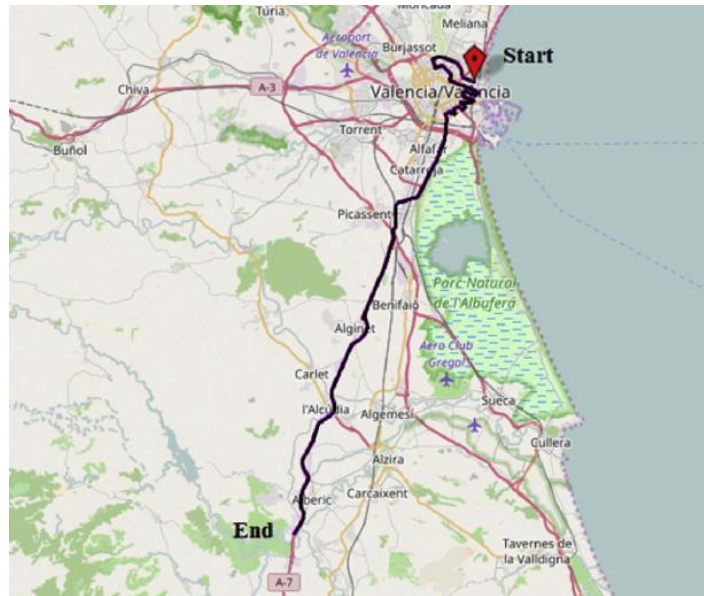


Figura 6.1: Recorrido RDE

Este ensayo cumple con cada una de las directrices que rige la normativa para que sea considerado un ensayo de conducción real válido, dichas directrices a cumplir se encuentran recogidas en el capítulo 2, apartado [2.3 RDE\(Real Driving Emissions\)](#).

Las principales características dinámicas del ensayo, quedan recogidas en la siguiente tabla.

CICLO RDE		
Velocidad media	km/h	42,67
Velocidad máxima	km/h	121,3
Distancia recorrida	km	67,5
Duración	min	95
Porcentaje de tiempo a ralentí	%	24,8

Tabla 6.1: Ciclo RDE

El ensayo cuenta con tres zonas fácilmente diferenciables, zona urbana, rural y de autopista, como se pueden ver en la figura (6.2).

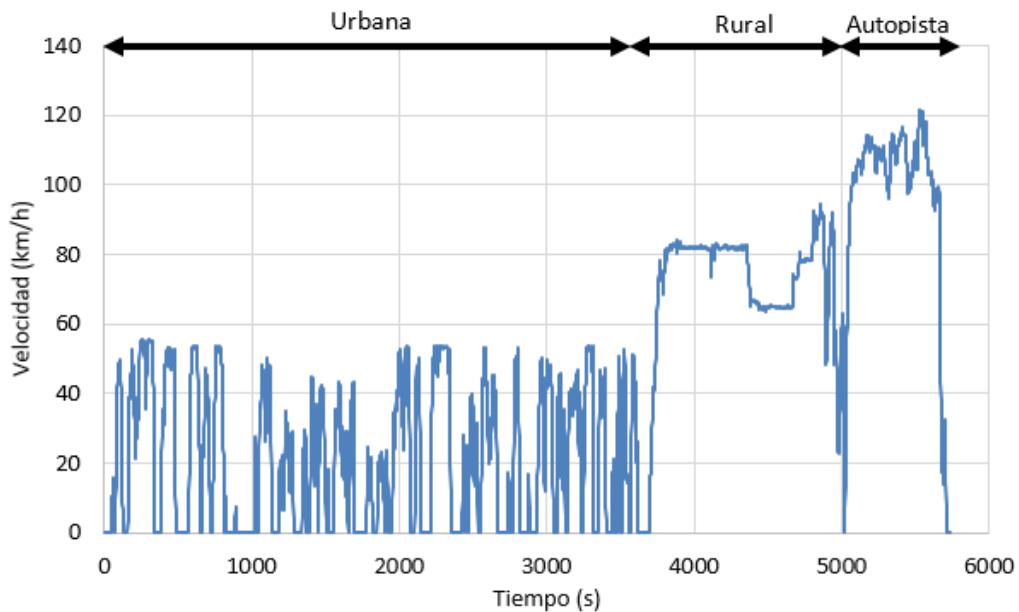


Figura 6.2: Ciclo RDE

6.2. METODOLOGÍA

En primer lugar, se hizo uso de la información obtenida en un trayecto que seguía las pautas de un ciclo RDE, realizado por uno de los técnicos del Instituto CMT Motores Térmicos.

De este trayecto, se disponía de un fichero de datos, del que hizo uso concretamente de la velocidad de vehículo y el régimen del motor. Para posteriormente implementar el ensayo en la sala, se optó por realizarlo introduciendo las consignas de velocidad del vehículo y de marcha engranada, dado que no existía información sobre la marcha engranada en cada instante, mediante la velocidad y las revoluciones por minuto, se obtuvo la relación de transmisión, y con esta se pudo obtener fácilmente que marcha se encontraba engranada en cada instante.

Con estos datos, el sistema de control y de simulación de vehículo de la sala es capaz de determinar el grado de carga y régimen, al que debe encontrarse el motor en cada instante.

Por lo que una vez ya se dispone de las dos variables a implementar en la sala, se debe redactar un documento Excel con la siguiente información en diferentes columnas.

- **Tiempo:** Se trata de la frecuencia con la que varía cada una de las consignas, este ensayo se ha realizado una frecuencia de 1Hz.
- **Velocidad:** Velocidad del vehículo en cada instante en km/h.
- **Marcha:** Marcha engranada en cada instante.
- **Embrague:** Para que el software funcione, hay que insertar una última fila, en la que se establece en que momento el embrague transmite par y en cual no.

Una vez se dispone de dicho archivo de datos con las premisas necesarias, ya es posible implementarlo en el sistema, y proceder a realizar ensayo.

6.3. VALIDACIÓN DEL ENSAYO

Una vez se han introducido las directrices del ensayo en el software de simulación, ya es posible realizar múltiples ensayos, para ver si la simulación ha sido exitosa se ha proceder a realizar las comprobaciones necesarias para que sea considerado como válido, para ello, este debe cumplir con una serie de premisas detalladas en el apartado [2.3 RDE\(Real Driving Emissions\)](#). A continuación se procede a comprobar el cumplimiento de esas premisas.

6.3.1. REQUISITOS AMBIENTALES

Las condiciones ambientales a cumplir a la hora de realizar el ensayo de homologación de tipo RDE, son las siguientes:

- Altitud, que debe ser menor de 700 metros sobre el nivel del mar, la sala de ensayos se encuentra en el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia, la cual se encuentra a 6m s.n.m. por lo que cumple esta especificación.
- La temperatura debe estar entre 0°C y 30°C, según mediciones de sala, esta se encuentra a 28°C por lo que también cumpliría.

6.3.2. REQUISITOS DEL TRAYECTO

Los requisitos que se deben cumplir en cuanto al trayecto se detallan a continuación. En primer lugar se deben diferenciar perfectamente las siguientes tres zonas.

- Zona urbana: Velocidad máxima de 60km/h.
- Zona rural: Velocidad entre 60 y 90km/h.
- Zona autopista: Velocidad por encima de 90km/h.

En la tabla (6.2), se recogen las principales características de cada una de las zonas del ensayo realizado.

		Urbana	Rural	Autopista
Velocidad media	km/h	21,97	76,07	106,15
Tiempo	S	3876,00	1139,70	677,60
Distancia	Km	23,66	24,08	19,98
Porcentaje en distancia	%	34,94	35,56	29,50

Tabla 6.2: Características trayecto

Se puede cerciorar que cumple las indicaciones que se establecían en el apartado 2.3, en las que se recogía que:

- La zona urbana constará aproximadamente de un 34% de la distancia total del trayecto, nunca siendo menor a un 29%.
- Un 33% aproximado para zona rural y autopista, con una tolerancia máxima de +-10%
- Una velocidad media de entre 15 y 30km/h en zona urbana.

Otra directriz que también se cumple es la de que la distancia mínima recorrida en cada una de las zona sea como mínimo de 16km.

La velocidad en zona urbana, cumple que es menor a 60km/h en todo momento, como se observa en la siguiente gráfica.

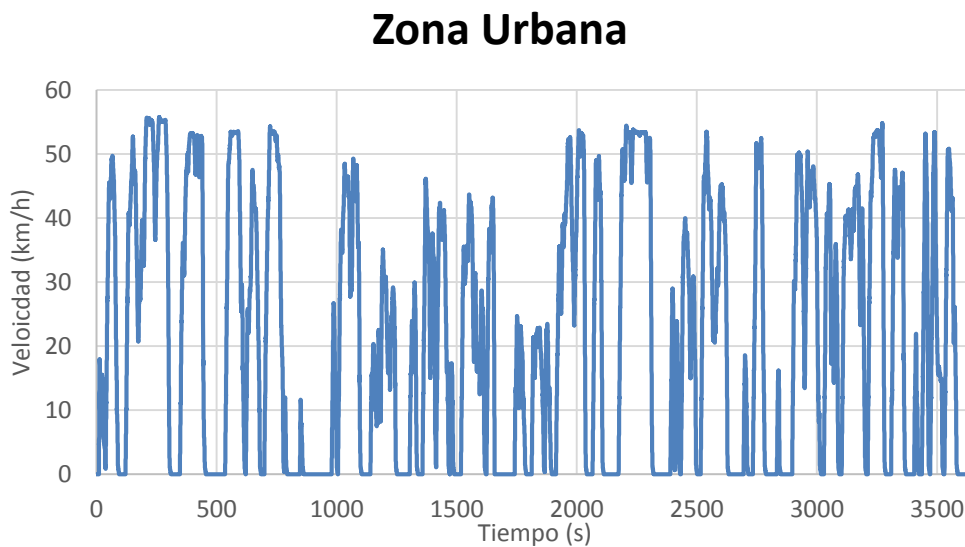


Figura 6.3: Zona Urbana RDE

El tiempo de paradas en la zona urbana, el cual se define como el tiempo en el que la velocidad es menor a 1km/h, es de 1120,8 segundos, lo que supone un porcentaje de tiempo del 29%, por lo que cumple con la indicación de que el tiempo de parada debe de ser de al menos de un 10%.

La parada mas larga empieza en el segundo 862,8 y acaba en el 979,6, lo que suma un total de 116,8 segundos, supone el 10,42% del total de las paradas, por lo que no se llega al máximo que estipula que una única parada no represente mas del 80%.

La zona rural, cuenta con velocidades de entre 60 y 90km/h como se recoge en la siguiente figura.

Zona Rural

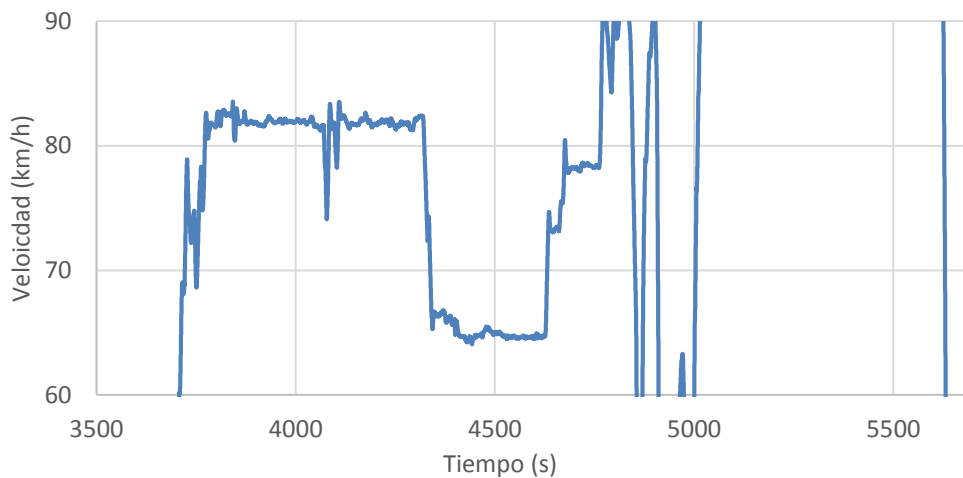


Figura 6.4: Zona Rural RDE

Las zonas sin línea trazada son interrupciones en algún caso por zona urbana, lo que podría tratarse en algún caso por ejemplo de atravesar un municipio, y por otro lado las que están en la zona final del gráfico, son debidas a interrupciones de la zona de autopista por rural, dichas interrupciones se ven en la figura (6.5).

El intervalo en autopista, abarca el periodo de tiempo que se recoge en la gráfica, la indicación de la normativa es que se deben abarcar velocidades de entre 90 y como mínimo 110km/h.

Zona Autopista

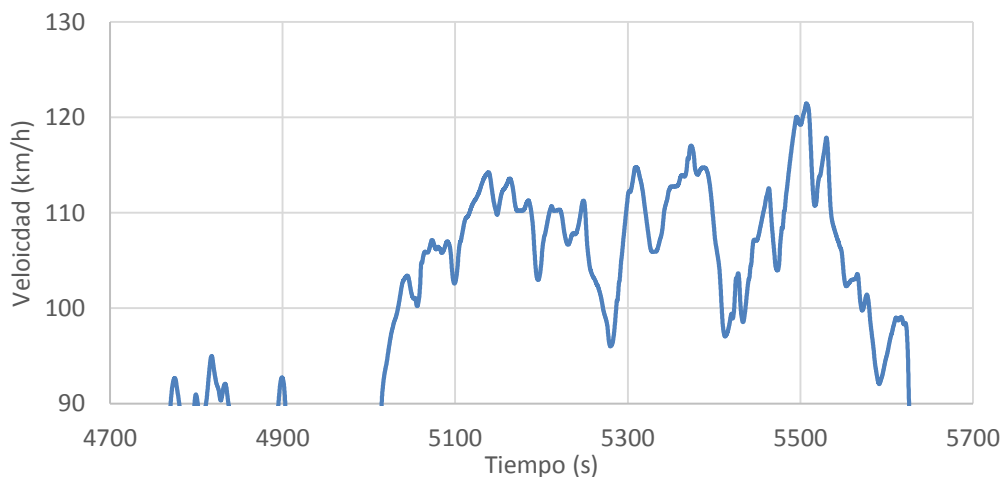


Figura 6.5: Zona Autopista RDE

Al igual que en la gráfica de la zona rural, las zonas que no tienen línea trazada, son consideradas interrupciones en este caso por zonas de tipo rural o urbana, ya que la normativa establece que la zona de autopista, puede ser interrumpida por zonas rurales o urbanas en cortos períodos de tiempo, por ejemplo al pasara por peajes o tramos en obras.

Otra de las premisas es la de que el trayecto en su totalidad, ha de tener una duración de entre 90 y 120 minutos, por lo que cumple al tener una duración de 95 minutos.

Y por último, la altitud sobre el nivel del mar, de los puntos de partida y de llegada no ha de diferir en mas de 100m, dado que se encuentra en una sala de ensayo, no existe diferencia alguna.

En la tabla (6.3), se recoge un resumen de cada una de las directrices que impone la normativa, y que el ensayo RDE ensayado ha cumplido.

		Valor mínimo	Valor máximo	Valor ensayo
Condiciones climáticas				
Altitud	m s.n.m	0	700	6
Temperatura	°C	0	30	28
Requisitos trayecto				
Duración	min	90	120	95
➤ Zona Urbana				
Distancia	Km	16	-	21,97
Porcentaje en distancia	%	29	44	34,94
Tiempo de parada (a ralentí)	%	10	-	29,00
Parada más larga	%	-	80	10,42
Velocidad media	km/h	15	30	21,97
➤ Zona Rural				
Distancia	Km	16	-	24,08
Porcentaje en distancia	%	23	43	35,56
➤ Zona Autopista				
Distancia	Km	16	-	19,98
Porcentaje en distancia	%	23	43	29,50
Tiempo velocidad >100 km/h	min	5	-	8,96

Tabla 6.3: Resumen Ensayo RDE

6.4. VERIFICACIÓN MEDIANTE VENTANAS DE PROMEDIADO MÓVIL

Para este ensayo, no se ha llevado a cabo la verificación mediante ventanas de promediado móvil, ya que no se disponía de la medida de CO₂ instantánea durante la realización del ensayo RDE, aunque si se han realizado los primeros pasos que deberían haberse llevado a cabo, y los cuales se exponen a continuación.

Para la verificación del ensayo mediante el método de ventanas de promediado móvil, en primer lugar hay que realizar la curva de CO₂, que se especificaba en el capítulo 2. Para ello se dispone de un ensayo WLTC realizado en las instalaciones del instituto CMT Motores Térmicos, el cual se ve reflejado en la figura (6.6).

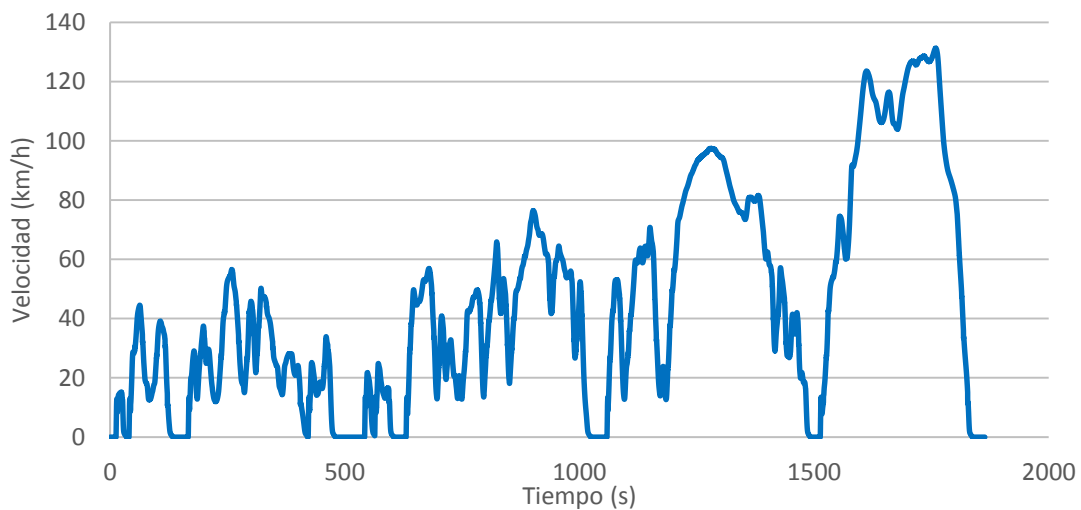


Figura 6.6: Ensayo WLTC R9M

Con la información del ensayo, en el que se dispone de emisiones de Dióxido de Carbono, ya es posible realizar la curva de CO₂, y las de sus tolerancias primarias y secundarias, dicha curva se expone en la figura (6.7).

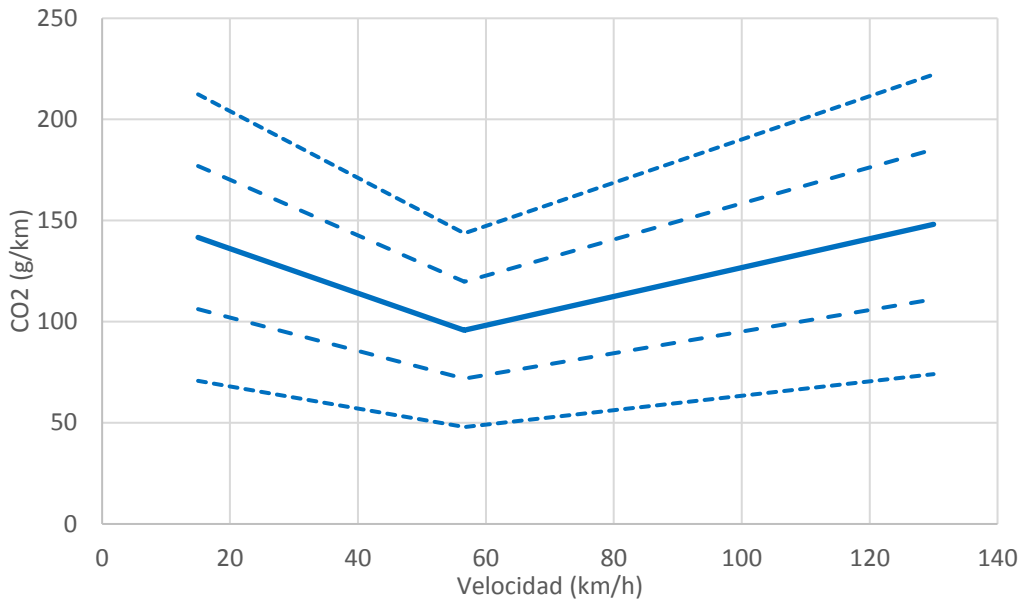


Figura 6.7: Curvas CO₂

Ya con estas curvas y con la masa de CO₂ de referencia, ya sería posible dividir el ensayo en ventanas y ya así proceder a su verificación.

6.5. VERIFICACIÓN MEDIANTE INTERVALOS DE POTENCIA

El otro método disponible de verificación de la validez del ensayo y de cálculo de las emisiones es el de intervalos de potencia, para ello, en primer lugar hay que disponer de los valores de potencia otorgada por el motor en cada instante.

Una vez se dispone de la potencia otorgada en cada instante, mediante la P_{drive} , cuyo método de cálculo se exponía en el capítulo 2, y cuyo valor se calcula a continuación, es posible desnormalizar los intervalos de potencia.

$$P_{drive} = \frac{v_{ref}}{3,6} * (f_0 + f_1 * v_{ref} + f_2 * v_{ref}^2 + TM_{NEDC} * a_{ref}) * 0,001 \quad (6.1)$$

Donde,

- f_0, f_1, f_2 , son coeficientes de resistencia a la conducción que se calculan a partir del análisis de regresión de los mínimos cuadrados de la siguiente ecuación:

$$\frac{P_{corrected}}{v} = f_0 + f_1 * v + f_2 * v^2 \quad (6.2)$$

Donde:

$\frac{P_{corrected}}{v}$ = Es la fuerza de resistencia del vehículo a una determinada velocidad

Obteniéndose los siguientes valores:

- $f_0 = 79,19$
- $f_1 = 0,73$
- $f_2 = 0,03$
- $v_{ref} = 70$ km/h
- TM_{NEDC} , es la clase de inercia del vehículo en el ensayo de homologación de tipo, en este caso 1581kg.
- $a_{ref} = 0,45$ m/s²

En este caso concreto, se obtiene un valor de:

$$P_{drive} = 16,45 \text{ kW}$$

Además con el valor de potencia máxima del fabricante denominada como P_{rated} , en este caso para el motor R9M, se tiene un valor de 96kW, al multiplicar dicho valor por 0.9, se obtiene el máximo de potencia que debe ser introducido en los intervalos.

$$0.9 * P_{rated} = 0.9 * 96 = 86.4 \text{ kW} \quad (6.3)$$

Por lo que con los valores de potencia obtenidos, ya es posible realizar la tabla (6.4), que se presenta a continuación.

DESNORMALIZACIÓN DE POTENCIAS				
Clases de potencia	$P_{c,norm}$		$P_{c,norm} * P_{drive}$	
1+2	0	0,1	0,00	1,65
3	0,1	1	1,65	16,45
4	1	1,9	16,45	31,26
5	1,9	2,8	31,26	46,06
6	2,8	3,7	46,06	60,87
7	3,7	4,6	60,87	75,67
8	4,6	5,5	75,67	90,48
9	5,5		90,48	-

Tabla 6.4: Desnormalización de potencias

La clase de potencia 9, no se incluiría, ya que el valor antes calculado de 86,4 kW se encuentra ya incluido en la clase de potencia 8.

Una vez definidos los intervalos, se procede a comprobar si dentro del ensayo se contemplan los valores de potencia requeridos, para el cálculo de las potencias obtenidas se deben hacer medias móviles de 3 segundos, así como para la contabilización de los contaminantes.

En un primer lugar, tras realizar el ensayo, se comprobó que no cumplía alguno de los intervalos requeridos, concretamente en los que se exigía una mayor potencia. En la siguiente tabla se exponen los valores que se obtuvieron.

Clase de potencia	TRAYECTO TOTAL			PARTE URBANA		
	Límite inferior	Límite superior	Valor obtenido	Límite inferior	Límite superior	Valor obtenido
1+2	15,00%	60,00%	40,66%	5,00%	60,00%	57,57%
3	35,00%	50,00%	46,92%	28,00%	50,00%	38,88%
4	7,00%	25,00%	9,47%	0,70%	5,00%	3,15%
5	1,00%	10,00%	2,63%	>5 computos	2,00%	0,079%
6	>5 computos	2,50%	0,00%	0,00%	1,00%	0,00%
7	0,00%	1,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%
8	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,25%	0,00%
9	0,00%	0,25%	0,00%	0,00%	0,25%	0,00%

Tabla 6.5: Intervalos de potencia primer ensayo

En amarillo se destacan los intervalos de clase de potencia que no cumplían con lo que estipula la normativa, en la clase de potencia 6 del trayecto total no había ningún valor, y en la clase de potencia 5 solo se obtuvo un 0,079% que equivaldría a 3 computos, y no llegaría al mínimo de 5.

Para conseguir el cumplimiento de estos intervalos, se procedió a implantar aceleraciones más agresivas con el fin de aumentar la potencia, tras la realización de un nuevo ensayo, al extraer la información se ya se observó como los valores obtenidos cumplían con los límites impuestos, estos valores se plasman la siguiente tabla.

Clase de potencia	TRAYECTO TOTAL			PARTE URBANA		
	Límite inferior	Límite superior	Valor obtenido	Límite inferior	Límite superior	Valor obtenido
1+2	15,00%	60,00%	40,66%	5,00%	60,00%	57,57%
3	35,00%	50,00%	46,92%	28,00%	50,00%	38,88%
4	7,00%	25,00%	9,47%	0,70%	5,00%	3,15%
5	1,00%	10,00%	2,63%	>5 computos	2,00%	0,394%
6	>5 computos	2,50%	0,32%	0,00%	1,00%	0,00%
7	0,00%	1,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%
8	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,25%	0,00%
9	0,00%	0,25%	0,00%	0,00%	0,25%	0,00%

Tabla 6.6: Intervalos de potencia segundo ensayo

Por lo que los intervalos de potencia durante el ensayo RDE, quedan distribuidos de la siguiente forma.

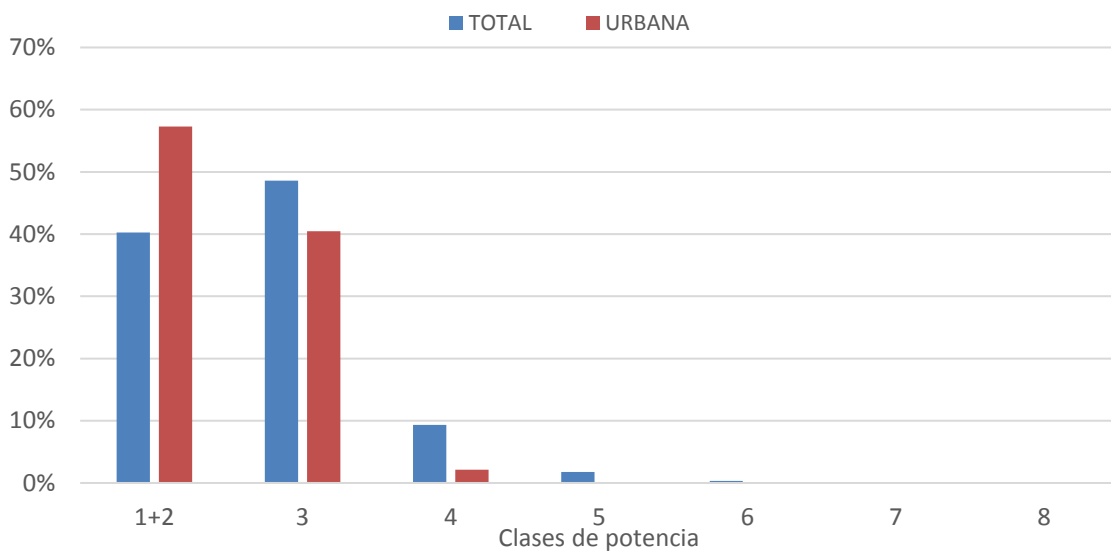


Figura 6.8: Intervalos de potencia

Tras comprobarse que se dan los valores de intervalos de potencia impuestos, el siguiente paso a dar ya sería el de proceder a la medición y análisis de las medidas contaminantes y cerciorar si se cumplirían los límites impuestos por normativa con el factor de conformidad de 2.1.

6.6. CONCLUSIONES

Tras la realización del presente trabajo fin de máster, en primer lugar, se ha conseguido implementar y validar el funcionamiento automático de un banco de ensayos de motor de automoción, bajo las condiciones que dictan la normativa de homologación en lo referente a ensayos RDE.

Con el ensayo obtenido se pueden realizar futuras investigaciones que atañen a las medidas de contaminantes y estudiar estrategias enfocadas a el cumplimiento de los límites que se recogen en la Euro 6, tras aplicar el factor de conformidad correspondiente.

Otra gran utilidad es la que corresponde al objetivo de reducción de las emisiones de CO₂, ya que como se recogía en el capítulo 2, apartado [2.4 Emisiones de CO₂](#), en los próximos años esta estipulado disminuir los límites de gramo por kilómetro emitidos. La producción de este compuesto, esta directamente relacionada con el consumo de combustible, por lo que a través de este ensayo también se podría estudiar cuando se producen los grandes picos de consumo de combustible, a que son debidos, y así adecuar medidas de conducción mas eficiente o incluso mejorar inyecciones y combustiones si se desease.

Además se ha conseguido simular las características que conciernen a un vehículo, por lo que podría implementarse otro tipo de vehículo que lleve instalado el motor R9M y observar como afecta a diferentes parámetros que pueden ser medidos, como potencia, consumo, emisiones

contaminantes, las diferentes características ya sean dimensiones, masa del vehículo, relaciones de la caja de cambios, tamaño de neumáticos etc., que tendría este segundo vehículo.

Para finalizar son múltiples las ventajas que otorga la realización de un ensayo RDE en un instalación , a continuación se exponen las mas importantes.

En primer lugar, realizar un ensayo en una instalación es mas económico, ya que no es necesario disponer de un vehículo para la realización del ensayo ya que este se simula en la sala, ni de un equipo de medida portátil (PEMS).

También se destaca que realizar un ensayo RDE en carretera tiene una gran complejidad, ya que se necesitan cumplir una gran serie de directrices impuestas por normativa, y que cada día que se proceda a realizar un ensayo de este tipo, las condiciones son diferentes, hablando de condiciones climáticas, diferentes niveles de tráfico, o incluso aunque los ensayos sean realizados por el mismo conductor, cada día puede realizar un tipo de conducción, y que tras estar un gran período de tiempo ensayando al final obtener un ensayo que no es válido, y en el caso de que el ensayo se válido también resultaría muy difícil comparar dos ensayos con condiciones completamente distintas.

Por último, una de las grandes ventajas que se encuentran, es la de la facilidad con la que se podría estudiar cada una de las zonas del ensayo que se deseen, realizando los cambios que se crean oportunos, como por ejemplo, cambios de variación de velocidad, de marcha engranada, diferentes tipos de aceleraciones etc., e intentar obtener diferentes objetivos parciales en cada una de estas zonas, como puedan ser reducción de emisiones contaminantes o de consumo, siempre y cuando se cumplan las directrices que dicta la normativa.

Por lo que como se ha visto a lo largo del documento, la preocupación mundial en lo que concierne a la calidad ambiental, la cual se ve afectada por el uso de motores térmicos para automoción es cada vez mayor. Imponiendose cada vez normativas más estrictas con las emisiones contaminantes y con ensayos de validación cada vez de mayor complejidad, por lo que el estudio de estos, es actualmente de gran interés ofreciendo grandes posibilidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Pla Moreno Benjamín. Análisis del proceso de recirculación de los gases de escape de baja presión en motores diésel sobrealimentados. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2008.
- Ingeniería térmica: Fundamentos de termodinámica. Torregrosa Huguet, Antonio José; Galindo Lucas, José; Climent Puchades, Héctor; Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Motores de combustión interna alternativos. F. Payri, J.M. Desantes.
- An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS) . José M. Luján; Vicente Bermudez; Vicente Dolz; Javier Monsalve-Serrano. CMT Motores Termicos, Universidad Politécnica de Valencia. www.elsevier.com
- Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión de 10 de Marzo de 2016.
- RDE: Legislation, AVL PEMS and virtual testing. Fernando Moreno; Jaime Rodriguez.
- STARS User Manual: Road Load Simulation Tutorial.
- Zeldovich YB. The oxidation of nitrogen in combustion explosions.
- <https://www.delphi.com/innovations#emissionstandards>
- <http://www.europasobreruedas.com/faq/emisiones-co2.html>
- <http://www.sernauto.es/es/sala-de-prensa/tribunas-y-entrevistas/400-articulo-de-fondo-el-nuevo-reglamento-europeo-rde-de-medicion-de-emisiones-en-condiciones-reales-de-conduccion>
- <https://www.ambientum.com/ambientum/movilidad-sostenible/cuantos-vehiculos-electricos-existen-en-el-mundo.asp>
- <https://www.autopista.es/pruebas-de-coches/articulo/nissan-pulsar-compacto-prueba-contacto-101555>
- https://www.economiadigital.es/politica-y-sociedad/cuantos-coches-circulan-por-el-mundo_182150_102.html
- https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Otto
- https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel
- https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_autom%C3%B3vil

DOCUMENTO II:
PLIEGO DE
CONDICIONES

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

1. INTRODUCCIÓN

En este documento, se van a enumerar las condiciones necesarias que garanticen la seguridad del personal de la sala de ensayo de motores térmicos, así como cada uno de los diferentes sistemas y equipos con los que se encuentra equipada.

Dado que se trata de realizar ensayos con motores térmicos, los ensayos tienen una determinada peligrosidad, debido al uso de combustibles, temperaturas que alcanza un motor de estas características, a los gases que se producen tras la combustión algunos de los cuales son tóxicos, y también a la instalación eléctrica de la sala, que puede ocasionar diferentes riesgos.

Además, los motores de combustión interna alternativos, generan grandes vibraciones, sumado a que este motor es diseñado para ser instalado en un vehículo y no en una bancada, se añade otro riesgo en cuanto a fallos en la estructura del soporte del motor.

En los siguientes apartados, se realizará un breve resumen de las condiciones que se deben cumplir, se ha dividido en los siguientes tres apartados:

- Condiciones a cumplir por la sala.
- Condiciones a cumplir en la instalación.
- Normativa de los operadores.

2. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA

Las condiciones que ha de cumplir la sala de ensayos de motores térmicos de automoción, son las siguientes:

- En primer lugar, cada uno de los sistemas de seguridad con los que esta sala se encuentra equipada, deben funcionar perfectamente y sistemas tales como los de detección de incendios y gases haber pasado las revisiones pertinentes.
- Además se encuentra equipada por los pertinentes extintores, extintores destinados a extinguir fuegos de origen eléctrico, dada la magnitud de la instalación eléctrica de la sala, y extintores para fuegos producidos por combustibles fósiles. Los extintores deben estar colocados de tal forma que permitan un fácil acceso a estos, y que sean perfectamente visibles además de estar señalizados pertinentemente.
- Iluminación adecuada que garantice una perfecta visibilidad a cada uno de los usuarios que se encuentren en la sala.
- El depósito de combustible, se encuentra situado lejos de cualquier punto caliente, y por tanto del motor, o de sistemas eléctricos.
- Por otro lado el motor se encuentra aislado de la zona de trabajo de los técnicos y personal de laboratorio, existiendo entre ambos habitáculos una puerta la cual deberá

permanecer cerrada durante la realización de los ensayos, y de una ventana que garantice la seguridad de los usuarios y que permita visualizar el motor perfectamente.

3. CONDICIONES A CUMPLIR EN LA INSTALACIÓN

La instalación debe cumplir con las siguientes directrices:

- La transmisión encargada de conectar el eje del cigüeñal del motor y el sistema de freno, debe ser capaz de absorber grandes variaciones de par y vibraciones, pero en caso de posible fallo, se debe instalar un sistema de protección que asegure que en caso de rotura de esta, ningún elemento pueda salir despedido, ya que debido a la velocidad y par a la se encuentra sometida, en caso de rotura, los posibles trozos, podrían causar múltiples desperfectos.
- La instalación eléctrica ha de contar con los diferentes sistemas de seguridad pertinentes que dicte la normativa, como interruptores diferenciales, magnetotérmicos y además de un sistema de conexión a tierra en cada uno de los elementos eléctricos.
- En el puesto de trabajo de los técnicos de laboratorio, se encuentra instalado un pulsador de emergencia, que detiene el funcionamiento del motor, en caso de que se detecte una anomalía grave.
- Se debe asegurar una accesibilidad rápida y segura a cada uno de los elementos de la instalación y a cada una de las zonas del motor con el fin de poder realizar las tareas de mantenimiento pertinentes o cualquier tipo de modificación.

4. NORMATIVA PARA LOS OPERADORES

Para salvaguardar la seguridad del personal de laboratorio, técnicos y cada uno de los usuarios que se encuentren presente durante los ensayos, habrá que seguir las pautas que se enumeran a continuación:

- En primer lugar, antes de la realización de cualquier ensayo, hay que conectar el sistema de extracción de gases de la sala y asegurarse de que este funciona correctamente.
- Durante los ensayos, la puerta que conecta el habitáculo donde se encuentra el motor y el personal, debe permanecer cerrada, estando totalmente prohibido el acceso a la zona del motor mientras este arrancado.
- Evitar que se produzcan derrames de líquidos como pueden ser aceite o combustible, y en el caso de que se produzcan, se debe limpiar la zona donde se ha producido el derramen inmediatamente.
- Las operaciones que se llevan a cabo en el motor, ya sean de mantenimiento, o de modificación de algún sistema, deben realizarse por personal adecuado, el cual debe ir previsto de los medios de protección necesarios, como pueden ser guantes, protección ocular, calzado reforzado etc.

- La sala de ensayos esta prevista con un botiquín con el fin de tratar lesiones de carácter leve, en el caso de que se produzcan lesiones de mayor gravedad, se debe recurrir al servicio sanitario pertinente

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

Realizado por: Fernando Redondo Puelles

Dirigido por: Dr. José Manuel Luján Martínez

1. INTRODUCCIÓN

En este último documento, se va a realizar un desglose de cada uno de los costes del trabajo fin de máster, para así obtener la cuantía total del proyecto.

Para realizar el cálculo del presupuesto total, se han sumado las partidas correspondientes a la mano de obra aportada por cada uno de los miembros involucrados en el proyecto, los costes de equipos instalados en la sala, parte de maquinaria que se ha utilizado y por último los materiales y recursos energéticos empleados.

No se ha tenido en cuenta el coste del motor con el que se ha ensayado, ya que ha sido suministrado por Renault y Valeo, gracias al convenio que existe entre la Universidad Politécnica de Valencia y dichas multinacionales.

Tampoco se ha ponderado el coste de sistemas de medición y control, el del software STARS que se encarga de simular la conducción y el vehículo, ni tampoco los costes de montaje del motor en la sala, ni la de construcción de misma.

2. SALARIO DE LOS TRABAJADORES

Para realizar el proyecto, además de la realización de los ensayos pertinentes, se han llevado a cabo tareas de búsqueda de información, de evaluación de resultados, de síntesis y conclusiones de los resultados obtenidos, todas ellas se contemplan a la hora de realizar el presupuesto que se realiza en este documento.

Para realizar estas tareas, ha sido necesaria la aportación de horas de trabajo de en primer lugar de un técnico de la laboratorio, y de un titulado en el grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y con el Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

El ingeniero industrial ha realizado su trabajo mediante un contrato en prácticas con el Instituto CMT motores térmicos, por el que ha recibido un total de 315€ brutos mensuales, durante un período de 5 meses.

Para el cálculo del coste de las horas del técnico de laboratorio, se estipula un valor de 30€/h.

3. COSTES DE EQUIPOS Y SISTEMAS

Los equipos que se han tenido en cuenta para el cálculo del presupuesto se detallan a continuación:

- Sistema de freno dinanométrico DYNAS.
- Analizador de contaminantes HORIBA.

- Medidor de caudal Sensy-flow.
- Dos ordenadores de sobremesa.

Para calcular el presupuesto total, se hará uso de la amortización de cada equipo, que representa el precio por hora. Para el cálculo de la amortización se hará uso de la ecuación (7.1) que se expone a continuación:

$$\text{€/h} = \frac{\text{COSTE}}{\text{AÑOS DE VIDA ÚTIL} * \text{HORAS DE USO AL AÑO}} \quad (7.1)$$

Se ha establecido un valor de 400 horas de uso al año para cada uno de los equipos y sistemas. Y aplicando la anterior ecuación, en la siguiente tabla, se ven calculadas las amortizaciones.

	Coste	Vida útil	Amortización
	€	Años	€/h
Sistema de freno dinámico DYNAS	271.000,00	10	67,75
Analizador de contaminantes HORIBA	155.000,00	10	38,75
Medidor de caudal Sensy-flow	25.000,00	10	6,25
Dos ordenadores de sobremesa	1.800,00	4	1,13
Un ordenador portátil	600,00	4	0,38

Tabla 7.1: Amortizaciones de equipos

4. COSTE DE MATERIALES Y RECURSOS ENERGÉTICOS

En este apartado, se detalla la cuantía destinada a materiales de los que se han hecho uso de recursos energéticos que se han requerido para el desarrollo del proyecto.

- Filtro de combustible: 55,00€.
- Filtro de aire. 19,50€.
- Filtro de aceite: 21,10€.
- Aceite 5W40: 10,50€/l.
- Batería: 95€.
- Combustible: 1,08€/l.
- Energía eléctrica: 0,124€/kWh.

Cada uno de los precios anteriores, son sin aplicación de impuestos.

5. PRESUPUESTO TOTAL

En la siguiente tabla, se calcula el coste total de cada una de las partidas, así como del montante total.

PRESUPUESTO TOTAL					
MANO DE OBRA					
		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
	Técnico de laboratorio	Horas	100	30	3.000,00
	Ingeniero Industrial	Horas	288	5,47	1.575,00
TOTAL MANO DE OBRA					4.575,00
EQUIPOS Y SISTEMAS					
		Unidad	Cantidad	Precio	Importe
	Sistema de freno dinámico DYNAS	Horas	50	67,75	3.387,50
	Analizador de contaminantes HORIBA	Horas	50	38,75	1.937,50
	Medidor de caudal Sensy-Flow	Horas	50	6,25	312,50
	Dos ordenadores de sobremesa	Horas	50	1,13	56,25
	Un ordenador portátil	Horas	238	0,38	89,25
TOTAL EQUIPOS Y SISTEMAS					5.783,00
MATERIALES Y RECURSOS ENERGÉTICOS					
		Unidad	Cantidad	Precio	Importe
	Filtro de combustible MAHLE KL485	Unidad	1	55,00	55,00
	Filtro de aire MAHLE LX1748	Unidad	1	19,50	19,50
	Filtro de aceite MAHLE OX389/1D	Unidad	1	21,10	21,10
	Aceite Cepsa 5W40	Litros	5	10,50	52,50
	Batería EXIDE EC700	Unidad	1	92,00	92,00
	Gasóleo	Litros	300	1,08	324,00
	Energía eléctrica	kWh	200	0,12	24,80
TOTAL MATERIALES Y RECURSOS ENERGÉTICOS					588,90
COSTE DIRECTO					10.946,90 €
COSTE INDIRECTO 6%					656,81 €
IVA 21%					1.338,10 €
TOTAL					12.941,81 €

Por tanto el montante total del presupuesto, asciende hasta la cifra de **“doce mil novecientos cuarenta y uno con ochenta y un céntimos”** , de los cuales:

- **4.575,00 €** son destinados a recursos humanos.
- **5.783,00 €** son destinados al coste de equipos y sistemas.
- **588,90 €** son los destinados a materiales y recursos energéticos.

Además también se encuentran incluidos en el montante total:

- Un 6% de costes indirectos, que suponen **651,81 €**.
- Un 21% de IVA, que suponen **1.338,10 €**.

