



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



*motores térmicos*

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN  
SISTEMA DE INYECCIÓN DE UREA A PARTIR  
DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO Y MASA  
INYECTADA**

**AUTOR: Juan Francisco Rodríguez Franco**

**TUTORA: Gabriela Bracho León**

**FECHA: Junio 2019**

# **Agradecimientos**

*Este proyecto se lo quiero dedicar a todas aquellas personas que lo han hecho posible de alguna forma.*

*A ti Inma, por ayudarme a superarme cada día. A Lorenzo y Antonio por confiar en mí y el resto de familia y amigos que me han apoyado en este proyecto.*

*También quiero agradecerse a un gran mentor durante la realización de este trabajo, el doctorando Armando Moreno, el cual me ha ampliado mis conocimientos en diversas ramas.*

*A Gabriela Bracho, mi tutora, por permitirme realizar este proyecto, y por la confianza depositada.*

*Finalmente, a todas las personas del CMT que han participado de alguna forma en este proyecto, a mi compañero de despacho, Jorge, a los técnicos Jose Enrique y Omar.*

# **Resumen**

*En la actualidad las normativas de emisiones contaminantes son más restrictivas en el sector del transporte, es por ello que cada vez son mayores los avances en tecnologías que permitan cumplir con la regulación. Los sistemas de reducción catalítica selectiva o SCR (Selective Catalytic Reduction) forman parte de estos sistemas de disminución de emisiones en los actuales vehículos.*

*Los sistemas SCR funcionan con una solución de urea en agua, también conocida como UWS (Urea Water Solution) o AdBlue, el cual se mezcla con los gases de escape y consigue reducir en su mayor parte las emisiones de NO<sub>x</sub>.*

*Este Trabajo Final de Grado se centra en un estudio experimental para la caracterización hidráulica de un inyector de urea a partir de su cantidad de movimiento y de la masa inyectada, variando diferentes parámetros como presión y temperatura de refrigeración del inyector. Para tal fin, se ha modificado una instalación experimental que se adapte a las características físicas del sistema de inyección.*

## **Palabras claves:**

*Inyección de urea, cantidad de movimiento, masa inyectada.*

# **Resum**

*En l'actualitat les normatives d'emissions contaminants són més restrictives en el sector del transport, és per això que cada vegada són majors els avanços en tecnologies que permeten complir amb la regulació. Els sistemes de reducció catalítica selectiva o SCR (Selective Catalytic Reduction) formen part d'estos sistemes de disminució d'emissions en els actuals vehicles.*

*Els sistemes SCR funcionen amb una solució d'urea en aigua, també coneguda com UWS (Urea Vâter Solution) o AdBlue, el qual es mescla amb els gasos de fuga i aconseguix reduir majoritàriament les emissions de NOx.*

*Este Treball Final de Grau se centra en un estudi experimental per a la caracterització hidràulica d'un injector d'urea a partir de la seua quantitat de moviment i de la massa injectada, variant diferents paràmetres com a pressió i temperatura de refrigeració de l'injector. Per a tal fi, s'ha modificat una instal·lació experimental que s'adapte a les característiques físiques.*

## **Paraules clau:**

*Injecció d'urea, quantitat de moviment, massa injectada.*

# **Abstract**

*Currently, polluting emissions regulations are more restrictive in the transport sector, therefore, the development of new technologies are increasing. The selective catalytic reduction systems or SCR (Selective Catalytic Reduction) are part of these emission reduction systems in current vehicles.*

*SCR systems work with a solution of urea in water, also known as UWS (Urea Water Solution) or AdBlue, which mixes with exhaust gases and manages to reduce mostly NOX emissions.*

*This Final Grade Work focuses on an experimental study for the hydraulic characterization of a urea injector from its momentum flux and the injected mass, varying different parameters such as pressure and cooling temperature of the injector. For this purpose, an experimental facility has been modified to suit the physical characteristics of the injection system.*

## **Keywords:**

*Urea injection, momentum flux, injected mass.*

# Índice general

MEMORIA.....	11
1. Introducción.....	12
1.1. Antecedentes .....	12
1.2. Objetivos .....	13
1.3. Justificación .....	13
1.4. Estructura del trabajo .....	14
2. Marco Teórico.....	15
2.1. Emisiones contaminantes.....	15
2.2. Reducción de emisiones en los MEC .....	17
2.3. Óxidos de nitrógeno.....	21
2.4. Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) .....	23
2.5. Normativas de control de emisiones.....	26
2.6. Componentes del sistema de inyección de urea .....	27
2.7. Cantidad de movimiento.....	29
2.8. Tasa de inyección.....	31
3. Medidas Experimentales .....	33
3.1. Medición de Masa inyectada.....	33
3.1.1. Montaje experimental .....	33
3.1.2. Plan de ensayos.....	39
3.2. Medición de Cantidad de Movimiento .....	40
3.2.1. Montaje experimental .....	40
3.2.2. Plan de Ensayos.....	45
4. Análisis de resultados.....	47
4.1. Resultados de masa de inyección .....	47
4.1.1. Influencia de la temperatura.....	47
4.1.2. Influencia de la Presión de inyección.....	48
4.1.3. Influencia tiempo energización inyector .....	49

4.2.	Resultados de Cantidad de Movimiento .....	50
4.2.1.	Influencia de la Distancia .....	51
4.2.2.	Influencia de la temperatura.....	52
4.2.3.	Influencia de la Presión de inyección.....	54
4.2.4.	Influencia del Fluido .....	55
4.3.	Resultados de Tasa de inyección.....	57
5.	Conclusiones .....	59
5.1.	Conclusiones.....	59
5.2.	Trabajos futuros .....	60
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>62</b>
	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>64</b>
6.	Presupuesto.....	65
6.1.	Introducción .....	65
6.2.	Cálculo de costes .....	65
6.2.1.	Mano de obra.....	65
6.2.2.	Materiales.....	66
6.2.3.	Elementos fungibles .....	66
6.2.4.	Amortizaciones.....	67
6.2.5.	Herramientas informáticas .....	67
6.3.	Resumen presupuesto .....	68
	<b>PLANOS.....</b>	<b>69</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1. Edificio 6D, ubicación CMT .....	12
Figura 2.1. Fases de combustión en MEC .....	15
Figura 2.2. Proporción de Emisiones Contaminantes en Motor Diesel [1] .....	16
Figura 2.3. Estructura interna de un catalizador .....	18
Figura 2.4. Catalizador de oxidación [2] .....	19
Figura 2.5. Catalizador Reducción-Oxidación [3] .....	19
Figura 2.6. Catalizador de tres vías [4] .....	20
Figura 2.7. Esquema sistema SCR .....	23
Figura 2.8. Reacciones a llevar a cabo en un sistema SCR. ....	24
Figura 2.9. Sistema e inyección de Urea [8].....	24
Figura 2.10. Reducción de emisiones .....	26
Figura 2.11. Esquema de sistema de inyección de urea asistido por aire [11]. ....	28
Figura 2.12. Esquema inyector de urea con orientación axial al flujo [12]. ....	28
Figura 2.13. Flujo en la sección de salida de un orificio de inyección.....	29
Figura 2.14. Principio de medida del fCdM de un chorro. ....	30
Figura 3.1. Montaje para medición de masa [15]. ....	33
Figura 3.2. Esquema instalación para medición de masa. ....	34
Figura 3.3. Termorregulador .....	34
Figura 3.4. Depósito de Urea y manómetro .....	35
Figura 3.5. Instalación de aire a presión.....	35
Figura 3.6. Balanza Radwag PS600R2.....	36
Figura 3.7. Genotec.....	37
Figura 3.8. Inyectores de Urea adquiridos.....	37
Figura 3.9. Generador de señal.....	38
Figura 3.10. Esquema general de la maqueta de fCdM. ....	40
Figura 3.11. Esquema del sistema de medida de fCdM. ....	41
Figura 3.12. Diferencia de disposición de un sensor en la maqueta.....	41
Figura 3.13. Esquema del sensor de presión y diana.....	42
Figura 3.14. Dimensiones e imagen del sensor Kistler 7031. ....	42
Figura 3.15. Cámara de inyección .....	43
Figura 3.16. Acople e inyector. ....	43
Figura 3.17. Acople para inyector .....	44
Figura 3.18. Yokogawa DL 70 8E. ....	44
Figura 3.19. Amplificador de señal.....	45
Figura 4.1. Influencia de la temperatura en la masa inyectada. ....	47
Figura 4.2. Influencia de la presión en la masa inyectada .....	48
Figura 4.3. Masa inyectada en función de tiempo de energización y presión de inyección.....	49
Figura 4.4. Masa inyectada en función de tiempo de energización y temperatura inyector. ....	49

Figura 4.5. Muestra selección de la media del fCdM a partir de la zona estabilizada. ....	50
Figura 4.6. Señal de fCdM promediada en función de la distancia .....	51
Figura 4.7. Media de cantidad de movimiento en función de la distancia y presión de inyección. .....	52
Figura 4.8. Media de cantidad de movimiento en función de la distancia y temperatura del inyector.....	52
Figura 4.9. Señal de fCdM promediada en función de la temperatura.....	52
.....	53
Figura 4.10. Media de la señal de fCdM promediada en función de la temperatura .....	53
Figura 4.11. Señal de fCdM promediada en función de la presión.....	54
Figura 4.12. Media de la señal de fCdM promediada en función de la presión .....	54
Figura 4.13. Señal de fCdM promediada en función del fluido. ....	55
Figura 4.14. Media de la señal de fCdM promediada en función del fluido.....	56
Figura 4.15. Comparación ecuaciones (17 y 20) para la obtención de la tasa de inyección. ....	57
Figura 4.16. Tasa de inyección bajo influencia de la presión. ....	57
Figura 4.17. Tasa de inyección bajo influencia de la presión. ....	58

# **Índice de tablas**

Tabla 2-1. Límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea (g/km).....	27
Tabla3-1. Plan de ensayos para la masa inyectada .....	39
Tabla 3-2. Características sensor Kistler 7031.....	42
Tabla 3-3. Canales de inserción de datos. ....	44
Tabla 3-4. Plan de ensayos para la medida de cantidad de movimiento.....	46
Tabla 4-1. Densidades fluidos.....	55
Tabla 6-1. Costes mano de obra. ....	65
Tabla 6-2. Costes materiales adquiridos. ....	66
Tabla 6-3. Costes consumo eléctrico.....	66
Tabla 6-4. Costes elementos fungibles.....	66
Tabla 6-5. Costes amortizaciones equipos.....	67
Tabla 6-6. Costes programas informáticos. ....	67
Tabla 6-7. Presupuesto total. ....	68

***PARTE I***  
***MEMORIA***

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

El presente Trabajo Final de Grado ha sido desarrollado en el Centro de Motores Térmicos (CMT), este es un centro de investigación y educación dedicados al desarrollo de los futuros motores de combustión y asociado al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos (DMMT). En este centro, con sus 40 años de historia, ha realizado múltiples estudios para la optimización del funcionamiento del motor tanto con estudios experimentales como a través de cálculo teórico. Estas investigaciones están centradas en empresas tanto a nivel nacional como internacional, empresas privadas como Nissan, Jaguar, Land Rover, PSA, Toyota, Ford, entre otras. También cuenta con investigaciones para entidades públicas como Renfe o EMT de Valencia.

La estructura interna de investigación del CMT, está dividida en diferentes ámbitos de investigación, los cuales siguen dos objetivos elevar el nivel de conocimiento y eficiencia energética. En esta estructura ese encuentran los departamentos: renovación de la carga, inyección, combustión, técnicas experimentales, ruido y mantenimiento.



*Figura 1.1. Edificio 6D, ubicación CMT*

Este proyecto ha sido desarrollado dentro la línea de inyección, en el cual se realiza el análisis de distintos fenómenos involucrados en los procesos de inyección, fenómenos como medición de cantidad de movimiento, flujo másico, visualización del chorro, entre otros.

En cuanto el aspecto humano, el CMT cuenta con personal con una larga trayectoria y experiencia en trabajos relacionados con motores de combustión interna.

Respecto a la inyección de Urea, este proyecto es uno de los primeros que abarcan la cantidad de movimiento del flujo y la masa inyectada en el CMT.

Los sistemas SCR (Selective Catalytic Reduction) cada día son más estudiados debido a que actualmente tienen presencia en vehículos ligeros, en el CMT son varios los estudios realizados relacionados con la inyección de Urea. En nuestro lugar toma vital importancia el Trabajo Final de Grado de Jose Pérez Rodrigo (2018), en este se estudia la masa inyectada de Urea a diferentes condiciones de trabajo. El presente proyecto también abarca el estudio del flujo de cantidad de movimiento de Urea, este es la primera vez que se realiza en el CMT.

## **1.2. Objetivos**

La caracterización hidráulica consiste en realizar medidas experimentales de cantidad de movimiento del chorro de urea y medidas de la masa total inyectada:

- **Realizar montaje experimental.** En este proyecto se exponen todos los elementos necesarios para tener una instalación eficiente para la medida del flujo de cantidad de movimiento y la masa inyectada de Urea.
- **Medir la masa inyectada.** Para la medida experimental de la masa inyectada se analizarán la influencia de varias condiciones de presión de inyección y temperatura de refrigeración del inyector y tiempo de energización de la bobina del inyector.
- **Medir el flujo de cantidad de movimiento.** Los experimentos de cantidad de movimiento del chorro de urea se efectuarán a las mismas condiciones de operación que las medidas de masa inyectada
- **Calcular la tasa de inyección.** Con los resultados obtenidos tras las medidas del flujo de cantidad de movimiento, se obtendrá la tasa de inyección de los inyectores ensayados.

## **1.3. Justificación**

Con el desarrollo de nuevas normas Euro cada vez más restrictivas contra las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), ha hecho que multitud de marcas comerciales desarrollen soluciones para cumplir dichas normas.

Los sistemas SCR tienen su origen en los años 70, en plantas de producción energética, después se incorporó a los vehículos pesados, para llegar finalmente a los vehículos ligeros y turismos. Estos últimos cuentan con espacio limitado, por lo que son muchas las investigaciones en las cuales se buscan la máxima eficiencia en el sistema SCR.

En este trabajo se busca entender el funcionamiento del sistema de inyección de urea, por lo que se somete al inyector a varias condiciones de trabajo, estas variaciones de funcionamiento servirán para conseguir una inyección óptima en los gases de escape, reduciendo al mínimo las emisiones de NO<sub>x</sub>.

## **1.4. Estructura del trabajo**

Este trabajo consta de tres documentos principales, estos son:

- Memoria
- Presupuesto
- Anexo I. Planos

La memoria es el documento más extenso, este se divide en los siguientes apartados:

- **Marco teórico.** Se introducen diferentes características, como son las emisiones contaminantes de un motor Diesel, técnicas existentes para su reducción o eliminación, evolución de normativa Euro y características de la inyección de Urea.
- **Medidas experimentales.** En este apartado se abarca el montaje experimental y plan de ensayos realizados tanto como para masa inyectado, como para el flujo de cantidad de movimiento.
- **Resultados.** Aquí se procede al análisis de los resultados obtenidos de los planes de ensayo realizado y el posterior cálculo de la tasa de inyección a partir de la cantidad de movimiento y masa inyectada.
- **Conclusiones.** Finalmente se detallan los resultados finales y las posibles mejoras de cara a trabajos futuros.

Seguidamente se encuentran los documentos principales, presupuesto, en el cual se detallan los diferentes aspectos que forman el proyecto y planos donde se adjuntan las nuevas piezas diseñadas.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Emisiones contaminantes

Dentro de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) se pueden diferenciar dos tipos diferentes, la principal diferencia es el tipo de encendido del combustible e inicio de combustión de estos.

Por un lado, están los motores de encendido provocado (MEP), la combustión se realiza casi al final de la carrera de compresión provocada por la chispa o chispas de un conjunto de bujías, por otro lado, se tienen los motores de encendido por compresión (MEC), en los cuales la combustión se realiza mediante un autoencendido provocado por las condiciones de presión y temperatura presentes en el cilindro.

A diferencia de los MEP, en los MEC la combustión se realiza en un entorno altamente heterogéneo.

En la combustión de los MEC, se diferencian tres fases:

- **1ª Fase: Tiempo de retraso (ángulo de retraso)**

Tiempo entre el inicio de inyección y el comienzo de la combustión, el tiempo de retraso depende principalmente de la composición del combustible, de la temperatura y presión presente en el cilindro.

- **2ª Fase: Combustión premezclada**

Autoencendido del combustible vaporizado y mezclado con aire en la fase anterior, produciéndose un gradiente brusco de presión y temperatura, en esta fase existe una cantidad importante de combustible quemado.

- **3ª Fase: Combustión por difusión**

En esta fase existe una combustión progresiva controlada por la tasa de inyección, por la evaporación del combustible y la mezcla de aire

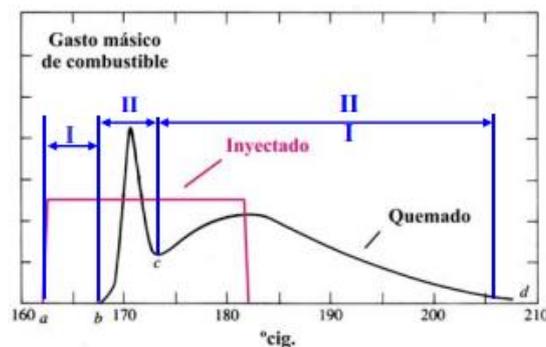


Figura 2.1. Fases de combustión en MEC

En la figura 2.1 se puede apreciar las fases antes mencionadas según el ángulo del cigüeñal.

Como anteriormente se ha citado un motor MEC trabaja con mezclas heterogéneas, lo que supone un dosado relativo pobre ( $Fr < 1$ ), esto causa que tenga más emisiones contaminantes que un MEP. Los principales agentes contaminantes presentes son:

- **Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**, estos se forman debido al nitrógeno presente en el aire sobrante tras la combustión y que junto a las altas temperaturas de esta se oxidan, este agente contaminante será analizado con más profundidad.
- **Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>)**, el azufre es un componente químico presente en el combustible, actualmente muy restringido y controlado, tras la combustión se forman SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>.
- **Monóxido de Carbono (CO)**, las causas de presencia de este son; primero por la presencia de zonas con dosados locales muy pobres en la cual no existe una combustión rápida y segundo en zonas en las cuales hay un dosado rico y no se realiza una oxidación completa.
- **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**, emisión inevitable tras la combustión, aunque no resulta nocivo para la salud, este cada vez está siendo más regulado.
- **Hidrocarburos inquemados (HC)**, se debe a la combustión incompleta, al apagado de llama en las paredes (en los arranques o a baja carga), zonas con mezclas demasiado pobres, fugas de escape, etc.
- **Partículas (PM)**, tanto sólidas como líquidas, son debidas a las impurezas del combustible, cenizas, restos de aceite y a mecanismos de oxidación posterior.

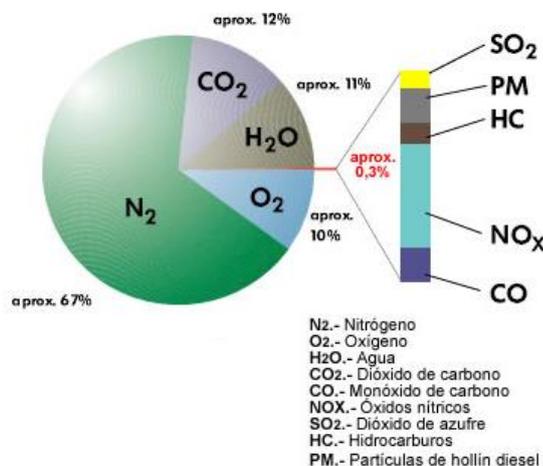


Figura 2.2. Proporción de Emisiones Contaminantes en Motor Diesel [1]

Como se observa en la Figura 2.2 la emisión contaminante con mayor proporción son los óxidos de nitrógeno, esto es debido que al trabajar con un dosado pobre, existe un exceso de aire tras la combustión y debido a las altas temperaturas se oxida el nitrógeno presente en este.

## **2.2. Reducción de emisiones en los MEC**

A lo largo de la historia se han desarrollado normativas para combatir las emisiones de contaminantes, por tanto, esto ha llevado a buscar soluciones, que se clasifican en:

- 1. Soluciones activas**, actúan con la finalidad de evitar la formación de sustancias contaminantes, optimizando los procesos del ciclo de funcionamiento y el uso de combustibles de buena calidad [4].

Las principales técnicas activas son:

### ➤ **Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)**

El sistema EGR (Exhaust Gas Recirculation), consiste en recircular los gases de escape hacia la cámara de combustión a través de la admisión. Este sistema es una buena opción para reducir los óxidos de nitrógeno ya que disminuye la temperatura de llama gracias a la introducción de elementos inertes (cenizas).

### ➤ **Inyección piloto**

La inyección piloto consiste en una preinyección realizada antes de la inyección principal con la finalidad de aumentar la temperatura de la cámara de combustión y reducir el tiempo de combustión disminuyendo las emisiones de NO<sub>x</sub>.

### ➤ **Cámara de combustión**

Este elemento es de vital importancia ya que se trata de la residencia de la combustión por lo tanto la geometría de este es importante para combatir los contaminantes, una geometría que favorezca la turbulencia y la mezcla de aire-combustible.

### ➤ **Sistema de inyección de combustible**

La inyección es un elemento importante, ya que, consiguiendo una buena combustión, se mejora el rendimiento y se reduce la cantidad de contaminantes tras la combustión. Se actúa sobre la inyección en parámetros como presión, tiempo de inicio y final de la inyección, consiguiendo una pulverización mejor y por consiguiente una mejor combustión.

### ➤ **Combustión a baja temperatura (LTC y PCCI)**

La combustión a baja temperatura o LTC (Low Temperature Combustion) basa su funcionamiento en grandes porcentajes de EGR para mantener la temperatura por debajo de la formación de NO<sub>x</sub>.

Por otro lado, se tienen los sistemas de encendido por compresión de carga premezclada (PCCI) con la que se busca incrementar el tiempo de retraso inyectando a bajas temperaturas, evitando llegar a temperaturas de formación de  $\text{NO}_x$ .

➤ **Limitador de humos**

La finalidad de este es controlar la dosificación del combustible de tal forma que los humos negros se encuentren dentro de los límites establecidos por la ley.

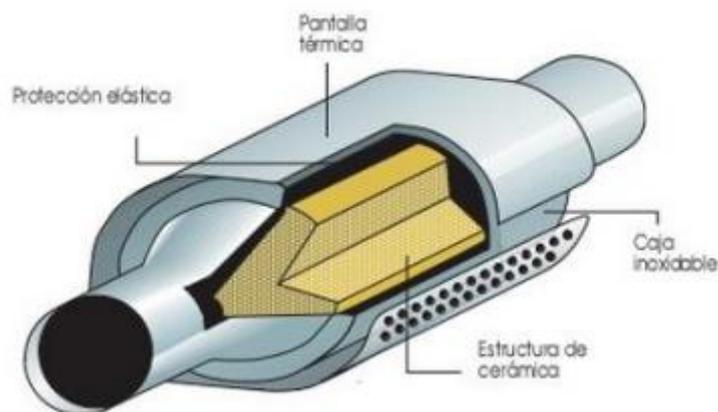
- 2. Soluciones pasivas**, actúan para eliminar las sustancias contaminantes producidas en la combustión mediante sistemas de retención de vapores en cárter y catalizadores, reactores térmicos y trampas de partículas.

Las técnicas pasivas complementan a las activas, ya que estas últimas a pesar de ser muy eficientes siguen existiendo emisiones a la atmosfera, lo que obliga a un postratamiento para eliminar esas emisiones.

Existen varios sistemas para evitar esas emisiones, según su funcionamiento existen las siguientes técnicas:

➤ **Reactores catalíticos**

Se emplean desde el origen de la normativa de reducción de emisiones contaminantes. El principio de funcionamiento de un catalizador está basado en la conversión química a través de un proceso catalítico de los elementos contaminantes a componentes no dañinos para la atmosfera. En la figura 2.3 se aprecia la estructura de un catalizador, como elementos catalizadores se usan diversos metales (Rodio [Rh], Platino [Pt] o Paladio [Pd]).



*Figura 2.3. Estructura interna de un catalizador.*

Existen diversos catalizadores, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

o **Oxidación o catalizador de dos vías**

Su uso es la reducción de emisiones de CO, HC y en ocasiones partículas. El elemento activo es el oxígeno. El funcionamiento de este se puede apreciar en la figura 2.4.

No es muy útil en la reducción de NO<sub>x</sub> en mezclas pobres. Es una tecnología actualmente muy utilizada, con un coste moderado y que no requiere mantenimiento.

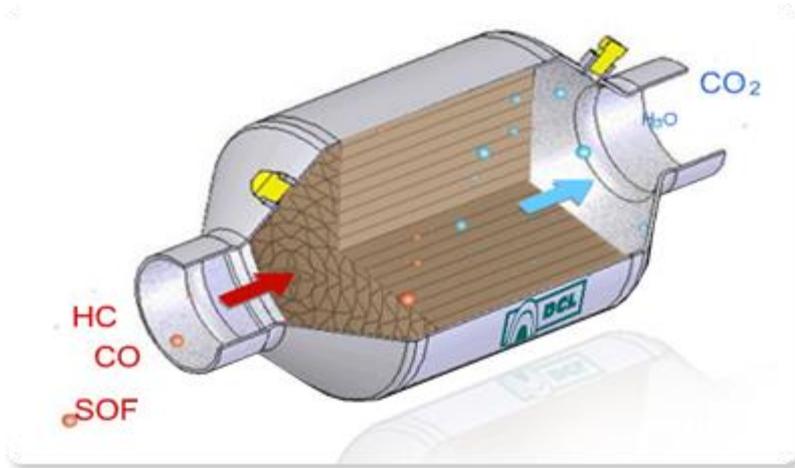


Figura 2.4. Catalizador de oxidación [2]

o **Reducción**

Su uso consiste en la reducción de NO<sub>x</sub> en mezclas ricas sin presencia de oxígeno, si existen elementos reductores como CO y HC. En la figura 2.5 se percibe la estructura de los dos tipos de catalizadores mencionados

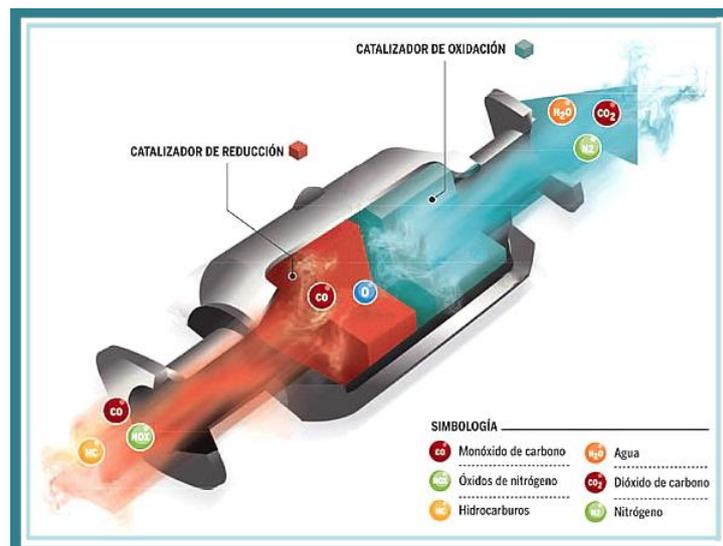


Figura 2.5. Catalizador Reducción-Oxidación [3]

### o Catalizador de tres vías

Este puede comportarse como los dos antes mencionados, depende de la cantidad de oxígeno presente en el escape, es decir, depende del dosado de la mezcla. Funciona con un dosado estequiométrico, por lo que es incompatible con los motores Diésel. El esquema de este sistema se puede apreciar en la figura 2.6.

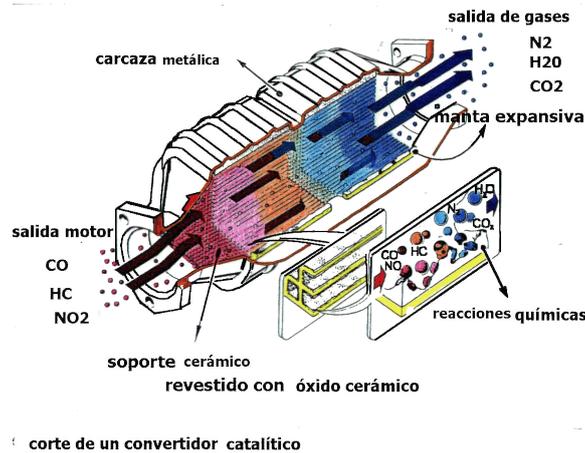


Figura 2.6. Catalizador de tres vías [4]

#### ➤ Reactores térmicos

Esta técnica es usada para oxidar las emisiones de monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) generados tras la combustión, produciendo elementos inertes (CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>O) en el escape. Es una técnica muy cara y poco útil ya que no soluciona las emisiones de NO<sub>x</sub>.

#### ➤ Reactores químicos

Disminuye las emisiones de elementos contaminantes mediante reacciones químicas. El más común es el sistema de reducción catalítica selectiva o SCR (Selective Catalytic Reduction) para disminuir los NO<sub>x</sub>.

#### ➤ Filtros físicos o de partículas

La finalidad del filtro de partículas o DPF (Diesel Particulate Filter) es retener mediante sus paredes porosas, la gran parte de partículas sólidas como hollín, hidrocarburos y cenizas. Los más comunes suelen ser los filtros de partículas sin aditivo, estos aprovechan la temperatura de los gases de escape para la combustión de las partículas generadas. La estructura más habitual es la de tipo Wall Flow consiste en un monolito cerámico, con baño catalizador, con canales largos y estrechos, abierto en un extremo y cerrado por otro. Los gases de escape se ven forzados a salir pasando por las paredes del filtro, donde las partículas quedan atrapadas [5].

### ➤ Filtros químicos

Su interior es similar a los catalizadores antes mencionados. Estos hacen reaccionar un gas contaminante con los elementos presentes en el sustrato del catalizador, reteniéndolos en su interior, el uso más frecuente es la reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> en mezclas pobres.

## 2.3. Óxidos de nitrógeno

Cuando se habla de óxidos de nitrógeno, se refiere a gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El termino NO<sub>x</sub> se refiere a la combinación de ambas.

El óxido de nítrico es el principal contaminante de los NO<sub>x</sub>, y se forma tras una combustión realizada a altas temperaturas.

Existen muchos efectos sobre la salud humana y el medio ambiente debido a los NO<sub>x</sub>, entre los principales efectos se encuentra:

- Es una sustancia corrosiva para la piel y el aparato respiratorio, provocando en este último caso problemas respiratorios
- Se trata de una sustancia que tiene una trascendencia en la formación del "smog fotoquímico", ya que con la combinación de otros contaminantes atmosféricos influye en la capa de ozono
- El NO<sub>2</sub> se forma a partir de la oxidación del óxido nítrico (NO), una vez presente en la atmosfera tiene una oxidación rápida formando nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o ácido nítrico (NO<sub>3</sub>), siendo este último el causante del fenómeno de lluvia ácida.

Este se puede formar de tres mecanismos distintos, térmico [6], súbito o por el N<sub>2</sub>O intermedio.

Debido a las altas temperaturas el primer mecanismo suele ser el más habitual en la formación de NO, este se genera al oxidarse el nitrógeno del aire sobrante tras la combustión, la formación de este sigue la reacción:

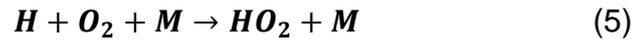


El dióxido de nitrógeno no es el tipo de NO<sub>x</sub> mayoritario tras la combustión de un motor Diésel, puede formar un 10% hasta un 30% de los NO<sub>x</sub> generados, a pesar

de esto tiene mucha importancia, ya que tiene un gran potencial contaminante. Este se forma cuando el NO procedente de zonas de alta temperatura reacciona con moléculas de HO<sub>2</sub>.



El HO<sub>2</sub> se forma en regiones con temperaturas más bajas, de la forma:



Existen un par de reacciones que son activas a altas temperaturas y provocan la eliminación del NO<sub>2</sub>.



La formación de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es inversamente proporcional a la temperatura, ya que el HO<sub>2</sub> se elimina mediante reacciones a altas temperaturas por eso en motores de combustión el NO<sub>2</sub> solo aparece como especie intermedia transitoria en los equipos de combustión y su emisión sería causa de algún tipo de enfriamiento que llevaría a la congelación de las reacciones de destrucción de NO<sub>2</sub>. Otros autores definen la siguiente reacción de formación en la zona de combustión:



Esta reacción se produce como consecuencia del enfriamiento del gas quemado en las paredes de la cámara de combustión.

## 2.4. Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR)

Los sistemas de reducción catalítica o SCR (Selective Catalytic Reduction) forman parte de los sistemas de postratamientos como un reactor químico. Su función es reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en el escape incluso en presencia de oxígeno.

Los sistemas SCR, fueron la principal tecnología adoptada para satisfacer los requisitos de la normativa de emisiones de óxidos de nitrógeno en motores diésel. Se comenzaron a usar en la década de 1980 en motores estacionarios y marinos, donde se inyectaba directamente amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) sin diluir [7].

Con una normativa de emisiones cada vez más restrictiva, estos sistemas se han extendido a su uso en vehículos. Debido a que la manipulación de amoníaco resulta peligrosa, actualmente se usa una dilución de urea al 32,5% en agua (Aus32), comercialmente conocida como AdBlue. Esta dilución se trata de un compuesto no tóxico, pero si con cierta capacidad corrosiva, biodegradable y bajo coste.

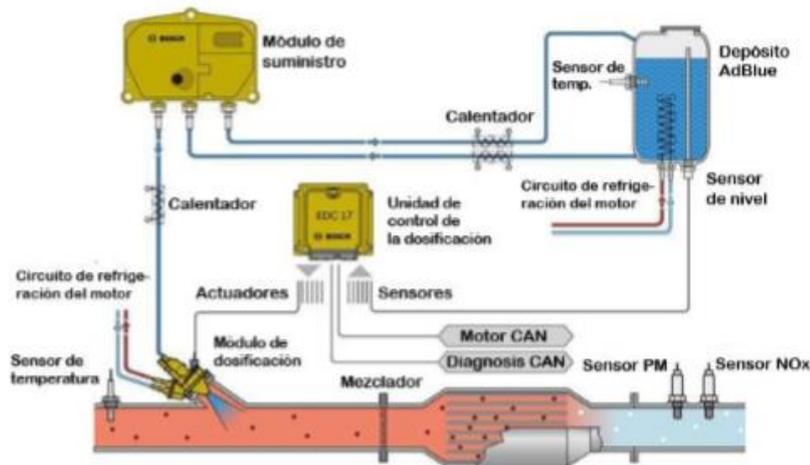


Figura 2.7. Esquema sistema SCR.

En la figura 2.7 se muestra el esquema de funcionamiento del sistema SCR. Como se ha mencionado antes la finalidad es reducir los  $\text{NO}_x$  emitidos tras la combustión y conseguir inofensivo  $\text{N}_2$  mediante una reducción catalítica selectiva con amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) como agente reductor. El amoníaco es adecuado para reaccionar con los  $\text{NO}_x$  en presencia de un catalizador en condiciones de baja temperatura ( $T < 200^\circ\text{C}$ ) de los gases de escape típicas de un motor Diésel. Se produce por las sucesivas termólisis e hidrólisis de solución de agua y urea.

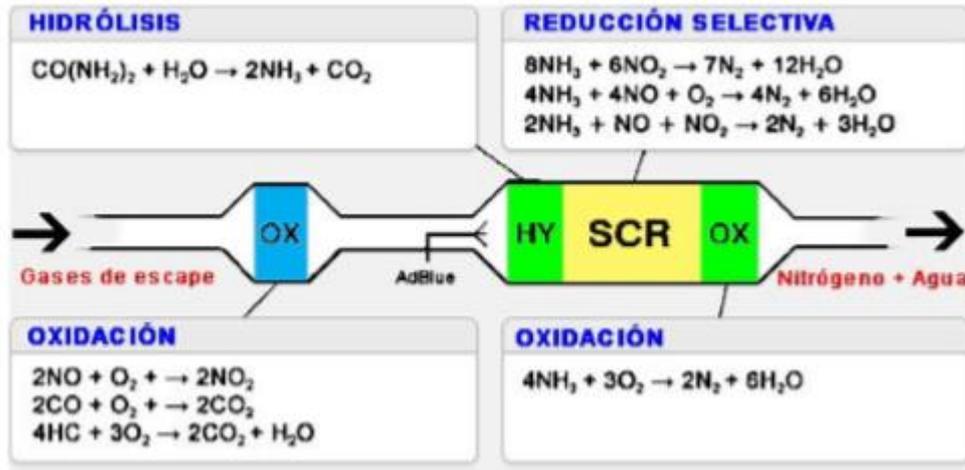
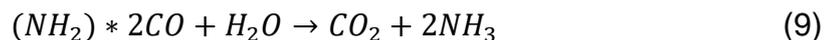


Figura 2.8. Reacciones a llevar a cabo en un sistema SCR.

Los procesos a llevar a cabo en un sistema SCR son los que se aprecia en la figura 2.8 y sigue el siguiente orden:

**1º. Catalizador de oxidación,** el fin de este es reducir la concentración de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), además de transformar el NO en NO<sub>2</sub>, ya que el amoníaco reacciona de forma más eficiente con el segundo, seguidamente se encuentra el inyector de Urea. Este inyector debe de inyectar la cantidad exacta para que la reacción sea estequiométrica, esto será controlado por la unidad de control.

**2º. Catalizador de hidrólisis de urea,** donde tiene lugar la siguiente reacción:



**3º. Catalizador SCR,** está formado por una mezcla de óxidos de vanadio y de titanio en un substrato cerámico, en este catalizador se lleva a cabo la reducción de NO<sub>x</sub>, ya que es donde estos reaccionan con el amoníaco inyectado.

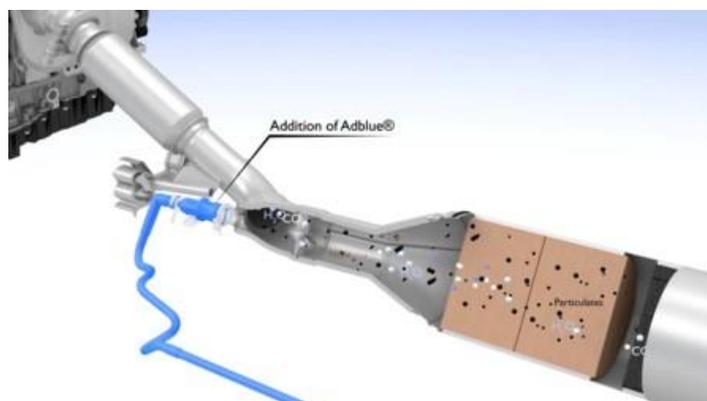


Figura 2.9. Sistema e inyección de Urea [8]

En la figura 2.9 se muestra el esquema en el cual es inyectada la urea en un sistema SCR.

**4º. Catalizador de limpieza (de oxidación)**, ayuda a eliminar el exceso de  $\text{NH}_3$  y evita su vertido a la atmósfera.

Los sistemas SCR tienen una serie de ventajas e inconvenientes, entre las ventajas se encuentran que se trata de un sistema postratamiento con una efectividad de conversión muy elevada (>80%), además presenta una gran estabilidad térmica, lo que le permite funcionar en casi cualquier punto de funcionamiento del motor. También cuenta con un coste reducido comparado con otros sistemas postratamiento, en cuanto a potencia consumida por este es despreciable comparada con otros sistemas auxiliares. Por último, cabe destacar que es un sistema complementario al EGR, lo que permite mejorar la eficiencia en la combustión, ahorrando combustible.

Dentro de los inconvenientes cabe destacar varios aspectos, el primero es la necesidad de utilizar un aditivo cosa que no es necesaria en otros sistemas (2-4% del consumo de combustible). Otro inconveniente es el coste inicial del sistema, ya que este cuenta con muchos elementos (depósito de urea, red de distribución, sistema de dosificación, etc.) También suponiendo un inconveniente de espacio ya que se trata de la instalación en vehículos ligeros y turismos. También cabe destacar la formación de  $\text{CO}_2$  tras la hidrólisis de la solución de urea. Y por último la necesidad de alta temperatura (200-500°C) para realizar las reacciones de forma óptima, por lo que en los instantes iniciales de funcionamiento no se reducen los  $\text{NO}_x$ .

Hoy en día los turismos y vehículos ligeros presentan un sistema SCR con un consumo medio de UWS (Urea Water Solution) de 1.5l/1000km con una autonomía de 20000km.

## 2.5. Normativas de control de emisiones

Los efectos de los gases de escape de los vehículos se estudian desde hace más de 40 años ya que son perjudiciales para la salud y para el medio ambiente. En los países más desarrollados existen regulaciones que definen y limitan esos gases para reducir sus efectos nocivos [9].

A finales de la década de los 80's, el parlamento de la Unión Europea comienza a responder a las emisiones contaminantes. Se crearon unas normas, llamadas normas Euro, están afectaba tanto a vehículos ligeros como pesados y la finalidad era reducir las emisiones contaminantes de estos. Dichas emisiones abarcan tanto CO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub> o las partículas.

Las normativas exigen a fabricantes el desarrollo de nuevas técnicas y medidas para prevenir la formación y emisión de contaminantes, ya sea de forma activa o pasiva.

Esta normativa tuvo origen con la creación de la Euro 0 (1988), a lo largo de la historia se han desarrollado distintas normas; Euro 1 (1992), Euro 2 (1996), Euro 3 (2000), Euro 4 (2005), Euro 5 (2009) y la vigente Euro 6 (2018).

Conforme se desarrollaban estas normativas, cada vez eran más estrictas tanto para vehículos Diesel como gasolina. A continuación, se ve cómo han evolucionado estas normativas a lo largo de la historia.

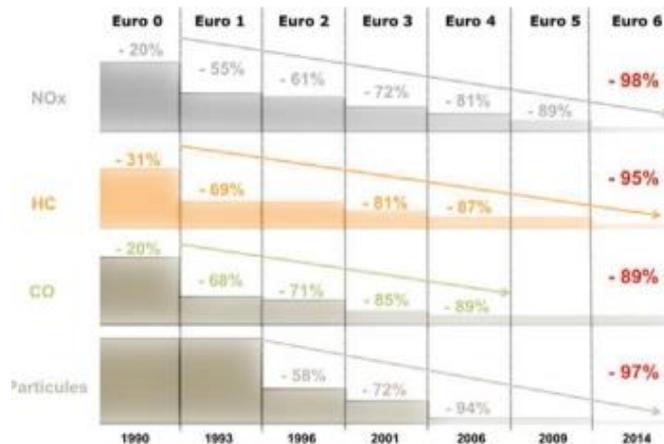


Figura 2.10. Reducción de emisiones

La creación de tecnologías cada vez más eficientes ha conseguido eliminar casi en su totalidad las emisiones contaminantes controladas por la normativa Euro como se puede ver en la Figura 2.10.

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*

Tipo	Fecha	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM (ppm)
<b>Diésel</b>						
Euro I	Julio de 1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)
Euro II	Enero de 1996	1,0	-	0,7	-	0,08
Euro III	Enero de 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Euro IV	Enero de 2005	0,50	-	0,30	0,25	0,025
Euro V	Septiembre de 2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005
Euro VI	Septiembre de 2014	0,50	-	0,17	0,08	0,005
<b>Gasolina</b>						
Euro I	Julio de 1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro II	Enero de 1996	2,2	-	0,5	-	-
Euro III	Enero de 2000	2,30	0,20	-	0,15	-
Euro IV	Enero de 2005	1,0	0,10	-	0,08	-
Euro V	Septiembre de 2009	1,0	0,10	-	0,06	0,005 <sup>b</sup>
Euro VI	Septiembre de 2014	1,0	0,10	-	0,06	0,005

*Tabla 2-1. Límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea (g/km)*

## **2.6. Componentes del sistema de inyección de urea**

Con los orígenes de las normativas Euro se desarrollaron nuevas tecnologías entre las que se encuentra el sistema de inyección de urea o SCR. Este tuvo un origen en los vehículos pesados, pero con una normativa cada vez más restrictiva ha hecho que llegue su desarrollo a vehículos ligeros [10].

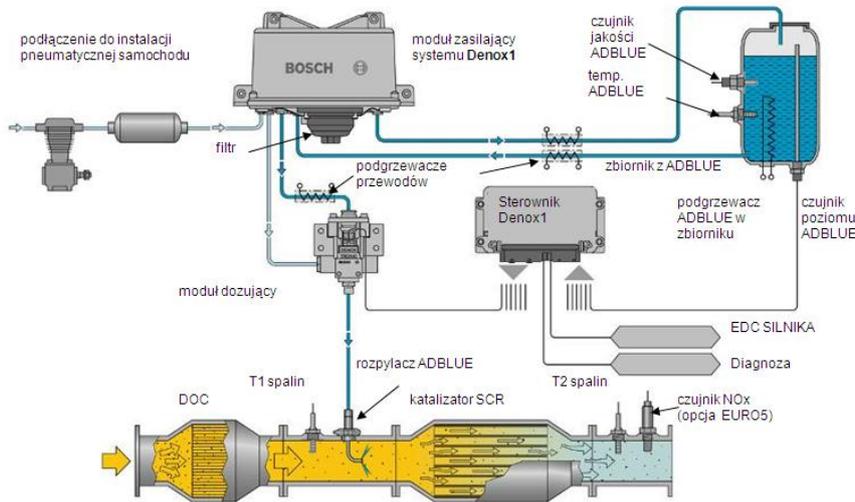
En sus orígenes el sistema SCR fue diseñado de tal manera que pudiera funcionar con aire asistido, el fluido inyectado era una mezcla de aire y urea. Esto era posible ya que podía utilizar el circuito de aire comprimido presente en los vehículos pesados para el proceso de vaporización.

Los elementos presentes en un sistema SCR, son los siguientes:

- **Depósito de Urea.** En este se almacena el líquido, en el se encuentran diversos sensores de nivel y temperatura con el fin de controlarlo y con la finalidad de necesidad de variar la temperatura para evitar su congelación o mejorar su funcionamiento.
- **Módulo de alimentación.** Es el encargado de bombear la urea desde el depósito hasta el módulo de dosificación, esto lo hace a una presión aproximada de 5 bar.
- **Módulo de dosificación.** Este módulo se trata del inyector, está controlado por la unidad de control, que es la cual permite la inyección. En este punto es donde se produce la mezcla aire-gases de escape. La tobera del inyector suele encontrarse dentro del conducto del escape.

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*

- **Sensores de control.** Son los encargados de cuantificar las características de los gases de escape, los niveles de NO<sub>x</sub>, entre otros parámetros, estos una vez procesados, la unidad de control varía las características de inyección.
- **Calderín.** Se trata de un depósito que se encarga de mantener la presión de aire constante durante el funcionamiento.



*Figura 2.11. Esquema de sistema de inyección de urea asistido por aire [11].*

Con la introducción del sistema SCR a los vehículos ligeros y turismos se debía prescindir del aire comprimido (se puede apreciar la estructura de este último en la figura 2.11), debido al poco espacio disponible. Por tanto, se desarrollaron sistemas de inyección “only fluid” o “non-air assisted”, donde el único fluido inyectado es urea.



*Figura 2.12. Esquema inyector de urea con orientación axial al flujo [12].*

En el caso de los vehículos ligeros el inyector de urea suele encontrarse orientado en ángulo con la dirección del flujo o de forma axial a este. En estos casos se encuentran un tubo de escape en forma de Y como en la Figura 2.12. Además, estos inyectores son refrigerados por aire o por el fluido refrigerante del vehículo.

## 2.7. Cantidad de movimiento

La cantidad de movimiento o momento lineal se define como el producto de la masa y la velocidad en un instante determinado. Al estar determinado por una magnitud vectorial (velocidad), la cantidad de movimiento se tratará de una magnitud vectorial.

Se traslada este concepto a un fluido a través de una sección, en la cual se obtiene un flujo de cantidad de movimiento ( $fCdM$ ), este se entiende como el producto del flujo másico y la velocidad [13]. El  $fCdM$  se define a través de la siguiente ecuación:

$$\dot{M} = \int_{A_0} \rho \mathbf{u} (\mathbf{u} * \mathbf{n}) dA \quad (10)$$

Donde  $\dot{M}$  es el  $fCdM$ ,  $\mathbf{u}$  la velocidad y  $dA$  y  $\mathbf{n}$  son el diferencial de área y su vector unitario normal correspondiente.

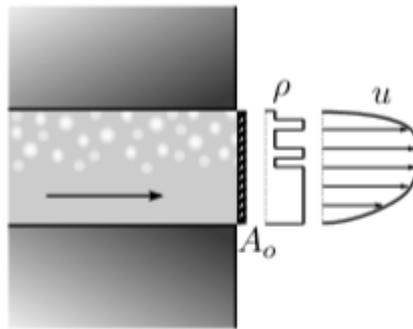


Figura 2.13. Flujo en la sección de salida de un orificio de inyección.

Aplicando la ecuación (10) a la sección de salida del orificio del inyector (figura 2.13), y considerando únicamente la componente axial perpendicular a la superficie de control, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{M} = \int_{A_0} \rho u^2 dA \quad (11)$$

Donde  $A_0$  es el área geométrica,  $u$  es la componente de la velocidad en dirección axial y  $\rho$  es el perfil de densidad

El presente trabajo está basado en la medida del  $fCdM$  total del chorro, esto es mediante el uso de un captador de fuerza lo suficientemente grande como para abarcar todo el ancho del chorro inyectado (figura 2.14), de forma que una vez impacte, este salga totalmente en dirección perpendicular.

El principio de medida de cantidad de movimiento total del chorro de un fluido, en nuestro caso urea, está basado en la colocación de un sensor de fuerza enfrentado al chorro, este sensor es lo suficientemente grande como para abarcar todo el chorro inyectado. Con este sensor se capta la fuerza de impacto del chorro contra

este. Debido a la conservación de la cantidad de movimiento, esta fuerza medida tras el impacto será igual que la cantidad de movimiento a la salida del inyector, esto se puede demostrar fácilmente con la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento.

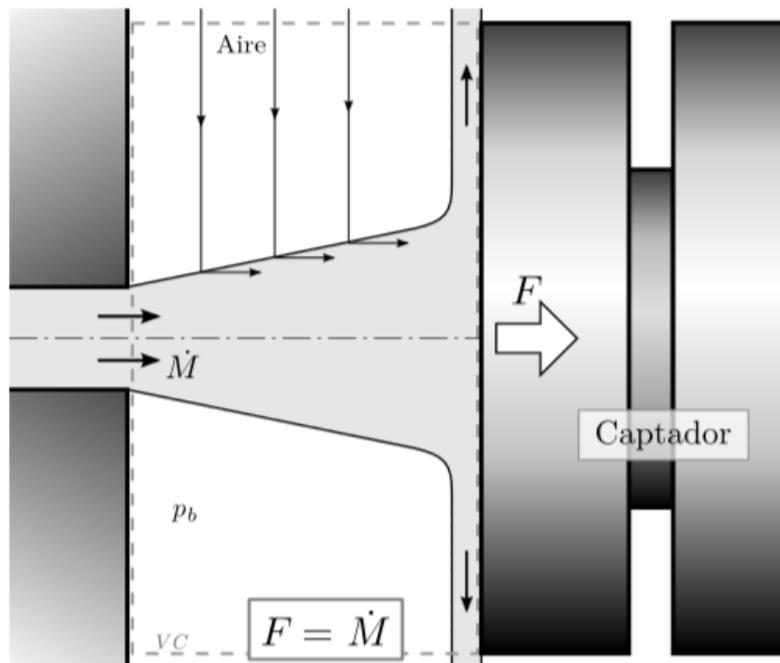


Figura 2.14. Principio de medida del fCdM de un chorro.

Considerando un volumen de control (VC) cilíndrico entre la tobera de inyección y el sensor, la ecuación de conservación de cantidad de movimiento es tal como:

$$\Sigma F_{pres} + \Sigma F_{visc} + \Sigma F_{grav} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{VC} \rho V d\omega + \int_{VC} \rho V (V * n) dA \quad (12)$$

Para resolver la ecuación (4) se deberá hacer las siguientes consideraciones

- Las fuerzas de gravedad actuantes sobre el volumen de control se pueden considerar despreciables en comparación a los otros términos.  $\Sigma F_{grav} = 0$
- La presión presente en la cámara ( $p_b$ ) es uniforme, por tanto, el sumatorio de presiones puede simplificarse como una única fuerza ejercida sobre el sensor.  $\Sigma F_{pres} = F$
- La dirección de entrada del aire al volumen de control y la dirección de salida del combustible desviado por el sensor, son perpendiculares al eje del

chorro, por tanto, perpendicular a la superficie cilíndrica exterior, por lo que los flujos de cantidad de movimiento a través de la superficie exterior serán nulos en la componente axial, esto supone que la fuerza viscosa en esta dirección es nula.  $\Sigma F_{visc} = 0$

Una vez aplicadas estas consideraciones, la ecuación en la componente axial queda:

$$F = \frac{\delta}{\delta t} \int_{VC} \rho V d\omega + \dot{M} \quad (13)$$

Si se considera que es un sistema estacionario, el término de acumulación se anulará y por lo tanto la ecuación (5) queda como:

$$F = \dot{M} \quad (14)$$

## 2.8. Tasa de inyección

Se refiere a tasa de inyección como el gasto másico instantáneo a la salida del orificio de inyección. Este gasto másico a la salida se ve determinado por el perfil de velocidad y la densidad del fluido. El perfil de velocidad es un parámetro difícil de determinar experimentalmente, es posible estimar una velocidad y un área efectiva a partir del flujo. Esta estimación parte de la consideración de un flujo simple (solo se considera dirección axial del flujo), caracterizado por un área efectiva, que esta será inferior al área geométrica, una velocidad y densidad efectiva (igual a la densidad del fluido) uniforme en toda la sección [14].

Basándonos en estas definiciones, se puede definir la tasa de inyección a partir de la cantidad de movimiento, de tal forma:

$$\dot{M} = C_v^2 * C_A * \rho * A_0 * u^2 \quad (15)$$

$$\dot{m} = C_v * C_A * \rho * A_0 * u \quad (16)$$

Siendo  $\dot{M}$  el flujo de cantidad de movimiento,  $\dot{m}$  la tasa de inyección,  $\rho$  la densidad del fluido,  $A_0$  el área efectiva,  $u$  la velocidad del fluido,  $C_v$  el coeficiente de velocidad y  $C_A$  el coeficiente de area, siendo estos dos últimos adimensionales.

Combinando las ecuaciones (15) y (16), se obtiene una expresión en la cual la tasa de inyección depende del flujo de cantidad de movimiento:

$$\dot{m} = \sqrt{C_A * \rho * A_0} * \sqrt{\dot{M}} \quad (17)$$

Si se obtiene el flujo de cantidad de movimiento de forma experimental, es posible obtener la tasa de inyección a partir de la ecuación (17), permitiendo obtener así la masa inyectada en un intervalo de tiempo a partir de la tasa de inyección (18).

$$m_{iny} = \int_0^t \dot{m} dt \quad (18)$$

Esta masa inyectada ( $m_{iny}$ ) a partir de la tasa de inyección puede ser comparada con la masa inyectada experimentalmente ( $m_{exp}$ ), obteniendo un coeficiente K. El valor de este coeficiente debe de ser cercano a la unidad para comprobar que ambos valores de masa inyectada (teórico y experimental) son valores próximos entre sí.

$$\int_0^t \dot{m} dt = K * m_{exp} \quad (19)$$

Por tanto, se puede definir la tasa de inyección de urea (condiciones de baja presión) a partir de las ecuaciones anteriores (17, 18, 19):

$$\dot{m} = K * \frac{m_{exp}}{\int_0^t \sqrt{\dot{M}} dt} * \sqrt{\dot{M}} \quad (20)$$

## 3. Medidas Experimentales

### 3.1. Medición de Masa inyectada

En este apartado se procede al montaje experimental para la medición de la masa inyectada de un inyector de Urea, por tanto, para aclarar el funcionamiento se deben explicar los elementos que forman este sistema.

#### 3.1.1. Montaje experimental

Este montaje experimental permitirá controlar las condiciones de funcionamiento del inyector, en este caso, temperatura del refrigerante, presión de inyección y tiempo de energización de la bobina del inyector.

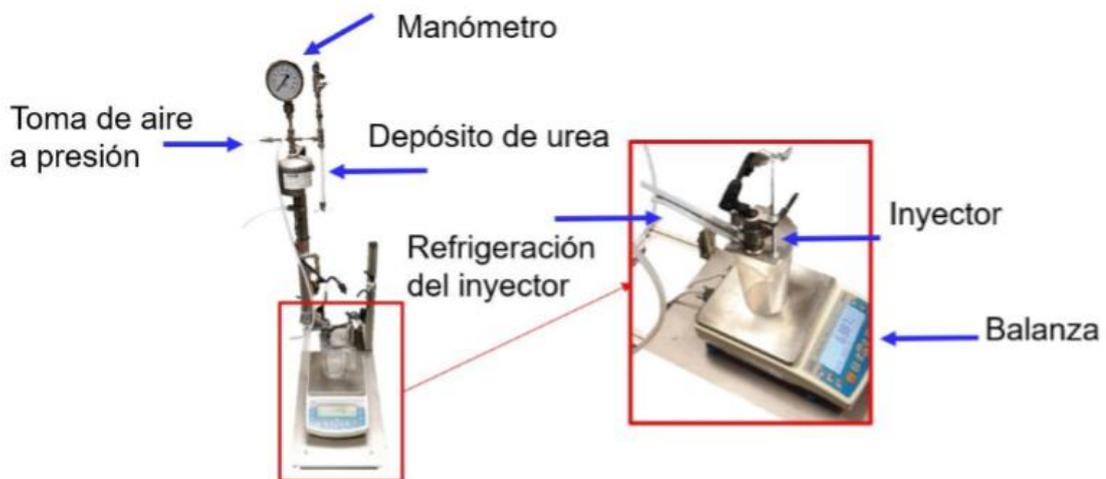
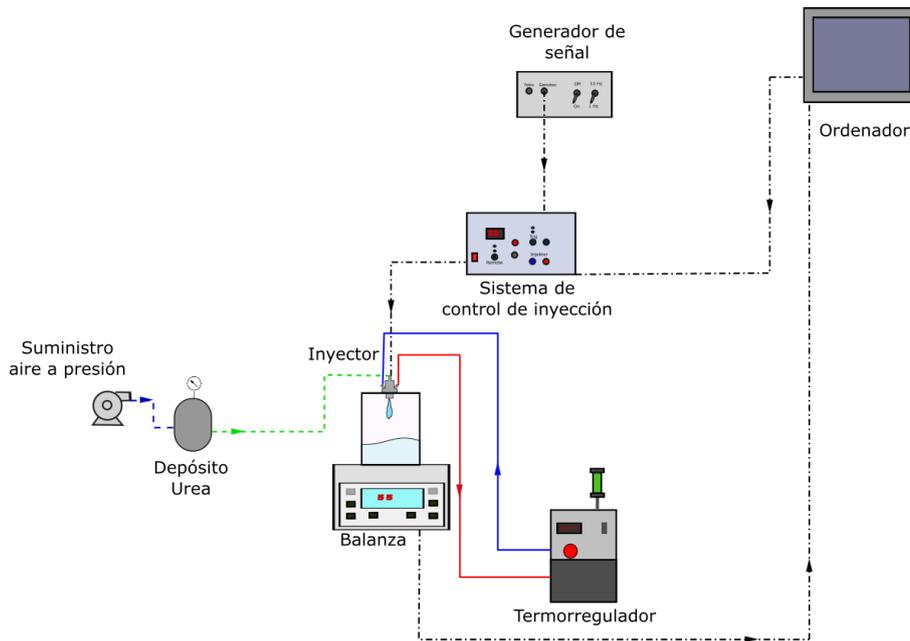


Figura 3.1. Montaje para medición de masa [15].

En la figura 3.1 se aprecia el montaje realizado para medir la masa inyectada en un intervalo de tiempo.

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*

En la Figura 3.2 se puede ver el esquema del montaje, con todos los elementos que forman este:



*Figura 3.2. Esquema instalación para medición de masa.*

### **Termorregulador**

Este será el aparato encargado de mantener la temperatura deseada del fluido que refrigera el inyector (25, 40, 60 y 80°C)

Se utiliza un termorregulador ATR2E 3W (Figura 3.3) ya que es un aparato con rapidez de respuesta. Tiene un intercambiador compacto interno muy eficiente que permita la transferencia de calor al fluido de trabajo rápidamente.



*Figura 3.3. Termorregulador*

### **Depósito, elementos neumáticos e hidráulicos**

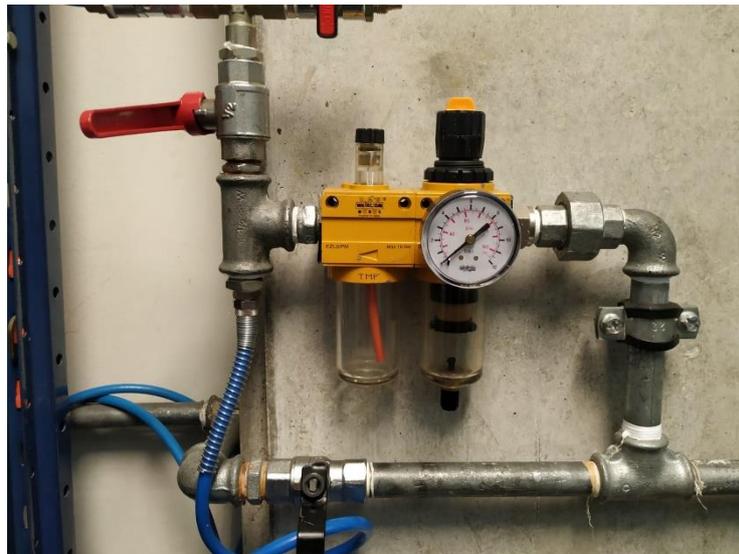
En esta parte se encuentran tres elementos fundamentales para conseguir la inyección de Urea:

- **Depósito de Urea.** Este es el encargado de almacenar la Urea, su capacidad es de 1,5l y puede llegar hasta una presión de 10 bar.
- **Manómetro.** Este manómetro es el encargado de proporcionar la presión presente en el depósito.



*Figura 3.4. Depósito de Urea y manómetro*

- **Instalación de aire a presión.** Esta es la encargada de suministrar la presión necesaria para la inyección, al tratarse de presiones relativamente bajas (4-8 bar), esta se consigue a través de la red de aire a presión del CMT, esta la se puede apreciar en la figura 3.5.



*Figura 3.5. Instalación de aire a presión.*

## **Balanza**

Para determinar la masa inyectada bajo diferentes condiciones de funcionamiento se utiliza una balanza de precisión Radwag PS6000R2 (figura 3.6), ya que esta nos permite obtener medidas inferiores al miligramo.



*Figura 3.6. Balanza Radwag PS6000R2.*

Para poder adquirir y almacenar los datos adquiridos en la balanza, utiliza un programa informático llamado "xbalancin" ya que este es capaz de medir variaciones de masa en la balanza en instante realmente pequeños. El programa "xbalancin" ha sido desarrollado previamente en el CMT.

## **Sistema de control de inyección**

El sistema de control de inyección utilizado es el Genotec (figura 3.7), este se encarga de mandar la señal de intensidad de inyección al inyector, a través del software de ordenador "Magnetinjector V2", donde se introduce el valor de tiempo de energización del inyector ("ET"). Esta señal es enviada al Genotec que se encarga de enviar una señal en amperios hasta la bobina del inyector.



Figura 3.7. Genotec

### **Inyector de Urea**

La estructura del inyector se puede apreciar en la figura 3.8, este elemento es el encargado de realizar la inyección, el cual será sometido a diferentes condiciones de funcionamiento (presión de inyección, temperatura de refrigeración y tiempo de energización de la bobina) para ver como varia la inyección, los dos inyectores utilizados forman parte del módulo de dosado del sistema Denoxtronic 5 de la marca Bosch.

Estos inyectores irán identificados por su respectiva referencia, ya que es el único que se diferencian entre ambos, estos nombres son: Inyector de Urea 230 e Inyector de Urea 716.



Figura 3.8. Inyectores de Urea adquiridos.

### **Generador de señal**

Este se utiliza para generar una onda cuadrada a determinada frecuencia, en el caso de CdM es de 1 Hz. Esta frecuencia de trigger o disparo marca cada cuanto tiempo se envía una señal de impulso al inyector. En la cantidad de movimiento se reduce la frecuencia, ya que lo que se busca es el impacto de fuerza sobre la diana, por lo tanto, se busca que el sistema sea estable alrededor del sensor. El generador de señal utilizado se puede apreciar en la figura 3.9



*Figura 3.9. Generador de señal.*

### 3.1.2. Plan de ensayos

Son tres las características que afectan directamente a la inyección. La primera característica que afecta a la medida de masa inyectada es el tiempo de energización, ya que este controla el tiempo que permanece abierto el inyector, lo que quiere decir, el tiempo de inyección.

Otra característica importante es la presión de inyección. La última característica a tener en cuenta es la temperatura de refrigeración del inyector, ya que este afecta a la densidad de la Urea y por lo tanto a su gasto másico.

Este ensayo será realizado con un fluido, este fluido será AdBlue.

Por tanto, teniendo en cuenta estas características el plan de ensayo sería el siguiente:

AdBlue	25	5000	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	40	500	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	60	5000	4
			6
			8
		7500	4
6			
8			
80	5000	4	
		6	
		8	
	7500	4	
		6	
		8	

Tabla3-1. Plan de ensayos para la masa inyectada

## **3.2. Medición de Cantidad de Movimiento**

### **3.2.1. Montaje experimental**

Como se ha mencionado antes, el montaje para la medida del  $f_{CdM}$  será la medida de impacto del chorro contra un sensor. A continuación, se describe el conjunto de elementos necesarios para medida del  $f_{CdM}$  de un inyector de urea.

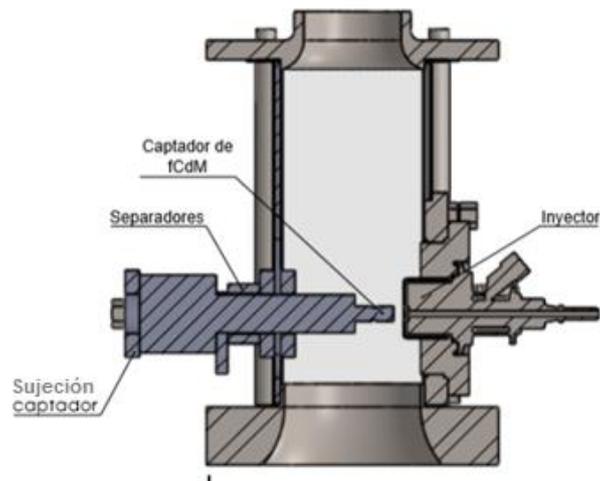
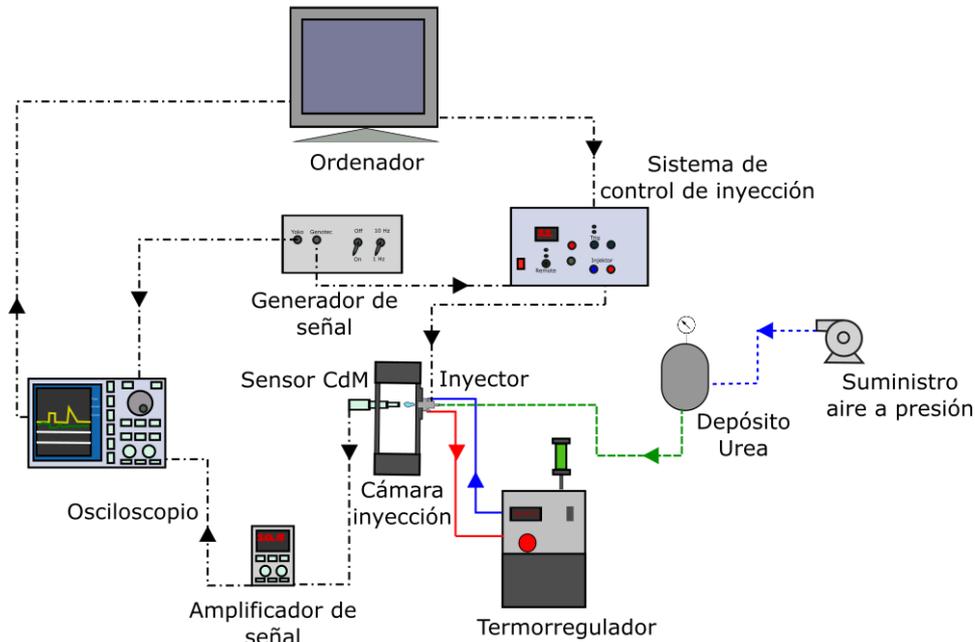


Figura 3.10. Esquema general de la maqueta de  $f_{CdM}$ .

En la Figura 3.10 se aprecia la solución adoptada para el diseño de la maqueta de  $f_{CdM}$ . Esta es una cámara de configuración cuadrada con cuatro ventanas sujetadas por cuatro perfiles metálicos. La finalidad de la maqueta será el correcto posicionamiento del captador respecto al inyector, siendo el primero concéntrico a la salida del segundo. La distancia a la que se encuentre la diana de la salida de inyección será una variable que se tratará en el plan de ensayos. Para medir el  $f_{CdM}$  la cámara se encontrará a presión ambiente, ya que estas son las condiciones que encontramos en el escape de un motor de combustión.

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*

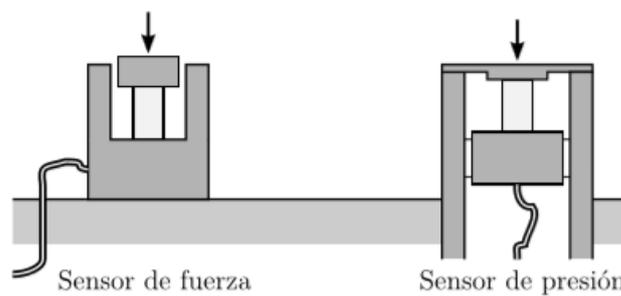


*Figura 3.11. Esquema del sistema de medida de  $fCdM$ .*

En la figura 3.11 se muestra una vista completa de la instalación para la medida del  $fCdM$ , a continuación, se expone la descripción de todos los componentes utilizados:

### ***Captador del flujo de cantidad de movimiento***

Para medir la magnitud física del  $fCdM$  se utiliza un sensor de presión piezoeléctrico, esta es la mejor opción ya que los sensores piezoeléctricos tienen una respuesta dinámica muy buena. Será un sensor de presión ya que este no tiene los elementos sensibles expuestos al exterior, esto no ocurre con un sensor de fuerza. Esta diferencia entre ambos sensores puede apreciarse en la figura 3.12.



*Figura 3.12. Diferencia de disposición de un sensor en la maqueta.*

Además, este sensor tendrá acoplado una diana, esta será de aluminio con un tratamiento de anodizado duro, el cual es ligero y muy resistente. La forma en la cual va adherida la diana al sensor se observa en la figura 3.13.

Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada

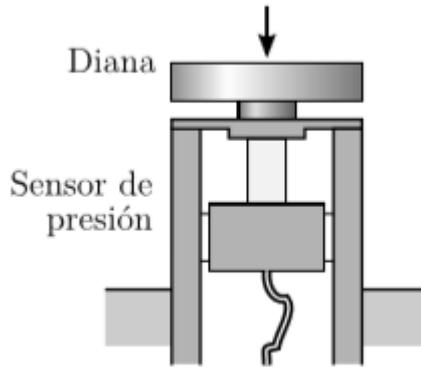


Figura 3.13. Esquema del sensor de presión y diana.

Por tanto, el captador elegido para la medida del  $fCdM$  es un *captador de presión piezoeléctrico con una diana de aluminio anodizado adherida a él*. El modelo elegido es de la marca Kistler 7031 (figura 3.14).

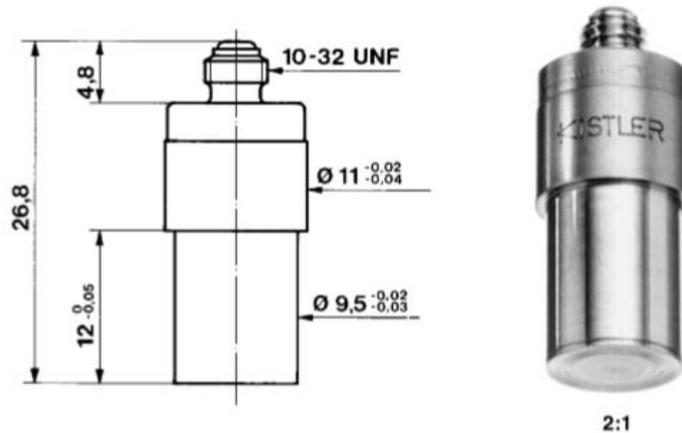


Figura 3.14. Dimensiones e imagen del sensor Kistler 7031.

En la siguiente tabla se resumen las principales características del sensor:

Rango de medida	0...25MPa
Sensibilidad	550Pc/MPa
Frecuencia natural	>80kHz
Error de no linealidad	< $\pm 1\%$
Rango de temperaturas	-196...200°C

Tabla 3-2. Características sensor Kistler 7031.

### **Cámara de inyección y elementos de soporte**

La cámara de inyección es en la cual se realiza el ensayo de medida de cantidad de movimiento, en esta cámara se instalará tanto el inyector, como el sensor.

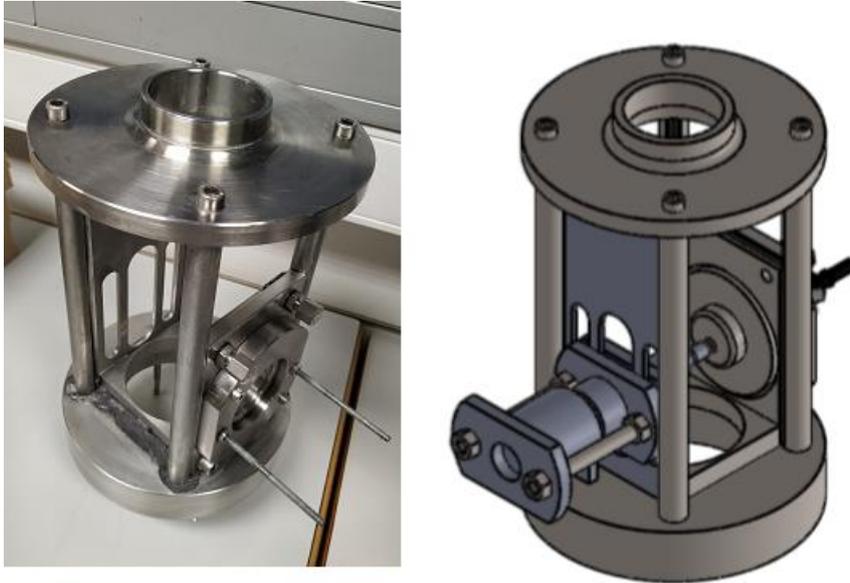


Figura 3.15. Cámara de inyección

Esto se realizará mediante soportes y separadores. Los separadores servirán para para medir el flujo de cantidad de movimiento a varias distancias, y estos irán montados en la base del sensor, como se aprecia en la Figura 3.10. y en la Figura 3.15.

Las distancias a las que se medirá el  $f_{CdM}$  serán cuatro, estas distancias son 2, 5, 8 y 11 milímetros entre el inyector y el sensor.

### **Acople inyector para sensor de presión y termopar**

La finalidad de este elemento es soportar los sensores de presión y temperatura a la entrada de Urea del inyector, este está montado de la siguiente forma:

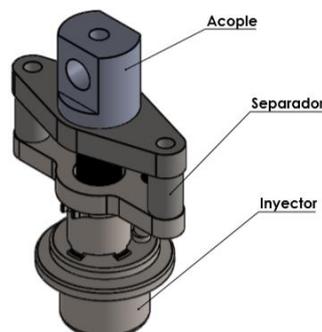
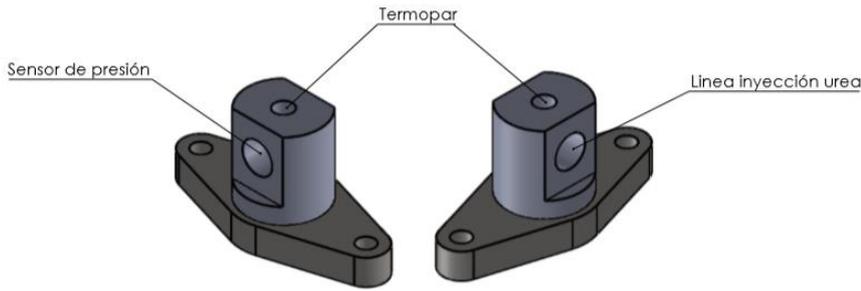


Figura 3.16. Acople e inyector.

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*



*Figura 3.17. Acople para inyector*

El elemento mostrado en la figura 3.17 ha sido un elemento diseñado para la realización de este proyecto, este sirve para medir las condiciones de inyección de presión y temperatura. El montaje se puede apreciar en la figura 3.16.

**Sistema de adquisición de datos**

Para este sistema se utilizará un receptor tipo Yokogawa DL 70 8E (figura 3.18) y un ordenador. El receptor ira conectado mediante cables coaxiales al sensor para la medida del  $fCdM$  y por otro lado al ordenador. El ordenador utiliza un software adaptado para transferir la configuración y grabar los datos recibidos. Los canales utilizados en el receptor son los siguientes:

Canal 2	Canal de Tasa CdM
Canal 3	Canal de presión de inyección (Piny)
Canal 4	Canal de pulso
Canal 8	Canal de trigger

Tabla 3-3. Canales de inserción de datos.



*Figura 3.18. Yokogawa DL 70 8E.*

### ***Amplificador de señal***

Este aparato procesa la señal de fuerza que se obtiene del sensor del  $fCdM$ , este se encuentra entre el sensor y el receptor Yokogawa.



Figura 3.19. Amplificador de señal.

Existen otros elementos presentes en el montaje experimental para la medida del  $fCdM$ , estos elementos han sido explicados en el apartado 3.1.1, ya que también formaban parte del montaje experimental para la medida de masa inyectada, estos elementos son: **inyector, termorregulador, sistema de control de inyección, depósito de Urea, elementos neumáticos e hidráulicos y generador de señal.** La finalidad de estos elementos es la misma en ambos montajes experimentales.

### **3.2.2. Plan de Ensayos**

Al igual que en el apartado 3.1.2, para la medida de la cantidad de movimiento del chorro, se tendrá en cuenta las variables mencionadas, temperatura de inyector, presión de inyección y tiempo de energización del inyector. Además, este será ensayado con dos fluido, agua y AdBlue.

Con estas características el plan de ensayos realizado para cada distancia es:

Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada

	Temperatura (°C)	ET (µs)	Presión (bar)
Agua	25	5000	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	40	500	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	60	5000	4
			6
			8
		7500	4
6			
8			
80	5000	4	
		6	
		8	
	7500	4	
		6	
		8	
AdBlue	25	5000	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	40	500	4
			6
			8
		7500	4
			6
			8
	60	5000	4
			6
			8
		7500	4
6			
8			
80	5000	4	
		6	
		8	
	7500	4	
		6	
		8	

Tabla 3-4. Plan de ensayos para la medida de cantidad de movimiento.

## 4. Análisis de resultados

### 4.1. Resultados de masa de inyección

Para realizar el ensayo, cada punto ha sido realizado con dos repeticiones, esto nos ha servido para comprobar la diferencia entre ambos resultados. No obstante, hemos podido comprobar que las dos repeticiones de cada punto a ensayar tenían una diferencia entre estos, inferior al 2%, por lo tanto, los resultados obtenidos serán a partir de una única repetición por punto.

La masa inyectada total para cada punto ha sido realizada durante 100 segundos, lo que equivale a 100 inyecciones, por tanto, la masa total inyectada será representada para este intervalo.

#### 4.1.1. Influencia de la temperatura

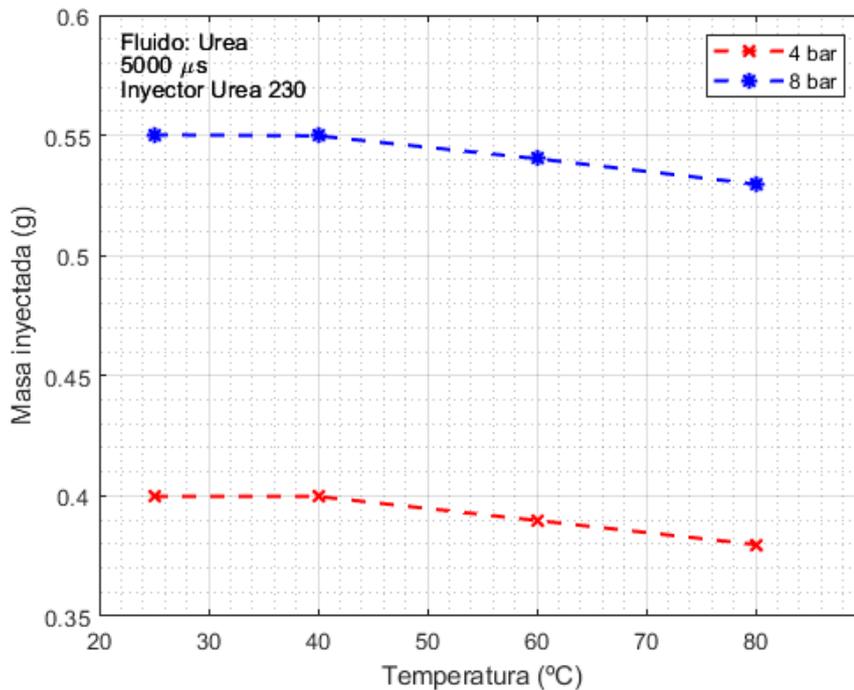


Figura 4.1. Influencia de la temperatura en la masa inyectada.

En la figura 4.1 se puede apreciar una ligera disminución del gasto másico a medida que aumenta la temperatura (25-80°C), esta disminución está definida por la siguiente ecuación:

$$m = \int_0^t \dot{m} dt = \int_0^t (A * \rho * u) dt \quad (21)$$

Donde  $m$  es la masa inyectada para un intervalo de tiempo,  $u$  es velocidad del fluido,  $\rho$  densidad del fluido,  $\dot{m}$  gasto másico y  $A$  el área efectiva.

Cada temperatura ha sido medida dentro de un intervalo de presiones, por tanto, para una presión constante, aumentar la temperatura de refrigeración del inyector provoca una disminución de la densidad del fluido inyectado, y con esta disminución, según la ecuación de la masa inyectada (21), supone una disminución de la masa, ya que ambas son directamente proporcionales.

Esta leve disminución de masa inyectada ocurre en todos los puntos ensayados.

#### 4.1.2. Influencia de la Presión de inyección

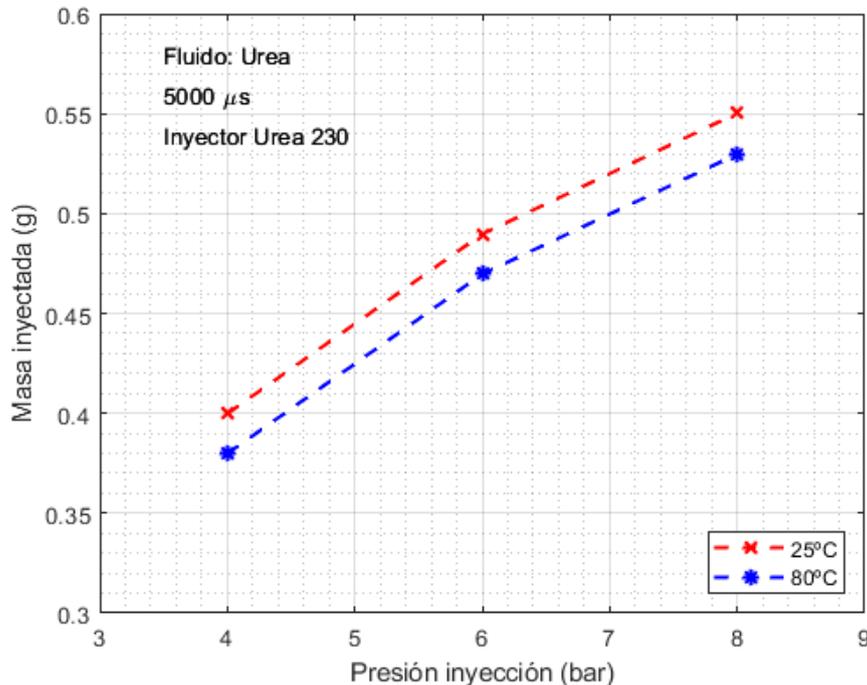


Figura 4.2. Influencia de la presión en la masa inyectada.

Al igual que ocurriría bajo la influencia de la temperatura, ambos inyectores actúan de la misma forma bajo la variable presión.

En la figura 4.2 se puede apreciar que conforme aumenta la presión, mayor es la masa inyectada. Esto es explicado a partir de la siguiente ecuación:

$$u \approx \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (22)$$

Donde  $\Delta P$  es la variación de presión,  $u$  la velocidad;

Un aumento de presión supone un aumento de velocidad, esto lo se puede demostrar con la fórmula de Bernoulli (22), dicho aumento de velocidad supone un aumento de la masa inyectada (21) ya que este es directamente proporcional a dicha velocidad.

### 4.1.3. Influencia tiempo energización inyector

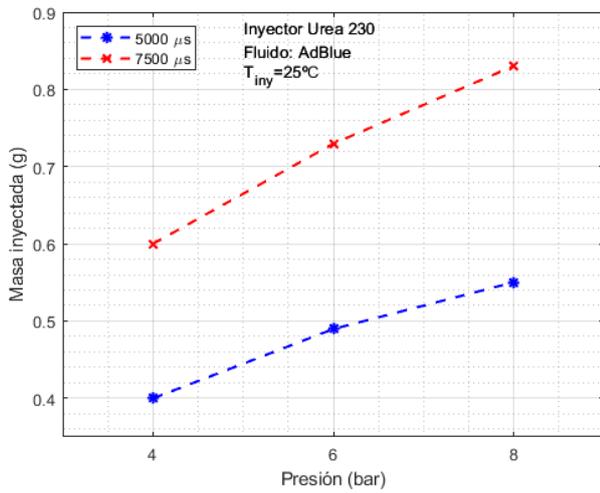


Figura 4.3. Masa inyectada en función de tiempo de energización y presión de inyección.

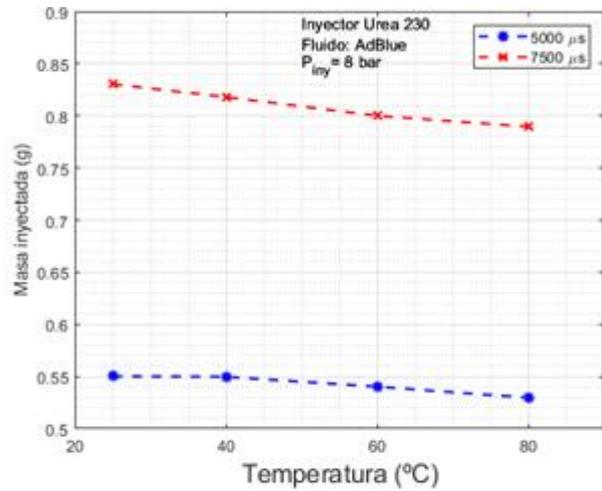


Figura 4.4. Masa inyectada en función de tiempo de energización y temperatura inyector.

Los inyectores han sido ensayados bajo dos tiempos de energización, en las figuras 4.2 y 4.3 se puede ver cómo influye esta característica, en estas gráficas se aprecia que cuanto mayor es el tiempo de energización de la bobina del inyector, mayor es la masa inyectada, es evidente que ocurra esto, ya que cuanto mayor permanece abierta la tobera del inyector mayor será la masa inyectada.

## 4.2. Resultados de Cantidad de Movimiento

Al igual que ocurría con la masa inyectada en el apartado 4.1, las dos repeticiones realizadas de cada punto para medir la cantidad de movimiento tienen una diferencia entre ambos inferior al 2%. Por tanto, para analizar los resultados obtenidos, nos centraremos en una única repetición.

Los resultados irán expresados de dos formas, e irán representados estos en dos tipos de gráfica diferentes:

- Flujo de cantidad de movimiento durante un periodo de energización de la bobina del inyector para diferentes condiciones (Señal de  $f_{CdM}$  promediada).
- Media de la zona estabilizada para el flujo de cantidad de movimiento para diferentes condiciones. Esta media se obtiene en la zona en la cual la inyección es estable, descartando la apertura y cierre de la aguja del inyector, esta zona se puede apreciar en la figura 4.5.

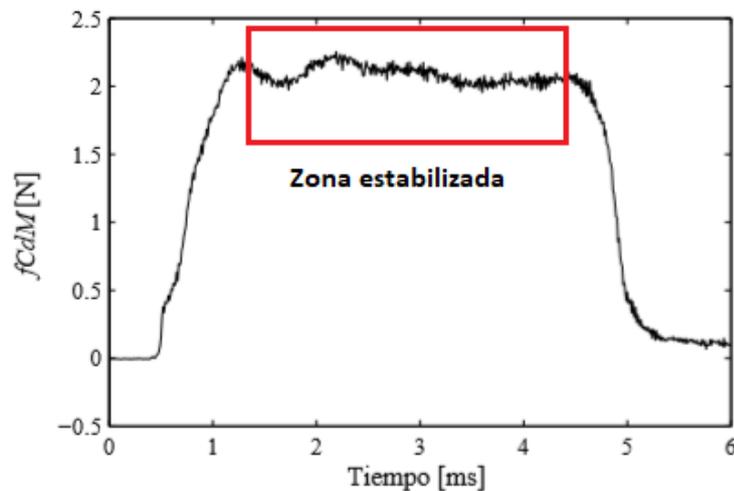


Figura 4.5. Muestra selección de la media del  $f_{CdM}$  a partir de la zona estabilizada.

### 4.2.1. Influencia de la Distancia

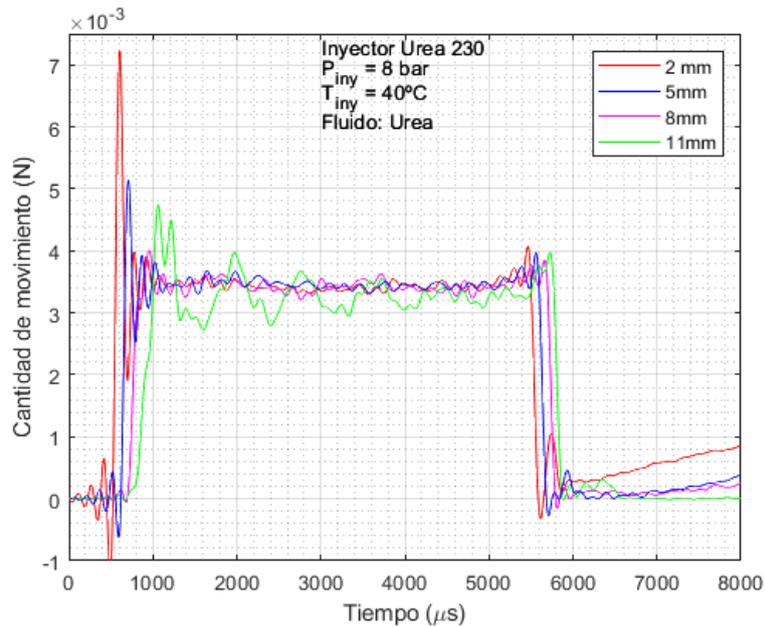


Figura 4.6. Señal de fCdM promediada en función de la distancia

En la figura 4.6 se observa la influencia de la distancia a la que se encuentra el sensor del inyector para la medida de cantidad de movimiento. En esta se puede apreciar que para distancias relativamente pequeñas (2mm y 5mm) existe un aumento considerable de la cantidad de movimiento al principio de la inyección, esto sucede ya que al principio de la inyección existen unas condiciones inestables, al encontrarse el sensor a una distancia tan próxima se pueden apreciar estas inestabilidades al principio de la inyección.

Otro aspecto a tener en cuenta en dicha figura es la influencia de la distancia de 11mm, la señal obtenida a esta distancia es demasiado variable a lo largo de toda la inyección.

Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada

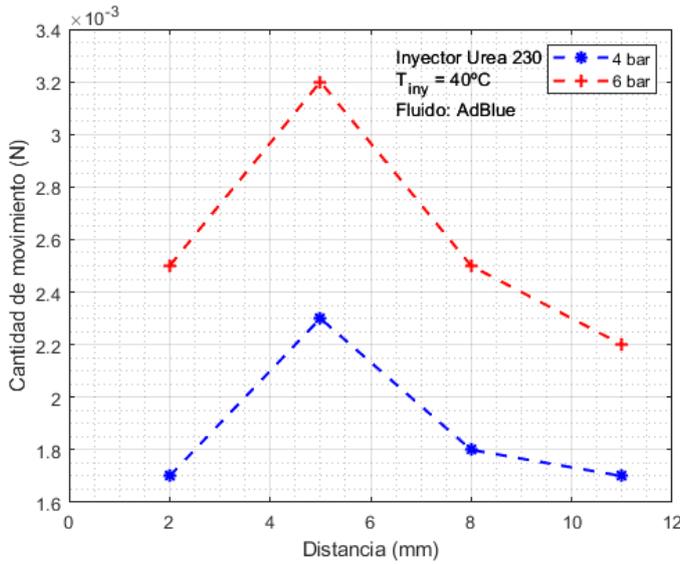


Figura 4.7. Media de cantidad de movimiento en función de la distancia y presión de inyección.

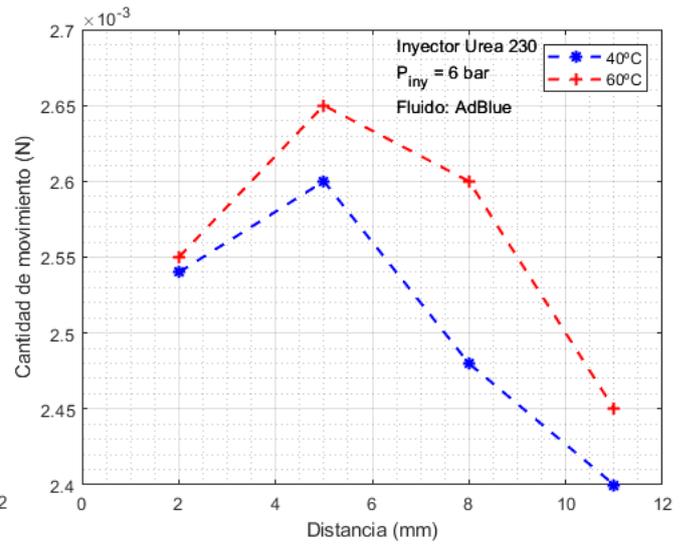


Figura 4.8. Media de cantidad de movimiento en función de la distancia y temperatura del inyector.

En las figuras 4.7 y 4.8 se puede apreciar cómo afecta la distancia a la media de la señal en función de diferentes condiciones de trabajo. La señal media de cantidad ensayada permite configurar la distancia correcta para realizar las medidas de CdM para este tipo de inyectores, lo suficientemente cerca para asegurar que todo el chorro impacta sobre el sensor y no se pierde información del flujo.

**4.2.2. Influencia de la temperatura**

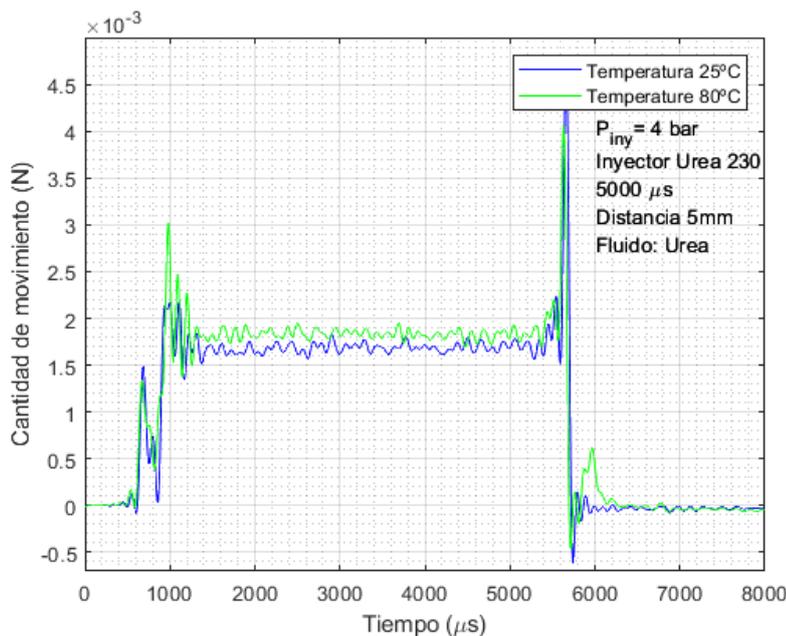


Figura 4.9. Señal de fCdM promediada en función de la temperatura

En la figura 4.9 se aprecia apreciar la influencia de la temperatura en el inyector. La gráfica muestra la comparación entre un rango de temperaturas amplio, en este aumento de temperatura se puede apreciar que la cantidad de movimiento obtenida para 80°C es ligeramente superior a la obtenida para 25°C.

Este aumento puede ser explicado de la siguiente forma:

Un aumento de temperatura supone un descenso en la densidad del fluido, esta disminución supone un aumento de la velocidad según la fórmula de Bernoulli (22).

En el apartado 2.7 de este documento, se expresa la fórmula para obtener la cantidad de movimiento (Ecuación 11), esta depende principalmente de la velocidad al cuadrado, es evidente que el valor de cantidad de movimiento es directamente proporcional a la velocidad.

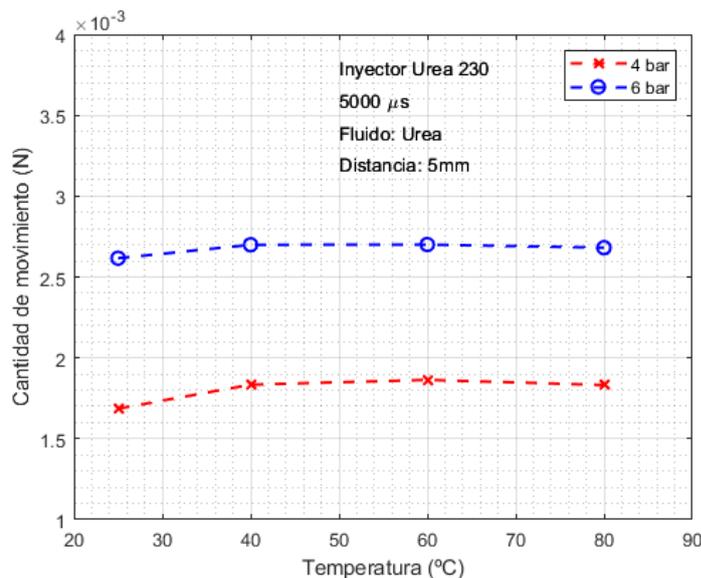


Figura 4.10. Media de la señal de  $fCdM$  promediada en función de la temperatura

La figura 4.10 nos permite corroborar las relaciones antes mencionadas, en esta gráfica se puede apreciar mejor el leve aumento de la cantidad de movimiento en presencia de una variación de temperatura.

### 4.2.3. Influencia de la Presión de inyección

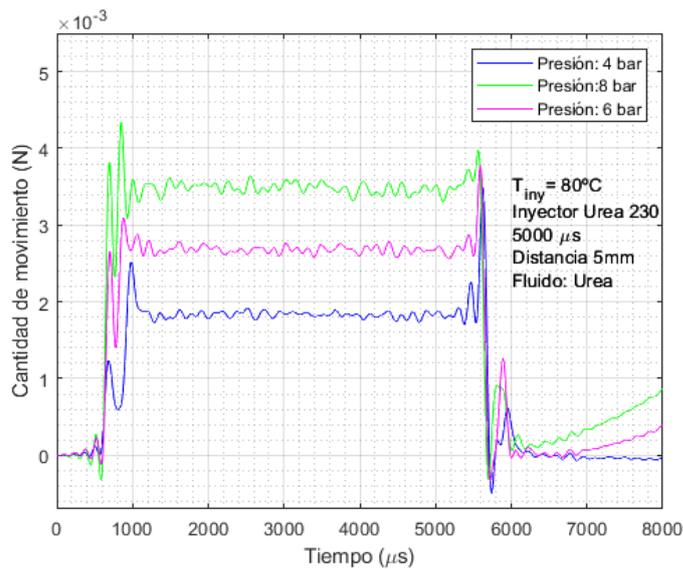


Figura 4.11. Señal de  $fCdM$  promediada en función de la presión

En la figura 4.11 se aprecia que la cantidad de movimiento manteniendo una temperatura constante (densidad constante), aumenta conforme aumenta la presión de inyección. Esto es debido que, a mayor presión, mayor es la velocidad del fluido, se puede demostrar a partir de la fórmula de Bernoulli (Ecuación 22).

Este aumento de velocidad supone un aumento de la cantidad de movimiento (Ecuación 11).

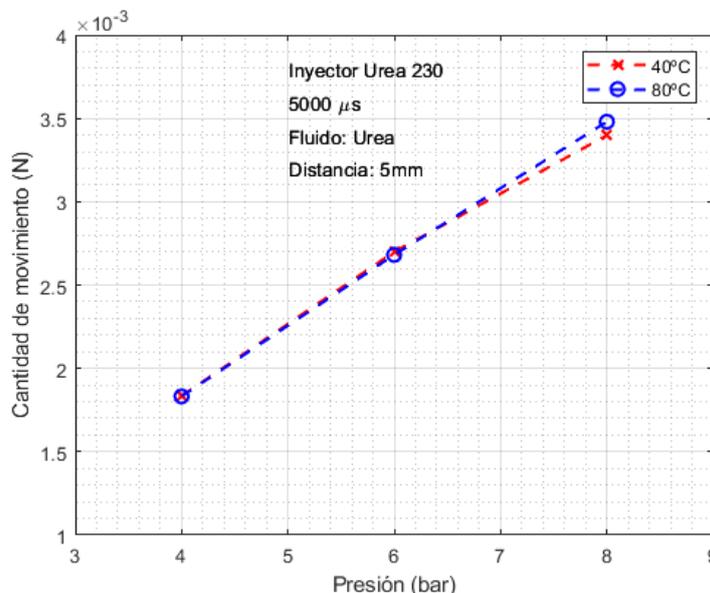


Figura 4.12. Media de la señal de  $fCdM$  promediada en función de la presión

En la figura 4.12 se aprecia la gran influencia sobre la cantidad de movimiento que tiene un aumento de presión, siendo estas directamente proporcionales.

#### 4.2.4. Influencia del Fluido

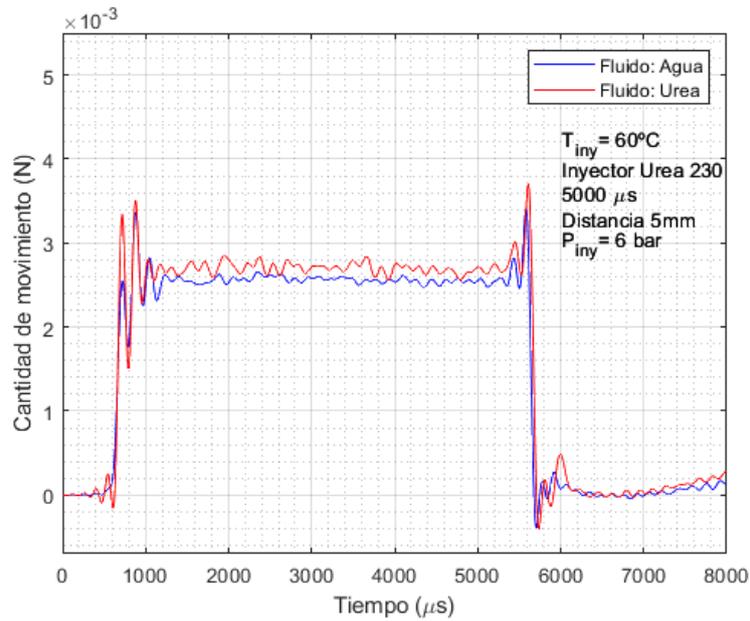


Figura 4.13. Señal de fCdM promediada en función del fluido.

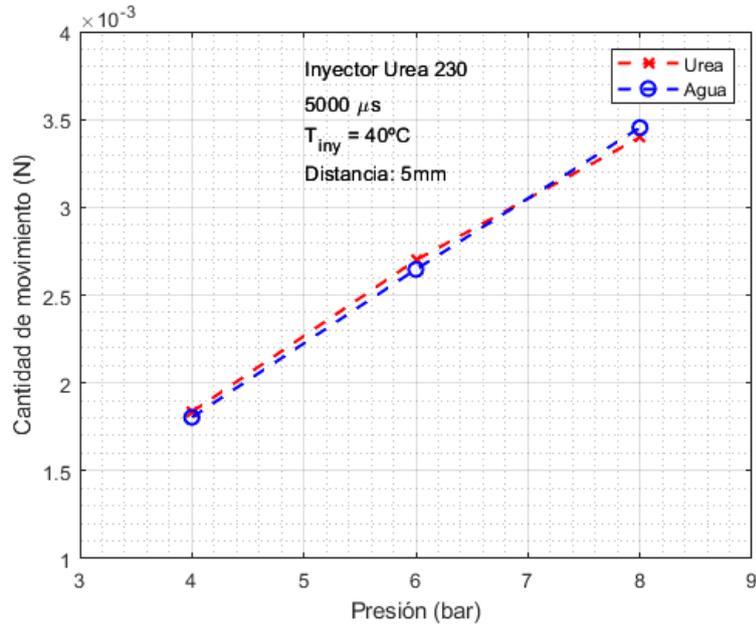
Cuando se refiere al fluido de Urea en la gráfica superior, este se trata de una disolución al 32,5% de Urea en agua (AdBlue).

Fluido	Densidad a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )
Urea	1320
Adblue	1090
Agua destilada	1000

Tabla 4-1. Densidades fluidos

*Caracterización hidráulica de un sistema de inyección de urea a partir de la cantidad de movimiento y la masa inyectada*

En la figura 4.13 se puede apreciar que ambos fluidos se comportan de forma similar, esto ocurre debido a las densidades de ambos (tabla 4-1). Estas al ser valores muy próximos no se producen demasiadas diferencias a la hora de medir la cantidad de movimiento de cada uno de los fluidos.



*Figura 4.14. Media de la señal de fCdM promediada en función del fluido*

En la figura 4.14, se muestra esta diferencia mínima que existe entre las densidades de AdBlue y agua destilada, siendo sus comportamientos a diferentes presiones prácticamente iguales

### 4.3. Resultados de Tasa de inyección

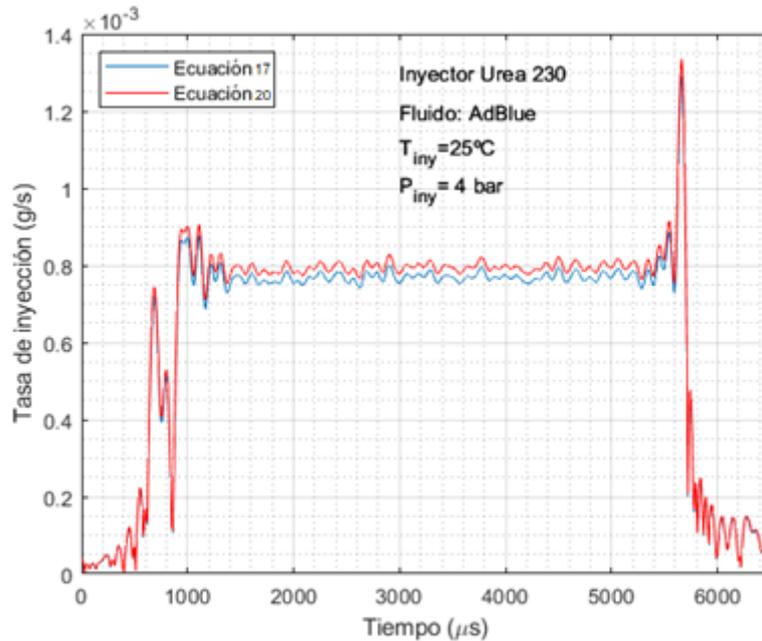


Figura 4.15. Comparación ecuaciones (17 y 20) para la obtención de la tasa de inyección.

En la figura 4.15. se aprecia los resultados obtenidos aplicando las ecuaciones (17) y (20), mencionadas en el capítulo 2.8.

Los resultados verifican las hipótesis realizadas, y se puede obtener una tasa de inyección a partir de los resultados experimentales de cantidad de movimiento y masa inyectada.

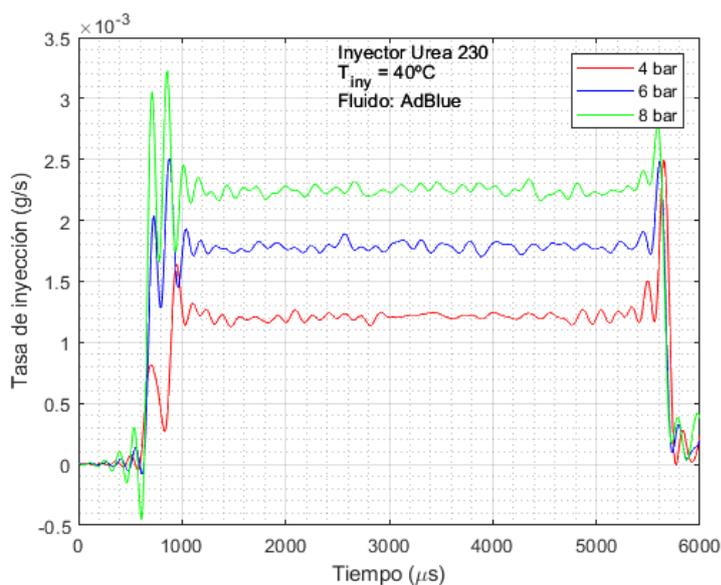


Figura 4.16. Tasa de inyección bajo influencia de la presión.

En la figura 4.16 se observa que la tasa de inyección aumenta respecto a un aumento de presión, esto es debido que, al aumento de la presión a la salida de la tobera, aumenta la velocidad de salida (Ecuación 22), y la tasa de inyección es directamente proporcional a esta.

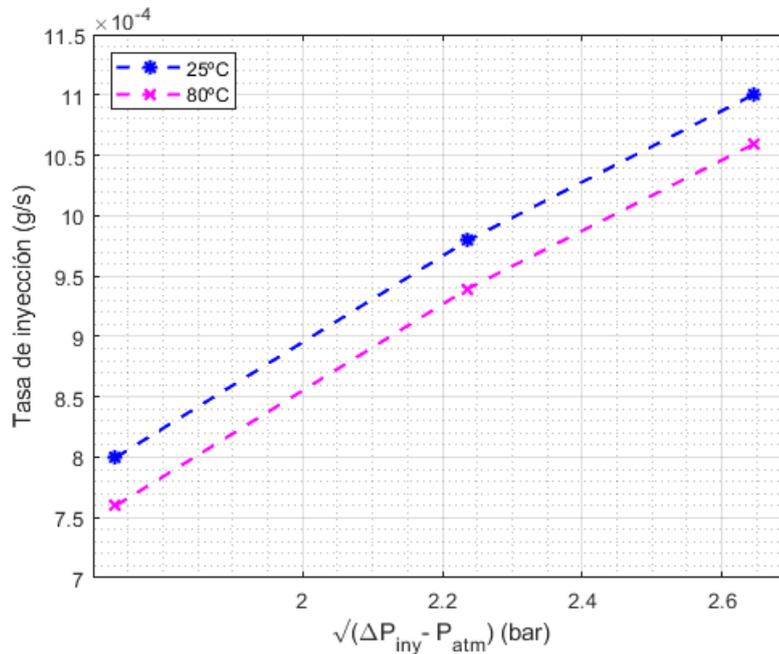


Figura 4.17. Tasa de inyección bajo influencia de la temperatura.

Como se observa en la figura 4.17, bajo la influencia de un rango de temperaturas, se ven afectadas varias propiedades del fluido, siendo la densidad la característica más afectada. Este aumento de temperatura supone el descenso de la densidad, la tasa de inyección depende directamente de la masa inyectada, por lo que es obvio que se comportará de la misma forma que esta, disminuyendo la tasa de inyección cuanto mayor es la temperatura.

## **5. Conclusiones**

### **5.1. Conclusiones**

A continuación, se muestran las conclusiones obtenidas a partir de las diferentes fases del proyecto.

Son varios los ámbitos de este proyecto en los cuales ha participado el alumno entre ellos se encuentran:

- **Diseño de elementos mecánicos para el montaje experimental.** Estos elementos diseñados han servido para la medición de las características del fluido a la entrada del inyector y para su correcta colocación con este.
- **Montaje de maquetas para ensayos.** La base de este proyecto se basa en contenidos experimentales, en los cuales han sido necesarias el montaje de una cámara de inyección (2017) [7] para la medida de cantidad de movimiento y las instalaciones necesarias para los dos ensayos realizados (masa inyectada y cantidad de movimiento).
- **Toma de medidas experimentales.** Una vez realizada todas las instalaciones necesarias se han obtenido todos los puntos experimentales.
- **Procesamiento información obtenida de los ensayos.** Con la ayuda de herramientas informáticas ha sido procesada toda la información obtenida.

Por tanto, tras el desarrollo de todas las fases del proyecto, se han obtenido unas conclusiones respecto a los ensayos experimentales:

- En primer lugar, se puede confirmar que la masa inyectada es directamente proporcional a la presión y al tiempo de energización del inyector e inversamente proporcional a la temperatura.
- En segundo lugar, la cantidad de movimiento es directamente proporcional a la temperatura y a la presión. Por último, también ha sido demostrada la conservación de la cantidad de movimiento a medida que la distancia entre sensor e inyector ha variado.
- En tercer lugar, se ha demostrado que la tasa de inyección puede ser obtenida teóricamente a partir de los ensayos antes mencionados, también cabe destacar que la tasa de inyección es directamente proporcional a presión e inversamente proporcional a la temperatura.
- En cuarto lugar, el ensayo con los dos inyectores mencionados ha demostrado su idéntico comportamiento bajo la influencia de diferentes características.

## **5.2. Trabajos futuros**

Dentro de este proyecto el ensayo de cantidad de movimiento para un inyector de Urea en condiciones ambientales ha supuesto el primer proyecto de investigación realizado en el CMT, por lo que aún quedan campos de investigación posibles. Estas investigaciones podrían ser:

- **Estudio de reducción de los depósitos de urea.** Este es un gran problema presente en los sistemas SCR, ya que, una vez evaporada el agua presente en el AdBlue, la urea se solidifica formando cristales que obstruyen el sistema de alimentación.

**PARTE II**  
***Bibliografía***

## Bibliografía

[1] "Gases de escape y sistemas anticontaminación" Disponible:

<http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

Último acceso: 09/04/2019

[2] "Oxidación catalítica diésel" Disponible:

<http://www.filtrosdiesel.cl/oxidacion-catalitica-diesel-doc>

Último acceso: 10/04/2019

[3] "Catalizador" Disponible:

<https://www.cedielsirgo.es/sistema-el%C3%A9ctrico-escape/catalizador-escape/>

Último acceso: 10/04/2019.

[4] "Catalizador-Definición-Significado" Disponible:

<https://diccionario.motorgiga.com/catalizador>

Último acceso: 10/04/2019.

[5] "Filtros de partículas Diesel (DPF Wall Flow)". Disponible:

<http://www.filtrosdiesel.cl/filtros-de-particulas-diesel-dpf-wall-flow>

Último acceso: 10/04/2019

[6] "Técnicas para reducir las emisiones. Normativas", Asignatura Motores alternativos (Tema 16), Universidad Politécnica de Valencia.

[7] Griñán Egea, S: "Diseño de una instalación experimental para el estudio de la inyección de urea en condiciones de gases de escape de un motor de combustión". Trabajo Final de Grado, E.T.S Ingeniería del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2017.

[8] "¿Qué es el AdBlue?" Disponible:

<https://www.valladolidwagen.es/inicio/noticias/articulo/que-es-el-adblue/contenido/4000>

Último acceso: 03/05/2019.

[9] "Control de emisiones contaminantes en Europa y Estados Unidos" Disponible:

[https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo\\_imagenes/imagen\\_id.cmd?idImagen=1097951](https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/imagen_id.cmd?idImagen=1097951)

Último acceso: 06/05/2019.

[10] Pérez Rodrigo, J: "Estudio experimental de la inyección de urea en condiciones de motor de combustión". Trabajo Final de Grado, E.T.S Ingeniería del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2018.

[11]” DNOX supply module AdBlue Bosch MAN OEM 81154036098” Disponible

<https://proengines.eu/product-eng-168-DNOX-supply-module-AdBlue-Bosch-MAN-OEM-81154036098.html>

Último acceso:07/05/2019

[12] “ ¿Qué es un motor Clean Diesel?” Disponible:

<https://www.motorpasion.com/tecnologia/que-es-un-motor-clean-diesel>

Último acceso:08/05/2019

[13] Gimeno, J: “*Estudio de la inyección diésel mediante la medida del flujo de cantidad de movimiento del chorro*”. Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Reverté, S.A., 2011.

[14]Bracho G: “a Methodology for the hydraulic characterization of a Urea-Water Solution injector by means of Spray Momentum Measurement”. Universidad Politécnica de Valencia, 2019.

[15] Sancho Jordá, M: “*Caracterización hidráulica de dos inyectores tipo solenoide para motores industriales*”. Proyecto Final de Carrera, E.T.S Ingeniería del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2014.

**PARTE III**  
***Presupuesto***

## 6. Presupuesto

### 6.1. Introducción

Este apartado va destinado a la exposición de los diferentes apartados del coste de realización total de este proyecto. Irá desglosado en tres apartados: coste de mano de obra, coste de equipos usados y materiales adquiridos.

Para la realización de este proyecto no ha sido necesaria la adquisición de todos los elementos necesarios, ya que estos se encontraban en el Centro de Motores Térmicos (CMT). Por tanto, para estos elementos se tienen en cuenta las amortizaciones.

### 6.2. Cálculo de costes

Se tendrá en cuenta los costes de las dos instalaciones usadas, masa inyectada y cantidad de movimiento. Cada instalación cuenta con elementos diferentes, pero también comparten ciertos elementos. Por tanto, aquellos elementos útiles para ambos ensayos serán agrupados.

#### 6.2.1. Mano de obra

Para calcular la mano de obra se ha tenido en cuenta el tiempo de montaje de cada instalación y posteriormente el tiempo necesario para la toma de medidas. El número de días laborales necesario para este proyecto ha sido de 37 días laborales (8h/día). De estos días han sido necesarios 4 días para el montaje de las instalaciones, siendo 2 días para cada instalación. Los días dedicados a la medida total para ambas instalaciones ha sido de 22 días, siendo 14 para las medidas de cantidad de movimiento y 8 días para la masa inyectada. Finalmente, para el tratamiento de datos se han dedicado 11 días

En este proyecto ha trabajado un ingeniero superior (alumno de doctorando), un técnico de laboratorio, un coordinador de proyecto (doctora por la UPV) y un ingeniero en formación, el precio de la mano de obra se muestra en la siguiente tabla:

<b>Trabajador</b>	<b>Precio unitario[€/h]</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total [€]</b>
<i>Ingeniero en formación</i>	18,90	300	horas	5670,00
<i>Ingeniero superior</i>	35,00	150	horas	5250,00
<i>Ingeniero Coordinador de proyecto</i>	47,50	90	horas	4275,00
<i>Técnico de laboratorio</i>	20,35	40	horas	814,00
<b>Subtotal mano de obra</b>				<b>16009,00</b>

Tabla 6-1. Costes mano de obra.

### 6.2.2. Materiales

En este apartado se detalla los materiales de nueva adquisición necesarios para la realización de los ensayos:

Descripción	Ud.	Cantidad	Precio [€/Ud.]	Importe [€]
Soporte medidor inyector	ud.	1	180,00	180,00
Soporte	ud.	1	100,00	100,00
Separador cilíndrico	ud.	2	20,00	40,00
Termopar	ud.	2	58,00	116,00
Racor G1/4	ud.	4	12,50	52,00
Anillo tórico	ud.	10	0,25	2,50
Abrazaderas metálicas	ud.	4	0,18	0,18
<b>Subtotal materiales adquiridos</b>				<b>490,68</b>

Tabla 6-2. Costes materiales adquiridos.

### 6.2.3. Elementos fungibles

A continuación, se detallan los costes de elementos fungibles, es decir, aquellos elementos que, tras su uso, no es posible recuperarlos.

En primer lugar, se tendrá en cuenta el consumo eléctrico para la realización de ambos ensayos, se considerará un precio de 0,11 €/kWh. Con este precio se estimará el consumo de los siguientes elementos:

Elemento	Potencia [kW]	Rendimiento	Cantidad [h]	Consumo eléctrico [€]
Ordenador	0,5	100%	216	11,88
Equipos auxiliares	10	100%	176	193,60
<b>Subtotal consumo eléctrico</b>				<b>205,48</b>

Tabla 6-3. Costes consumo eléctrico.

Cuando se refiere a equipos auxiliares, hace mención a todos los equipos necesarios para la realización de ambos ensayos.

Una vez calculados los costes derivados de consumo eléctrico, se procede al cálculo de todos los elementos fungibles presentes en el proyecto:

Tipo	Precio unitario [€]	Cantidad	Unidades	Precio total [€]
AdBlue	14,25	4	litros	57,00
Líquido refrigerante	6,80	8	litros	54,40
Consumo eléctrico	--	--	--	205,48
<b>Subtotal elementos fungibles</b>				<b>316,88</b>

Tabla 6-4. Costes elementos fungibles.

### 6.2.4. Amortizaciones

A lo largo de este proyecto son varios los equipos utilizados, para contabilizar el desgaste producido en estos tras los ensayos se estudiarán en este apartado.

Para realizar las amortizaciones de los equipos, se considerará que el máximo tiempo de funcionamiento son 40 horas semanales y 46 semanas al año.

Por tanto, el desglose de amortizaciones se tiene en cuenta en la siguiente tabla:

Elemento	Coste [€]	Vida útil [años]	Amortización unitaria [€/h]	Cantidad	Unidades	Amortización total [€]
Ordenador	800,00	5	0,09	216	horas	19,44
Termorregulador	2300,00	10	0,13	176	horas	22,88
Genotec	6540,00	10	0,36	176	horas	63,36
Osciloscopio Yokogawa	12000,00	10	0,65	176	horas	114,40
Generador de señal	523,00	5	0,06	176	horas	10,56
Balanza Radweg	815,00	10	0,04	64	horas	2,56
Sensor presión	3017,00	2	0,82	112	horas	91,84
Amplificador de señal	655,00	5	0,07	112	horas	7,84
<b>Subtotal amortizaciones</b>						<b>332,88</b>

Tabla 6-5. Costes amortizaciones equipos.

### 6.2.5. Herramientas informáticas

Para el diseño de nuevos elementos, almacenamiento y procesado de los ensayos han sido necesarios la adquisición de diferentes herramientas informáticas. En este apartado se mencionarán el precio de las licencias necesarias. No obstante, no se tendrán en cuenta ciertos programas como el necesario para la generación de señal, ya que sus licencias acompañan a la adquisición del equipo y, otros como el controlador de la balanza, ya que ha sido desarrollado por investigadores del CMT y por lo tanto no acarrea un gasto extra.

Programa	Precio licencia [€]
Microsoft Office	70,00
Matlab	800,00
SolidWorks	1500,00
<b>Subtotal herramientas informáticas</b>	<b>2370,00</b>

Tabla 6-6. Costes programas informáticos.

Cabe destacar que estas licencias no solo han sido adquiridas para la realización de dicho proyecto, si no que el propio CMT contaba con estas licencias.

### 6.3. Resumen presupuesto

A continuación, se detalla el presupuesto total para la realización de este proyecto, en este presupuesto se tendrá en cuenta los gastos generales (13%) y el IVA (21%), este último solo irá aplicado a la mano de obra, ya que la en el precio del resto de elementos el IVA ya va incluido.

<b>Tipo</b>	<b>Costes [€]</b>
<i>Mano de obra</i>	16009,00
<i>Materiales adquiridos</i>	490,68
<i>Elementos fungibles</i>	316,88
<i>Amortizaciones</i>	332,88
<i>Herramientas informáticas</i>	2370,00
<i>Subtotal</i>	19519,44
<i>Gastos generales (13%)</i>	2537,53
<i>IVA (21%) (Mano de obra)</i>	3361,69
<b><i>Presupuesto total</i></b>	<b>25418,66</b>

Tabla 6-7. Presupuesto total.

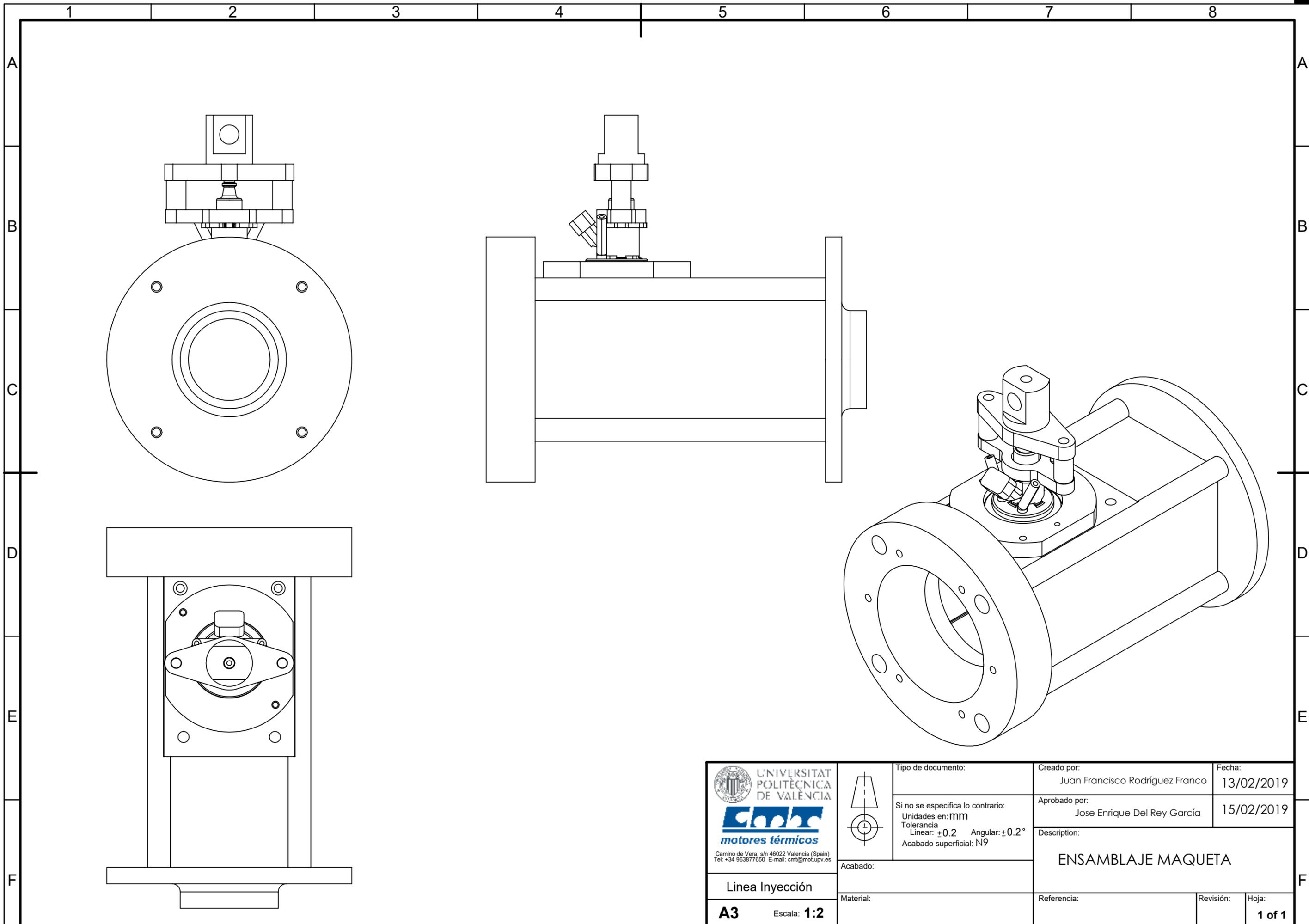
Por tanto, el presupuesto total es:

**VEINTICINCO MIL CUATROCIENTOS DIECHIOCHO EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

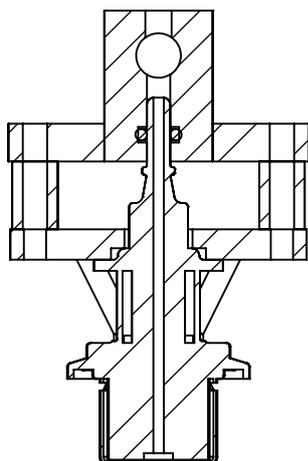
# **PARTE IV**

## ***Anexo I***

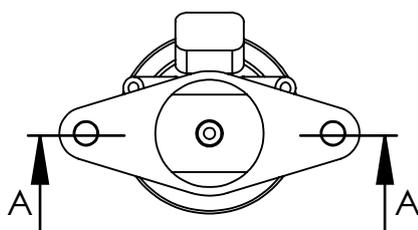
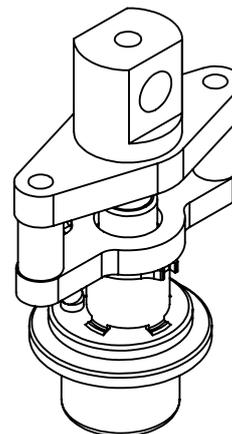
### ***Planos***



 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)          Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>		Tipo de documento:  Si no se especifica lo contrario: Unidades en: <b>mm</b> Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Creado por: Juan Francisco Rodríguez Franco	Fecha: 13/02/2019
	Acabado:	Aprobado por: Jose Enrique Del Rey García	Descripción: <b>ENSAMBLAJE MAQUETA</b>	
<b>A3</b> Escala: <b>1:2</b>	Material:	Referencia:	Revisión:	Hoja: <b>1 of 1</b>



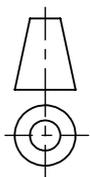
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Si no se especifica lo contrario:  
Unidades en: **mm**  
Tolerancia  
Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$   
Acabado superficial: N9

Creado por:

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:

13/02/2019

Aprobado por:

Jose Enrique Del Rey García

15/02/2019

Description:

ENSAMBLAJE PARA INYECTOR

Acabado:

Linea Inyección

Material:

Referencia:

Revisión:

Hoja:

**A4**

Escala: **1:2**

**1 of 1**

1

2

3

4

A

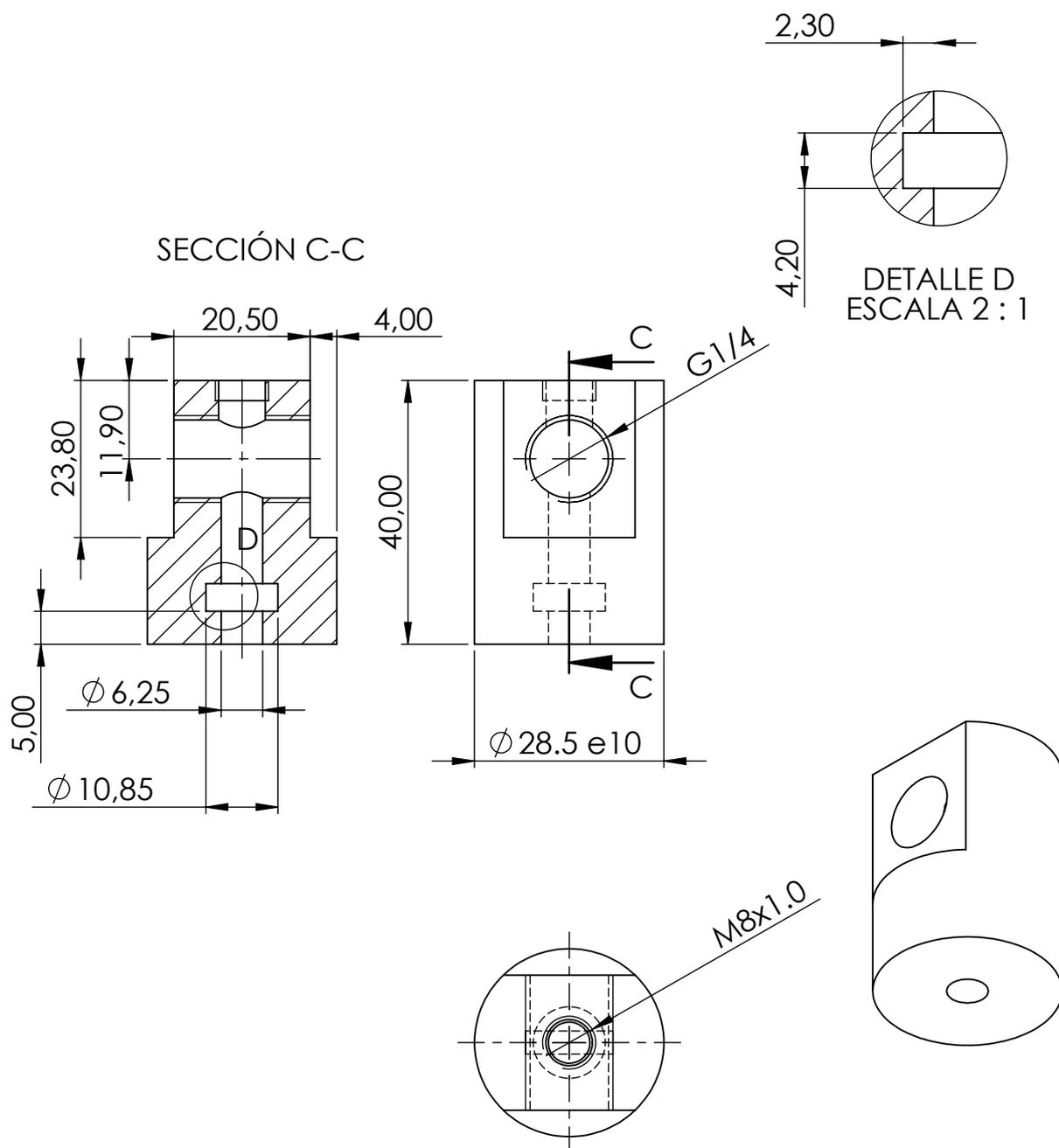
B

C

D

E

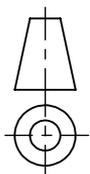
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Si no se especifica lo contrario:  
Unidades en: mm  
Tolerancia  
Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$   
Acabado superficial: N9

Creado por:

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:

13/02/2019

Aprobado por:

Jose Enrique Del Rey García

15/02/2019

Description:

SOPORTE MEDIDOR INYECTOR

Cantidad: 1

Linea Inyección

A4

Escala: 1:1

Acabado:

Material:

Acero Inox 304

Referencia:

Revisión:

Hoja:

1 of 1

1

2

3

4

A

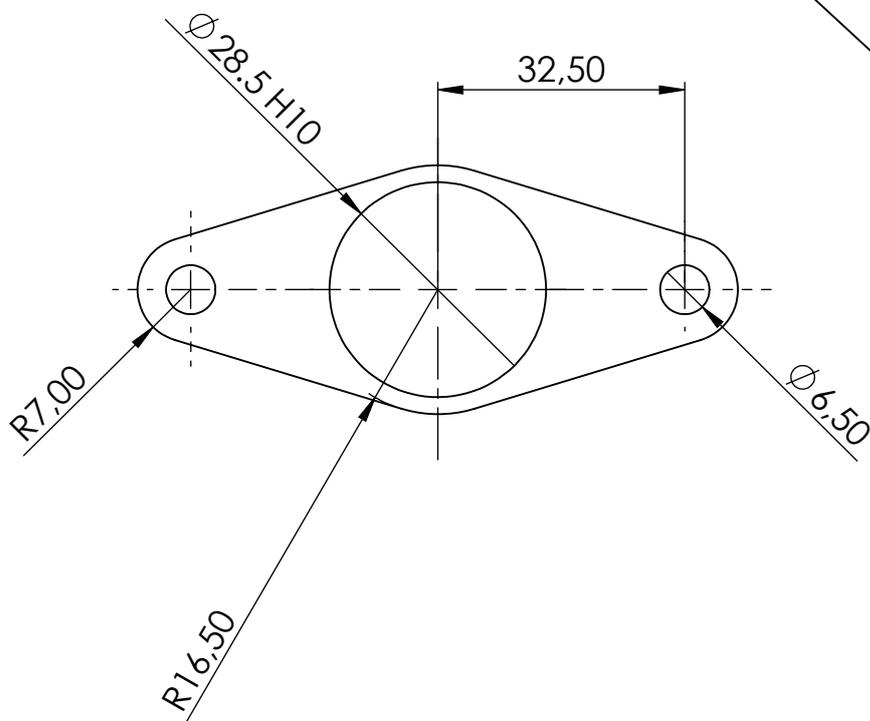
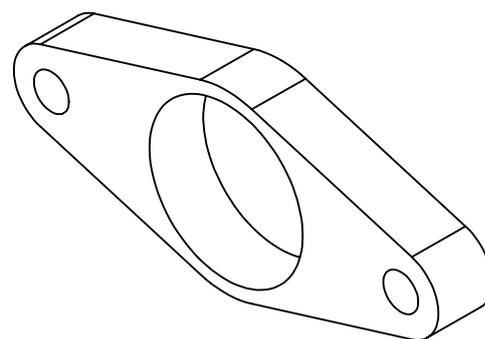
B

C

D

E

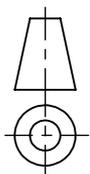
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Si no se especifica lo contrario:  
Unidades en: mm  
Tolerancia  
Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$   
Acabado superficial: N9

Creado por:

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:

13/02/2019

Aprobado por:

Jose Enrique Del Rey García

15/02/2019

Description:

SOPORTE

Cantidad: 1

Acabado:

Material:

Acero Inox 304

Referencia:

Revisión:

Hoja:

Linea Inyección

A4

Escala: 1:1

1 of 1

1

2

3

4

A

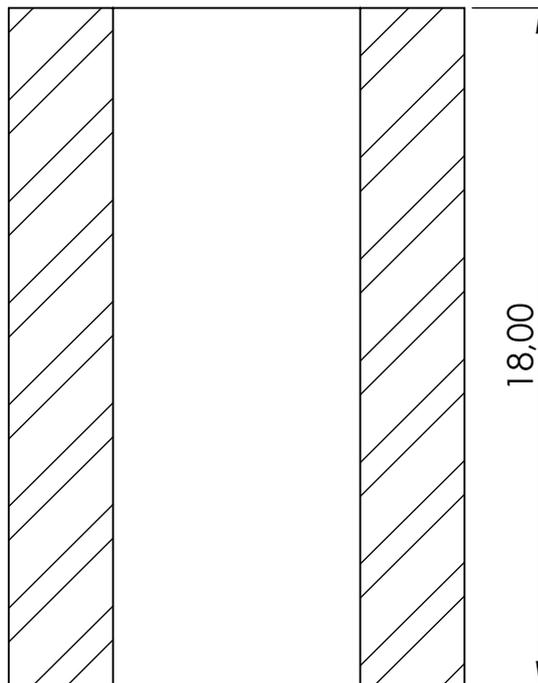
B

C

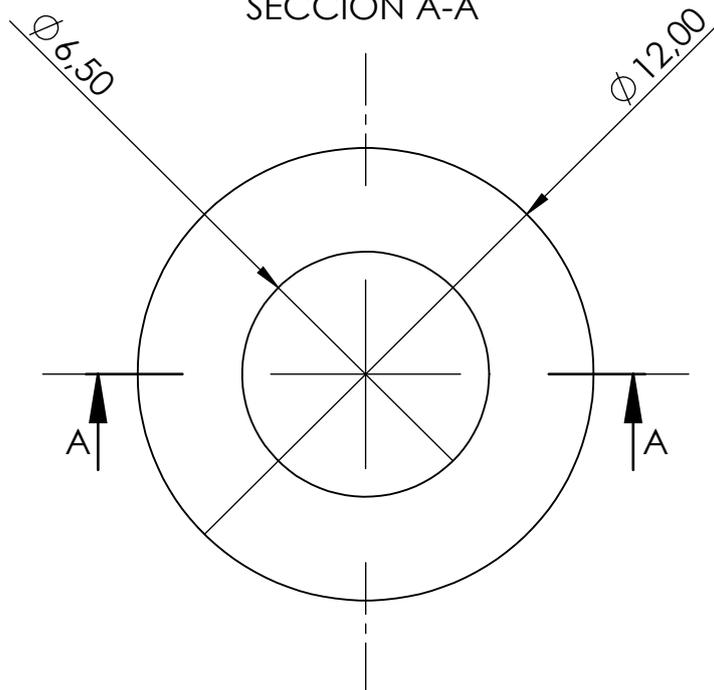
D

E

F



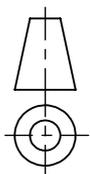
SECCIÓN A-A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Si no se especifica lo contrario:  
Unidades en: **mm**  
Tolerancia  
Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$   
Acabado superficial: N9

Creado por:

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:

13/02/2019

Aprobado por:

Jose Enrique Del Rey García

15/02/2019

Description:

CILINDRO SEPARADOR

Cantidad: 2

Acabado:

Linea Inyección

Material:

Acero Inox 304

Referencia:

Revisión:

Hoja:

**A4**Escala: **5:1****1 of 1**

1

2

3

4

A

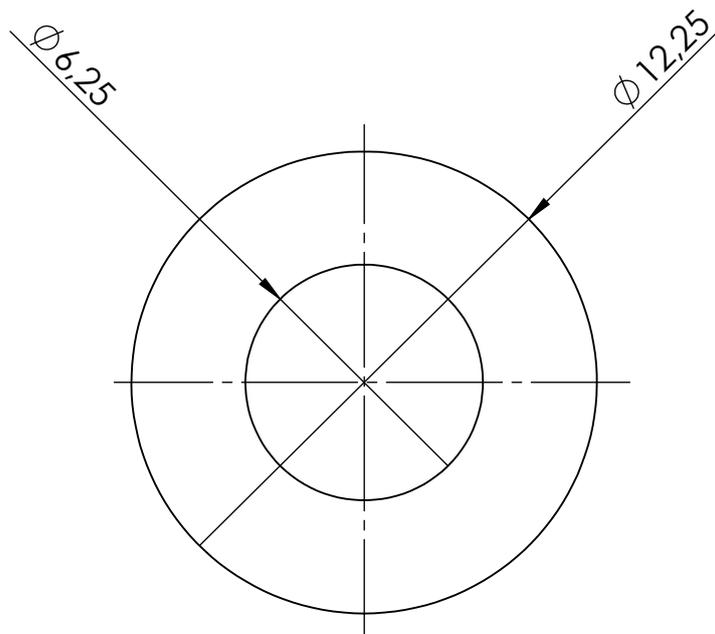
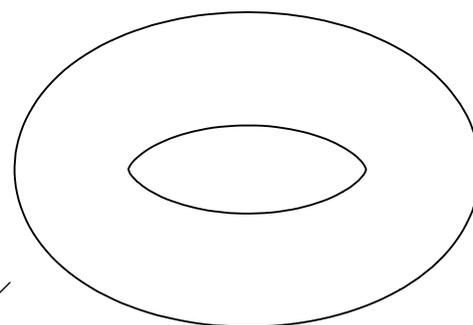
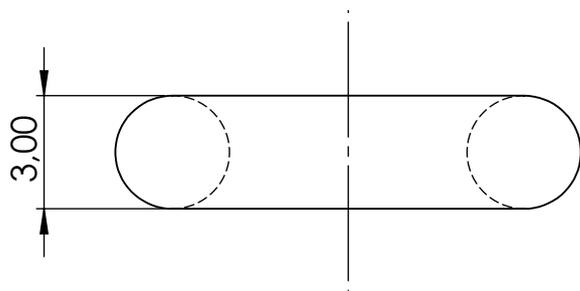
B

C

D

E

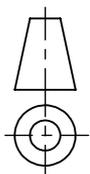
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es



Tipo de documento:

Si no se especifica lo contrario:  
Unidades en: **mm**  
Tolerancia  
Linear:  $\pm 0,2$  Angular:  $\pm 0,2^\circ$   
Acabado superficial: N9

Creado por:

Juan Francisco Rodríguez Franco

Fecha:

13/02/2019

Aprobado por:

Jose Enrique Del Rey García

15/02/2019

Description:

**ANILLO TÓRICO**  
Cantidad: 1

Acabado:

Material:

Referencia:

Revisión:

Hoja:

Linea Inyección

**A4**

Escala: **5:1**

**1 of 1**