



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE LA INYECCIÓN DE UREA EN CONDICIONES DE GASES DE ESCAPE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN**

AUTOR: SALVADOR GRIÑÁN EGEA

TUTOR: RAÚL PAYRI MARÍN

COTUTORA: GABRIELA BRACHO LEÓN

**Curso Académico: 2016-17**



# Agradecimientos

*Quiero aprovechar la ocasión para agradecer a Raúl Payri la oportunidad de realizar el Trabajo Final de Grado en el CMT. A Gabriela por haber hecho este proyecto posible. También a José Enrique, por su inestimable ayuda y su paciencia para conmigo. En general, agradecer a todas aquellas personas que han aportado su grano de arena en este proyecto: Omar, Armando, Alberto, Abian, Santiago, Jaime... y a todos los compañeros con los que he coincidido durante la realización de este trabajo: Pablo, Sara, Raúl, Laura...*

*Aprovecho estas líneas para agradecer y dedicar este proyecto a mi familia, por su apoyo y el ánimo que me han dado en los momentos más complicados. A mi padre, por sus consejos y a mi madre, por aguantar mis agobios.*



# Resumen

Los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR, Selective Catalytic Reduction) basados en una solución de urea en agua (UWS, Urea-water solution) es una prometedora tecnología con un gran potencial que permitirá cumplir con las normativas de emisiones de óxidos de nitrógeno ( $NO_X$ ), cada vez más restrictivas.

Parámetros como la presión de inyección o la orientación del inyector, así como el gasto de los gases de escape y su temperatura, entre otros, modifican el tiempo de vaporización y la homogeneidad de la mezcla urea-gas de escape.

El presente Trabajo Final de Grado desarrolla una herramienta experimental para el estudio óptico de la inyección de urea. Una instalación para la generación de un flujo de aire en la que se podrán ajustar tanto el gasto másico como la temperatura, permitiendo simular diferentes puntos de funcionamiento del motor, y una maqueta con 4 accesos ópticos para el estudio con diferentes técnicas ópticas han sido diseñadas.

**Palabras Clave:** Inyección de Urea, SCR, Diseño de maqueta de visualización.



# Resum

Els sistemes de reducció catalítica selectiva (SCR, Selective Catalytic Reduction) basats en una solució d'urea en aigua (UWS, Urea-water solution) és una prometedora tecnologia amb un gran potencial que permetrà complir amb les normatives d'emissions d'òxids de nitrògen ( $NO_X$ ), cada vegada més restrictives.

Paràmetres com la pressió d'injecció o l'orientació de l'injector, així com la despesa dels fums d'escape i la seua temperatura, entre altres, modican el temps de vaporització i l'homogeneïtat de la mescla urea-gas de fuga.

El present Treball Fi de Grau desenvolupa una ferramenta experimental per a l'estudi òptic de la injecció d'urea. Una instal·lació per a la generació d'un flux d'aire en què es podran ajustar tant la despesa màssica com la temperatura, permetint simular diferents punts de funcionament del motor, i una maqueta amb 4 accessos òptics per a l'estudi amb diferents tècniques òptiques han sigut dissenyades.

**Paraules clau:** Injecció d'Urea, SCR, Disseny de maqueta de visualització.





# Abstract

The selective catalytic reduction (SCR, Selective Catalytic Reduction) systems based on a solution of urea in water (UWS, Urea-water solution) are a promising technology with great potential in order to meet the standards of emissions of oxides of nitrogen ( $NO_X$ ), increasingly restrictive.

Parameters such as injection pressure or nozzle orientation, as well as the mass flow of gas exhaust and its temperature, among other, might affect the mixing time and the homogeneity of the exhaust urea-gas mixture.

The aim of the present Final Degree's Project is to develop a research tool for the optical study of urea injection. A facility for the generation of a flow of air that can provide a desired mass flow at a certain temperature, in order to simulate different operating points of the engine. The project also includes the design of a chamber with 4 optical accesses that will allow to perform studies with different optical techniques.

**Keywords:** Injection of Urea, SCR, Visualization Test Rig Design



# Índice general

I	Memoria	1
1	Introducción	3
1.1	Antecedentes . . . . .	3
1.2	Objetivos . . . . .	4
1.3	Justificación . . . . .	5
1.4	Estructura del trabajo . . . . .	6
2	Marco teórico	7
2.1	Emisiones contaminantes de vehículos Diésel. . . . .	7
2.2	Técnicas de reducción de emisiones contaminates en motores Diésel . . . . .	10
2.3	Óxidos de nitrógeno . . . . .	14
2.4	Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) . . . . .	16
2.5	Normativa Euro. . . . .	19
2.6	Componentes del sistema de inyección de urea . . . . .	21
2.7	Estado del arte de la inyección de urea . . . . .	23
2.8	Técnicas ópticas para la visualización del chorro de urea. . . . .	29
3	Diseño de Instalación de flujo de aire	31
3.1	Requerimientos . . . . .	33
3.2	Fase de diseño . . . . .	35
3.3	Instrumentación y equipos auxiliares . . . . .	51
4	Diseño de la maqueta de visualización	53
4.1	Requerimientos . . . . .	54
4.2	Fase de diseño . . . . .	55

5 Puesta a punto de la instalación	67
5.1 Control del flujo de aire. . . . .	67
5.2 Control de la temperatura . . . . .	68
5.3 Sistema de inyección. . . . .	69
5.4 Montaje final. . . . .	71
6 Conclusiones y trabajos futuros	73
6.1 Conclusiones . . . . .	73
6.2 Trabajos futuros . . . . .	74
II Bibliografía	75
Bibliografía	77
III Presupuesto	81
7 Presupuesto	83
7.1 Introducción . . . . .	83
7.2 Instalación de flujo de aire. . . . .	83
7.3 Maqueta de visualización. . . . .	86
7.4 Mano de obra . . . . .	86
7.5 Resumen de presupuesto . . . . .	87
IV Planos	89

# Índice de figuras

1.1. Edificio 6D, donde se ubica el CMT [1] . . . . .	4
2.1. Fases del proceso de combustión en motores diésel [10] . . . . .	8
2.2. Composición de los gases de escape en un motor MEC EIV en media carga y régimen de 2000 rpm [11] . . . . .	9
2.3. Formación de contaminantes en función del dosado relativo de la mezcla aire-combustible en MEC [10] . . . . .	9
2.4. Curva de emisiones de partículas VS $NO_X$ y combinación de técnicas para su reducción conjunta . . . . .	13
2.5. Esquema de un sistema SCR [14] . . . . .	16
2.6. Esquema de los distintos catalizadores de los sistemas SCR [10] . . . . .	17
2.7. Evolución anual de los precios de combustible en Valencia [16] . . . . .	18
2.8. Evolución de los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas para motores Diésel ligeros [17] . . . . .	20
2.9. Evolución de los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas para motores Diésel pesados [17] . . . . .	20
2.10. Esquema de sistema de inyección de urea asistido por aire [19] . . . . .	22
2.11. Esquema de sistema de inyección de urea Denoxtronic 5.0 de Bosch [20] . . . . .	22
2.12. Inyector de urea en orientación axial al flujo [21] . . . . .	23
2.13. Montaje de los ensayos de las maquetas de visualización empleadas por [22] . . . . .	23
2.14. Esquema de la bancada de ensayos del estudio [22] . . . . .	24
2.15. Bancada para el ensayo del estudio [23] . . . . .	25
2.16. Distribución de frecuencias de los ángulos de inyección de agua y urea en el estudio [23] . . . . .	26

2.17. Isocontornos de los chorros bajo diferentes condiciones de caudal y temperatura del gas, estudio [25] . . . . .	27
2.18. Esquema de la bancada de ensayos del estudio [25] . . . . .	27
2.19. Definición e ilustración de la distancia de mezcla, estudio [25] . . . . .	29
2.20. Imágenes obtenidas a partir de <i>Shadowgraphy</i> , estudio [23] . . . . .	30
3.1. Renderizado de la instalación de flujo de aire . . . . .	33
3.2. Soplador FPZ K07 MS . . . . .	36
3.3. Dimensiones del soplador FPZ (obtenidas del catálogo de FPZ) . . . . .	37
3.4. Accesorios renderizados para aspiración del soplador FPZ K07MS . . . . .	37
3.5. Gráfica de Temperatura vs Caudal en las resistencias del modelo LHS 91 . . . . .	38
3.6. Resistencias disponibles en el CMT . . . . .	39
3.7. Variación de la temperatura de salida de las resistencias LHS 91 (32kW) y LE 10000 DF-R HT (15kW) en función del caudal desarrollando el 100 % de potencia. . . . .	40
3.8. Potencia desarrolladas por las resistencias LHS 91 (32kW) y LE 10000 DF-R HT (15kW) colocadas en serie para alcanzar 400 °C en función del caudal . . . . .	41
3.9. Dimensiones de la resistencia LE 10000 DF-R HT (Imagen obtenida del catálogo de Leister) . . . . .	42
3.10. Dimensiones de la resistencia LHS 91 (Imagen obtenida del catálogo de Leister) . . . . .	43
3.11. Renderizado de la resistencia LE 10000 DF-R HT . . . . .	43
3.12. Accesorios adquiridos para Resistencia LE 10000 DF-R HT . . . . .	44
3.13. Resistencias disponibles en el CMT . . . . .	45
3.14. Renderizado del caudalímetro 5WK9623 . . . . .	46
3.15. Jacks disponibles en el CMT . . . . .	47
3.16. Renderizado de la estructura de la instalación de flujo de aire . . . . .	48
3.17. Renderizado de la canalización de la instalación de flujo de aire . . . . .	49
3.18. Renderizado del detalle de los diferentes módulos de la canalización de la instalación de flujo de aire . . . . .	49
3.19. Renderizado de las partes diseñadas y realizadas en el CMT del flujo de la instalación de aire . . . . .	50
3.20. Piezas para unión con caudalímetro y resistencia . . . . .	51
3.21. Interfaz de control y visualización de datos del display . . . . .	52
4.1. Renderizado de la maqueta de visualización . . . . .	54
4.2. Renderizado de las ventanas de la maqueta de visualización . . . . .	56

4.3. Renderizado de detalle de soportes y ventanas de la maqueta de visualización . . .	57
4.4. Base y detalle de su montaje . . . . .	58
4.5. Brida Inlet y detalle de su montaje . . . . .	60
4.6. Brida Outlet y detalle de su montaje . . . . .	61
4.7. Orientaciones del inyector . . . . .	62
4.8. Modelado del inyector . . . . .	62
4.9. Portainyector 90° y detalle de montaje . . . . .	63
4.10. Portainyector 60° y detalle de montaje . . . . .	64
4.11. Portainyector 45° y detalle de montaje . . . . .	65
4.12. Sistema de fijación del inyector . . . . .	65
4.13. Sistema de fijación sobre portainyector de 60° de inclinación . . . . .	66
5.1. Variador de frecuencia utilizado . . . . .	67
5.2. Componentes del control de la resistencia LE 10000 DF-R HT . . . . .	69
5.3. Inyector de urea adquirido . . . . .	70
5.4. Módulo de transporte adquirido . . . . .	70
5.5. Instalación de flujo de aire . . . . .	71





# Índice de tablas

2.1. Evolución de los límites de emisiones en la Unión Europea para vehículos Diésel ligero y turismos [18] . . . . .	21
2.2. Puntos de ensayo del estudio [22] . . . . .	24
2.3. Puntos de ensayo del estudio [23] . . . . .	26
2.4. Condiciones de ensayo del estudio [25] . . . . .	28
3.1. Condiciones de contorno de flujo y temperatura para el diseño de la instalación de aire de los diferentes artículos estudiados. . . . .	34
3.2. Alternativas de sopladores . . . . .	35
3.3. Características del soplador FPZ K07 MS . . . . .	36
3.4. Alternativas de resistencias . . . . .	38
3.5. Potencia (kW) necesaria para el rango de puntos de ensayo . . . . .	40
3.6. Alternativas para medición de caudal . . . . .	44
3.7. Características de los Jacks disponibles en el CMT . . . . .	46



Parte I

Memoria



## Capítulo 1

# Introducción

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Descripción del CMT

El presente Trabajo final de grado se desarrolla en el Centro de Motores Térmicos (CMT), un centro de investigación y educación dedicado al desarrollo de los futuros motores de combustión y asociado al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos (DMMT). Durante sus más de 30 años de funcionamiento, se han realizado estudios para la optimización del funcionamiento del motor tanto mediante pruebas experimentales como a través del cálculo teórico. Esta investigación se basa fundamentalmente en las empresas del sector tanto a nivel nacional como internacional: Jaguar Land Rover, Nissan, PSA... y entidades públicas como RENFE o EMT de Valencia.

El Centro se encuentra dividido en diferentes áreas de trabajo. En concreto, la línea de Inyección supone uno de los pocos centros en España dedicado al estudio de la inyección. Cuentan con instalaciones que permiten medir parámetros como la tasa de inyección, el ángulo de apertura del chorro o la longitud líquida del chorro, entre otros, en diferentes condiciones de funcionamiento.

En lo que respecta al aspecto humano, el CMT cuenta con personal con una amplia experiencia en lo que respecta a los motores de combustión interna alternativos (MCIA).

En lo que respecta a la inyección de Urea en particular, con el presente trabajo, el CMT pretende comenzar a ofrecer estudios para la caracterización del chorro de urea bajo condiciones realistas de funcionamiento.



Figura 1.1: Edificio 6D, donde se ubica el CMT [1]

### 1.1.2 Estudios anteriores de urea en el CMT

El estudio de la inyección de urea ha comenzado recientemente a tener importante interés debido a la necesidad de su incorporación a los vehículos ligeros y turismos, ya que conocer el comportamiento del chorro permitirá optimizar parámetros como la presión de inyección o el ángulo de inyección, permite reducir la masa inyectada y la homogeneización de la mezcla gas de escape-urea.

El único trabajo que se ha desarrollado en el CMT relacionado con la inyección de urea es el Proyecto Final de Carrera de Jorge Valero Marco en junio de 2012 [2], el cual realiza diversos estudios de un sistema SCR (selective catalytic reduction) basados en la visualización del sistema en condiciones realistas, así como la caracterización de las propiedades físicas del fluido de operación, el Adblue.

Esta visualización se realizó mediante endoscopios situados en diferentes puntos del tubo de escape, aguas arriba del catalizador SCR, de manera que se pudiera caracterizar la mezcla gas de escape - urea desde la inyección de la urea hasta la entrada al catalizador.

## 1.2 Objetivos

- **Conocer el estado del arte del sistema de inyección de urea y el SCR**

Los sistemas SCR es una tecnología recientemente aplicada a vehículos ligeros y turismos, donde la condiciones de contorno para su implantación reside principalmente en el espacio disponible para la instalación del sistema, la eficiencia de reacción y el consumo del consumible catalizador. Es por esto que la mayor parte de las investigaciones en lo relacionado con esta tecnología se han dirigido a caracterizar el chorro de urea inyectado y conocer su comportamiento al cambiar parámetro como la presión de inyección. Así, este trabajo comenzó con un estudio de diferentes artículos científicos con el objetivo de conocer las

distintas técnicas y bancadas de ensayo utilizadas para la visualización del chorro, así como sus conclusiones.

Estos bancos de ensayos para el estudio de los sistemas de inyección de urea se basan principalmente en un generador de flujo de aire caliente, un acceso óptico y el sistema de inyección en el acceso óptico o en sus proximidades.

- **Diseñar una instalación experimental**

A partir de la información adquirida de las diferentes formas de realizar los estudios, se ha diseñado una maqueta de visualización para la inyección de urea que permita el estudio de todo el chorro desde los primeros milímetros del chorro hasta su evaporación gracias a ventanas rectangulares con un espacio visual accesible de aproximadamente 74x169mm.

Para simular el flujo de aire se ha desarrollado una instalación que permite simular el flujo y la temperatura de los gases de escape de un vehículo ligero o turismo.

- **Definir los elementos de instrumentación y control**

Por último se seleccionan los distintos elementos de instrumentación como termopares para el control de la temperatura, un variador de frecuencia y caudalímetros para determinar el flujo másico de aire, entre otros, así como los distintos aparatos necesarios para el estudio de visualización.

### 1.3 Justificación

El uso del amoníaco ( $NH_3$ ) como agente reductor dentro de un sistema SCR comenzó en la década de 1980 en motores estacionarios y marinos. Con las consecutivas normativas de emisiones para vehículos cada vez más restrictivas, tanto por parte de la Unión Europea (normas Euro) como en otros países como Estados Unidos (Tier Bin), ha sido necesario la implantación de estos sistemas SCR en vehículos, comenzando por los vehículos pesados en 2008 con la normativa Euro V [3], hasta la actualidad, cuando las restricciones de emisiones de  $NO_X$  de la normativa Euro 6 para vehículos ligeros (2014) ha hecho necesario su implantación en vehículos Diesel.

A diferencia de los vehículos pesados o los motores estacionarios, mejorar la eficiencia de los sistemas SCR de los vehículos ligeros resulta más complicada debido al poco espacio disponible para el sistema de postratamiento y a las dimensiones del tubo de escape, debido a que, al ser de un tamaño reducido, el chorro de urea impregna las paredes [4], dificultando su evaporación y una correcta homogeneización de la mezcla urea-gas de escape, además de la formación de depósitos.

Mejorar el sistema de inyección del agente reductor es una prometedora forma de mejorar la eficiencia del sistema SCR. La cualidad de la mezcla se ve afectada por numerosos parámetros: El inyector [5, 6], la geometría de la pipa de escape [7], Desarrollo del flujo interno [8], la localización del inyector en el tubo de escape y su orientación con respecto al flujo, etc.

Con el fin de cuantificar la calidad de la mezcla (vaporización, homogeneidad) a la entrada al catalizador SCR es necesario emplear técnicas de diagnóstico óptico. Tales técnicas permiten una caracterización detallada de la distribución espacial de amoníaco (procedente de la descomposición de urea) aguas arriba del catalizador SCR.

Así mismo, en el último año CMT ha recibido peticiones de empresas del sector privado para realizar estudios en este ámbito. Por todo ello, el objetivo de este documento es presentar un diseño de una instalación experimental que tenga la capacidad de caracterizar la morfología del chorro y de la mezcla de urea en geometrías representativas de los conductos de escape.

## 1.4 Estructura del trabajo

El presente Trabajo final de grado está organizado en tres documentos principales: la memoria, el presupuesto y los planos de diseño.

La memoria del trabajo presentará 5 apartados:

- **Marco teórico**, en el que se pretende contextualizar el proyecto introduciendo los distintos tipos de emisiones contaminantes de motores Diésel, las técnicas para evitar su formación o su eliminación, así como la evolución de las normativas Euro, los sistemas SCR y las técnicas ópticas que se pretenden aplicar en el estudio de la inyección de urea.
- **Desarrollo del proceso de diseño de la instalación de flujo de aire**, desde las condiciones de diseño hasta la instrumentación y equipos auxiliares requeridos para su funcionamiento.
- **Desarrollo del proceso de diseño de la maqueta de visualización**, de forma análoga al capítulo anterior, describiendo las condiciones del diseño de la maqueta de visualización, considerando los aspectos mencionados en el apartado de marco teórico.
- **Puesta a punto de la instalación**, Donde se detallará los diferentes componentes, así como su control o lectura de parámetros.
- **Conclusiones**, Por último se presentarán los diferentes resultados obtenidos, dificultades, defectos y posibles mejoras.

Posteriormente se mostrará el presupuesto del proyecto, detallando por separado la instalación de aire y la maqueta de visualización, además de la mano de obra y los elementos auxiliares.

Finalmente se encuentran los planos de diseño de la instalación de flujo de aire, así como los de la maqueta de visualización.



## Capítulo 2

# Marco teórico

### 2.1 Emisiones contaminantes de vehículos Diésel

La diferencia principal y que da lugar a la clasificación más conocida de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) es el inicio del proceso de combustión. En el motor Diesel se produce por el autoencendido del combustible debido a las condiciones de alta presión y temperatura en las proximidades del punto muerto superior (PMS) del cilindro tras la carrera de compresión. Los motores Gasolina, sin embargo, necesitan de una bujía que genere una chispa dentro de la cámara de combustión para producir el encendido de la mezcla. Se denominan así a los motores Diesel como motores de encendido por compresión (MEC) y a los motores Gasolina como motores de encendido provocado (MEP).

Centrando el interés en los motores MEC, su proceso de combustión se caracteriza por tres fases [9]:

**Fase I:** Retraso al autoencendido. Fase sin liberación de calor, entre el inicio de inyección y de combustión.

**Fase II:** Fase de combustión premezclada: Comienza con el inicio de la combustión y dura hasta el mínimo relativo tras el primer pico de liberación de calor. En esta fase el combustible consumido es el que ha sido inyectado y mezclado con el aire en la fase anterior.

**Fase III:** Fase de combustión por difusión: Es la última fase y en la que el combustible se quema a medida que se va evaporando y alcanzando las condiciones estequiométricas locales con el aire. Esta fase es la más larga y está controlada por la tasa de inyección, la evaporación del combustible y la mezcla de aire.

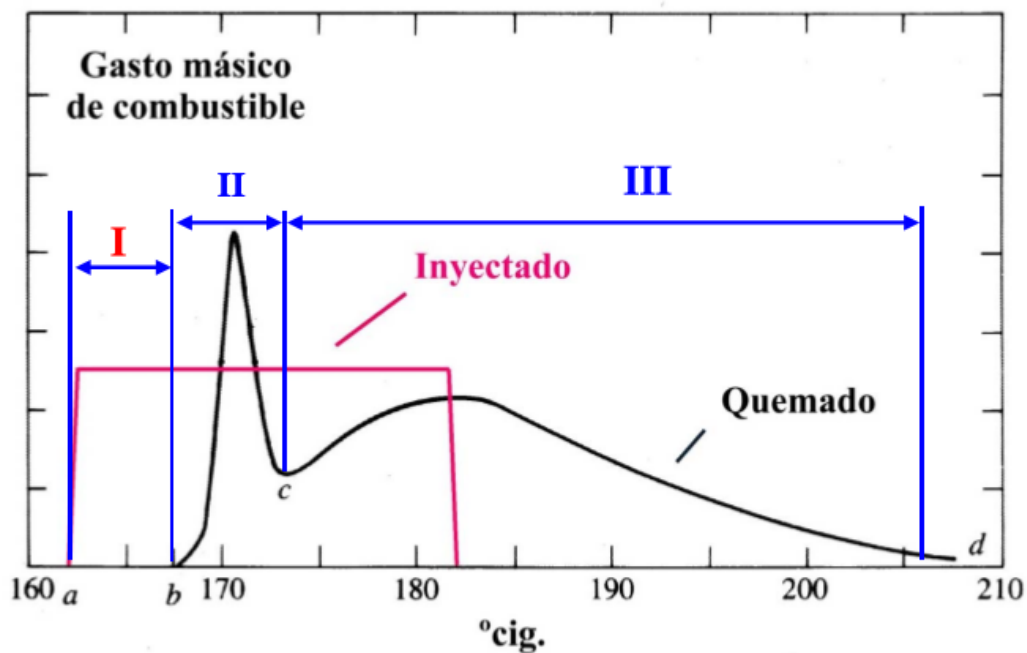


Figura 2.1: Fases del proceso de combustión en motores diésel [10]

Los principales contaminantes generados a causa de la combustión en los MCI de encendido por compresión (MEC) son (aparte del dióxido de carbono  $-CO_2$  - propio de la combustión de hidrocarburos ideal) [9]:

- **Monóxido de carbono ( $CO$ )**, casi despreciable y debido principalmente a dos fenómenos: por un lado, la existencia de dosados locales muy pobres y donde la mezcla no es capaz de soportar una rápida combustión. La segunda fuente es debida a zonas con dosados muy ricos en los que el combustible no es capaz de mezclarse con la suficiente cantidad de aire para producir la oxidación completa.
- **Hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados ( $HC$ )**, debido a la combustión incompleta, al apagado de llama por efecto de pared o misfiring, fugas de escape, cortocircuito de carga fresca, dosados locales altos, etc.
- **Óxidos de nitrógeno ( $NO_X$ )** debido a la presencia de nitrógeno en el aire y condiciones de altas temperaturas y presiones en la cámara de combustión. Se desarrollará un apartado de estos contaminantes más adelante.
- **Partículas** como el hollín debido a la oxidación incompleta, y otras partículas, sólidas y líquidas debido a las impurezas del combustible, cenizas, restos de aceite y a la reacción de determinados compuestos con la atmósfera, denominando a estos últimos contaminantes como secundarios, ya que no son emitidos directamente por el motor.
- **Óxidos de azufre ( $SO_X$ )** debido al contenido de azufre del combustible, cada vez más restringido (actualmente máximo 10ppm). En condiciones de mezcla pobre, se forma principalmente  $SO_2$  y, en menor medida,  $SO_3$ . Si se dan condiciones de mezcla rica, tienen lugar, además, otras especies como el  $HS$ ,  $H_2S$  y  $COS$ .

### MEC EIV

(Media carga, 2000 rpm)

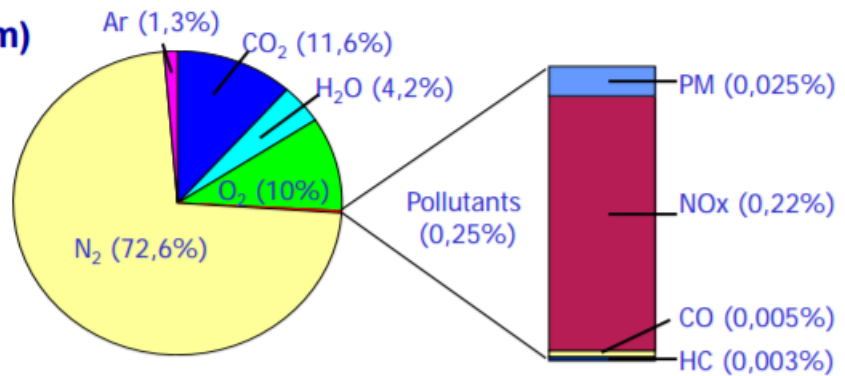


Figura 2.2: Composición de los gases de escape en un motor MEC EIV en media carga y régimen de 2000 rpm [11]

De la figura 2.2 se puede observar que las emisiones de  $NO_X$  y hollín son, con diferencia, las sustancias más importantes a eliminar. Estas sustancias se producen, principalmente, debido a la fase de combustión por difusión, en zonas de dosado rico donde el combustible tiene dificultades para oxidarse. Una situación opuesta es la que ocurre en motores MEP, ya que la combustión es premezclada y donde el principal contaminante es el  $CO$  debido a su combustión con dosado relativo igual a 1.

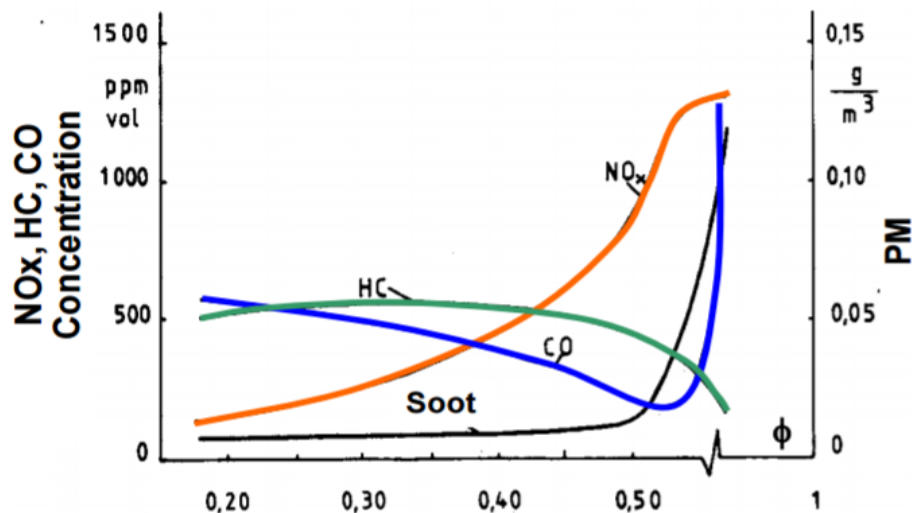


Figura 2.3: Formación de contaminantes en función del dosado relativo de la mezcla aire-combustible en MEC [10]

## 2.2 Técnicas de reducción de emisiones contaminantes en motores Diésel

Con motivo de las restricciones contaminantes, se han ido implementando y adoptando diferentes medidas para la reducción de los contaminantes. Se distinguen así dos métodos o estrategias [9]:

- **Soluciones activas**, que consiste en la reducción de las emisiones en la fuente y que afectan, por tanto, al diseño del motor y sus componentes. El objetivo de estas técnicas es evitar la formación de contaminantes.
- **Soluciones pasivas**, también llamados sistemas de post-tratamiento y que tienen lugar a la salida del motor, antes del vertido a la atmósfera, y que tratan de reducir los contaminantes utilizando dispositivos en la línea de escape. Se trata de técnicas que reducen los elementos contaminantes formados, a diferencia de las anteriores.

Existe, en general, un conflicto entre las tendencias de formación de las distintas sustancias contaminantes emitidas por el motor. Así, la formación de óxidos de nitrógeno es debida a altas presiones y temperaturas y la presencia de oxígeno y son estas condiciones las que favorecen la disminución de contaminantes como el monóxido de carbono o las partículas, en el caso de los motores Diésel.

Este capítulo se centrará en introducir las diferentes técnicas habitualmente usadas para la reducción de emisiones en motores de encendido por compresión, en los cuales las emisiones más características son los  $NO_X$  y las partículas. Por esta razón, la mayor parte de los desarrollos tecnológicos en materia de emisiones en motores Diésel van dirigidas a reducir temperaturas de llama y modificar tiempos de residencia y a optimizar la formación del chorro de inyección en la cámara de combustión.

### 2.2.1 Técnicas activas

- **Diseño de la cámara de combustión**

La cámara de combustión, que en el caso de motores Diésel de inyección directa, se encuentra tallada en el pistón, tiene como premisa favorecer la turbulencia de manera que aumente la interacción entre el chorro y los patrones de flujo. El diseño del bowl, de la geometría de los conductos de admisión y de las características del sistema de inyección debe realizarse de forma conjunta para cada motor ya que es la combinación de los distintos diseños lo que realmente determinará las prestaciones y emisiones alcanzadas.

- **Sistema de inyección**

Actuar sobre el chorro significa actuar sobre el desarrollo del proceso de combustión. A modo de ejemplo y recordando lo escrito anteriormente, un aumento de la presión de inyección supone una atomización más fina, mejorando el proceso de mezcla y evaporación, acelerándose así la combustión y disminuyendo la formación de hollín y a la vez, por el contrario, aumentando la formación de  $NO_X$ . De la misma forma, además de la presión de inyección, se controla el adelanto o retraso de la inyección, así como otra serie de parámetros.

- **Recirculación de los gases de escape**

La recirculación de los gases de escape (EGR: Exhaust Gas Recirculation) es una buena solución para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno. Se trata de introducir gases de escape en la admisión con el fin de ralentizar la velocidad de combustión debido a la existencia de compuestos inertes. Esto provoca una disminución de la temperatura de llama y, por consiguiente, la formación de  $NO_X$ . En los motores Diésel se puede tener que llegar a recircular hasta el 50 % de los gases de escape. Es importante remarcar que la disminución de las emisiones de  $NO_X$  provocadas por esta técnica no es debido principalmente a los efectos térmicos y químicos sobre la reacción de combustión, sino por los efectos de dilución. De forma análoga al control del sistema de inyección, el EGR permite disminuir la formación de  $NO_X$  a costa de aumentar las emisiones de partículas e hidrocarburos sin quemar, sobre todo a altos grados de carga, por lo que este sistema funciona con grados de carga bajos o medios. También es importante tener en cuenta el grado de ensuciamiento producido por el paso de gases residuales en la admisión.

- **Enfriamiento del aire de admisión**

El enfriamiento del aire en la admisión mediante un intercambiador de calor o intercooler en el caso de motores sobrealimentados (se sitúa a la salida del compresor) es importante para reducir las temperaturas de combustión y con ello la emisión de  $NO_X$ .

- **Combustión a baja temperatura. LTC y PCCI**

De nuevo, bajar la temperatura de combustión conduce a disminuir las emisiones de  $NO_X$  incrementando las de  $HC$ .

La combustión a baja temperatura (LTC: Low Temperature Combustion) se basa en aumentar la cantidad de combustible que se quema en la etapa premezclada, evitando la formación de hollín, y en introducir grandes tasas de EGR para mantener una temperatura máxima de combustión fuera de la región de formación de  $NO_X$ .

Otra tecnología desarrollada son los sistemas de encendido por compresión de carga premezclada (PCCI). Se busca aumentar el tiempo de retraso (tiempo que transcurre entre inicio de inyección e inicio de combustión) inyectando a temperaturas más bajas. Así, la combustión es controlada por la cinética química ocurriendo en presencia de especies oxidantes y a temperaturas por debajo de las de formación de  $NO_X$ .

### 2.2.2 *Técnicas pasivas*

La cantidad de contaminantes que salen del cilindro hacia el escape es muy variada y dependen de muchos factores como el tipo de motor, grado de carga o temperatura de la cámara de combustión. Estos contaminantes tienen origen en desequilibrios químicos por congelación de las reacciones de equilibrio al enfriarse el gas, fallos en la combustión, oxidación parcial del combustible, etc. Así, se tienen los compuestos oxidantes como el  $O_2$  y los  $NO_X$  y otros reductores como el  $CO$ , el  $H_2$  y los  $HC$ .

Existen diversas estrategias para evitar el vertido de estos contaminantes a la atmósfera: reactivar ciertas reacciones químicas ( $CO$  y  $NO$  para formar finalmente  $CO_2$ ,  $N_2$  y  $O_2$ ), provocar

o acelerar reacciones químicas de oxidación ( $HC$  y hollín) o sistemas que impiden la salida a la atmósfera, reteniendo los contaminantes por vía química o física ( $NO_X$  y partículas).

Se distinguen así cinco grupos de técnicas según su principio de funcionamiento:

■ **Reactores térmicos**

Los reactores térmicos tienen por objeto oxidar el monóxido de carbono ( $CO$ ) y los hidrocarburos ( $HC$ ) produciendo así  $CO_2$  y  $H_2O$  en el sistema de escape. Esta solución está prácticamente en desuso en motores de automoción por factores como el elevado coste, no afectar a las emisiones de  $NO_X$  y la necesidad de inyectar aire en caso de mezclas ricas.

■ **Reactores catalíticos**

A continuación, se introducirán los reactores catalíticos de una forma más extendida que el resto de técnicas ya que su modo de funcionamiento es importante conocerlo en cierta profundidad para entender el funcionamiento de los sistemas SCR.

La presencia de sustancias catalizadoras permite acelerar las reacciones de oxidación y reducción que no han alcanzado el equilibrio químico a la salida del cilindro gracias al aumento del rendimiento de la reacción. Como componentes catalizadores, actualmente se usan metales preciosos como el platino (Pt), paladio (Pd) o rodio (Rh), y mezclas entre ellos. Así, el paladio se usa para oxidar el  $CO$ , el rodio para la reducción de  $NO_X$ , y el platino y paladio para la oxidación de aromáticos, entre otros. En función de la composición del gas de escape, que a su vez es función del dosado de la mezcla y de la posible inyección de aire, un catalizador puede ser:

**De oxidación.** Activo frente al  $CO$  y los  $HC$ , y ocasionalmente frente a las partículas. Se utiliza cuando existe oxígeno. Aunque no es útil en la reducción de  $NO_X$  en mezclas pobres, permite la oxidación de  $NO$  a  $NO_2$ . Se trata de una tecnología de muy establecida, de coste moderado, sin mantenimiento, que apenas afecta al consumo y contribuye a la atenuación del ruido.

**De oxidación.** Activo frente al  $CO$  y los  $HC$ , y ocasionalmente frente a las partículas. Se utiliza cuando existe oxígeno. Aunque no es útil en la reducción de  $NO_X$  en mezclas pobres, permite la oxidación de  $NO$  a  $NO_2$ . Se trata de una tecnología de muy establecida, de coste moderado, sin mantenimiento, que apenas afecta al consumo y contribuye a la atenuación del ruido.

**Catalizador de tres vías.** En esencia, un catalizador puede comportarse como de oxidación o de reducción según el contenido de oxígeno en el escape, es decir, según el dosado de la mezcla en el proceso de combustión. Por lo tanto, el catalizador de tres vías debe funcionar siempre zonas cercanas al dosado estequiométrico. Esto hace incompatible su uso en motores Diésel.

## Reactores químicos

Se basan en disminuir la concentración de ciertos productos contaminantes mediante reacciones químicas en los gases de escape. Los más usados son los sistemas de reducción catalítica selectiva SCR para disminuir los óxidos de nitrógeno. Esta tecnología se expondrá de una forma más detallada en los siguientes apartados.

### Filtros químicos

Se trata de una alternativa a los SCR para la reducción de  $NO_X$  en motores de mezcla pobre. El principio de funcionamiento es almacenar los óxidos de nitrógeno durante condiciones de operación habituales con mezcla pobre, actuando como un catalizador de oxidación haciendo que el  $NO$  se convierta en  $NO_2$ , para liberarlos posteriormente en condiciones de mezcla rica, cuando el  $NO_2$  es reducido a  $N_2 + O_2$ . En el caso de motores Diésel, los sistemas de almacenamiento y reducción de  $NO_X$ , llamados NSR ( $NO_X$  Storage - reduction) o LNT (Lean  $NO_X$  Tramps), las condiciones de mezcla rica se generan mediante la inyección de combustible en el cilindro durante la etapa final de expansión, lo que provoca un aumento del consumo entorno a un 3

### Filtros de partículas

Los sistemas de filtro de partículas en motores Diesel (DPF: Diesel Particulate Filter) tienen la función de recoger las partículas provenientes del hollín, los hidrocarburos, los sulfatos, el agua y una pequeña cantidad de cenizas. Los más extendidos son los de tipo wall Flow. Se trata de una estructura monolítica de material cerámico y sección cilíndrica u ovalada, con un gran número de canales paralelos y reducida sección transversal, que atraviesa longitudinalmente el monolito y que tienen sus extremos sellados alternativamente, obligando al flujo del gas a atravesar la pared porosa del monolito, actuando de medio filtrante.

#### 2.2.3 Ejemplo de combinación de técnicas

Estas tecnologías, tanto activas como pasivas, se suelen combinar para conseguir de forma conjunta la reducción eficaz de las emisiones. En la figura 2.4 se muestra, a modo de ejemplo una gráfica de una curva genérica de formación de partículas y  $NO_X$ . En distinta escala de grises se muestran las zonas de emisiones límite.

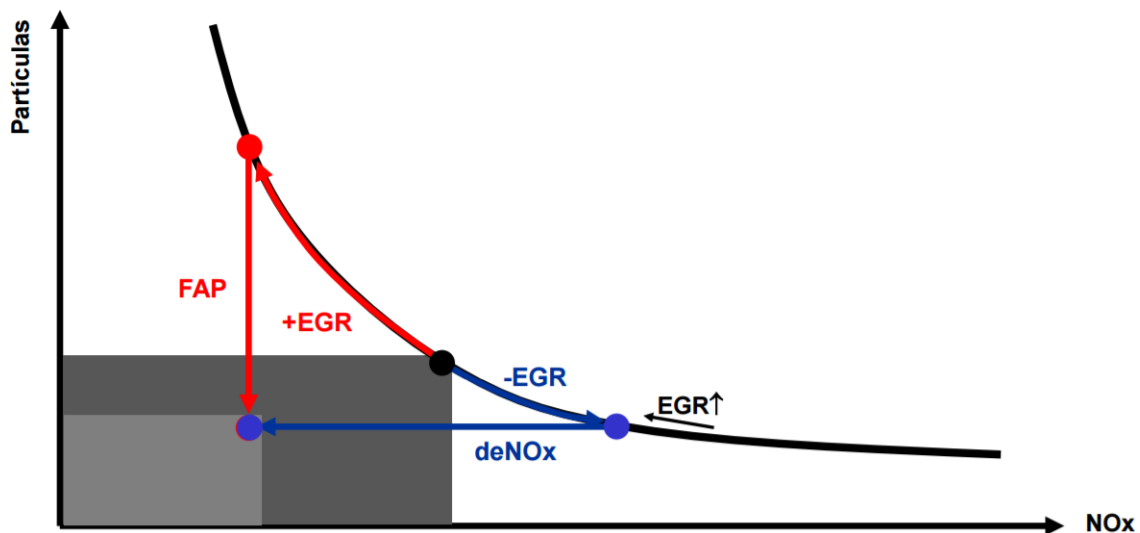


Figura 2.4: Curva de emisiones de partículas VS  $NO_X$  y combinación de técnicas para su reducción conjunta

Se han mostrado dos estrategias de reducción de estas emisiones y conseguir cumplir con las nuevas emisiones (zona gris clara). Por un lado, en rojo, partiendo del punto negro, se considera

aumentar la tasa EGR con el fin de disminuir la producción de óxidos de nitrógeno. Esto supone un aumento de la producción de partículas, por lo que se debe mejorar o instalar un filtro de partículas que permita eliminarlas.

En azul se muestra una estrategia opuesta, donde se disminuye la tasa de EGR, disminuyendo así la producción de partículas cumplir con los nuevos límites, a costa de aumentar la generación de óxidos de nitrógeno. Se combina con tecnología de  $NO_X$  para eliminarlos, bien mediante una trampa de  $NO_X$  o con un sistema SCR.

Actualmente es ésta última estrategia la que más se está implementando para la reducción de emisiones en motores Diésel.

## 2.3 Óxidos de nitrógeno

Generalmente, se designa  $NO_X$  a los óxidos de nitrógeno, principalmente  $NO$  y  $NO_2$ . En los motores se forma principalmente óxido nítrico,  $NO$ , pues su cinética química es dominante frente a la del  $NO_2$ . Sin embargo, suelen aparecer importantes cantidades de  $NO_2$  debido a la conversión de  $NO$  en  $NO_2$  en zonas de baja temperatura e importante cantidad de  $O_2$ .

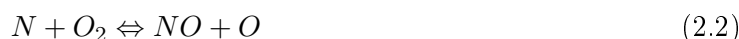
La importancia de su tratamiento para evitar el vertido a la atmósfera viene dada por los siguientes efectos que ocasionan:

- Se trata de uno de los principales responsables de la lluvia ácida y potencialmente productores de smog fotoquímico.
- El dióxido de nitrógeno, de olor penetrante y color marrón rojizo, causa irritación en los pulmones.
- El monóxido de nitrógeno es una sustancia que provoca la reducción de ozono en la estratosfera.

### 2.3.1 Óxido Nítrico ( $NO$ )

La formación del  $NO$  en la combustión de combustibles convencionales se debe a tres mecanismos principales [12]: térmico, súbito o debido al  $N_2O$  intermedio.

El principal mecanismo de formación a altas temperaturas de  $NO$  es el térmico. El óxido nítrico se genera por la oxidación del nitrógeno presente en el aire atmosférico, siendo éste el oxidante más habitual. La oxidación se produce por un mecanismo de reacción en cadena, propuesto por Zeldovich. Las reacciones principales que gobiernan la formación de  $NO$  son:



Los átomos de N liberados en estas reacciones son oxidados a  $NO$  debido al radical hidroxilo ( $OH$ ) según la reacción propuesta por LAVOIE, HEYWOOD y KECK [13]:





La reacción en cadena propuesta por las tres anteriores fórmulas se inicia con la presencia de átomos de oxígeno, formados por la disociación de moléculas de oxígeno, provocada por las elevadas temperaturas que se alcanzan en los procesos de combustión. La energía de activación de la reacción 2.1 es elevada (319 KJ/kmol), es decir, existe una fuerte dependencia de la temperatura y, así, a temperaturas inferiores a 1800-2000 K, este mecanismo de formación de  $NO$  deja de ser dominante.

### 2.3.2 Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )

En motores Diesel, la cantidad de  $NO_2$  emitida puede llegar a suponer entre un 10 y un 30 % de las emisiones totales de  $NO_X$ . Además, presenta un mayor potencial que el  $NO$  para contribuir a la lluvia ácida y el smog fotoquímico. La formación de  $NO_2$  ocurre cuando las moléculas de  $NO$ , procedentes de las zonas de alta temperatura, se difunden hacia regiones más ricas en radicales  $HO_2$ , según la siguiente reacción:



Donde el radical  $HO_2$  se forma en regiones de baja temperatura según 2.5



Sin embargo, existen dos reacciones que son muy activas a altas temperaturas y que provocan la desaparición del  $NO_2$ :



De manera que la formación de  $NO_2$  es inversamente proporcional a la temperatura, ya que los radicales  $HO_2$  se forman en regiones de baja temperatura y a que existen reacciones que lo eliminan a alta temperatura. En condiciones normales, el  $NO_2$  solamente existiría como una 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  $NO_2$ . Otros autores definen la siguiente reacción de formación en la zona de combustión:



Esta reacción se produce como consecuencia del rápido enfriamiento del gas quemado en las zonas cercanas a la pared de la cámara de combustión.

En cuanto a la proporción de  $NO_2$  en los óxidos de nitrógeno emitidos por un motor, ésta se incrementa si existe un catalizador de oxidación, ya que en ellos se produce la conversión de  $NO$  a  $NO_2$ .

## 2.4 Sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR)

Los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR: Selective Catalytic Reduction) se engloban dentro de los sistemas de postratamiento como un reactor químico. Se trata de un sistema que permite disminuir los óxidos de nitrógeno en el escape incluso en presencia de oxígeno. Los sistemas SCR comenzaron a usarse en la década de 1980 en motores estacionarios y marinos, donde se inyectaba directamente amoníaco ( $NH_3$ ) sin diluir. Recientemente y debido a las cada vez más restrictivas normativas de emisiones, se ha extendido su uso a vehículos. El transporte y almacenamiento de amoníaco resulta peligroso, por lo que en la aplicación de los sistemas SCR para vehículos se usa una dilución de urea al 32,5 % en agua (Aus32), comercialmente conocida como AdBlue®. Se trata de un compuesto no tóxico, aunque sí tiene cierta capacidad corrosiva, biodegradable y de bajo coste. Un ejemplo de un sistema SCR se muestra en la figura 2.5.

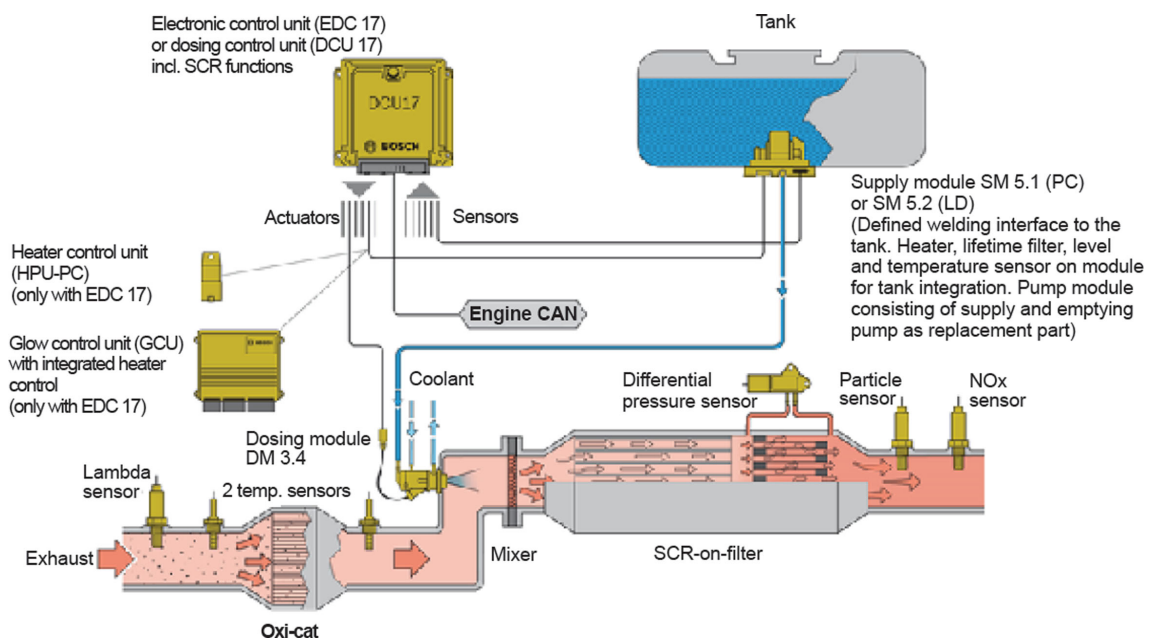
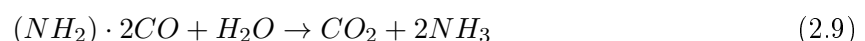


Figura 2.5: Esquema de un sistema SCR [14]

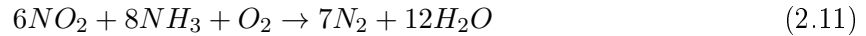
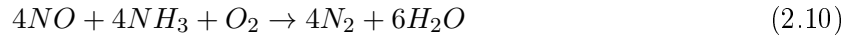
El objetivo es reducir los  $NO_X$  contaminantes a inofensivo  $N_2$  mediante una reducción catalítica selectiva con amoníaco ( $NH_3$ ) como agente reductor. El amoníaco es adecuado para reaccionar con los  $NO_X$  en presencia de un catalizador en las condiciones de baja temperatura de los gases de escape típicas de un motor Diésel. Se produce por las sucesivas termólisis e hidrólisis de solución de agua y urea.

El esquema básico de un sistema SCR es una sucesión de catalizadores en el que se producen diferentes reacciones:

En primer lugar, se encuentra un catalizador de oxidación con el fin de reducir la concentración de  $CO$  y de  $HC$ , además de transformar el  $NO$  a  $NO_2$ , pues el amoníaco reacciona más eficientemente con el  $NO_2$  el  $NO$ . A continuación se sitúa el inyector de Urea. Seguidamente, se encuentra el catalizador de hidrólisis de urea, donde tiene lugar la reacción 2.9.



Posteriormente se encuentra el catalizador SCR propiamente dicho. Se trata de un catalizador de reducción formado por una mezcla de óxidos de vanadio y de titanio en un substrato cerámico. Las reacciones químicas son [15]:



Es común encontrar un mezclador o torbellinador después del inyector y antes del catalizador de reducción con el fin del mejorar la homogeneidad de la mezcla.

La cantidad de urea inyectada debe controlarse con precisión ya que un exceso conllevaría a la emisión de amoníaco por el escape. Es por esto que al final del sistema SCR se sitúa un catalizador de limpieza (oxidación), además de un sensor para detectar la presencia de amoníaco. Un esquema de los distintos catalizadores SCR se muestra en la figura 2.6.

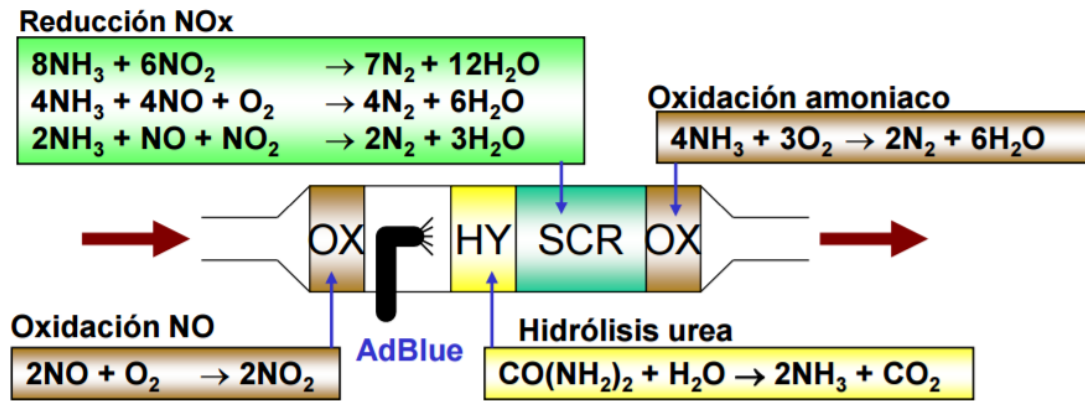


Figura 2.6: Esquema de los distintos catalizadores de los sistemas SCR [10]

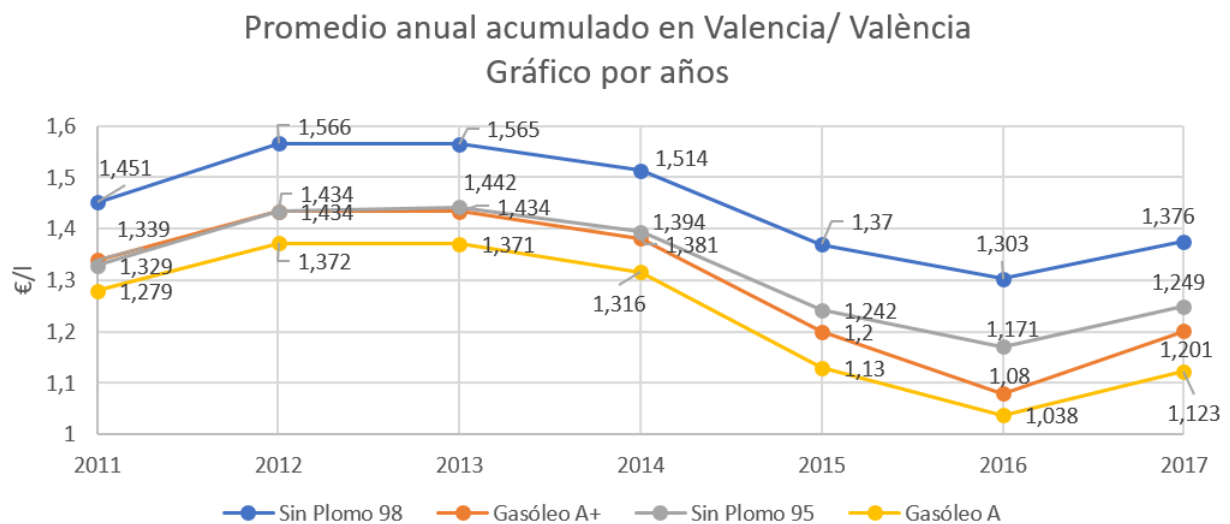
Los sistemas SCR presentan una serie de ventajas e inconvenientes: Se trata de un sistema de postratamiento con una eficiencia de conversión muy elevada (mayor al 80 %) y, además, muy alejada de otras tecnologías De- $NO_X$ , como la Trampa de  $NO_X$  (máximo 70 %). Además, presenta una alta estabilidad térmica, lo que le permite funcionar casi para cualquier punto de funcionamiento del motor. También es destacable que el catalizador de SCR presenta un coste reducido en relación con otros sistemas. En cuanto al consumo de potencia por auxiliares, el consumo es despreciable en comparativa al resto de sistemas auxiliares. Por último, los sistemas SCR evitan la penalización en el consumo por las fases de regeneración, que suponen alrededor de un 3 % del consumo.

Por otro lado, como inconvenientes se presenta la necesidad de un aditivo que en el resto de sistemas y tecnologías no es necesario. El consumo de UWS supone entre un 2 y un 4 % del consumo de combustible. Además, existe un coste económico mayor, pues se introducen en el vehículo elementos como el depósito, el sistema de dosificación o la red de distribución. También se puede destacar la formación de  $CO_2$  durante la hidrólisis según la reacción 2.9. Las reacciones de reducción, además, solo tienen lugar de forma óptima en un rango entre 200°C y 500°C, por lo

que un aspecto también importante es su no funcionamiento en frío, lo que supone emitir óxidos de nitrógeno durante los primeros instantes de funcionamiento.

Los vehículos ligeros y turismos actuales que incorporan un sistema SCR suelen diseñarse para un consumo aproximado de 1,5l/1000km de Urea y una autonomía de unos 20.000 km, coincidiendo así, aproximadamente, con las revisiones pertinentes del vehículo. Considerando un vehículo estándar, consumo medio mixto de 6,6 l/100km, se obtiene un consumo de 1320 litros de combustible. El coste medio del litro de combustible en 2017 en València está en torno a 1,123€/l (tal y como se muestra en la ilustración 2.7), por lo que el coste de realizar 20.000km será de 1.482,36€. Además, se producirá un consumo de Adblue aproximado de 30 litros, que, a un precio medio de 0,6 €/litro, supone un coste de 18€. Por lo que en términos de consumibles directos, realizar 20.000 km supondría 1.500,36€.

Si ahora se considera el mismo vehículo con sistema LNT en lugar de SCR, el consumo de combustible se vería penalizado en torno a un 4%, fruto de las fases de regeneración en las que es necesario que exista un dosado relativo unitario. Entonces para 20.000km se necesitaría 1.372,8 litros de combustible con un coste aproximado de 1.541,65€.



**Figura 2.7:** Evolución anual de los precios de combustible en Valencia [16]

Esta estimación permite deducir que la necesidad de tener que llenar otro depósito de combustible no repercutiría directamente en el gasto económico por distancia recorrida.

Además, se debe considerar el hecho de que el SCR es un sistema complementario del EGR, lo que permitiría una disminución considerable de la tasa de recirculación, que repercutiría en una mayor eficiencia en la combustión y un ahorro en consumo de combustible.

Por otro lado, el SCR supone la incorporación de elementos, como el sistema de inyección y el catalizador, provoca el encarecimiento de los vehículos (aunque este coste no se suele trasladar al consumidor, sino que lo asumen las marcas automovilísticas), además de ser susceptibles de reparaciones relativamente costosas, disminuyendo así la robustez del motor.

Esta implementación del SCR a los vehículos ligeros y turismos requiere una alta compactación debido al escaso espacio existente, por lo que el espacio disponible para la evaporación y homogeneización de la mezcla gas de escape-urea es especialmente crítico. Se han realizado numerosos estudios para la mejora de la eficiencia de la mezcla con el fin de reducir la tasa de inyección de urea y la distancia necesaria para una adecuada homogeneización, entre los cuales existen estudios ópticos sobre el comportamiento del chorro de urea y que se desarrollará a modo de resumen del estado del arte más adelante.

Estas mejoras pueden suponer incluso prescindir de distintos elementos como el catalizador de limpieza al inyectar la masa de urea estrictamente necesaria o el mezclador a la entrada del catalizador SCR, pues puede provocar pérdidas por bombeo o interferencia en las ondas de presión y succión que ayudan al vaciado del cilindro en el escape.

## 2.5 Normativa Euro

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la concienciación con el medio ambiente es cada vez mayor. La sociedad actual presta mucha atención a la contaminación y se trata de un factor cuya importancia es creciente en la toma de decisiones políticas en lo referente a la generación de electricidad y movilidad. La Unión Europea comenzó a responder a esta preocupación en la década de 1990 con las normas Euro, que afectaban tanto a vehículos pesados como a ligeros y cuyo fin era limitar y reducir de emisión de contaminantes como el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $NO_X$ ). Estas normas exigen a los fabricantes la utilización de sistemas de tratamiento de gases en el escape o estrategias para reducir la formación de contaminantes, con la finalidad de reducir los compuestos nocivos para la salud que emiten los vehículos. Así, éstos se han ido equipando con diferentes dispositivos y tecnologías como catalizadores, filtros de partículas y sistemas de  $NO_X$ , así como aplicación de estrategias como el EGR o la combustión a baja temperatura.

Se han desarrollado distintas normas, desde la Euro 0 (1988) seguida por las normas Euro 1 (1993), Euro 2 (1996), Euro 3 (2000), Euro 4 (2005), Euro 5 (2009). En la actualidad, la norma que se aplica para vehículos ligeros y turismos es la Euro 6 (2014). Estas normas distinguen límites para las diferentes categorías de vehículos, incluyendo, por ejemplo, la distinción entre vehículos de gasolina y diésel. Notar que estas normas antes mencionadas son las correspondientes a turismos y vehículos ligeros. Para vehículos pesados, se sigue la numeración romana (Euro I, Euro II...)

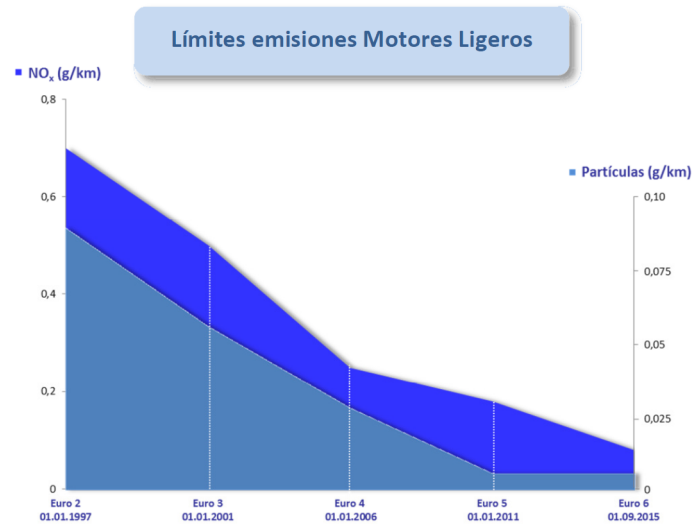


Figura 2.8: Evolución de los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas para motores Diésel ligeros [17]

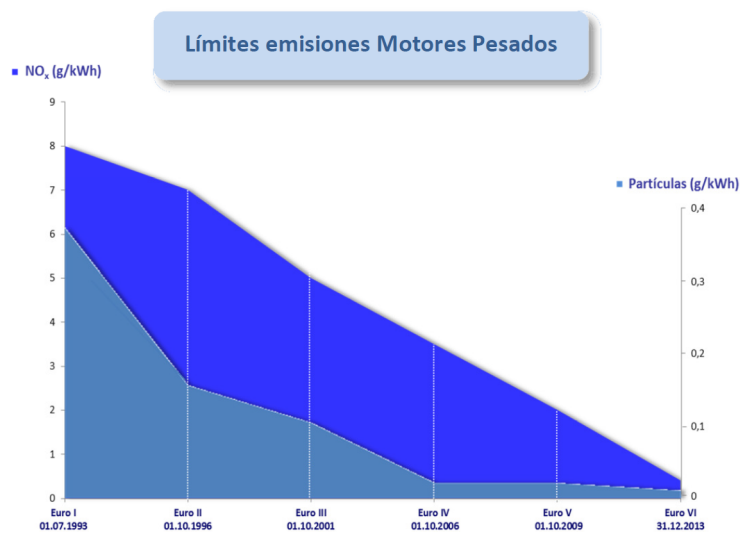


Figura 2.9: Evolución de los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas para motores Diésel pesados [17]

Los límites de emisiones de contaminantes de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), especialmente en vehículos, están siendo cada vez más restrictivos debido a la preocupación sobre la calidad del aire de las ciudades y la contaminación transfronteriza. Se han dado casos de grandes marcas de automóviles, como Volkswagen, que han incumplido estas normas modificando la electrónica que controla el proceso de combustión de manera que conseguían pasar los controles de homologación y ahora se enfrentan a duras sanciones, tanto de la Unión Europea como de aquellos países en los que se comercializan sus automóviles, como Estados Unidos.

Desde la entrada en vigor de la norma Euro 1, las emisiones procedentes del tráfico por carretera se han reducido drásticamente. Numerosos avances tecnológicos han hecho posible la reducción de las emisiones contaminantes. En motores diésel se han reducido cerca de un 99 % y emiten un 98 % menos de óxidos de nitrógeno en comparación con los vehículos de la década de los 90.

**Tabla 2.1:** Evolución de los límites de emisiones en la Unión Europea para vehículos Diésel ligero y turismos [18]

Fase	Fecha	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
		<i>g/km</i>				
<b>Euro 1</b>	jul-92	2.72	-	0.97	-	0.14
<b>Euro 2</b>	ene-96	1.0	-	0.9	-	0.10
<b>Euro 3</b>	ene-00	0.64	-	0.56	0.50	0.05
<b>Euro 4</b>	ene-05	0.50	-	0.30	0.25	0.025
<b>Euro 5</b>	sep-09	0.50	-	0.23	0.18	0.005
<b>Euro 6</b>	sep-14	0.50	-	0.17	0.08	0.005

Con la normativa Euro 6, los límites de emisiones de vehículos Diésel son equivalentes a los de un motor de gasolina en términos de emisiones de  $NO_X$  [17].

En lo referente a la tecnología SCR, su incorporación se produce a finales de 2006 en el segmento de los vehículos industriales más pesados (a partir de las 18 toneladas) con el fin de cumplir la normativa Euro IV reduciendo así las emisiones de  $NO_X$  en un 30 % [17]

## 2.6 Componentes del sistema de inyección de urea

Los sistemas de inyección de urea, como se ha comentado en el apartado 2.5, comenzó a aplicarse a vehículos pesados. Se trataba de sistemas de inyección asistido por aire, en los cuales, el fluido inyectado es una mezcla de aire y urea. Estos sistemas aprovechaban así el circuito de aire comprimido que presentan los camiones para el proceso de vaporización. Un ejemplo de este tipo de sistemas se muestra en la figura 2.10.

Estos sistemas presentan diferentes componentes para su correcto funcionamiento:

- **Depósito de Adblue.** Incluyendo sensores de nivel y temperatura para el control del consumible disponible y la posible necesidad de calentarlo para evitar su congelación.
- **Módulo de alimentación.** Succiona la urea del tanque y la envía hacia el módulo dosificador a una presión de unos 5 bar.
- **Módulo dosificador.** Es el inyector propiamente dicho. A través de una señal procedente de la unidad de control, permite o no la inyección de la urea en el escape. Es en este elemento donde se produce la mezcla de aire y combustible. La tobera de inyección suele estar introducida dentro del tubo de escape y en dirección axial con el flujo de gas de escape.
- **Sensores de control de inyección.** Conocer la temperatura de los gases de escape, así como la concentración de  $NO_X$  al final del proceso de catalización permite regular la cantidad de urea inyectada, por lo que se instalan diferentes sensores para este fin.
- **Calderín.** Se trata de un depósito de aire que permite mantener la presión del aire suministrada al sistema de inyección constante durante su funcionamiento.

### System layout DENOXTRONIC 1 (w/ air support)

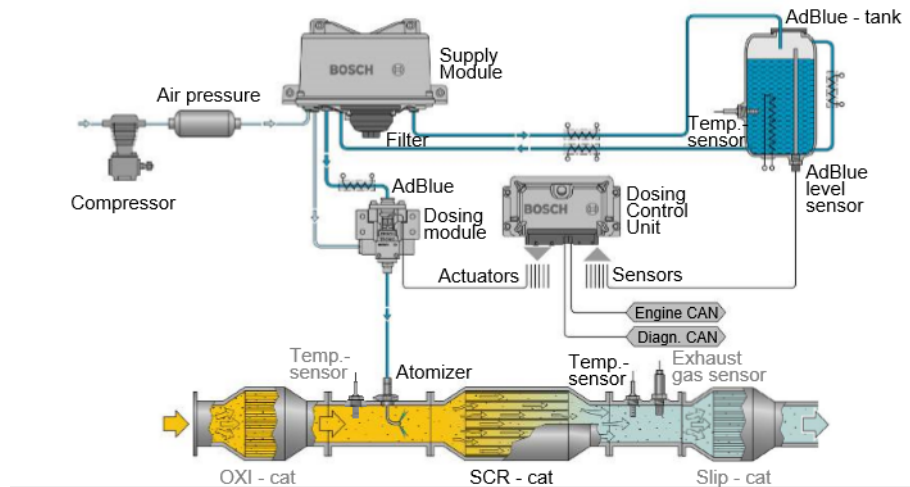


Figura 2.10: Esquema de sistema de inyección de urea asistido por aire [19]

Con su adecuación a los motores de turismos y vehículos ligeros, se debía de prescindir del aire comprimido, desarrollando así sistemas de inyección “only fluid” o “non-air assisted”, como el de la figura 2.11, en los que el fluido inyectado es únicamente urea.

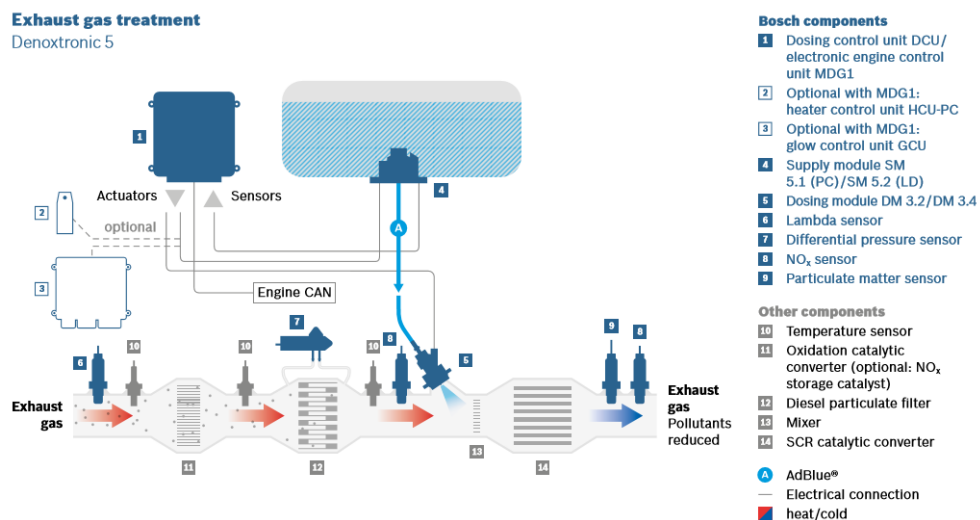


Figura 2.11: Esquema de sistema de inyección de urea Denoxtronic 5.0 de Bosch [20]

En este caso, el inyector se suele encontrar orientado en ángulo con la dirección del flujo. También es posible encontrarlos axiales al flujo. En estos casos, se dispone del tubo de escape en forma de Y, como se muestra en la figura 2.12. Además, debido a su localización y al proceso de inyección, estos inyectores necesitan de refrigeración, encontrando así inyectores refrigerados por aire como por fluido refrigerante proveniente del sistema de refrigeración del motor.



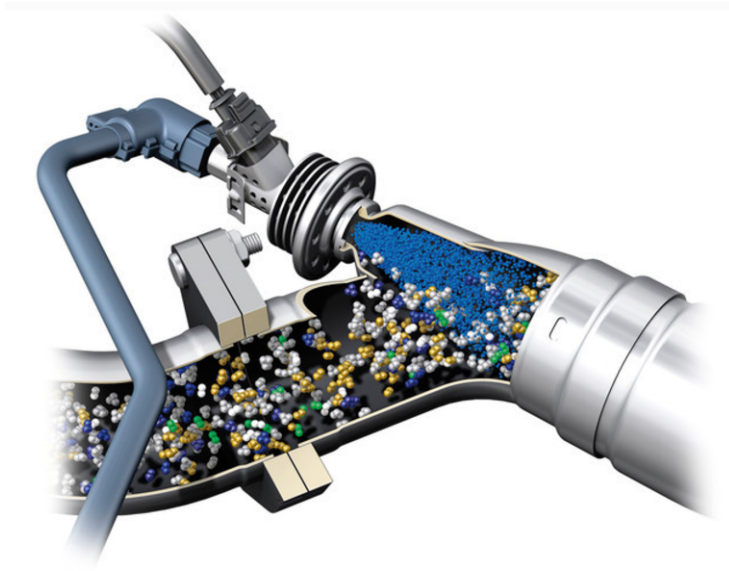


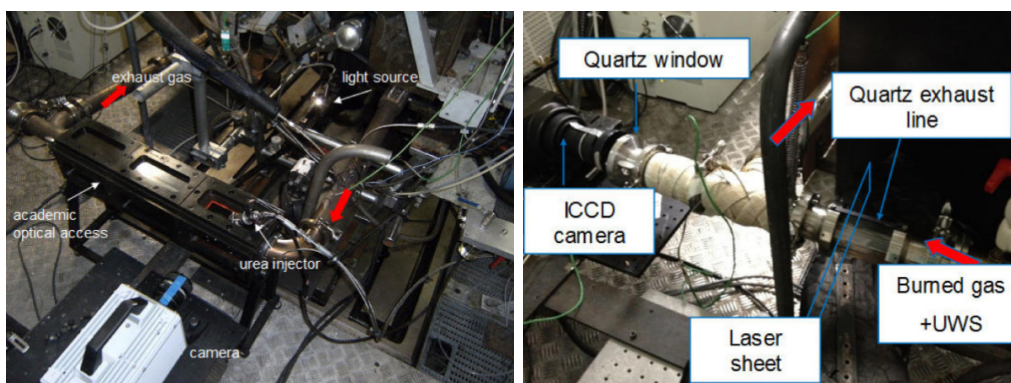
Figura 2.12: Inyector de urea en orientación axial al flujo [21]

Estos sistemas suelen funcionar entre 4.5 y 8.5 bar y son controlados, bien por una unidad de control externa o por la propia unidad de control del vehículo. La cantidad óptima a inyectar se calcula a partir de las condiciones de operación del motor y los distintos sensores.

## 2.7 Estado del arte de la inyección de urea

A continuación se presentará un resumen sobre distintos artículos en los que se ha basado el desarrollo del presente trabajo, los cuales exponen las tecnologías más recientes utilizadas para la caracterización del proceso de inyección de urea.

- **Lecompte, Raux y Frobert [22]** desarrollan un banco de ensayos donde el flujo de aire es suministrado por un motor Diésel de 4 tiempos sobrealimentado. Para la visualización emplean dos maquetas (fig 2.13):



(a) Maqueta prismática

(b) Maqueta tubular de cuarzo

Figura 2.13: Montaje de los ensayos de las maquetas de visualización empleadas por [22]

Por un lado, tres módulos consecutivos en forma de primas cuadrangular, diseñados para colocar ventanas de cuarzo. Diseñan también varias piezas para posicionar el inyector sobre un lateral del prisma en distintos ángulos con respecto al sentido del flujo. De esta manera consiguen ver el flujo en tres zonas distintas a lo largo de la línea de escape, incluyendo los primeros milímetros del chorro.

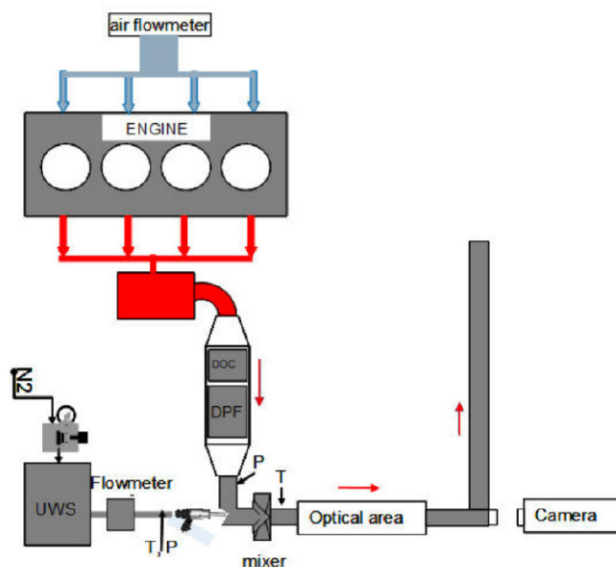


Figura 2.14: Esquema de la bancada de ensayos del estudio [22]

Los ensayos mediante técnicas ópticas sobre esta maqueta permiten obtener el tamaño de las partículas (en píxeles) y cuantificarlas.

Por otro lado, un acceso tubular constituido por un cilindro de cuarzo de diámetro interior igual al de la línea de escape para mantener la geometría y evitar así las perturbaciones. El fin de esta maqueta es tener un acceso donde aplicar un láser para el estudio de la vaporización y homogeneidad de la urea mediante una técnica óptica llamada LIF (Laser-induced fluorescence). El soporte de este cilindro está diseñado para minimizar los esfuerzos mecánicos.

Para la dosificación, se emplea un inyector de tres agujeros. El fluido utilizado es Adblue y se almacena en un depósito presurizado a 5 bar.

Sobre esta maqueta se han ensayado tres puntos distintos variando el régimen de giro del motor (modificando el flujo de gas de escape) y la carga (temperatura), que se enumeran en la tabla 2.2

Tabla 2.2: Puntos de ensayo del estudio [22]

Punto	$Q_{\text{gas}}$ (kg/h)	$T_{\text{gas}}$ (°C)
1500C	80	160
1500W	80	300
2500W	170	300

Así, obtienen como resultados una mejoría de la homogeneidad de la mezcla urea-gas de escape al aumentar la temperatura y que esta homogeneidad apenas se ve afectada por los flujos másicos estudiados, pudiendo ser ligeramente mejor a 170kg/h.

Este artículo también realiza un análisis de las partículas concluyendo que en condiciones de baja temperatura aumenta la cantidad de partículas y que éstas desaparecen a partir de los 300°C.

Finalmente se hace una comparativa de los dos primeros puntos de ensayo con y sin un mezclador, viendo una gran importancia de su presencia para la homogeneización de la mezcla en condiciones de baja temperatura.

- **Spiteri y Dimopoulos Eggenschwiler [23]**, a diferencia del anterior estudio, desarrollan una bancada de ensayos específica para estudios de urea donde el flujo de aire no es gas de escape de un motor, sino aire generado por una instalación, como puede ser una soplante o un compresor, cuyo caudal es medido a través de un caudalímetro de hilo caliente.

Para los ensayos se ha desarrollado una maqueta de visualización de sección cuadrada de 80mm de lado con accesos ópticos en los laterales, en uno de los cuales se sitúa el inyector, como muestra la figura 2.15b.

El inyector ha sido situado en el lado superior de la maqueta con una inclinación de 50° respecto a la dirección del flujo. Se trata de un inyector comercial específicamente diseñado para aplicaciones de sistemas SCR. El fluido inyectado es agua en lugar de urea, pues tiene un comportamiento similar según [24], aunque también realizan estudios comparativos entre ambos fluidos.

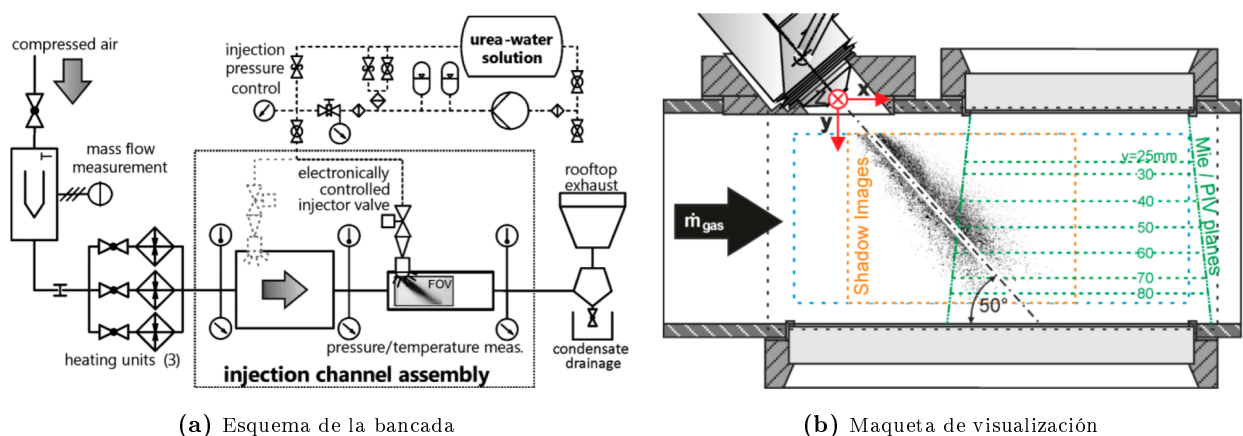


Figura 2.15: Bancada para el ensayo del estudio [23]

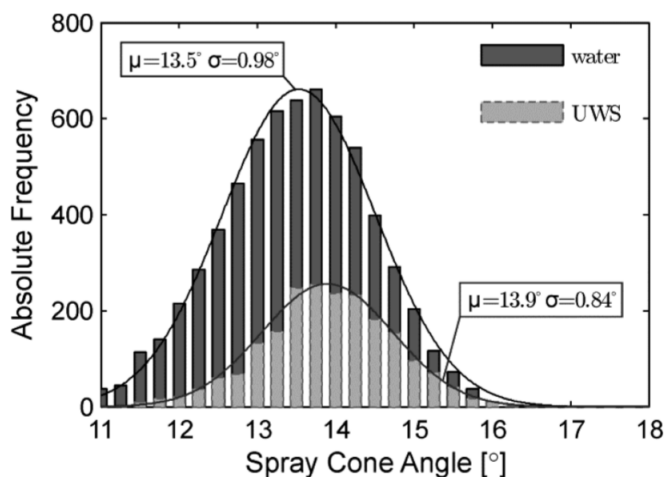
En este banco de ensayos se estudian 12 puntos variando el caudal de gas y la temperatura, tal y como se indica en la tabla 2.3. De esta manera, simulan diferentes regímenes de giro y grado de carga, respectivamente.

La velocidad del chorro es estudiada en base al progreso de la punta del chorro. Así, determinan que no existe deceleración del chorro durante el periodo estudiado y que no existe variación apreciable de penetración y velocidad de propagación por efecto del caudal de gas.

**Tabla 2.3:** Puntos de ensayo del estudio [23]

Caudal (kg/h)	Temperatura (°C)	Caudal (kg/h)	Temperatura (°C)
100	200	300	200
	300		300
	400		400
200	200	400	200
	300		300
	400		400

Una comparativa del ángulo de inyección entre agua y urea mediante el estudio del ángulo en cada inyección, muestra que ambos fluidos presentan un mismo comportamiento y son, por lo tanto, comparables (figura 2.16).



**Figura 2.16:** Distribución de frecuencias de los ángulos de inyección de agua y urea en el estudio [23]

También se estudian isocontornos del chorro, distinguiéndose entre el contorno del núcleo más denso, uno intermedio y el contorno exterior. Se delimitan estos contornos en función de la interacción con el flujo de aire y el tamaño de gota. Con resultado obtienen que los contornos se mantienen constantes para alto caudal y alta temperatura del aire, pero en condiciones de bajo caudal y baja temperatura del aire, los contornos se encuentran desplazados hacia adelante (sentido del flujo) y más grandes debido al escaso efecto de arrastre de las gotas. Se realiza además una comparativa de estos isocontornos entre agua y urea, dando como resultado que no se distinguen diferencias en la interacción fenomenológica chorro-gas entre agua y urea.

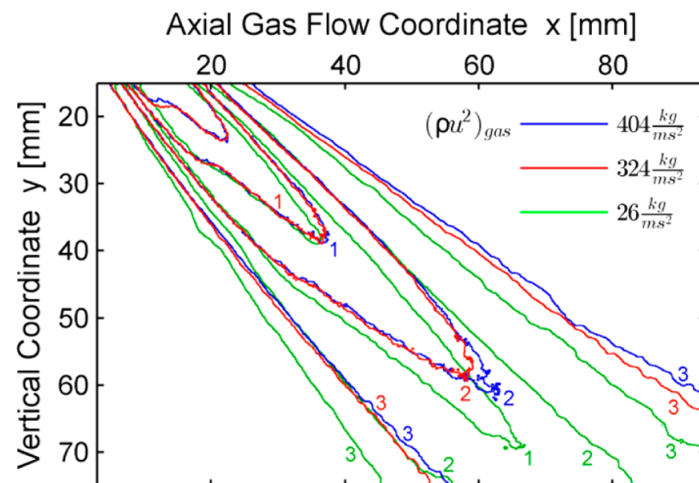


Figura 2.17: Isocontornos de los chorros bajo diferentes condiciones de caudal y temperatura del gas, estudio [25]

Realizan por otro lado, un estudio del campo de flujo de gotas, en el que estudian la velocidad axial de las gotas. Para el caso de bajo caudal y baja temperatura, se puede distinguir el núcleo del chorro por su alta velocidad, mientras que esta velocidad va decreciendo a medida que se aleja del inyector. Sin embargo, en condiciones de alta temperatura y alto caudal, siendo entonces la velocidad del flujo mayor que la del chorro, las gotas se aceleran tras salir del inyector y el chorro de inyección presenta una mayor penetración al existir mayor efecto de arrastre.

- Shi y col. [25] al igual que el estudio anterior, opta por simular el gas de escape mediante un dispositivo de flujo de aire y un calentador. A diferencia del estudio anterior, el fluido empleado es urea.

## EXPERIMENTAL SETUP

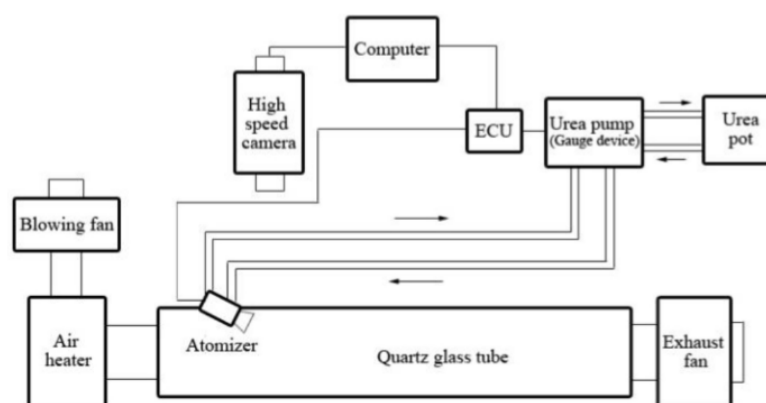


Figura 2.18: Esquema de la bancada de ensayos del estudio [25]

La maqueta de visualización se compone de un tubo de cuarzo que imita el tubo de escape con un diámetro de 127mm y en éste se sitúa el inyector de urea. Se trata de un inyector no asistido por aire y de un solo orificio. En la figura 2.18 se muestra el esquema de la bancada de ensayos.

En cuanto a las condiciones de ensayo, éste se realiza simulando un mismo punto de funcionamiento del motor, es decir, caudal y temperatura constantes; variando así tanto la presión de inyección como el ángulo. Esto se muestra en la tabla 2.4, extraída de artículo, junto con otros parámetros propios del ensayo.

Ambient Gas Mass Flow ( $m^3/h$ )	170			
Ambient Gas Temperature ( $K$ )	473			
Illumination Source	Afeng PTW-2000 Halogen Lamp (2 kW)			
Simulated Exhaust Pipe Diameter ( $mm$ )	127			
Injector Type	Tenneco Elim-NOXGen 1.0 (Non-air-assisted, single hole, continuous injection available)			
Nozzle Hole Diameter ( $mm$ )	0.3			
Injection Pressure ( $bar$ )	4.0	6.0	8.0	
Injection Angle ( $^\circ$ )*	45	60	90	-45
Injection Quantity ( $g/s$ )	1.258			
Frame Rate ( $fps$ )	25000 (available from 6688 to 500000)			
Resolution ( $pixel$ )	800 × 600			

**Tabla 2.4:** Condiciones de ensayo del estudio [25]

Se definen dos parámetros para caracterizar el chorro y con los que se van a comparar los diferentes resultados.

Por un lado, La distancia de mezcla para evaluar cual es la distancia requerida por el chorro para realizar el proceso de mezcla con los gases de escape. La observación y el estudio estadístico de los valores de los píxeles obtenidos a través de técnicas ópticas ayudan a entender el proceso de desarrollo del chorro así como la distribución de las gotas de urea.

Por otro lado, el grado de uniformidad, con el fin de estudiar la distribución de las gotas dentro del tubo. Esto se realiza través de la trasformada rápida de Fourier aplicada a la matriz de píxeles de valores grises.

A partir de estos parámetros y variando la presión de inyección y el ángulo del inyector se obtienen diferentes resultados.

El efecto del ángulo de inyección sobre la distancia de mezcla se reduce a medida que aumenta el ángulo de inyección para los ángulos positivos ( $45^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ ). Esto puede deberse al aumento de la velocidad del chorro en dirección perpendicular al flujo. En el caso del ángulo negativo de  $-45^\circ$ , pese a que la distancia de mezcla para este caso sea mayor que para  $90^\circ$ , la inyección con ángulos negativos provoca una gran interacción con el flujo del gas, por lo que el caso de  $90^\circ$  puede suponer una distancia extra. Como la orientación en ángulos negativos produce una interacción más violenta con el flujo de gas, es difícil de evaluar el efecto sobre la distribución de las gotas en comparación con los ángulos positivos.

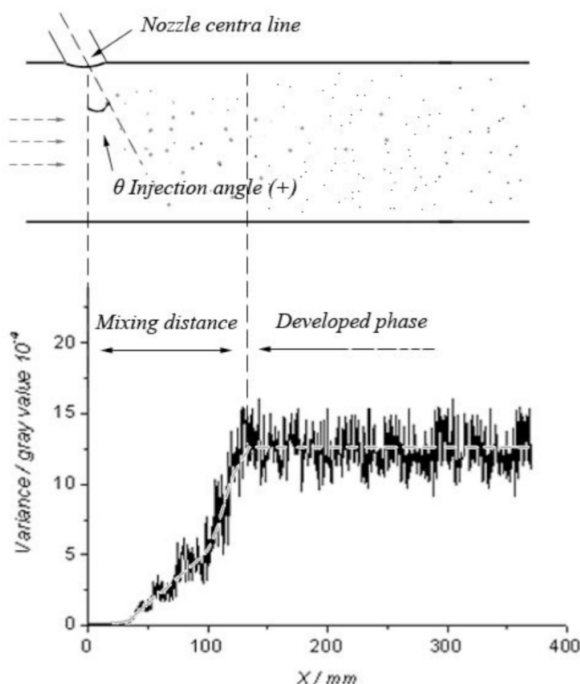


Figura 2.19: Definición e ilustración de la distancia de mezcla, estudio [25]

En cuanto al efecto sobre el grado de uniformidad, los ángulos de  $60^\circ$  y  $-45^\circ$  atomizan mejor que los de  $45^\circ$  o  $90^\circ$ . Esto puede deberse a la impregnación de la pared del tubo y a un movimiento anormal de la corriente. Por otro lado, las gotas formadas a  $60^\circ$  y  $-45^\circ$  están concentradas en la parte central, mientras que para  $45^\circ$  y  $90^\circ$ , las gotas se distribuyen cerca de la pared del tubo.

Atendiendo al efecto de la presión de inyección, al aumentar la presión, supone un aumento de la distancia de mezcla debido al aumento de la velocidad axial y perpendicular, que provoca que las gotas recorran más distancia antes del desarrollo completo del chorro y una posible impregnación de la pared del tubo. Por otra parte, en relación al grado de uniformidad, se obtiene que en el caso de presión de inyección de 4 bar, se desarrolla mejor el chorro que en presiones mayores.

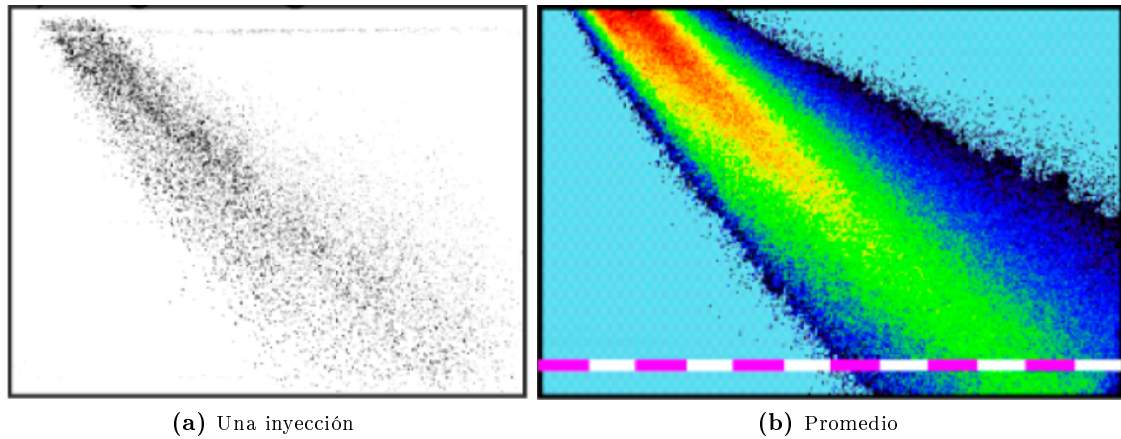
## 2.8 Técnicas ópticas para la visualización del chorro de urea

Los artículos citados en el apartado 2.7 desarrollan sus estudios y obtienen sus resultados a través de técnicas ópticas y el procesado de las imágenes obtenidas.

El estudio de Lecompte, Raux y Frobert [22] emplea *Shadowgraphy*, una técnica que consiste en la obtención de imágenes de alta resolución con iluminación de contraluz. Con este método obtiene las imágenes del chorro de urea. Otra técnica utilizada es LIF (Laser Induced FLuorescence), basada en la emisión de luz de un átomo o molécula por la excitación de un rayo láser.

Por otro lado, Spiteri y Dimopoulos Eggenschwiler [23] utilizan también *Shadowgraphy*, además de *Mie Scattering*, en donde el chorro se ilumina por la parte frontal, y la cámara recoge la luz desviada por las gotas del chorro [26], y PIV (Particle Image Velocimetry), que permite medir campos de velocidades en el plano de un fluido, generalmente provistos de trazadores [27].

Por último, Shi y col. [25] sólo especifica que se emplea una lámpara halógena de 2kW y una cámara rápida colocada de forma vertical con los ejes del tubo grabando a 25000 fps.



**Figura 2.20:** Imágenes obtenidas a partir de *Shadowgraphy*, estudio [23]



# Diseño de Instalación de flujo de aire

Como se ha mostrado en la literatura anteriormente comentada en la sección 2.7, para el estudio mediante técnicas ópticas del chorro de inyección de urea, se emplean dos formas de generar el flujo de aire. Por un lado, el uso de un gas de escape real, generado por el funcionamiento de un motor de combustión. Otra forma es el empleo de una instalación que genere un flujo de aire que permita variar las condiciones de caudal másico, obteniendo así un equivalente con el régimen de revoluciones del motor, y de temperatura, con la finalidad de simular distintos grados de carga.

Las ventajas de realizar el estudio con un motor de combustión es que permite realizar los ensayos de la forma más realista posible, considerando la existencia de efectos de presión o succión producidos por el motor debido a la apertura de la válvula de escape o cualquier otro elemento en la línea de escape.

Sin embargo, este método requiere de una infraestructura compleja para el acondicionamiento del motor, así como una regulación particular. También requeriría de un sistema de escape completo, con dispositivos adicionales como un filtro de partículas y un catalizador de oxidación, con el fin de eliminar las partículas y demás contaminantes, y así tener una visualización correcta sin interferencias.

En cuanto al segundo sistema, básicamente requiere un generador de flujo, como puede ser una soplante, y una resistencia. El control de esta instalación resulta más sencilla y de coste económico menor. Este flujo de aire debe ser comparable con el del gas de escape para que se pueda extrapolar los resultados obtenidos mediante este método a condiciones reales de funcionamiento.

En este proyecto se opta por la generación del flujo de aire a partir de la segunda opción. En un primer momento existían varias alternativas:

- El uso y acondicionamiento de una instalación ya existente, como es la sala de PDA (instalación para medir velocidad y diámetro de las gotas usando Plase Doppler Anemometry). Esta instalación cuenta con un compresor tipo roots que suministraría el flujo de aire. Esta instalación permitiría trabajar con presiones diferentes a la atmosférica y recircular el flujo.

Esta opción se desestimó por varias razones. En primer lugar, este compresor no es capaz de generar el gasto másico requerido y que se detallará más adelante (apartado 3.1.1). Esto podría solucionarse a través de un sistema de acumulación de aire, pero no permitiría realizar ensayo de una duración prolongada. En segundo lugar, la necesidad de diseñar una adaptación para la introducción en la línea del flujo de una resistencia para calentar el aire hasta las temperaturas de ensayo. En tercer lugar, en caso de recircular el aire, sería necesario un intercambiador de calor de gran tamaño para devolver a una temperatura adecuada el aire a la entrada del compresor. En cuarto lugar, esta instalación se encuentra en uso y tienen lugar ensayos con frecuencia, por lo que la adaptación para su uso como generación de un flujo de aire equivalente al gas de escape debe ser reversible. Por último, sería necesario la realización de una obra para evacuación, en caso de ensayar en circuito abierto, del gas caliente.

- La reutilización de unos compresores volumétricos alternativos existentes en el CMT y que se encuentran en desuso en el edificio 6D. Estos compresores son capaces de generar el flujo requerido y podrían ser utilizados en distintas salas de ensayo de donde se encuentran.

Sin embargo, al igual que la anterior, esta alternativa se desestimó. Se trata de unos compresores que, tras unas obras posteriores a su instalación, quedaron aislados de las salas de ensayos y era necesario realizar una obra para tener acceso a ellos para su utilización. Esta obra podría suponer un coste equiparable al ahorro que se obtendría con la reutilización de los compresores. Además, se trata de un generador de flujo de aire con un grado de movilidad bastante bajo, ya que no es fácilmente transportable (pues supondría una reinstalación que no es inmediata ni sencilla), por lo que no se permitiría la utilización de esta instalación en diferentes salas de ensayo.

- El desarrollo de una instalación completa desde el principio, adquiriendo un generador de flujo, como lo es una soplante. Ésto permite el diseño de la instalación de flujo de aire de manera que se puedan cumplir los requerimientos de una forma más fácil.

Una desventaja que supone esta opción es la inversión necesaria para su desarrollo, que pudiera ser mayor que en las alternativas anteriores, además de no aprovechar los recursos existentes, como si ocurre con los anteriores.

Finalmente, se opta por generar el flujo de aire a través la realización de una instalación a partir de un soplador para generar el flujo y una resistencia con la que variar la temperatura de este flujo. El diseño realizado mediante del programa SolidWorks se muestra en la figura 3.1.

La instalación esta formada por una estructura de aluminio sobre la que se sitúa una soplante para generar el flujo. Conectada a esta por tuberías de PVC se encuentran dos válvulas de mariposa, una en *by-pass* y otra que permite la regulación por estrangulamiento de la línea de una de las salidas de flujo de aire. Para medir el caudal suministrado, se coloca un caudalímetro en cada línea de flujo. Al final de unas de las salidas se sitúa una resistencia que permitirá aumentar la temperatura del flujo.

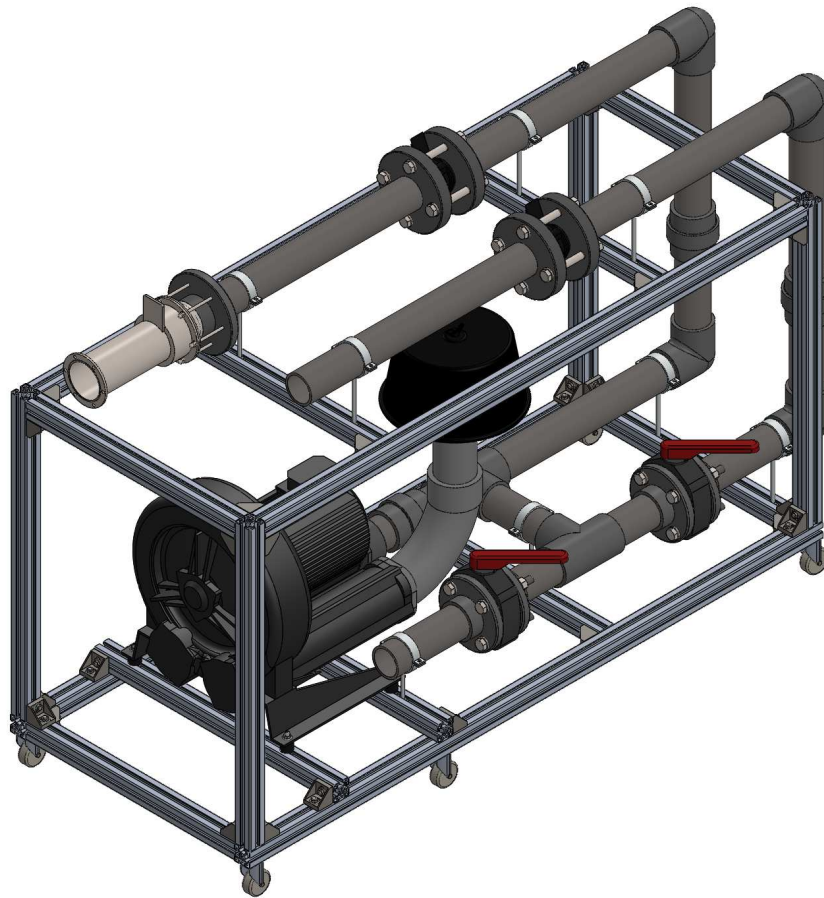


Figura 3.1: Renderizado de la instalación de flujo de aire

## 3.1 Requerimientos

El diseño de la instalación de flujo aire ha estado condicionado por diferentes requerimientos que ésta debe cumplir. Estas restricciones y premisas son debidas aplicaciones para las que va a ser usada la instalación, las condiciones de funcionamiento, el coste económico, entre otras.

### 3.1.1 Condiciones de funcionamiento

A partir análisis de los diferentes artículos resumidos en el apartado 2.7 y otros como Postrioti y col. [28] y Grout y col. [29] se obtienen diferentes parámetros de diseño en lo que se corresponde con caudales de aire utilizados y temperaturas. La tabla 3.1 muestra un resumen de estas condiciones de contorno. Se trata de valores habituales que se pueden encontrar en motores Diésel de automóvil, es decir, alrededor de 2 litros de cilindrada y 4.000 rpm de régimen de giro máximo.

Em cuanto a la presión de funcionamiento, los sistemas de escape trabajan en condiciones de presión atmosférica o con pequeñas variaciones de presión debido a la geometría del tubo de escape.

**Tabla 3.1:** Condiciones de contorno de flujo y temperatura para el diseño de la instalación de aire de los diferentes artículos estudiados.

	Caudal (kg/h)	Temperatura (°C)
Lecompte, Raux y Frobert [22]	80 - 170	160 - 300
Spiteri y Dimopoulos Eggenschwiler [23]	100-400	200-400
Shi y col. [25]	204	200
Postrioti y col. [28]	200	100 - 400
Grout y col. [29]	42 - 115	200 - 278

### 3.1.2 Dimensiones

La instalación requiere ser manejable y permitir su movilidad, puesto que no va a ser una instalación permanente, sino que deberá ser usada en distintas salas de ensayos y en diferentes proyectos. Por lo tanto, debe ser una instalación que pueda ser colocada en las diferentes salas de ensayo de las que dispone el CMT, que cuenta con instalaciones en dos edificios diferentes (6D y 8P).

Estas restricciones suponen que la instalación deba ser más estrecha que una puerta de una sola hoja, como es el caso del laboratorio de Tasa, situado en el edificio 6D, y cuya longitud no sea excesiva. Sin embargo, esta longitud de la instalación se ha condicionado por la selección del sistema de medida de caudal de aire que, como se desarrollará más adelante, se trata de un caudalímetro de hilo caliente, que precisa de una longitud del tubo situado aguas arriba de este de alrededor de 10 veces el diámetro del caudalímetro y entre 5 y 10 veces la longitud del tubo aguas abajo para la correcta medición del caudal, además de estar en posición horizontal.

También se ha considerado en el diseño el caso del almacenamiento. Para esta situación se requiere que la instalación sea desmontable en la medida en la que los distintos componentes queden protegidos y se reduzca la posibilidad de deterioro de las distintas partes.

En el CMT se han diseñado diferentes mesas ópticas para el posicionamiento de las cámaras y el material óptico que permitirán la realización de diferentes estudios que se basarán en ensayos de visualización mediante técnicas ópticas, por lo que la altura de la salida de flujo de aire debe ser tal que permita el uso de estas mesas.

### 3.1.3 Versatilidad de la instalación

Otro de los objetivos del diseño de la instalación es que puedan realizarse otros estudios y ensayos, además del estudio de la inyección de urea. Así, por ejemplo, existe un estudio en el CMT cuya maqueta de ensayos precisa de dos salidas: una de aire caliente para simular condiciones reales de funcionamiento del estudio en cuestión y otra con el objetivo de refrigerar ciertas partes de la maqueta.

También se pretende poder reutilizar los diferentes componentes adquiridos o diseñados, por lo que se precisa que el mayor número posible de componentes puedan ser montados y desmontados sin necesidad de reponerlos. Con este mismo objetivo también se pretende poder sustituir los

diferentes componentes mecánicos o de medida de forma rápida en el caso en el que se rompa alguno de estos componentes.

## 3.2 Fase de diseño

A partir de los requerimientos anteriores y otros que surgen del proceso de selección de componentes, se procede al diseño y desarrollo de la maqueta. Esto comienza con la selección de los componentes mecánicos que permitirán generar el flujo de aire y aumentar la temperatura de este aire. Posteriormente se procede a la selección de los componentes que permitirá la conexión entre estos elementos.

### 3.2.1 Generación y medición del flujo de aire

#### ■ Generador de flujo de aire

Como ya se ha mencionado anteriormente, se decide generar el flujo a partir de un soplador. Su elección viene determinada por las condiciones de funcionamiento principalmente y, en menor medida, por las dimensiones. La tabla 3.2 muestra un resumen de las especificaciones de diferentes sopladores que fueron objeto de decisión.

**Tabla 3.2:** Alternativas de sopladores

Marca	Modelo	Caudal a 50Hz (kg/h)	Admite saltos de presión	Potencia (kW)	Coste (€)
Liester	Silence	338,4	NO	0,25	787,95
Liester	ASO	972	NO	0,55	-
FPZ	K07 MS	496,8	SI	2,2	1500
Aristegui	MD10	352,8	NO	0,208	610,39

Estos sopladores presentan flujos a 50Hz del orden de las condiciones de caudal aplicados en otros estudios, excepto el soplador Liester ASO, cuyo gasto másico es muy alto comparativamente, pero podría ser válido para otros estudios como en el caso de realizar ensayos para vehículos pesados, en los cuales, el el flujo másico está en este rango.

Sin embargo, estos caudales no muestran, en cierta medida, el gasto real, pues debido a la conducción de este flujo por tuberías se generan saltos de presión que suponen una disminución de este caudal. En este caso, el soplador FPZ K07 MS es capaz de trabajar con saltos de presión sin verse resentido de forma importante el caudal. El resto de sopladores sufren importantes caídas de caudal que, sumado a que ya se encuentran incluso por debajo del caudal máximo que se conoce de otros estudios [23], hace que se desestime su selección. En el caso del soplador ASO, su selección se desestimó al estar sobredimensionado para los estudios que llevarían a cabo.

Notar que en el caso del soplador ASO, no se conoce el precio porque no se pidió presupuesto, ya que fue una opción que se contempló de forma posterior y se decidió desestimar sin antes conocer el precio.

Otro factor determinante ha sido el hecho de que este tipo de soplador puede trabajar en succión, y así aumentar las posibilidades de uso, cumpliendo de este modo con la versatilidad que requiere la instalación para ser utilizada para otros fines.

**Tabla 3.3:** Características del soplador FPZ K07 MS

Pn (kW)	Frecuencia (Hz)	$\Delta p$ (mbar)		Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Leq <sup>1</sup> (dB(A))
		Succión	Compresión		
2,2	50	100	100	414	75,4

Peso (kg)	H <sup>3</sup>	Consumo de corriente (Y/ $\Delta$ ) (A)		Cos $\phi$	Velocidad (rpm)
		IE <sup>2</sup>	Rango		
52,5	400	5,00/8,66	5,1-5,2/8,83-9,00	0,75	2945

Para el diseño de la instalación, se procede a construir un modelo 3D del soplador en Solidworks. Para ello, se consideran las medidas más significativas, es decir, aquellas que suponen un valor útil en el proceso de cálculo y elección de otras piezas o que puedan suponer una restricción en el diseño de otras. Entre estos valores cabe destacar la medidas cúbicas tales como la alturas máximas y del eje de entrada y salida, anchura y profundidad, así como los diámetros de entrada y salida, la distancia entre ellos, la posición de los orificios para su anclaje, etc. Unos detalles han sido añadidos para dar realismo y no han sido medidos con relativa exactitud y otros han sido suprimidos porque no aportaban información relevante. En la figura 3.2 unas imágenes del soplador renderizado (3.2a) y real (3.2b) son mostradas.

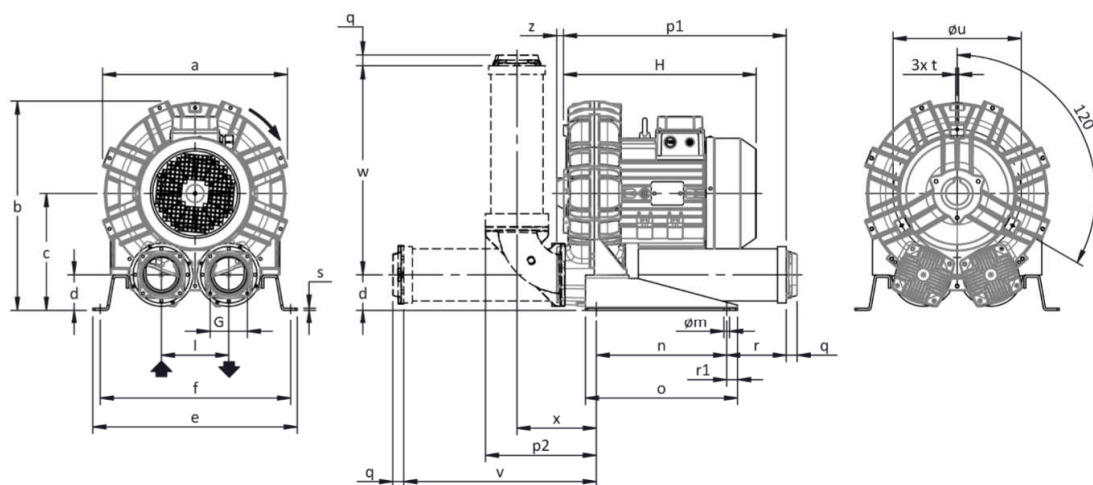


(a) Renderizado



(b) Real

**Figura 3.2:** Soplador FPZ K07 MS

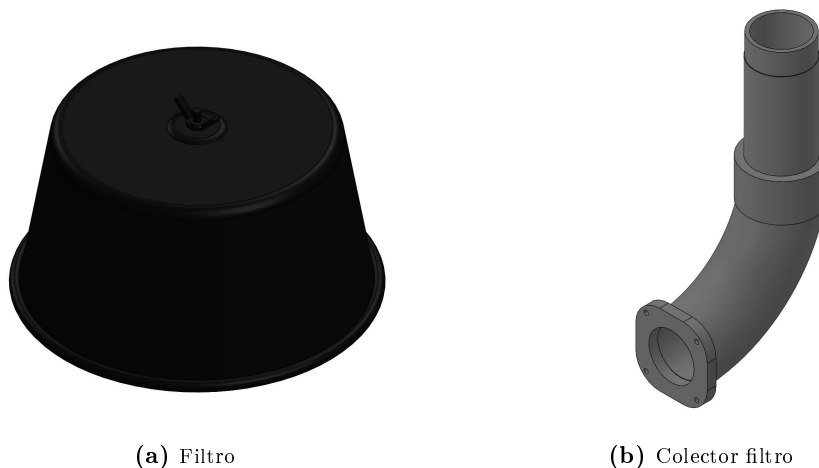


Configuration with a vertical silencer is only available with the CK accessory kit; for all assembly options refer to FPZ.  
NOT Binding  
Dimensions in mm

a	b	c	d	d1	e	f	G	l	l1	l2	m	n	o	p1	p2	q	r	r1	s	t	u	v	w	x	y	z
424	481	269	82	-	470	438	G 3"	155	-	-	13	300	350	512	255	25	137	25	5	M8	295	443	481	183	-	16

Figura 3.3: Dimensiones del soplador FPZ (obtenidas del catálogo de FPZ)

Para su correcto funcionamiento, se han adquirido también un filtro y la unión de éste a la entrada del colector. En la figura 3.4 se muestra el renderizado de estos componentes.



(a) Filtro

(b) Colector filtro

Figura 3.4: Accesorios renderizados para aspiración del soplador FPZ K07MS

#### ■ Calentador del flujo de aire

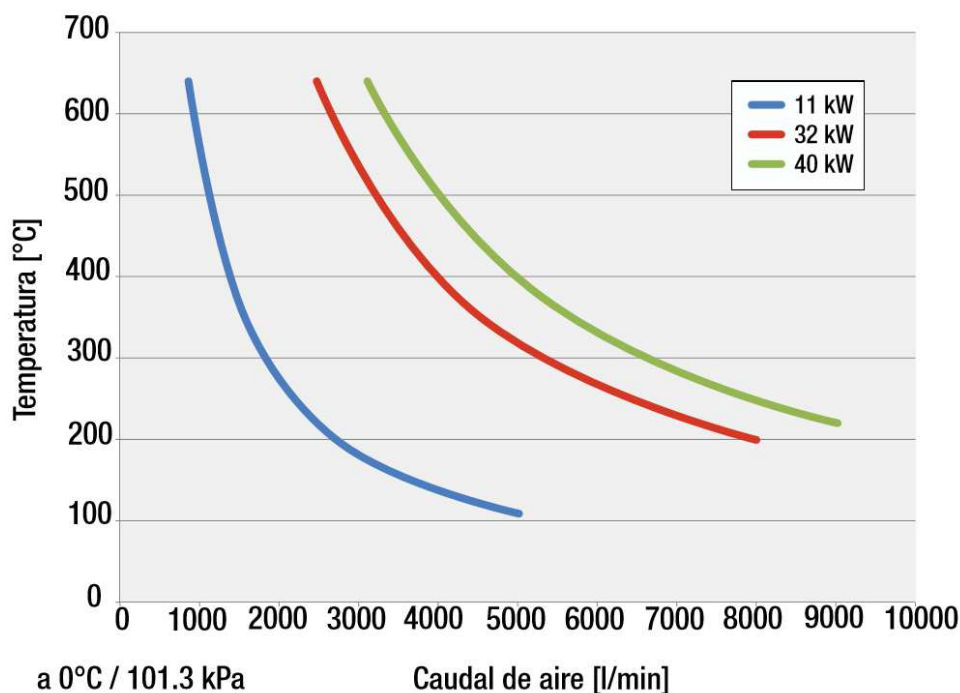
Para calentar el flujo de aire, se precisa de un calentador que sea capaz de aumentar la temperatura del gas en los rangos determinados en la tabla 3.1 para cualquiera que sea el caudal de aire que vaya a impulsar el soplador.

Al igual que para la elección del soplador, se procedió a la selección de diferentes calentadores y a su comparación. Destacar que todos ellos son de la misma marca, Leister. De las alternativas mostradas en la tabla 3.4, el CMT dispone de los modelos LE 10000 DF-R HT y LHS 91 SYSTEM de 32kW. Ésta última es la que se usó para el ensayo del anterior estudio de Urea [2]. El caudal mínimo está referido a las condiciones de máxima potencia.

**Tabla 3.4:** Alternativas de resistencias

Marca	Modelo	Potencia (kW)	Caudal mínimo (kg/h)	Máxima temperatura de entrada del aire (°C)	Máxima temperatura de salida del aire (°C)
Leister	LE 10000 DF- R HT	15	62,4	350	900
Leister	LHS 91 SYSTEM	11	78	50	650
		32	150	50	650
		40	234	50	650

En una primera aproximación, se analizaron los calentadores de los que no se dispone y que habría que adquirir con el fin de tener más alternativas para una buena comparación. La figura 3.5 muestra las curvas de temperaturas en función del caudal trasegado del modelo LHS 91 en sus distintas versiones de potencia. Haciendo referencia de nuevo a la tabla 3.1, se debe poder alcanzar una temperatura de alrededor de 400°C con un flujo máximo de 400 kg/h ( $\approx 5128.20$  l/min). Se observa que sería posible con el modelo de 40kW y estaría muy próximo el de 32kW. Sin embargo, el calentador de 11kW está muy alejado de llegar a esta temperatura (apenas 100°C para este caudal).

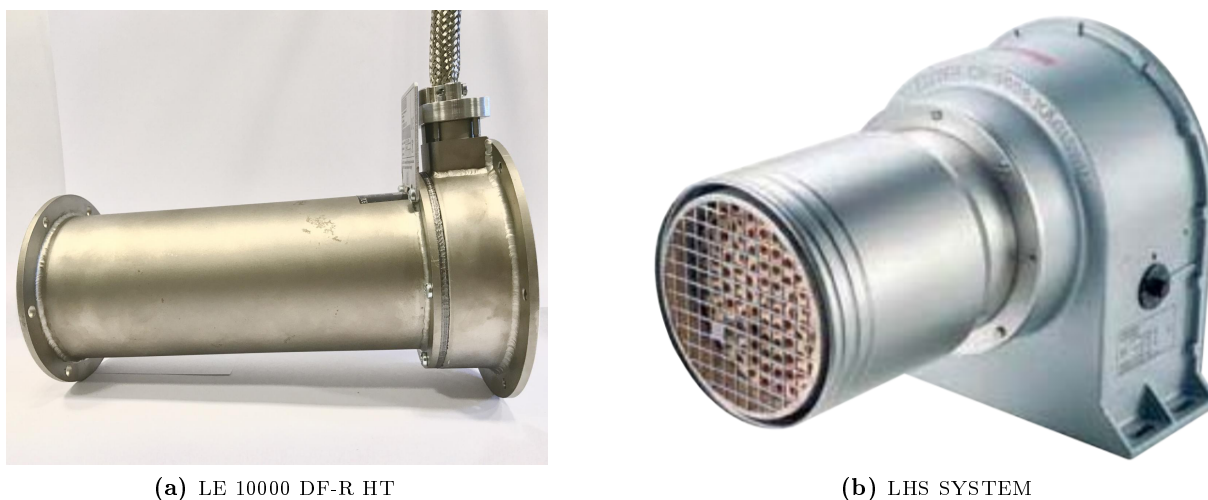


**Figura 3.5:** Gráfica de Temperatura vs Caudal en las resistencias del modelo LHS 91



Así, se descarta la opción de la resistencia de 11kW por ser insuficiente el calor aportado a máximo caudal y la versión de 40 kW por precisar de un caudal mínimo alto para su funcionamiento. Además, otro factor determinante ha sido la ya disposición por parte del CMT de dos resistencias que pudieran cumplir el mismo fin y que no se encuentran muy solicitadas para otros ensayos. Esto permite reducir la inversión necesaria para el desarrollo de la instalación.

De esta manera, la selección se reduce a las dos alternativas que requieren la mínima inversión (elementos y aparatos relativos al control), es decir, la resistencia LE 10000 DF-R HT con una potencia de 15kW y LHS 91 SYSTEM de 32 kW. Éstas se muestran en la figura 3.6



**Figura 3.6:** Resistencias disponibles en el CMT

El fabricante Leister ofrece en su catálogo la fórmula para obtener la potencia necesaria para calentar un caudal a una temperatura deseada, que no es sino la ecuación de absorción de energía de un gas por unidad de tiempo. (Ecuación 3.1)

$$P = \dot{m}_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Siendo  $P$  la potencia necesaria, en kW,  $\dot{m}_{\text{aire}}$  el caudal de aire en kg/s,  $C_p$  la capacidad calorífica del aire, considerada como 1,005 kJ/kg, y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas requerida. Así, se obtiene la tabla 3.5 donde se muestra la potencia obtenida a partir de la Ecuación 3.1. Se considera una temperatura ambiente de 20°C y la temperatura máxima a alcanzar de 400 °C, como ocurre en los estudios descritos anteriormente (tabla 3.1). El rango de caudales es también obtenido a partir de dicha tabla.

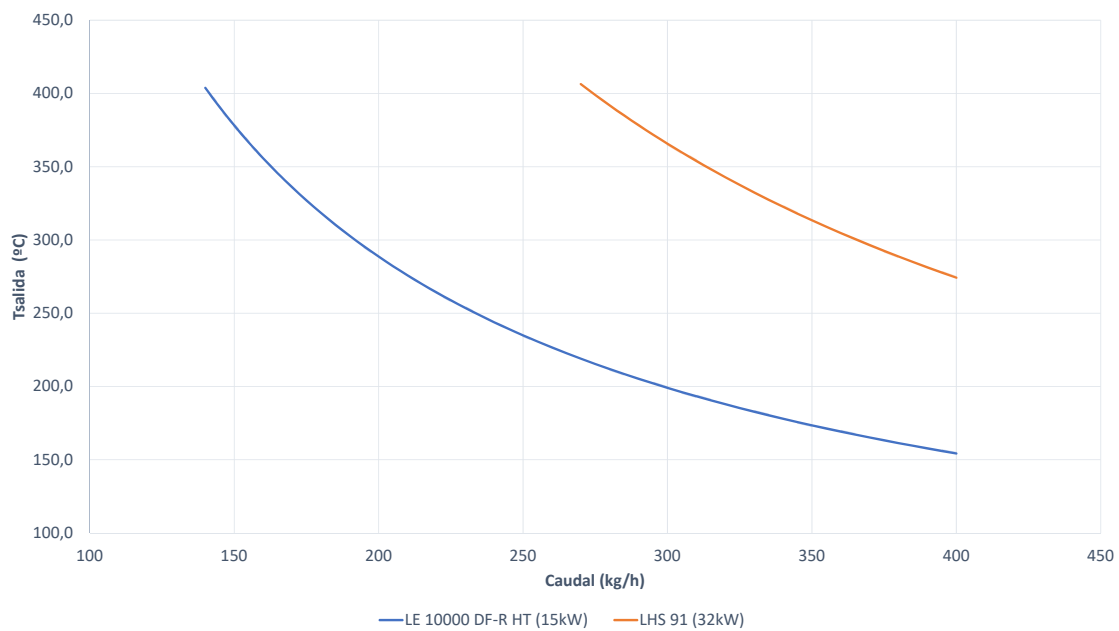
En esta tabla se resalta en verde aquellos puntos de potencia menor de 15 kW y, por tanto, estudiables mediante la resistencia LE 10000 DF-R HT. En amarillo, aquellos puntos cuya potencia se encuentra entre 15kW y 32 kW y, por tanto, aquellos realizables únicamente con la resistencia LHS 91. Notar que, el hecho de existir un caudal mínimo necesario para el funcionamiento hace que existan puntos que, en cuanto a potencia requerida es capaz de alcanzar pero el caudal de dicho punto de ensayo no supera el mínimo necesario para el

correcto funcionamiento de la resistencia y sin embargo, la potencia LE 10000 DF-R HT si es capaz. Por último, en rojo se muestran los puntos que no son capaces de realizarse por ninguna de las dos resistencias, bien por exigencia de un caudal mínimo (puntos de caudal inferior a 62.4 kg/h, correspondiente al caudal mínimo de la resistencia LE 10000 DF-R) o bien por requerir una potencia superior a 32 kW (potencia máxima generada por la resistencia LHS91).

**Tabla 3.5:** Potencia (kW) necesaria para el rango de puntos de ensayo

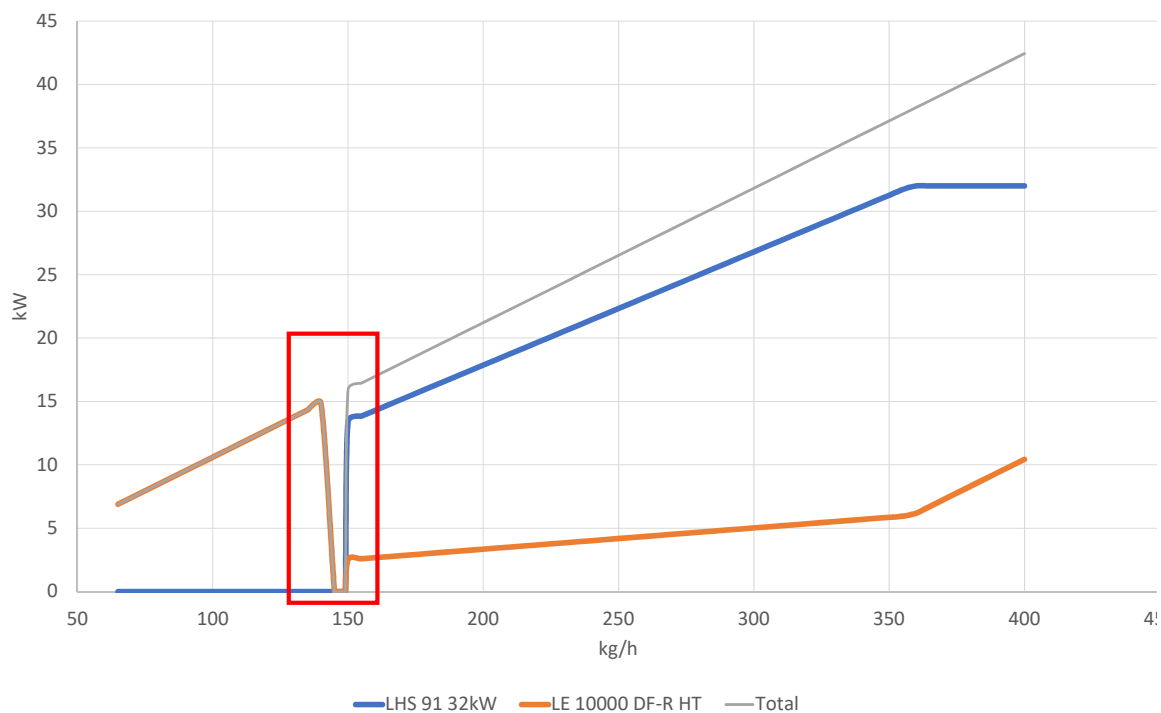
		Caudal (kg/h)															
		40	65	90	115	140	165	190	215	240	265	290	315	340	365	390	400
$\Delta T$ (°C)	80	-	1,5	2,0	2,6	3,1	3,7	4,2	4,8	5,4	5,9	6,5	7,0	7,6	8,2	8,7	8,9
	105	-	1,9	2,6	3,4	4,1	4,8	5,6	6,3	7,0	7,8	8,5	9,2	10,0	10,7	11,4	11,7
	130	-	2,4	3,3	4,2	5,1	6,0	6,9	7,8	8,7	9,6	10,5	11,4	12,3	13,2	14,2	14,5
	155	-	2,8	3,9	5,0	6,1	7,1	8,2	9,3	10,4	11,5	12,5	13,6	14,7	15,8	16,9	17,3
	180	-	3,3	4,5	5,8	7,0	8,3	9,5	10,8	12,1	13,3	14,6	15,8	17,1	18,3	19,6	20,1
	205	-	3,7	5,2	6,6	8,0	9,4	10,9	12,3	13,7	15,2	16,6	18,0	19,5	20,9	22,3	22,9
	230	-	4,2	5,8	7,4	9,0	10,6	12,2	13,8	15,4	17,0	18,6	20,2	21,8	23,4	25,0	25,7
	255	-	4,6	6,4	8,2	10,0	11,7	13,5	15,3	17,1	18,9	20,6	22,4	24,2	26,0	27,8	28,5
	280	-	5,1	7,0	9,0	10,9	12,9	14,9	16,8	18,8	20,7	22,7	24,6	26,6	28,5	30,5	31,3
	305	-	5,5	7,7	9,8	11,9	14,0	16,2	18,3	20,4	22,6	24,7	26,8	28,9	31,1	33,2	34,1
	330	-	6,0	8,3	10,6	12,9	15,2	17,5	19,8	22,1	24,4	26,7	29,0	31,3	33,6	35,9	36,9
	355	-	6,4	8,9	11,4	13,9	16,4	18,8	21,3	23,8	26,3	28,7	31,2	33,7	36,2	38,7	39,6
	380	-	6,9	9,5	12,2	14,9	17,5	20,2	22,8	25,5	28,1	30,8	33,4	36,1	38,7	41,4	42,4

Estas fronteras fruto de la limitación de potencia se pueden observar en la figura 3.7. En ella se muestran las curvas de temperatura de salida-caudal (que se encuentran dentro del rango de temperaturas de ensayo y de limitación de caudal mínimo de las resistencias) bajo las condiciones de potencia máxima que pueden ofrecer las resistencias LE 10000 DF-R HT y LHS 91.



**Figura 3.7:** Variación de la temperatura de salida de las resistencias LHS 91 (32kW) y LE 10000 DF-R HT (15kW) en función del caudal desarrollando el 100 % de potencia.

Con el fin de dar una solución a alcanzar los puntos de alta temperatura y alto caudal, se plantea colocar ambas resistencias en serie. Con este objetivo, se ha estudiado el punto más extremo de temperatura, 400 °C. La resistencia LE 10000 DF-R HT admite una temperatura de entrada del flujo máxima de 350 °C. Si se coloca esta resistencia a continuación de la LHS 91, ésta última deberá elevar la temperatura del flujo hasta un máximo de 340 °C, con el fin de mantener 10 grados de margen de seguridad. Considerando que el flujo a calentar entra a la primera resistencia a 20 °C, entonces el salto de temperatura en la primera etapa será de 320 °C como máximo, mientras que el salto de temperatura en la segunda etapa será de 60°C mínimo. Se considera además que la resistencia de la primera etapa (LHS 91) siempre aportará la potencia máxima posible para alcanzar los 340°C y que será la resistencia de LE 10000 DF-R HT será la que aporte la potencia restante hasta obtener la temperatura de 400 °C. Se evalúa la posibilidad de alcanzar esta temperatura para el rango de caudales planteado anteriormente (40-400 kg/h). Los resultados se muestran en la figura 3.8. Se han eliminado los caudales inferiores al mínimo de funcionamiento de la resistencia LE 10000 DF-R HT, ya que estos puntos no se podrán hacer mediante ninguna de las dos resistencias, como se ha mencionado anteriormente.



**Figura 3.8:** Potencia desarrolladas por las resistencias LHS 91 (32kW) y LE 10000 DF-R HT (15kW) colocadas en serie para alcanzar 400 °C en función del caudal

De esta gráfica se pueden observar diferentes tramos. En primer lugar, en los puntos de ensayo de menor caudal, el aumento de la temperatura lo provoca únicamente de la resistencia LE 10000 DF-R HT, pues la resistencia LHS 91 no puede funcionar debido a que el caudal de ensayo es inferior al de funcionamiento. En segundo lugar, existe un rango de caudales entre 145 kg/h y 150 kg/h (recuadro rojo) donde la potencia necesaria para alcanzar los

400 °C deseados excede la potencia máxima de la resistencia LE 10000 DF-R HT y además, son puntos que se encuentran por debajo del caudal mínimo admisible por la resistencia LHS 91. Esto supone que los puntos correspondientes a estos valores no se podrán realizar mediante esta configuración. En un principio, estos valores ocupan un rango muy estrecho y no deberían suponer un problema para realizar los estudios. En tercer lugar, a partir del caudal mínimo de LHS 91, esta resistencia aumenta la temperatura del aire hasta los 340°C y la LE 10000 DF-R, hasta los 400°C. Finalmente, la potencia de la resistencia LHS 91 satura y no es capaz de calentar hasta 340°C, por lo que el salto de temperatura en la resistencia LE 10000 DF-R HT será cada vez mayor, aumentado así la pendiente de la curva de potencia aportada por esta resistencia.

Como se ha justificado, mediante ninguna de las dos resistencias por separado se consigue abarcar todo el rango de ensayo deseado y solo con ambas colocadas en serie sería posible, a excepción de ciertos puntos que suponen un conjunto muy reducido. Así, se impone una nueva condición de contorno sobre el diseño de la instalación: la posibilidad de colocar las dos resistencias en serie.

A diferencia de la resistencia LE-10000 DF-R, la LHS 91 se encuentra instalada en un banco de ensayos con cierta frecuencia de uso, por lo que se desea una instalación que permita la colocación de ambas resistencias o de solo una de ellas con el fin de tener cierta libertad a la hora de realizar los ensayos de los puntos realizables con la resistencia LE 10000 DF-R HT sin necesidad de tener también instalada la LHS 91. Además, otros proyectos y maquetas desarrolladas en el CMT y que serán utilizadas en esta instalación, presentan rangos de funcionamiento admitidos por la resistencia LE 10000 DF-R HT. Por lo tanto, debido a este condicionante, en el presente trabajo se decide desarrollar el diseño de la instalación para la resistencia LE 10000 DF-R HT, además de tener en cuenta el condicionante en el diseño de la necesidad de uso de la resistencia LHS 91. Las medidas de estas resistencias se muestran en las figuras 3.9 y 3.10.

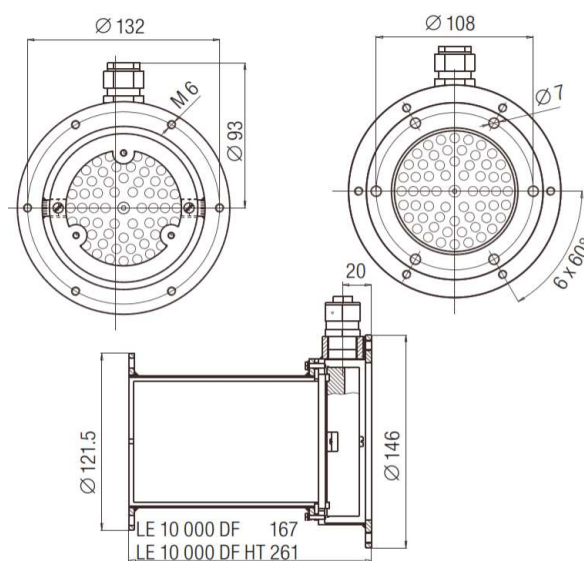
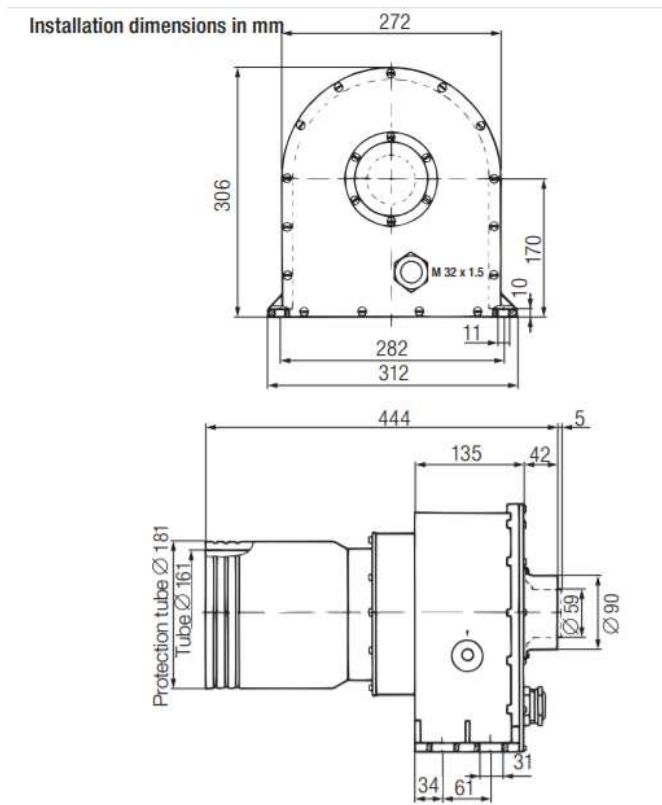


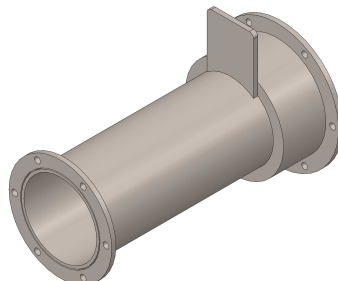
Figura 3.9: Dimensiones de la resistencia LE 10000 DF-R HT (Imagen obtenida del catálogo de Leister)



**Figura 3.10:** Dimensiones de la resistencia LHS 91 (Imagen obtenida del catálogo de Leister)

Con esta resistencia se podrá simular puntos de funcionamiento del motor de bajo régimen y alta carga, situación frecuente en conducción por zona urbana, y aquellos puntos de alto régimen y baja carga, como los que pueden ocurrir durante la conducción en autopista.

Procediendo igual que para el soplador FPZ K07 MS, se construye el modelo de la resistencia en SolidWorks. Para el correcto diseño, se introducen las medidas de la figura 3.9. Otros valores han sido añadidos tras la medición mediante un pie de rey y otros detalles han sido suprimidos ya que no aportan información relevante y para facilitar el renderizado. No obstante, se han introducido elementos para mejorar el realismo de la pieza. El modelado de la pieza se muestra en la figura 3.11.



**Figura 3.11:** Renderizado de la resistencia LE 10000 DF-R HT

Para su correcta adaptación y buen funcionamiento, se requieren diferentes elementos para su ensamblado en la instalación. Así, una brida de conexión de entrada y una junta térmica

de entrada son adquiridas. Para el correcto diseño de la instalación, estos elementos son modelados en SolidWorks atendiendo a la misma filosofía de medidas características exactas y pequeños detalles para dar realismo.

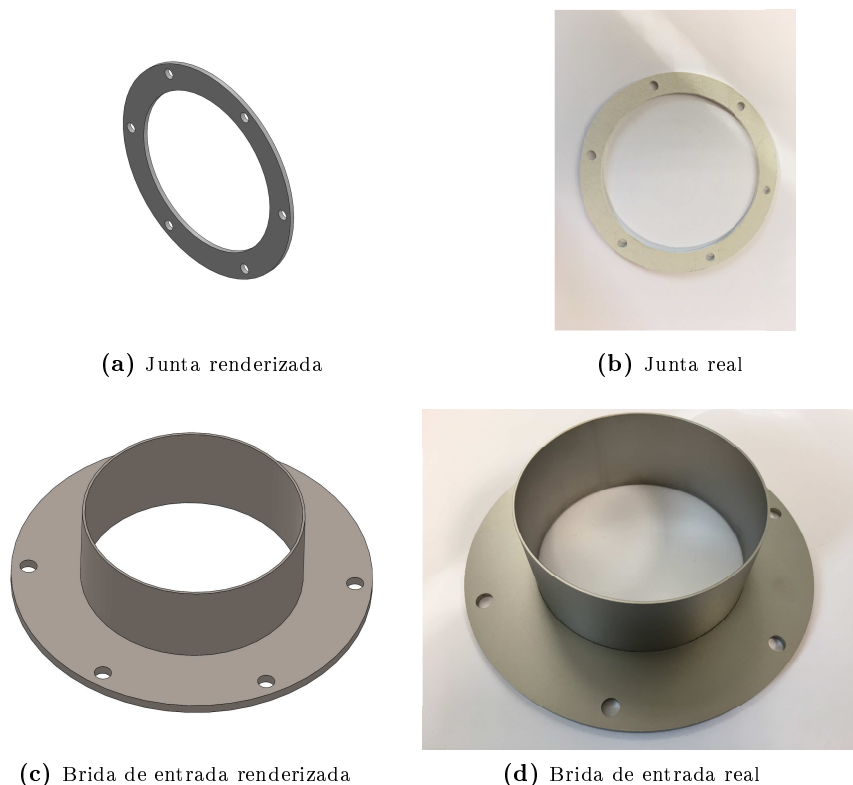


Figura 3.12: Accesorios adquiridos para Resistencia LE 10000 DF-R HT

### ■ Medición de caudal

Para medir el caudal se consideran diferentes alternativas con diferentes principios de funcionamiento y formas obtener la señal de salida (Tabla 3.6). Se han considerado tres caudalímetros con diferentes características para la selección.

Tabla 3.6: Alternativas para medición de caudal

Marca	Modelo	Principio de funcionamiento	Señal de salida	Diámetro	Coste (€)
OMEGA	FV-505C-D	Desprendimiento de vórtices	Display incluido	3"	2.535
SIEMENS	5WK97015	Hilo caliente	frecuencia	80mm	0
	5WK9623		tensión	63mm	0

Por un lado, el caudalímetro OMEGA FV-505C-D no necesita de calibración, a diferencia de los de marca SIEMENS. Además, presenta un Display ya incluido, por lo que no sería necesario el desarrollo de una caja electrónica para la interpretación y mostrado de la

información. Otras características que presenta es un error relativo en la medida inferior al 1 % y una gran robustez.

Por otro lado, los caudalímetros SIEMENS seleccionados son los que se pueden encontrar habitualmente en los vehículos para el control del caudal de aire entrante al motor. Se trata de dispositivos de medida sencillos y baratos. El CMT dispone de gran cantidad de este tipo de caudalímetros. Se distinguen entre los que ofrecen la señal de salida en forma de tensión (5WK9623), cuya calibración es más sencilla, y en forma de frecuencia (5WK97015), los cuales presentan un proceso de calibración más complejo.

Además, para una correcta operación, estos caudalímetros precisan de conductos con el mismo diámetro interior (63mm u 80mm en este caso), deben situarse en horizontal y con conductos de longitud al menos 10 veces este diámetro aguas arriba y mínimo entre 5 y 7 veces aguas abajo.



**Figura 3.13:** Resistencias disponibles en el CMT

Se desestima la opción de adquirir el caudalímetro OMEGA por diversas razones: Se trata de un caudalímetro que presenta propiedades y especificaciones que no son necesarias para esta instalación, como una gran precisión o poder trabajar con flujo de aire hasta 260°C. Además, su coste es muy elevado en comparación con las otras dos opciones (en las cuales solo suponen el coste de la caja electrónica de adquisición de datos).

Finalmente, la selección de un caudalímetro u otro se decide en función del número de repuestos de los que se disponen en caso de fallo, la longitud resultante de los conductos, el rango de diámetros ya condicionados (3" a la salida del soplador y 90mm a la entrada de la resistencia), así como la disponibilidad de estos conductos con los diámetros interiores adecuados.

Así, se decide emplear el caudalímetro 5WK9623 ya que se trata de un modelo del que se dispone mayor cantidad de repuestos y un proceso de adquisición de datos y calibración más sencillo. Además, como se comentará en el apartado 3.2.2, se decide realizar la canalización del flujo mediante tubo de PVC cuyo diámetro interior es de 63,8 mm que, como se ha mencionado anteriormente, es adecuado para la correcta medición, pese a la diferencia de 0,4 mm radiales. El modelado en SolidWorks se muestra en la figura 3.14.



**Figura 3.14:** Renderizado del caudalímetro 5WK9623

### 3.2.2 *Diseño de la instalación*

Una vez determinados los componentes principales y las condiciones de contorno adicionales, se procede al diseño de la instalación.

Estas condiciones adicionales son las referidas a aquellas impuestas por el proceso de selección de componentes. En primer lugar, el soplador y los accesorios como el filtro y el colector del filtro deben quedar en el interior de la estructura con el fin de proteger estos elementos. Además, la altura del filtro supone una restricción de altura mínima de esta estructura. Por otro lado, la selección del caudalímetro impone una longitud de canalización del flujo de aire aguas arriba de éste de al menos 630mm y entre 315mm y 630 mm aguas abajo, condicionando así la longitud de la instalación. Por último, la resistencia y sus accesorios imponen una conexión a esta de 90mm.

Como ya se ha mencionado en el apartado 3.1.2, para los estudios mediante técnicas ópticas debe poder emplearse las mesas ópticas ya disponibles. Para cumplir este requerimiento, se ha diseñado la altura del eje de la canalización del flujo con este fin. Esta referencia supone que el eje axial de la maqueta de visualización también se encuentre centrada a esta altura.

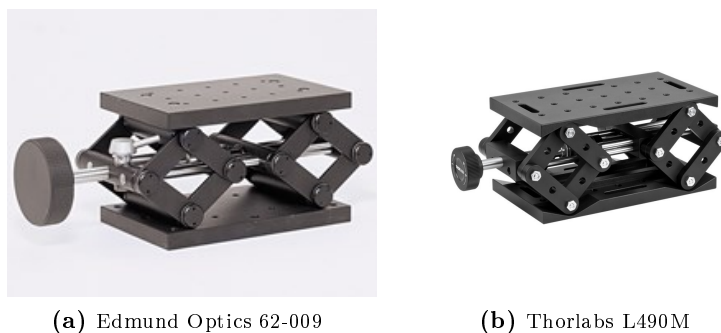
La altura tomada como referencia es la suma de la altura de la mesa, la altura del objetivo de una de las cámaras rápidas y la altura media del accesorio sobre el que se coloca la cámara en cuestión para regular su altura (plataforma óptica o jack). Esta altura ha sido calculada con cierto margen de seguridad, de manera que una modificación en los elementos disponibles para el ensayo no supongan la imposibilidad de llevarlos a cabo.

La altura de las mesas supone 930mm. La cámara se posicionará sobre un jack. El CMT dispone de dos tipos de jack, como los que se muestra en la figura 3.15 y que se detallan en la tabla 3.7. Por posibles motivos de sollicitación, se toma como referencia el jack Thorlabs L490M, ya que, al disponer de dos de este modelo en el CMT, cabe la posibilidad de que sea el habitualmente utilizado. Para el cálculo se toma como referencia la altura media del jack, aproximadamente 84mm.

**Tabla 3.7:** Características de los Jacks disponibles en el CMT

Marca	Modelo	Cantidad disponible	Altura máxima (mm)	Altura mínima (mm)
EDMUND OPTICS	62-009	1	170	100
THORLABAS	L490M	2	112	54,6





**Figura 3.15:** Jacks disponibles en el CMT

Para la altura correspondiente a la cámara rápida, se mide la altura del objetivo de la cámara de mayores dimensiones de las que dispone el CMT con el objeto de, como se ha mencionado antes, obtener un cierto grado de seguridad. Esta altura es de 80mm. Así la altura total del montaje de visualización supone un total de 1094 mm.

En el diseño de la instalación se distinguen tres partes: estructura, canalización del flujo de aire y otros elementos de unión.

#### ■ Estructura

Se entiende por estructura a la parte de la instalación que da soporte a la instalación y permite fijar los diferentes componentes, además de formar un marco para protegerlos. Está formada por perfiles de la marca Fasten. Se trata de perfiles cuadrados de aluminio de 45x45 mm de aleación Al Mg Si 0,5 F25 (6060/6063) ranurado en cada lado, lo que le da una gran versatilidad y fácil montaje y desarmado. Esta selección se debe a la normalización en el CMT del uso de estos perfiles de manera que eventualidades como un rediseño o necesidad de añadir otro perfil a la instalación pueda suponer la reutilización de otros perfiles ya adquiridos y sin uso. Esta estructura renderizada se muestra en la figura 3.16.

La estructura está formada por distintas longitudes de perfiles. El diseño de la parte estructural se muestra resaltado en la figura 3.16. Dos perfiles de 1650mm (1) en la base donde se instalan un total de 6 ruedas (una en cada esquina y otras dos a una cierta distancia para transmitir el peso del soplador y evitar así la flexión del perfil) para un fácil traslado y movilidad (2). El marco de esta base lo completan dos perfiles transversales de 600 mm (3). Se coloca otro de igual longitud para instalar elementos de sujeción del resto de la instalación (4). 4 perfiles de 800mm actúan como pilares (5), en cuyos extremos superiores se colocan perfiles de 1560 mm (6) y 600 mm. Al igual que en el marco inferior, otros dos perfiles de 600mm se colocan en el marco superior para colocar elementos de sujeción. Sobre el marco inferior apoyan dos perfiles de 690 mm (7) que soportarán el peso del soplador. Estos últimos se han diseñado de esta forma con el fin de dar un buen apoyo al soplador y una buena transmisión de esfuerzos, pues el soplador supone un peso de alrededor de 52kg.

Para la fijación de estos perfiles se utilizan escuadras de 42x42x42 mm y tornillos tipo cabeza martillo M8x25mm de acero inoxidable zincado 8.8, además de la tuerca correspondiente, todo del mismo sistema de Fasten. Para la sujeción del soplador y las abrazaderas se emplean tuercas cuadradas insertadas en los canales de los perfiles.

La altura de la estructura permite, mediante el uso de espárragos, ajustar la altura final de la canalización en un rango relativamente amplio. La longitud está condicionada por las dimensiones de la canalización de aire y el ancho por las dimensiones del soplador y el posicionamiento de las válvulas existentes en el interior de la estructura.

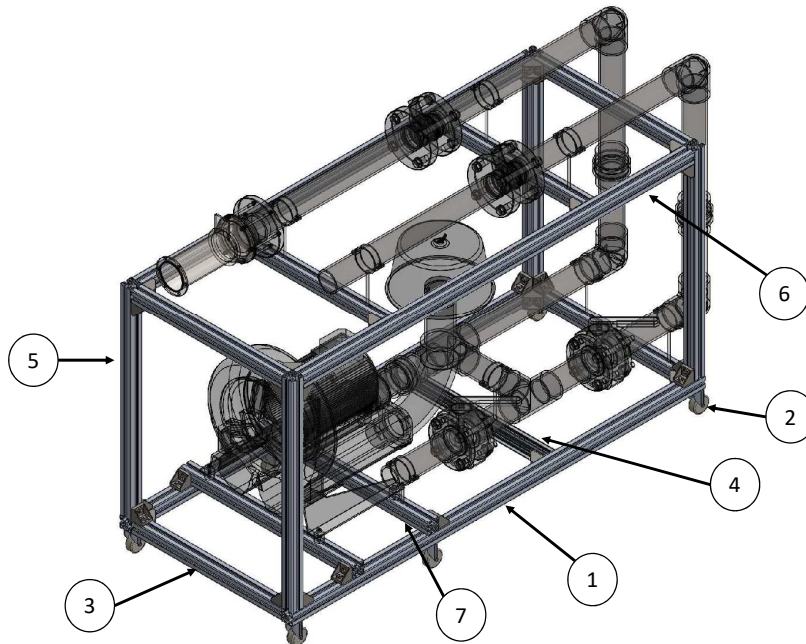
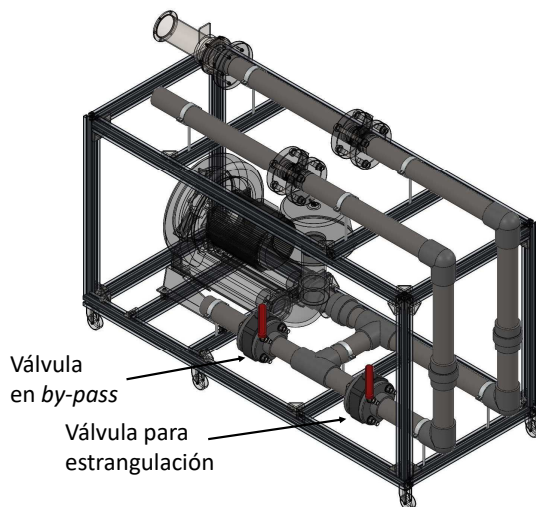


Figura 3.16: Renderizado de la estructura de la instalación de flujo de aire

#### ■ Canalización del flujo de aire

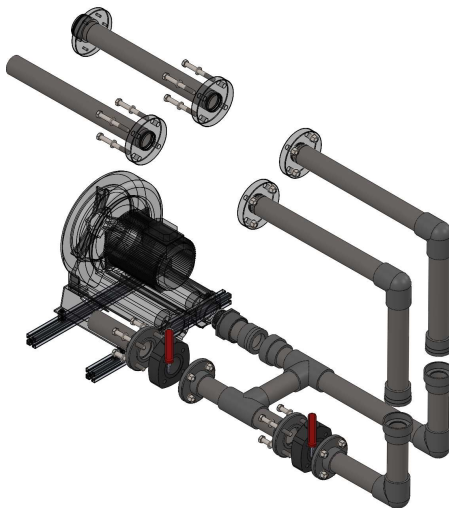
La canalización del flujo de aire se ha definido como el conjunto de tubos, elementos de unión y de regulación, así como los componentes se permiten su fijación, ya diseñados y normalizados, seleccionados y adquiridos a través de la empresa suministradora del CMT de este tipo de componentes. Se decide realizar la canalización utilizando elementos de PVC para conducción de flujo a presión. Esta selección se decide fundamentalmente por ser económica con respecto a otras alternativas, como los tubos metálicos, además de que el montaje, corte de tubos o piezas y demás modificaciones o uniones es más sencillo.

El diseño y la selección de estos elementos ha estado condicionada por diferentes requerimientos: como se ha mencionado anteriormente, la instalación debe poder ser utilizada en otros estudios consiguiendo el mínimo número de modificaciones posible. Durante el diseño se ha conocido la necesidad en un estudio desarrollado en el CMT de un flujo de aire caliente y otro de aire a temperatura ambiente para refrigeración. Conocido esto, se decide por el diseño de dos salidas de aire, una conectada a la resistencia y otra cuya salida será aire a temperatura ambiente. Los caudales de estas salidas serán reguladas por dos válvulas de mariposa (además de la regulación del flujo a través de un variador de frecuencia del soplador), una conectada en *by-pass* y otra que permite la estrangulación de la salida de aire a temperatura ambiente. La posición de las válvulas se muestra en la figura 3.17



**Figura 3.17:** Renderizado de la canalización de la instalación de flujo de aire

Por otro lado, se adquieren componentes que permitan un desmontaje de las diferentes partes para su utilización en otros estudios, como puede ser el caso del soplador, o por motivos de almacenamiento, sustitución, etc. Para ellos, se diseñan diferentes módulos independientes, como se muestra en la figura 3.18.



**Figura 3.18:** Renderizado del detalle de los diferentes módulos de la canalización de la instalación de flujo de aire

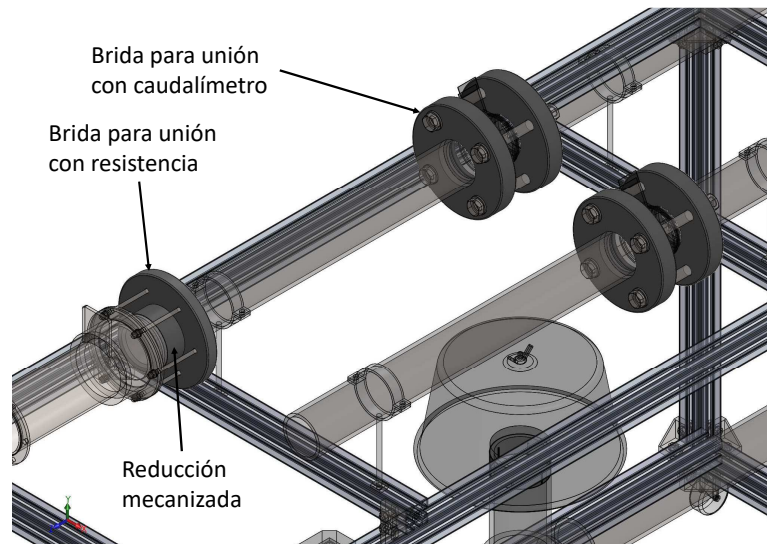
Esta parte de la instalación se compone de diferentes tramos de tubería de PVC de presión nominal de 16 atmósferas de 75 mm de diámetro exterior. Pese a que esta instalación está prevista que funcione a presión atmosférica, se selecciona éste tipo de tubería, pues el

diámetro interior es de 63,8 mm, casi ideal para el correcto funcionamiento del caudalímetro. También se adquieren componentes como codos y uniones tes para acoplar estos tramos con el resto de la instalación. Elementos como portabridas y bridas permiten la conexión con las válvulas. Otros como una transición de rosca macho de 3" a diámetro exterior de 90mm y una reducción de 90 mm de diámetro interior a diámetro exterior de 75 mm se emplea para conectar el soplador al resto de la canalización. También se adquieren uniones que permiten conectar de forma no permanente el conjunto de la canalización con el soplador y el conjunto superior con el inferior. Todos estos componentes se unen a los diferentes tramos mediante adhesivo para PVC.

Se consigue así una instalación versátil que da lugar a posibles variantes con respecto al diseño original. Permite desconectar el sistema de canalización del soplador de manera que éste puede desempeñar otra función sin que esto suponga reponer partes de tubería u otros elementos. La división en módulos de la parte superior con respecto a la inferior permite la conexión de otros componentes con diferentes características que requieran otros ensayos.

#### ■ Elementos de unión para caudalímetro y resistencia

Una serie de elementos adicionales han sido diseñados para completar el diseño de la instalación. Estos elementos tienen por objetivo una unión no permanente y sencilla de desmontar con la resistencia LE 10000 DF-R HT y con los caudalímetros, permitiendo así una reposición en caso de fallo de estos componentes sin desechar o necesidad de reponer el resto de partes de la instalación.



**Figura 3.19:** Renderizado de las partes diseñadas y realizadas en el CMT del flujo de la instalación de aire

Para la unión con los caudalímetros se diseña una brida. Un lado de la brida se une al tubo correspondiente mediante adhesivo y el otro lado está acoplado al caudalímetro. En el interior, un alojamiento para junta tórica de sección 3 mm y diámetro interior 70 mm ha sido labrada para garantizar la estanqueidad de la instalación.

Por otro lado, una reducción de 90mm de diámetro interior a 75mm de diámetro exterior es mecanizada reduciendo el diámetro exterior en 2 mm y realizando un alojamiento para junta tórica de sección 3 mm y diámetro interior 83 mm, de nuevo para asegurar la estanqueidad de la instalación. Además, otra brida es diseñada para fijar la resistencia con el resto de la instalación. El renderizado de estas piezas se muestra en la figura 3.20.

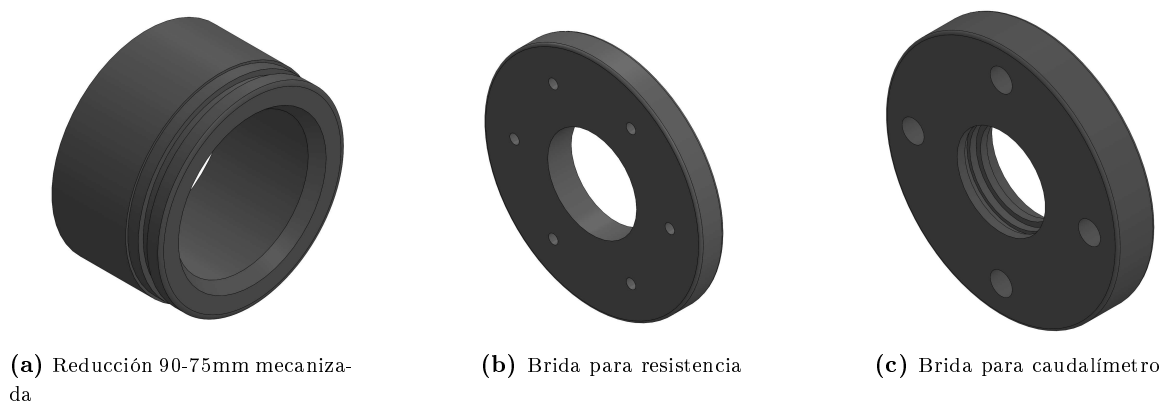


Figura 3.20: Piezas para unión con caudalímetro y resistencia

### 3.3 Instrumentación y equipos auxiliares

#### ■ Variador de frecuencia

El régimen de giro del soplador y, por tanto, el flujo de aire suministrado por éste, es regulado mediante un variador de frecuencia de 3,7 kW de. Se diseña, además, una placa de sujeción de éste sobre la instalación de aire.

#### ■ Controlador de resistencia

El control de la resistencia se realiza a partir de un controlador PID KSR Digital y un potenciómetro, construido por un técnico electrónico en el CMT. Así la regulación se podrá realizar de manera manual o a través del PID. Para esto último se requiere de una sonda de medición de temperatura a la salida (o en el punto en el que se desee una temperatura determinada) de manera que el controlador tenga una referencia.

#### ■ Medición del caudal

El funcionamiento del sistema de medición de caudal por medio de un hilo caliente anemométrico se fundamenta en la medición de la tensión de salida del transductor, formado por el hilo caliente y un sistema de acondicionamiento de la señal, que dependerá a su vez de la velocidad del fluido.

El fundamento teórico de este transductor consiste en que el calor generado por el efecto Joule es disipado por convección del fluido. Esta disipación de la energía por efecto Joule depende de la tensión y la resistencia del hilo, mientras que el calor disipado por convección depende de la superficie del hilo, la diferencia de temperatura entre el gas y el hilo y el coeficiente de convección. El sistema de acondicionamiento de la señal detecta una variación del caudal másico debido a una variación en el valor de la resistencia del hilo, por lo que,

debido a la retroalimentación del sistema de acondicionamiento, tenderá a modificarse la corriente para obtener de nuevo una misma resistividad en el hilo. Así, se obtiene una dependencia entre la tensión de salida y el flujo másico.

El registro de la medida del caudal másico se realizará a través de una caja de adquisición de datos que es construida en el CMT y consta de una fuente de alimentación y un display. Una imagen de este display se muestra en la figura 3.21



**Figura 3.21:** Interfaz de control y visualización de datos del display

# Diseño de la maqueta de visualización

Al igual que en el capítulo 3, el diseño de la maqueta de visualización tiene como base la literatura estudiada en la sección 2.7, además de otras como [28] y [29]. Como puede apreciarse, las maquetas de visualización desarrolladas tienen diferentes funciones. Se distinguen así dos tipos de maquetas de visualización: aquellas cuyo objetivo es permitir la visualización de la fase de inyección, en la que se pretende estudiar el chorro desde la salida del inyector y su comportamiento ante variaciones de presión de inyección, caudal del flujo, etc. Parámetros como el ángulo o la penetración del chorro son estudiadas en con este tipo de maquetas. Otras son diseñadas para permitir ver el desarrollo de la mezcla urea-flujo de gas y así estudiar los procesos de mezcla en función del flujo de gas, su temperatura, el ángulo de inyección, etc.

En el presente trabajo se diseña una maqueta que permita la visualización del chorro de urea desde la salida del inyector. Para ello, tres ventanas de vidrio iguales y una superior de menor longitud biseladas a  $45^\circ$  por uno de sus lados se ensamblan a  $90^\circ$  gracias a estos chaflanes y son fijadas por unos soportes cilíndricos con ranuras también de  $90^\circ$ . Sobre el lado de la ventana de menor tamaño, se ensambla la base sobre la que se colocarán los diferentes portainyectores y donde se insertarán termopares para el control de la temperatura. Todo este conjunto, con las correspondientes juntas de carbono, se encuentra confinado por sendas bridas que mantienen la estructura unida. El renderizado de la maqueta se muestra en la figura 4.1

En este capítulo se abordará también el diseño de los portainyectores para distintas orientaciones, así como los elementos de sujeción del inyector en éste. Para un primer estudio sobre la inyección de urea, el CMT adquiere dos inyectores Bosch equipados en los vehículos BMW X5. Se trata de un inyector no asistido por aire, refrigerado por agua e instalado en el tubo de escape en una configuración en forma de Y. Además se adquiere la bomba correspondiente.

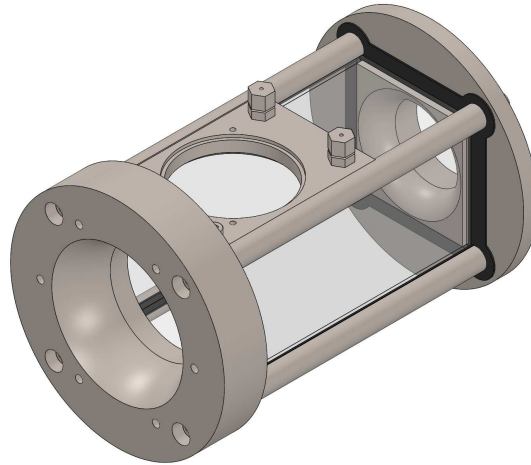


Figura 4.1: Renderizado de la maqueta de visualización

## 4.1 Requerimientos

Para el diseño de la maqueta de visualización, se han impuesto una serie de restricciones que se deben cumplir con el fin de obtener una herramienta eficaz y útil para la visualización de la inyección de urea.

### ■ Dimensiones

Un aspecto importante a tener en cuenta ha sido el tamaño de la maqueta, principalmente de los accesos ópticos, ya que se debe poder realizar distintas técnicas ópticas, como las descritas en la sección 2.8. Estas técnicas requieren de distintos accesos donde orientar la cámara, así como la necesidad de emplear estos accesos para poder iluminar de distintas formas para realizar, por ejemplo, ombroscopía, y para la orientación de un láser, como el caso de PDA. Estas restricciones orientan el diseño hacia unos accesos amplios y sin interferencia de ningún obstáculo, tanto para la visualización como para el posicionamiento de la instrumentación requerida.

### ■ Control de la temperatura

Para la correcta adquisición de los datos de ensayo, se precisa conocer la temperatura dentro de la maqueta. Esta medición se realizará mediante la introducción de termopares a través de un racor.

### ■ Condiciones realistas

Para el estudio de la inyección de urea, se pretende desarrollar la maqueta con la condición de que el flujo de aire presente, en la medida de lo posible, unas condiciones de entrada a maqueta similares a las reales, además de un proceso de inyección realista igualmente. Para esto, el flujo no debe presentar ningún obstáculo dentro de la maqueta que pudiera modificar su dirección, así como conseguir una configuración de los diferentes portainyectores de manera que no perturbe el flujo más allá de lo real.



#### ■ **Posicionamiento del inyector**

Uno de los parámetros estudiados en la inyección de urea es la orientación del inyector con respecto al flujo de aire. Por lo tanto, la maqueta diseñada debe disponer de un espacio para el posicionamiento del inyector en diferentes direcciones.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se han adquirido dos inyectores. Una característica que ha supuesto un importante condicionante ha sido las dimensiones de éste, donde el diámetro de la zona de fijación del inyector llega a medir 48 mm, en comparación con los 32 mm aproximadamente que suelen medir los inyectores diésel o gasolina para automóvil. Esto supone que el inyector no sea muy compacto, lo que ha supuesto una importante dificultad a la hora de diseñar tanto los diferentes portainyectores como la base donde se van a situar éstos.

#### ■ **Visualización del chorro**

Una de las condiciones fundamentales para el estudio de la inyección de urea es poder estudiar el desarrollo de este chorro desde su comienzo, en la salida del inyector. Para ello, es necesario que la base del inyector entre en la zona de visualización.

## 4.2 Fase de diseño

En los diseños estudiados en la literatura ya citada, las maquetas diseñadas para el estudio del chorro de inyección se basan en estructuras de sección cuadrada donde se sueldan portaventanas en cada lado para la visualización del chorro. En ellas, se encuadran las ventanas dentro de un marco metálico y se sellan con una tapa que recubre el borde de estas ventanas para garantizar la estanqueidad.

En una primera aproximación se propone una maqueta con estas mismas características, con tres accesos ópticos de anchura 80 mm y uno superior, a continuación del portainyector, de misma anchura y menor longitud. Se trata de una maqueta basada en la diseñada por [23], con una sección mayor. Esta maqueta presenta el inconveniente de que la estructura de los marcos para sujetar las ventanas reducía el espacio útil de visualización, dando lugar a zonas de estudio con dificultades para su visualización, como es la visualización de los primeros milímetros de la inyección.

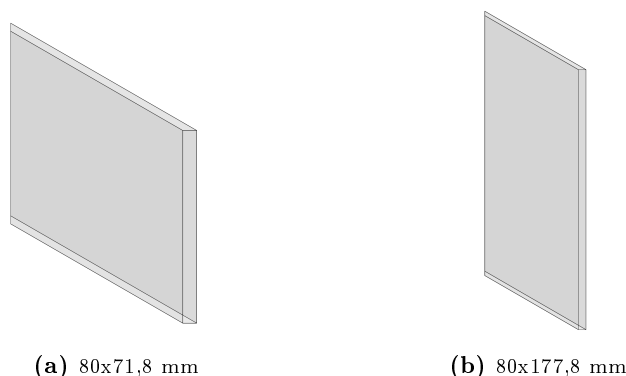
Así, se decide el desarrollo de una maqueta donde no existe una estructura como tal, sino que los diferentes componentes se diseñan para ser ensamblados en torno a cuatro accesos ópticos, formando una sección cuadrada, sin marcos y con solo unas sujeciones en los bordes para mantener las ventanas en su posición.

#### 4.2.1 Componentes de la maqueta

##### ■ Accesos ópticos

Como las ventanas son el centro de la maqueta y a partir de ellas se diseña el resto de componentes, el diseño comienza por su selección. Para que el espacio de estudio presente unas dimensiones similares a las condiciones reales y para evitar un cambio de sección relativamente grande entre la salida de la instalación y la entrada a la maqueta, se decide una anchura de las ventanas de 80 mm, dando lugar, por consiguiente, a una sección cuadrada de 80x80 mm como centro de la maqueta. Estas ventanas irán biseladas a 45° por el lado más largo para conseguir un perfecto ensamblaje entre las distintas ventanas.

La empresa suministradora de material óptico del CMT, Edmund Optics, dispone en su catálogo de ventanas de diferentes tamaños. Con la condición de la anchura descrita anteriormente, se seleccionan las ventanas de dimensiones 127,0x177,8 mm y 3 mm de espesor. Se trata de ventanas con antireflectante de alta eficiencia, particulares para estudios ópticos diversos. Estas ventanas son enviadas a mecanizar para obtener finalmente unas dimensiones de 80x177.8 mm, además del biselado a 45°. Una de estas ventanas, además, tiene una longitud menor al resto, pues sobre uno de los lados que compone la sección cuadrada se colocará la base del portainyector. El renderizado de estas ventanas se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2:** Renderizado de las ventanas de la maqueta de visualización

Con las mismas dimensiones que estas ventanas, se han mecanizado unas piezas en acero inoxidable para realizar los ensayos preliminares.

##### ■ Soportes para las ventanas

Para reducir al máximo la zona de visualización invadida, se busca diseñar una forma de sujeción de manera que garantice la fijación de las ventanas y su estanqueidad. La idea principal es sujetar las ventanas por las cuatro aristas de la forma mas eficiente posible, es decir, reduciendo al mínimo la zona de ventana ocupada. Además se pretende evitar la introducción de tensiones en las ventanas. Una primera propuesta cumplía este fin mediante perfiles en L de 8 mm de lado y 3 mm de espesor. Sin embargo, existía el inconveniente de la fijación de estos perfiles sobre el resto de la maqueta de manera que se garantice la estanqueidad y la consistencia estructural y la solución diseñada podría introducir tensiones axiales de compresión que deteriorarían las ventanas.

Se optó, finalmente, por unos soportes cilíndricos de 14 mm de diámetro y ranurados cuyos lados tienen alrededor de 5 mm. En los lados de estos perfiles se realizan roscas de 6 mm para su fijación con el resto de componentes. Entre los soportes y las ventanas se colocan, en cada lado de la ranura, juntas de grafito de un 1 mm de espesor para garantizar la estanqueidad.

Un aspecto importante y condicionante del diseño es el posicionamiento del inyector. Esto ha supuesto la necesidad de colocar un elemento en uno de los lados de la maqueta que permite la inserción del inyector. Esta base para el portainyector ha supuesto la realización de dos ranuras adicionales sobre dos de estos soportes debido a las restricciones de su diseño. El renderizado del conjunto de las ventanas y soportes se muestra en la figura 4.3.

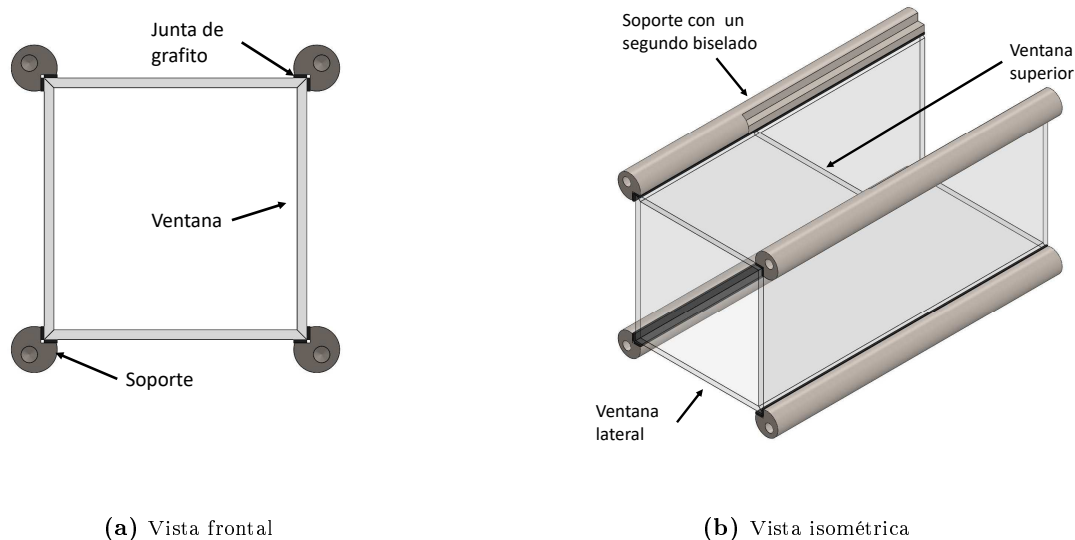


Figura 4.3: Renderizado de detalle de soportes y ventanas de la maqueta de visualización

#### ■ Base del portainyector

Una finalidad de la maqueta de visualización es estudiar el efecto sobre el chorro inyectado en función de la inclinación del inyector respecto a la dirección de los gases de escape. La filosofía de la maqueta de evitar una estructura permanente hace que no sea posible realizar una única pieza para cada orientación, ya que esto supondría el montaje y desmontaje de la maqueta por completo, por lo que se opta por realizar una base que sea única y válida para cada orientación, además de unos portainyectores con la orientación del inyector labrada y con las mismas dimensiones exteriores para que puedan ser insertados en esta base.

La parte inferior de la base simula la continuación de la ventana superior. Se realiza un biselado a  $45^\circ$  para su ensamblaje con las ventanas laterales y otro a  $90^\circ$  en la zona de unión con la ventana superior para que la base se superponga sobre la ventana. Además, entre estas dos partes, se coloca, igual que para los soportes, una junta de grafito para garantizar la estanqueidad. Además, también en la zona inferior, se realiza un chaflán en todo el perímetro del agujero donde se inserta el portainyector ya que, debido a las dimensiones

tan restrictivas, el portainyector de 45° diseñado precisa de este recorte para un buen posicionamiento del inyector.

En la parte central se diseñan unas ranuras a modo de raíl para su ensamblaje con los soportes laterales. Se consigue así que la base transmita su peso a través de los soportes y no sobre las ventanas.

Por último, la parte superior presenta un avellanado para el correcto encaje de los portainyectores. La base presenta además agujeros para fijarla a la brida de entrada, de la que se hablará más adelante. Dos agujeros roscados de 8 mm permiten la introducción de un racor con termopares para la obtención de la temperatura en el interior de la maqueta. Esto nos permitirá tanto para conocer la temperatura exacta a la que se inyecta como para permitir que el controlador del PID mantenga esta temperatura. Otros dos orificios roscados de 4 mm de diámetro son mecanizados para el ensamblaje del portainyector. El renderizado de la base, así como un detalle de su posición en la maqueta se muestra en la figura 4.4.

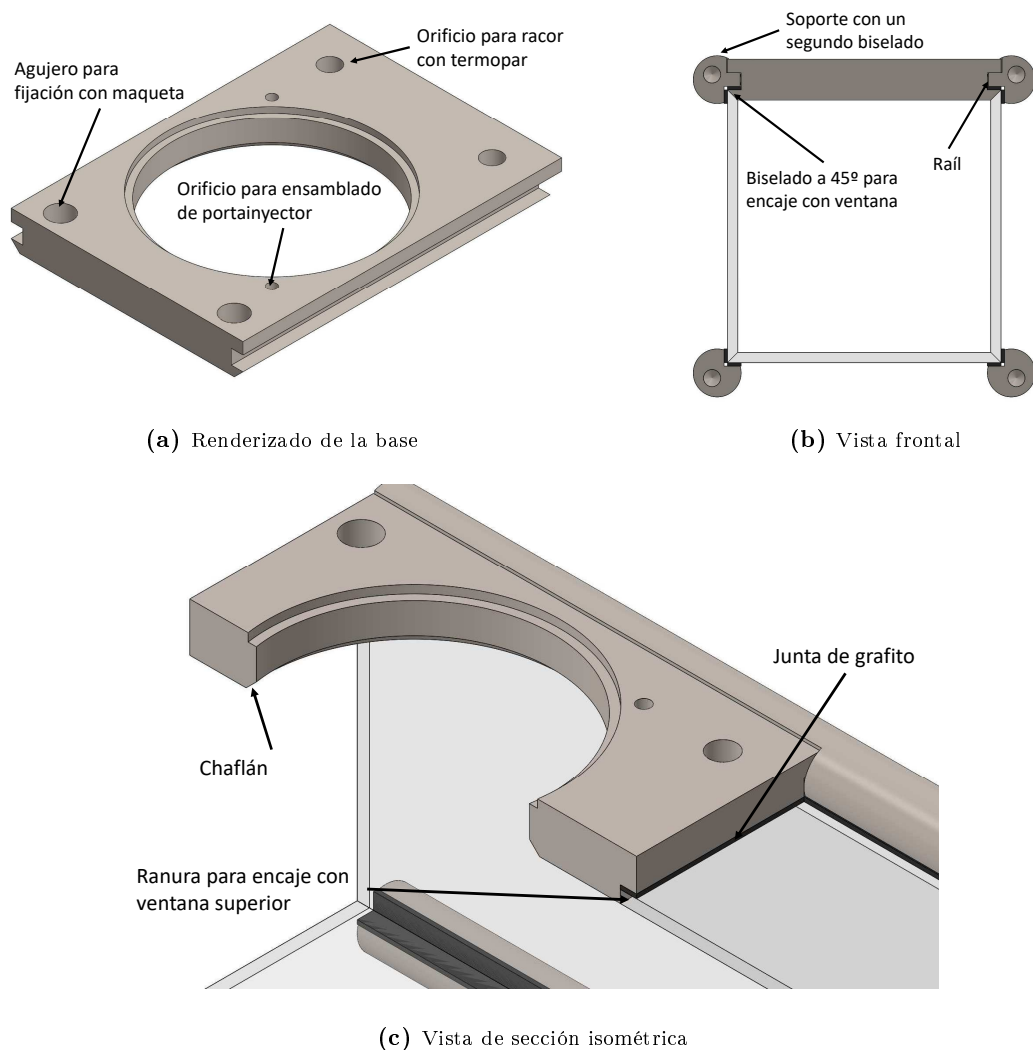


Figura 4.4: Base y detalle de su montaje

Para mantener todos los componentes anteriormente citados fijados se diseñan dos bridas, una que se denomina de entrada o *Inlet* y otra de salida u *Outlet*. Sobre estas bridas se fijarán los soportes a través de tornillos. Esta fijación permite no transmitir tensiones axiales a las ventanas más allá de la necesaria para garantizar la estanqueidad. La unión de estos soportes con las bridas presenta, en medio de ambas partes, una junta de grafito de 1 mm de espesor.

#### ■ **Brida de entrada**

La brida de entrada es la pieza que se conecta a la resistencia de la instalación de aire y que encauza el flujo hacia la zona de visualización. En ella se ensamblan mediante tornillos los soportes de las ventanas, así como la base del portainyector. El renderizado y su posicionamiento en la maqueta se muestra en la figura 4.5

Para un buen acondicionamiento del flujo, se mecaniza un cambio de sección de diámetro de 92 mm (salida de la resistencia) a 70 mm (entrada a maqueta de visualización).

En la cara que se une a la resistencia, se mecanizan orificios pasantes donde se insertarán los tornillos para fijar los soportes. Se mecaniza también el alojamiento de la cabeza del tornillo ya que, debido a las dimensiones de todos los componentes, tanto para los diseñados, como las ventanas, como para los adquiridos, como la resistencia, se produce una interferencia entre las dimensiones de la salida de ésta con los orificios de unión de los soportes. También se mecanizan agujeros roscados para la fijación de la resistencia.

En el lado opuesto, se mecaniza una sección cuadrada de dimensiones consistentes con el lado interior de la sección resultante del ensamblado de las ventanas. Se consigue así una zona de apoyo de las ventanas. Este saliente permitirá, además, la fijación de la base del portainyector a través de los orificios roscados.

#### ■ **Brida de salida**

La brida de salida supone un diseño más sencillo. Supone el cierre de la maqueta y debe permitir una adecuada evacuación de los gases. Al igual que en la brida de entrada, se mecaniza una sección cuadrada para el apoyo de las ventanas, aunque en este caso de menor longitud.

En la cara exterior a la maqueta se mecaniza una sección circular que permitirá un cambio de sección de salida más suavizada, además de una zona donde colocar una abrazadera para conectar un tubo que guíe los gases hacia la chimenea de escape de la sala de ensayos.

En la zona central se mecaniza este cambio de sección de salida mencionado de diámetro de 72 mm a 50 mm para garantizar una correcta salida de los gases.

Por último, se realizan los orificios pasantes correspondientes para la fijación de los soportes. Esta brida también actuará como punto de apoyo para el posicionamiento de la maqueta. En la figura 4.6 se muestra la brida y los detalles de su ensamblaje.

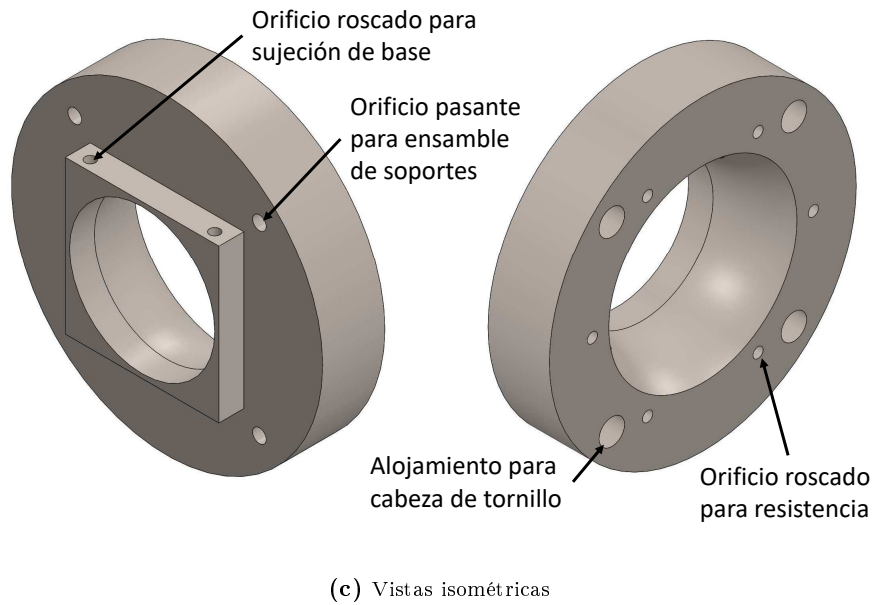
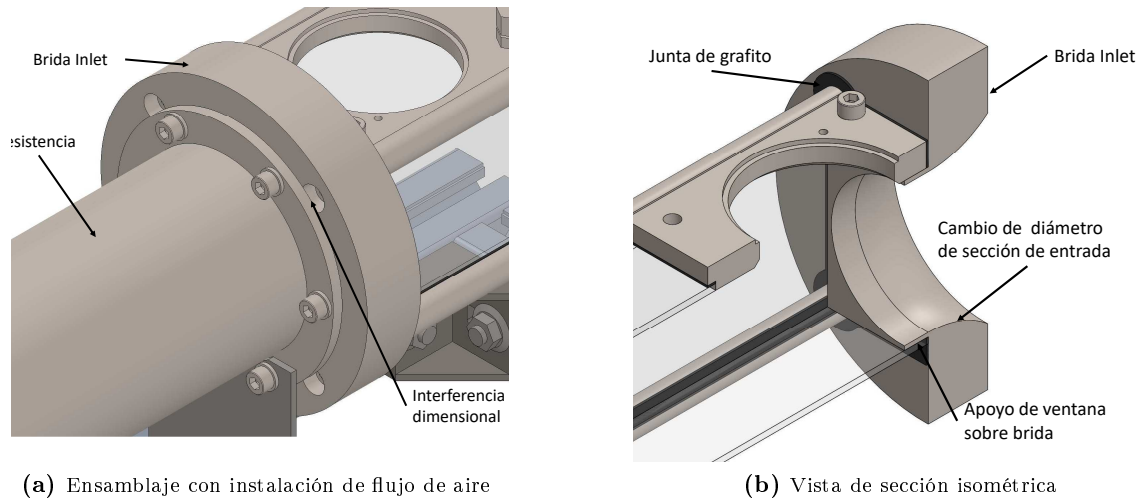


Figura 4.5: Brida Inlet y detalle de su montaje

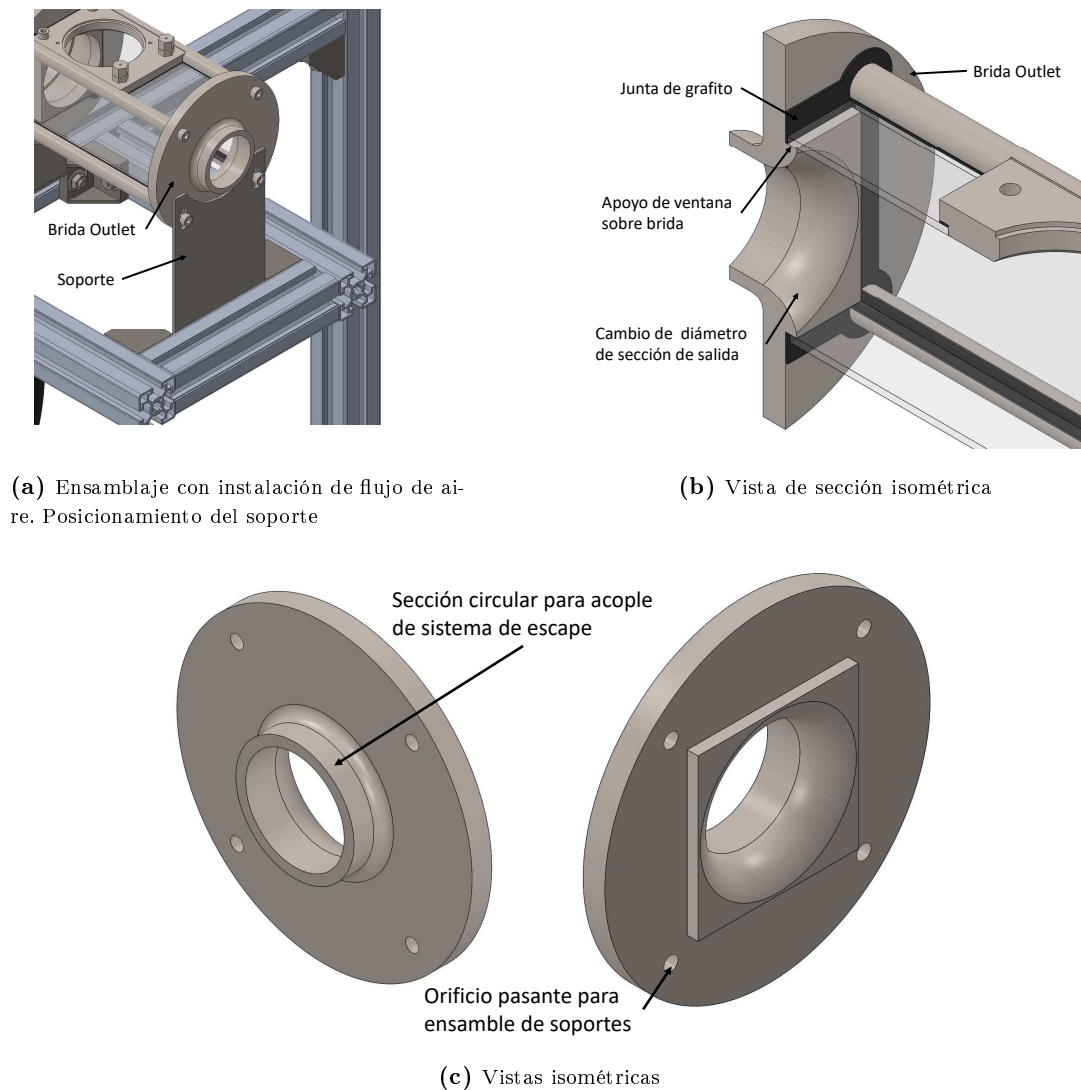
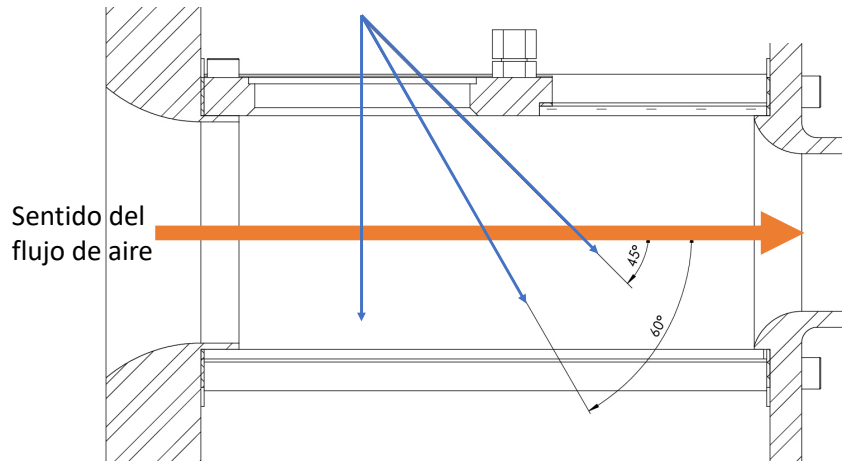


Figura 4.6: Brida Outlet y detalle de su montaje

#### 4.2.2 Diseño de los portainyectores

Para la orientación del inyector se diseñan diferentes portainyectores, además de un sistema para fijar el inyector a éstos. Se diseñan tres inyectores con tres orientaciones diferentes: perpendicular al flujo de aire,  $90^\circ$ , y dos orientaciones de  $60^\circ$  y  $45^\circ$ . En la figura 4.7 se muestra una ilustración de las direcciones de estos ángulos. Para unos primeros estudios del comportamiento y del correcto funcionamiento y diseño de todas las partes, se decide mecanizar sólo el portainyector con orientación perpendicular al flujo de aire, así como el sistema de fijación. En un futuro, se mecanizarán los otros dos portainyectores.

Las dimensiones de la maqueta, así como las del inyector han supuesto una gran dificultad a la hora de encontrar una solución constructiva válida para los estudios deseados debido al escaso espacio disponible para insertar la pieza. En el caso del inyector, dimensiones como las encontradas para asegurar la estanqueidad o las líneas de entrada y salida del sistema de refrigeración han

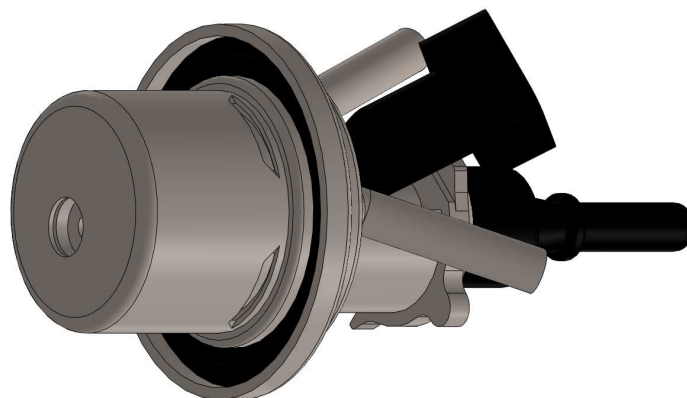


**Figura 4.7:** Orientaciones del inyector

supuesto una especial restricción de diseño. El modelado en SolidWorks del inyector se muestra en la figura 4.8.

Los requerimientos del portainyector para el posicionamiento del inyector a  $45^\circ$  han sido las condiciones de contorno de las dimensiones exteriores de los portainyector, a fin de que todos ellos puedan ser insertados en la misma base, sin necesidad de modificar o rediseñar esta última para cada orientación.

Todos los portainyector diseñados tienen un mismo mecanizado para la zona de acoplamiento del inyector. Así, la junta de estanqueidad que éste presenta se apoya sobre una superficie de mismas características en cualquier portainyector.



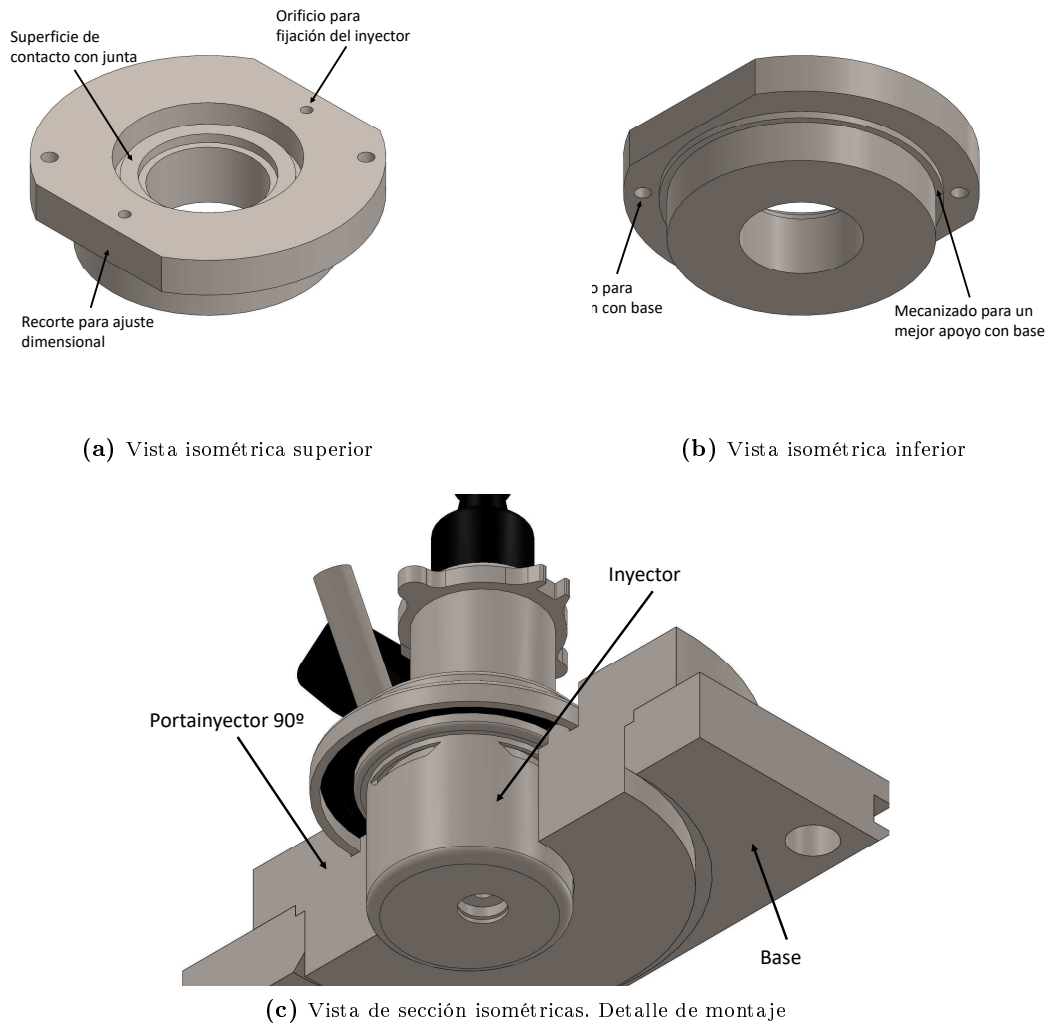
**Figura 4.8:** Modelado del inyector

#### ■ Portainyector $90^\circ$

Este portainyector ha sido el que menos dificultad de diseño ha presentado. Se trata de una pieza mecanizada exteriormente en diferentes secciones de distintos diámetros adaptándose a la forma de la base de la maqueta. dos recortes simétricos se realizan para ajustar el ancho



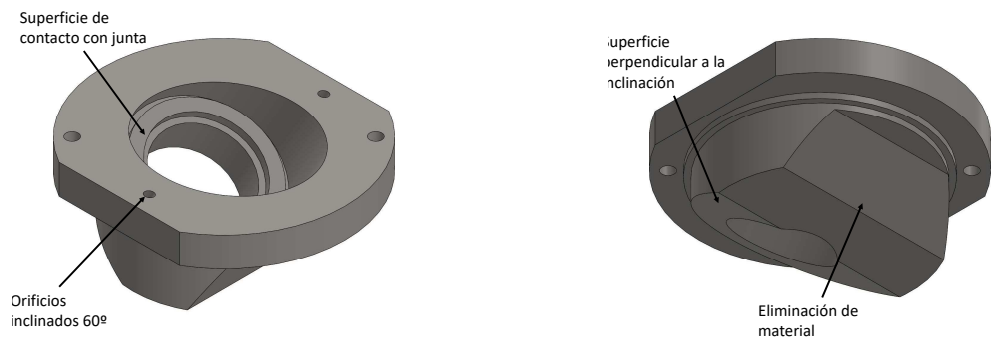
del portainyector al de la base. En el interior se mecaniza el orificio con las dimensiones requeridas para el inyector, así como la ranura donde se acoplará con la junta de estanqueidad del inyector. Orificios roscados para fijar el inyector mediante una garra y otros sin roscar para la fijación del portainyector sobre la base son también mecanizados. En la figura 4.9 se muestra el modelado de este portainyector.



**Figura 4.9:** Portainyector 90° y detalle de montaje

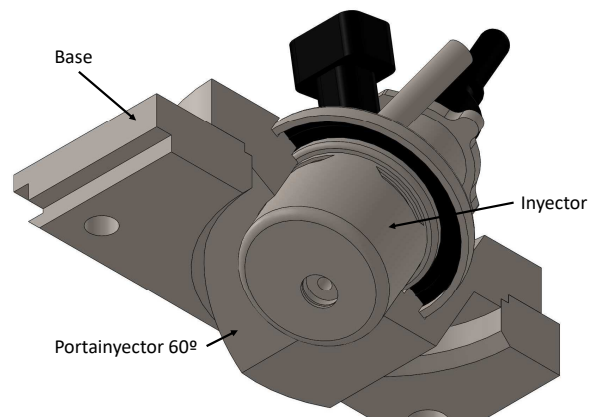
#### ■ Portainyectores 60° y 45°

Para estos portainyectores se procede de la misma manera que para el anterior. Los orificios para la fijación del inyector también presentan la misma dirección que el portainyector. Además, se diseñan con la superficie donde se encuentra el orificio de salida para el inyector perpendicular a la inclinación correspondiente. Con el fin de aligerar el peso del portainyector, se realizan recortes de material en aquellas zonas donde sea posible. Los modelados de estos portainyectores se muestran en las figuras 4.10 y 4.11



(a) Vista isométrica superior

(b) Vista isométrica inferior



(c) Vista de sección isométricas. Detalle de montaje

**Figura 4.10:** Portainyector 60° y detalle de montaje

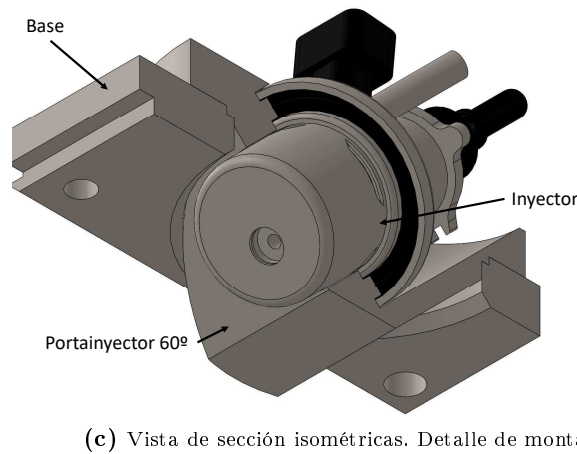
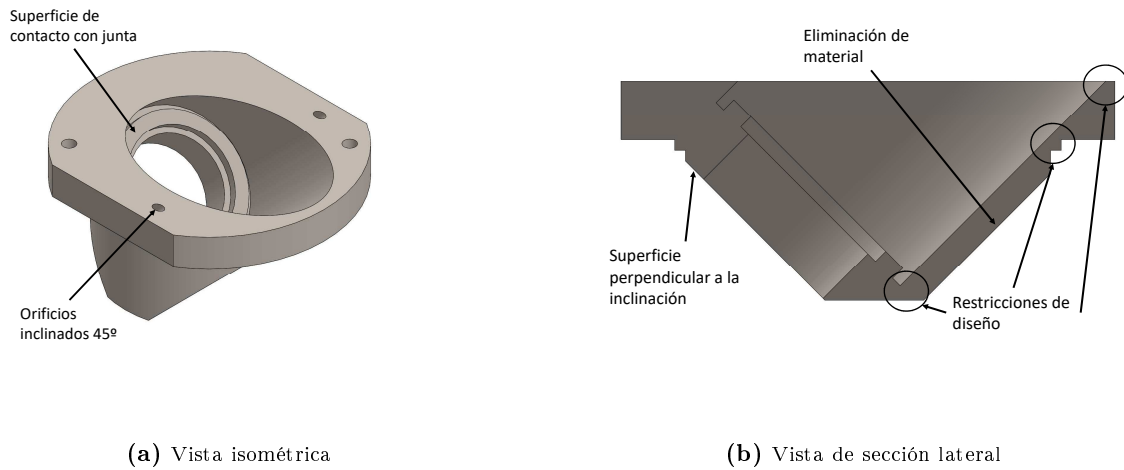


Figura 4.11: Portainyector 45° y detalle de montaje

#### ■ Sistema de fijación

Para fijar el inyector se diseña un sistema de fijación consistente en dos piezas: una garra con orificios para tornillos y un anillo que se inserta en esta garra. Se diseña este sistema en dos piezas en lugar de una sola para facilitar el mecanizado del sistema. El renderizado de estas dos piezas se muestra en la figura 4.12.

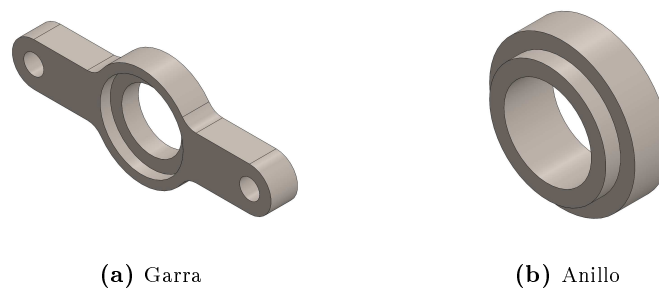
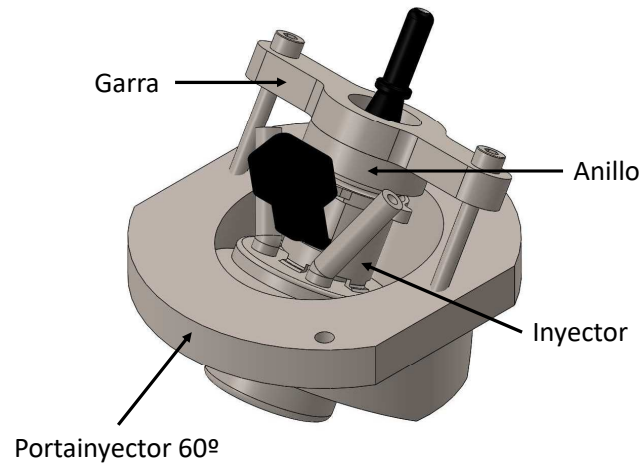


Figura 4.12: Sistema de fijación del inyector

Así, el inyector queda fijado, evitando cualquier desplazamiento del inyector y consiguiendo, además, evitar fugas de aire. En la figura 4.13 se muestra un ejemplo del sistema de fijación.



**Figura 4.13:** Sistema de fijación sobre portainyector de 60° de inclinación

# Puesta a punto de la instalación

Para un correcto funcionamiento de la instalación, se requiere poder modificar las distintas variables, así como la obtención de los valores de estas variables. En este capítulo se presenta a fase final del trabajo, el cual consiste en la calibración y preparación de equipos principales del sistema: montaje de equipos de flujo de aire, configuración del control y del sistema de inyección, etc.

### 5.1 Control del flujo de aire

Los requerimientos de funcionamiento de la instalación de flujo de aire imponen la necesidad de regular el caudal de aire. Este fin se pretende realizar de dos formas: Por un lado, desviando parte del flujo generado a través de las válvulas instaladas. Por otro lado, modificando el régimen de giro del soplador y, así, modificar el caudal impulsado por éste. Ésto último se consigue gracias a un variador de frecuencia. La combinación de ambos métodos de regulación facilitará la obtención de los caudales deseados en un amplio rango de operación ya indicados en la sección 3.1. Una imagen del variador utilizado se muestra en la figura 5.1



**Figura 5.1:** Variador de frecuencia utilizado

Como se ha mencionado en la sección 3.3, la medición del caudal se realiza a través de caudalímetros de hilo caliente. Para la calibración de la medida del caudal se procede de la siguiente manera:

Se instala el caudalímetro con las correspondientes tuberías en sus dos lados y en el extremo de uno de estos tubos se coloca un caudalímetro patrón, que servirá como referencia. En el extremo restante se coloca el generador de flujo de aire. Observando la salida en tensión del caudalímetro y el flujo de salida medido con el caudalímetro patrón, se obtendrán valores de caudal a distintas tensiones medidas por el caudalímetro. Posteriormente, con estos puntos se realiza una gráfica caudal vs tensión. Así, se comprueba que la progresión es lineal y se determina el *offset* del caudalímetro. Finalmente se programa el display con la recta de progresión obtenida.

Es importante resaltar que en caso de una variación considerable de la temperatura ambiente supondría la necesidad de una recalibración.

## 5.2 Control de la temperatura

El control de temperatura se realiza a partir de la modificación de la potencia en la resistencia. Esto es posible gracias a un potenciómetro y un controlador PID. La empresa Leister suministra ambos componentes, además de las conexiones correspondientes. Sin embargo, se decide adquirir sólo el controlador PID KSR Digital y construir el resto de componentes en el CMT, pues se desea un potenciómetro de las mismas características de los ya instalados en otras maquetas de ensayo para homogeneizar los componentes y permitir así una sustitución rápida en caso de un posible fallo

La medición de temperatura se realiza mediante un termopar tipo K instalado en un racor de la maqueta de visualización. Este termopar se conecta al controlador PID, que dispone de un display que permite visualizar la temperatura. De esta manera, el control a través del controlador PID se realiza mediante la introducción de una temperatura de consigna y el actuador modificará la potencia suministrada a la resistencia para alcanzarla. Un esquema de el montaje del control de la temperatura se muestra en la figura 5.2

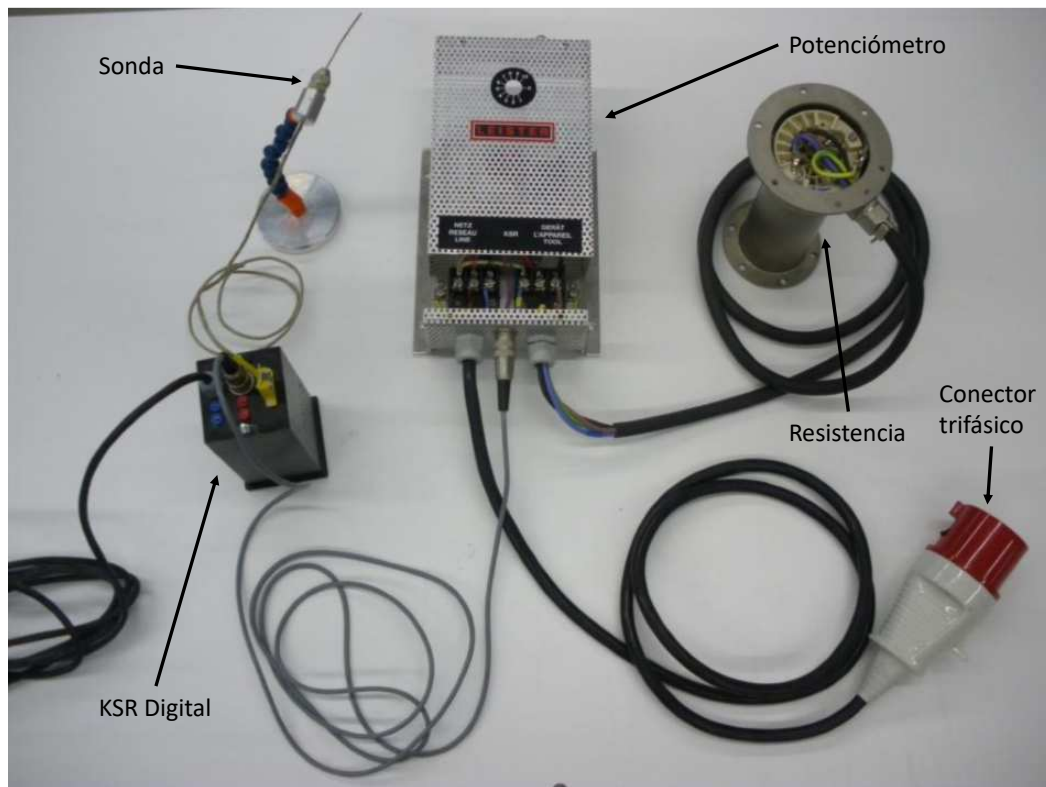


Figura 5.2: Componentes del control de la resistencia LE 10000 DF-R HT

### 5.3 Sistema de inyección

Como ya se ha mencionado en el Capítulo 4, se adquieren dos inyectores y un módulo de transporte. Para el control de la inyección, se dispone de un generador de pulsos que actúa emitiendo una señal eléctrica al inyector, de manera que se active el mecanismo que permite la inyección. En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran los componentes adquiridos.



**Figura 5.3:** Inyector de urea adquirido

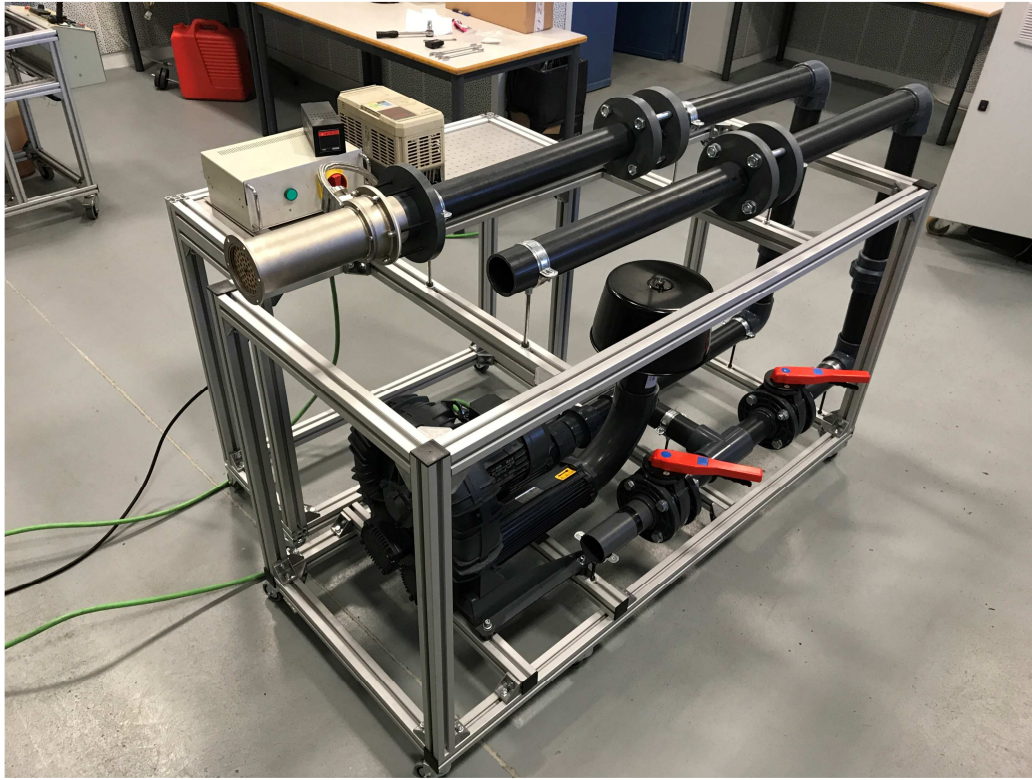


**Figura 5.4:** Módulo de transporte adquirido



## 5.4 Montaje final

Finalmente, se muestra el resultado del montaje de la instalación de flujo de aire de acuerdo con las especificaciones de diseño (Figura 5.5)



**Figura 5.5:** Instalación de flujo de aire



# Conclusiones y trabajos futuros

## 6.1 Conclusiones

Este proyecto presenta un resumen de las investigaciones relacionadas con la tecnología de inyección de urea, así como del estado del arte para caracterizar el chorro de urea inyectado y conocer su comportamiento al cambiar parámetros como la presión de inyección, la temperatura y el caudal del flujo, etc. A partir de este resumen se diseña una instalación experimental que permite la realización de estudios de inyección de urea mediante técnicas ópticas. Esta herramienta experimental se ha dividido en tres partes:

- Una instalación de flujo de aire que permite generar un caudal de aire a una temperatura determinada con el fin de simular el gas de escape. Esta instalación se ha diseñado bajo dos premisas fundamentales: Cumplir los requerimientos de los rangos de ensayos habituales en los estudios encontrados en la literatura y una gran versatilidad para su utilización en otros estudios de emergente interés que requieren de similares características.
- Una maqueta de visualización que permita el estudio de la inyección de urea desde los primeros milímetros de la inyección mediante un diseño que ofrece una escasa intrusión de elementos dentro del campo de visualización, además de ser desmontable y presentar accesos ópticos en todas sus caras.
- La selección de componentes para el control del flujo de aire y de la temperatura del flujo, como son el variador de frecuencia o el controlador de la resistencia, así como la instrumentación requerida para la adquisición de datos, como el display para el caudalímetro o los termopares.

El diseño que se ha planteado es factible, de hecho su manufactura y montaje se ha realizado satisfactoriamente, cumpliendo los requisitos propuestos al inicio del mismo. Además el coste del proyecto se ha ajusto adecuadamente a la partida económica asignada a éste.

## 6.2 Trabajos futuros

Este proyecto supone la base para el comienzo de los estudios de inyección de urea. En adelante, se abordarán diferentes aspectos:

- Puesta a punto del sistema de inyección con el fin de conocer su rango de funcionamiento real en cuanto a presión de inyección, tensión de actuación del inyector, cantidad de masa inyectada, etc.
- Comenzar los estudios de caracterización del sistema de inyección de urea, que es el objetivo para el cual se ha diseñado esta maqueta.
- Diseñar los distintos componentes y acoples que se precise para la utilización de la instalación de flujo de aire en otras configuraciones experimentales (por ejemplo, un estudio de caracterización de un quemador)
- En un futuro, cuando exista un mayor presupuesto disponible, se sugiere realizar la sustitución de las válvulas de mariposa por unas con actuadores que permiten una regulación automática.

Parte II

# Bibliografía



# Bibliografía

- [1] Página Web. *CMT-Motores Térmicos*. 2017. URL: <http://www.cmt.upv.es/> (visitado 09-06-2017) (vid. pág. 4).
- [2] Jorge Valero Marco. “Caracterización de las propiedades del AdBlue y su proceso de inyección en un sistema de reducción de  $NO_X$  (SCR)”. Proyecto Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia, 2012 (vid. págs. 4, 38).
- [3] Página Web. *Estándares de emisiones en Europa, vehículos pesados*. 2017. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php> (visitado 02-06-2017) (vid. pág. 5).
- [4] Felix Birkhold y col. “Analysis of the Injection of Urea-Water-Solution for Automotive SCR DeNOx-Systems: Modeling of Two-Phase Flow and Spray/Wall-Interaction”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, abr. de 2006. DOI: 10.4271/2006-01-0643 (vid. pág. 5).
- [5] Nic van Vuuren y Jianrong Qin. “High Speed Video Measurements with Water of a Planar Laser Illuminated Heated Tip Urea Injector Spray”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, abr. de 2013. DOI: 10.4271/2013-01-1073 (vid. pág. 5).
- [6] Needham D., Spadafora P. y HJ. Schiffgens. “Delphi SCR Dosing System- An alternative approach for close-coupled SCR catalyst systems”. En: (2012) (vid. pág. 5).
- [7] Eduardo Alano y col. “Compact SCR for Passenger Cars”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, abr. de 2011. DOI: 10.4271/2011-01-1318 (vid. pág. 5).
- [8] Markus Zöchbauer y col. “Validation of Turbulence Models for an Automotive SCR System with Laser Doppler Anemometry Measurements”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, abr. de 2013. DOI: 10.4271/2013-01-1579 (vid. pág. 5).
- [9] Payri F. y Desantes J.M. *Motores de combustión interna alternativos*. 2011 (vid. págs. 7, 8, 10).

- [10] John B Heywood. *Internal combustion engine fundamentals*. 1988 (vid. págs. 8, 9, 17).
- [11] Colin R. Ferguson. *Internal combustion engines*. 1986 (vid. pág. 9).
- [12] P EASTWOOD. *Critical topics in exhaust gas aftertreatment*. 2000 (vid. pág. 14).
- [13] GEORGE A. LAVOIE, JOHN B. HEYWOOD y JAMES C. KECK. “Experimental and Theoretical Study of Nitric Oxide Formation in Internal Combustion Engines”. En: *Combustion Science and Technology* 1.4 (1970), págs. 313-326. DOI: 10.1080/00102206908952211. eprint: <http://dx.doi.org/10.1080/00102206908952211> (vid. pág. 14).
- [14] Enrico Tronconi Isabella Nova. *Urea-SCR Technology for deNOx After Treatment of Diesel Exhausts*. 2014 (vid. pág. 16).
- [15] William R. Miller y col. “The Development of Urea-SCR Technology for US Heavy Duty Trucks”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, mar. de 2000. DOI: 10.4271/2000-01-0190 (vid. pág. 17).
- [16] Pagina Web. *DieselGasolina.com*. 2017. URL: <http://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico> (visitado 25-05-2017) (vid. pág. 18).
- [17] Página Web Anfac. *Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente*. 2014. URL: <http://www.anfac.com/openPublicPdf.action?idDoc=8932> (visitado 20-05-2017) (vid. págs. 20, 21).
- [18] Página Web. *Estándares de emisiones en Europa, vehículos ligeros*. 2017. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> (visitado 02-06-2017) (vid. pág. 21).
- [19] Pagina Web. *SCR Technology for NOx Reduction: Series Experience and State of Development*. 2005. URL: [https://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/2005\\_deer\\_hesser.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/2005_deer_hesser.pdf) (visitado 13-06-2017) (vid. pág. 22).
- [20] Pagina Web. *Denoxtronic 5.0 de Bosch*. 2017. URL: [http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk\\_europe/db\\_application/downloads/pdf/antrieb/en\\_3/DS\\_ProductDataSheet\\_EGT\\_Denoxtronic5\\_EN\\_lowres\\_150921.pdf](http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS_ProductDataSheet_EGT_Denoxtronic5_EN_lowres_150921.pdf) (visitado 24-03-2017) (vid. pág. 22).
- [21] Pagina Web. *motorpasion: ¿Qué es un motor Clean Diese?* 2012. URL: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/que-es-un-motor-clean-diesel> (visitado 05-06-2017) (vid. pág. 23).
- [22] Matthieu Lecompte, Stephane Raux y Arnaud Frobert. “Experimental Characterization of SCR DeNOx-Systems: Visualization of Urea-Water-Solution and Exhaust Gas Mixture”. En: *SAE Technical Paper*. SAE International, abr. de 2014. DOI: 10.4271/2014-01-1524 (vid. págs. 23, 24, 29, 34).



- [23] Alexander Spiteri y Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler. “Experimental Fluid Dynamic Investigation of Urea?Water Sprays for Diesel Selective Catalytic Reduction?DeNOx Applications”. En: *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53.8 (2014), págs. 3047-3055. DOI: 10.1021/ie404037h. eprint: <http://dx.doi.org/10.1021/ie404037h> (vid. págs. 25, 26, 30, 34, 35, 55).
- [24] A. Spiteri, A. Sma y A. Dimopoulos Eggenschwiler. “Characterization of sprays of water and urea-water solution from a commercial injector for SCR DeNOx applications”. En: *13th Stuttgart International Symposium .Automobile and Engine Technology* (2013) (vid. pág. 25).
- [25] Xian Shi y col. “Effect of Injection Parameters on Spray Characteristics of Urea-SCR System”. En: *SAE Int. J. Engines* 6 (abr. de 2013), págs. 873-881. DOI: 10.4271/2013-01-1067 (vid. págs. 27-30, 34).
- [26] H. C. van de Hulst. *Light scattering by small particles*. eng. Dover classics of science and mathematics. Unabr. and corr. republication of the work originally published in 1957 by Wiley. New York: Dover Publ., 1981, 470 S. ISBN: 0-486-64228-3 and 978-0-486-64228-4 (vid. pág. 30).
- [27] A. Melling. “Tracer particles and seeding for particle image velocimetry”. En: *Measurement Science and Technology* 8 (dic. de 1997), págs. 1406-1416. DOI: 10.1088/0957-0233/8/12/005 (vid. pág. 30).
- [28] Lucio Postrioti y col. “A methodology to investigate the behaviour of urea-water sprays in high temperature air flow for SCR de-NOx applications”. En: *Fuel* 150 (2015), págs. 548-557. ISSN: 0016-2361. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.067> (vid. págs. 33, 34, 53).
- [29] Sébastien Grout y col. “Experimental investigation on the injection of an urea-water solution in hot air stream for the SCR application: Evaporation and spray/wall interaction”. En: *Fuel* 106 (2013), págs. 166 -177. ISSN: 0016-2361. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.022> (vid. págs. 33, 34, 53).



Parte III

# Presupuesto



## Capítulo 7

# Presupuesto

### 7.1 Introducción

En este capítulo se describen los costes del proyecto "Diseño de una instalación experimental para el estudio de la inyección de urea en condiciones de gases de escape de un motor de combustión". A lo largo de este capítulo se presentan los gastos en mano de obra, equipos de medida, materiales utilizados, así como los componentes adquiridos para llevar a cabo el proyecto. Todos ellos forman parte de los presupuestos parciales que, en conjunto, constituyen el presupuesto total del proyecto.

Para la realización de este proyecto, como ya se ha dicho, se han adquirido diferentes equipos, además de otros de los que ya disponía el CMT. El presupuesto final estará constituido por los presupuestos parciales, divididos en diferentes unidades de obra y estructurados en tres partes: Los costes asociados al desarrollo de la instalación de flujo de aire, los correspondientes a la maqueta de visualización y, finalmente, la mano de obra involucrada en este proyecto. Tras los presupuestos parciales se muestra el presupuesto total del proyecto.

### 7.2 Instalación de flujo de aire

A continuación se detalla el presupuesto correspondiente a los materiales y mano de obra de mecanizado de piezas destinado al desarrollo de la instalación de flujo de aire. Estos costes presentan el IVA ya incluido, al tratarse de componentes adquiridos y servicios contratados. Destacar dos aspectos: la tubería de PVC se suministra en unidades de 6 metros y la longitud total presupuestada de perfiles Fasten para la estructura supone un 5% más de la longitud total adquirida por motivos de pérdida de material en el corte. También es importante mencionar que elementos como la resistencia, los caudalímetro o el variador de frecuencia son componentes disponibles en el CMT, por lo que su coste se ha computado como cero.

Diseño de una instalación experimental para el estudio de la inyección de urea en condiciones de gases de escape de un motor de combustión

---

	Descripción	Longitud (m)	Medición	Precio	Importe	
UO1	Sistema generador del flujo FPZ				1.630,00	€
Ud	Soplador + silentblock		1	1.500,00	1.500,00	
	Colector filtro		1	70,00	70,00	
	filtro		1	60,00	60,00	
UO2	Sistema generador de calor				119,45	€
Ud	Resistencia		1	0,00	0,00	
	Inlet Flage DN 90		1	102,63	102,63	
	Junta térmica		1	16,82	16,82	
UO3	Perfilería de aluminio Fasten				408,18	€
Ud	Perfil L	15,2	15,96	14,65	233,86	
	2x1650 mm					
	2x1560 mm					
	2x690 mm					
	7x600 mm					
	4x800 mm					
	Rueda		6	6,01	36,06	
	Escuadra		34	1,89	64,18	
	Conjunto tornillo cabeza martillo 8.8 M8x25 + tuerca M8		68	0,42	28,80	
	Tuerca rectangular en T		12	0,48	5,81	
	Tapeta		12	0,62	7,41	
	Mano de obra		1	8,47	8,47	
	Transporte		1	23,60	23,60	
UO4	Mecanizado de piezas en PVC				160,00	€
Ud	Brida para caudalímetro		4	30,00	120,00	
	Brida para resistencia		1	20,00	20,00	
	Mecanizado de reducción 90-75		1	20,00	20,00	

Diseño de una instalación experimental para el estudio de la inyección de urea en condiciones de gases de escape de un motor de combustión

	Descripción	Longitud (m)	Medición	Precio	Importe	
U05	Material canalización de flujo de aire Tuberplas				568,10	€
Ud	Tubo de 75 mm PN 16 atm	6,092	12	9,00	108,00	
	4x660 mm	,				
	1x576 mm					
	2x445 mm					
	1x306 mm					
	2x260 mm					
	2x250 mm					
	2x200 mm					
	2x130 mm					
	Manguito transición rosca macho		1	1,95	1,95	
	Brida 75mm		4	7,76	31,04	
	Portabrida 75mm		4	4,35	17,40	
	TE		2	9,36	18,72	
	Codo		4	6,42	25,68	
	Reducción 90-75		2	5,39	10,78	
	Válvula mariposa		2	107,92	215,84	
	Tuerca unión		3	22,31	66,93	
	Abrazadera		8	1,23	9,84	
	Tornillo M16x140mm		16	3,32	53,12	
	Tuerca hexagonal M16		16	0,25	4,00	
	Arandela metálica para M16		32	0,15	4,80	
U06	Juntas tóricas para estanqueidad Somfi				11,75	€
Ud	Junta 3x83mm		5	0,90	4,52	
	Junta 3x70mm		10	0,72	7,23	
U07	Instrumentación				2.873,01	€
Ud	Variador de frecuencia		1	0,00	0,00	
	Caudalímetro		2	0,00	0,00	
	Electrónica de visualización de datos		2	270,00	540,00	
	incluyendo:					
	Fuente de alimentación					
	Caja de electrónica					
	Display					
	Conectores					
	Mano de obra					
	Controlador PID		1	1.183,83	1.183,83	
	Potenciómetro		1	1.149,19	1.149,19	

### 7.3 Maqueta de visualización

A continuación se muestra el presupuesto de los diferentes componentes adquiridos y mecanizados para la maqueta de visualización de inyección de urea, así como el coste de los inyectores y módulo de transporte para realizar los ensayos. Todos ellos presentan el IVA ya incluido.

	Descripción	Longitud (m)	Medición	Precio	Importe	
UO8	Maqueta inyección de urea				1.980,78	€
Ud	Fabricación de Maqueta visualización incluyendo:			1.980,78	1.980,78	
	Brida Inlet		1			
	Brida Outlet		1			
	Soporte ventana superior izq		1			
	Soporte ventana superior dcha		1			
	Soporte ventana inferior		2			
	Base para portainyector		1			
	Ventana superior falsa		1			
	Ventana lateral falsa		4			
	Anillo para fijación		1			
	Garra para fijación		1			
	Portainyector 90°		1			
UO9	Accesos ópticos Edmund Optics				181,50	€
Ud	Ventana 177,8x127,0x3mm		4	45,38	181,50	
UO10	Mecanizado de los accesos ópticos				544,50	€
Ud	Ventana 177,8x80x3mm + biselado		3	121,00	363,00	
	Ventana 71,8x80x3mm+biselado		1	181,50	181,50	
UO11	Sistema de inyección				1.106,35	€
Ud	Instalación de dosificación		2	274,57	549,15	
	Módulo de transporte		1	556,20	557,20	

### 7.4 Mano de obra

Por último se muestra el coste de la mano de obra requerida para la realización del presente proyecto. En este trabajo han estado involucrados un catedrático de universidad, un doctor industrial, un técnico de laboratorio y un graduado en ingeniería industrial.



		Longitud (m)	Medición	Precio	Importe	
UO12	Mano de obra				13.378,30	€
Hr	Graduado en Ingeniería industrial		360	18,88	6.796,80	
	Ingeniero jefe		10	47,50	475,00	
	Ingeniero superior		90	47,50	4.275,00	
	Técnico de laboratorio		90	20,35	1.831,50	

## 7.5 Resumen de presupuesto

Finalmente se detalla el coste total del proyecto. Al coste de las tres partes anteriores se añade los costes indirectos imputados sobre los materiales adquiridos relacionados con sobrecargos, transportes no presupuestados, horas extra, etc. El IVA del presupuesto se imputa sólo sobre la mano de obra, pues el resto de unidades de obra ya lo llevan incluido al tratarse de componentes adquiridos.

Coste de la instalación de flujo de aire	5.770,49	€
--	----------	---

Coste maqueta de visualización	3.813,13	€
--------------------------------	----------	---

Coste mano de obra	13.378,30	€
--------------------	-----------	---

Subtotal	22.961,92	€
----------	-----------	---

		Base imponible	Importe	
Costes indirectos	6 %	9.583,62	575,02	
IVA	21 %	13.378,30	2809,44	
Total			26.346,38	€

El presupuesto asciende a:

**VEINTISÉIS MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y SEIS EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS**



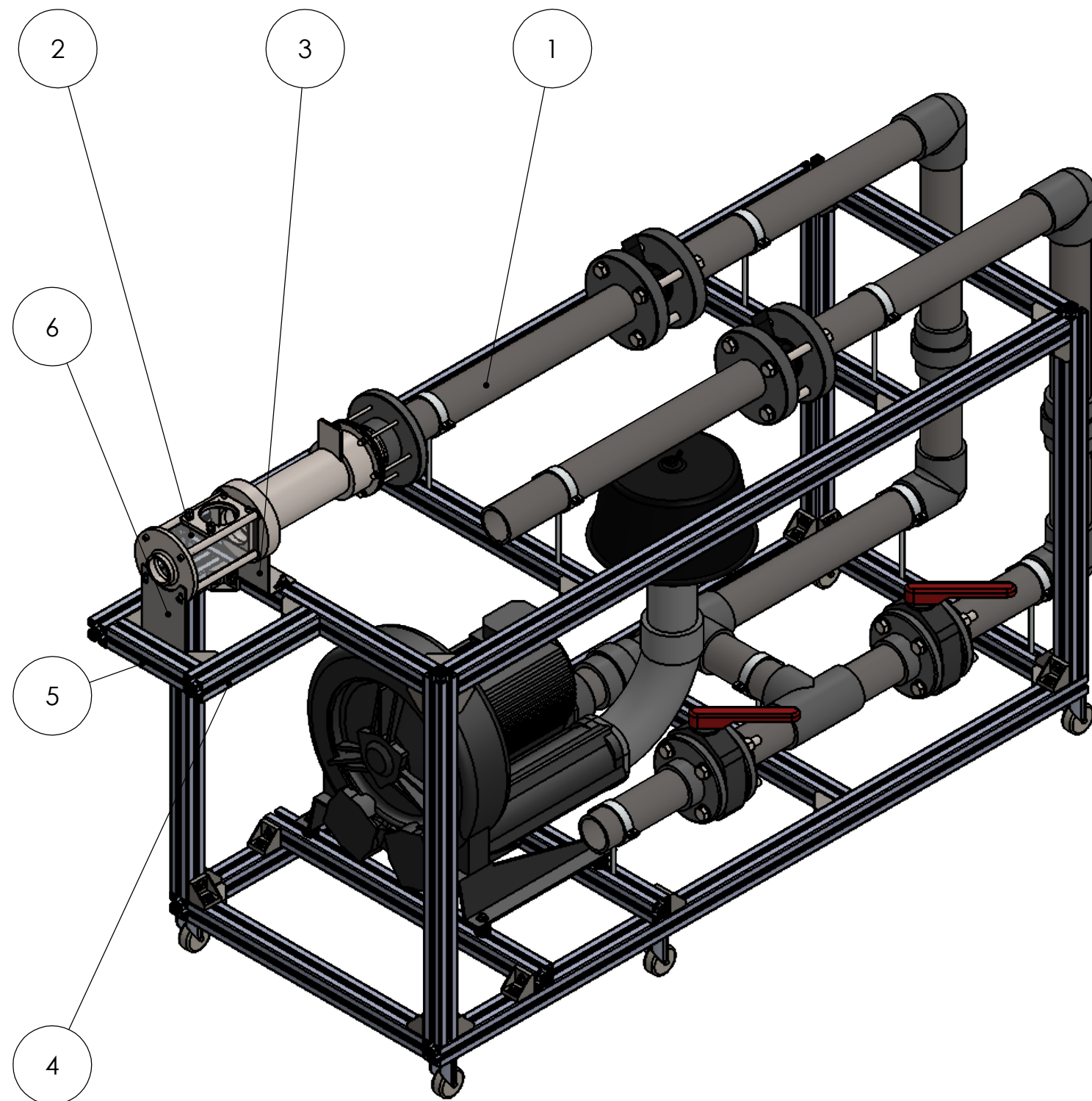
Parte IV

Planos





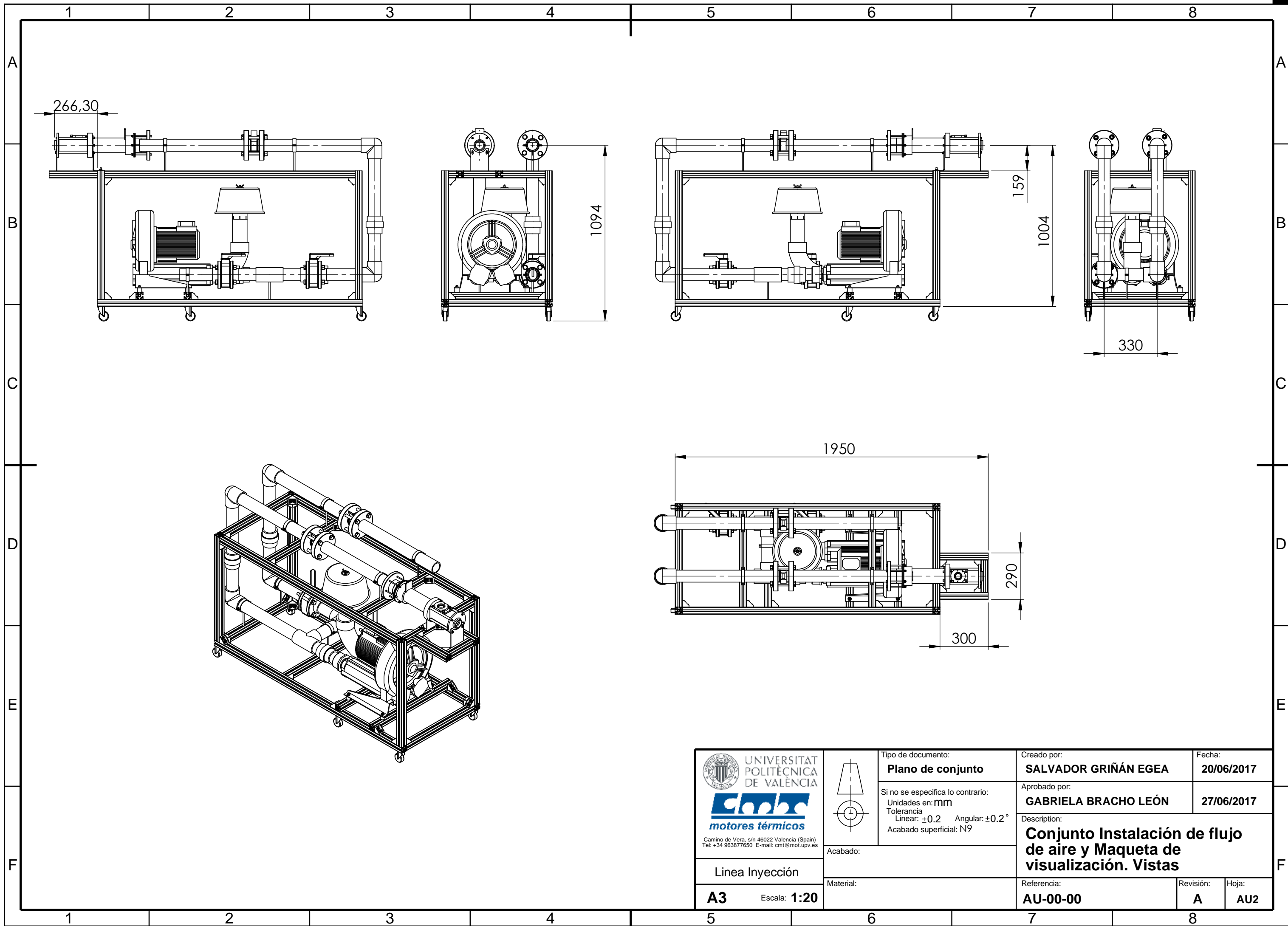
# Índice de planos



AU1.	Conjunto Instalación de flujo de aire y Maqueta de visualización. Vista General
AU2.	Conjunto Instalación de flujo de aire y Maqueta de visualización. Vistas
A1.	Instalación de flujo de aire. Vista General
A2.	Instalación de flujo de aire. Vistas
A3.	Brida para Caudalímetro
A4.	Brida para resistencia
A5.	Reducción 90-75 Mecanizada
A6.	Soporte resistencia
A7.	Soporte Variador de frecuencia
U1.	Maqueta de visualización. Vista General
U2.	Maqueta de visualización. Vistas
U3.	Detalle de montaje. Ensamblado de ventanas y portainyector
U4.	Brida Inlet
U5.	Brida Outlet
U6.	Soporte Ventanas Superior Izquierda
U7.	Soporte Ventanas Superior Derecha
U8.	Soporte Ventanas Inferior
U9.	Base para portainyector
U10.	Ventana superior
U11.	Ventana lateral
U12.	Junta de grafito. Soporte-Ventana
U13.	Junta de grafito. Base- Ventana superior
U14.	Junta de grafito en Bridas
U15.	Ventana Superior falsa
U16.	Ventana Lateral falsa
U17.	Soporte de maqueta de visualización
I1.	Portainyector 90°
I2.	Portainyector 60°
I3.	Portainyector 45°
I4.	Garra para fijación
I5.	Anillo para fijación

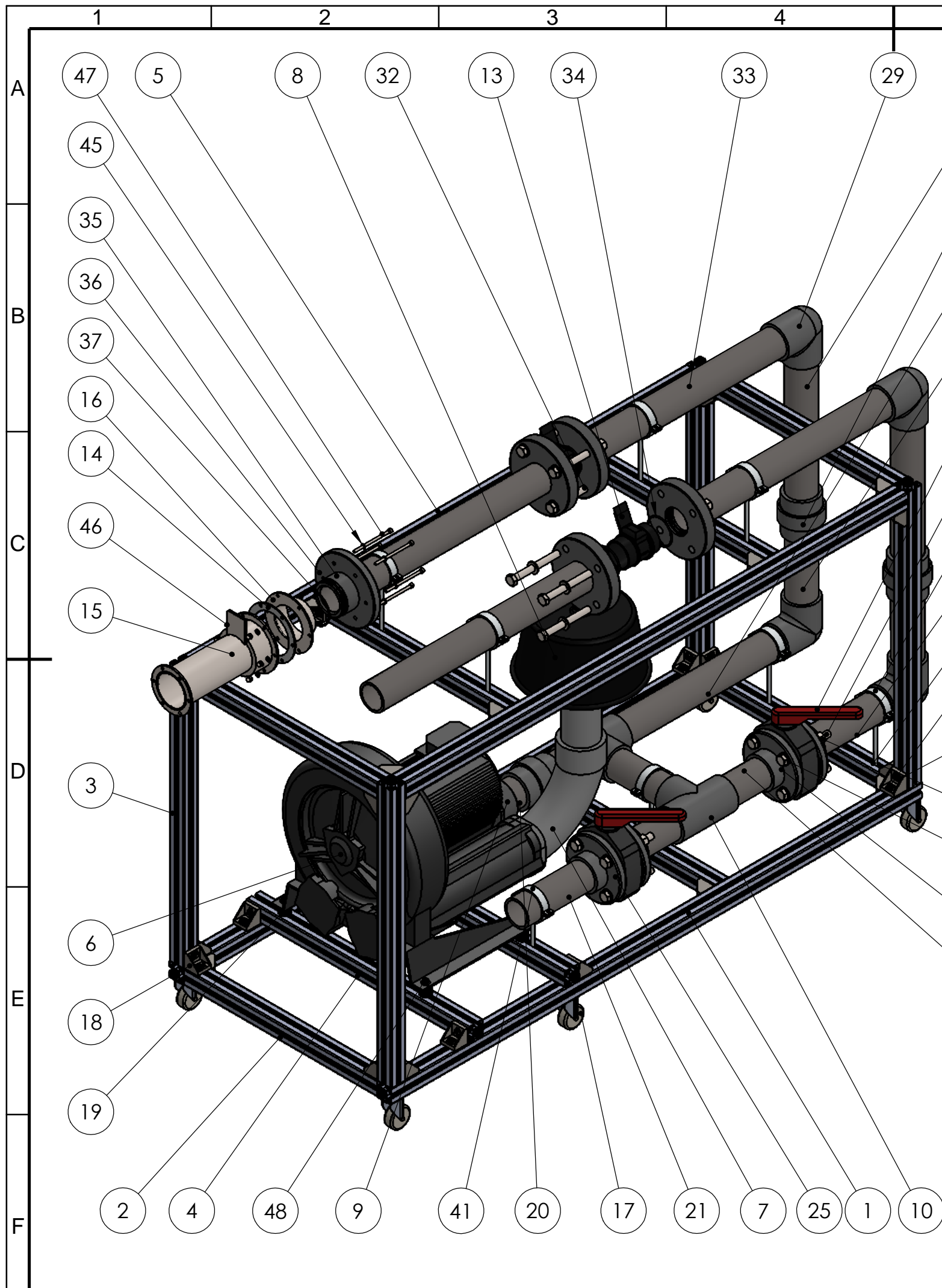


N.º	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	U1-30-03	Soporte de maqueta de visualización	Acero Inox. AISI 304	1
5	U1-30-02	45x45x200 mono	6063-T6, Barra (SS)	1
4	U1-30-01	45x45x300 mono	6063-T6, Barra (SS)	2
3	A1-50-05	Soporte resistencia	Acero Inox. AISI 304	1
2	U1-00-00	Maqueta Inyección de Urea		1
1	A1-00-00	Instalación de flujo de aire		1



 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de conjunto</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>20/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Lineal: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Fecha: <b>27/06/2017</b>
Acabado:  Material:	Description: <b>Conjunto Instalación de flujo de aire y Maqueta de visualización. Vista general</b>		
Línea Inyección <b>A3</b> Escala: <b>1:10</b>	Referencia: <b>AU-00-00</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>AU1</b>



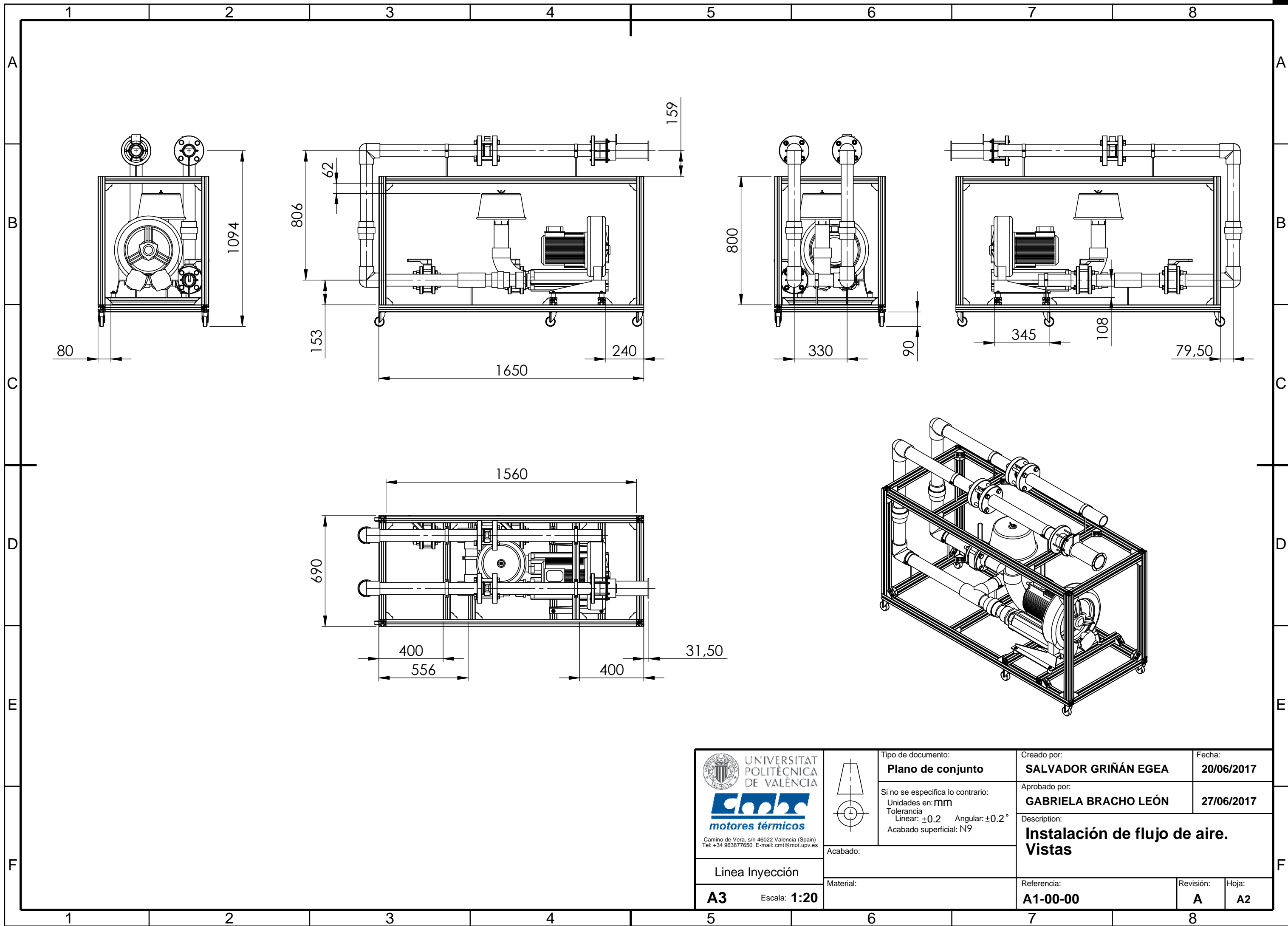
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</p>	<p>Tipo de documento: <b>Plano de conjunto</b></p>	<p>Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b></p>	<p>Fecha: <b>20/06/2017</b></p>
	<p>Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: <math>\pm 0.2</math> Angular: <math>\pm 0.2^\circ</math> Acabado superficial: N9</p>	<p>Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b></p>	<p>27/06/2017</p>
<p>Linea Inyección</p>	<p>Acabado:</p>	<p>Description: <b>Conjunto Instalación de flujo de aire y Maqueta de visualización. Vistas</b></p>	
<p><b>A3</b> Escala: 1:20</p>	<p>Material:</p>	<p>Referencia: <b>AU-00-00</b></p>	<p>Revisión: <b>A</b> Hoja: <b>AU2</b></p>



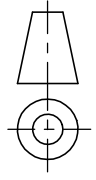


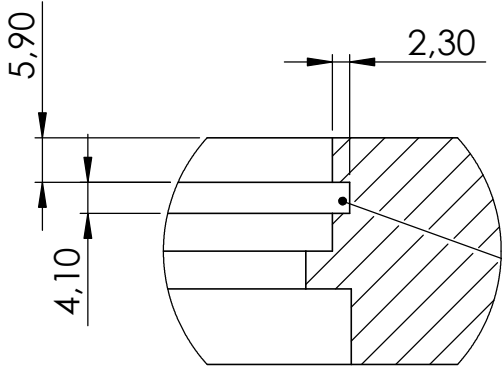
N.º	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
48		ISO 7380 - M6 x 25 --- 25N		4
47		ISO 4762 M6 x 110 --- 60N		6
46		DIN 1587 - M6 --NNUC6		6
45		Washer ISO 7089 - 6		12
44		Hexagon Nut ISO - 4034 - M16 - N		16
43		ISO 4015 - M16 x 140 x 44-C		16
42		Washer DIN 125 - A 17		32
41	A1-20-13	Abrazadera 80mm	Aluminio	1
40	A1-30-09	Tuerca M8	Acero 8.8 zincado	72
39	A1-30-09	Tornillo cabeza martillo	Acero 8.8 zincado	68
38	A1-30-08	Tuerca rectangular en T	Acero zincado	12
37	A1-50-04	Junta tórica Dint 83mm, Dsección 3mm	NBR	1
36	A1-20-11	Brida para resistencia	PVC	1
35	A1-20-06	Reducción 90-75 Mecanizada	PVC	1
34	A1-40-02	Junta tórica Dint 70mm, Dsección 3mm	NBR	4
33	A1-20-19	Tubería 45x660mm	PVC	4
32	A1-20-07	Brida para Caudalímetro	PVC	4
31	A1-20-16	Tubería 75x445mm	PVC	2
30	A1-20-14	Tubería 75x260mm	PVC	2
29	A1-20-04	Codo 90º	PVC	4
28	A1-20-18	Tubería 75x306mm	PVC	1
27	A1-20-17	Tubería 75x576mm	PVC	1
26	A1-20-03	Portabrida 75mm	PVC	4
25	A1-20-02	Brida 75mm	PVC	4
24	A1-20-20	Tubería 75x200mm	PVC	2
23	A1-20-10	Tuerca unión 75mm	PVC	3
22	A1-20-05	Reducción 90-75	PVC	1
21	A1-20-21	Tubería 75x250mm	PVC	2
20	A1-20-15	Tubería 75x130mm	PVC	2
19	A1-10-04	Silentblock		4
18	A1-30-07	Escuadra	Aluminio	34
17	A1-30-06	Rueda		6
16	A1-50-02	Inlet Flange DN 90		1
15	A1-50-01	Resistencia		1
14	A1-50-03	Junta térmica		1
13	A1-40-00	Caudalímetro		2
12	A1-20-12	Abrazadera 120mm	Aluminio	7
11	A1-20-09	Válvula mariposa		2
10	A1-20-08	TE 75mm	PVC	2
9	A1-20-01	Manguito transición rosca macho	PVC	1
8	A1-10-03	Filtro		1
7	A1-10-02	Colector filtro	PVC	1
6	A1-10-01	Soplador		1
5	A1-30-05	45x45x1560 mono	6063-T6, Barra (SS)	2
4	A1-30-03	45x45x690 mono	6063-T6, Barra (SS)	2
3	A1-30-02	45x45x800 mono	6063-T6, Barra (SS)	4
2	A1-30-04	45x45x600 mono	6063-T6, Barra (SS)	7
1	A1-30-01	45x45x1650 mono	6063-T6, Barra (SS)	2

 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  <b>motores térmicos</b> <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)          Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de conjunto</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>20/06/2017</b>	
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: ±0.2 Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Descripción: <b>Instalación de flujo de aire. Vista general</b>	Fecha: <b>27/06/2017</b>
Linea Inyección <b>A3</b>	Escala: <b>1:10</b>	Referencia: <b>A1-00-00</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>A1</b>



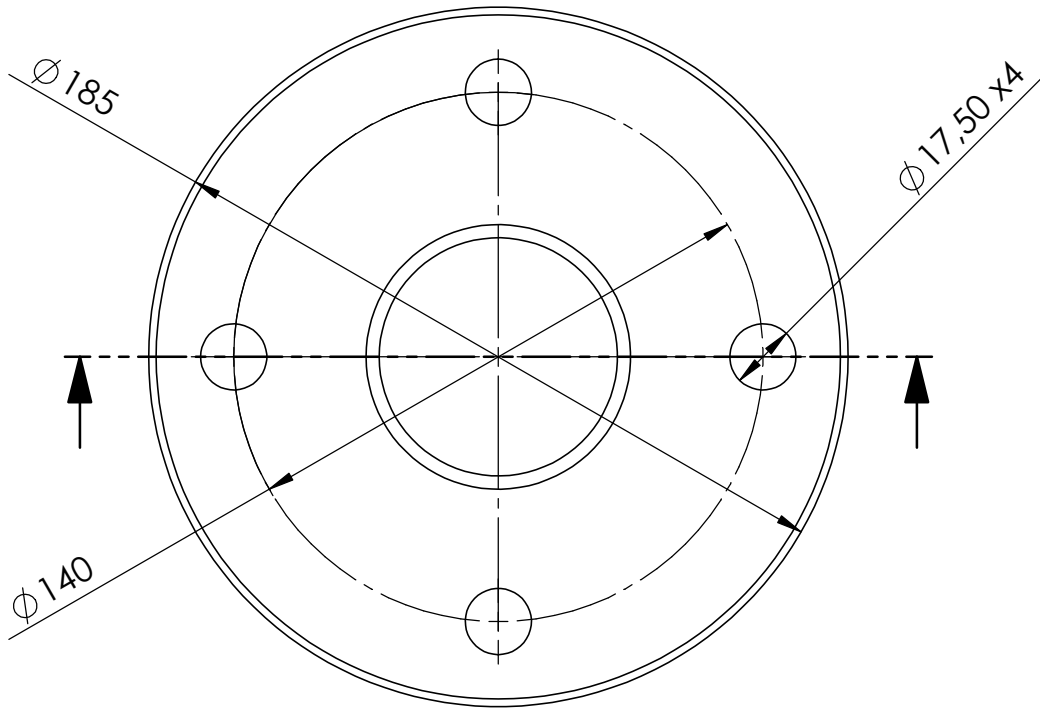
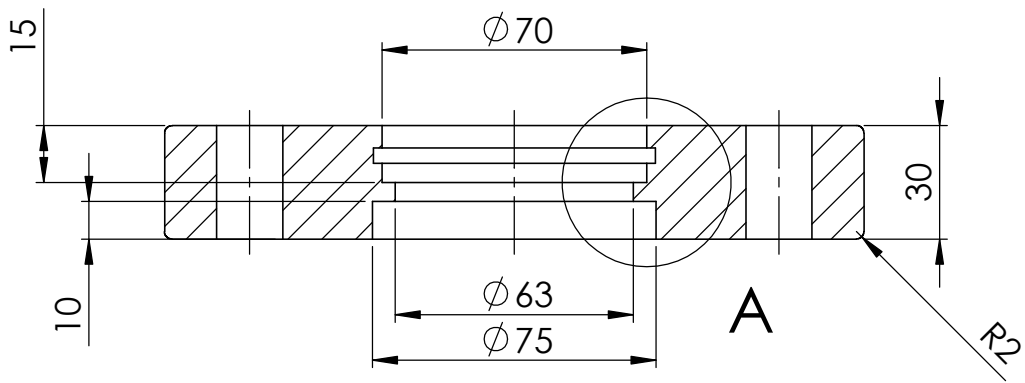


 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</p>		Tipo de documento: <b>Plano de conjunto</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>20/06/2017</b>
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
Linea Inyección		Description: <b>Instalación de flujo de aire. Vistas</b>		
<b>A3</b> Escala: <b>1:20</b>	Material:	Referencia: <b>A1-00-00</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>A2</b>



**DETALLE A**  
ESCALA 1 : 1

Alojamiento para junta tórica d1=70mm y d2=3mm



A  
B  
C  
D  
E  
F

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
**motors térmicos**  
Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)  
Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es

Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>
Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: ±0.2 Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9

Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>20/06/2017</b>
Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
Description: <b>Brida para Caudalímetro</b>	

Linea Inyección <b>A4</b>	Escala: <b>1:2</b>
------------------------------	--------------------

Acabado:	Material: <b>PVC</b>
----------	-------------------------

Referencia: <b>A1-20-07</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>A3</b>
--------------------------------	-----------------------	--------------------

1

2

3

4

A

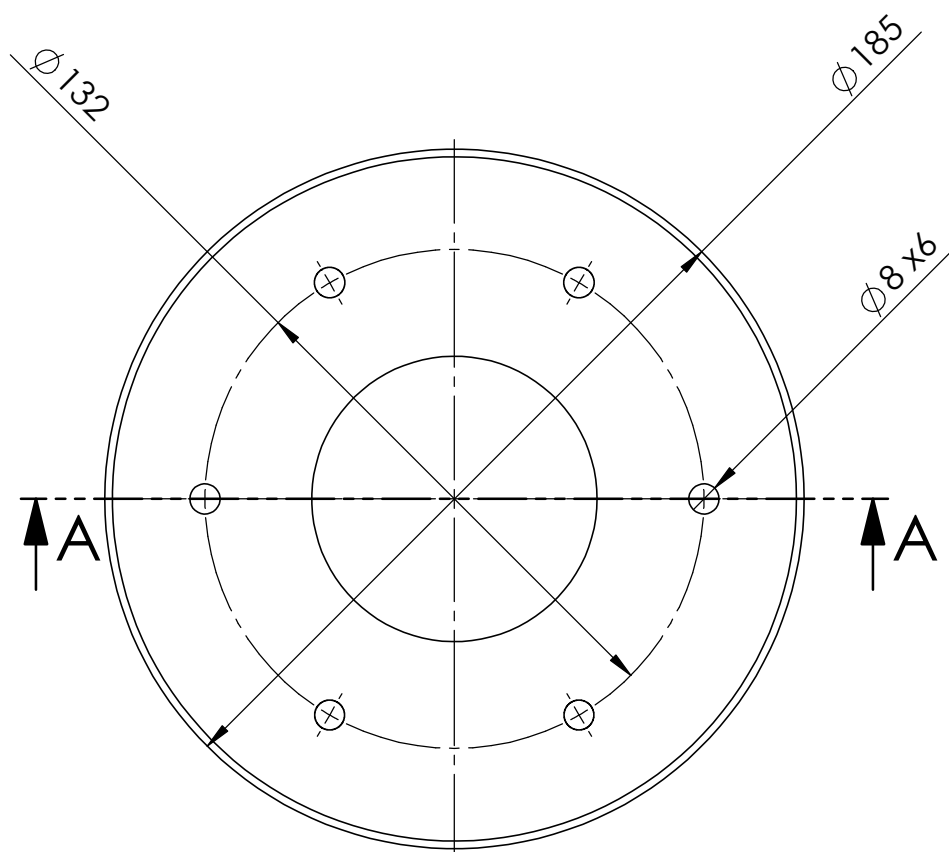
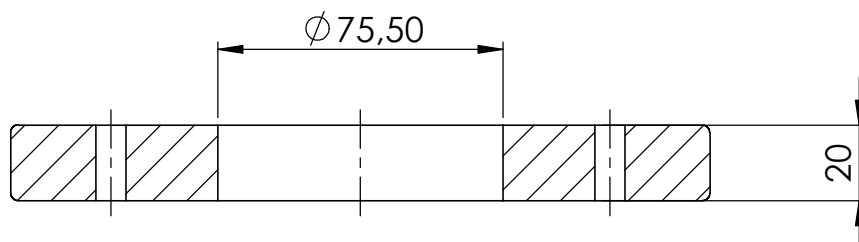
B

C

D

E

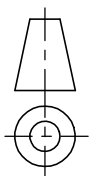
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$

Acabado superficial: N9

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEEA**

Fecha:

**20/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Brida para resistencia**

Acabado:

Linea Inyección

**A4**

Escala: **1:2**

Material:

**PVC**

Referencia:

**A1-20-11**

Revisión:

**A**

Hoja:

**A4**

1

2

3

4

A

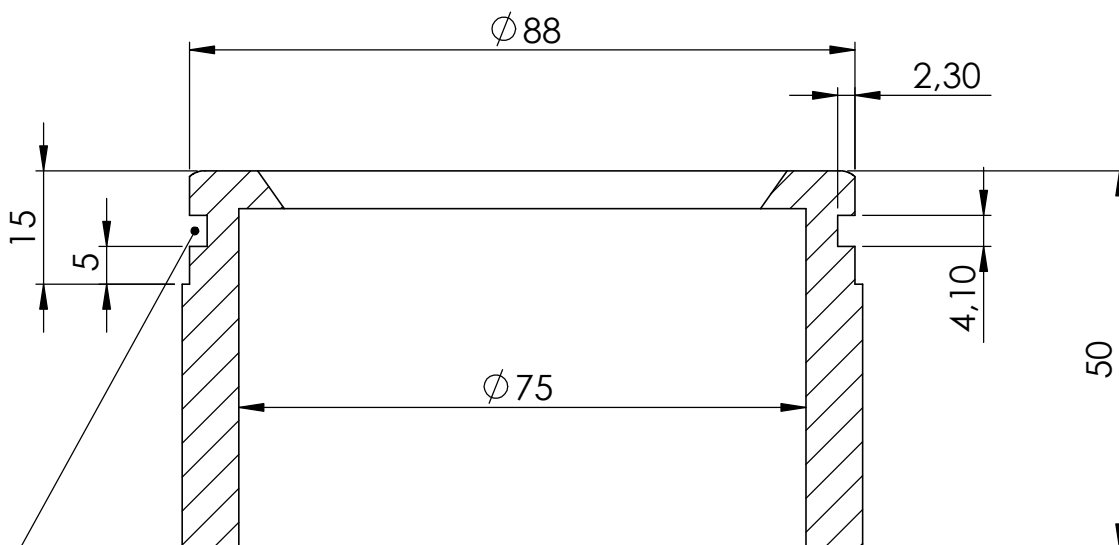
B

C

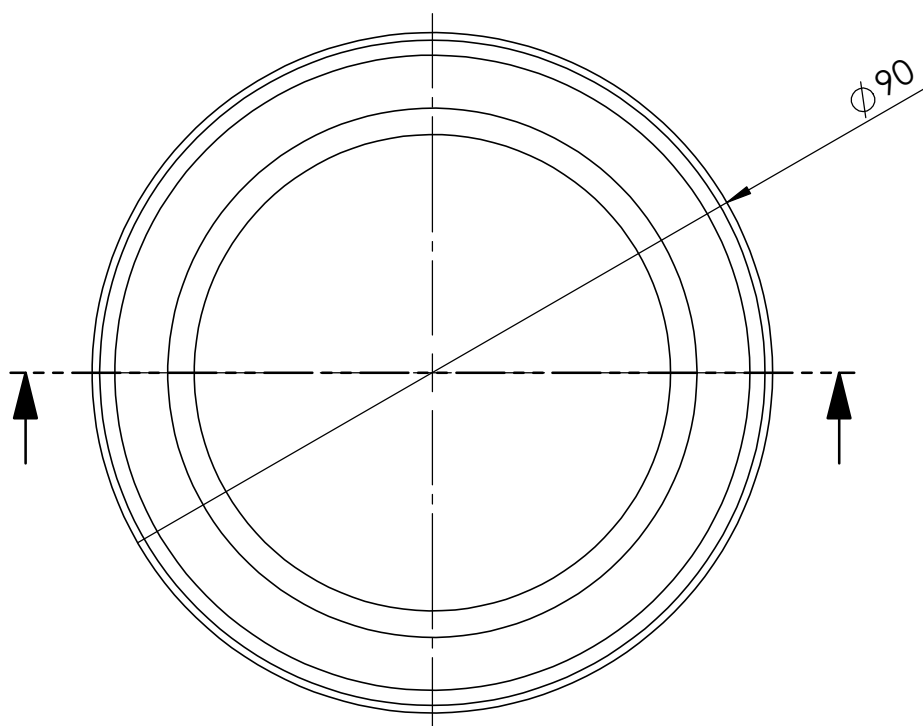
D

E

F



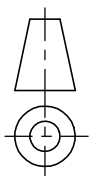
Alojamiento para junta tórica d1=83mm, d2=3mm



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$

Acabado superficial: N9

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**20/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Reducción 90-75 Mecanizada**

Acabado:

Linea Inyección

**A4**

Escala: **1:1**

Material:

**PVC**

Referencia:

**A1-20-06**

Revisión:

**A**

Hoja:

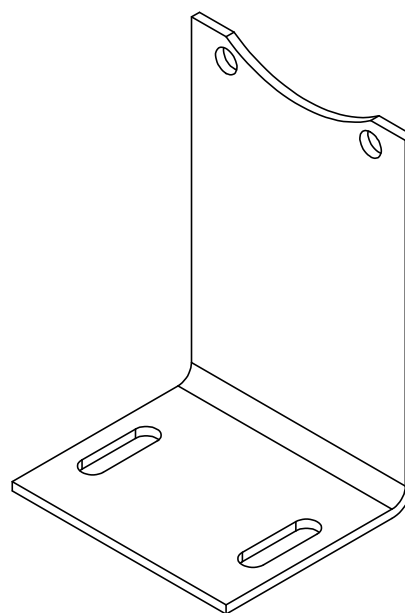
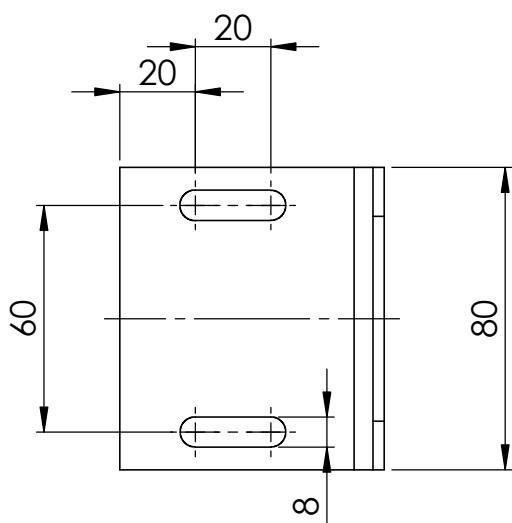
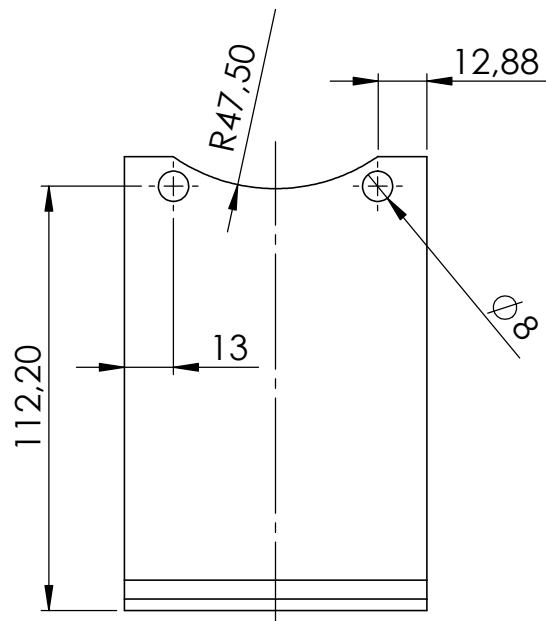
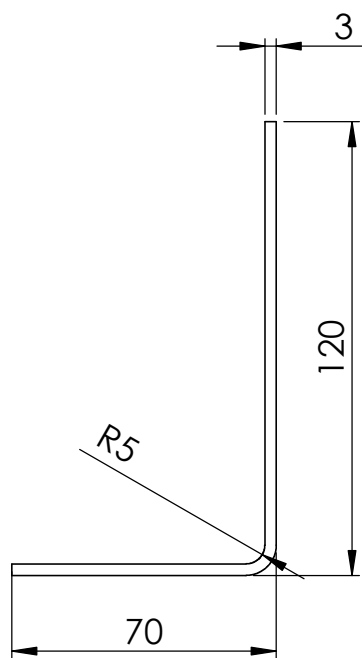
**A5**

1

2

3

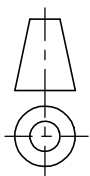
4



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**20/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Soporte resistencia**

Acabado:

Linea Inyección

Material:

**Acero Inox. AISI 304**

Referencia:

**A1-50-05**

Revisión:

**A**

Hoja:

**A6**

**A4**

Escala: **1:2**

A

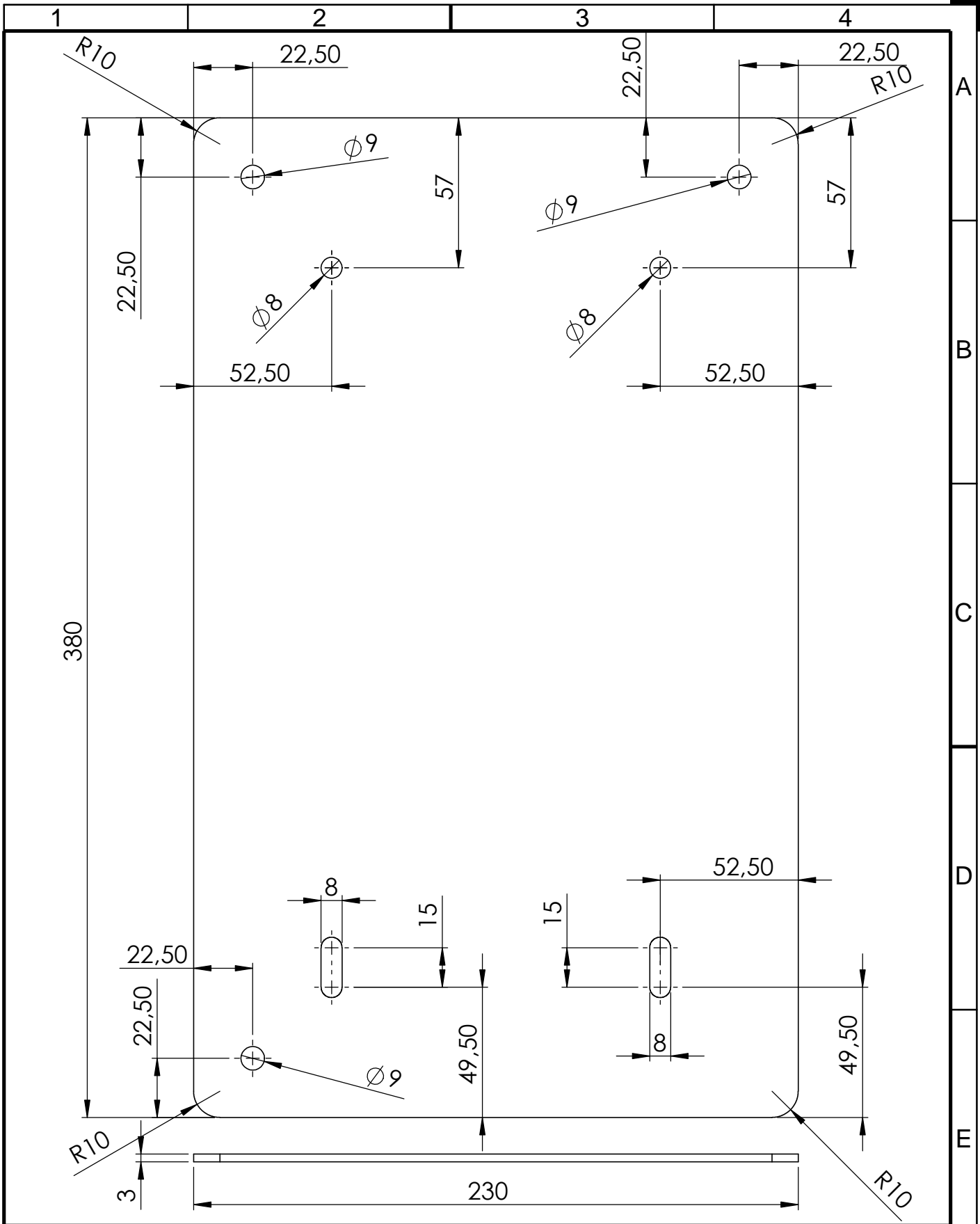
B

C

D

E

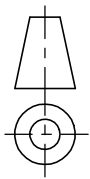
F



A  
B  
C  
D  
E  
F



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



Acabado:

Tipo de documento:

**Plano de pieza**

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$

Acabado superficial: N9

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**20/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Soporte Variador de frecuencia**

Linea Inyección

**A4**

Escala: **1:2**

Material:

**Acero Inox. AISI 304**

Referencia:

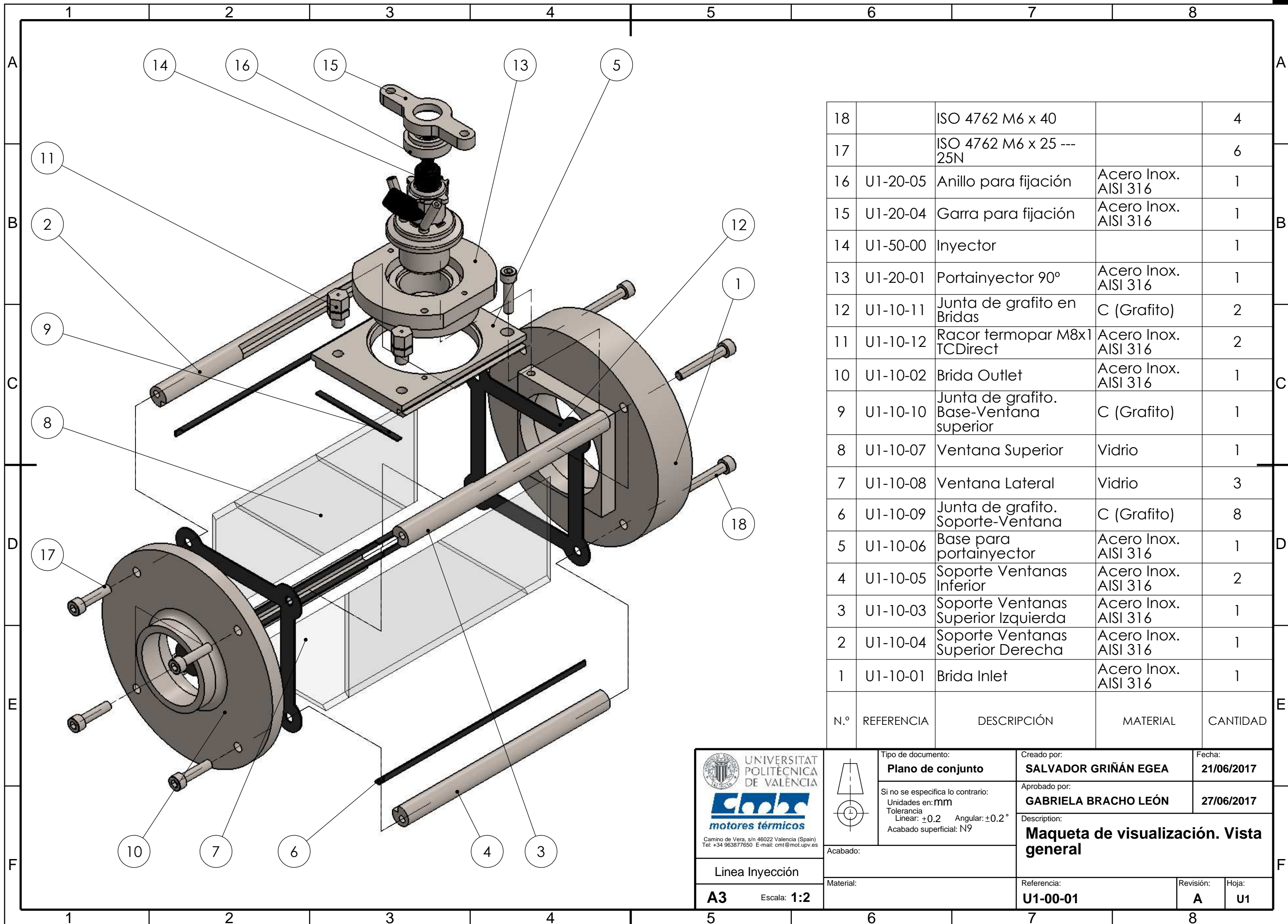
**A1-10-05**

Revisión:

**A**

Hoja:

**A7**

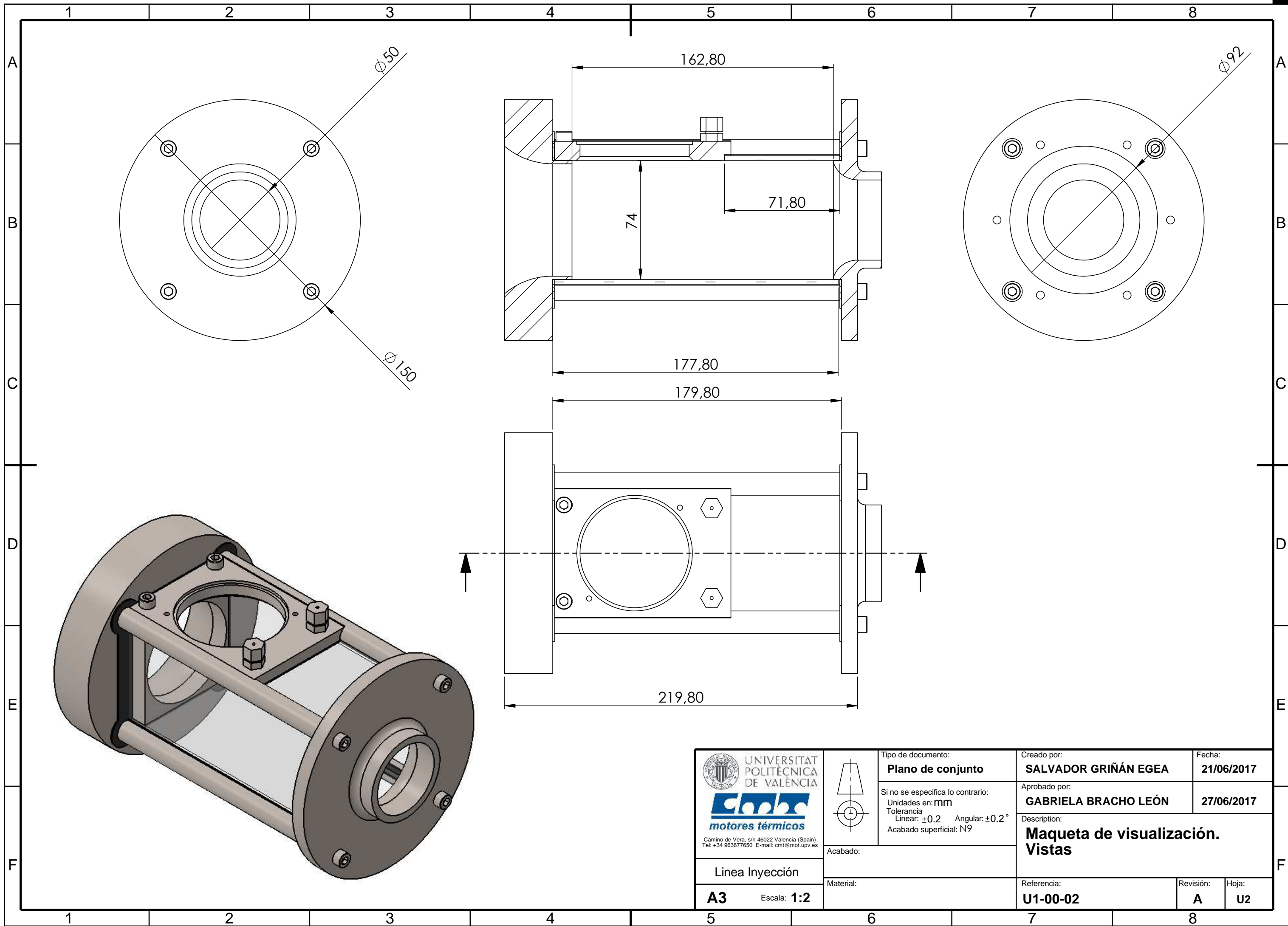




N.º	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
18		ISO 4762 M6 x 40		4
17		ISO 4762 M6 x 25 --- 25N		6
16	U1-20-05	Anillo para fijación	Acero Inox. AISI 316	1
15	U1-20-04	Garra para fijación	Acero Inox. AISI 316	1
14	U1-50-00	Inyector		1
13	U1-20-01	Portainyector 90º	Acero Inox. AISI 316	1
12	U1-10-11	Junta de grafito en Bridas	C (Grafito)	2
11	U1-10-12	Racor termopar M8x1 TCDirect	Acero Inox. AISI 316	2
10	U1-10-02	Brida Outlet	Acero Inox. AISI 316	1
9	U1-10-10	Junta de grafito. Base-Ventana superior	C (Grafito)	1
8	U1-10-07	Ventana Superior	Vidrio	1
7	U1-10-08	Ventana Lateral	Vidrio	3
6	U1-10-09	Junta de grafito. Soporte-Ventana	C (Grafito)	8
5	U1-10-06	Base para portainyector	Acero Inox. AISI 316	1
4	U1-10-05	Soporte Ventanas Inferior	Acero Inox. AISI 316	2
3	U1-10-03	Soporte Ventanas Superior Izquierda	Acero Inox. AISI 316	1
2	U1-10-04	Soporte Ventanas Superior Derecha	Acero Inox. AISI 316	1
1	U1-10-01	Brida Inlet	Acero Inox. AISI 316	1
N.º	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD


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

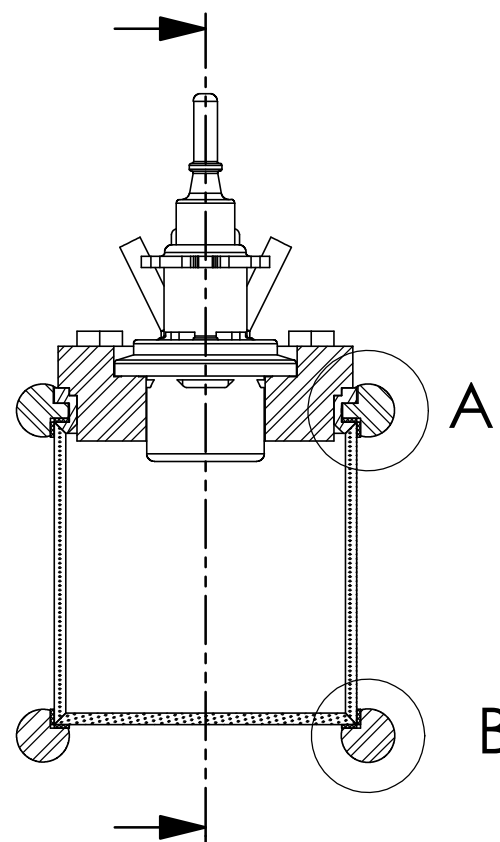
Tipo de documento:  
**Plano de conjunto**  
 Si no se especifica lo contrario:  
 Unidades en: mm  
 Tolerancia Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$   
 Acabado superficial: N9  
 Acabado:  
 Material:  
**A3** Escala: **1:2**

Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b> Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b> <b>27/06/2017</b>
Description: <b>Maqueta de visualización. Vista general</b>	
Referencia: <b>U1-00-01</b>	Revisión: <b>A</b>
Hoja: <b>U1</b>	



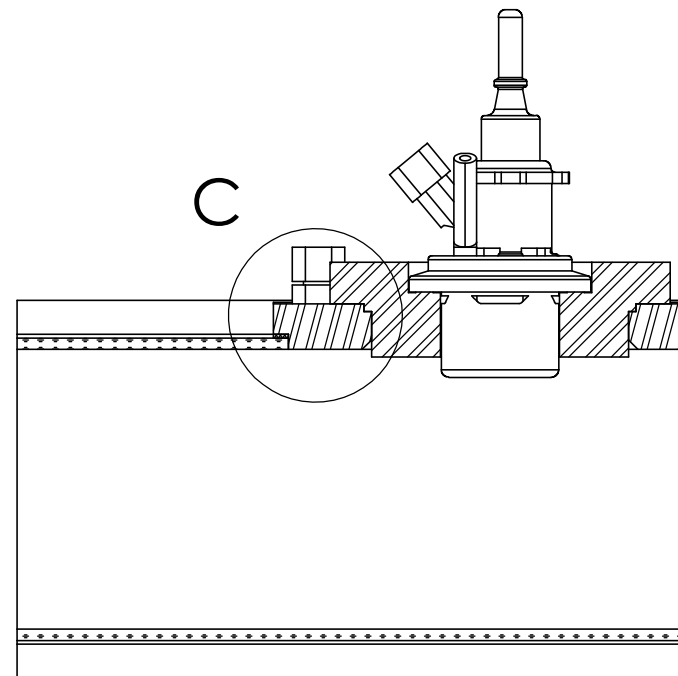
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de conjunto</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
		Description: <b>Maqueta de visualización. Vistas</b>	
Linea Inyección <b>A3</b> Escala: <b>1:2</b>	Acabado: Material:	Referencia: <b>U1-00-02</b>	Revisión: <b>A</b> Hoja: <b>U2</b>





A

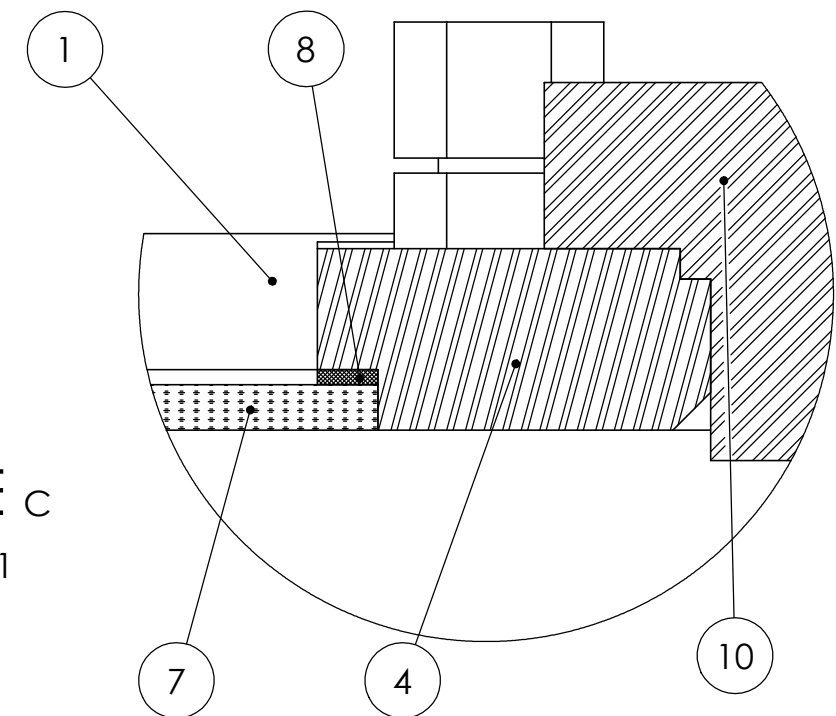
B



C

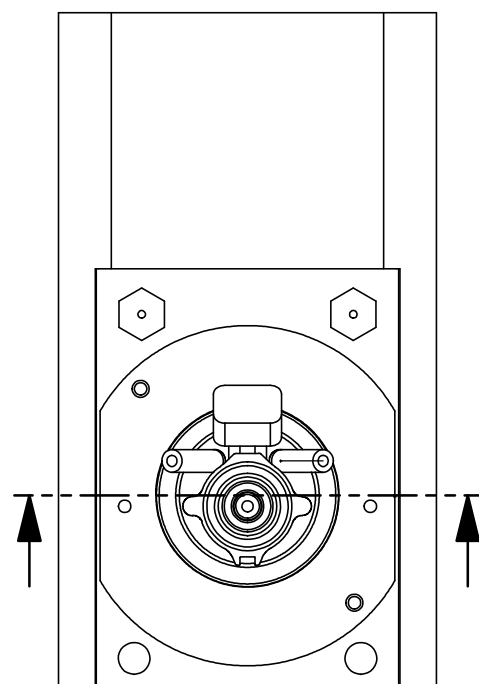
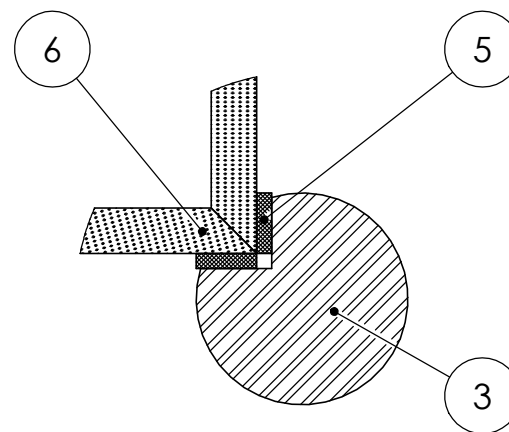
DETALLE C

ESCALA 2 : 1



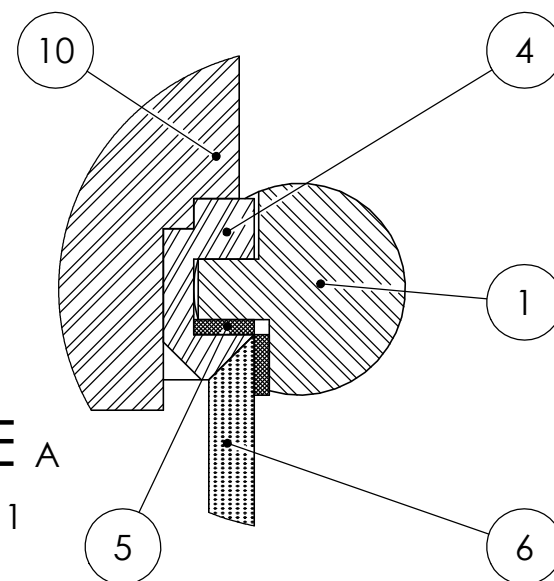
DETALLE B

ESCALA 2 : 1





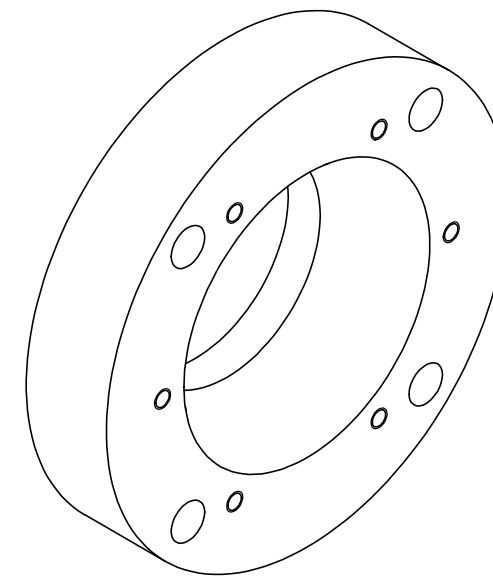
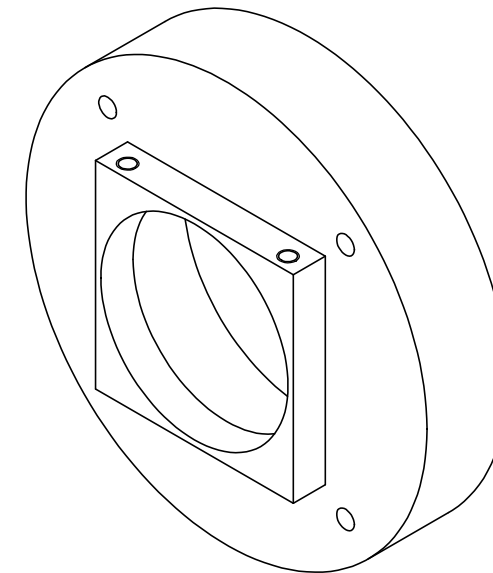
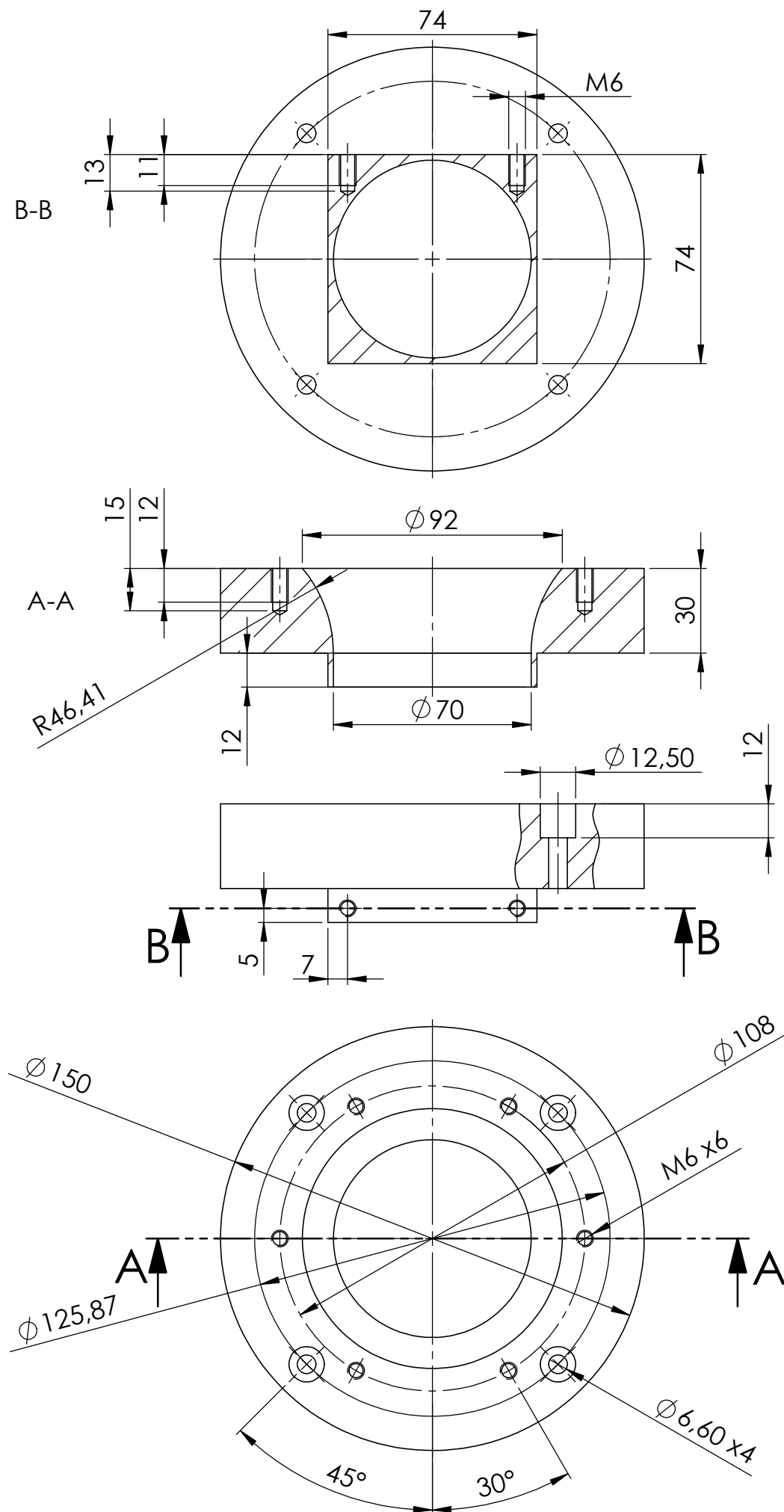
DETALLE A



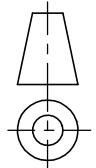
ESCALA 2 : 1

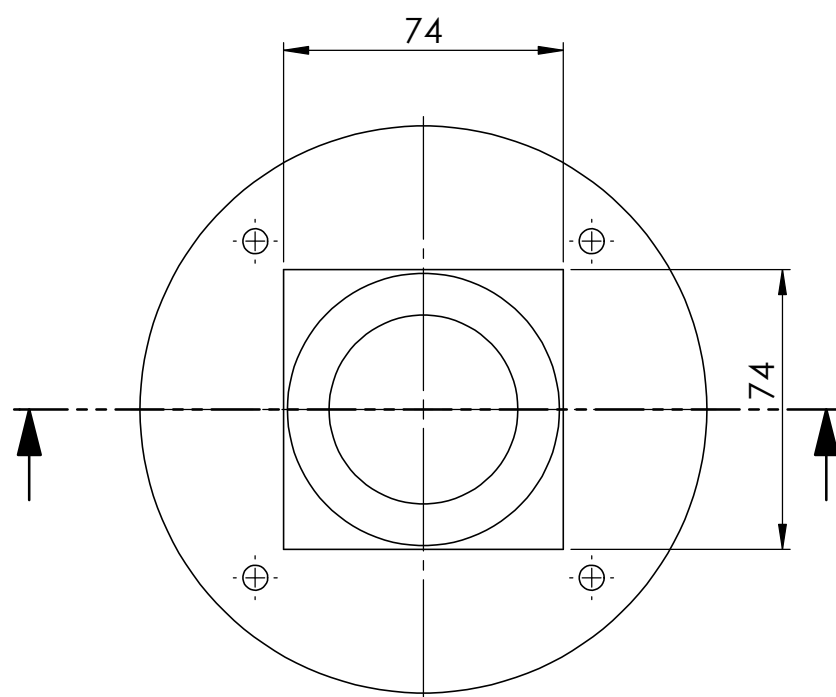
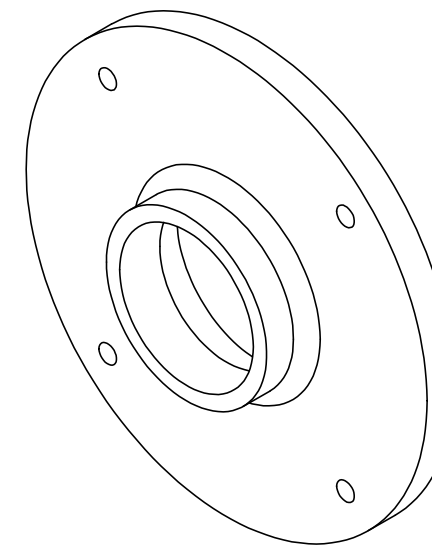
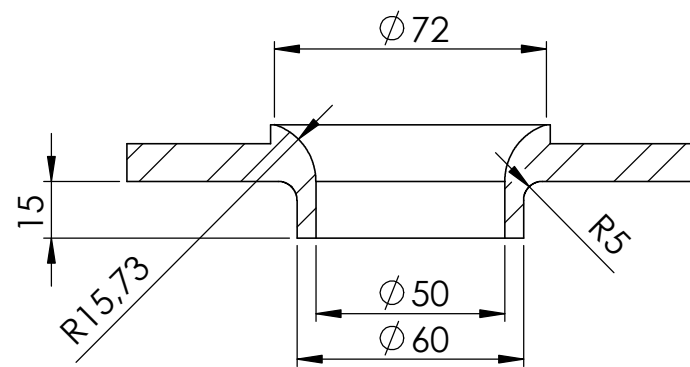
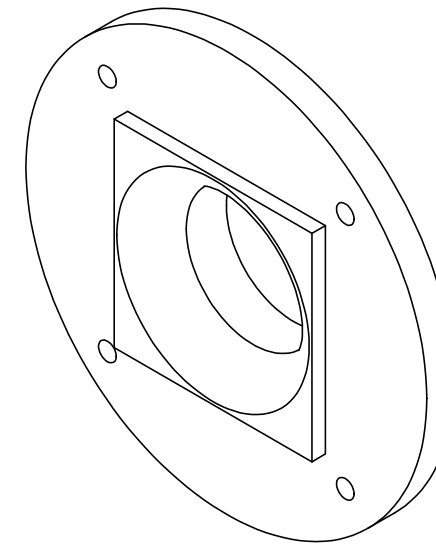
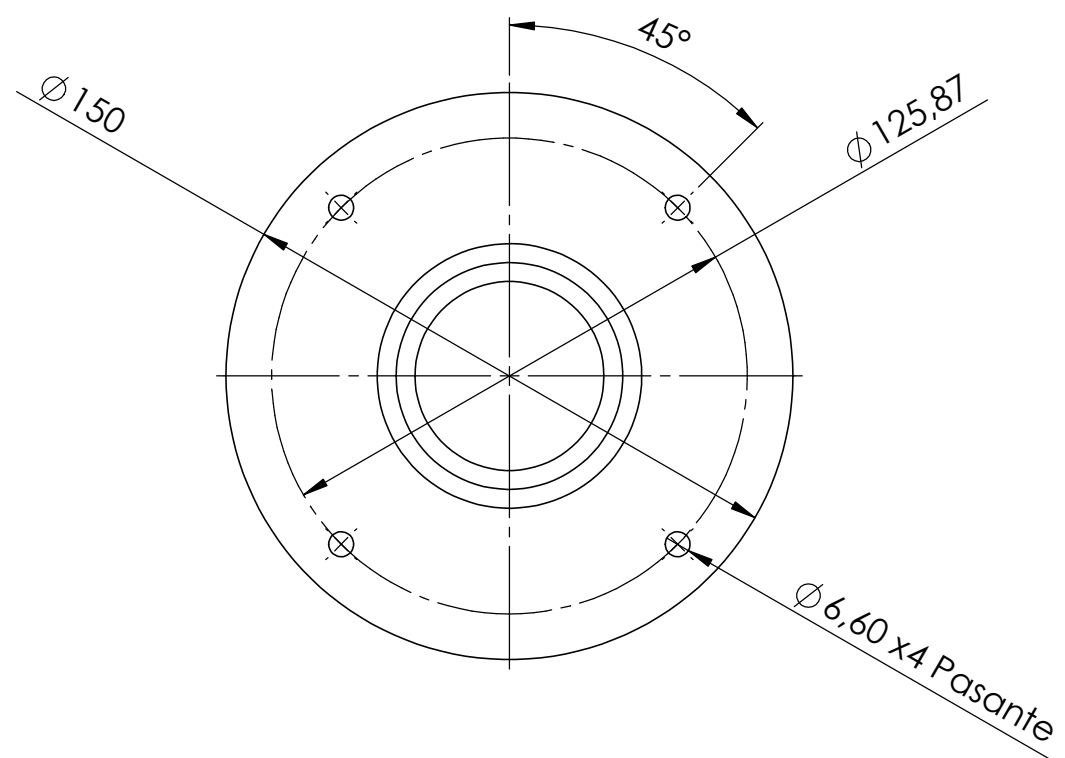




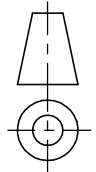
11	U1-50-00	Inyector		1
10	U1-20-01	Portainyector 90°	Acero Inox. AISI 316	1
9	U1-10-12	Racor termopar M8x1 TCDirect	Acero Inox. AISI 316	2
8	U1-10-10	Junta de grafito. Base-Ventana superior	C (Grafito)	1
7	U1-10-07	Ventana Superior	Vidrio	1
6	U1-10-08	Ventana Lateral	Vidrio	3
5	U1-10-09	Junta de grafito. Soporte-Ventana	C (Grafito)	8
4	U1-10-06	Base para portainyector	Acero Inox. AISI 316	1
3	U1-10-05	Soporte Ventanas Inferior	Acero Inox. AISI 316	2
2	U1-10-03	Soporte Ventanas Superior Izquierda	Acero Inox. AISI 316	1
1	U1-10-04	Soporte Ventanas Superior Derecha	Acero Inox. AISI 316	1
N.º	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

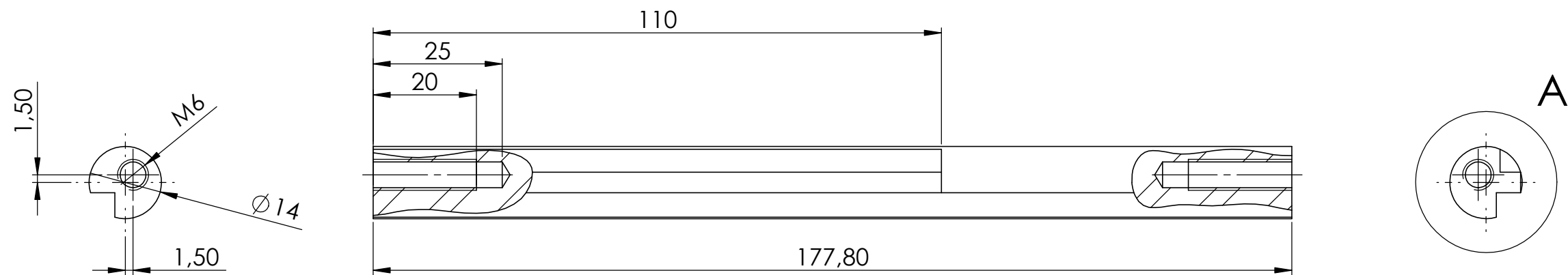
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</p>	<p>Tipo de documento: <b>Plano de detalle</b></p>	<p>Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b></p>	<p>Fecha: <b>21/06/2017</b></p>
	<p>Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: ±0.2 Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9</p>	<p>Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b></p>	<p>Fecha: <b>27/06/2017</b></p>
<p>Acabado:</p>	<p>Description: <b>Detalle de montaje. Ensamblado de ventanas y portainyector</b></p>		
<p>Material:</p>	<p>Referencia: <b>U1-00-03</b></p>	<p>Revisión: <b>A</b></p>	<p>Hoja: <b>U3</b></p>
<p>Linea Inyección</p>	<p>Referencia: <b>U1-00-03</b></p>		
<p><b>A3</b> Escala: 1:2</p>	<p>Revisión: <b>A</b></p>		



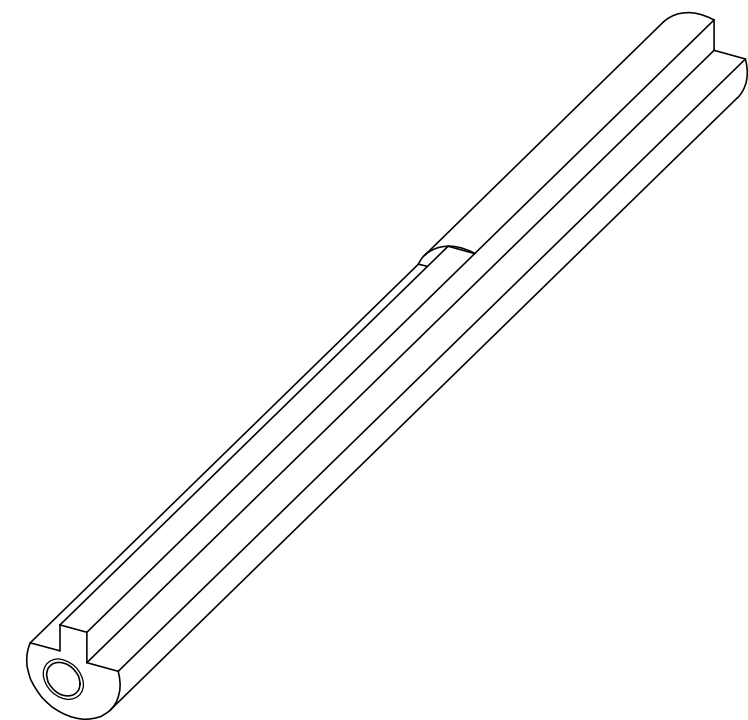
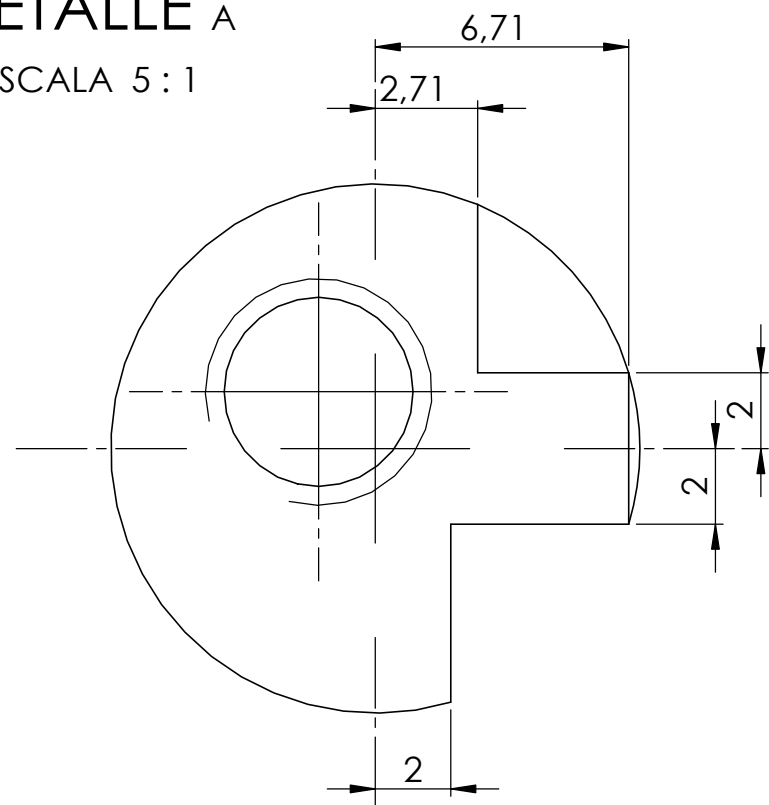
 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>		Tipo de documento: <b>Pano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
Acabado: <b>Linea Inyección</b>		Description: <b>Brida Inlet</b>		
<b>A3</b> Escala: <b>1:2</b>	Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Referencia: <b>U1-10-01</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>U4</b>



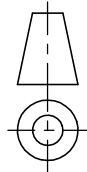


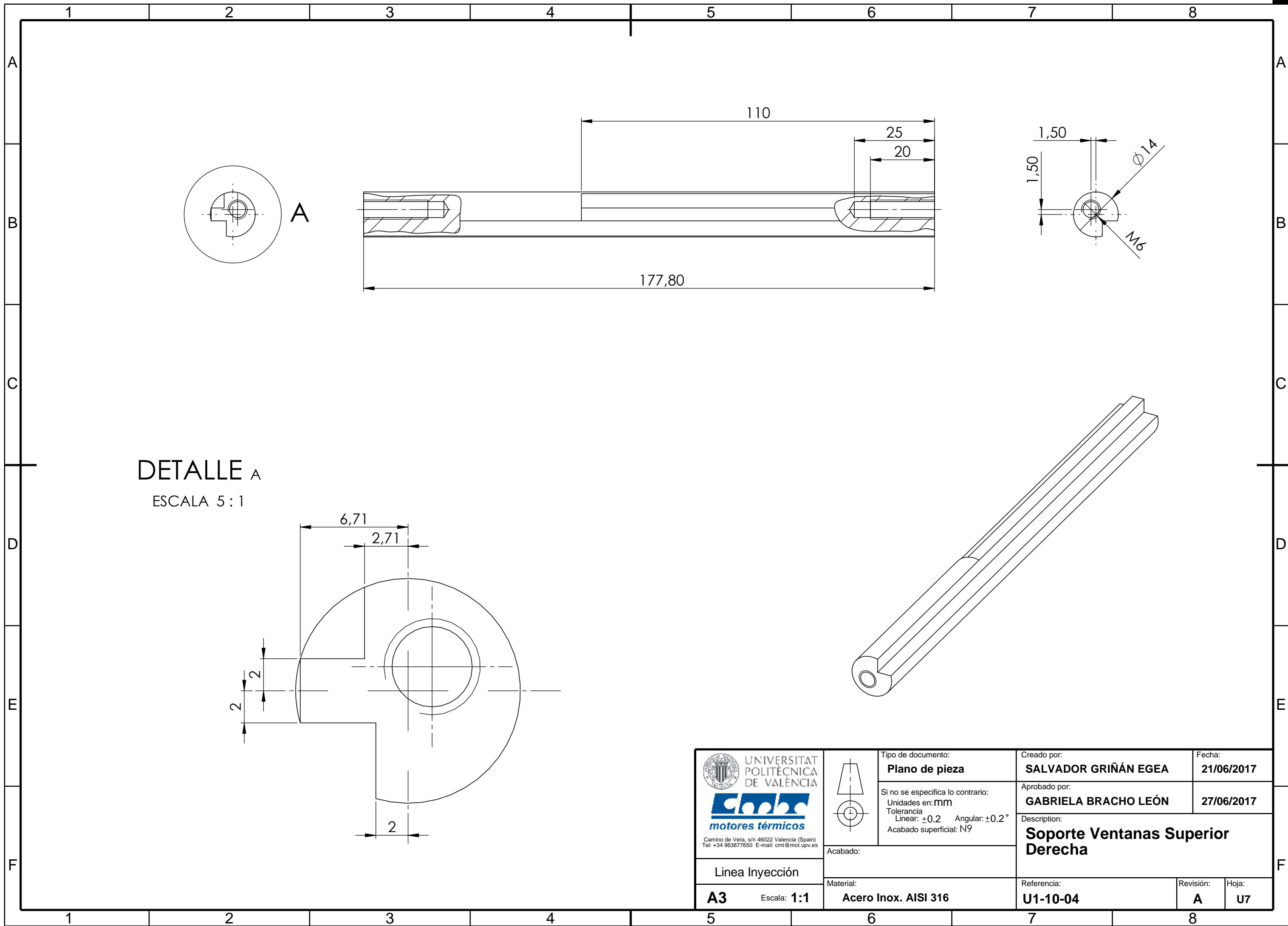
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>		Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Lineal: ±0.2 Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
Acabado:		Description: <b>Brida Outlet</b>		
Línea Inyección <b>A3</b> Escala: 1:2	Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Referencia: <b>U1-10-02</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>U5</b>





DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain)          Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	 Acabado:	Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Descripción: <b>Soporte Ventanas Superior Izquierda</b>	Referencia: <b>U1-10-03</b>
Línea Inyección <b>A3</b> Escala: 1:1	Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Hoja: <b>U6</b>		



DETALLE A  
ESCALA 5 : 1

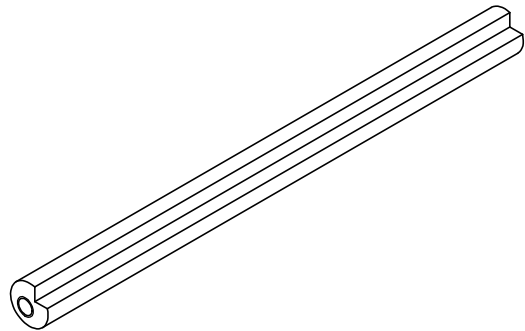
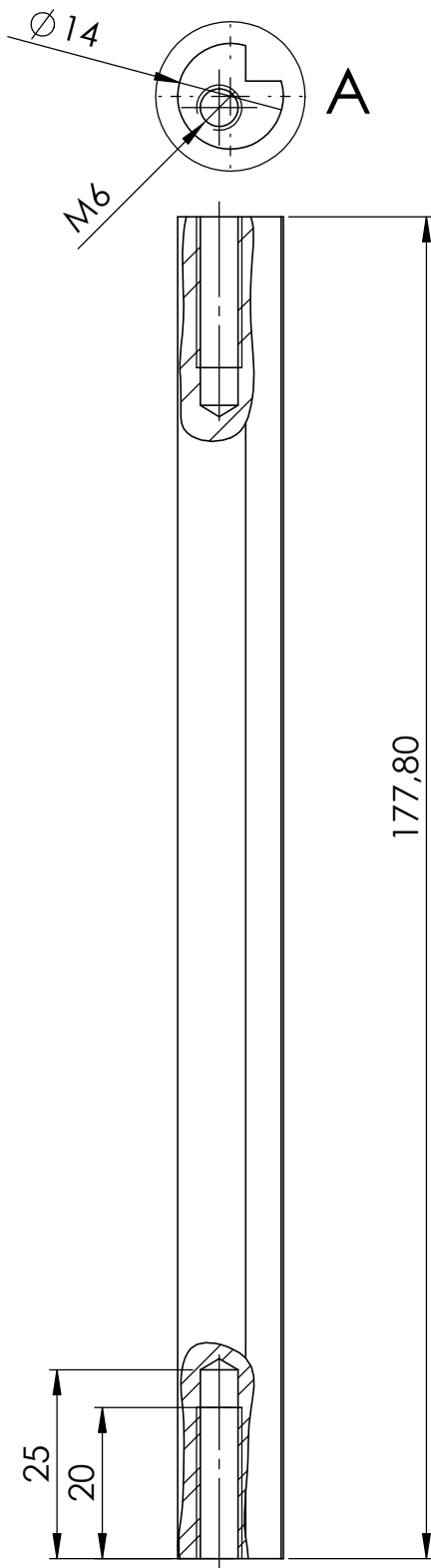
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Descripción: <b>Soporte Ventanas Superior Derecha</b>
Acabado: <b>Linea Inyección</b>	Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Referencia: <b>U1-10-04</b>	Revisión: <b>A</b>
<b>A3</b> Escala: <b>1:1</b>			Hoja: <b>U7</b>

1

2

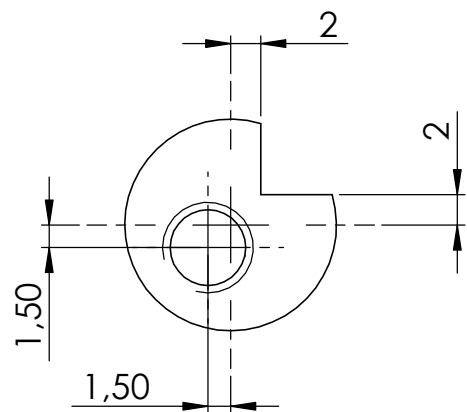
3

4



DETALLE A

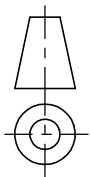
ESCALA 2 : 1



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

Plano de pieza

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear:  $\pm 0,2$  Angular:  $\pm 0,2^\circ$ 

Acabado superficial: N9

Creado por:

SALVADOR GRIÑÁN EGEA

Fecha:

21/06/2017

Aprobado por:

GABRIELA BRACHO LEÓN

27/06/2017

Description:

Soporte Ventanas Inferior

Acabado:

Linea Inyección

Material:

A4

Escala: 1:1

Acero Inox. AISI 316

Referencia:

U1-10-05

Revisión:

A

Hoja:

U8

A

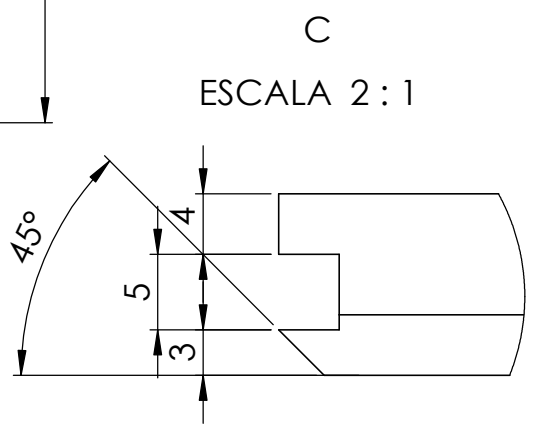
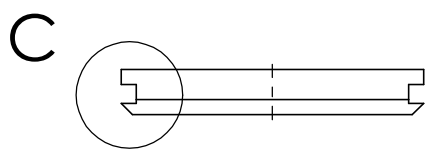
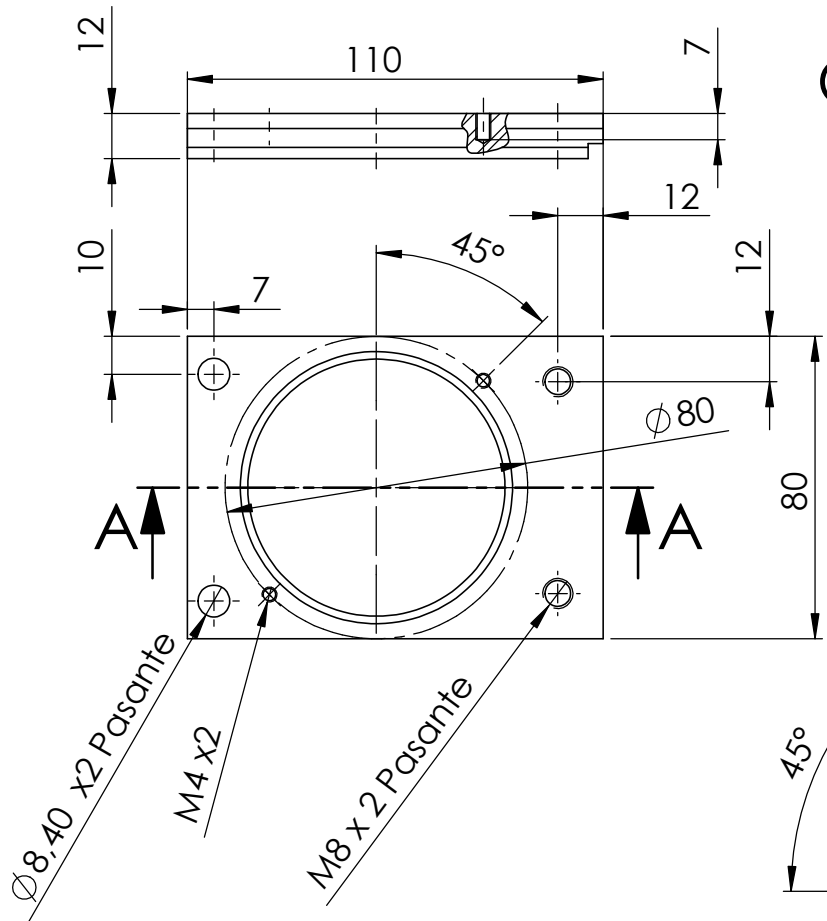
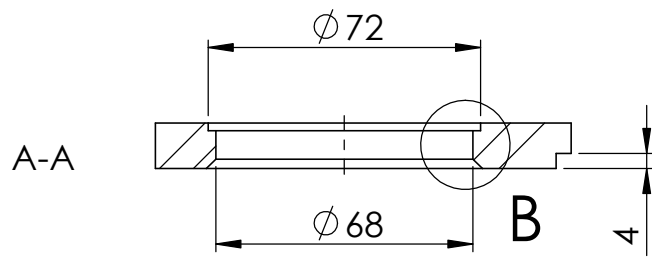
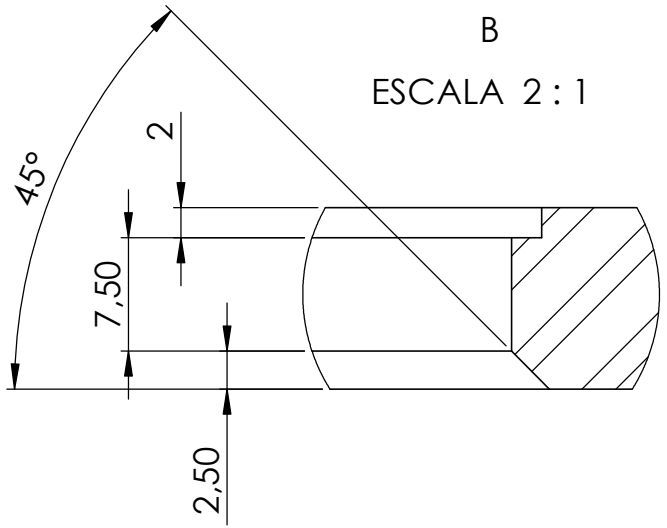
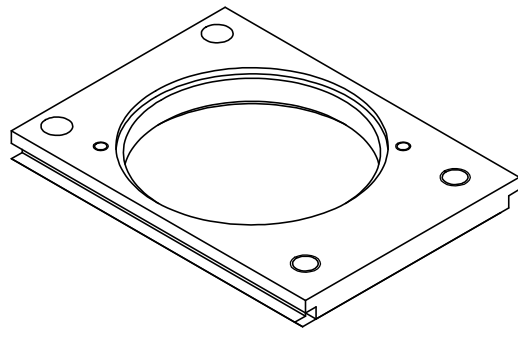
B

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

Creado por:  
**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:  
**21/06/2017**

Aprobado por:  
**GABRIELA BRACHO LEÓN**

Fecha:  
**27/06/2017**

Description:  
**Base para portainyector**

Linea Inyección

**A4** Escala: **1:2**

Acabado:  
 Material:  
**Acero Inox. AISI 316**

Referencia:  
**U1-10-06**

Revisión: **A** Hoja: **U9**

1

2

3

4

A

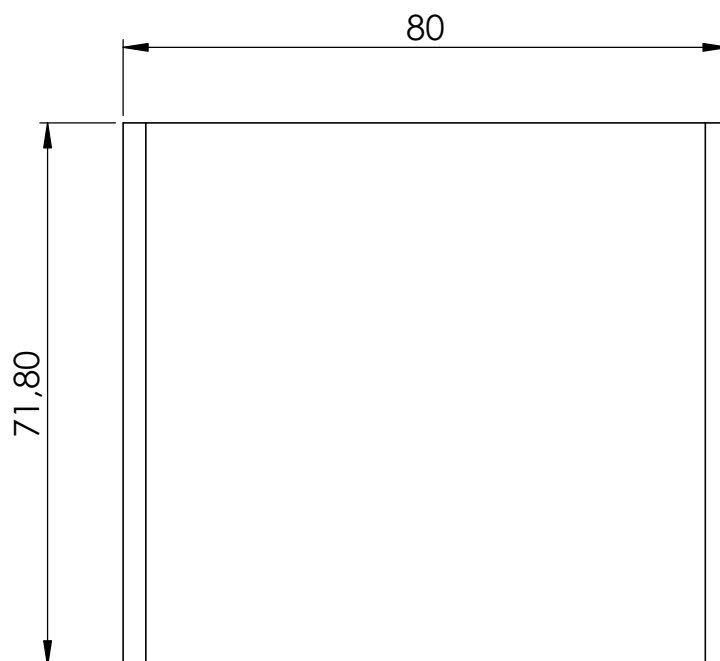
B

C

D

E

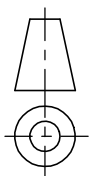
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Ventana Superior**

Acabado:

Linea Inyección

Material:

**Vidrio**

Referencia:

**U1-10-07**

Revisión:

**A**

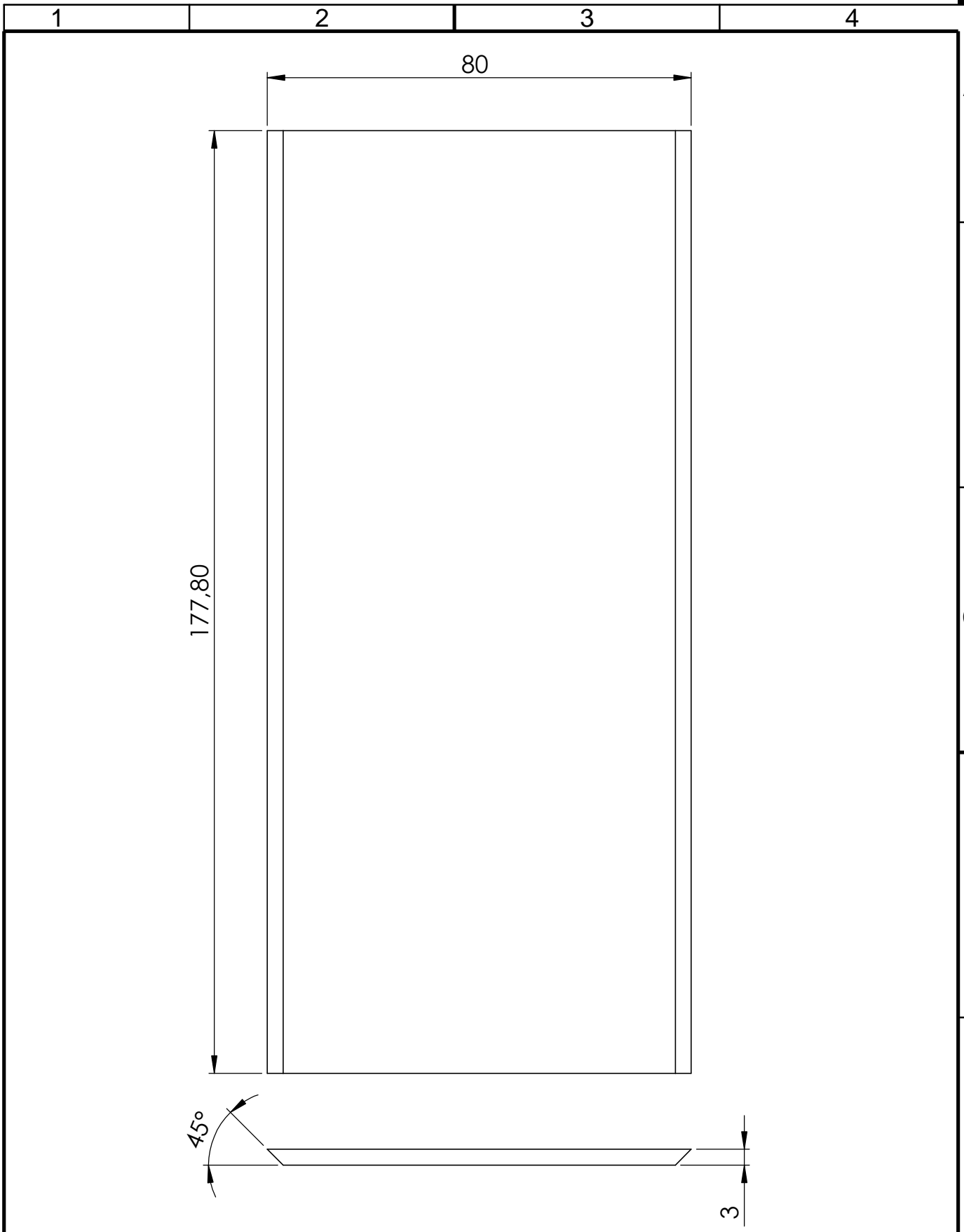
Hoja:



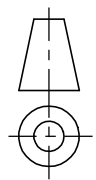
**U10**

**A4**

Escala: **1:1**





 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es		Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
		Descripción: <b>Ventana Lateral</b>		
		Acabado:		
<b>A4</b> Escala: <b>1:1</b>	Material: <b>Vidrio</b>	Referencia: <b>U1-10-08</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>U11</b>

1

2

3

4

A

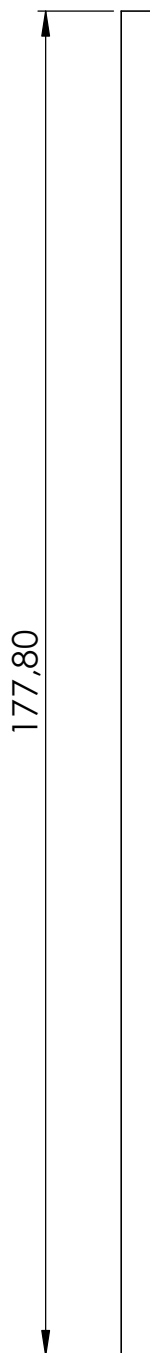
B

C

D

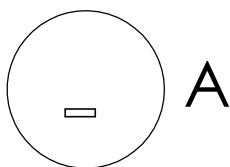
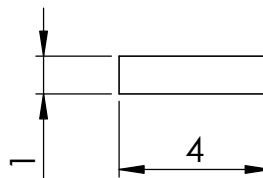
E

F



## DETALLE A

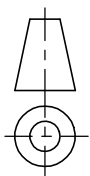
ESCALA 5 : 1



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Acabado:

Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Junta de grafito.  
Soporte-Ventana**

Linea Inyección

**A4**

Escala: **1:1**

Material:

**C (Grafito)**

Referencia:

**U1-10-09**

Revisión:

**A**

Hoja:

**U12**

1

2

3

4

A

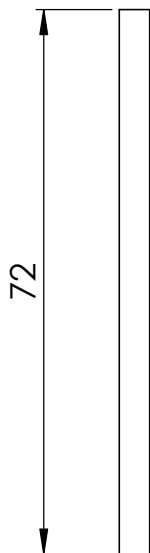
B

C

D

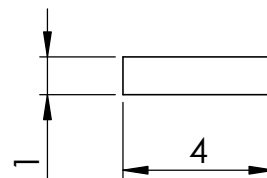
E

F

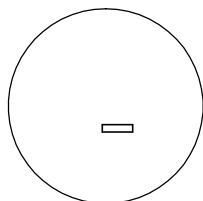


DETALLE A

ESCALA 5 : 1



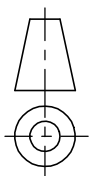
A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Acabado:

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN****27/06/2017**

Description:

**Junta de grafito.  
Base-Ventana superior**

Linea Inyección

**A4**Escala: **1:1**

Material:

**C (Grafito)**

Referencia:

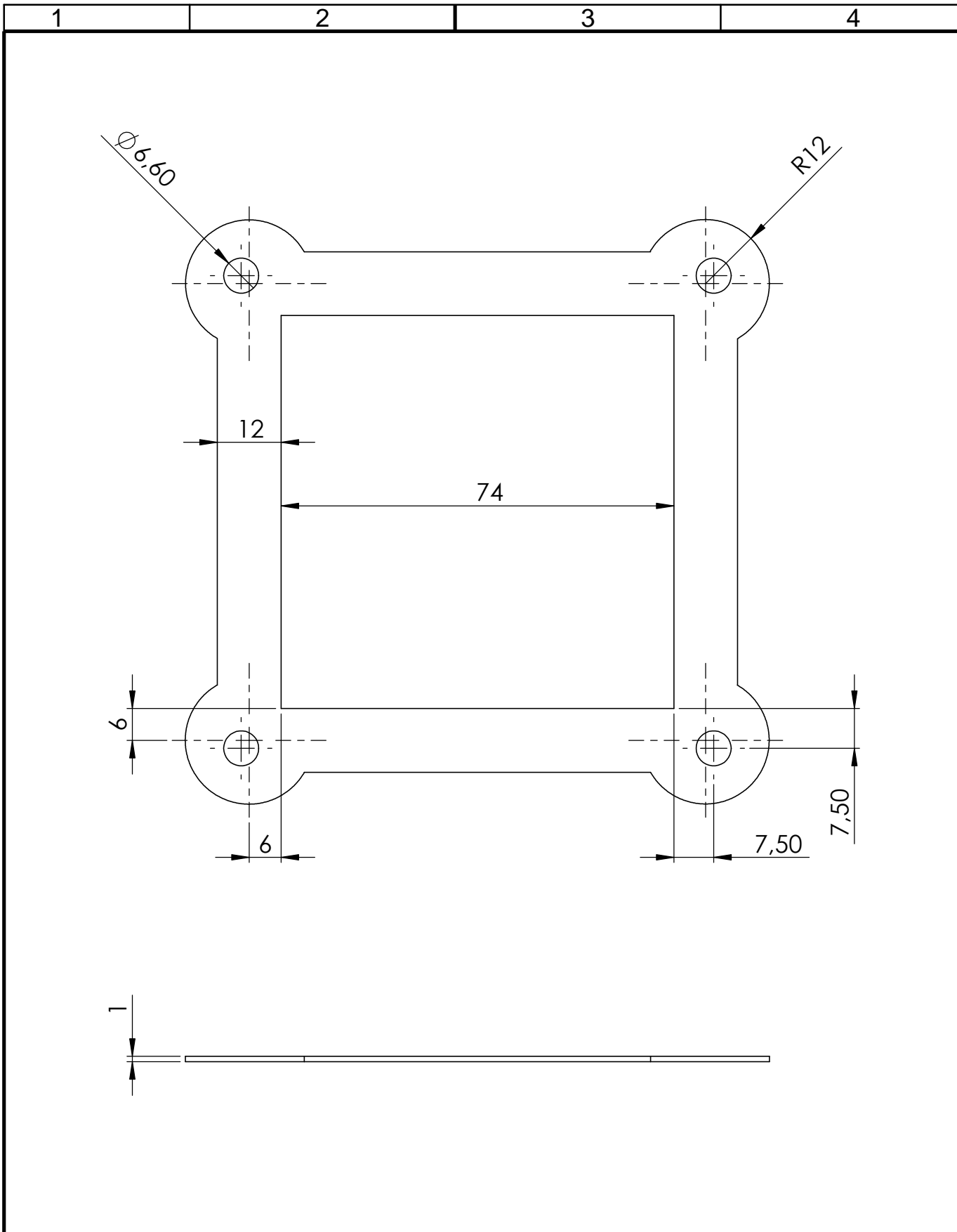
**U1-10-10**



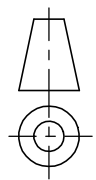
Revisión:

**A**

Hoja:

**U13**



 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es		Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0,2$ Angular: $\pm 0,2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>
Acabado:		Descripción: <b>Junta de grafito en Bridas</b>		
Linea Inyección <b>A4</b>	Material: <b>C (Grafito)</b>	Referencia: <b>U1-10-11</b>	Revisión: <b>A</b>	Hoja: <b>U14</b>
Escala: <b>1:1</b>				

1

2

3

4

A

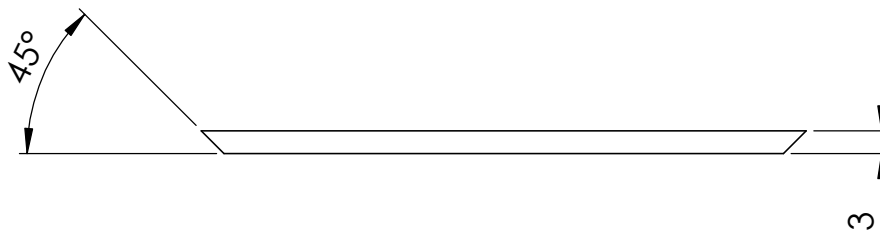
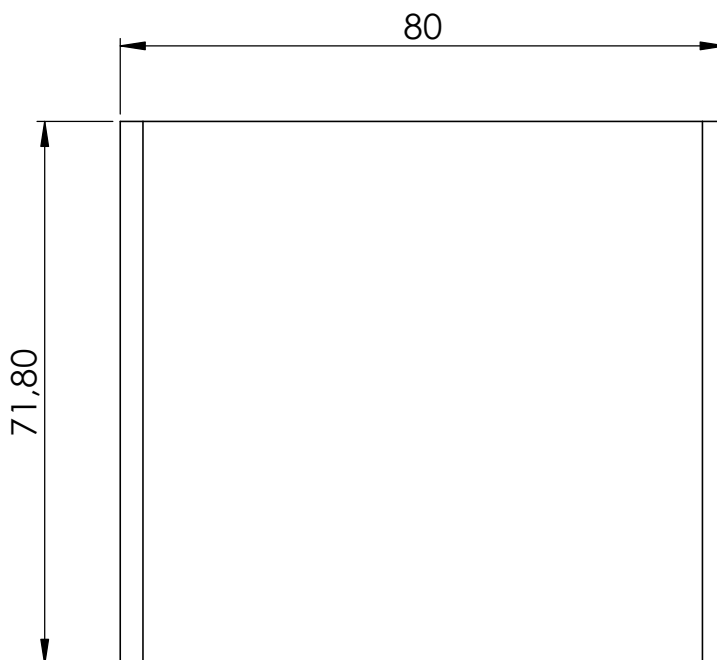
B

C

D

E

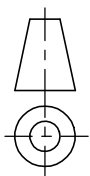
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Ventana Superior falsa**

Acabado:

Linea Inyección

**A4**

Escala: **1:1**

Material:

**Acero Inox. AISI 316**

Referencia:

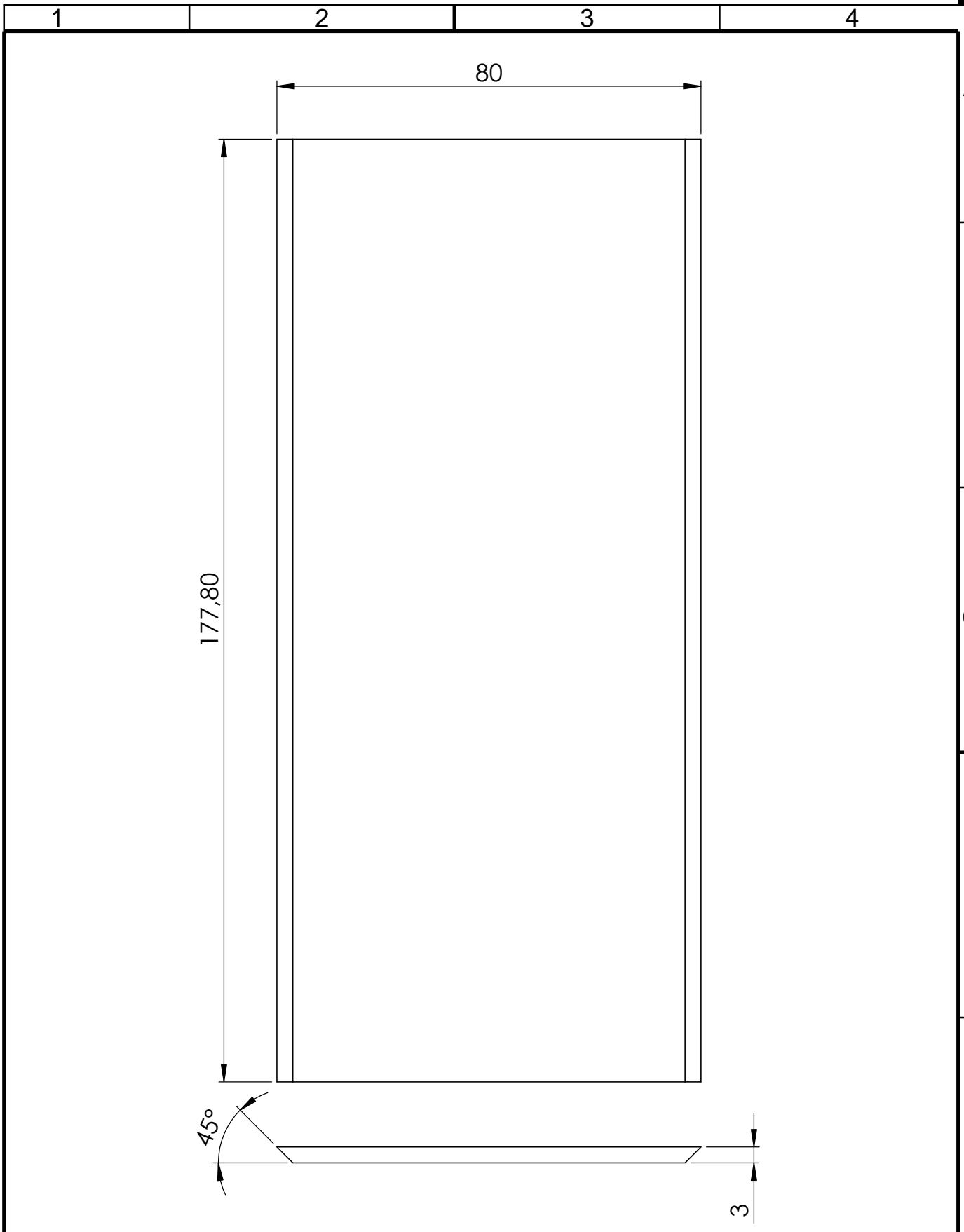
**U1-10-12**



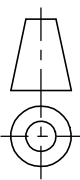
Revisión:

**A**

Hoja:

**U15**



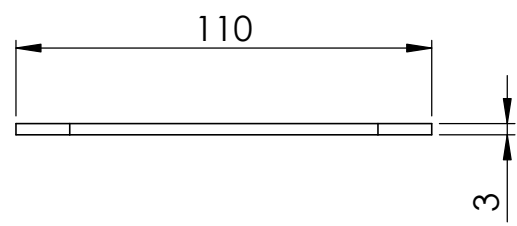
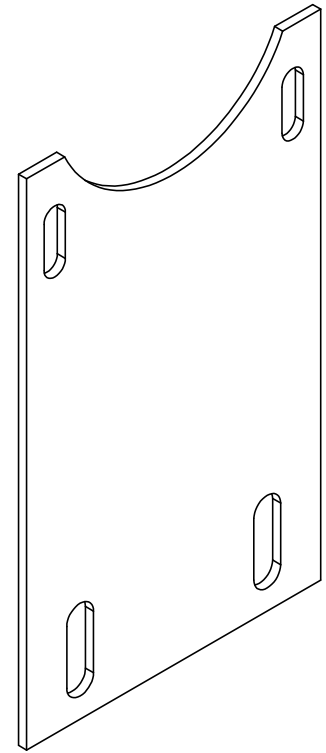
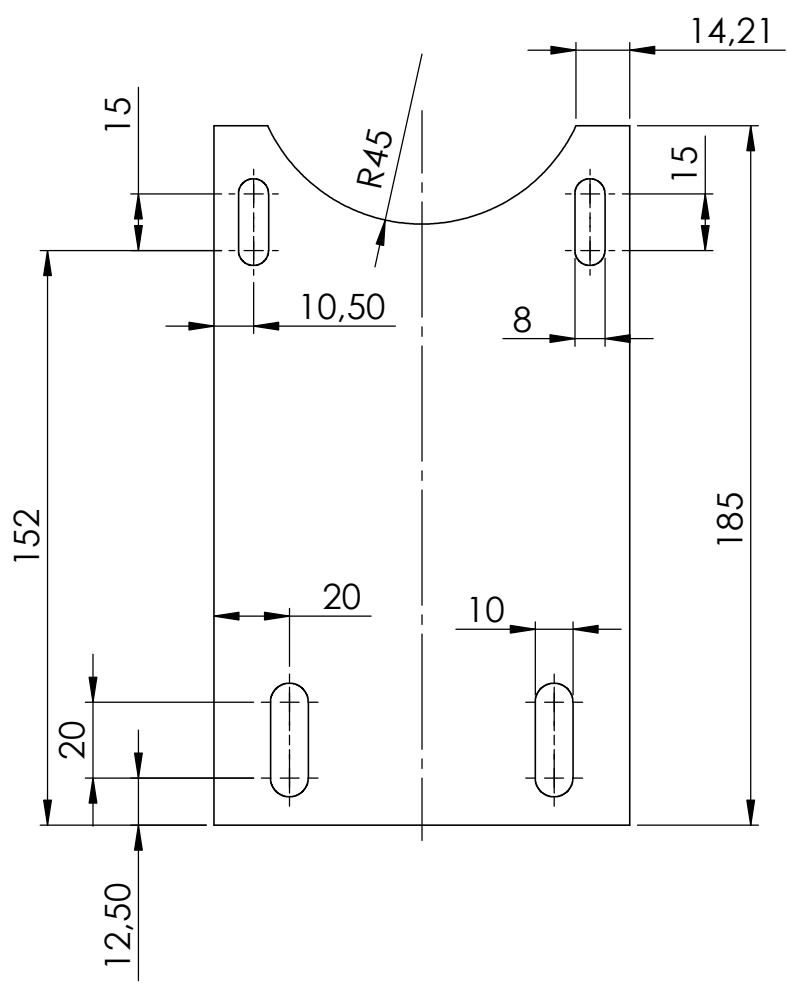
 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>  Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es		Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>	
		Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: $\pm 0.2$ Angular: $\pm 0.2^\circ$ Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	<b>27/06/2017</b>	Descripción: <b>Ventana Lateral falsa</b>
Acabado:	Referencia: <b>U1-10-13</b>			Revisión: <b>A</b>	
Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>				Linea Inyección <b>A4</b>	Escala: <b>1:1</b>

1

2

3

4

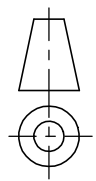


A  
B  
C  
D  
E  
F

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**motores térmicos**

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



Tipo de documento:  
**Plano de pieza**

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

Creado por:  
**SALVADOR GRIÑÁN EGEEA**

Fecha:  
**21/06/2017**

Aprobado por:  
**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:  
**Soporte de maqueta de visualización**

Linea Inyección

**A4** Escala: **1:2**

Acabado:

Material:  
**Acero Inox. AISI 304**

Referencia:  
**U1-30-03**

Revisión: **A** Hoja: **U17**

1

2

3

4

A

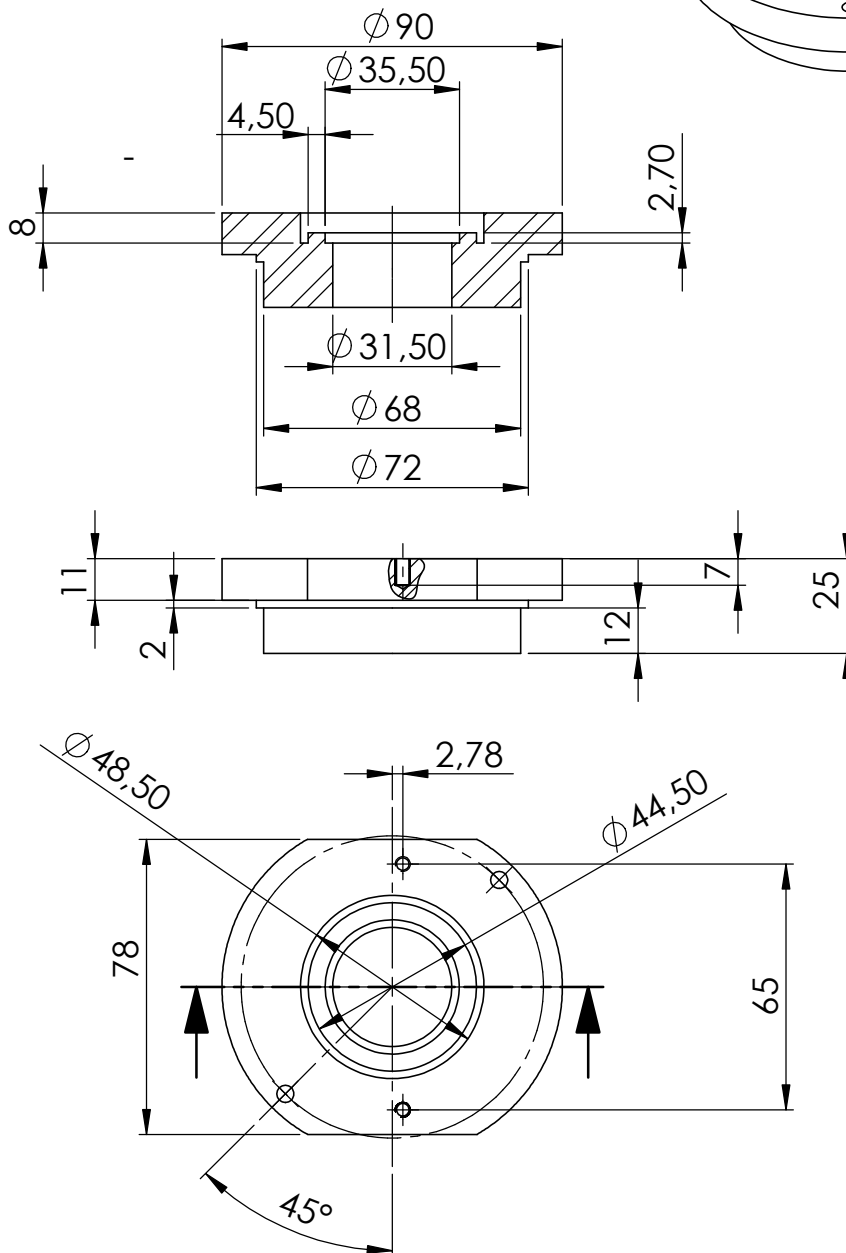
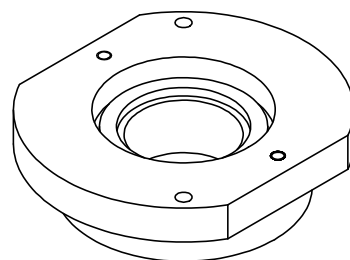
B

C

D

E

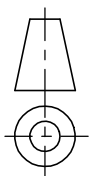
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

Si no se especifica lo contrario:

Unidades en: mm

Tolerancia

Linear:  $\pm 0.2$  Angular:  $\pm 0.2^\circ$

Acabado superficial: N9

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Portainyector 90°**

Acabado:

Linea Inyección

Material:

**Acero Inox. AISI 316**

Referencia:

**U1-20-01**

Revisión:

**A**

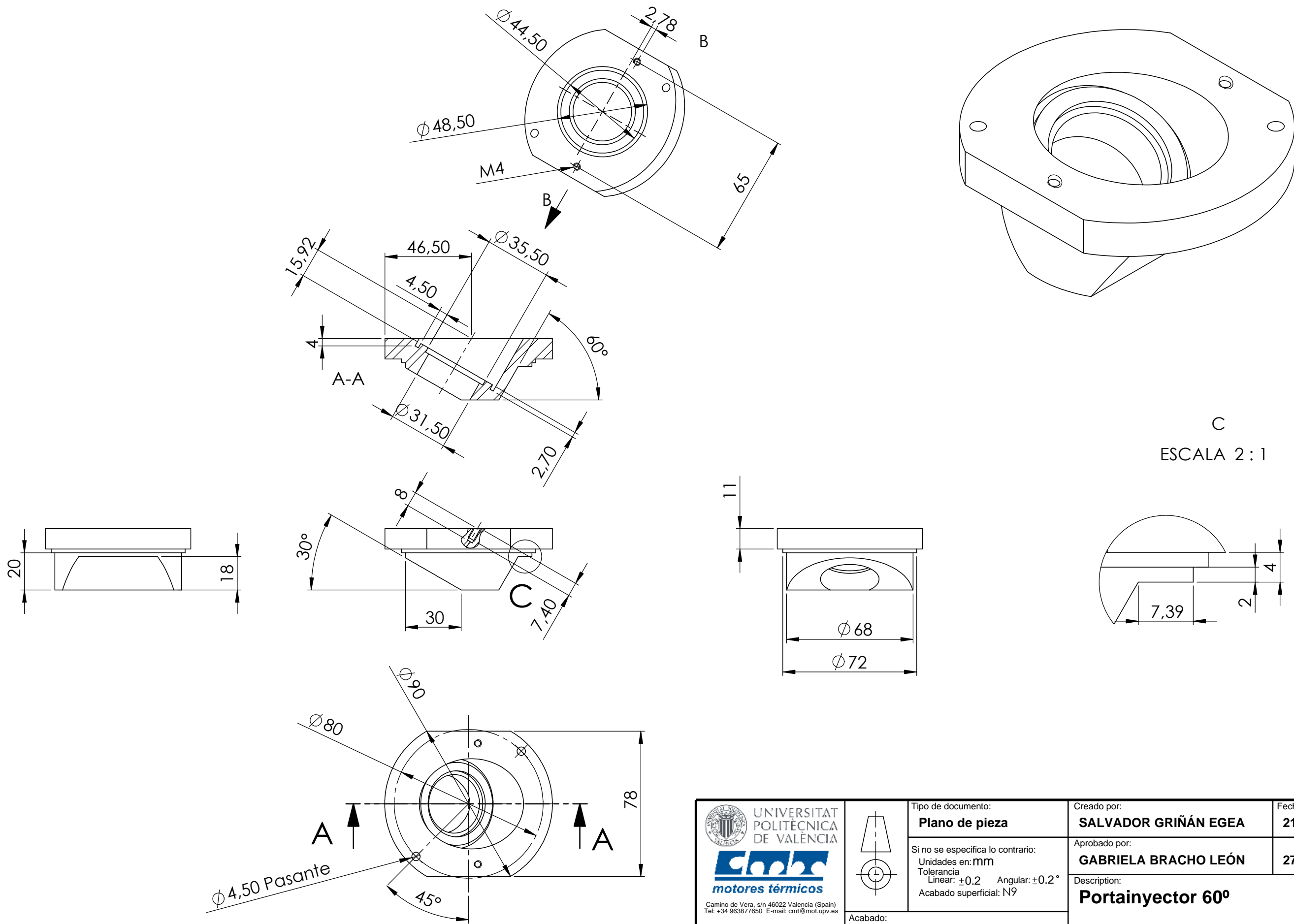
Hoja:

**11**



**A4**

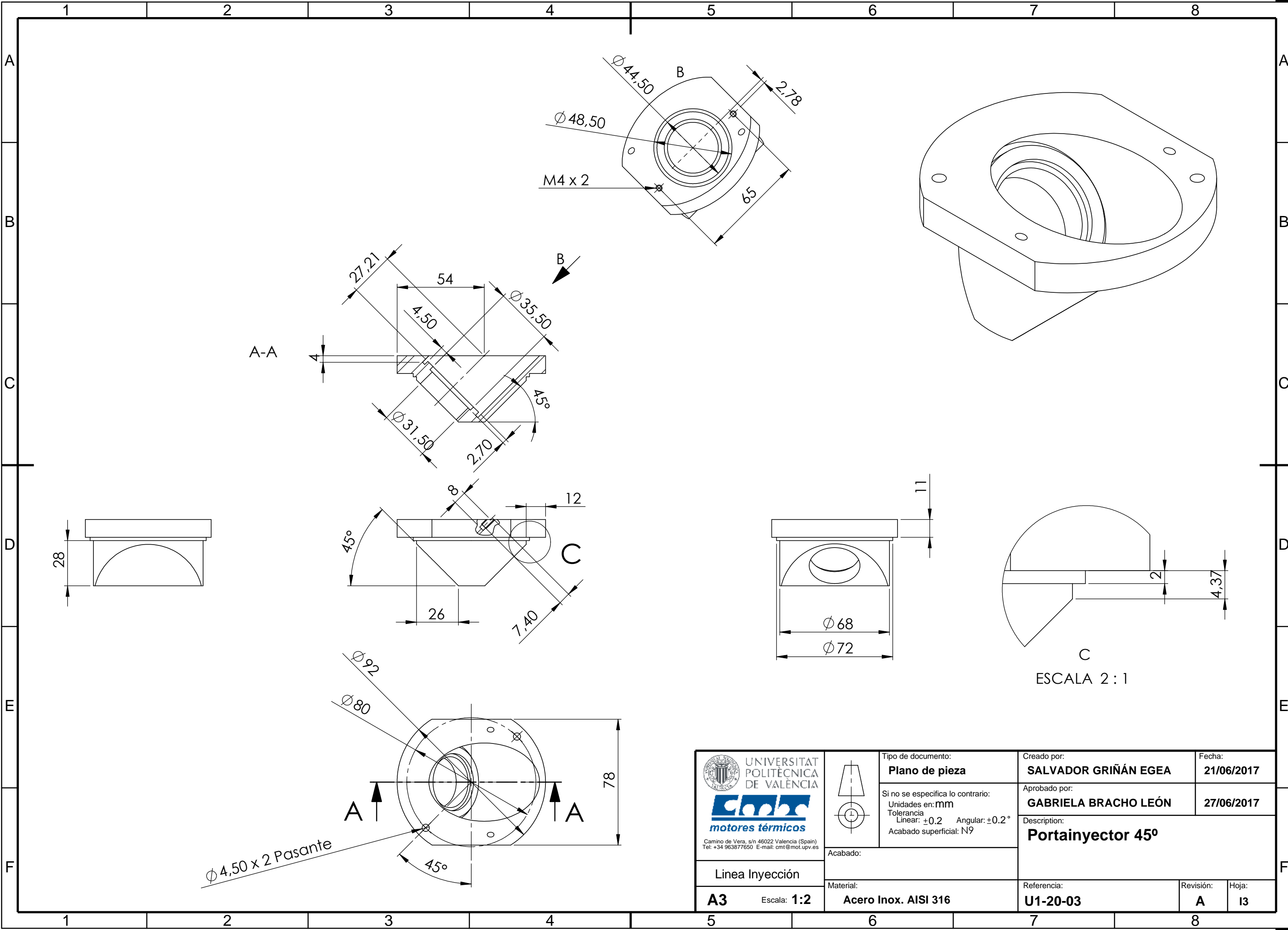
Escala: **1:2**







C  
ESCALA 2 : 1

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Linear: ±0.2 Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Descripción: <b>Portainyector 60°</b>
Acabado:  	Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Referencia: <b>U1-20-02</b>	Revisión: <b>A</b>
Línea Inyección <b>A3</b> Escala: <b>1:2</b>			Hoja: <b>I2</b>



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA   motores térmicos <small>Camino de Vera, s/n 46022 Valencia (Spain) Tel: +34 963877650 E-mail: cmt@mot.upv.es</small>	Tipo de documento: <b>Plano de pieza</b>	Creado por: <b>SALVADOR GRIÑÁN EGEA</b>	Fecha: <b>21/06/2017</b>
	Si no se especifica lo contrario: Unidades en: mm Tolerancia Lineal: ±0.2    Angular: ±0.2° Acabado superficial: N9	Aprobado por: <b>GABRIELA BRACHO LEÓN</b>	Descripción: <b>Portainyector 45°</b>
Linea Inyección <b>A3</b> Escala: <b>1:2</b>	Acabado:  Material: <b>Acero Inox. AISI 316</b>	Referencia: <b>U1-20-03</b>	Revisión: <b>A</b> Hoja: <b>I3</b>

1

2

3

4

A

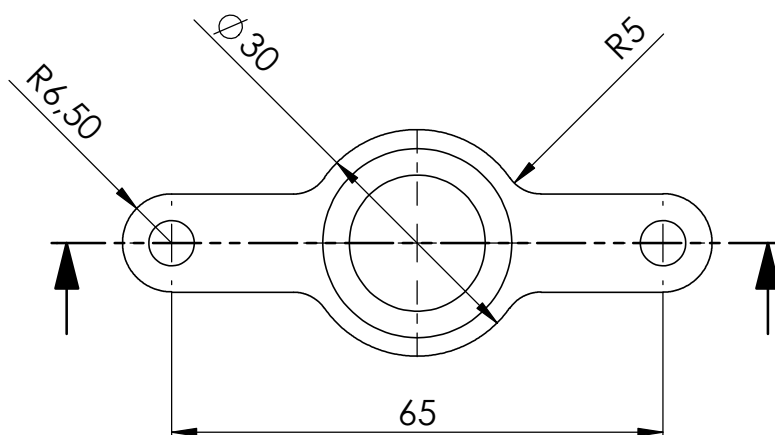
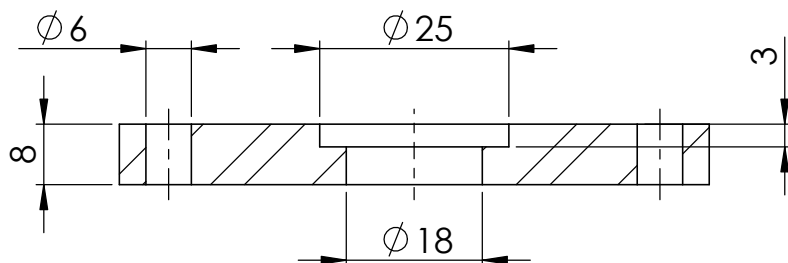
B

C

D

E

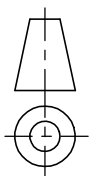
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Garra para fijación**

Acabado:

Linea Inyección

Material:

**Acero Inox. AISI 316**

Referencia:

**U1-20-04**

Revisión:

**A**

Hoja:

**14**

**A4**

Escala: **1:1**

1

2

3

4

A

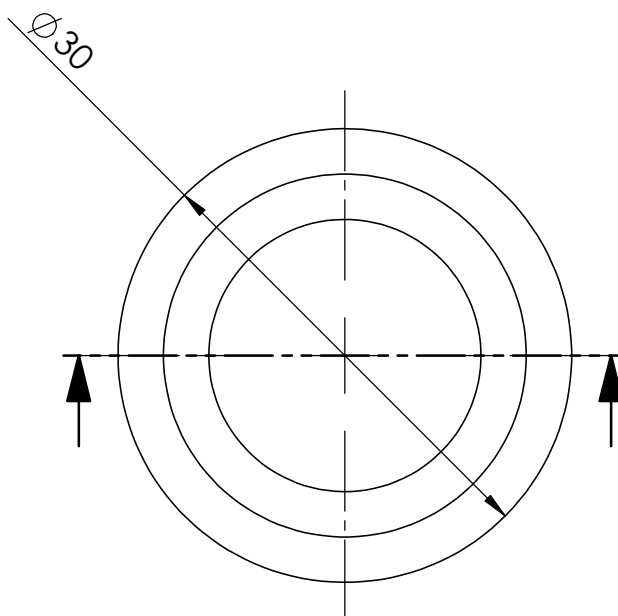
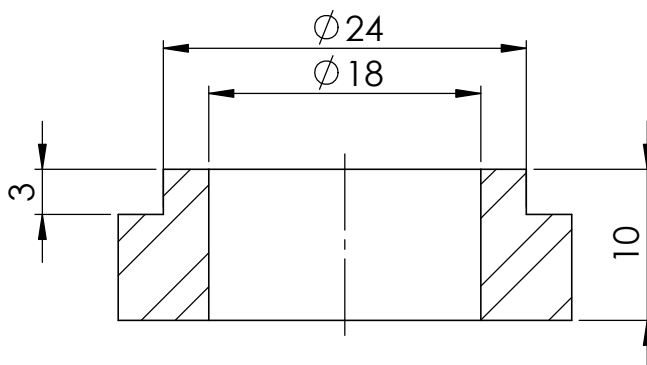
B

C

D

E

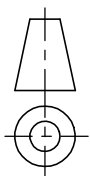
F



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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



Acabado:

Tipo de documento:

**Plano de pieza**

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

Creado por:

**SALVADOR GRIÑÁN EGEA**

Fecha:

**21/06/2017**

Aprobado por:

**GABRIELA BRACHO LEÓN**

**27/06/2017**

Description:

**Anillo para fijación**

Linea Inyección

**A4**

Escala: **2:1**

Material:

**Acero Inox. AISI 316**

Referencia:

**U1-20-05**

Revisión:

**A**

Hoja:

**15**