



Trabajo Fin de Grado

Fabricación, montaje e inspección del prototipo de
un intercambiador EGR

Manufacture, assembly and inspection of an EGR
cooler prototype

Autor

Rubén Lorenz García

Director

Fernando José Aznar Terren

Ponente de la Universidad

María José Oliveros Colay

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA).Ingeniería Mecánica

2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. Rubén Lorenz García,

connº de DNI 25199227J en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado en Ingeniería Mecánica, (Título del Trabajo)
FABRICACIÓN, MONTAJE E INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN
INTERCAMBIADOR EGR

, es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Noviembre de 2018


Fdo: _____

RESUMEN

Este proyecto presenta los diseños, procedimientos, utilajes y medios para la fabricación, montaje e inspección de un intercambiador EGR prototipo diseñado por Valeo. El prototipo es fabricado en el taller de prototipos de la empresa, produciendo una serie pequeña de intercambiadores para intentar conseguir la subcontrata de una fabricación a gran escala para un cliente del sector automovilístico, así como demostrarle que la empresa es capaz de fabricarlo de acuerdo a unos resultados experimentales y costes de fabricación. Indaga en los distintos procesos y utilajes necesarios para la fabricación de sus componentes, montaje, controles de calidad, pruebas y ensayos de laboratorio que requiere el intercambiador. Se hace uso de los conocimientos de la ingeniería de fabricación para dar soporte a las necesidades de la empresa, aportando soluciones y diseños que logren fabricar el prototipo con éxito. Esta fase prototípico implica conocer las distintas tecnologías y técnicas de fabricación existentes y disponibles en el taller, para saber aplicar la solución más adecuada en cada caso en base a la maquinaria y capacidades técnicas de los operarios disponibles. Junto a todos los conocimientos generales de ingeniería, se aporta un enfoque en base a la experiencia propia basada en la experiencia personal y la adquirida por la formación de la empresa, siendo capaz de afrontar los distintos retos de fabricación que presenta un prototipo y sus procesos.

0 Índice

0	Índice.....	7
1	Introducción	9
1.1	Antecedentes	9
1.2	Objetivos del proyecto	10
1.3	Técnicas, medios y metodología empleada	10
2	Desarrollo del proyecto	10
2.1	Descripción del prototipo.....	10
2.2	Requisitos que debe cumplir para el cliente.....	13
2.2.1	Requisitos dimensionales.	13
2.2.2	Requisitos de prestaciones y técnicos.	13
2.2.3	Aspecto y estado del producto para la entrega.	13
2.3	Procedimiento a seguir y planificación de la actividades.....	13
3	Fabricación de los componentes del prototipo.	20
3.1	Fabricación del tubo de refrigeración de gases	20
3.2	Fabricación de la virola	23
3.3	Fabricación del tubo de salida de gases	26
3.4	Fabricación del colector	28
4	Montaje del prototipo.....	28
4.1	Fase 1	29
4.2	Empastado de fase 1	31
4.3	Fase 2	32
4.4	Empastado de fase 2	32
4.5	Soldeo brazing	33
4.6	Montaje brida y tubo de salida de gases	34
4.7	Fase 3	34
4.8	Fase 4	36
4.9	Fase 5 final.....	37
5	Inspección del prototipo.	37
5.1	Estanqueidad.....	37
5.1.1	Tubo de refrigeración de gases.....	38
5.1.2	Fase 2 soldada	39
5.1.3	Tubo de salida de gases	39
5.1.4	Intercambiador completo	40

5.2	Metrología.....	40
5.3	Inspección final y preparación del producto terminado.....	44
5.3.1	Inspección visual de defectos.	44
5.3.2	Limpieza interior del producto.	44
5.3.3	Limpieza exterior del producto.....	45
5.3.4	Comprobación dimensional.....	45
5.3.5	Etiquetado e identificación del producto.	45
6	Ensayos sobre el prototipo.....	45
6.1	Ensayo de prestaciones.	45
6.2	Ensayo de vibraciones en posición y condiciones de funcionamiento del vehículo. ..	45
6.2.1	Objetivos y requisitos del ensayo.	45
6.2.2	Utillajes.....	46
6.3	Ensayo de montaje forzado.	49
7	Conclusiones	50
8	Agradecimientos	51
9	Bibliografía	51

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Un sistema EGR ([Ilustración 1](#)) recircula los gases de combustión de escape de un motor de nuevo a su cámara de combustión, siendo refrigerados por un intercambiador y regulando la cantidad de gases que retornan a través de una válvula. El intercambiador posee un circuito de gas por el que circulan los gases provenientes del motor y un circuito de refrigeración por agua que enfriá los gases. El enfriamiento del gas permite reducir la temperatura de combustión y disminuir la cantidad de partículas de NOx. (1)



[Ilustración 1. Sistema EGR \(1\)](#)

El tratamiento de los sistemas térmicos y la gestión del impacto medioambiental de los mismos tiene un peso fundamental para las empresas del sector de automoción, las cuales buscan cumplir con las normativas medioambientales sin dejar de mejorar su eficiencia y ganancias.

Valeo es una multinacional dedicada al sector de la automoción diseñando y fabricando componentes para vehículos, así como de soluciones e innovaciones para los mismos. La planta de Zaragoza ([Ilustración 2](#)) se dedica a la fabricación de intercambiadores EGR, así como de sistemas de climatización para vehículos.



[Ilustración 2. Planta de Valeo en Zaragoza](#)

Este proyecto trata la fabricación, montaje e inspección de un prototipo de intercambiador EGR, el cual ha sido diseñado por los ingenieros de producto y se va a fabricar en el departamento de prototipos en su taller.

La finalidad de la fabricación del prototipo es demostrar al cliente que la empresa es capaz de fabricar el producto con sus requisitos técnicos para ganar la contratación de la producción a gran escala. También permite conocer los posibles problemas o fallos asociados a dicho intercambiador durante su fabricación tras la experiencia del taller.

La fabricación está enfocada a una serie reducida y dedicada al taller de prototipos y/o exclusivamente para este intercambiador. Por tanto, los utilajes empleados para el proyecto no están destinados para un uso industrializado en la línea de producción.

1.2 Objetivos del proyecto

- Dar soporte a la empresa diseñando los medios necesarios para fabricar e inspeccionar el prototipo de intercambiador, así como supervisar la fabricación y ejecución de estos medios.
- Comprender los retos de fabricación, tecnologías y procesos existentes para la fabricación de intercambiadores EGR.
- Aprender a buscar soluciones a cualquier problema o reto tecnológico para cumplir unas necesidades determinadas, aprovechando todos los conocimientos y medios disponibles para llevarlos a cabo.
- Saber ejecutar una fase de prototipo de un producto en colaboración de varios equipos de trabajo, comprendiendo las necesidades y retos de los diferentes equipos implicados.
- Conocer las técnicas necesarias para valorar cómo fabricar un prototipo y determinar la mejor solución adaptada a cada necesidad.
- Profundizar en procesos industriales como las técnicas de arranque de viruta, conformado de chapa, soldadura, impresión 3D; así como en las diferentes técnicas de ensamblado y calidad .

1.3 Técnicas, medios y metodología empleada

Las técnicas y pautas desarrolladas durante la ejecución son fruto de la formación obtenida durante el grado, los métodos de la empresa y la experiencia propia. Las nociones de estas técnicas y métodos personales empleados se encuentran plasmados en los *anexos 1, 2 y 3*.

Para la realización del proyecto se han empleado las herramientas CAD/CAM disponibles en la empresa, así como de todos los recursos de maquinaria del taller, capacidades de los operarios y servicios subcontratados externamente (*anexo 4*).

2 Desarrollo del proyecto

2.1 Descripción del prototipo.

El prototipo de intercambiador a fabricar es el que se presenta en la *Ilustración 3*. Se deben fabricar 20 intercambiadores para enviarlos al cliente en perfectas condiciones.



Ilustración 3. Intercambiador EGR prototipo a fabricar.

Los componentes externos del intercambiador se pueden identificar en la [Ilustración 4](#). Se indican los componentes de los que está formado. Los componentes presentados en color rojo indican las entradas o salidas calientes de los circuitos del intercambiador, y los presentados en azul las entradas o salidas frías. El resto de componentes sufren un proceso de intercambio de calor entre los circuitos de gas y agua refrigerante, o simplemente son elementos constructivos. Los componentes externos están fabricados mediante procesos de conformado de chapa, a excepción de las bridas y el tubo de refrigeración de agua



[Ilustración 4. Esquema de componentes exteriores del prototipo](#)

El intercambiador en su interior está formado por los componentes de la [Ilustración 5](#).. A lo largo de esta zona interna se produce el intercambio de calor entre ambos circuitos. Los gases calientes entran por un extremo de los tubos de refrigeración, y estos gases se enfrián con el contacto del agua refrigerante con los tubos.



[Ilustración 5.Esquema de componentes interiores al prototipo](#)

Los tubos de refrigeración de gases por dentro tienen un perturbador ([Ilustración 6](#)) que mejora la operación de intercambio calorífico, aumentando la superficie de intercambio dentro del tubo con los gases.

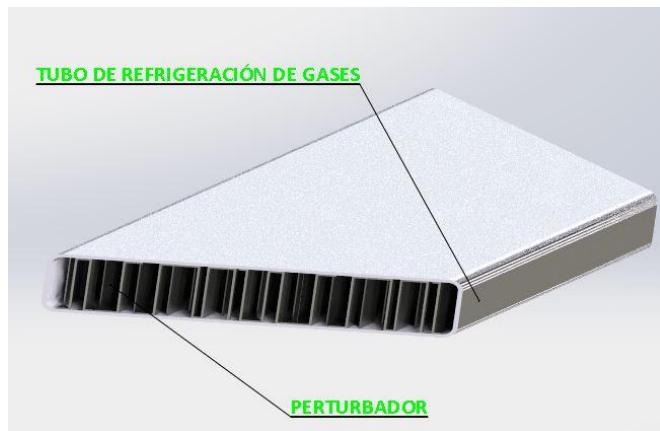


Ilustración 6. Corte del tubo de refrigeración de gases con perturbador

El perturbador en el interior del tubo es de tipo offset rectangular ([Ilustración 7](#)), imitando la forma de almenas.

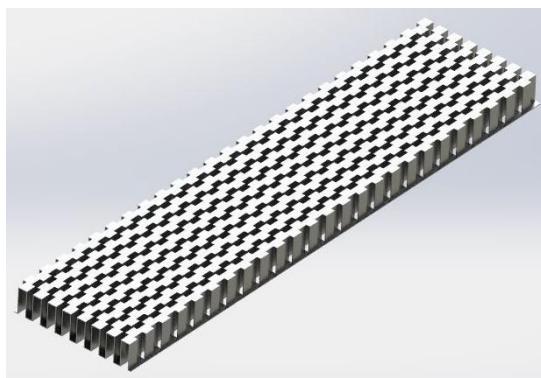


Ilustración 7. Detalle perturbador offset

Los componentes del intercambiador EGR están fabricado en acero inoxidable ferrítico AISI 444. El tubo de refrigeración de agua está fabricado en acero EN 1.4306 y la protección térmica en acero galfan con revestimiento de aleación cinc-aluminio. A la hora de fabricar los componentes del intercambiador, se ha tenido en cuenta las características del acero AISI 444 para su conformado de chapa, especialmente para poder obtener los desarrollos de chapa a plegar en los componentes fabricados en taller. El uso de herramientas CAD y paquetes de desarrollos de chapa fue imprescindible para conformar los componentes de chapas sin cometer errores, en especial para el conformado de la virola por su complejidad de forma.

Las dimensiones aproximadas del aparato son 24x12x7 centímetros. El espesor de las bridas es de 5 milímetros. La pata de refuerzo tiene 1.5 mm de espesor. El tubo de refrigeración de gases tiene un espesor de 0.3 milímetros. El colector tiene 1.5 milímetros de espesor y el resto de componentes tiene 0.8 milímetros.

La unión entre los tubos de refrigeración de gases y los perturbadores se realiza mediante soldadura brazing en horno. El elemento de aporte de brazing entre tubo y perturbador es una cinta de níquel que recubre al perturbador cuando se monta dentro del tubo. La unión entre colectores, tubos de refrigeración de gases y depósitos de gas y agua se da a través de brazing también, pero el material de aportación es una pasta de níquel 152 (Ni-30Cr-6P-4Si). La pata

de refuerzo y la protección térmica se sueldan mediante soldadura por plasma. El resto de uniones entre componentes son mediante soldadura láser.

2.2 Requisitos que debe cumplir para el cliente

2.2.1 Requisitos dimensionales.

El producto debe cumplir una serie de requisitos de dimensiones y tolerancias de acuerdo con la demanda del cliente y las tolerancias impuestas por los ingenieros encargados de desarrollar y gestionar el producto para el cliente. El cumplimiento de los requisitos dimensionales es de vital importancia para que el intercambiador encaje con el motor del cliente. Estos requisitos se encuentran especificados en los planos del intercambiador.

2.2.2 Requisitos de prestaciones y técnicos.

El prototipo debe ser comprobado frente a los siguientes aspectos:

- **Fugas.** Este fenómeno se debe comprobar que no ocurre a lo largo de su proceso de montaje y ensamblado, el cual se detallará más adelante, tanto en el circuito de gas como de refrigerante. La comprobación de estanqueidad se realizará en taller de prototipos.
- **Prestaciones del intercambiador.** Un intercambiador debe de ser diseñado para conseguir unas determinadas condiciones de salida de gas y de intercambio calorífico en base a la demanda del cliente. Los ensayos oportunos para su comprobación se realizarán en los laboratorios físicos de la empresa, y el taller de prototipos suministrará los utilajes que se necesiten para realizar dichos ensayos.
- **Resistencia a la corrosión y a la temperatura,** junto con el choque térmico correspondiente durante el intercambio calorífico. Los ensayos correrán cargo del laboratorio químico de la empresa.
- **Esfuerzos que debe soportar el aparato,** debido a las condiciones sufridas en su posición en motor, vibraciones, fatiga, tensiones ocasionadas en el montaje. Los ensayos se realizarán por el laboratorio físico, pero el taller dará soporte diseñando, fabricando los utilajes necesarios y ejecutando labores del ensayo en colaboración.
- **Costes de fabricación** de producto en función de la demanda a suministrar. Los costes de fabricación y la negociación de los precios con el cliente correrá cargo de los responsables del producto.

2.2.3 Aspecto y estado del producto para la entrega.

El producto una vez fabricado y comprobado que cumple con los requisitos presentados anteriormente, deberá quedar limpio tanto por su interior como por el exterior.

Cada prototipo deberá ser identificado por una pegatina adherida en la virola y empaquetado de manera que el intercambiador quede protegido durante el envío al cliente.

2.3 Procedimiento a seguir y planificación de la actividades.

El proyecto del prototipo seguirá las siguientes fases en su ejecución:

1. **Presentación del prototipo a fabricar en una reunión por parte del ingeniero de producto y responsables de proyecto.** El responsable de proyecto explicará los

detalles y requisitos del intercambiador al departamento de prototipos, así como el número de unidades a fabricar y ensayos a realizar. En esta reunión se aportarán los planos definitivos de los componentes y se tendrá que fabricar lo especificado sin modificaciones en su diseño.

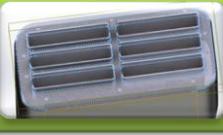
2. **Planificación de proyecto para el departamento de prototipos.** Se organizarán las tareas para el equipo del taller, estableciendo las necesidades de los componentes, materiales, utillajes y ensayos a realizar en cada momento.
3. **Planificación y conceptualización del diseño de los útiles necesarios.** El ingeniero de prototipos diseñará los utillajes según la prioridad y condiciones establecidas en la reunión anterior. Los diseños irán supervisados en todo momento por el responsable de la sección junto con el seguimiento del ingeniero de producto. Durante el diseño de cada utillaje se aportarán todas las posibles ideas para los diseños y se escogerá la mejor opción en términos de funcionalidad, fabricabilidad y coste.
4. **Fabricación y supervisión de los utillajes necesarios, así como de su funcionalidad y ejecución.** El diseñador inspeccionará la fabricación de los utillajes junto con el responsable de la sección para asegurarse de que son capaces de realizar su propósito y detectar los posibles fallos, acompañado de buscar las correcciones oportunas.
5. **Fabricación de los componentes y montaje del prototipo.** Se realizará un seguimiento y revisión constante de cada parte del proceso, velando por la ejecución correcta de cada proceso, así como controlando el estado de los utillajes y sus resultados. A su vez se realizarán las comprobaciones necesarias sobre los componentes y fases de montaje.
6. **Realización de ensayos** de laboratorio sobre el prototipo para comprobar los aspectos técnicos a cumplir. Se hará una reunión en conjunto con los responsables de producto y los de laboratorios para definir los ensayos a realizar, los requisitos que deben cumplirse en los ensayos y utillajes empleados. Tras esto se diseñarán y fabricarán los utillajes necesarios desde el departamento de prototipos.

La planificación expone cada fase ordenada secuencialmente, pero desde la fase de diseño de utillajes se alternará con el resto de fases posteriores para que el proyecto se realice más rápido. Una vez se hayan diseñado los primeros utillajes se lanzará su fabricación sin esperar a que todos los diseños estén acabados. Existe un tiempo hasta que los diseños de los utillajes lleguen a ser fabricados y posteriormente utilizados. Durante ese tiempo se diseñan los utillajes pendientes y se supervisan los utillajes en proceso de fabricación y la fabricación y montaje de componentes a la vez, alternándose entre sí. Los pasos que se sigue para fabricar, montar e inspeccionar el prototipo en su orden de ejecución son los siguientes:

I. Bloque de fabricación de componentes en el taller:

-  Fabricación del tubo de refrigeración de gases
 - Plegado
 - Soldeo láser
 - Comprobación de estanqueidad
-  Fabricación del colector
-  Fabricación de la virola
 - Plegado
 - Soldeo láser
-  Fabricación del tubo de salida de gases
 - Plegado de mitades
 - Soldeo
 - Control de estanqueidad

II. Bloque de primeras fases de montaje y soldeo brazing.

-  Montaje de fase 1
-  Empastado de fase 1
-  Montaje de fase 2
-  Empastado de fase 2 para soldeo por brazing
-  Horneo para soldeo brazing
-  Control de estanqueidad de fase 2 tras soldeo brazing.

III. Bloque de ensamblado final, soldeo láser y últimas inspecciones.

-  Soldeo de brida y tubo de salida de gases.
-  Ensamblaje de fase 3
-  Ensamblaje de fase 4
-  Ensamblaje de fase 5
-  Control de estanqueidad de fase 5
-  Control geométrico del intercambiador
-  Inspección final de calidad

La organización de tareas a realizar en el taller para este proyecto combina la ejecución de diseños para fabricar los utillajes, la fabricación de los mismos y el montaje del intercambiador y sus componentes . Para la realización de la actividad se considera que el tiempo disponible es menor que las máximas horas impuestas por la jornada laboral por realizar múltiples tareas en el taller. En la [Tabla 1](#) se indica los operarios necesarios y las horas por semana que pueden gastar a la semana para este proyecto. Los detalles del taller y sus operarios se pueden encontrar en el *anexo 4*. La planificación de actividades en el taller que se ha ejecutado en el proyecto se presenta a continuación en la [Tabla 2](#),[Tabla 3](#),[Tabla 4](#) y [Tabla 5](#).

NUMERO CLASIFICATORIO	IDENTIFICACIÓN	CANTIDAD DE PERSONAL	HORAS DIARIAS/SEMANA	HORAS SEMANALES DISPONIBLES
1	DISEÑADOR	1	5	25
2	MAESTRO DE TALLER DE MECANIZADO	1	5	25
3	OPERARIO 1	1	3	15
4	OPERARIO 2	1	3	15

Tabla 1. Capacidad laboral destinada al proyecto

Semana	Tarea	MES 1
1	Matriz de plegado en U de tubo de refrigeración de gases (14h), Matriz de plegado de cierre y conformado de tubo de refrigeración de gases (11h)	1
	Matriz de plegado en U de tubo de refrigeración de gases (10h)	2
	-----	3
	-----	4
2	Matriz de plegado de cierre y conformado de tubo de refrigeración de gases (7h), Utilaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gases (18h)	1
	Matriz de plegado en U de tubo de refrigeración de gases (12h), Matriz de plegado de cierre y conformado de tubo de refrigeración de gases (13h)	2
	-----	3
	Plegado en "U" de tubos de refrigeración de gases (3h)	4
3	Utilaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gases (7h), Matriz de embutición y plegado de la virola (18h)	1
	Matriz de plegado de cierre y conformado de tubo de refrigeración de gases (15h), Utilaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gases (10h)	2
	-----	3
	Plegado de cierre de tubos de refrigeración de gases (5h)	4
4	Matriz de embutición y plegado de la virola (20h), Matriz de segundo plegado de la virola (10h)	1
	Utilaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gases (25h)	2
	Soldeo láser de tubos de refrigeración de gases (4h)	3
	-----	4

Tabla 2. Planificación de tareas de taller Semanas 1-4

Semana	Tarea	MES 2
5	Matriz de segundo plegado de la virola (8h), Utilaje de soldadura láser de la virola (17h)	1
	Utilaje de control de estanqueidad de tubos de refrigeración(9h),Matriz de embutición y plegado de la virola (16h)	2
	Soldeo láser de tubos de refrigeración de gases (2h)	3
	Comprobación de estanqueidad de tubos de refrigeración de gases (3h)	4
6	Matriz de protuberancias para colectores (15h), Maqueta de montaje fase 1 (1h), Utilaje de abocardado de tubos (1h), Utilaje de control de estanqueidad de tubos de refrigeración(6h)	1
	Matriz de embutición y plegado de la virola (8h),Matriz de plegado final de cierre de la virola (17h)	2
	-----	3
	Embutición y plegado de la virola (3h), Plegado final de cierre de la virola (2h)	4
7	Utilaje de embocado de tubos (6h), Maqueta de posicionamiento fase 2 (12h), Utilaje de soldeo brazing (3h), Utilaje de control de estanqueidad de fase 2 (4h)	1
	Utilaje de soldadura láser de la virola (23h), Utilaje de abocardado de tubos (1h)	2
	Montaje y soldadura de utilajes de soldeo brazing (3h), Soldeo láser de virolas (2h), Montaje y soldeo de utilaje de control de estanqueidad de la fase 2 (2h)	3
	-----	4
8	Matriz de plegado de tubo de salida de gases (14h), Utilaje de posicionamiento de soldadura de tubo de salida de gases (2h), Utilaje de control de estanqueidad de tubos de salida de gases (2h)	1
	Matriz de protuberancias para colectores (13h),Utilaje de embocado de tubos (12h)	2
	Montaje y soldeo de utilaje de control de estanqueidad de tubo de salida de gases (2h), Montaje de fase 1 (8h)	3
	Embutición de protuberancias de colectores (2h)	4

Tabla 3. Planificación de tareas de taller Semana 5-8

Semana	Tarea	MES 3
9	Utilaje de montaje de brida y tubo de salida de gases (7h), Utilaje de ensamblado de fase 3 (16h), Utilaje de ensamblado de fase 4 (2h)	1
	Utilaje de embocado de tubos (2h), Maqueta de posicionamiento para fase 2 (20h), Matriz de plegado de tubo de salida de gases (3h)	2
	Montaje fase 1(7h), Montaje fase 2(8h)	3
	Embocado de tubos (2h), Montaje de fase 1 (10h), Empastado de fase 1 (2h), Empastado de la fase 2 (1h), Horneo para brazing	4
10	Utilaje de ensamblado de fase 4 (6h), Utilaje de estanqueidad del intercambiador completo (1h), Maqueta de control geométrico (18h)	1
	Matriz de plegado de tubo de salida de gases (15h), Utilaje de posicionamiento de soldadura de tubo de salida de gases (6h)	2
	Soldeo de tubo de salida de gases (8h)	3
	Plegado de tubo de salida de gases (3h), Control de estanqueidad de la fase 2 soldada por brazing (2h), Control de estanqueidad tubo de salida de gases (2h)	4
11	Maqueta de control geométrico (12h), Dummy de vibración (4h), Postizo de vibración(9h)	1
	Utilaje de montaje de brida y tubo de salida de gases (10h), Utilaje de ensamblado de fase 3 (15h)	2
	Soldeo láser de brida y tubo de salida de gases (2h), Soldeo de la fase 3 (8h)	3
	-----	4
12	Postizo de vibración(11h), Placa de amarre a la vibradora (1h), Utilaje de montaje forzado(5h)	1
	Utilaje de ensamblado de fase 4 (12h), Utilaje de estanqueidad del intercambiador completo (1h)	2
	Soldeo láser de la fase 4 (2h), Soldeo de la fase 5 (3h)	3
	Control de estanqueidad del intercambiador completo (3h)	4

Tabla 4. Planificación de tareas de taller Semana 9-12

Semana	Tarea	MES 4
13	-----	1
	Maqueta de control geométrico (25h)	2
	-----	3
	-----	4
14	-----	1
	Maqueta de control geométrico (10h), Placa de montaje forzado (4h), Postizos de vibración (11h)	2
	-----	3
	Control geométrico de intercambiador (3h)	4
15	-----	1
	Postizos de vibración (9h), Placa de amarre a la vibradora (6h)	2
	-----	3
	Limpieza de producto, inspección final y embalaje (10h)	4

Tabla 5. Planificación de tareas de taller Semana 13-15

3 Fabricación de los componentes del prototipo.

Se fabricará en el taller de prototipos el tubo de refrigeración de gases, la virola, y el tubo de salida de gases. Los colectores se terminarán de fabricar en el taller, pero serán suministrados por corte láser externo. El resto de componentes del intercambiador provendrán de proveedores externos. El control e inspección de componentes de proveedores externos es responsabilidad del departamento de calidad.

A continuación se presentará el proceso de fabricación de los componentes para el taller.

3.1 Fabricación del tubo de refrigeración de gases

El tubo se fabrica mediante una secuencia de 2 operaciones de plegado y soldeo láser. Los utilajes se han diseñado para un tubo que sigue un estándar de empresa, luego el útil es capaz de conformar tubos con la misma sección pero diferentes longitudes, valiendo para este proyecto y también para otros con el mismo tipo de tubo.

Para este proyecto, se partirá de una preforma cortada previamente calculada por las herramientas de CAD (ver [Ilustración 8](#)). La transformación de la chapa resultará en el tubo de la [Ilustración 9](#) ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..



Ilustración 8. Desarrollo del tubo de refrigeración de gases.

Ilustración 9.Tubo de refrigeración de gases

El primer proceso consiste en un plegado en forma de U, para el cual se ha diseñado una matriz de embutición profunda, tal y como se presenta en la [Ilustración 10](#). Este utilaje tiene un formato muy básico, y consiste en un macho que empuja el desarrollo del tubo dentro de unos registros. La descripción de sus características constructivas como su funcionamiento son objeto del *anexo 5, apartado 5.1.1*. El semielaborado obtenido se puede ver en la [Ilustración 11](#). En cuanto al proceso propiamente dicho, el útil se coloca en una plegadora hidráulica con accionamiento manual, sin control del presión ni velocidad.

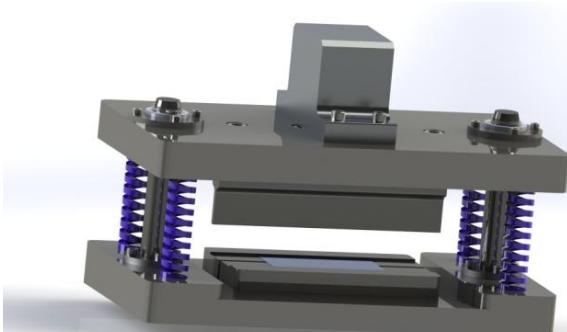


Ilustración 10. Matriz de plegado en U

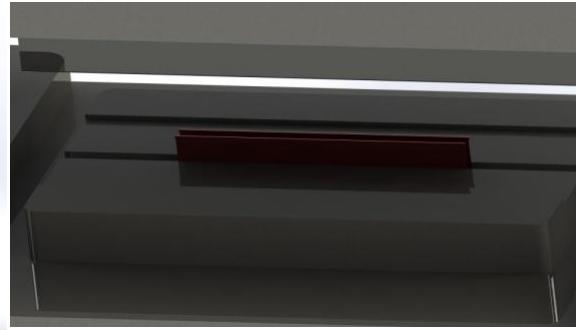


Ilustración 11. Resultado de plegado en U

El segundo paso consiste en un plegado de cierre y conformado. Para este proceso se ha diseñado y fabricado una matriz de doble operación (detalles en anexo 5, *apartado 5.1.2*). Según se ve en la Ilustración 12, el semielaborado se introduce por la parte izquierda del utilaje sobre una baqueta de registro con la forma interior del tubo (ver [Ilustración 13](#)) para plegar una de las alas salientes contra la baqueta (ver [Ilustración 14](#)).

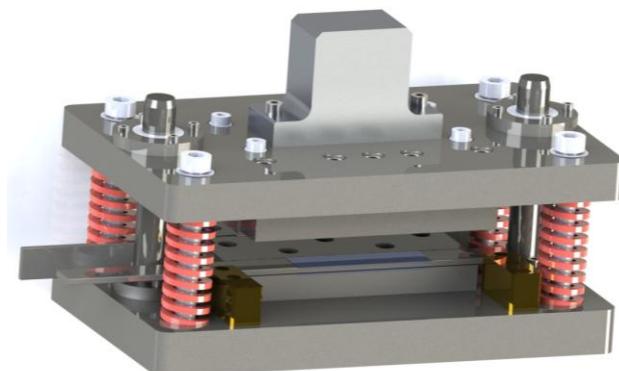


Ilustración 12. Matriz de plegado de cierre y conformado de tubo de refrigeración de gases



Ilustración 13. Tubo en U colocado en la baqueta para plegar

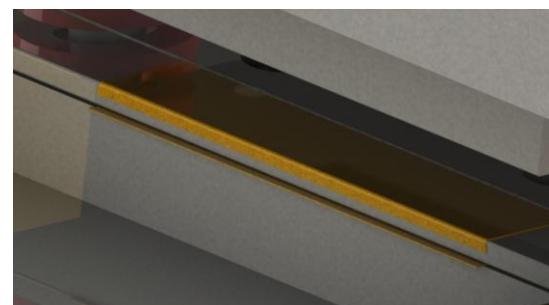
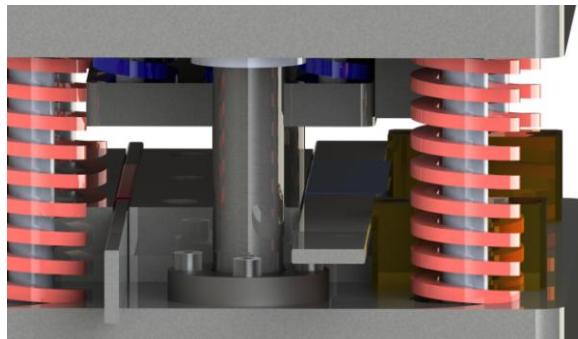


Ilustración 14. Plegado del ala del tubo

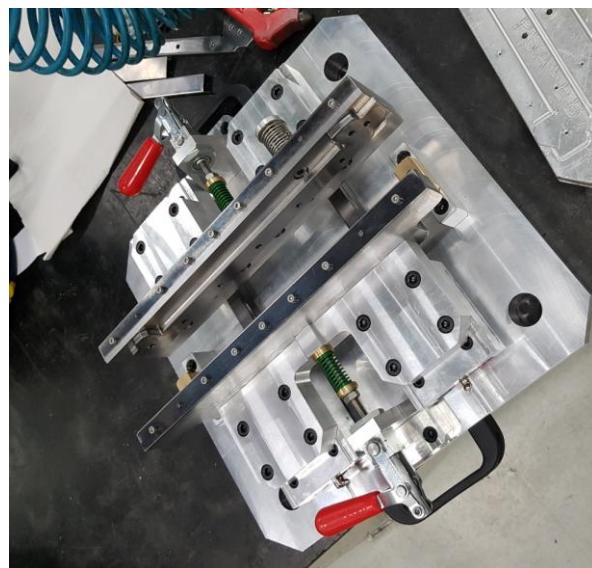
Para terminar de plegar el ala restante, se saca la baqueta, se vuelve a colocar al revés y se termina de cerrar el ala.

Por el otro lado, se introduce el tubo plegado con la baqueta entre dos registros a modo de tope y sufridera, para terminar de conformar con el pisador la forma ligeramente arqueada causada por la recuperación elástica del material durante los plegados([Ilustración 15](#)).



[Ilustración 15.](#)Alojamiento para conformado del tubo. Alojamiento a la izquierda.

Finalmente el tubo se suelda en un centro de soldadura láser robotizado con el utilaje de la [Ilustración 16](#).El útil que se ha diseñado consiste en dos laterales guiados que aseguran el cierre y registro del tubo, dejando una ranura descubierta para la zona del cordón (detalles en *anexo 5, apartado 5.1.3*). Para soldar el tubo plegado sobre el alojamiento a tope de su calce en un lateral y se aproximar los laterales accionando las clampas. Los robots se encargarán del soldeo y al terminar se abren los laterales y se saca el tubo terminado con el extractor manual en el lateral de apoyo del tubo. El tubo terminado se puede ver en la [Ilustración 17](#) . Todos los parámetros de soldadura son responsabilidad de los ingenieros dedicados dicha actividad, tanto para la fabricación de este componente como para el resto de operaciones de soldeo de este proyecto.



[Ilustración 16.](#). Ullaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gases



Ilustración 17. Vista del tubo de refrigeración de gases desde el cordón.

3.2 Fabricación de la virola

La virola se fabrica mediante 2 pasos de embutición y plegado y un tercer paso que es por soldado láser robotizado. Se partirá de la preforma de chapa previamente obtenida por corte láser en la [Ilustración 18](#), para obtener la virola como se muestra en la [Ilustración 19](#).

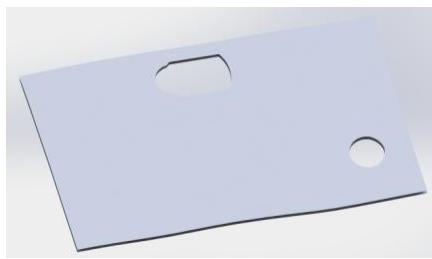


Ilustración 18. Desarrollo de chapa de la virola



Ilustración 19. Virola

En el primer paso de conformado el desarrollo de chapa de la virola , la matriz diseñada embute sus protuberancias y boca para el tubo de refrigeración de agua, así como pliega sus alas a partir del utilaje de la [Ilustración 20](#) (detalles de utilaje en el *anexo 5, apartado 5.3.1*). El accionamiento de este utilaje es con la misma plegadora que el utilaje anterior, pero en este caso el propio utilaje tiene topes físicos que controlan el desplazamiento máximo de la matriz. La secuencia de plegado de este primer pliegue está controlada desde la fase de diseño para conformar el desarrollo en base a la fuerza que ejercen los muelles a lo largo del desplazamiento de la matriz. La disposición de muelles permite una distribución muy uniforme de la carga de aplicación, así como ejercer alta fuerza resultante en la compresión de la matriz.

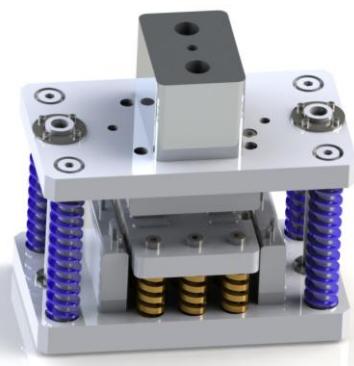


Ilustración 20. Utilaje de embutición y primer pliegue de alas de la virola

El utilaje que se ha diseñado consiste en una matriz de doble pisador que embute en primer lugar la forma de las protuberancias de los pisadores superior e inferior, a la vez que saca la boca del tubo de la virola con un punzón sujeto a la placa superior, cruzando ambos pisadores([Ilustración 21](#) e [Ilustración 22](#)).

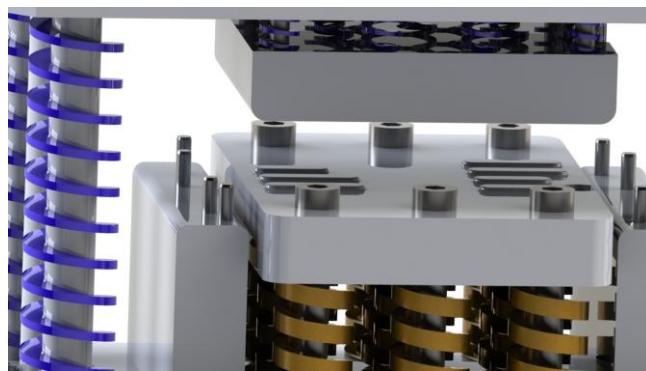


Ilustración 21. Detalle de doble pisador

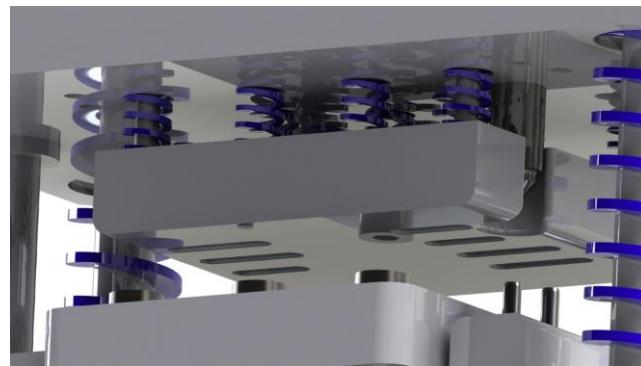


Ilustración 22. Detalle de pisador superior y punzón para boca del tubo de la virola.

El desarrollo de chapa queda posicionado y registrado por unos postizos laterales con pasadores en la periferia de su contorno ([Ilustración 23](#)).

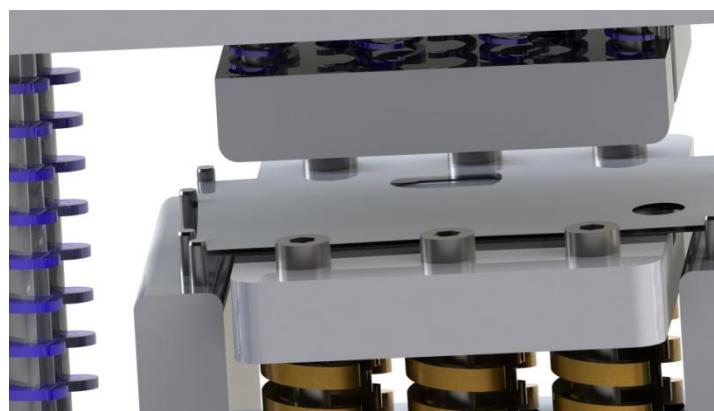


Ilustración 23. Detalle de preforma de virola posicionada en la matriz.

Cuando la matriz se cierra y el desarrollo de chapa alcanza a tocarlos laterales de registro, el desarrollo de chapa se introduce dentro de ambos laterales junto al pisador inferior. El resultado a obtener es el de la [Ilustración 24](#).

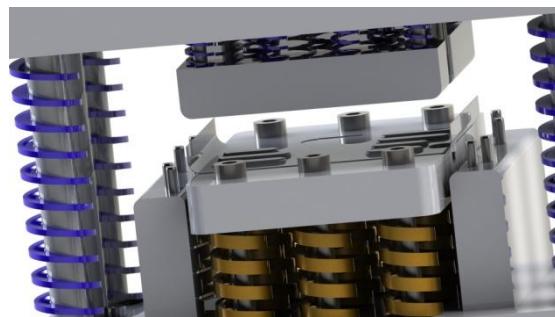


Ilustración 24. Resultado a obtener en la primera fase de plegado de la virola

Una vez realizado el primer semiconformado , se terminará de cerrar los laterales de la virola empleando la matriz de embutición profunda de la [Ilustración 25](#) (detalles de utillaje en *anexo 5, apartado 5.3.2*). El utillaje que se ha diseñado consiste en un macho con desalojo en su alma que permite que las alas de la virola se puedan cerrar, empujando el primer pliegue dentro de los registros laterales. La matriz tiene unos postizos sobre los que se aloja y registra la virola con unos pasadores en su periferia; a su vez controlan el contorno de la virola al introducirse el macho y terminar de plegar el desarrollo de chapa de la fase anterior. El accionamiento de la matriz es con la plegadora, controlado manualmente por el operario.

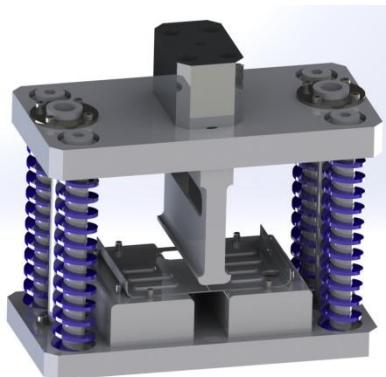


Ilustración 25. Matriz de pliegue de cierre de virola

Finalmente la virola se suelda en el centro láser robotizado con el utillaje de la [Ilustración 26](#) (*detalles de utillaje en el anexo 5, apartado 5.3.3*). El sistema del utillaje es muy similar al del soldeo de tubos de refrigeración de gases. El utillaje que se ha diseñado consiste en un lateral fijo que registra la virola y un lateral guiado que se abre y cierra contra el fijo con la acción de una clampa. El registro en el lateral fijo se da con el contacto físico entre virola y lateral, junto con el ala de registro sobre el lateral y con los postizos de tope con el lateral guiado. Al cerrarse, queda una ranura entre las alas acopladas a los laterales para que los robots suelden la virola en el rasgado al descubierto.

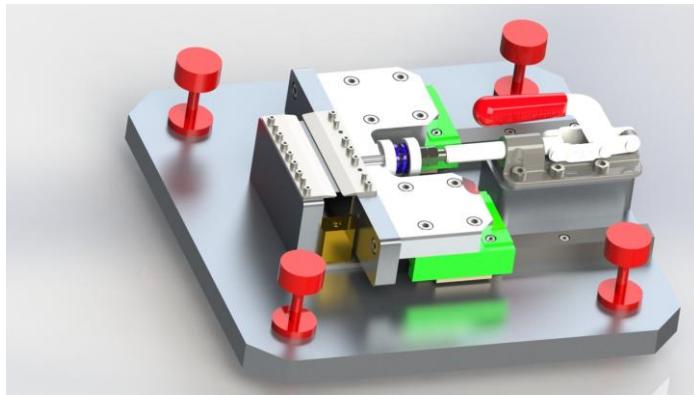


Ilustración 26. Utilaje de soldadura láser de virola

3.3 Fabricación del tubo de salida de gases

El tubo se fabrica a partir de dos mitades plegadas con su forma circular, las cuales se sueldan por el operario con soldadura de plasma (SAW). Debido al material del tubo, no se tenía suministro de un tubo ya fabricado para curvarlo a la medida, así que se fabrica por cuenta del taller de prototipos.

Se parte de el desarrollo del tubo de la [Ilustración 27](#), para obtener la mitad del tubo como se muestra en la [Ilustración 28](#) y obtener como resultado final la [Ilustración 29](#) tras soldar.

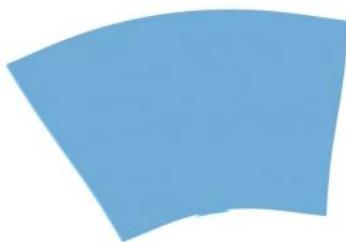


Ilustración 27. Desarrollo del tubo



Ilustración 28. Mitad de tubo



Ilustración 29. Tubo de salida de gases

En primer lugar se conforman las mitades a partir del desarrollo de la mitad del tubo en la matriz de [Ilustración 30](#). El desarrollo de la mitad del tubo se corta por láser en una empresa externa. Las mitades que se obtienen en la matriz son las de la [Ilustración 31](#).

La matriz de embutición profunda que se ha diseñado consiste en una hembra que imita el contorno de la mitad del tubo, así como de un macho que imita la superficie interior del tubo empujando el desarrollo del tubo contra la hembra (detalles de utilaje en el *anexo 5, apartado 5.4.1*). El tope del utilaje es el propio contacto de los límites materiales de macho y hembra. El accionamiento de la matriz se realiza con la plegadora hidráulica de acción manual por el operario.

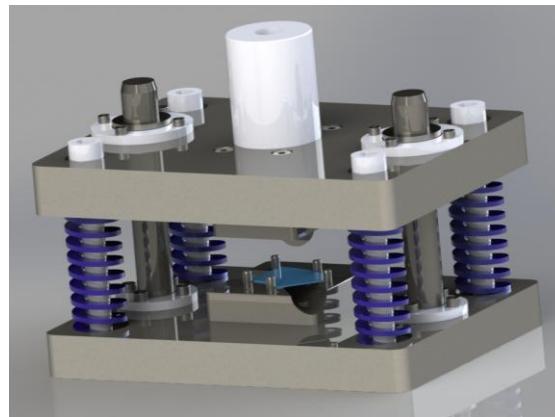


Ilustración 30. Matriз de plegado de mitad de tubo de salida de gases.

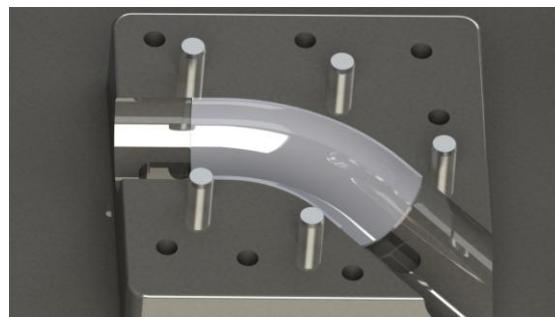


Ilustración 31. Resultado de plegado de mitad de tubo de salida de gases.

Finalmente, para soldar las mitades se ha diseñado un utilaje de posicionamiento, como se puede ver en la [Ilustración 32](#) (detalles de utilaje en el *anexo 5, apartado 5.4.2*). En primer lugar, el operario coloca dos mitades del tubo dentro del utilaje y atornilla las mitades del utilaje. Debido a la curvatura del tubo y la zona de tramo recto de tubo en los dos extremos, al colocar las mitades de tubo solo pueden encajar en su posición, sin posibilidad de meter las mitades giradas. Una vez se ha sellado el utilaje, el operario comienza a soldar haciendo un par de puntos en cada uno de los extremos salientes del tubo. Con este paso se fija el tubo y se termina de soldar fuera del útil para poder acceder a las zonas de contacto entre las mitades de tubo.

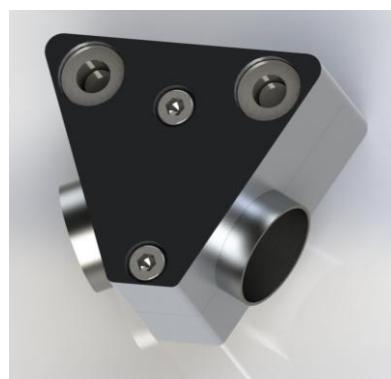


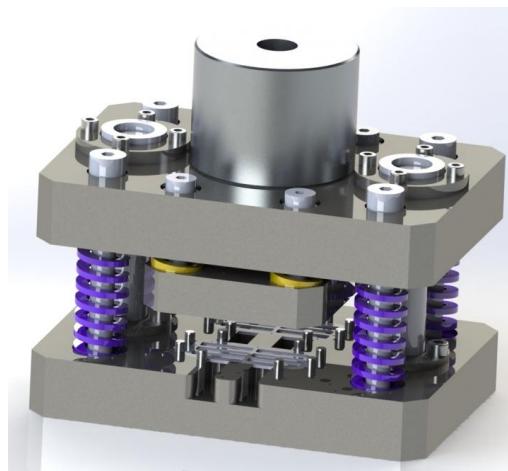
Ilustración 32. Utilaje de posicionamiento para soldeo de tubo de salida de gases.

3.4 Fabricación del colector

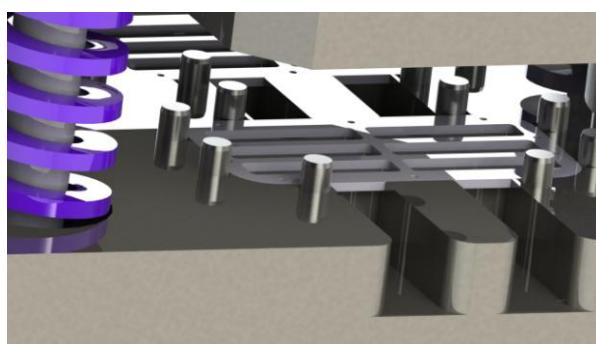
El colector se cortará por láser externamente, pero para terminarlo se le embuten unas protuberancias de registro en sus bordes.

La embutición se realiza a través de la matriz de la [Ilustración 33](#), la cual se ha diseñado para conformar las protuberancias de 2 colectores a la vez ([Ilustración 34](#)) (detalles de utilaje en el *anexo 5, apartado 5.2*).

La matriz se acciona empleando la plegadora del taller. Consiste en una placa inferior que trabaja como una hembra sufridora alojando a los colectores, con los agujeros correspondientes para realizar las embuticiones de las protuberancias. Las protuberancias se realizarán mediante el empuje de unas puntas alojadas en el pisador. El empuje de la placa superior desplaza al pisador y las puntas contra el colector cuando entran en contacto, embutiendo las protuberancias.



[Ilustración 33. Matriz de embutición de protuberancias del colector](#)



[Ilustración 34. Colectores con protuberancias conformadas sobre la matriz.](#)

4 Montaje del prototipo.

A continuación se muestran los pasos ordenados de ensamblado a realizar para el intercambiador. Los bloques o estados intermedios de ensamblado se han denominado fases, de tal manera que el estado de avance del ensamblaje se identifica con su fase correspondiente.

4.1 Fase 1

El primer paso es montar el conjunto formado por los siguientes componentes:

- 1 Virola.
- 6 Tubos de refrigeración de gases.
- 2 Colectores.
- 6 Perturbadores.
- 6 Cintas de níquel.

Para montar los componentes se emplea el utilaje de la [Ilustración 35](#). El utilaje que se ha diseñado se trata de una base de registro fabricada por impresión 3D que aloja los componentes durante su montaje en su posición, controlando también la distancia que sobresalen los tubos de refrigeración de gases respecto al colector (detalles en el *anexo 6, apartado 6.1*).



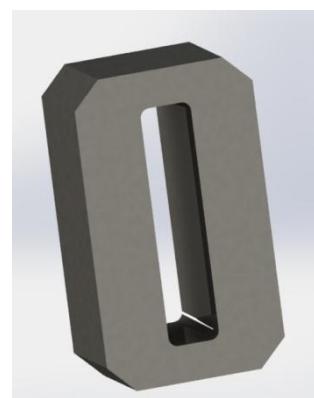
[Ilustración 35. Utilaje de montaje de fase 1](#)

Los pasos de ensamblaje a seguir por el operario son los siguientes:

1. Embocar los tubos empleando el utilaje de la [Ilustración 36](#) para que se reduzca la sección en la boca y entren en los colectores. El utilaje que se ha diseñado consiste en un embocador de tubos ([Ilustración 37](#)) extraíble al que se introducen las bocas de los tubos mediante el empuje de un postizo impulsado por una clampa manual. El tubo se apoya sobre una chapa de calce de la que emergen unos pasadores de registro de posición, orientando el tubo en su colocación hacia el embocador.



[Ilustración 36. Utilaje de embocado de tubos.](#)



[Ilustración 37. Embocador de tubos.](#)

2. Introducir el extremo de los tubos en un colector, con las protuberancias del colector salientes en el lado opuesto al extremo del tubo ([Ilustración 38](#)). Los cordones de soldadura de todos los tubos se orientan hacia un solo lado del colector.



[Ilustración 38. Montaje de tubos de refrigeración de gases sobre un colector.](#)

3. Meter los tubos con el colector en la virola ([Ilustración 39](#)).



[Ilustración 39. Adición de virola sobre colector y tubos.](#)

4. Colocar el colector con los tubos y la virola apoyados sobre los registros del utillaje de montaje ([Ilustración 40](#)). Se empujan los tubos y la virola contra los registros del utillaje para que las bocas de los tubos sobresalgan del colector la medida impuesta por el útil.



[Ilustración 40. Primera colocación sobre utillaje de montaje de fase 1.](#)

5. Encajar el colector en las bocas de los tubos libres en el lateral restante de la virola ([Ilustración 41](#)). Las protuberancias tienen que quedar hacia dentro de la virola.



Ilustración 41. Colocación del segundo colector sobre la fase 1.

6. Abocardar las bocas de los tubos del extremo libre con el útil que se ha diseñado según la [Ilustración 42](#). Para abocardar un tubo se introduce el extremo inclinado con menor sección dentro de la boca del tubo, colocando el extremo plano opuesto a la punta paralelo al colector. Dando un golpe con martillo en el extremo plano, se termina de abrir el extremo del tubo, sellando el hueco entre tubo y colector.

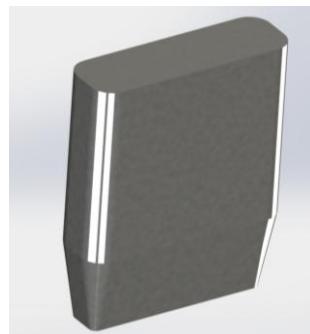


Ilustración 42. Abocardador de tubos

7. Sujetar el utilaje con el conjunto y dar la vuelta manteniendo el contacto del utilaje de montaje con el lado sin abocardar.
8. Sacar el utilaje sin desplazar el colector y colocar el lado abocardado sobre los registros del utilaje.
9. Introducir los perturbadores recubiertos de la cinta de níquel dentro de cada tubo.
10. Abocardar el lado restante.
11. Puntear los colectores a la virola fuera del utilaje con soldadura de plasma en el contorno del colector, aplicando puntos en las esquinas del colector y en el plano medio del lado largo del colector (detalles en *anexo 6, apartado 6.2*).

4.2 Empastado de fase 1

El operario aplica la pasta de níquel para soldadura braze sobre la fase 1 en las zonas de contacto entre colectores, tubos y virola mediante una jeringuilla accionada neumáticamente. Las zonas resaltadas con puntos azules de la [Ilustración 43](#) indican las posiciones donde empastar. La pasta tiene que aplicarse en esta fase porque una vez que se monten los depósitos de gases no se puede acceder a las zonas indicadas.

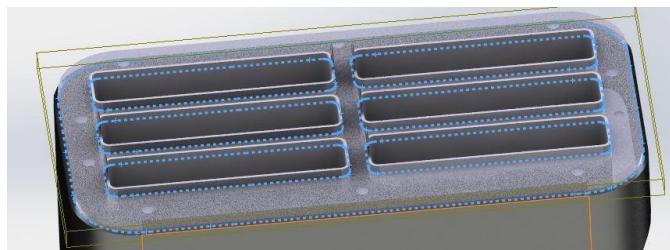


Ilustración 43. Zonas de empastado en para virola, colectores y tubos de refrigeración de gases.

4.3 Fase 2

Tras empastar la fase 1 se añaden los depósitos de agua y gas empleando una maqueta de posicionamiento mostrada en la [Ilustración 44](#). El procedimiento consiste en posicionar cada depósito con su sable de registro y puentear con soldadura plasma para que el componente quede sujeto.

La maqueta de posicionamiento que se ha diseñado está formada por un postizo de calce para apoyar la virola, a la cual acuden unos sables de registro a posicionar la virola y los depósitos (detalles en *anexo 6, apartado 6.3*). La virola queda registrada lateralmente por la forma de "U" del postizo que aloja los laterales de la virola, así como por un sable de control que fija el desplazamiento longitudinal en la boca para el tubo de refrigeración de agua de la virola. Para posicionar los depósitos se aproxima su sable de registro correspondiente a la boca de depósito y el operario lo coloca a tope sobre la virola. Los sables siempre tienen que llegar a tope final con los límites del casquillo en su respectiva torre, de tal manera que se asegure que el depósito está en su posición nominal sin introducir errores geométricos en el montaje. Los sables tienen un posicionador de bola que hace oposición al desplazamiento de los sables, reteniendo el sable frente a pequeñas fuerzas de desplazamiento que desvén la posición nominal de los depósitos.

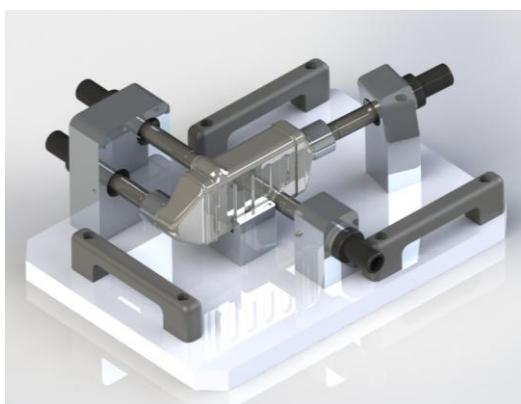


Ilustración 44. Maqueta de posicionamiento fase 2.

4.4 Empastado de fase 2

Una vez ensamblada la fase 2, se aplica pasta de níquel sobre las zonas indicadas en azul en la [Ilustración 45](#), [Ilustración 46](#) e [Ilustración 47](#), de la fase 2, en las cuales se formará una unión por soldadura de brazing. La pasta se aplica manualmente por el operario con una jeringuilla accionada neumáticamente.

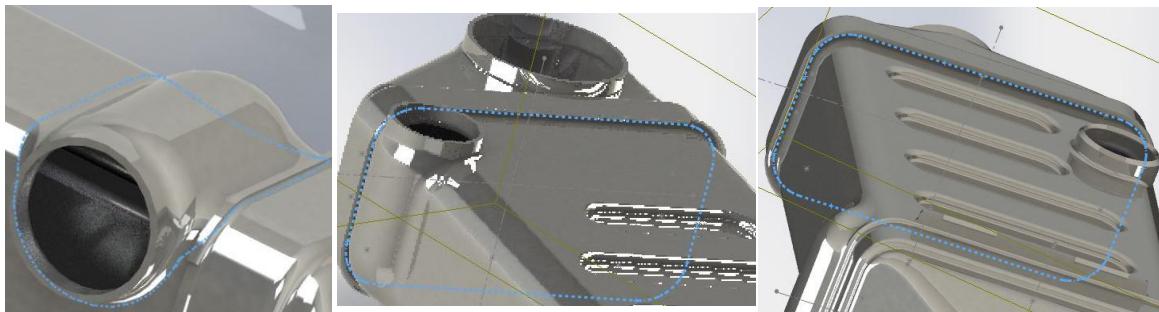


Ilustración 45. Zona de aplicación de pasta de níquel sobre depósito de agua.

Ilustración 46. Zona de aplicación de pasta de níquel sobre depósito de entrada de gases.

Ilustración 47. Zona de aplicación de pasta de níquel sobre depósito de salida de gases.

4.5 Soldeo brazing

Tras empastar la fase 2 se procede a cocerla en el horno para que la pasta haga soldadura brazing en las zonas de aplicación. El horno seguirá un ciclo térmico con unos parámetros controlados por los ingenieros responsables de dicha tarea. A la salida de la cocida del horno se obtendrá el siguiente estado de ensamblaje ([Ilustración 48](#)).



Ilustración 48. Fase 2 preparada para empastar

Para sujetar el intercambiador en el horno se colocará sobre el utilaje de la [Ilustración 49](#) (ver *anexo 6, apartado 6.4*). El utilaje que se ha diseñado consiste en un soporte formado a partir de chapas de acero inoxidable que serán soldadas entre sí. El útil permite sostener el intercambiador a la vez que recoja la pasta fundida durante la cocida. Aunque la pasta en su aplicación a temperatura ambiente sea ligeramente viscosa, en cuanto alcance las temperaturas del horno para el brazing disminuirá mucho su viscosidad y se comportará como si fuera un aceite caliente muy fluido. Esto provocará que la pasta caliente se escurra por el intercambiador hacia el suelo por gravedad, siendo necesario recoger ese flujo en la base del útil. El material del útil resulta especialmente importante que no contamine al horno ni al proceso, por lo que se empleará acero inoxidable AISI 304.

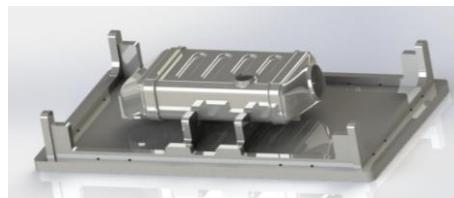


Ilustración 49. Utilaje de soldadura brazing para el horno.

4.6 Montaje brida y tubo de salida de gases

Antes de continuar el ensamblaje de componentes a la fase 2 se ensambla la brida y tubo de salida de gases mediante soldadura láser en el centro de soldadura láser robotizado mediante el utilaje de posicionamiento de la [Ilustración 50](#).

El utilaje que se ha diseñado se compone de una chapa de calce para la brida de la que emergen 2 pasadores a medida de los agujeros de atornillado de la brida (detalles en *anexo 6, apartado 6.5*). En el centro hay un saliente circular mecanizado sobre la chapa de calce, que controla la profundidad a la que se mete el tubo y ayuda como guía para el agujero de salida de gases de la brida. Para la colocación del tubo en su posición se emplea un postizo circular de registro a medida del interior del tubo, que se encuentra unido a un sable guiado por casquillo desde la torre. El conjunto que se obtiene es el de la [Ilustración 51](#).

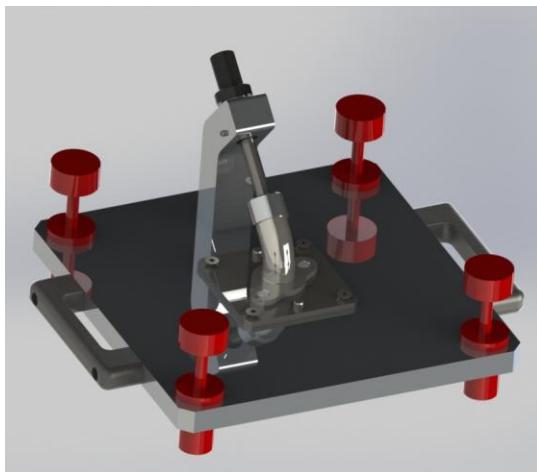


Ilustración 50. Utilaje de soldadura láser de tubo y brida de salida de gases.



Ilustración 51. Tubo y brida de salida de gases soldados.

4.7 Fase 3

Tras soldar la fase 2 en el horno se añade la brida de entrada de gases y el tubo de refrigeración de agua a la fase 2 por soldadura láser robotizada a partir de un utilaje que se ha diseñado exclusivamente para esta operación (ver [Ilustración 52](#)) (detalles en *anexo 6, apartado 6.6*). El ensamblado de esta fase comienza soldando la brida de entrada de gases a la fase 2 ([Ilustración 53](#)) en las zonas resaltadas en azul .

Para colocar la virola, el utilaje tiene una chapa de calce con alojamiento para registrar los límites de la misma a través de unos pasadores que emergen pasantes desde la placa base y registran la virola. Para terminar de posicionar, también aparece un registro circular pasante desde la placa base sobre el que tiene que posicionarse la boca del tubo de refrigeración de agua. Con esta configuración, el componente solamente tiene un único grado de libertad, el cual sería que se extrajera verticalmente siguiendo el guiado de los pasadores. La chapa de calce se encuentra unida a placa por tornillos y con la posición orientada a través de dos pasadores en la placa que ubican el calce. La brida se coloca sobre la boca del depósito de entrada de gases siguiendo el guiado de 3 torres a la derecha del útil, las cuales registran la posición de los puntos de anclaje de la brida y su altura. De estas torres, la más cercana al

centro del utilaje tiene un agujero roscado para sujetar la brida con un tornillo de cabeza avellanada a modo de autocentrador.

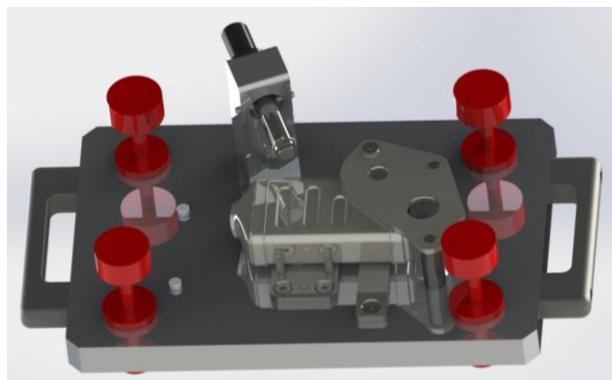


Ilustración 52. Utilaje de soldadura láser de fase 3. Posición de soldeo de brida de entrada de gases.

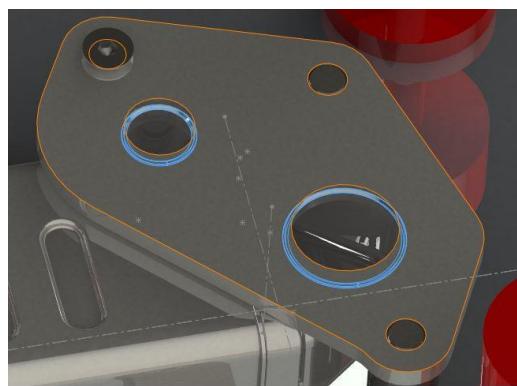


Ilustración 53. Zonas de soldadura láser en la brida de entrada de gases.

Tras soldar la brida se cambia a la segunda posición del utilaje ([Ilustración 54](#)), apoyando la brida sobre la chapa de calce a la izquierda del utilaje. Del mismo modo que en el paso anterior, los agujeros de anclaje de la brida quedan registrados por un par de pasadores y un tornillo de cabeza avellanada, quedando sujeto el conjunto. A continuación se coloca el tubo de refrigeración de gases en la boca de la virola, orientado por un sable que posiciona el tubo por el extremo libre. Finalmente se procede a soldar el tubo de refrigeración de gases en las zonas resaltadas en la [Ilustración 55](#).

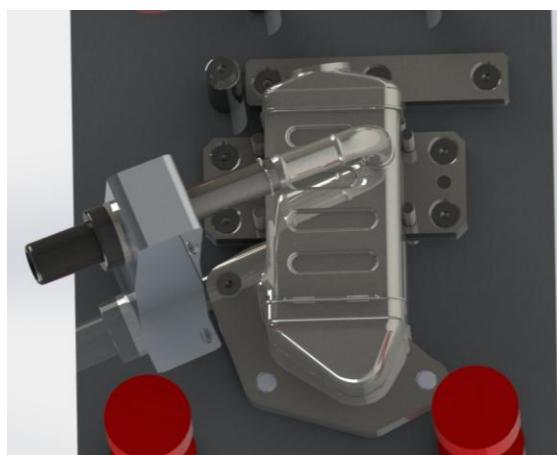


Ilustración 54. Utilaje de soldadura láser de fase 3. Posición de soldeo de tubo de refrigeración de agua.



Ilustración 55. Zonas de soldeo láser de tubo de refrigeración de agua.

El resultado que se obtiene es la fase 3, como se puede observar en la [Ilustración 56](#).



Ilustración 56. Fase 3

4.8 Fase 4

El ensamblaje continúa añadiendo la salida de gases anteriormente soldada a la fase 3 mediante soldadura láser robotizada, empleando el utilaje de posicionamiento que se ha diseñado de la [Ilustración 57](#) en las zonas resaltadas en azul de la [Ilustración 58](#) (detalles en el *anexo 6, apartado 6.7*). El utilaje consiste en una placa vertical sobre la que apoyar la brida de entrada de gases, registrada por pasadores y sujetada por clamps; y un postizo de registro que aproxima la brida y tubo de salida de gas al conjunto guiado por sables que deslizan sobre casquillos en una torre adyacente. En el postizo se alojan un par de tornillos tipo pasador rectificados a la medida de la brida de salida de gases. Estos tornillos registran la posición de dichos anclajes y evitan que se caiga la brida roscando una tuerca en el extremo roscado del tornillo. Los tornillos están guiados por casquillos que se alojan en el postizo.



Ilustración 57. Utilaje de soldadura láser de fase 4.



Ilustración 58. Zonas de soldeo láser para fase 4.

El resultado a obtener tras la soldadura se puede apreciar en la [Ilustración 59](#).



Ilustración 59. Fase 4

4.9 Fase 5 final

Por último, se añade la pata de refuerzo y la protección térmica a la fase 4 por soldadura de plasma con aporte de material ([Ilustración 60](#)). No se requiere de unas tolerancias restrictivas para su posicionamiento, por lo que el operario soldará a mano sin usar un útil aplicando 4 puntos de soldadura.



Ilustración 60. Detalle de resultado de soldeo de pata de refuerzo y protección térmica.

5 Inspección del prototipo.

A continuación se detallan los aspectos a comprobar al intercambiador, sus componentes y fases de montaje a lo largo del proceso de fabricación. Las inspecciones aseguran cumplir todos los requisitos para que el prototipo sea apto para el cliente.

5.1 Estanqueidad

El prototipo debe pasar una serie de pruebas para comprobar que sus circuitos no presentan fugas. Una fuga en un intercambiador se considera un fallo catastrófico en el intercambiador. Para asegurar que no ocurre este fenómeno se realizan unos ensayos de estanqueidad normalizados bajo estándares de la empresa .

La máquina de control de fugas realiza las pruebas en base a unos programas de ensayo con la posibilidad de cambiar sus parámetros. Posee una pantalla y unos indicadores que muestran los parámetros del ensayo y si el ensayo es favorable (luz verde) o no (luz roja).

Para cada lote de componentes ensayados se anotarán los resultados favorables y los desfavorables con los defectos que han aparecido. Para que no exista problemas de identificación, los elementos ensayados serán marcados con rotulador. Se pintará una marca verde en el componente para los favorables, y una roja para los desfavorables. En los desfavorables se deberán marcar también las zonas en las que han aparecido los defectos para poder identificarlos y analizarlos correctamente.

Los componentes desfavorables serán recopilados y analizados por el departamento de calidad. Resulta de vital importancia controlar los defectos para determinar los posibles fallos durante todo el proceso de fabricación, especialmente para controlar si el proceso de soldadura está con los parámetros correctos.

Durante la operación, el operario tiene que estar atento al componente para detectar los posibles fallos. Los fallos que se podrían encontrar en los tubos desfavorables son debidos a picaduras en el cordón de soldadura, zonas con falta de soldadura, poros y grietas. En ocasiones es posible detectar la fuga a simple vista y sintiendo el chorro de gas por el que sale simplemente acercando el dedo.

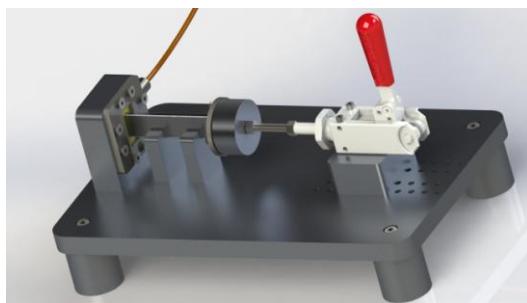
Para otros casos no se puede apreciar tan simplemente y se recurrirá a impregnar agua con una cantidad muy pequeña de jabón con un pincel sobre la soldadura durante el ensayo. La mezcla en el punto del defecto producirá unas burbujas que serán apreciables a vista del operario, pudiendo identificar el fallo.

Si tras realizar el ensayo impregnando el cordón con la mezcla no se detecta ningún fallo tras dos intentos, se apartará para ser analizado por el departamento de calidad.

Los ensayos se realizarán para los siguientes componentes o fases de montaje:

5.1.1 Tubo de refrigeración de gases

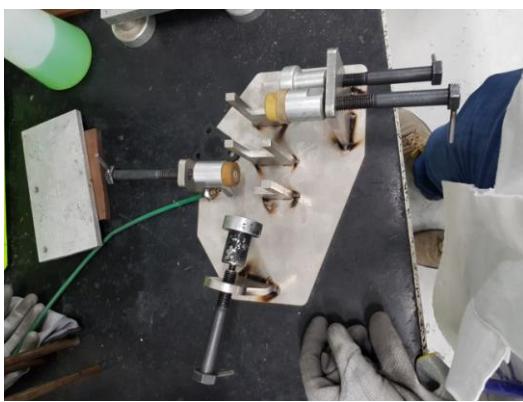
Los tubos se ensayarán empleando el utilaje de la [Ilustración 61](#). El utilaje que se ha diseñado consiste en un postizo que toma la salida neumática de la máquina de ensayos e introduce el aire por dentro del tubo (detalles en el *anexo 7, apartado 7.1*). El tubo queda sostenido por dos apoyos que lo registran para que no se desvíe durante su posicionamiento para el ensayo. Un extremo del tubo queda contra el postizo enfrentado a una junta perforada acoplada al mismo. En el otro extremo del tubo restante será sellado por una junta cerrada por la acción de una clampa manual que abra o selle el tubo. El utilaje ha sido diseñado para que se pueda emplear para comprobar tubos de diferentes longitudes reubicando el accionamiento de la clampa.



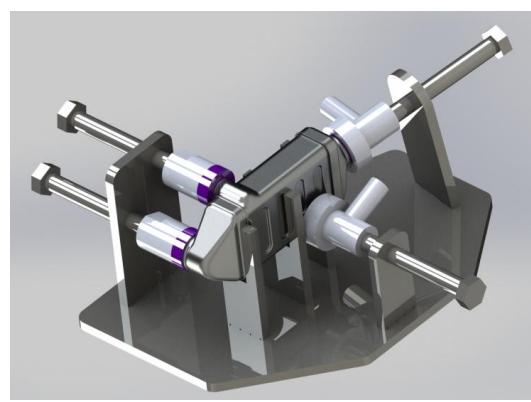
[Ilustración 61. Utilaje de control de estanqueidad de tubos de refrigeración.](#)

5.1.2 Fase 2 soldada

Para comprobar la estanqueidad se ha diseñado un utilaje dedicado, presente en la [Ilustración 62](#) (detalles en *anexo 7, apartado 7.2*). En la fase 2 se comprobará por una parte el circuito de gas y después el de refrigerante. El útil diseñado consiste en una estructura de chapas de acero inoxidable cortadas por láser y soldadas que soportan a la fase 2 y unas torres roscadas por las que se aproximan las juntas. Las juntas están sujetas a través de unos tornillos roscados a las torres, los cuales controlan la distancia y apriete de las juntas ([Ilustración 63](#)). Las chapas se montan a través de un sistema de ranuras y almenas (macho y hembra), con Poka-yoke, de tal manera que no haya errores. Este sistema permite posicionar con facilidad cualquier estructura dispuesta a soldar, así como aportar una rigidez de posición extra frente a deformación durante el soldeo. Las formas con curvatura del corte de almenas y ranuras consiguen que no se forme rebaba durante el corte láser, así como permitir un llenado interno del material de aporte al aplicar la soldadura.



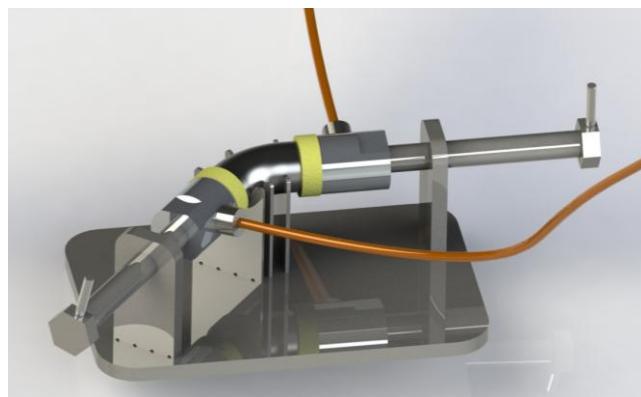
[Ilustración 62. Utilaje de control de estanqueidad.](#)



[Ilustración 63. Detalles de posición de juntas sobre bocas de fase 2.](#)

5.1.3 Tubo de salida de gases

Para inspeccionar las fugas del tubo de salida de gases se ha diseñado el utilaje de la [Ilustración 64](#), el cual sigue el mismo sistema de estructura a partir de chapas de acero inoxidable cortadas por láser soldadas (detalles en *anexo 7, apartado 7.2*). Tiene una zona de apoyo para alojar el tubo a través de torres que copian la curvatura del tubo. Las juntas se aproximan a través del avance de unos tornillos sobre unas torres de chapa a los que van roscados.



[Ilustración 64. Utilaje de control de estanqueidad del tubo de salida de gas.](#)

5.1.4 Intercambiador completo

Una vez completado su montaje en la fase 5, se analizará la estanqueidad de los circuitos de gas y refrigerante del prototipo. Para realizar el ensayo se van a emplear unos útiles sencillos que copien la forma de las bridas, de tal manera que se les puedan acoplar unas tomas neumáticas. Son unas bridas de mayor espesor que las del intercambiador fabricadas por corte láser y mecanizado, que se ensamblan contra las del intercambiador (Ilustración 65, Ilustración 66). Estas bridas tienen un alojamiento para colocar unas juntas tóricas, que al comprimir contra las bridas del intercambiador por unión atornillada sellen en circuito de ensayo (Ilustración 67). Para el sellar tubo de agua se empleará un tubo de goma con toma neumática, el cual se acoplará al tubo del intercambiador y de sellará con una abrazadera.

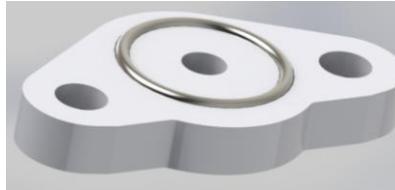


Ilustración 65. Brida con junta para control de estanqueidad a la brida de salida de gases del intercambiador

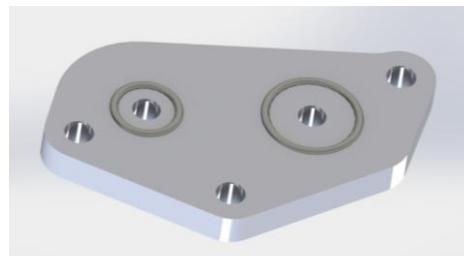


Ilustración 66. Brida con junta para control de estanqueidad a la brida de entrada de gases del intercambiador.



Ilustración 67. Montaje de utilajes de ensayo de estanqueidad del intercambiador.

5.2 Metroología

5.2.1.1 Componentes

Los componentes suministrados externamente serán controlados por el departamento de calidad de la empresa, asegurando que todos llegan en correctas condiciones y tienen las medidas impuestas por el plano dentro de las tolerancias.

En cuanto a los componentes fabricados en el taller, tras ser fabricados se medirán 2 veces para verificar que en todo momento del proceso las medidas son correctas. Esto también sirve para identificar si el utensilio que los fabrica está realizando bien su tarea o se está desgastando. Los operarios deben de registrar este comportamiento para asegurar el proceso de fabricación

de todos los componentes, y si más adelante surgieran fallos metrológicos o de ensamblado, poder identificar posibles causas que afecten al proceso.

5.2.1.2 *Utillajes*

Las piezas que forman los utillajes serán medidas 2 veces tras su fabricación. La ejecución del utillaje será revisada por el diseñador del mismo, probando el utillaje y comparando los resultados con los planos de cada componente o fase de montaje a realizar. Las maquetas destinadas al montaje del intercambiador serán medidas y certificadas por el laboratorio de metrología de la empresa, dictando si el utillaje es apto o no para su uso.

5.2.1.3 *Prototipo acabado con maqueta de control geométrico*

Una vez se han ensamblado todos los componentes y se ha asegurado la estanqueidad del aparato, se comprueba si el intercambiador es apto para encajar en el motor del vehículo y está dentro del rango de tolerancias que se ha establecido.

Para ello, se ha diseñado una maqueta de control geométrico manual ([Ilustración 68](#)) (detalles en el *anexo 7, apartado 7.4*). Los puntos y medidas a cumplir se encuentran en los planos del aparato. El objetivo en esta maqueta es crear los registros de control necesarios en bridas y tubo de refrigeración de agua para asegurar que entra dentro de las tolerancias de plano. Si al introducir el aparato en la maqueta pasan todos los registros, entonces geométricamente se considero un intercambiador apto para cliente.

Para que la maqueta sea apta para su uso, tiene que estar medida y certificada por el laboratorio de metrología de la empresa, de tal manera que la maqueta sea capaz de medir los rangos de tolerancia del intercambiador correctos. En ningún caso la maqueta puede admitir intercambiadores que se salgan fuera del rango de tolerancia, prefiriendo ser más restrictiva con los aparatos.

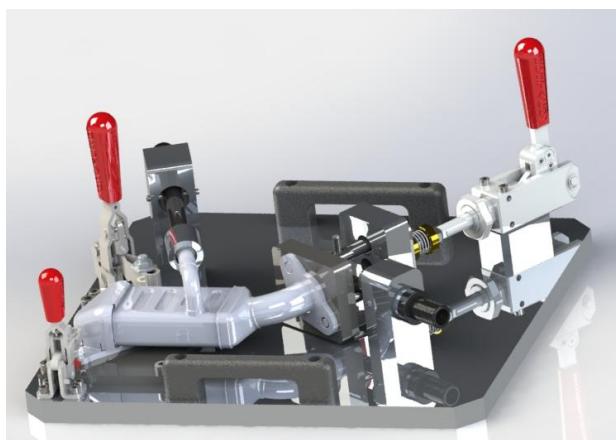


Ilustración 68. Maqueta de control geométrico

Las zonas a controlar dependen de las tolerancias impuestas sobre los puntos de anclaje de las bridas, la planicidad de las mismas y las entradas y salidas del circuito de gas y agua.

El procedimiento de determinación de la medida de los registros de control dependerá de los datos del plano, predominando el requerimiento dimensional más restrictivo. Como norma general habrá que restar la tolerancia si la medida a controlar es una dimensión interior, y

sumar si la medida es exterior. Se calcula la medida en base al punto a controlar identificado en el plano del intercambiador completo.

$$\text{Dimensión de control} = \text{Medida}_{\text{nominal}} \pm \text{Tolerancia}_{\text{fabricación}} \pm \text{Tolerancia}_{\text{datum}}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular registros de control en la maqueta de control geométrico.

La geometría de fijación o referencia para la maqueta será la cara de la brida de entrada de gases. Para realizar el control se apoyará y clampará dicha cara contra la superficie de una chapa de calce rectificada. Los puntos de anclaje de la brida y las entradas de gas y agua deben entrar dentro de los registros sobre dicha chapa ([Ilustración 69](#)). Las medidas de los registros ya ajustadas se presentan en la [Tabla 6](#).

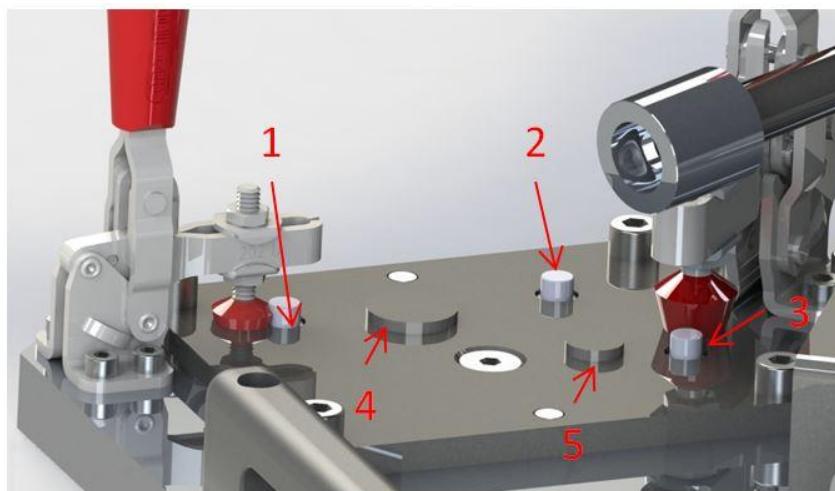


Ilustración 69. Detalle de registros de control para brida de entrada

Medidas de registros brida de entrada de gases				
Identificación de dimensión a controlar	Medida nominal (mm)	Tolerancia propia del componente (mm)	Tolerancia del intercambiador (mm)	Medida del registro para controlar (mm)
1	8.95	± 0.15	± 0.5	8.3
2	8.95	± 0.15	± 0.5	8.3
3	8.35	± 0.15	Referencia datum	8.2
4	24.3	± 0.5	± 0.5	23.3
5	16	± 0.5	± 0.5	15

Tabla 6. Medidas de registros de la brida de entrada de gases.

De la misma manera, se controlarán los puntos de anclaje de la brida de salida y la salida de gases aproximando un postizo de referencia con registros a la medida de tolerancia ([Ilustración 70](#)). La aproximación del postizo es mediante una clampa guiada, de tal manera que el sistema se enfrente contra la brida pero permita cerrar la clampa a distintas posiciones del plano de la brida ([Ilustración 71](#)). Las medidas de los registros se detallan en la [Tabla 7](#).

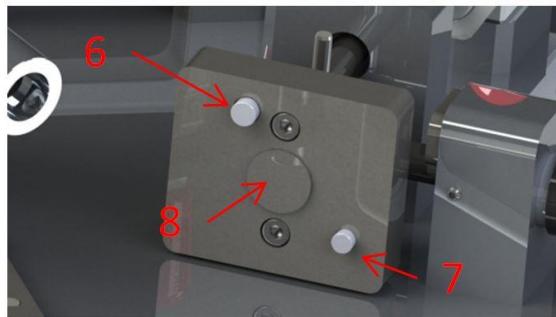


Ilustración 70. Detalle de registros para brida de salida de gases

Medidas de registros brida de entrada de salida de gases				
Identificación de dimensión a controlar	Medida nominal (mm)	Tolerancia propia del componente (mm)	Tolerancia del intercambiador (mm)	Medida del registro para controlar (mm)
6	9.75	± 0.15	± 0.5	9.1
7	9.75	± 0.15	± 2	7.6
8	25.8	± 2	± 2	23.3

Tabla 7. Medidas de registros de la brida de salida de gases.

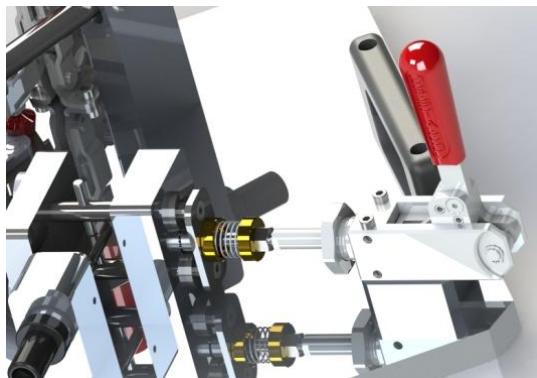


Ilustración 71. Detalle de clampa.

Además de esto, se controlará si el plano de apoyo de la brida de salida se encuentra dentro del rango de su tolerancia. Para ello hay un contrasable que registra si dicho plano está dentro del rango admisible ([Ilustración 72](#)). Si el contrasable se introduce dentro del pasador sobre los sables guía, entonces el plano es correcto. El rango a controlar se detalla en la [Tabla 8](#).

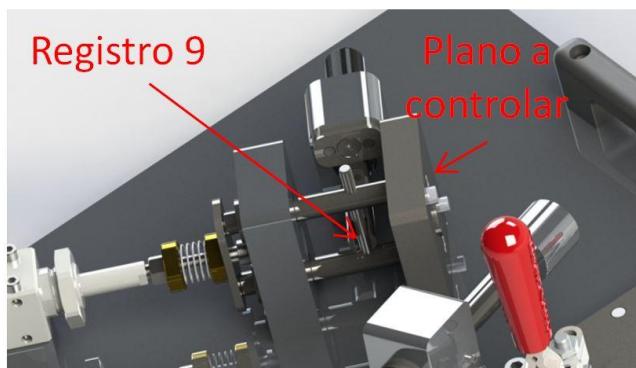


Ilustración 72. Detalle contrasable de registro para posición del plano de la brida de salida de gases.

Medidas de registro de posición de plano en la brida de salida de gases				
Identificación de dimensión a controlar	Medida nominal (mm)	Tolerancia propia del componente (mm)	Tolerancia del intercambiador (mm)	Medida del registro para controlar (mm)
9	0	-	± 1	2

Tabla 8. Medidas de posición de control del plano de la brida de salida de gases.

Por último, se controla la posición del centro del tubo de agua, pasando un sable de registro que rodea las bocas del tubo ([Ilustración 73](#)). Si el registro entra sin colisionar con los bordes del tubo, la posición es correcta. La medida del registro se detalla en la [Tabla 9](#).

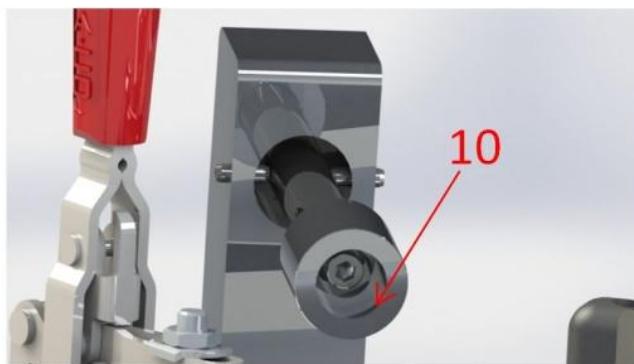


Ilustración 73. Detalle de registro de control para tubo de refrigeración de agua.

Medidas de registro de posición del tubo de refrigeración de agua				
Identificación de dimensión a controlar	Medida nominal (mm)	Tolerancia propia del componente (mm)	Tolerancia del intercambiador (mm)	Medida del registro para controlar (mm)
10	15.5	± 0.3	± 3	18.8

Tabla 9. Medidas de registro del tubo de refrigeración de agua.

5.3 Inspección final y preparación del producto terminado.

Este apartado pretende explicar los últimos pasos una vez se ha conseguido ensamblar el intercambiador completo y comprobado que no tiene fugas. Estos últimos pasos serán realizados por los operarios en colaboración con el departamento de calidad.

5.3.1 Inspección visual de defectos.

Se tiene que buscar cualquier defecto exterior en el intercambiador terminado como:

- Rayas sobre el producto.
- Picaduras sobre los componentes.
- Deformación de piezas o deterioro de las mismas debido a golpes u otros agentes ambientales.

5.3.2 Limpieza interior del producto.

Se limpia interiormente el producto terminado soplando con aire por la brida de entrada, intentando eliminar todas las partículas y suciedades posibles del interior del intercambiador.

5.3.3 Limpieza exterior del producto.

Se limpiará el intercambiador frotando su superficie con un paño de papel impregnado en acetona, de tal manera que se eliminen todas las suciedades y grasas presentes en el intercambiador. Con la aplicación de la acetona el producto quedará completamente limpio y en condiciones de poder presentar al cliente

5.3.4 Comprobación dimensional.

El intercambiador terminado se facilita al departamento de calidad para que inspeccione las medidas y estado final del aparato. Si el producto supera este último paso, se considera como favorable, terminado, conforme para los controles de calidad del producto y en estado de entrega a cliente.

5.3.5 Etiquetado e identificación del producto.

Para finalizar, si el intercambiador cumple todos los requisitos de calidad de la empresa, se etiqueta el producto con una pegatina de identificación en el lateral de la virola y se embala para enviar al cliente.

6 Ensayos sobre el prototipo

6.1 Ensayo de prestaciones.

El prototipo se somete a unos ensayos de prestaciones y de banco de flujo, los cuales se realizan en el laboratorio físico de la empresa. El diseño de las adaptaciones es cargo de los diseñadores del producto, pero el taller de prototipos dará soporte fabricando esos utilajes. Se ha fabricado un utilaje de adaptación de banco de flujo impreso en 3D en PLA. Además, se monta un utilaje en chapa de acero inoxidable AISI 304 para ensayar sus prestaciones en las condiciones de trabajo del intercambiador.

6.2 Ensayo de vibraciones en posición y condiciones de funcionamiento del vehículo.

Se ha ensayado el intercambiador EGR terminado bajo una serie de condiciones que simulen el entorno del motor y que comprueben su robustez frente a las solicitudes que puede llegar a tener. Para ello, se ha realizado un ensayo de vibraciones sobre el intercambiador en el laboratorio físico. El objetivo es colocar el intercambiador sobre un utilaje especialmente diseñado para este aparato, la máquina vibradora empleada y condiciones de ensayo.

6.2.1 Objetivos y requisitos del ensayo.

- Se requiere por parámetros de ensayo hacer vibrar el intercambiador en las direcciones de posición en el motor.
- Se estima que la frecuencia de oscilación del ensayo será de 1000Hz y que por tanto, el utilaje empleado en ningún caso debe de entrar en resonancia al efectuarse la prueba. Se aplicará un coeficiente de seguridad de 1.5 sobre la frecuencia de ensayo.
- El utilaje debe de ser lo más ligero que se pueda sin renunciar a una fuerte robustez
- El utilaje debe de unirse con la mayor cantidad de puntos posibles a la máquina vibradora de ensayo.

- No se realizará el ensayo con el conjunto intercambiador-válvula, sino que la válvula EGR será sustituida por un dummy de masa y centro de gravedad equivalente al de la válvula.
- El utilaje diseñado tiene que compartir los puntos de amarre normalizados con la máquina vibradora.
- Se ensayarán dos intercambiadores a la vez en el ensayo, con el objetivo de reducir tiempos para ensayar los intercambiadores y por ende también costes de laboratorio.

6.2.2 Utilajes

6.2.2.1 Dummy de válvula EGR

El dummy tiene como misión imitar el comportamiento que tendría la válvula EGR en términos de peso, inercia y su anclaje con el intercambiador y el vehículo del cliente.

Para conseguir un resultado similar al que produciría la válvula, se ha diseñado y fabricado un componente de tal manera que tenga el mismo peso que la válvula y con su centro de gravedad en la misma posición, a la vez que se respetan las posiciones de los mismos puntos de anclaje. El diseño debe permitir que sea fabricable, simple, rápido y barato de fabricar.

Tras un proceso de diseño y de ajuste iterativo de las dimensiones con masa y su centro de gravedad, se ha conseguido el dummy de la [Ilustración 74](#), que está formado por dos piezas unidas por un tornillo y soldadas entre sí en las zonas de contacto.

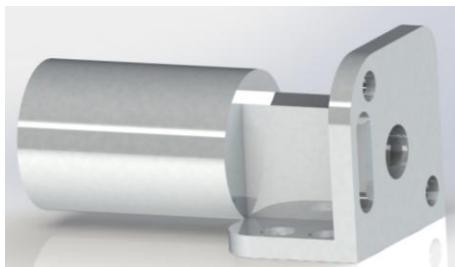


Ilustración 74. Dummy sustituto de válvula EGR para ensayo de vibraciones.

6.2.2.2 Postizo de vibración

Los postizos de vibración se han tenido que diseñar en base a unos requisitos propios (detalles en el *anexo 8, apartado 8.1.1*):

- Respetar los puntos de anclaje reales del intercambiador y del dummy en el postizo, intentando representar lo más fielmente posible la unión en dichos puntos con la realidad.
- Los postizos no pueden en ningún caso entrar en resonancia con la frecuencia del ensayo, respetando un coeficiente de seguridad en el modo de vibración más cercano a la frecuencia del ensayo. En ningún caso no puede entrar en resonancia a 1000Hz, por lo que se le requiere un coeficiente de seguridad de 1.5 como mínimo sobre la frecuencia de ensayo (1500Hz aprox.).
- Los puntos de anclaje de los postizos con la placa base tiene que ser numerosos para tener un anclaje muy robusto, usando tornillos de al menos métrica 8.

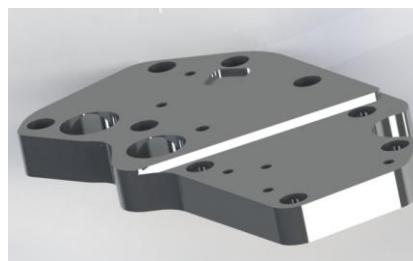
- Los postizos se tienen que ubicar y diseñar de tal manera que bloqueen al menor número de puntos de anclaje de la placa base, con el fin de conseguir un anclaje excelente entre placa base y máquina vibradora, sin que exista riesgo de que aparezcan frecuencias extrañas no deseadas por las condiciones de anclaje.
- La geometría del postizo se tiene que adaptar a la silueta del intercambiador con el dummy montados.
- El postizo tiene que ser una única pieza mecanizada, con una buena robustez, pero intentando recortar su forma exterior para aligerarlo en la medida de lo posible.

El procedimiento de diseño del postizo en conjunto con la placa va a realizarse de manera iterativa (detalles en el *anexo 8, apartado 8.1.2*), buscando una serie de objetivos por fases, aunque durante el proceso de diseño se tendrá que retroceder a fases anteriores o avanzar a otras una vez que se haya seguido la siguiente secuencia:

1. **Posicionamiento del intercambiador EGR con el dummy sobre la placa base.**
2. **Definición del contorno de los postizos y sus puntos de anclaje.**
3. **Comprobación de los modos de vibración de los postizos.**

Durante la fase de diseño se ha tenido que modificar el contorno del postizo para poder cumplir todos los requisitos de manera iterativa, en especial el requisito de frecuencia de resonancia. La dificultad de este diseño reside en conseguir todos los requisitos a la vez, ya que las geometrías y dimensiones comprometían fuertemente el efecto de los puntos de anclaje, la fabricabilidad del postizo y fundamentalmente las frecuencias de resonancia del postizo.

Finalmente se tuvo que priorizar en los requisitos, por lo que se optó por comprometer más la fabricabilidad del postizo frente a los puntos de anclaje y las frecuencias naturales. Para lanzar un diseño definitivo era necesario perder las geometrías que facilitaban el mecanizado por su amarre en la mordaza del centro de mecanizado para que no entrara en resonancia y para que no colisionaran los postizos entre sí (detalles en *anexo 8, apartado 8.1.3*). El resultado obtenido fue el de la [Ilustración 75](#).



[Ilustración 75. Postizo de anclaje para ensayo de vibraciones.](#)

Como se puede observar, el postizo final posee una forma bastante irregular, la cual requiere usar un utilaje auxiliar para poder sujetarlo y terminar de mecanizarlo. El utilaje diseñado consiste en una placa que permite amarrar los dos postizos colocados en simetría atornillando en los mismos puntos que se sujetan a la placa base. Este utilaje se aprovechará más adelante para realizar el utilaje de ensayo de montaje forzado.

Los resultados de las simulaciones frecuenciales se pueden encontrar en *el anexo 8, apartado 8.1.4.*

6.2.2.2.1 Placa base

De acuerdo a la vibradora del ensayo y a los puntos de anclaje del postizo, se ha fabricado la placa base incorporando todos los puntos de amarre mencionados. El resultado final a mecanizar es el de la [Ilustración 76](#).

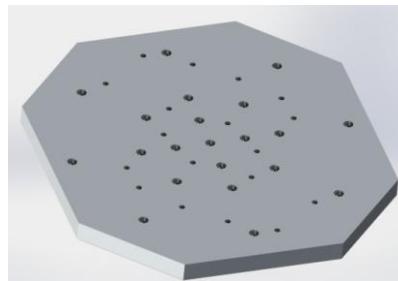


Ilustración 76. Placa base de unión a la máquina vibradora.

6.2.2.3 Resultados de utilajes

Los componentes del ensayo de vibración quedan ensamblados como en la [Ilustración 77](#). Los dos postizos se montan en oposición y simetría sobre la placa base para anclar a la máquina vibradora. Sobre los postizos se acoplan los dummys y los intercambiadores, como el que se puede observar en la ilustración. Sobre el utilaje se monta el intercambiador completo y se somete al ensayo, como queda en la [Ilustración 78](#).

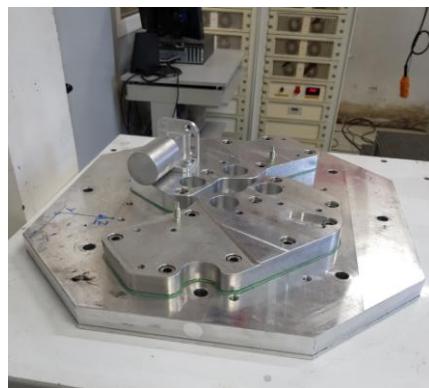


Ilustración 77. Utilaje de vibración para ensayo de vibraciones del intercambiador.

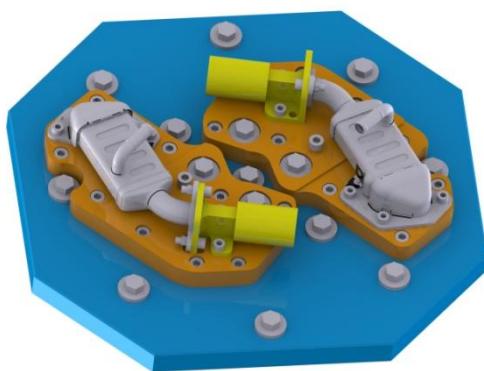


Ilustración 78. Utilaje de vibración

Tras la realización del ensayo, los resultados fueron positivos, sin encontrar ningún fallo, grieta o defecto sobre el intercambiador o el utilaje.

6.3 Ensayo de montaje forzado.

Se ha realizado un ensayo para conocer las tensiones que se producen en el intercambiador ante una situación de montaje forzado en el motor de tal manera que se puedan cuantificar dichas tensiones y cuantificar los efectos de las mismas al montar el intercambiador sobre el vehículo.

El ensayo consiste en simular el ensamblaje por unión atornillada sobre el vehículo añadiendo una serie de combinaciones de asientos sobre los puntos de anclaje del producto, es decir, calzando el producto unas determinadas alturas para comprobar su influencia en el montaje.

El principio del ensayo consiste en preparar una mesa o placa sobre la que se pueda asegurar su planicidad y atornillar el producto sobre la misma calzándolo con unas chapas de espesor controlado que simulen este fenómeno sobre las zonas de anclaje. Se partirá de la placa auxiliar para terminar de mecanizar los postizos del ensayo de vibración para realizar el ensayo de montaje forzado. La operación de mecanizado a realizar es rebajar en el cuarto inferior derecho para que apoye la brida de entrada de gases, así como hacer un escote en la parte superior de ambos lados para que no colisione con la brida de salida de gases. La pieza resultante es la que aparece en la [Ilustración 79](#).



Ilustración 79. Placa de ensayo de montaje forzado.

La configuración de montaje para el ensayo se puede observar en [Ilustración 80](#).



Ilustración 80. Ensayo de montaje forzado

7 Conclusiones

La complejidad que he encontrado en esta actividad reside en la gran amplitud de conocimientos teóricos y prácticos que se deben de tener en cuenta, junto con el conocimiento del producto, su validación y de todas las tecnologías que se tienen que aplicar para su fabricación. Este trabajo muestra una idea de a qué retos tiene que enfrentarse un ingeniero de prototipos o de diseño cuando se quiere fabricar un producto nuevo antes de que llegue a producción.

Para la realización de este proyecto se ha trabajado especialmente en los campos de diseño, fabricación, mecanizado, uniones mecánicas y soldadas, impresión 3D, ingeniería y selección de materiales, metrología y precisión, diseño de máquinas y mecanismos, calidad, matrizería , construcción de utilajes de montaje y para pruebas de laboratorio o vibraciones entre otros.

Todo este proyecto lleva una labor con una fuerte carga de aprendizaje personal en la empresa. Por una parte hay un trabajo personal e innovación constante muy importante a lo largo de todo el periodo trabajo en colaboración con Valeo. Cabe mencionar que el conocimiento adquirido no solamente se debe a mi formación como ingeniero y a todos los recursos bibliográficos que he investigado. Este proyecto está nutrido del conocimiento adquirido en el taller, de las experiencias y consejos de muchos compañeros de trabajo y de un constante intercambio de ideas.

Saber emplear un programa de CAD/CAM no es suficiente para un ingeniero para llevar a cabo un proyecto como estos, se requiere de conocer todos los factores influyentes en cada momento, conocer los materiales, el producto, qué tecnologías de fabricación existen, tomar las decisiones más oportunas y pensando en las consecuencias de cada diseño o acción. La complejidad de ejecutar una excelente fabricación radica en tener ideas que consigan los objetivos propuestos junto con una buena base de conocimientos y recursos.

8 Agradecimientos

Quiero dar las gracias a todas las personas que me han acompañado a lo largo de este proyecto, enriqueciendo mi experiencia y dándome apoyo en todo momento. En primer lugar, quiero resaltar el apoyo que he recibido desde la familia, mis seres más queridos y amigos que me han hecho mirar hacia delante frente a las adversidades, cargando mis energías para afrontar toda clase de retos juntos.

Quiero agradecer a la empresa la oportunidad de poder haber colaborado con ellos para este proyecto y mis prácticas. El trabajo desempeñado me ha hecho evolucionar como ingeniero y superarme día a día en un puesto tan potente para comenzar a aprender mi actividad profesional. Quiero resaltar el fantástico equipo de compañeros con el que me ha tocado trabajar, así como de la experiencia y consejos que me han brindado durante mi estancia. El taller de prototipos me ha enseñado muchísimo y siempre consideraré haber tenido la oportunidad de trabajar con ellos como una gran suerte. Gracias a mis tutores y guías por orientar mi trayectoria y proyecto, a los técnicos de Hoffman por su asesoramiento y demostración de mecanizado con el Instituto Corona de Aragón.

Simplemente, muchas gracias a todos por lo que me habéis aportado.

9 Bibliografía

1. Valeo. [En línea] de de . [Citado el: 04 de Julio de 2018.]
<https://www.valeoservice.es/es/turismo/refrigeracion-y-gestion-del-aire/intercambiador-egr>.
- 2.
3. Suministros Herco. [En línea] 2018. <https://suministrosherco.com/>.
4. Unceta. [En línea] 2018. <https://ecommerce.unceta.es/>.
5. Broncesval S.L. [En línea] 2018. <http://www.broncesval.com/>.
6. Norelem. [En línea] 2018. <http://www.norelem-spain.es/>.
7. Destaco. [En línea] 2018. <https://www.destaco.com/manual-clamps.html>.
8. Irestal. [En línea] 2018. <http://www.irestal.com/?lang=es>.
9. ISC Plastic Parts. [En línea] 2018. <https://www.iscsl.es/>.
10. Sumindu. [En línea] 2018. <http://www.sumindu.com/>.
11. R.Andrade. [En línea] 2018. <https://www.randrade.com/>.
12. Calvo Sealing. [En línea] 2018. <http://www.calvosealing.com/es>.
13. Metales y perfiles S.A. [En línea] 2018. <http://www.metalesyprofiles.com/>.
14. METALSERVICE. [En línea] 2018. <http://www.metal-service.net/indexempresa.htm>.
15. Grupo Hastinik. [En línea] 2018. <http://www.grupohastinik.com/>.

16. ACERINOX. [En línea] 2018. <https://www.acerinox.com/es/index.html>.
17. INDURA. [En línea] 2018. <http://www.indura.net/web>.
18. NISSHIN STEEL. [En línea] 2018. <http://www.nisshin-steel.co.jp/en/>.
19. REXROTH. [En línea] 2018. <https://www.boschrexroth.com/es/es/>.
20. TITANS OF CNC. [En línea] 2018. <https://titansofcnc.com/>.
21. CASTOLIN EUTECTIC. [En línea] 2018. <https://www.castolin.com/es-ES>.
22. BROQUETAS-La soldadura segura. [En línea] 2018. <http://www.broquetas.com/index.php>.
23. OASA. [En línea] 2018. <http://www.oasa.com.mx/>.
24. ARAWORKS. *Youtube*. [En línea] 2018. <https://www.youtube.com/user/araworks>.
25. Titans of CNC: Academy. *YouTube*. [En línea] 2018.
<https://www.youtube.com/user/titanamericanbuilt>.
26. Haas Automation, Inc. *YouTube*. [En línea] 2018.
<https://www.youtube.com/user/haasautomation>.
27. DISEÑO Y MANUFACTURA DIGITAL DMD. *YouTube*. [En línea] 2018.
<https://www.youtube.com/user/DMDQRO>.
28. CAD CAM TUTORIAL. *YouTube*. [En línea] 2018.
https://www.youtube.com/channel/UCjd_zIvYtQymk0dPx3vTJcA.
29. CIMWORKS: Distribuidor Autorizado SOLIDWORKS España. *YouTube*. [En línea] 2018.
<https://www.youtube.com/user/CimWorksTV>.
30. **BOLJANOVIC, VUKOTA.** *SHEET METAL FORMING PROCESS AND DIE DESIGN*. Nueva York : Industrial Press Inc., 2004.
31. **P.Orlov.** *Ingeniería de diseño 3*. Moscú : Mir Moscú, 1985.
32. **Marciniak, Z., Duncan, J.L. y Hu, S.J.** *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Londres : Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 0 7506 5300 0.
33. **Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid.** *Manufactura, ingeniería y tecnología*. s.l. : Prentice Hall, 2008. ISBN 978-970-26-1026-7 .

10 .Referencias

10.1 .Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. SISTEMA EGR (1)	9
ILUSTRACIÓN 2. PLANTA DE VALEO EN ZARAGOZA.....	9
ILUSTRACIÓN 3. INTERCAMBIADOR EGR PROTOTIPO A FABRICAR.	10
ILUSTRACIÓN 4. ESQUEMA DE COMPONENTES EXTERIORES DEL PROTOTIPO	11
ILUSTRACIÓN 5.ESQUEMA DE COMPONENTES INTERIORES AL PROTOTIPO	11
ILUSTRACIÓN 6. CORTE DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES CON PERTURBADOR	12
ILUSTRACIÓN 7. DETALLE PERTURBADOR OFFSET.....	12
ILUSTRACIÓN 8. DESARROLLO DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES.	20
ILUSTRACIÓN 9.TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES.....	20
ILUSTRACIÓN 10.MATRIZ DE PLEGADO EN U	21
ILUSTRACIÓN 11. RESULTADO DE PLEGADO EN U	21
ILUSTRACIÓN 12.MATRIZ DE PLEGADO DE CIERRE Y CONFORMADO DE TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES	21
ILUSTRACIÓN 13. TUBO EN U COLOCADO EN LA BAQUETA PARA PLEGAR	21
ILUSTRACIÓN 14. PLEGADO DEL ALA DEL TUBO	21
ILUSTRACIÓN 15.ALOJAMIENTO PARA CONFORMADO DEL TUBO. ALOJAMIENTO A LA IZQUIERDA.....	22
ILUSTRACIÓN 16. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES	22
ILUSTRACIÓN 17. VISTA DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES DESDE EL CORDÓN.....	23
ILUSTRACIÓN 18. DESARROLLO DE CHAPA DE LA VIROLA	23
ILUSTRACIÓN 19. VIROLA.....	23
ILUSTRACIÓN 20. UTILAJE DE EMBUTICIÓN Y PRIMER PLIEGUE DE ALAS DE LA VIROLA.....	23
ILUSTRACIÓN 21. DETALLE DE DOBLE PISADOR	24
ILUSTRACIÓN 22. DETALLE DE PISADOR SUPERIOR Y PUNZÓN PARA BOCA DEL TUBO DE LA VIROLA.....	24
ILUSTRACIÓN 23. DETALLE DE PREFORMA DE VIROLA POSICIONADA EN LA MATRIZ	24
ILUSTRACIÓN 24. RESULTADO A OBTENER EN LA PRIMERA FASE DE PLEGADO DE LA VIROLA	25
ILUSTRACIÓN 25. MATRIZ DE PLIEGUE DE CIERRE DE VIROLA	25
ILUSTRACIÓN 26. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE VIROLA.....	26
ILUSTRACIÓN 27. DESARROLLO DEL TUBO	26
ILUSTRACIÓN 28. MITAD DE TUBO	26
ILUSTRACIÓN 29. TUBO DE SALIDA DE GASES	26
ILUSTRACIÓN 30. MATRIZ DE PLEGADO DE MITAD DE TUBO DE SALIDA DE GASES.	27
ILUSTRACIÓN 31. RESULTADO DE PLEGADO DE MITAD DE TUBO DE SALIDA DE GASES.	27
ILUSTRACIÓN 32. UTILAJE DE POSICIONAMIENTO PARA SOLDEO DE TUBO DE SALIDA DE GASES.....	27
ILUSTRACIÓN 33. MATRIZ DE EMBUTICIÓN DE PROTUBERANCIAS DEL COLECTOR	28
ILUSTRACIÓN 34. COLECTORES CON PROTUBERANCIAS CONFORMADAS SOBRE LA MATRIZ.	28
ILUSTRACIÓN 35. UTILAJE DE MONTAJE DE FASE 1	29
ILUSTRACIÓN 36. UTILAJE DE EMBOLCADO DE TUBOS.....	29
ILUSTRACIÓN 37. EMBOLCATOR DE TUBOS.	29
ILUSTRACIÓN 38.MONTAJE DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES SOBRE UN COLECTOR.....	30
ILUSTRACIÓN 39. ADICIÓN DE VIROLA SOBRE COLECTOR Y TUBOS.	30
ILUSTRACIÓN 40. PRIMERA COLOCACIÓN SOBRE UTILAJE DE MONTAJE DE FASE 1.....	30
ILUSTRACIÓN 41. COLOCACIÓN DEL SEGUNDO COLECTOR SOBRE LA FASE 1.....	31
ILUSTRACIÓN 42. ABOCARDADOR DE TUBOS.....	31
ILUSTRACIÓN 43. ZONAS DE EMPASTADO EN PARA VIROLA, COLECTORES Y TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES.	32
ILUSTRACIÓN 44. MAQUETA DE POSICIONAMIENTO FASE 2.....	32

ILUSTRACIÓN 45. ZONA DE APLICACIÓN DE PASTA DE NÍQUEL SOBRE DEPÓSITO DE AGUA.....	33
ILUSTRACIÓN 46. ZONA DE APLICACIÓN DE PASTA DE NÍQUEL SOBRE DEPÓSITO DE ENTRADA DE GASES.	
.....	33
ILUSTRACIÓN 47. ZONA DE APLICACIÓN DE PASTA DE NÍQUEL SOBRE DEPÓSITO DE SALIDA DE GASES..	33
ILUSTRACIÓN 48. FASE 2 PREPARADA PARA EMPASTAR	33
ILUSTRACIÓN 49. UTILAJE DE SOLDADURA BRAZING PARA EL HORNO.	33
ILUSTRACIÓN 50. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE TUBO Y BRIDA DE SALIDA DE GASES.....	34
ILUSTRACIÓN 51. TUBO Y BRIDA DE SALIDA DE GASES SOLDADOS.....	34
ILUSTRACIÓN 52. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE FASE 3. POSICIÓN DE SOLDEO DE BRIDA DE	
ENTRADA DE GASES.	35
ILUSTRACIÓN 53. ZONAS DE SOLDADURA LÁSER EN LA BRIDA DE ENTRADA DE GASES.....	35
ILUSTRACIÓN 54. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE FASE 3. POSICIÓN DE SOLDEO DE TUBO DE	
REFRIGERACIÓN DE AGUA.....	35
ILUSTRACIÓN 55. ZONAS DE SOLDEO LÁSER DE TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.	36
ILUSTRACIÓN 56. FASE 3.....	36
ILUSTRACIÓN 57. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE FASE 4.	36
ILUSTRACIÓN 58. ZONAS DE SOLDEO LÁSER PARA FASE 4.	36
ILUSTRACIÓN 59. FASE 4.....	37
ILUSTRACIÓN 60. DETALLE DE RESULTADO DE SOLDEO DE PATA DE REFUERZO Y PROTECCIÓN TÉRMICA.	
.....	37
ILUSTRACIÓN 61. UTILAJE DE CONTROL DE ESTANQUEIDAD DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN.....	38
ILUSTRACIÓN 62. UTILAJE DE CONTROL DE ESTANQUEIDAD.....	39
ILUSTRACIÓN 63. DETALLES DE POSICIÓN DE JUNTAS SOBRE BOCAS DE FASE 2.	39
ILUSTRACIÓN 64. UTILAJE DE CONTROL DE ESTANQUEIDAD DEL TUBO DE SALIDA DE GAS.....	39
ILUSTRACIÓN 65. BRIDA CON JUNTA PARA CONTROL DE ESTANQUEIDAD A LA BRIDA DE SALIDA DE	
GASES DEL INTERCAMBIADOR.....	40
ILUSTRACIÓN 66. BRIDA CON JUNTA PARA CONTROL DE ESTANQUEIDAD A LA BRIDA DE ENTRADA DE	
GASES DEL INTERCAMBIADOR.....	40
ILUSTRACIÓN 67. MONTAJE DE UTILAJES DE ENSAYO DE ESTANQUEIDAD DEL INTERCAMBIADOR.	40
ILUSTRACIÓN 68. MAQUETA DE CONTROL GEOMÉTRICO	41
ILUSTRACIÓN 69. DETALLE DE REGISTROS DE CONTROL PARA BRIDA DE ENTRADA	42
ILUSTRACIÓN 70. DETALLE DE REGISTROS PARA BRIDA DE SALIDA	43
ILUSTRACIÓN 71. DETALLE DE CLAMPA.	43
ILUSTRACIÓN 72. DETALLE CONTRASABLE DE REGISTRO PARA POSICIÓN DEL PLANO DE LA BRIDA DE	
SALIDA DE GASES.	43
ILUSTRACIÓN 73. DETALLE DE REGISTRO DE CONTROL PARA TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.	44
ILUSTRACIÓN 74. DUMMY SUSTITUTO DE VÁLVULA EGR PARA ENSAYO DE VIBRACIONES.	46
ILUSTRACIÓN 75. POSTIZO DE ANCLAJE PARA ENSAYO DE VIBRACIONES.....	47
ILUSTRACIÓN 76. PLACA BASE DE UNIÓN A LA MÁQUINA VIBRADORA.....	48
ILUSTRACIÓN 77. UTILAJE DE VIBRACIÓN PARA ENSAYO DE VIBRACIONES DEL INTERCAMBIADOR.....	48
ILUSTRACIÓN 78. UTILAJE DE VIBRACIÓN	49
ILUSTRACIÓN 79. PLACA DE ENSAYO DE MONTAJE FORZADO.....	49
ILUSTRACIÓN 80. ENSAYO DE MONTAJE FORZADO.....	50

10.2 Tablas

TABLA 1. CAPACIDAD LABORAL DESTINADA AL PROYECTO	16
TABLA 2. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE TALLER SEMANAS 1-4	17
TABLA 3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE TALLER SEMANA 5-8.....	18
TABLA 4. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE TALLER SEMANA 9-12.....	19
TABLA 5. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE TALLER SEMANA 13-15	20

TABLA 6. MEDIDAS DE REGISTROS DE LA BRIDA DE ENTRADA DE GASES.....	42
TABLA 7. MEDIDAS DE REGISTROS DE LA BRIDA DE SALIDA DE GASES.....	43
TABLA 8. MEDIDAS DE POSICIÓN DE CONTROL DEL PLANO DE LA BRIDA DE SALIDA DE GASES.....	44
TABLA 9. MEDIDAS DE REGISTRO DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.....	44

10.3 Ecuaciones

ECUACIÓN 1. FÓRMULA PARA CALCULAR REGISTROS DE CONTROL EN LA MAQUETA DE CONTROL GEOMÉTRICO.....	42
---	----