



# Trabajo Fin de Grado

## ANEXOS

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



## ÍNDICE DE ANEXOS

1	Diseño enfocado a piezas mecanizadas.....	5
1.1	¿Por qué toda geometría no siempre es conveniente? .....	5
1.2	¿Qué puede facilitar un mecanizado más simple a la hora de diseñar una pieza? .....	5
1.3	¿Cómo se puede diseñar una pieza mecanizada para que tenga la mayor precisión posible? .....	6
1.4	¿Qué factores encarecen un proceso de mecanizado? .....	6
1.5	¿Qué puede imposibilitar una operación de mecanizado respecto a los medios disponibles? .....	6
1.6	Las claves más importantes .....	7
2	Diseño enfocado al éxito de la precisión .....	8
3	Pautas de inspección de utilajes .....	10
3.1	Inspección de componentes durante su proceso de fabricación.....	10
3.1.1	Mecanizado de componentes.....	10
3.1.2	Impresión 3D .....	11
3.1.3	Plegado de chapa.....	11
3.1.4	Soldadura.....	12
3.1.5	Corte láser .....	12
3.2	Inspección de componentes tras finalizar su fabricación .....	12
3.3	Inspección del montaje de un utilaje o maqueta .....	12
3.4	Inspección de la funcionalidad de una maqueta o útil .....	13
4	Descripción del entorno de fabricación y de los medios disponibles para la ejecución del proyecto.....	13
4.1	El taller de prototipos y su posición respecto al ciclo de vida del producto y su estandarización. ....	13
4.2	La importancia del éxito de un prototipo sobre el futuro de un producto. ....	14
4.3	Maquinaria, recursos disponibles y capacidad del taller. ....	14
4.4	Condiciones para la subcontratación externa de servicios. ....	14
4.5	Capacidades y competencias de fabricación de los trabajadores del taller. ....	15
5	Detalles y desarrollo de utilajes para la fabricación de componentes en el taller.....	19
5.1	Fabricación del tubo de refrigeración de gases .....	19
5.1.1	Primera fase de plegado en U.....	19
5.1.2	Plegado de segunda fase y conformado. Cierre de aletas del tubo y mitigación de la recuperación elástica del material .....	21
5.1.3	Proceso de soldadura láser del tubo.....	24

5.2	Fabricación del colector. Embutición de protuberancias.....	26
5.3	Fabricación de virola.....	32
5.3.1	Primer paso de conformado de virola: embutición de protuberancias, embocadura para el tubo de refrigeración y pliegue de 2 esquinas.....	32
5.3.2	Segundo paso de conformado de virola: plegado final y cierre del desarrollo ...	34
5.3.3	Soldeo láser de la virola plegada. ....	35
5.4	Tubo de salida de gas .....	37
5.4.1	Plegado de la mitad del tubo .....	37
5.4.2	Soldeo de las mitades .....	39
6	Detalles extras y desarrollo de utilajes y ejecución durante las fases de montaje del intercambiador.....	41
6.1	Utilaje y proceso de montaje de fase 1. ....	41
6.2	Punteado de colectores a la virola.....	42
6.3	Fase 2. Adición de los depósitos al haz.....	43
6.4	Horneado del haz con depósitos. ....	46
6.5	Ensamblaje por soldadura láser de brida y tubo de gas de salida. ....	48
6.6	Fase 3 . Ensamblado por soldadura láser de brida de entrada con tubo de refrigeración de agua a la fase 2. ....	50
6.7	Fase 4. Ensamblaje por soldadura láser de salida de gases con fase 3. ....	54
7	Detalles extras y desarrollo de utilajes y ejecución durante las fases de inspección del intercambiador.....	57
7.1	Control de estanqueidad del tubo de refrigeración de gases. ....	57
7.2	Control de estanqueidad del tubo de salida de gases. ....	59
7.3	Comprobación de estanqueidad del conjunto de la fase 2.....	60
7.4	Inspección metrológica del intercambiador a través de maqueta de control geométrico. ....	60
8	Detalles extras de utilajes y ejecución de los ensayos de laboratorio. ....	66
8.1	Postizos de vibración .....	66
8.1.1	Requisitos de a cumplir por los postizos.....	66
8.1.2	Proceso de diseño y dificultades.....	67
8.1.3	Detalles de mecanizado de los postizos.....	68
8.1.4	Resultados de la simulación frecuencial del postizo.....	70
8.1.5	Global Sensors .....	93

## 1 Diseño enfocado a piezas mecanizadas

El objeto de este documento es plasmar una serie de pautas o consideraciones a contemplar a la hora de diseñar una pieza que va a ser fabricada mediante un proceso de mecanizado. Diseñar un componente con un software de CAD es una acción que es factible para la mayoría de los públicos con la suficiente formación y práctica, pero un buen diseño va mucho más allá que dibujar una pieza en un programa de diseño. Inconscientemente es fácil caer en asignar geometrías que dificultan y/o encarecen su fabricación, llegando hasta el punto de ser imposibles de fabricar con los medios de los que se disponen.

### 1.1 ¿Por qué toda geometría no siempre es conveniente?

Antes de comenzar a diseñar un componente o conjunto de los mismos es importante plantearse su funcionalidad, precisión y propósito para el cual es diseñado. Esto implica que la geometría del componente sea o no fabricable por una máquina de un número determinado de ejes. Salvo que imprescindiblemente necesitara más de 3 ejes por la complejidad de las superficies de la pieza, se intentará simplificar la geometría para que se pueda mecanizar con una máquina lo más sencilla posible ( centro de mecanizado de 3 ejes o torno). Esto repercute fuertemente en los siguientes aspectos:

- **Complejidad de proceso.** Realizar una pieza que requiera un 4º o 5º eje controlado por la máquina dispara la complejidad del CAM, por lo que es necesario tener una máquina capaz de hacer dicha tarea, un software CAM que será muy caro de mantener, así como de un operario muy especializado y experto en dichos procesos.
- **Tiempo de preparación y ejecución.** Un proceso con dicha complejidad lleva mayor tiempo de planificación, preparación de materiales, herramientas y de fabricación.
- **Costes de mecanizado.** Es posible que una forma determinada encarezca los costes de fabricación por tiempo y preparación.
- **Herramientas necesarias y su coste.**
- **Utilajes necesarios para su mecanizado.** En ocasiones por requerimiento de la pieza hace falta fabricar utilajes auxiliares para terminar de fabricar algunos componentes. Otras veces con los sistemas de mordaza tradicionales y calces de precisión se pueden llegar a fabricar los componentes.

### 1.2 ¿Qué puede facilitar un mecanizado más simple a la hora de diseñar una pieza?

Las formas más básicas como prismas o cilindros reducen mucho la complejidad de la fabricación. Se debe intentar siempre que los elementos de la pieza sean lo más simples posibles y solamente los necesarios.

Diseñar componentes con dimensiones muy similares a las preformas de material empleado reduce mucho los tiempos de mecanizado y consigue ahorrar bastante material. Si las operaciones se reducen al mínimo posible provocará más efectos positivos. No siempre por mecanizar una forma compleja por ahorrar una pieza más de fabricación tiene que ser la solución, de hecho a veces incluso puede simplificar la fabricación y sus costes.

Conocer las herramientas con las que se van a fabricar las piezas resulta de una gran ventaja, ya que si se adaptan las geometrías de la pieza a las herramientas a emplear se optimiza

enormemente el mecanizado. Como norma general, en cajeras interiores se debe de procurar maximizar los radios. Con esto se permite mecanizar con herramientas de un radio mayor, y que por tanto tienen más capacidad para arrancar mayor viruta y en menor tiempo. En las cajeras exteriores los radios exteriores no suponen tanto problema como en las interiores.

### **1.3 ¿Cómo se puede diseñar una pieza mecanizada para que tenga la mayor precisión posible?**

Para conseguir la mejor precisión hay que entender cómo se va desarrollando la hoja de proceso, sabiendo en qué zonas se tienen que ubicar los elementos con precisión. Si dichos elementos se pueden mecanizar en la misma cogida de mordaza se aumentan las posibilidades de conseguir buena precisión.

En caso de que haya varias operaciones de precisión en diferentes caras o zonas, es necesario tomar unas referencias para la máquina al cambiar la sujeción de la pieza. Si existe algún elemento que ayude a tomar esa referencia se reducen los errores de posición. Tener un agujero o plano de referencia físico al que referirse mejora la precisión y el éxito metrológico. Dichas referencias si son datums en los planos de fabricación aún mejora la fabricación, haciendo más clara la secuencia de fabricación, las referencias a tomar y respecto a qué puntos se deben tomar las medidas en su inspección.

Otro factor importante es el tamaño de la pieza, especialmente en piezas esbeltas e inclinadas como torres. Una menor altura de torre es deseable, para que su desviación respecto a su base sea lo menor posible.

Una pieza que se fabrique en el menor número de cambios de posición en la mordaza será menos propensa a arrastrar errores. También es influyente el agarre de la pieza en dicha mordaza. Es importante que la pieza quede dentro de los límites de la máquina y que se tenga en todo momento suficiente superficie de amarre, o que el utilaje auxiliar sujeté perfectamente el componente en su orientación correcta.

### **1.4 ¿Qué factores encarecen un proceso de mecanizado?**

La variable más importante en los costes de mecanizado es siempre el tiempo de trabajo de la máquina, así como la mano de obra del operario y la complejidad que es capaz de realizar la máquina (número de ejes en la máquina). Las herramientas influyen en los costes pero en mucha menor medida, ya que tienen una vida útil que permite amortizarlas a lo largo de muchas horas de mecanizado. Contra menos material haya que mecanizar, menos desperdicio de material será necesario y por tanto menos costes por las preformas del material y en especial por el tiempo de mecanizado. La manera más rápida de conseguir este ahorro es ajustar las dimensiones de las preformas a la geometría de la pieza o también diseñar las piezas con las dimensiones muy próximas a las preformas de material disponibles en el stock de material disponible.

### **1.5 ¿Qué puede imposibilitar una operación de mecanizado respecto a los medios disponibles?**

En la mayoría de los casos suele ser por las siguientes razones:

- La maquinaria no tiene los suficientes ejes para generar una geometría. En ocasiones se pretende fabricar piezas que copian formas complejas, moldes, matrizerías u otros componentes. Estas piezas en ocasiones tienen complejas superficies que requieren de una máquina con más de 3 ejes.
- La geometría a conseguir no puede ser realizada por las herramientas disponibles, o es inviable fabricar las piezas con las herramientas que serían necesarias. En ocasiones la profundidad a realizar una cajera con unos determinados radios es demasiado profunda para la herramienta necesaria, o el radio en una cajera interior es extremadamente pequeño, impidiendo profundizar o hacer desalojos de material grandes.  
Hay veces que una cajera puede ser realizable con una herramienta de radio pequeño, pero el tiempo de mecanizado es demasiado alto. Esto puede hacer la pieza demasiado cara, pudiéndose haber evitado modificando las geometrías en el diseño.
- Las formas a conseguir son tan complejas y problemáticas que existe colisión entre la pieza y la herramienta o la máquina, siendo totalmente indeseable.

## 1.6 Las claves más importantes

La mejor manera de diseñar de acuerdo a la fabricabilidad es conocer cómo trabaja una máquina-herramienta y saber en todo momento si con los medios disponibles se puede fabricar y cómo se haría, sabiendo establecer la hoja de proceso, las herramientas y parámetros que son necesarios en cada momento de la fabricación. Diseñar una pieza para un propósito determinado, a la vez que se dibuja pensando cómo se debe acotar, respecto a qué referencias y cómo se fabricaría resulta complejo y requiere práctica, pero conociendo cómo manejar un centro de mecanizado o un torno ayuda mucho y simplifica muchos problemas de diseño.

Para ejecutar esta técnica se puede sintetizar en base a la extracción de conclusiones a estas fases de preguntas:

¿Qué tiene que cumplir la pieza a fabricar?

¿Qué es lo más importante a respetar?

¿Con qué detalles o referencias hay que tener especial cuidado?



¿Cómo se podría mecanizar?

¿Es factible mecanizarlo con estas geometrías y elementos?

¿Se puede hacer algo para mejorar el mecanizado modificando alguna geometría?



¿Qué problemas aparecerán con el mecanizado?

¿Se va a conseguir fabricar con precisión si es requerido?

Este ciclo de preguntas se puede ir planteando para cada pieza o utilaje a diseñar. Si tras realizar el ciclo de cuestiones no se cumplen los requisitos necesarios o surgen problemas inadmisibles se debe de volver a diseñar o a cambiar la idea o concepto de lo que se necesita fabricar.

## 2 Diseño enfocado al éxito de la precisión

El objeto de este documento es plasmar una serie de pautas para conseguir un diseño de componentes con precisión, especialmente enfocado a la realización de maquetas de montaje, útiles de fabricación y matrizería. La precisión en determinadas aplicaciones es necesaria para la fabricación de un determinado producto, para la medición de alguna variable u otro fin.

La fabricación está ligada a unos niveles de calidad y precisión en función de los distintos procesos de fabricación. En todo momento, se debe de tener en cuenta de qué rangos de precisión es capaz el proceso o técnica de fabricación escogida. En este caso, se va a indagar especialmente sobre elementos mecanizados.

Como norma general, si se requiere una precisión alta o un buen registro sobre un componente o utilaje se deben de utilizar elementos capaces de suministrarla, bien porque ya estén fabricados y estandarizados o que se pueda fabricar con los medios disponibles.

En lo que respecta a los utilajes de este proyecto, para torres, postizos y pletinas:

- Su posición si requiere de buena precisión debe ir registrada a través de pasadores siempre, o de algún elemento que imite su función. Su unión con otros componentes no asegura una unión mecánica sólida, luego deben de acompañarse de otros elementos de unión como tornillos u otros similares que los terminen de fijar. Su registro debe de realizarse respecto a otro elemento al que tiene que referirse la precisión, como una placa base que de soporte a varias torres.

Los pasadores son elementos normalizados con unas tolerancias y dimensiones muy definidas y precisas en sus ajustes, convirtiéndolos en elementos en los que se puede confiar.

Los pasadores se deben colocar en una pieza alineados con la mayor distancia posible. Contra más alejados están dentro de una misma pieza tienen capacidad para alinear con mayor precisión. Este concepto se puede asociar a un ejemplo fácil. Resulta más fácil alinear paralelamente una regla de 30 centímetros a una línea imaginaria infinita que con un lapicero. Del mismo modo actúa la separación de los pasadores.

La profundidad a la que se introducen los pasadores influye en el guiado y la solidez de la colocación de un elemento. Este efecto se denota especialmente al registrar torres altas con pasadores. Si se introducen pasadores más profundos entre las piezas a unir se mejora la precisión del posicionado, especialmente por la inclinación respecto al eje vertical.

Los pasadores pueden tener otras aplicaciones como guiar y registrar componentes que requieran de una extracción, quedando una parte del pasador enterrada en la pieza sobre la que toma la posición. El saliente del pasador puede restringir el

movimiento de un componente en unos grados de libertad según sea necesario. Para ejecutar dicha función también es posible que requieran que ese extremo libre de registro esté rebajado a una determinada dimensión.

- La técnica de atornillado puede tener efectos metrológicos en función de la pieza y su modo de unión. Este fenómeno es más apreciable en piezas esbeltas, piezas sin registros como pasadores, o puntos de anclaje muy alejados. Se recomienda que el atornillado de componentes sea repartido y progresivo si la precisión requerida es alta. Esto significa no atornillar tornillos uno detrás de otro hasta tope, sino ir repartiendo el avance de roscado por igual entre todos los tornillos progresivamente. Al atornillar uno por uno, siempre hay un punto que tira más y el resto de puntos se adaptan respecto a ese primer punto de atornillado. En una torre anclada a una base, si no lleva registro con pasadores se podría notar tras un control metrológico que al terminar de atornillar la torre está más torcida hacia los primeros puntos de atornillado. Si se hubiera repartido el atornillado más homogéneamente se produciría menos desviación de la torre. Este fenómeno se acentúa especialmente en las torres muy altas y esbeltas, en las que un ligero ángulo en la base provoca que en la cúspide haya una desviación mucho más notable. Este fenómeno puede hacer que una maqueta medida en laboratorio metrológico no sea correcta en un punto alto de una torre, y sin embargo la torre puede estar bien fabricada pero mal montada. Para conseguir una unión auto centradora se puede emplear tornillos de cabeza avellanada, siempre y cuando se requiera un guiado extra, no se requiera una precisión muy alta.

Para las piezas cilíndricas y sables se debe comentar:

- Su guiado puede darse mediante elementos que lo registren como casquillos, jaulas de bolas o ranuras con tolerancia de ajuste en una pieza. Los elementos normalizados son siempre una buena opción a emplear siempre y cuando tengan una buena tolerancia en aplicaciones de precisión. Para sables, guiado de matrizería por columnas y casquillos se recomienda su uso conociendo y aplicando las tolerancias de los mismos.
- Los guiados en dimensiones pequeñas para sables y casquillos no son tan efectivos como en medidas más altas. En longitudes cortas un sable con un casquillo acorde a su diámetro puede ejecutar un buen registro. Sin embargo a medida que se aumenta la longitud del sable no resulta tan eficaz el guiado y pierde precisión. Por eso en ocasiones si se puede usar un sable con un casquillo mayor sería preferible; especialmente si el casquillo tiene más longitud para ejecutar su guiado. Aumentar mucho el tamaño tampoco tiene ser la máxima tendencia, ya que a medida que se aumentan las dimensiones, las tolerancias también lo hacen y puede que se acaben saliendo del rango de interés. Por ello es necesario siempre buscar un equilibrio en función de la longitud a guiar y el diámetro del sable o columna.
- En el caso de fabricación de sables a medida, partir de preformas de material de barras calibradas aporta una precisión excelente y apta para registrar componentes o ir guiados en casquillos para aplicaciones de montaje o control.

En cuanto a la construcción de utilajes y maquetas se deben procurar seguir unas pautas:

- Los utilajes deben buscar siempre reducir su cota lo máximo posible. La colocación de elementos como torres o postizos deben buscar tener la menor desviación desde la base. Este concepto ya se ha hablado anteriormente, pero repercute significativamente en la precisión del utilaje a medida que crece en altura.
- Para componentes que requieran una determinada inclinación con precisión, se intentará fabricar en una sola pieza siempre que se pueda. Un ejemplo son torres inclinadas que guían sables de registro.
- Se debe intentar reducir al máximo los componentes que forman conjuntos de piezas funcionales cuando se requiera mucha precisión. Una misma pieza mecanizada en un solo bloque como norma general tendrá más precisión que el mismo concepto con dos o más piezas. Un ejemplo son torres en forma de L. Dividir esa L en dos piezas introduce más posibles errores que si fuera una sola, debido al montaje y arrastre de errores de precisión al mecanizar más componentes.

A la hora de diseñar utilajes siempre se deben de tener en cuenta cómo se va a fabricar y qué resultados puede dar cada mecanizado, proceso de ensamblaje o soldeo, así de como de todos los factores que pueden influir en cada momento.

### **3 Pautas de inspección de utilajes**

En este documento se van a describir las directrices a seguir durante la inspección durante y posteriormente a la fabricación de utilajes y maquetas. Se puede considerar esta metodología como un modus operandi genérico a seguir para cualquier componente o útil en su conjunto. También se recoge la inspección y validación de la funcionalidad de un utilaje, explicando qué pautas y criterios seguir para considerar que ejerce su propósito correctamente.

#### **3.1 Inspección de componentes durante su proceso de fabricación.**

Los componentes a fabricar serán controlados durante su proceso de fabricación, asegurándose de que se ejecuta conforme a las exigencias de la pieza. Los requisitos de cada pieza vendrán determinados por los planos en primer orden de prioridad, y se podrán complementar con otros documentos anexos que aporten detalles del componente.

A continuación se hará indagación en los posibles procesos requeridos en este proyecto:

##### **3.1.1 Mecanizado de componentes**

- En primer lugar siempre se debe de asegurar que la pieza está perfectamente acotada, referenciada y clara para la persona que deba fabricarla. Es fundamental que haya un plano con todas las cotas y tolerancias que sean necesarias. El material y el aspecto superficial debe de especificarse, así como sería deseable que también se aportase una indicación de la preforma a emplear para mecanizar y de su estado de suministro.
- En caso de necesitar ajustes especiales comprobando con encajes con otras piezas se debe de revisar si es la medida deseada o se tiene que retocar para cumplir con las necesidades.

- Los materiales a emplear para mecanizar deben ser revisados si están en condiciones para transformarse en una pieza. Por ejemplo, es importante asegurarse de que una barra o postizo de acero no se encuentra totalmente corroído.
- Las herramientas empleadas deben de estar en buen estado, así como la maquinaria.
- La secuencia de mecanizado y requerimientos en cada momento debe de estar bien definida.

### 3.1.2 Impresión 3D

- Impresión 3D
- El formato del archivo 3D a imprimir debe de ser compatible con el programa de la impresora 3D. Al cargar el archivo, se debe asegurar que la pieza que va a imprimir se construirá de manera homogénea, sólida y como un solo cuerpo. En ocasiones al exportar archivos que usan operaciones que combinan sólidos pueden producirse discontinuidades de las entidades de la pieza. Si no se detecta como un solo cuerpo, la impresora lo interpretará como dos cuerpos diferentes a imprimir, con el riesgo de que se produzcan enredos en el hilo extrusor o construcciones insuficientes para seguir imprimiendo. Se podría incluso dar el caso que la impresora tome una pieza como componentes independientes vacíos, sin suficiente sección para su construcción o para que soporte acciones mecánicas.
- A la hora de colocar la pieza en una posición de impresión se debe escoger en base al criterio de necesidades que se demanden. Para zonas en las que quedan voladizos, la impresión extruye unos tabiques de construcción auxiliares que permiten dar soporte a dichas construcciones. Estos tabiques aunque se retiran no dejan un acabado superficial bueno, por lo que se debe valorar si se tiene que evitar la construcción de dichos tabiques orientando la pieza de una manera u otra. La construcción de estos tabiques también supone un coste extra por tiempo y materiales el cual en ocasiones resulta difícilmente evitable.
- El estado de los parámetros de impresión se debe mantener de manera óptima para cada tipo de material a imprimir, sea PLA, ABS u otros, tanto desde su definición como durante el proceso de extrusión. Se deben de tener muy controlados la temperatura de la cama, del ambiente y del extrusor.
- Se debe comprobar siempre el comienzo de la impresión de una pieza, ya que se comienza por aplicar una cama de construcción sobre la que desarrollar la pieza. Es muy importante vigilar que las primeras capas de construcción se extruyen correctamente y dan buen soporte para el resto de la construcción. Si esta primera fase no sale bien, la pieza no se imprimirá bien e incluso se podrá enrollar el hilo en el extrusor.
- Tras acabar las impresiones siempre deben de quitarse los elementos de construcción, los cuales no pertenecen a la pieza realmente.

### 3.1.3 Plegado de chapa

- Los desarrollos de chapa deben comprobarse que son correctos y que tienen un plano de plegado en el que se indica al operario en qué zonas se debe de ejecutar y con qué radios. Antes de comenzar cualquier plegado o comenzar a cortar la chapa necesaria, se debe de asegurar que el objetivo a conseguir es plegable con los medios necesarios

### 3.1.4 Soldadura

- Las operaciones a realizar y los parámetros deben de quedar especificados en planos o documentos anexos, de tal manera que el soldador no tenga confusiones de su tarea a realizar. En caso de no requerir un soldeo en puntos específicos, lo mínimo a aportar es un esquema de proceso claro y definido.
- Los parámetros de soldadura deben ser establecidos por las personas competentes y hay que asegurar que se están cumpliendo en todo momento.
- Los materiales de aporte si los hay deben de estar en perfectas condiciones, así como los gases a emplear y los puestos de trabajo del operario. Si se necesitara algún útil para soldar una pieza se debe asegurar que está habilitado y que cumple su función.

### 3.1.5 Corte láser

Los archivos con los planos para hacer los cortes deben ser exportados correctamente, sin contornos discontinuos que puedan producir una trayectoria incorrecta del láser. El dibujo de la pieza a cortar debe estar limpio de líneas no deseadas para el láser, como ejes, cotas, textos de comentarios, roscas, etc.

## 3.2 Inspección de componentes tras finalizar su fabricación

Tras fabricarse un componente, debe de pasar los siguientes controles para considerarse apto:

- **Control metrológico.** Al terminar una pieza, se debe de consultar su plano y medirla para comprobar si cumple las tolerancias impuestas. Si no cumple dichos requisitos de plano se debe de repetir.
- **Inspección de aspecto superficial.** Al terminar la pieza se tiene que comprobar si su rugosidad, acabado superficial final resultante en la pieza es el deseado. Se debe de inspeccionar la presencia de óxidos u otras sustancias, como suciedades o viruta. En el aspecto de una pieza se debe de hacer una comprobación de riesgos para las personas en contacto con la misma, intentando buscar la presencia de aristas vivas, cantos o geometrías que pueden afectar negativamente a las personas durante su uso o manipulación. Si apareciera un elemento peligroso como éste se debe de hacer desaparecer.
- **Capacidad de cumplimiento de su funcionalidad.** Para cada componente habrá una indicación de su papel o funcionalidad a cumplir que será propio y particular de cada caso. Por ejemplo en el caso de controles de fugas para tubos o conjuntos se deberá seguir las directrices de ensayo por normativa de la empresa y ceñirse a los criterios que indique. Para otro tipo de procesos o comprobaciones se requerirá una ficha técnica con las condiciones de conformidad.

## 3.3 Inspección del montaje de un utilaje o maqueta

Una vez se tengan fabricadas las piezas de un utilaje, hay una serie de puntos a cumplir durante su ensamblado:

- Las piezas se han ensamblado en su posición correcta con respecto a plano. Las técnicas de Poka-yoke en estos casos simplifican o evitan tener que hacer esta inspección por no haber posibilidad de error.
- Los componentes se han unido todos en su posición y de acuerdo a los diseños propuestos con respecto a los planos.

- Se han usado las técnicas de atornillado para mejorar la precisión metrológica del montaje.
- Los componentes encajan en sus posiciones con sus juegos u holguras esperadas. Puede ocurrir que dos piezas no encajen cuando deberían o que queden holgadas cuando deberían ir sin ella. En cualquier caso se debe asegurar que no se produce esta situación. En el caso de que se produjera esta situación habría que identificar los componentes que dan problemas y realizar modificaciones o cambios por pieza nueva según requiera cada caso.

Las uniones entre componentes son sólidas y corresponden con los objetivos propuestos. No pueden quedar elementos fijos mal atornillados o registrados en ningún caso y pueden llegar a suponer un peligro en las peores situaciones según el caso, especialmente en utilajes que vayan accionados por altas cargas o en posicionamientos para soldadura.

### **3.4 Inspección de la funcionalidad de una maqueta o útil**

#### **Inspección de la funcionalidad de una maqueta o útil**

Una vez montado un utilaje se procederá a inspeccionar si es apto para cumplir con su función. Para ello se tiene que analizar los siguientes puntos:

- **Metrología del utilaje.** Se deberá comprobar que los utilajes montados tienen las cotas para ejecutar con su función. En el caso de maquetas de control geométrico este es el factor más importante a cumplir. Para algunos utilajes de montaje o posicionamiento, una desviación de la posición nominal de sus componentes provoca que coloque los elementos desviados y por tanto con errores. En cuanto a utilajes para conformar elementos como matrices para conformar chapa, repercute en que los resultados a obtener no se corresponderán con el objetivo.
- **Los elementos y/o mecanismos presentes funcionan de acuerdo a lo esperado.** Los guiados en elementos de maquetas de montaje o utilajes son suaves y asequibles a las capacidades físicas de los operarios que la manejan, sin comprometer su salud. Los componentes interactúan entre sí dando resultados previstos. En un utilaje para conformar chapa sería favorable si el producto que obtuviera fuera capaz de pasar los requisitos para componentes mencionados anteriormente; es decir, que los útiles funcionan.
- Su uso es factible y no trae problemas para el proceso, operación o para el operario.

## **4 Descripción del entorno de fabricación y de los medios disponibles para la ejecución del proyecto.**

### **4.1 El taller de prototipos y su posición respecto al ciclo de vida del producto y su estandarización.**

El taller de prototipos se caracteriza por tener unas amplias capacidades de producción en cuanto a variabilidad del tipo de producto a fabricar. Debe ser capaz de emplear sus medios disponibles para fabricar una amplia variedad de productos. El taller en el que se realiza el proyecto está especializado en la fabricación de prototipos de intercambiador EGR, pero sus

capacidades van mucho más allá de los intercambiadores como tal. El taller es capaz de diseñar y fabricar un gran espectro de productos y utillajes para dar soporte a la fábrica en la que se encuentra, tanto para la producción a pequeña escala como dar soporte de medios para la gran escala a la planta de producción. Su especialización no está cerrada a un sólo producto, pero por contra, su ritmo de producción es bajo en comparación a una línea de producción.

Todo producto antes de ser lanzado a la producción a gran escala tiene que pasar por un proceso de desarrollo del producto, con un diseño previo, ensayos y pruebas. Durante el proceso de definición, diseño y desarrollo del producto se debe pensar en ambas fases de fabricación, pequeña escala (primeros comienzos, pruebas y prototipos) y gran escala. Cualquier producto inicialmente puede parecer una idea factible de la manera en la que está diseñado, y las prestaciones y requisitos en los primeros cálculos teóricos y simulaciones pueden apuntar al éxito del mismo. Sin embargo, la teoría no siempre se corresponde con la práctica y se deben contrastar los resultados con una prueba real. La realización de un prototipo permite dar el paso de hacer real el producto, comprender las dificultades que puede tener, hacer desarrollos de nuevos productos o tecnologías.

#### **4.2 La importancia del éxito de un prototipo sobre el futuro de un producto.**

En el mundo industrial y en especial en la industria de la automoción es frecuente que un fabricante subcontrate la fabricación de algunos componentes de sus productos. Conseguir ganar una concesión de la fabricación de un producto es de vital importancia para el futuro de un producto y de la empresa destinada a dicha tarea. La manera de demostrarle a dicho cliente de que se es capaz de fabricar el componente con los requisitos deseados es presentándoles unos prototipos que cumplan con sus necesidades. Para ello es necesario que el diseño del producto sea óptimo y que el taller de prototipos sea capaz de construirlo lo mejor posible con los medios que dispone.

#### **4.3 Maquinaria, recursos disponibles y capacidad del taller.**

El taller disponen de centro de mecanizado, torno, rectificador, plegadora, prensa hidráulica, soldadura TIG, SAW, MIG/MAG y oxiacetilénica, pulidora, sierras de corte, soldadura láser, impresora 3D.

Además de toda esta maquinaria, de podrá emplear los hornos de la línea de producción para realizar las soldaduras de brazing.

#### **4.4 Condiciones para la subcontratación externa de servicios.**

El taller de prototipos se reserva la posibilidad de subcontratar algunos servicios de fabricación si se necesitan de manera imprescindible. El taller tiene capacidades para fabricar una amplia gama de productos, pero puede darse el caso que requiera de componentes que no pueda fabricar. Las posibles razones para externalizar una tarea son las siguientes:

- El componente a fabricar no puede ser fabricado en el taller por no disponer de medios capaces de hacerlo.

- El componente a fabricar tiene urgencia para llegar a cumplir plazos de entrega, por lo que con las máquinas y operarios disponibles no se llega a tiempo a la fecha límite de fabricación.

En ocasiones en un taller puede darse un periodo de tiempo con saturación de recursos y conviene más asumir un coste de fabricación mayor antes que no llegar a los plazos y que suponga un impacto económico mayor sobre el proyecto.

- El componente a fabricar resulta más económico o conveniente de fabricar fuera del taller.

Por ello se tratará de seguir las siguientes pautas durante el diseño de utilajes en el taller:

- Los diseños de maquetas, utilajes y demás productos del taller se tratarán de ajustar con la fabricabilidad en base a los medios disponibles, de tal manera que disminuyan costes de fabricación, de materiales, de tiempo y de mano de obra. Se debe subcontratar la fabricación de componentes lo menos posible siempre y cuando no comprometa algún aspecto vital para el proyecto.
- Los utilajes o componentes que deban compaginar partes hechas en el taller y externamente deben diseñarse de tal manera que eviten la aparición de problemas a la hora de su uso o montaje. Se procurará dar la mayor cantidad de detalles y especificaciones para no llegar a ningún malentendido para la fabricación y montaje de cada componente.
- Los componentes cuya fabricación sea subcontratada deberán incluir como mínimo un plano con toda la información necesaria para su fabricación, así como parámetros de fabricación, proceso, tolerancias, requisitos de material u otros datos que procedan.
- Los documentos emitidos para la fabricación de componentes subcontratados deberán siempre ir identificados con el título del trabajo o proyecto, el nombre de la pieza y el número de requisitoria o solicitud para el departamento, de tal manera que cualquier componente o trabajo quede siempre identificado.

#### **4.5 Capacidades y competencias de fabricación de los trabajadores del taller.**

Para el correcto funcionamiento y planificación del taller es necesario conocer las capacidades y formación profesional de cada trabajador. A continuación se muestra una jerarquía disponible de los recursos humanos disponibles para el taller:

# Responsable del Área de prototipos

Maestro de taller de mecanizado

Líder de equipo del taller

Ingeniero de prototipos

Operarios de taller tipo 1

Operarios de taller tipo 2

Presentada la jerarquía, se indica en un cuadro general las tareas que puede hacer cada uno de los operarios disponibles en el taller:

Responsable del Área de prototipos

- Dirección y toma de decisiones
- Uso de máquinas de uso general
- Uso de máquinas plegadoras
- Uso de máquinas de rectificado y pulido
- Uso de máquinas de corte
- Uso de maquinaria de mecanizado: Torno
- Supervisión de fabricación
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller
- Impresión 3D

## Maestro de taller de mecanizado

- Dirección y toma de decisiones
- Uso de máquinas de uso general
- Uso de máquinas plegadoras
- Uso de máquinas de rectificado y pulido
- Uso de máquinas de corte
- Uso de maquinaria de mecanizado: Torno, fresadora y centro de mecanizado
- Uso de herramientas CAM
- Supervisión de fabricación
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller

## Líder de equipo del taller

- Dirección y toma de decisiones
- Uso de máquinas de uso general
- Uso de máquinas plegadoras
- Uso de máquinas de rectificado y pulido
- Uso de máquinas de corte: Torno, fresadora
- Uso de máquinas de soldadura: TIG,MIG,SAW
- Supervisión de fabricación
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller

## Ingeniero de diseño

- Dirección y toma de decisiones
- Uso de máquinas de uso general
- Uso de maquinaria de mecanizado: Fresadora CNC
- Diseño CAD
- Uso de herramientas CAM
- Supervisión de fabricación
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller
- Impresión 3D

## Operarios de taller tipo 1

- Uso de máquinas de uso general
- Uso de máquinas plegadoras
- Uso de máquinas de rectificado y pulido
- Uso de máquinas de corte
- Uso de máquinas de soldadura
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller

## Operarios de taller tipo 2

- Uso de máquinas de uso general
- Uso de máquinas plegadoras
- Uso de máquinas de rectificado y pulido
- Uso de máquinas de corte
- Ensayos de estanqueidad
- Montaje de taller
- Inspección
- Operaciones varias de taller

## 5 Detalles y desarrollo de utilajes para la fabricación de componentes en el taller.

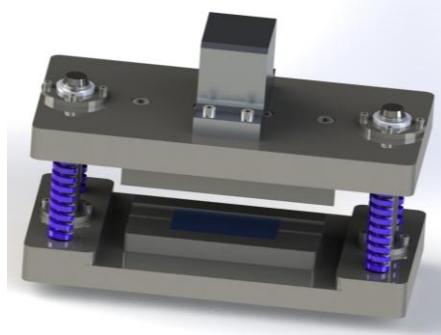
### 5.1 Fabricación del tubo de refrigeración de gases

El tubo se procederá a fabricar mediante una secuencia de 2 operaciones de plegado y soldeo láser que se detallarán a continuación. Los utilajes están diseñado para un tubo que sigue un estándar de empresa, luego debe de ser capaz de conformar tubos con la misma sección pero diferentes longitudes, tanto como para este como para otros proyectos.

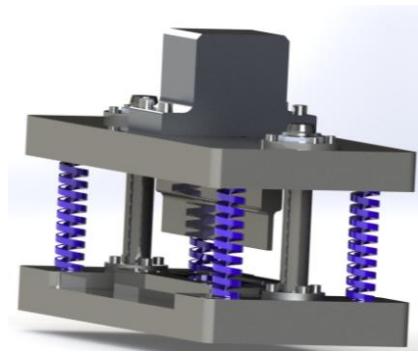
Se obtendrá el desarrollo de la preforma del tubo mediante herramientas de CAD y se ordenará cortar a las medidas indicadas en el plano del mismo.

#### 5.1.1 Primera fase de plegado en U

Se procederá a conformar el desarrollo mediante un plegado en forma de U. Para ello se conformará el desarrollo del tubo sobre la matriz de las figuras [Ilustración I](#) y [Ilustración II](#):



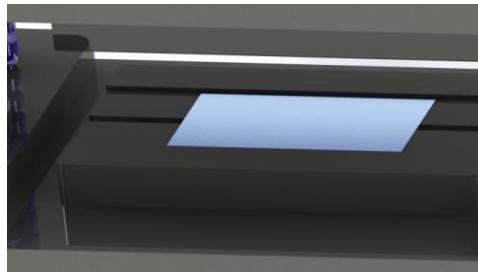
[Ilustración I. Vista general de la matriz de plegado de tubos de refrigeración de gases.](#)



**Ilustración II.** Vista general 2 de la matriz de plegado de tubos de refrigeración de gases.

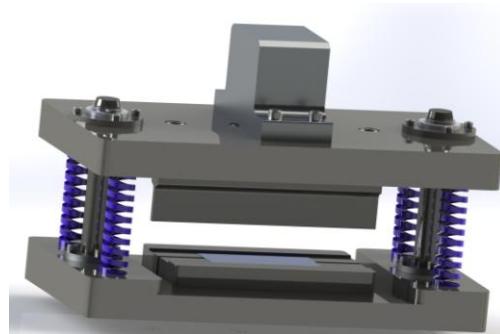
La matriz consta de un macho que empuja el desarrollo del tubo dentro del alojamiento entre los dos postizos sufridora. El macho tiene forma estrecha y alargada en su extremo para permitir que el desarrollo del tubo no colisione con sus paredes antes de que baje hasta el límite del proceso. Se encuentra unido a la placa superior mediante tornillos y pasadores y sigue el movimiento que determinan las columnas guías en sus laterales.

El desarrollo del tubo queda registrado entre los límites de los dos postizos de sufridora, quedando registrado y apoyado por los límites físicos de los postizos. Entre ambos existe un espacio con las dimensiones exteriores del tubo, sobre el que se introducirá la chapa del desarrollo al bajar el macho ([Ilustración III](#)).



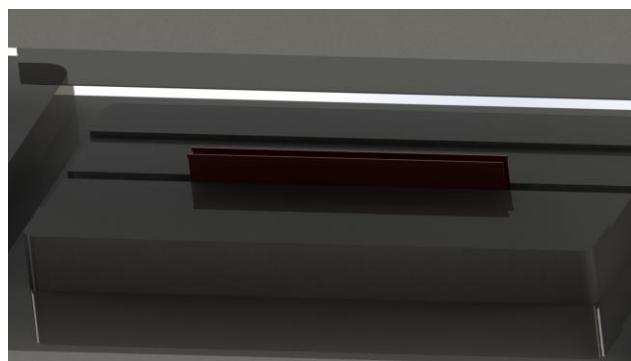
**Ilustración III.** Detalle registro de desarrollo de preforma para plegar en U.

Las columnas se encuentran ancladas y registradas con ajuste en la placa inferior, y establecen un guiado preciso a través de unos casquillos con jaula de bolas en la placa superior. Tanto en la placa inferior como superior se han colocado unas arandelas fabricadas por corte láser atornilladas a placa inferior y superior para evitar desplazamientos axiales en las columnas y los casquillos respectivamente. En las esquinas de las placas se encuentran alojados unos muelles de tal manera que controlen la posición del macho. Sin efectuar fuerza sobre el empujador se encargan de sostener la placa superior, permitiendo que haya espacio para acceder a los postizos sufridora y se pueda colocar el desarrollo del tubo ([Ilustración IV](#)).



**Ilustración IV.** Vista de muelles, guiado de componentes y espacio libre para trabajo.

Tras ser accionada la matriz por el operario, el desarrollo se introducirá en la holgura y el resultado a obtener será la forma de "U" de la [Ilustración V](#).

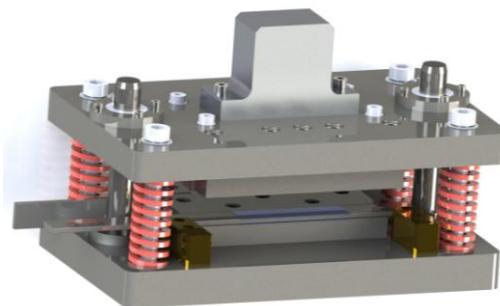


**Ilustración V.** Resultado de plegado en U de la matriz.

Tras accionar la matriz y comenzar a cesar la fuerza sobre el empujador, los muelles desplazan la placa superior para recuperar su posición natural, permitiendo extraer el tubo plegado en "U" y repetir el proceso.

#### 5.1.2 Plegado de segunda fase y conformado. Cierre de aletas del tubo y mitigación de la recuperación elástica del material .

Para terminar de plegar el tubo se empleará el utilaje con doble propósito de la [Ilustración VI](#), [Ilustración VII](#), e [Ilustración VIII](#):



**Ilustración VI.** Vista general matriz de plegado final y conformado de tubo de refrigeración de gases.

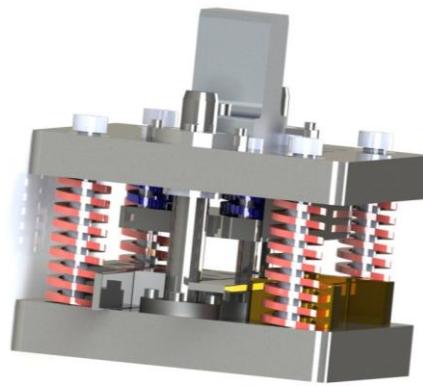


Ilustración VII. Vista general 2 matriz de plegado final y conformado de tubo de refrigeración de gases.

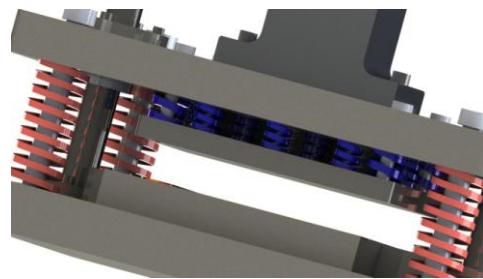


Ilustración VIII. Detalle del pisador de la matriz.

El utillaje para terminar de plegar los tubos consiste en una matriz de doble operación. Por una parte, se introduce el primer pliegue del tubo en "U" sobre una baqueta de registro con la forma interior del tubo, limitada por 2 topes de bronce y apoyada en la sufridera central. El tubo queda registrado y sujeto por la baqueta ([Ilustración IX](#), [Ilustración X](#)).

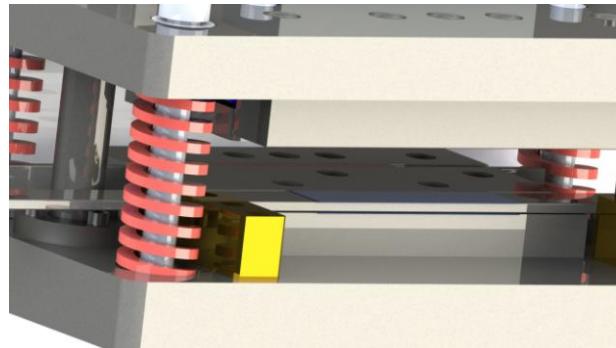


Ilustración IX. Registro para baqueta sobre la matriz.



Ilustración X. Detalle de registro del tubo con la baqueta y alas salientes a plegar.

Al accionar la matriz el pisador fija el tubo y el macho baja conformando una aleta en el tubo limitada por la baqueta ([Ilustración XI](#)).

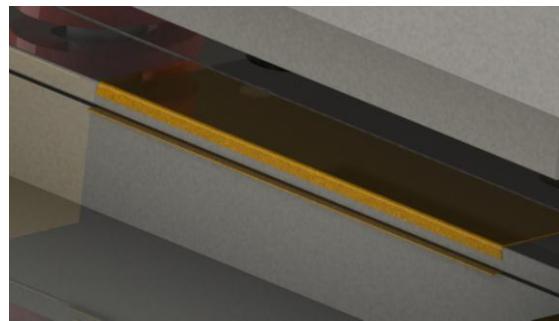


Ilustración XI. Detalle de ala del tubo plegada contra la baqueta.

Para terminar de plegar el tubo, se tiene que sacar la baqueta sin quitarle el tubo, darle la vuelta y volver a colocarla en el utilaje apoyando la cara opuesta en la sufridera para terminar de plegar la aleta restante.

Para acabar de conformar el tubo, al terminar el último pliegue se coloca la baqueta con el tubo plegado en el alojamiento entre ambas sufrideras, quedando registrado por ellas y por la baqueta. A continuación se acciona la matriz de nuevo y el pisador se encará contra las sufrideras y la cara libre del tubo sobre la baqueta. Esta operación pretende mitigar el efecto de la recuperación elástica del material durante su plegado, que queda muy levemente arqueado. Junto con los registros de baqueta y sufrideras, la cara libre será ligeramente empujada contra la baqueta y paredes de sufriera, consiguiendo un tubo fielmente rectangular como se muestra en la Ilustración XII el lado izquierdo.

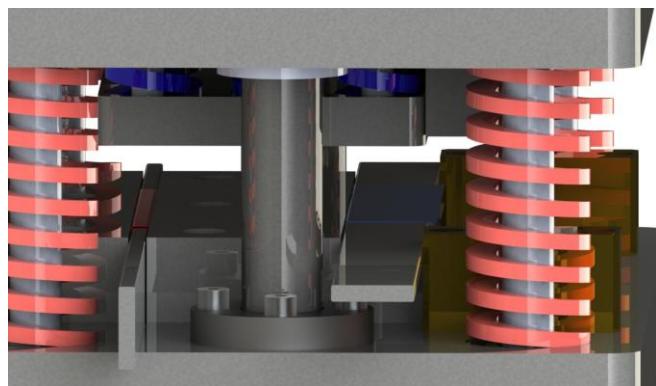
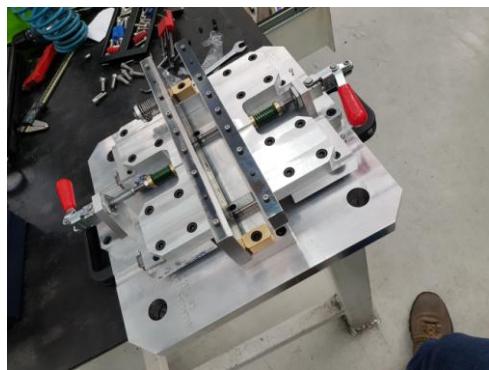


Ilustración XII. Detalle de alojamiento de baqueta para conformar el tubo, a la izquierda de la imagen.

### 5.1.3 Proceso de soldadura láser del tubo.

Se ha diseñado un utilaje ([Ilustración XIII](#)) para poder soldar los tubos en el centro láser sobre una mesa de propósito general, de tal manera que cumpla su función con la fabricación de este intercambiador, pero para que también pueda servir para soldar otros tubos de diferentes dimensiones cambiando una única pieza accesorio que se adapte a las nuevas medidas de otro tubo. En este utilaje resulta muy importante conseguir una alta repetitibilidad de proceso, para poder asegurar que salgan todos los tubos iguales. La soldadura será responsabilidad de los ingenieros responsables de controlar los parámetros de la misma y los robots, por tanto no se tratarán dichos parámetros en este proyecto. Se partirá de la hipótesis de que los posibles contratiempos y fallos en las condiciones de la soldadura no se van a producir.

Consiste en dos laterales guiados a través de patines sobre guías, los cuales registran al tubo. Estos laterales están accionados por dos clavijas manuales por el operario. Dichos laterales constan de alas para mantener los pliegues del tubo en su posición nominal al acoplarlo al utilaje. Existe una pieza de acoplamiento entre lateral y los patines, sobre la que actúan las clavijas y provocan el desplazamiento guiado. El guiado es mediante dos perfiles de guía de alta precisión sobre los que se deslizan unos patines con el contorno de los mismos. Para unir los patines al acople de los laterales se ha diseñado unos registros que permiten atornillar los patines y unirlos con el acople.



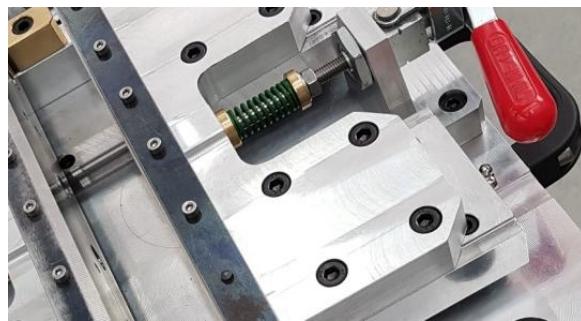
[Ilustración XIII. Utilaje de soldadura láser de tubos de refrigeración de gas.](#)

Para proceder a soldar los tubos se debe introducir el tubo plegado sobre su alojamiento a tope de su calce y aproximar los laterales accionando las clavijas ([Ilustración XIV](#)).



[Ilustración XIV. Utilaje con calce de alojamiento para tubo.](#)

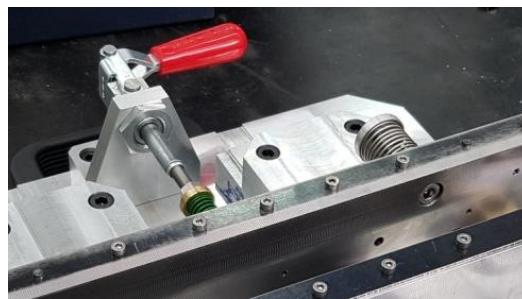
En el acople para laterales en conjunto con la clampa existe un sistema unión con amortiguación con muelle ([Ilustración XV](#)). El funcionamiento del sistema consiste en atornillar al vástago de la clampa un tornillo solidario al acople de los laterales. Sobre la longitud del tornillo se añaden unas arandelas que alojan un muelle retenido por tuerca. El muelle se monta ejerciendo una compresión sobre el acople por parte de la cabeza del tornillo, consiguiendo que durante el deslizamiento sobre las guías que acople y clampa se desplacen solidarios. En cuanto se cierran los laterales, la cabeza del tornillo avanzará levemente, perdiendo su contacto con el acople. La clampa mantendrá los laterales en su posición gracias a sus sistema de bloqueo, quedando un contacto debido a la presión de los muelles y el bloqueo de la clampa. El tope del lateral que aloja al tubo vendrá dado por unos postizos anclados a la base, los cuales controlarán el avance del mismo, y el tope de avance del lateral restante es debido al contacto con el otro lateral.



[Ilustración XV. Acople de clampa con laterales.](#)

La pieza de apoyo de los tubos tendrá en sus extremos en las esquinas un pequeño desalojo en forma de taladro, de tal manera que las esquinas no afecten al tubo a la hora de asentarlo sobre el apoyo.

En el lateral en el que se asienta el tubo, se ha introducido un sistema de extracción cómodo, de tal manera que al empujar una arandela se pueda extraer el tubo sin realizar posiciones que resientan las manos del operario ([Ilustración XVI](#)). Consiste en un tornillo acoplado al lateral con una arandela y un muelle. Cuando está en reposo, la cabeza del tornillo queda escondida. Una vez que se abren los laterales, se introduce la mano en forma de cuchara entre el hueco y se empuja la arandela. Al empujar se obliga al tornillo a sacar la cabeza y a expulsar el tubo hacia la mano. El retorno del tornillo es inmediato en cuanto se deja de aplicar la fuerza, quedando escondida la cabeza.



[Ilustración XVI. Detalle de expulsor manual.](#)

La trayectoria y posición de la clampa respecto al resto de componentes está cuidadosamente elegida para que durante el ciclo de apertura y cerradura del utilaje no colisionen las manos del operario con otro elemento del utilaje, de tal manera que se evitan lesiones y molestias para el operario. Las clampas están colocadas en un sentido de aplicación de cierre de tal manera que el operario tenga más acción y fuerza para cerrar los laterales. Aún así, la fuerza necesaria no es alta, luego no supone un gran esfuerzo para el operario; el movimiento para mover los laterales del utilaje se asemeja a remar en una barca con ambas manos.

Se demandó por parte de los ingenieros encargados de la soldadura que quedara un cierto hueco para que entre el gas de protección por dentro del tubo. A la hora de orientar el gas de protección durante el proceso de soldadura, se pedía orientar el flujo de gas de protección con un ángulo tal que pueda barrer la zona exterior del cordón, así como que pueda introducirse por dentro del tubo para tener también protección por dentro del tubo donde no se puede acceder visualmente a inspeccionar la soldadura tan fácilmente. El aporte de gases viene dado por los robots de soldadura, por lo que no es necesario poner ninguna toma de gas dentro del utilaje en su diseño.

## 5.2 Fabricación del colector. Embutición de protuberancias.

El colector se suministrará al taller mediante corte láser, siendo necesaria una operación de embutición de protuberancias para que centren el colector en su posición correcta dentro de la virola.

En primer lugar, se procederá a preparar el contorno del colector para cortar por láser. Para ello, se extraerá su contorno usando herramientas de CAD y se exportará a un plano para la empresa de corte láser.

Recibido el corte láser de los colectores, se procederá a embutar las protuberancias presentes en los mismos usando una matriz de embutición diseñada específicamente para este colector. Las protuberancias consiguen centrar los colectores y tubos en su posición correcta cuando se ensambla el haz del intercambiador.

La matriz empleada para la embutición de las protuberancias es la de la [Ilustración XVII](#).

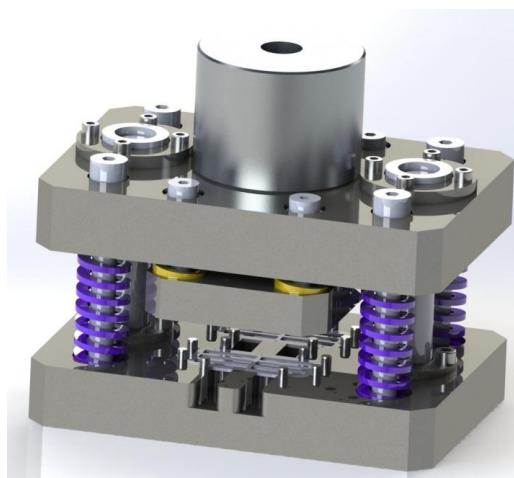
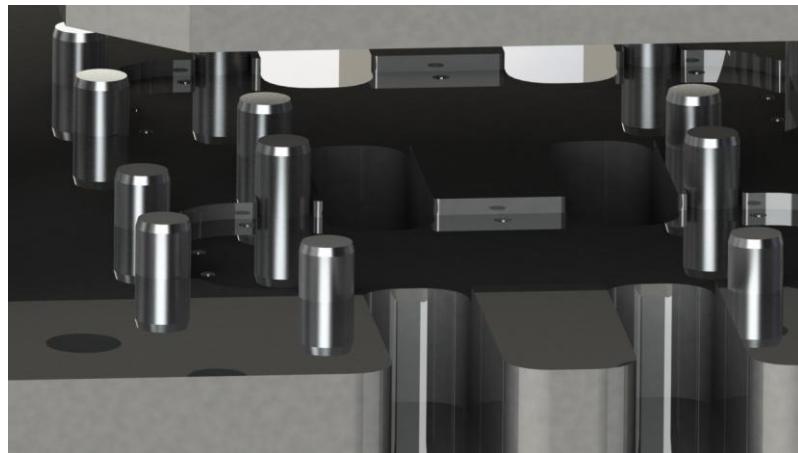


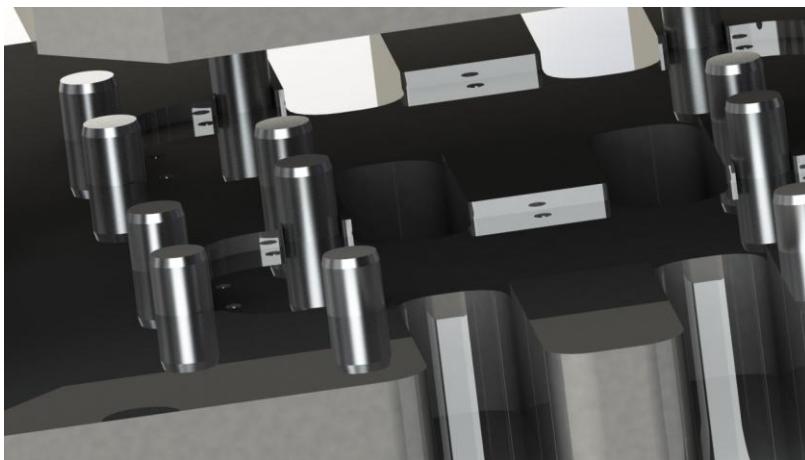
Ilustración XVII. Matriz de embutición de protuberancias del colector.

La matriz se accionará empleando la plegadora del taller. Consiste en una placa inferior que trabaja como una hembra sufridora alojando a los colectores, con los alojamientos correspondientes para realizar las embuticiones de las protuberancias ([Ilustración XVIII](#)).



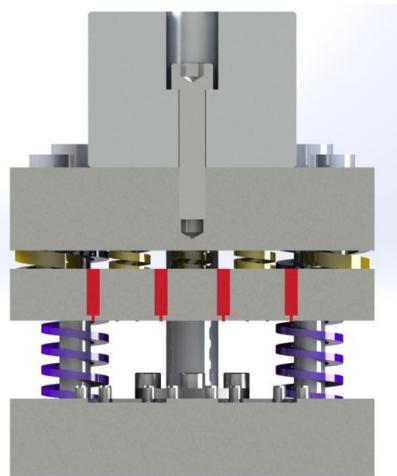
[Ilustración XVIII. Detalle de hembra con forma de colector y protuberancias.](#)

La hembra reproduce la forma del colector en una cajera con la profundidad necesaria para alojarlo, pero sin ser mayor que el espesor del mismo (si no, la matriz no efectuaría su trabajo correctamente, quedando el colector sin pisar e incluso las puntas no se introducirían en el material del colector). Además de la cajera con la forma de los colectores, alrededor de la misma se encuentran tangentes a su trayectoria 8 pasadores que registran al colector y lo guían desde su colocación([Ilustración XIX](#)). La existencia de los pasadores aseguran el registro de los colectores en caso de desgaste del contorno de la cajera, quedando guiado en cualquier situación.



[Ilustración XIX. Detalle de pasadores de registro sobre contorno del colector.](#)

Las protuberancias se forman a través del empuje que sufre el colector de unas puntas alojadas en el pisador de la matriz al accionar fuerza sobre la misma ([Ilustración XX](#)).



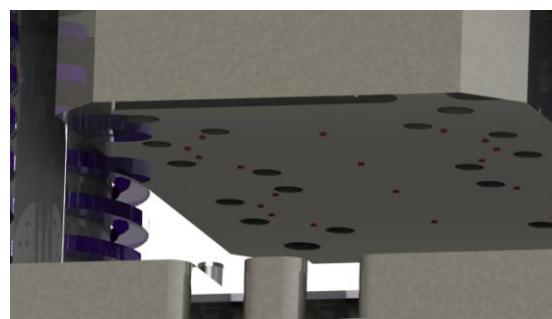
**Ilustración XX. Detalle de puntas alojadas en el pisador.**

Las puntas como se puede apreciar, quedan alojadas en el pisador y asoman su cabeza estrecha bajo el pisador la distancia requerida para hacer la embutición([Ilustración XXI](#)).



**Ilustración XXI. Detalle de cabeza de puntas para embutir protuberancias.**

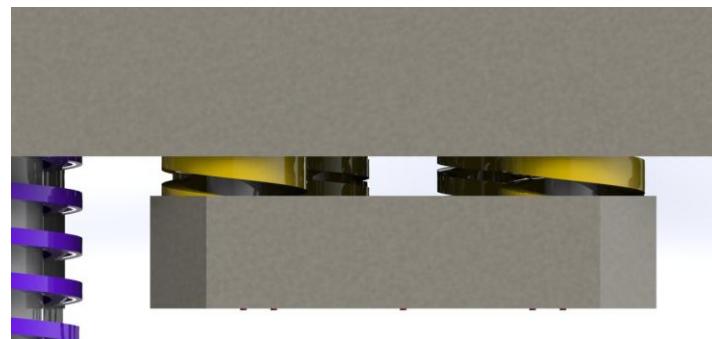
Las puntas se encuentran distribuidas a lo largo del pisador para cada punto correspondiente a embutir en ambos colectores ([Ilustración XXII](#)). Al accionarse la matriz, las puntas entrarán en contacto en primer lugar con los colectores, quedando retraídas y asomando el extremo opuesto conforme se vaya cerrando la matriz. El pisador irá aplicando carga sobre los colectores y sobre la hembra de manera progresiva a lo largo del avance del utilaje debido a las reacciones producidas por los muelles alojados en el mismo. Conforme descienda el utilaje los pasadores llegarán a quedar alojados dentro del pisador, pero con suficiente hueco para que no colisionen por diámetro o por profundidad.



**Ilustración XXII. Distribución de puntas de embutición.**

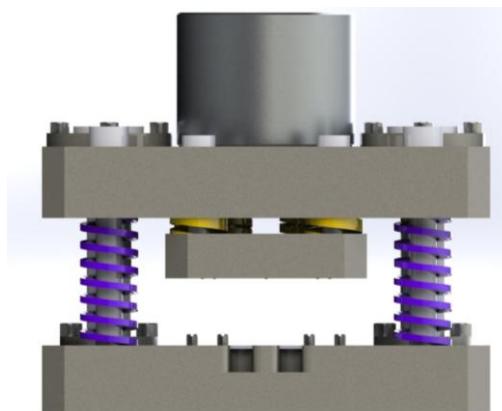
A lo largo del avance del útil, llegará un punto en el que aún quede espacio entre pisador y la placa superior, pero los extremos de las puntas entren en contacto con esta última. En este

momento, comenzará la embutición de las puntas, introduciéndose en el colector y empujando el material dentro de los alojamientos de la hembra ([Ilustración XXIII](#)).



[Ilustración XXIII. Detalle de muelles de empuje sobre el pisador.](#)

La matriz ha sido diseñada para que pueda embutar las protuberancias de 2 colectores a la vez, de tal manera que en cada actuación de la prensa se realicen colectores suficientes para fabricar 1 intercambiador. Con los medios disponibles resulta más conveniente limitar el número de piezas que es capaz de embutar el utilaje para asegurar que la distribución de presión de la prensa sobre los colectores es la correcta, de tal manera que se asegure que todas las protuberancias salen con la profundidad requerida. Las zonas más cercanas al punto de aplicación de la fuerza de la plegadora se podrán asegurar que se realizan las embuticiones con la fuerza y profundidad suficiente, en cambio, cuando se aleja del punto de aplicación se pierde capacidad de embutición y puede que las protuberancias no se embutan con la suficiente profundidad o fuerza. Por ello, se han colocado unos muelles de cargas altas distribuidos por el pisador y colocados estratégicamente, de tal manera que la transmisión de fuerza a cada punta sea efectiva y suficiente para realizar la embutición correctamente ([Ilustración XXIV](#)). Esto resulta vital para que las puntas bajen a la misma distancia y con la misma fuerza todas a la vez. En elementos tan pequeños como estas protuberancias resulta necesario un equilibrio lo más correcto posible en los muelles de la matriz, así como de un guiado preciso, rígido y fiable frente a las cargas a las que se enfrente.



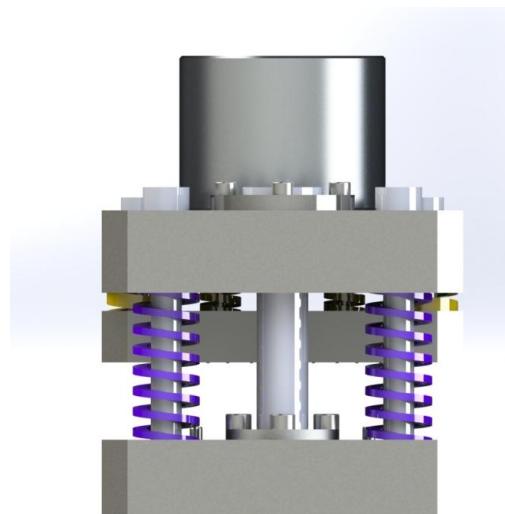
[Ilustración XXIV. Vista lateral de muelles del pisador.](#)

La ubicación de los muelles en el pisador está intencionada para distribuir una presión más uniforme y enfocada a las necesidades de ubicación de las protuberancias. Colocar muelles solamente en los puntos con los tornillos pasadores no daría un resultado igual que con esta

configuración. Lo que ocurriría en dicho caso es que existiría más variabilidad de la profundidad de embutición dentro de las protuberancias de la misma estampada de matriz. La distribución de presión no resultaría tan homogénea y por tanto habría puntas con capacidad para aplicar cargas diferentes sobre los colectores.

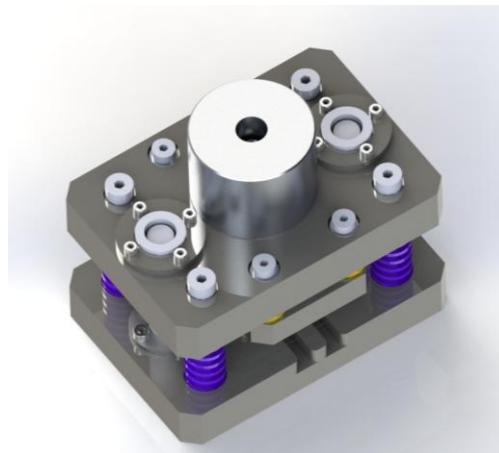
El empuje de la matriz resulta influyente especialmente en la distribución de presiones que se producen, magnificándose conforme se aumentan las dimensiones del utilaje y se complican los detalles de la operación de conformado. Para conseguir una mejor transmisión de la fuerza se tiene que pretender centrar la operación a realizar con respecto al eje de aplicación de la fuerza en el empujador de la matriz. El empujador por consiguiente, contra mayor superficie de apoyo tenga podrá transmitir las cargas de manera más uniforme y eficaz por el utilaje.

El utilaje debe intentar ser colocado en el punto más central del empujador en la prensa, para intentar conseguir transmitir la carga lo menos desviada posible ([Ilustración XXV](#)). La aplicación de la fuerza de la prensa descentrada puede notarse en la ejecución de un proceso de conformado como este, por tanto, con una mejor distribución de fuerzas a través de esta configuración de resortes se está aumentando la repetibilidad del proceso.



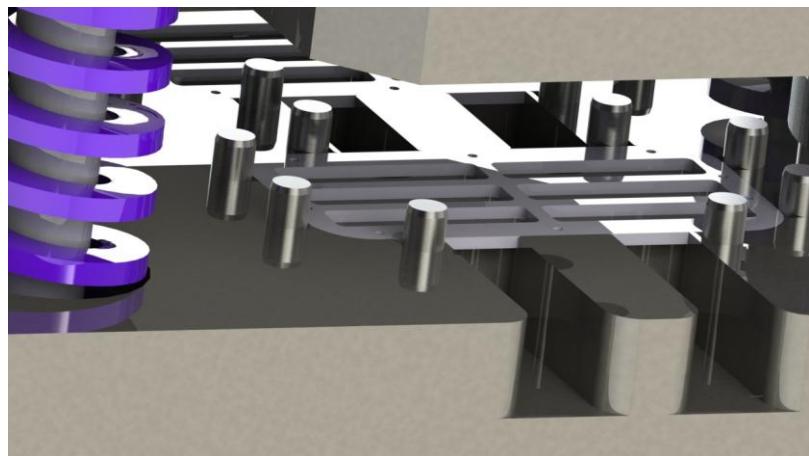
[Ilustración XXV. Vista transversal de la matriz.](#)

El guiado en la matriz se compone de dos columnas guiadas por casquillos con jaula de bolas, así como de tornillos pasadores en las esquinas guiados por casquillos en los muelles de las esquinas. El pisador también está guiado a través de 4 puntos por tornillo pasador y casquillo en la placa superior. Se ha intentado abrir el guiado del pisador lo máximo posible, para dejar más superficie de aplicación al empujador y ganar más espacio para distribuir los muelles eficazmente ([Ilustración XXVI](#)).



**Ilustración XXVI.** Vista en perspectiva superior de elementos de guiado.

El tope de proceso se produce cuando el pisador entre en contacto con la hembra y la placa superior a la vez, dándose un tope físico. Al cesar la fuerza se liberará el pisador enfrentado a la hembra con la reacción de los muelles en las esquinas y se obtendrán los colectores embutidos ([Ilustración XXVII](#)).



**Ilustración XXVII.** Colectores con protuberancias embutidas.

La secuencia de embutición de protuberancias que debe realizar el operario es la siguiente:

1. El operario procederá a introducir el colector sobre el alojamiento correspondiente en la matriz. Introducirá 2 colectores en cada ciclo de trabajo.
2. El operario asegurará que el colector entra en su ranura correspondiente, guiándolo con un útil hasta el fondo del alojamiento. Se pueden usar unas pinzas o un imán montado sobre una varilla. Se desaconseja usar los dedos por seguridad.
3. Una vez haya sido colocado, se procederá a accionar la plegadora para que empuje la matriz y embuta las protuberancias.
4. Tras haber presionado el colector durante aproximadamente 3 o 5 segundos, se retirará la fuerza sobre el empujador de la matriz, retrayendo la plegadora hasta que la matriz quede libre de cargas. Se recomienda elevar un palmo más por encima del empuje de la matriz a

la plegadora para evitar accidentes por atrapamiento involuntario de manos o extremidades debido a un accionamiento accidental de la plegadora.

5. El operario extraerá el colector terminado con sus protuberancias embutidas de la matriz. Para realizar la extracción usará las pinzas u otro útil en los desalojos. Estos desalojos poseen espacio suficiente para meter unas pinzas o extraer los colectores con un objeto que efectúe una palanca.

El resultado a obtener tras la embutición es el de la [Ilustración XXVIII](#):

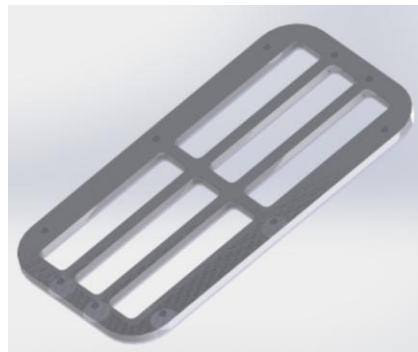


Ilustración XXVIII. Colector

### 5.3 Fabricación de virola.

La virola se va a realizar en una secuencia de 3 pasos, siendo 2 de conformado de la forma de la chapa y el último de soldadura. La forma de la virola presenta una complejidad alta a la hora de fabricarla con los medios disponibles. El cuerpo de la virola presenta unas protuberancias en sus laterales, así como una embocadura para el tubo de refrigeración de agua que deben ser embutidos, junto con el conformado de los pliegues de la virola en su forma rectangular. Esta virola tendrá un desarrollo de chapa irregular y resulta complicado de obtener el resultado final objetivo.

La manera disponible para conformar la virola es mediante matrizería accionada por la plegadora en dirección vertical. El conformado de la geometría de la virola se hará en 2 pasos de conformado de chapa.

#### 5.3.1 Primer paso de conformado de virola: embutición de protuberancias, embocadura para el tubo de refrigeración y pliegue de 2 esquinas.

Para conseguir este paso se ha diseñado una matriz de doble pisador como se muestra a continuación en la [Ilustración XXIX](#).

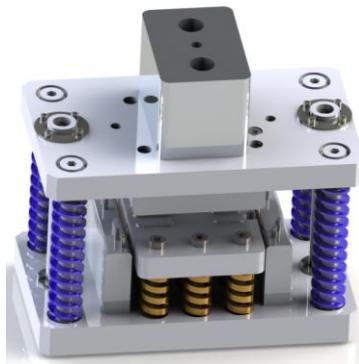


Ilustración XXIX. Matriz de primer paso de conformado de la virola

La secuencia de deformación en la matriz es la siguiente. Conforme se vaya cerrando la matriz con el desarrollo de chapa colocado sobre los pasadores en los registros laterales ([Ilustración XXX](#)) , el pisador hembra ([Ilustración XXXI](#)) se acercará contra el desarrollo de la virola apoyada sobre el pisador macho ([Ilustración XXXII](#)) y se irá aplicando carga sobre la chapa. Los pisadores van guiados en todo momento por tornillos de retención sobre casquillos, de tal manera que haya un guiado y precisión consistente de los pisadores.



Ilustración XXX. Desarrollo de chapa apoyado en su posición de trabajo

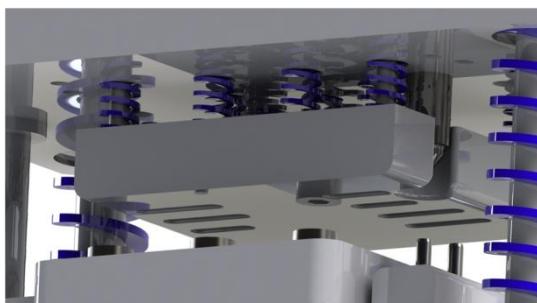


Ilustración XXXI. Pisador hembra

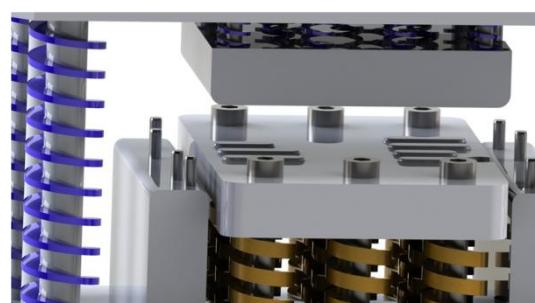


Ilustración XXXII. Pisador macho

El macho para el embocado del tubo ([Ilustración XXXIII](#)) asomará por el pisador hembra y comenzará una fase en la que se conformarán las protuberancias y la boca del tubo simultáneamente con el avance de la matriz. La rigidez de los muelles que soportan el pisador macho provocará que sea necesaria una carga muy alta para que se cierre la matriz.

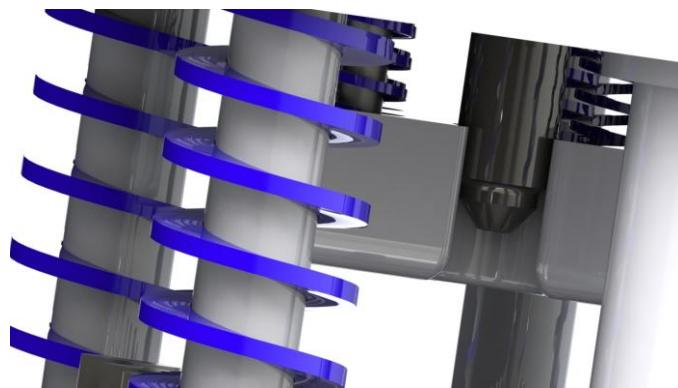


Ilustración XXXIII. Macho para embocado del tubo de refrigeración de agua

El desarrollo de chapa tiene que deformarse con esa fuerte carga a medida que avance la matriz, hasta que las alas del desarrollo comiencen a entrar en contacto con los postizos laterales. A partir de entonces, se comenzarán a realizar los pliegues de las alas de la virola, introduciéndose como un embutido profundo que pliega la virola en forma de U. El macho de embocado estará en todo momento registrando la boca del tubo para que se mantenga en su posición, impidiendo desplazamiento de material. Al llegar al final del tope de proceso, se cesará la fuerza sobre la matriz y se extraerá la primera fase ([Ilustración XXXIV](#)).



Ilustración XXXIV. Resultado de primera fase de plegado

### 5.3.2 Segundo paso de conformado de virola: plegado final y cierre del desarrollo

Se ha diseñado una matriz para terminar de plegar la virola, cerrando el desarrollo a una sección rectangular. El utilaje es el que se muestra en la [Ilustración XXXV](#).

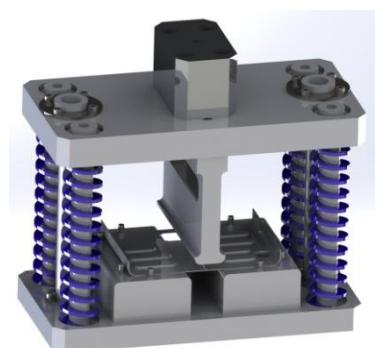
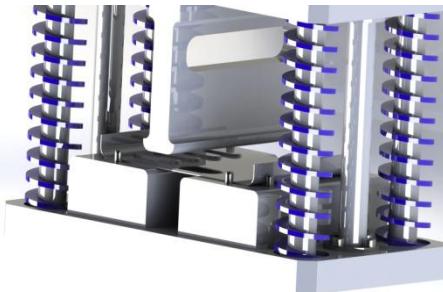


Ilustración XXXV. Matriz de plegado final de la virola

La matriz consiste en un macho con un desalojo ([Ilustración XXXVI](#)) para permitir que las alas de la virola terminen de cerrar al llegar al tope de proceso, quedando una sección de chapa

rectangular cerrada. El procedimiento consiste en colocar la virola conformada en el paso anterior sobre los pasadores de registro de los postizos laterales y accionar el macho hasta que toque con la placa base, conformando la virola. El guiado de la matriz se da a través de 2 columnas guiadas por jaulas de bolas en la placa superior, así como 4 tornillos de retención en las esquinas guiados por casquillos, los cuales permiten el deslizamiento por el interior de los muelles.



[Ilustración XXXVI. Detalle macho de matriz de plegado final de la virola](#)

El resultado que se obtiene al accionar la matriz es el de la [Ilustración XXXVII](#).

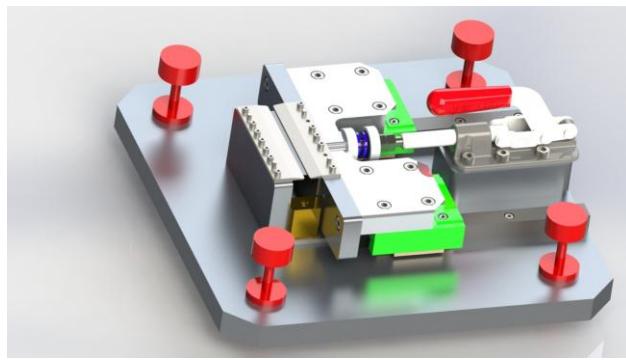


[Ilustración XXXVII. Virola plegada](#)

### 5.3.3 Soldeo láser de la virola plegada.

Tras realizar los correspondientes plegados se procederá a soldar la virola mediante soldadura láser sin aporte de material en el centro de soldadura láser robotizado. La soldadura sigue los mismos principios que para el utilaje de los tubos de gas ya explicado anteriormente.

El utilaje para realizar la soldadura es el de la [Ilustración XXXVIII](#):



[Ilustración XXXVIII. Ullaje de soldadura láser de virola.](#)

El utilaje sigue la misma filosofía que el de los tubos ya mencionado, pero dejando un lado fijo con la altura de la virola para hacer el soldeo. La virola va apoyada sobre una chapa de calce y

el accionamiento se da a través de una clampa más amplia y de mayor recorrido para dejar suficiente espacio para poder meter y sacar la virola ([Ilustración XXXIX](#)).

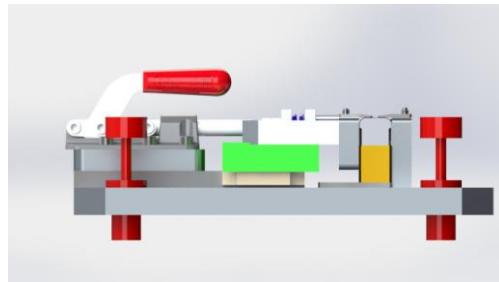


Ilustración XXXIX. Vista lateral del utillaje.

El sistema de amortiguamiento del avance del lateral guiado es el mismo que en el del tubo de gas([Ilustración XL](#)).

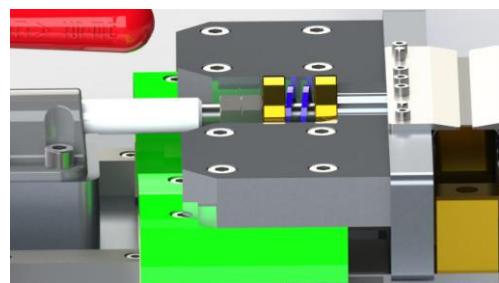


Ilustración XL. Vista detallada de acople entre clampa y lateral.

Al accionar la clampa, la virola queda cerrada por las alas en los laterales y con el hueco suficiente para ejecutar la soldadura en la rasgadura de la chapa([Ilustración XLI](#)).

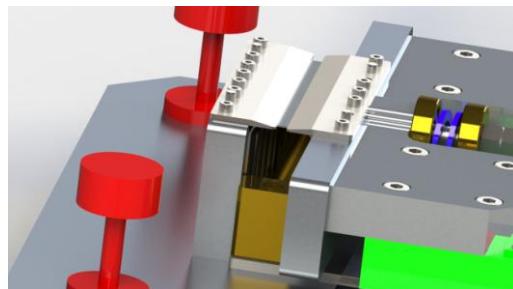


Ilustración XLI. Alas de cierre del utillaje.

El registro de la virola se da a través de las alas en la parte superior, tanto de la que queda fija como la que se cierra. Para asegurar el registro en la dirección longitudinal de la virola, los topes de bronce que limitan el avance de los laterales están colocados para alojar la virola en su medida longitudinal, efectuando una función doble. Estos topes van guiados y unidos a la base del utillaje mediante un par de pasadores y con un tornillo, estando calzados sobre la chapa en la que se apoya la virola ([Ilustración XLII](#)).

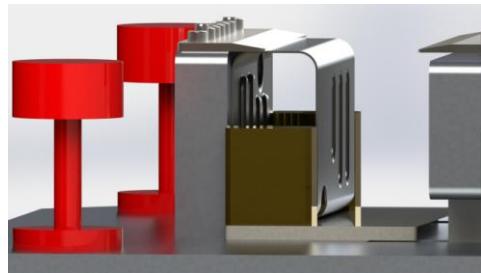


Ilustración XLII. Topes.

Al terminar la soldadura, existe un espacio amplio para una extracción cómoda y rápida a mano ([Ilustración XLIII](#)).



Ilustración XLIII. Detalle de espaciado de extracción de virola.

#### 5.4 Tubo de salida de gas

El tubo de salida de gas será conformado a partir de dos mitades de chapa previamente cortada por láser, para ser plegada y posteriormente soldada.

El tubo a conseguir fabricar es el de la [Ilustración XLIV](#) :



Ilustración XLIV. Tubo de salida de gases.

El tubo se conformará a partir de 2 mitades iguales soldadas como las que se muestran en la [Ilustración XLV](#) :



Ilustración XLV. Mitad de tubo de salida de gases

##### 5.4.1 Plegado de la mitad del tubo

Se procederá a plegar sus desarrollos o mitades con la matriz de la [Ilustración XLVI](#).

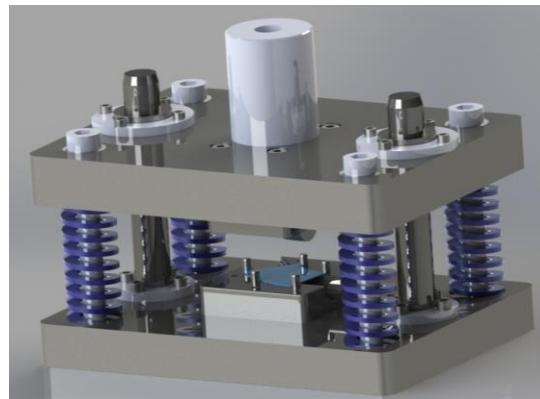


Ilustración XLVI. Matriz de embutición de protuberancias del colector.

La matriz consiste en una hembra que imita el contorno de la mitad del tubo, así como de un macho ([Ilustración XLVII](#)) que imita la superficie interior del tubo empujando el desarrollo de chapa contra la hembra. El tope del utilaje es el propio contacto de los límites materiales de macho y hembra. El guiado del macho y sufrideras superior e inferior se da a través de dos columnas guiadas por casquillos con jaula de bolas, junto con tornillos de tipo pasador UPS en las esquinas actuando de retención del macho y sufridera superior y aportando un guiado extra a través de casquillos en la sufridera superior. Los muelles se introducen en una cajera circular que los recoge concéntricamente a los tornillos de retención en ambas sufrideras. También se han colocado unas arandelas obtenidas por corte láser para evitar desplazamientos axiales de las columnas y casquillos con jaula de bolas durante la manipulación, uso y montaje del utilaje.

El utilaje posee unos pasadores colocados en la hembra para registrar la posición del desarrollo del tubo, los cuales quedan escondidos dentro del macho cuando se aproxima a la hembra ([Ilustración XLVIII](#)).

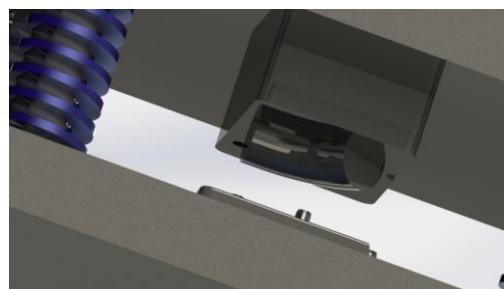


Ilustración XLVII. Macho de la matriz de plegado de semi tubo

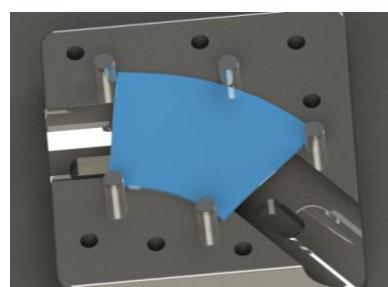
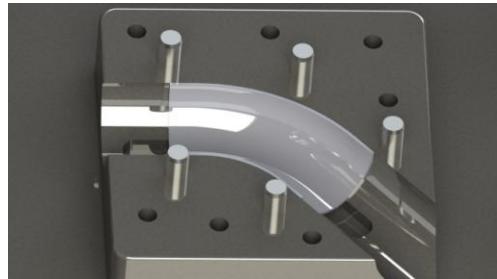


Ilustración XLVIII. Pasadores de registro de desarrollo de chapa sobre hembra.

Una vez colocado el desarrollo de chapa sobre el utilaje, se accionará la matriz y el macho conformará el semitubo quedando un resultado como el que se muestra en la [Ilustración XLIX](#)

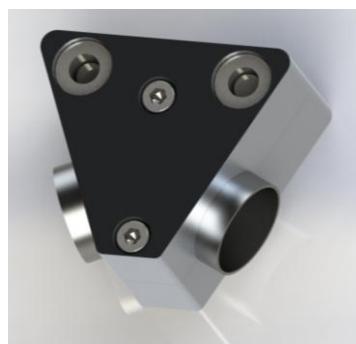


**Ilustración XLIX. Mitad de tubo conformada en la hembra.**

La hembra como se puede observar, posee unas ranuras en las zonas próximas al límite del tubo. Dichas ranuras permiten una extracción cómoda para el operario con un útil en forma de punta disponible en el taller. Dicho útil en ningún caso debe dañar ni rayar la pieza fabricada, por ello se estipula que sea de un material como bronce o latón de menor dureza que el material del tubo. Para ejecutar la extracción, el operario debe de empujar la mitad del tubo hacia fuera de la hembra introduciendo la punta del útil en las ranuras y hacer una palanca.

#### 5.4.2 Soldeo de las mitades

Una vez se obtengan las mitades necesarias plegadas, se alojarán dentro de un pequeño útil que recoja ambas mitades del tubo copiando la forma externa del mismo. Dentro de este utilaje se procederá a puentear los extremos para soldar el resto de tubo a continuación. El utilaje es el de la [Ilustración L](#) y la [Ilustración LI](#).



**Ilustración L. Vista del utilaje de posicionamiento 1**

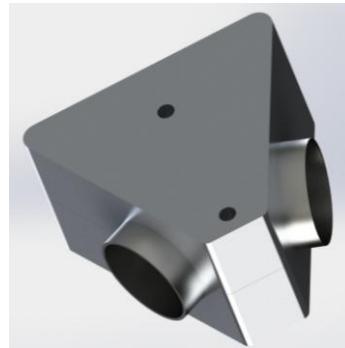


Ilustración LI. Vista del utillaje de posicionamiento 2

El utillaje consiste en 2 tapas mecanizadas con la curvatura del tubo([Ilustración LII](#), [Ilustración LIII](#)), las cuales se montan encajando los pasadores de la tapa inferior con los casquillos en la tapa superior, quedando un guiado de ajuste de precisión y en configuración de Poka-yoke ([Ilustración LIV](#)).

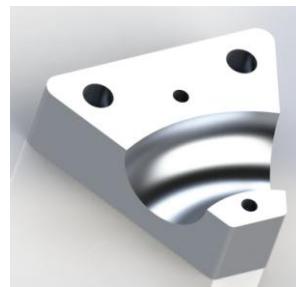


Ilustración LII. Hembra de utillaje.



Ilustración LIII. Macho de utillaje.



Ilustración LIV. Detalle montaje guiado por pasadores.

Para asegurar que las tapas no se salen durante el proceso de soldeo en el útil, se atornillan las tapas entre sí, quedando un cierre seguro sin movimiento de las mitades dentro del utilaje ([Ilustración LV](#)).



[Ilustración LV. Corte de zona atornillada.](#)

Se introducirán las mitades dentro del utilaje, se enfrentarán las tapas y se procederá a puntear con soldadura por plasma sin aporte de material los extremos del tubo. Con este útil se pretende conseguir tener el tubo unido por sus extremos para después sacarlo del utilaje y terminar la soldadura de las mitades fuera de él.

## 6 Detalles extras y desarrollo de utilajes y ejecución durante las fases de montaje del intercambiador.

### 6.1 Utilaje y proceso de montaje de fase 1.

Se ha diseñado una maqueta de montaje que se fabrique mediante impresión 3D FDM (Modelado por Deposición Fundida) en material PLA ([Ilustración LVI](#)). La maqueta busca poder realizar un montaje cómodo para el operario, a la vez que se consiga emplear un utilaje ligero, barato, rápido de fabricar y que cumpla con los requisitos para la fabricación del intercambiador.

La ventaja de emplear una impresora 3D es principalmente la gran variabilidad de componentes que es capaz de fabricar, a un coste y tiempo bajos. La impresora empleada tiene una tolerancia de 1 décima de milímetro, pero para una aplicación como esta puede llegar a ser útil para este propósito si se sabe controlar dicha tolerancia. Los componentes a ensamblar entre sí se aplicarán una serie de restricciones físicas que tenderán a colocarse a su posición nominal, mitigando los posibles efectos negativos de dicha tolerancia de la impresora, quedando prácticamente sin influencia dimensional sobre el conjunto a montar ([Ilustración LVII](#)).

Para una aplicación tan específica y con tan poca vida útil como es una maqueta para montar estos intercambiadores en una fase de prototipo, resulta mejor en costes y tiempo hacer una maqueta en plástico que hacer una maqueta en metal y fabricada por mecanizado.

Se han diseñado unos desalojos con doble propósito, que permiten la extracción del conjunto del utilaje y reducen material en el utilaje, bajando peso, tiempo de impresión y costes.

Los radios en las bases de las torres centradoras se han colocado para mejorar la construcción de la impresión, creando una construcción más robusta y con menos posibilidades de que se rompa por dichas esquinas. También le facilita la construcción del material a la impresora.



Ilustración LV. Utilaje de montaje de fase 1.

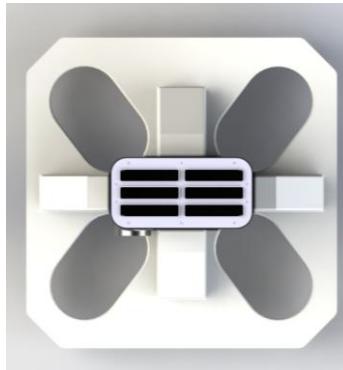


Ilustración LVII. Vista superior de utilaje de montaje fase 1.



Ilustración LVIII. Detalles de rebajes para alojar los componentes.

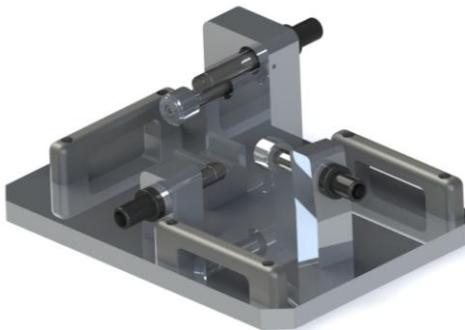
## 6.2 Punteado de colectores a la virola.

Una vez se hayan abocardado todos los tubos, se empleará el utilaje de montaje anterior para puntear con soldadura por arco plasma (PAW) los colectores a la virola, terminando de asegurar la posición de los colectores. Se procederá a puntear en cada colector en las 4 esquinas y en el centro del lado largo disponible de cada colector. La soldadura no tiene aporte de material. Se recomienda para el operario que se empiece a puntear por un lateral estrecho en las esquinas y continuar hacia el otro asegurando que el colector no se desprende de la virola y no se salen los tubos del abocardado. La el operario tendrá que intentar conducir las

tensiones de la soldadura y puntear intentando reducir la desviación del colector respecto de su posición nominal. Una vez se hayan soldado los puntos en ambos colectores, se hará una inspección del estado del haz, para comprobar que es apto para que el siguiente paso.

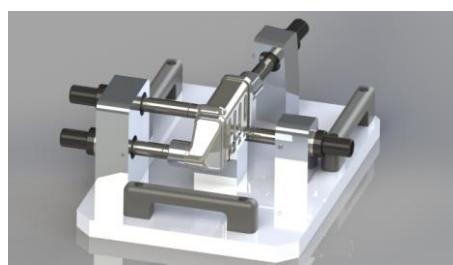
### 6.3 Fase 2. Adición de los depósitos al haz.

Para continuar el montaje del haz se procederá a añadir los depósitos empleando una maqueta de posicionamiento para su montaje ([Ilustración LIX](#)). Esta fase pretende colocar y fijar los depósitos a través de unos puntos de soldadura por plasma en los contornos de los mismos, para después terminar la unión por soldeo brazing.



[Ilustración LIX. Maqueta de posicionamiento de fase 2.](#)

A continuación se hará una descripción de los elementos constructivos de la maqueta y su función, pasando secuencialmente por el orden de montaje a seguir. En primer lugar se procedería a colocar el conjunto ensamblado en la fase anterior en el utilaje ([Ilustración LX](#)). Para ello, se colocaría la cara de la virola con el cordón sobre el postizo central, quedando registrada la virola por su ancho en la cajera del postizo. Para terminar de posicionar y bloquear el movimiento del conjunto, se introduciría un sable en la boca para el tubo de refrigeración de agua. Este sable viene guiado a través de un casquillo sobre una torre que lo sostiene y ubica en su posición correcta. En la torre se encuentra alojado un posicionador de bola a la altura del eje de la boca, efectuando un efecto de retención en el sable, permitiendo su deslizamiento solamente cuando se exceda la fuerza de sujeción que aplica la bola. El sable tiene un ranurado cercano al extremo del sable para evitar que el sable quede libre de total extracción al retraerlo de la boca del tubo.



[Ilustración LX. Posicionamiento en el utilaje de la fase 1.](#)

Una vez que se haya posicionado el conjunto, se procederá a colocar el depósito de agua. Para ello se debe de colocar el depósito apoyado en su alojamiento de la virola, y terminar de posicionarlo con el sable introducido con la boca del depósito hasta el tope del sable en la torre que lo sostiene y guía mediante casquillo ([Ilustración LXI](#)).

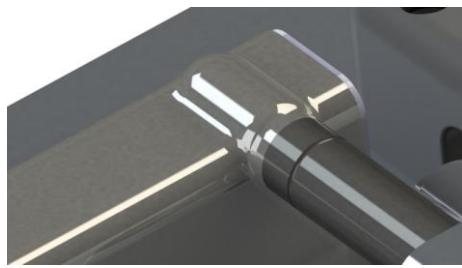


Ilustración LXI. Posicionado de depósito de agua.

Esta torre también tiene un posicionador de bola, por lo que esta pieza pequeña y complicada de colocar no correrá riesgo de que se desplace por un deslizamiento involuntario del sable al colocarse ([Ilustración LXII](#)). El operario debe asegurarse de que el depósito se asienta perfectamente sobre la virola con el guiado del sable, sin que queden holguras hacia dentro de la virola. A continuación se procederá a puentear el depósito soldando con plasma sin aporte de material (PAW) en las zonas indicadas para asegurar su posicionado antes de aplicar la pasta para el brazing.

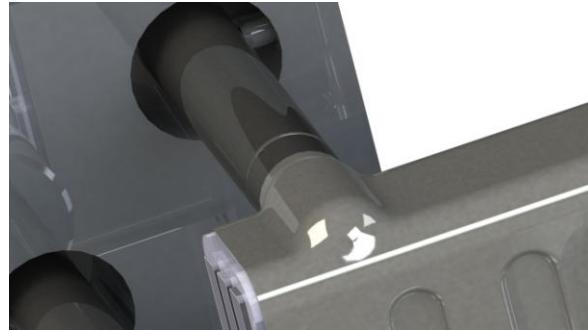


Ilustración LXII. Detalle posicionador en el sable del depósito de agua.

Una vez ensamblado el depósito de agua, se procederá a añadir el depósito de gas de entrada. Para montar el depósito se colocará a tope con la entrada de gases en la virola y con la boca del depósito registrada por un postizo redondo acoplado a un sable guía hasta su tope de carrera ([Ilustración LXIII](#)).

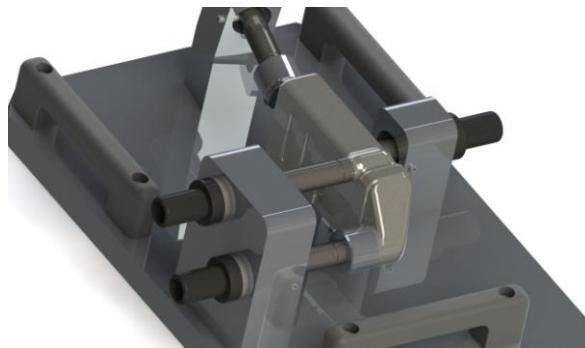
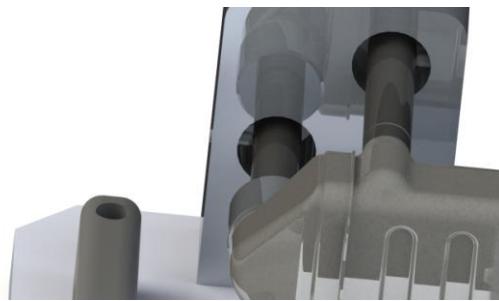


Ilustración LXIII. Posicionado de depósito de gas de entrada.

El sable también posee una retención debido a un posicionador en la torre que actúa en todo momento sobre el deslizamiento del sable ([Ilustración LXIV](#)).



**Ilustración LXIV. Detalle posicionador de sable de depósito de agua.**

El operario durante el montaje aplicará 4 puntos de soldadura ubicados en las esquinas del depósito con la virola.

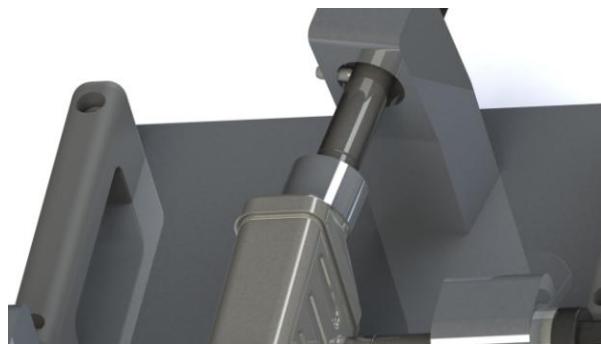
Finalmente se añadirá el depósito de gas de salida, para lo cual se usará el mismo sistema que para el depósito anterior, pero con una torre que oriente el registro con la inclinación que requiera la boca del depósito ([Ilustración LXV](#)).



**Ilustración LXV. Posicionado del depósito de gas de salida.**

El procedimiento consiste en colocar el depósito a tope con la virola y terminar de orientar la posición con el postizo circular guiado por su correspondiente sable hasta su tope de carrera.

Al igual que en el resto de sables, en las torres hay un posicionador de bola junto a los casquillos que ejercen una ligera retención del sable en todo momento ([Ilustración LXVI](#)).



**Ilustración LXVI. Detalle posicionador sable de depósito de gas de salida.**

Las zonas a aplicar los puntos de soldadura son las esquinas de depósito, como las marcadas en rojo en la [Ilustración LXVII](#) .

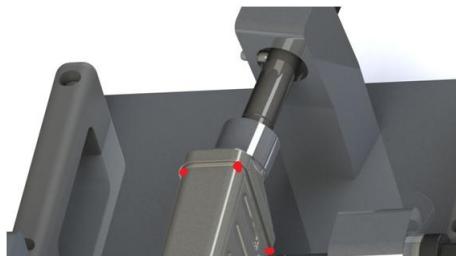


Ilustración LXVII. Zonas de soldadura de depósito.

El resultado final tras realizar las operaciones de soldadura de esta fuera de la maqueta será el de la [Ilustración LXVIII](#).

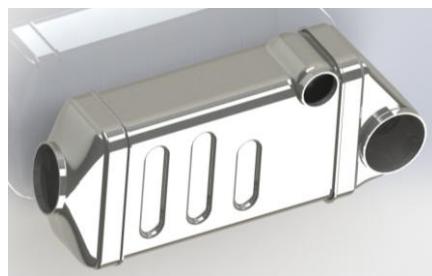


Ilustración LXVIII. Resultado en fase 2 de la maqueta.

#### 6.4 Horneado del haz con depósitos.

Tras haberse producido el empastado, se introducirá el conjunto en un horno y se ejecutará la soldadura brazing. Una vez transcurrido el tiempo, se procederá al enfriamiento del conjunto hasta temperatura ambiente

Para realizar el brazing en el horno se ha diseñado un útil para poder sostener el intercambiador en el horno durante la cocida ([Ilustración LXIX](#)). Consiste en un soporte formado a partir de chapas de acero inoxidable que serán soldadas entre sí. El útil permitirá sostener el intercambiador a la vez que recoja la pasta fundida durante la cocida. Aunque la pasta en su aplicación a temperatura ambiente tenga una cierta consistencia, 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. Es por esto que se ha escogido como material el acero inoxidable, para evitar una contaminación por carbono en el proceso.

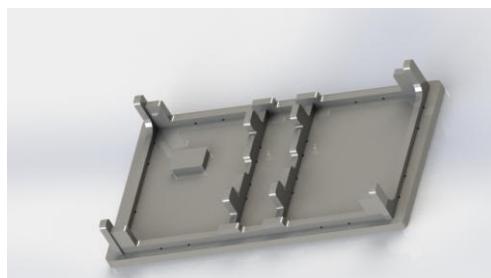


Ilustración LXIX. Ullaje de horno para soldadura brazing.

Como se puede observar, posee un sistema de montaje en poka yoke mediante unas ranuras(hembra) y unas almenas (macho). La idea es que este sistema de almenas permita un montaje fácil, rápido y controlado del utilaje. Durante su fabricación, el operario que proceda a soldar cada una de las piezas solamente las podrá encajar en una posición, cada almena encajará con una determinada longitud de ranura, por lo que no hay posibilidad de error de montaje. Las almenas y patas poseen un diseño con una forma particular :

- **Escotado de las almenas y ranuras.**

Los desalojos o escotados en las esquinas previenen de que se produzcan colisiones con rebabas de la chapa originadas con el corte láser a la hora de montar. Si el corte láser de la chapa hubiera sido en una ranura rectangular recta la rebaba resultante no hubiera permitido encajar hasta el fondo las piezas en su ranura, teniendo que eliminar manualmente dicha rebaba para efectuar un montaje correcto.

En las esquinas de las ranuras y de las almenas se ha hecho un escotado, liberando ese espacio en la esquina para que se hagan los puntos de soldadura en esa zona y el cordón se pueda infiltrar entre la perforación, mojando una mayor superficie entre las piezas en contacto. Se consigue una mejor unión que si se soldara a tope, así como un mayor control de la posición de los componentes durante la soldadura. Las piezas al quedar registradas por el sistema de almenas se unen en primer lugar en una zona más central entre componentes, que baña más el alma de las piezas; junto con el registro de las ranuras se reduce el efecto de tirantez de la soldadura. Al soldar componentes, la soldadura estira y tiende a deformar las partes soldadas. Al tener el registro para las almenas, se está impidiendo que se deforme libremente la unión resultante, así como facilitando al operario la operación de soldadura, evitando que tenga que sujetar los componentes en una posición.

- **Redondeo de formas.**

Redondear las esquinas tiene un efecto notable en el acabado de la superficie de las chapas, reduciendo las rebabas e imperfecciones que se pueden generar con el corte láser de la chapa. Los radios en las esquinas hacen desaparecer las rebabas, evitando tener que limar las piezas para que encajen correctamente entre sí. También tiene un efecto cónico sobre el montaje en las almenas, ejecutando una entrada suave y auto centrando macho y hembra durante el proceso de ensamblaje. Este redondeo no tiene que ser demasiado grande como para dejar sin superficie plana de registro a la almena con la ranura.

- **Altura la almena.**

La almena debe de tener menor altura que el espesor de la chapa en la que se aloja, evitando que sobresalga la almena respecto de la ranura. También esta acción consigue dejar un hueco o "piscina" para poder soldar en esa área y sellar fugas entre la unión de almenas y ranuras si requiere que haya una estanqueidad como es en este caso.

El utilaje con el haz y los depósitos quedaría como en la [Ilustración LXX](#) en el horno:

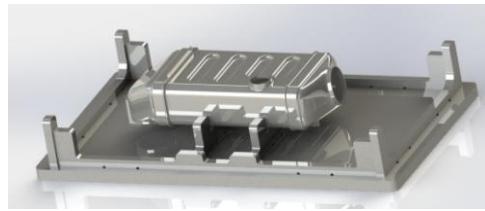


Ilustración LXX. Utilaje y fase 2 colocados para brazing en el horno.

## 6.5 Ensamblaje por soldadura láser de brida y tubo de gas de salida.

Se procederá a unir la brida de salida de gases con el tubo de salida de gases mediante soldadura láser en el centro láser robotizado. Para ello se ha diseñado un utilaje para posicionar los dos componentes que se muestra en la [Ilustración LXXI](#).

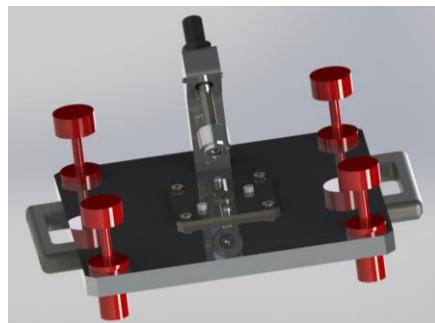


Ilustración LXXI. Útil de soldadura láser de brida y tubo de salida de gases.

El posicionamiento de ambos componentes en el utilaje quedaría como en la Ilustración LXXII.

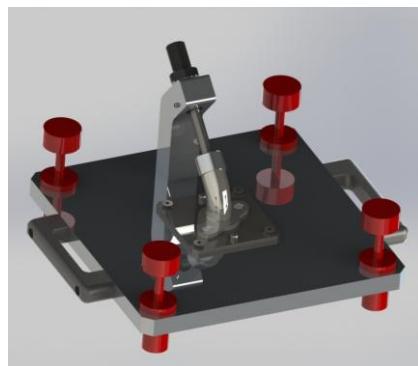


Ilustración LXXII. Detalle de posición general de brida y tubo sobre el utilaje.

La soldadura sería ejecutada por un brazo robótico controlado que soldaría alrededor de la zona de contacto entre ambas piezas. El movimiento controlado de la cabeza realizaría un cordón de forma circular sin colisionar con el resto de elementos.

El utilaje 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 ([Ilustración LXXIII](#)). 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. La chapa de calce se encuentra ensamblada a la placa base mediante un par de pasadores y unos tornillos que la mantienen contra la superficie de la base:

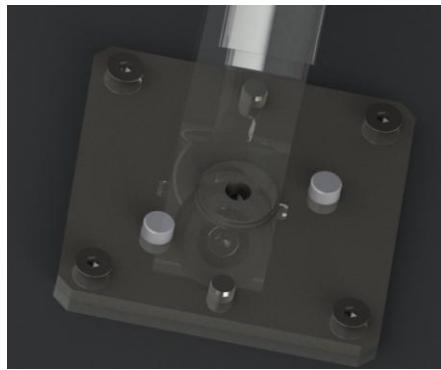


Ilustración LXXIII. Chapa de calce.

La brida quedaría posicionada sobre la chapa de calce como en la [Ilustración LXXIV](#).

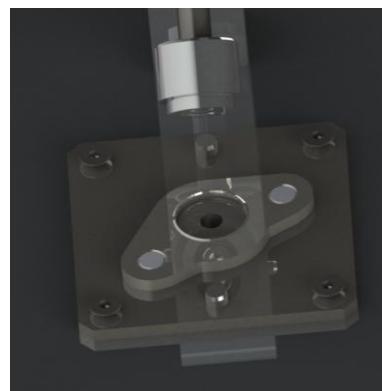


Ilustración LXXIV. Brida sobre chapa de calce.

Para la colocación del tubo en su posición se emplea un postizo circular a medida del interior del tubo, que se encuentra unido a un sable guiado por casquillo desde una torre ([Ilustración LXXV](#)).

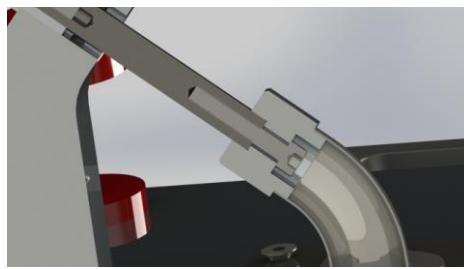


Ilustración LXXV. Postizo de registro circular para tubo.

Esta torre orienta casquillo y sable hacia el eje de la posición a la que se debe montar el tubo, y registra la profundidad que se debe meter dentro de la brida con su tope de desplazamiento.

La torre se ensambla a la placa base a través de un par de pasadores que registran su posición y atornillada a la misma ([Ilustración LXXVI](#)).



Ilustración LXXVI. Detalles de amarre de torre.

En la torre se encuentran dos posicionadores de bola para retener el avance del sable , quedando fijo en la posición en la que se suelte, o impidiendo que una leve fuerza mueva al tubo. Esto también provoca que al retraer el sable mantenga su posición y no tienda a deslizar hacia abajo por gravedad ([Ilustración LXXVII](#)).



Ilustración LXXVII. Detalles de posicionadores.

Una vez queden posicionados brida y tubo, se ejecutaría el programa de los robots de soldadura. Finalmente al acabar el soldeo el resultado a obtener es el de la [Ilustración LXXVIII](#)



Ilustración LXXVIII. Tubo y brida de gases de salida ensamblados.

## 6.6 Fase 3 . Ensamblado por soldadura láser de brida de entrada con tubo de refrigeración de agua a la fase 2.

Se añadirá al haz con depósitos la brida de entrada de gases y el tubo de refrigeración de agua mediante soldadura láser robotizada a través del utilaje de dos fases de la [Ilustración LXXIX](#) .

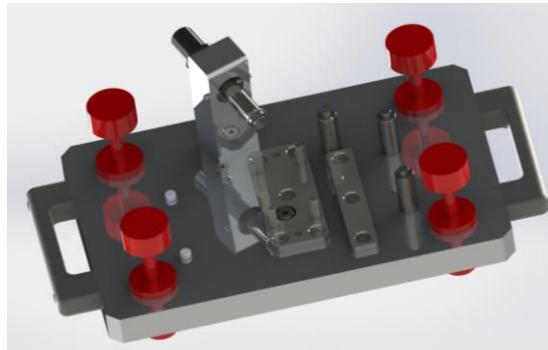


Ilustración LXXIX. Utilaje de montaje de fase 3.

El utilaje está diseñado para soldar en primer lugar la brida de entrada de gases y después el tubo de refrigeración de agua. La secuencia del proceso pasa por colocar la virola apoyada en sobre su cara con la boca del tubo con la brida sobre el depósito de entrada como se en la [Ilustración LXXX](#) .

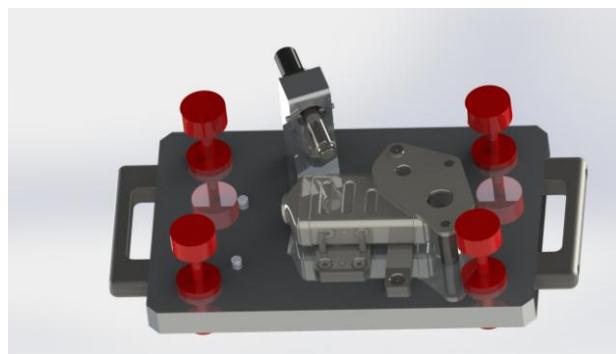


Ilustración LXXX. Colocación de fase 2 con brida de entrada de gases.

Para colocar la virola se ha introducido una chapa de calce con alojamiento para registrar los límites de la misma a través de unos pasadores que emergen desde la placa base y alojan la virola. Para terminar de posicionar, también aparece un registro circular 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 hacia arriba del utilaje siguiendo el guiado de los pasadores ([Ilustración LXXI](#)). La chapa de calce se encuentra unida a placa por tornillos y con la posición bien orientada a través de dos pasadores en la placa que ubican el calce. Para los pasadores que registran la virola y la boca del tubo existe suficiente holgura para que puedan atravesar el calce sin colisionar.

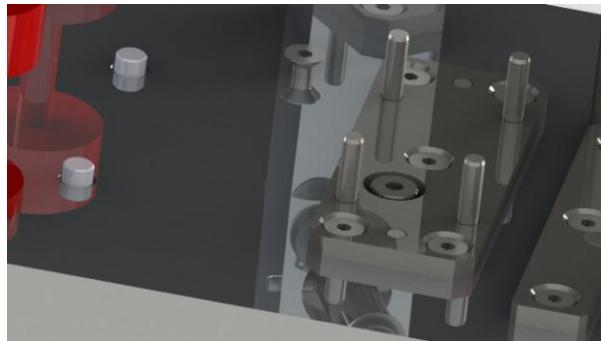


Ilustración LXXXI. Detalle de registros y chapa de calce para posicionamiento.

Además de esa chapa de calce, se ha colocado una chapa de apoyo más por separado, ya que para la configuración de soldeo del tubo hubiera dado colisión de componentes si todo fuese una chapa continua ([Ilustración LXXXII](#)).



Ilustración LXXXII. Vista de separación de chapas de calce.

Para registrar la posición de la brida, se han colocado unas torres circulares con rebaje a la medida del alojamiento de sus puntos de atornillado. Estas torres se ensamblan introduciéndose unos milímetros dentro de la placa base y atornillándose a la misma. Las torres parten en su fabricación de barra calibrada, así que poseen muy buena precisión dimensional y resistencia al desgaste. En una de ellas no hay registro para introducirse en la brida, pero está roscada en el extremo para poder atornillar un tornillo de cabeza avellanada en ese punto y asegurar que la brida queda bien sujetada para soldarse. El tornillo de cabeza avellanada tiene un efecto autocentrante, así que orientará el agujero en la brida hacia su eje central nominal de posición ([Ilustración LXXXIII](#)).

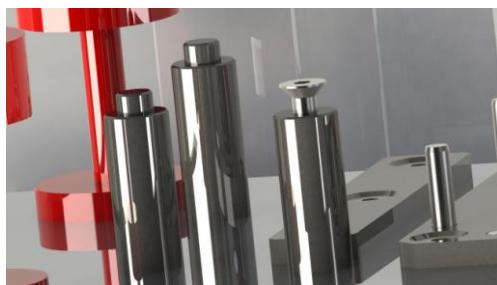


Ilustración LXXXIII. Posicionado de brida de salida de gases.

Una vez colocada la virola sobre sus registros y la brida sobre los suyos, se atornillará la brida en la torre mencionada anteriormente y se procederá a ejecutar el programa de soldadura por el robot ([Ilustración LXXXIV](#)).

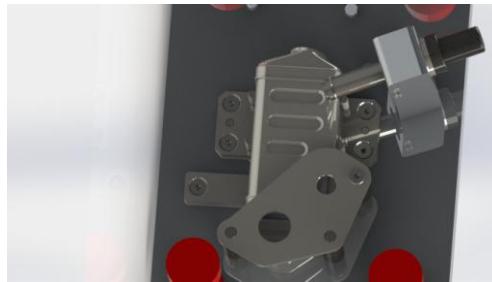


Ilustración LXXXIV. Posición lista para soldar brida de entrada de gases.

Las zonas en las que debe soldar el robot son las siguientes resaltadas en azul en la [Ilustración LXXXV](#).



Ilustración LXXXV. Zonas de soldadura de la brida de entrada de gases.

Una vez se haya terminado de soldar la brida se pasará a la segunda fase del utilaje, colocando la brida apoyada sobre la placa base y registrada por los pasadores salientes de la base en el lado opuesto al de la anterior fase. Para terminar de fijar la brida, se ha dejado un agujero roscado en el tercer punto de atornillado para roscar un tornillo de cabeza avellanada, de igual manera que en la fase anterior y en el mismo punto. La colocación del conjunto quedaría como la [Ilustración LXXXVI](#) colocando ya el tubo de refrigeración de agua.

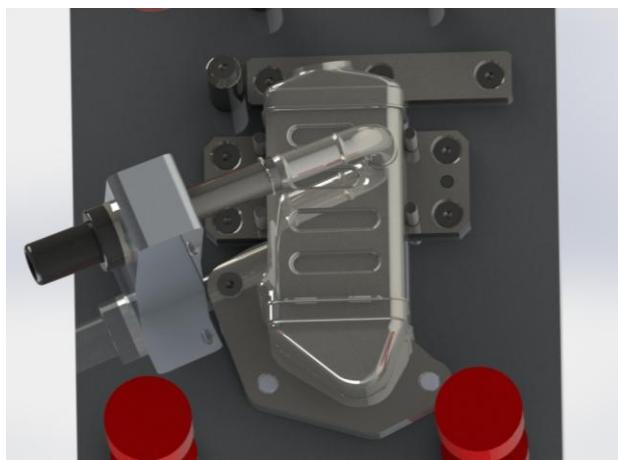


Ilustración LXXXVI. Posicionado de tubo de refrigeración de agua.

La manera de efectuar el montaje es introduciendo el tubo dentro de la embocadura en la virola, registrado por un sable que lo posicione en su orientación correcta ([Ilustración LXXXVII](#)). Este sable viene guiado sobre un casquillo montado en la torre próxima al mismo. Esta torre va acoplada a la placa base por atornillado y guiado por un par de pasadores en su

base. El hueco que se había dejado entre ambas chapas de apoyo se ve que salva la colisión con las geometrías del depósito de salida de gases.

Como en casos anteriores, en la torre hay posicionadores de bola actuando sobre el sable y su guiado. En este caso hay 2 para asegurar un deslizamiento intencionado y que el tubo no se mueva cuando quede montado antes de soldar. A esto se añade un anillo elástico de seguridad que asegura que el sable no salga de la torre y no se pueda extraviar.

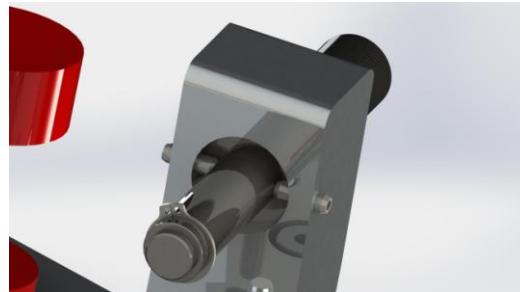


Ilustración LXXXVII. Sable de registro de boca del tubo de refrigeración de agua.

Las zonas a soldar por el robot son las siguientes resaltadas en azul en la [Ilustración LXXXVIII](#) .



Ilustración LXXXVIII. Zonas de soldadura del tubo de refrigeración de agua.

El resultado a obtener tras ejecutar las soldaduras en este utilaje es el presentado en la [Ilustración LXXXIX](#) .



Ilustración LXXXIX. Fase 3 ensamblada.

## 6.7 Fase 4. Ensamblaje por soldadura láser de salida de gases con fase 3.

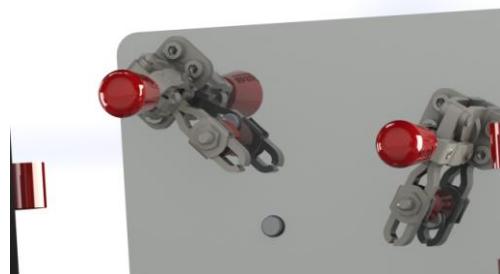
Para terminar de añadir brida y tubo de salida al conjunto, se ha diseñado un utilaje para unirlos por soldadura láser robotizada ([Ilustración XC](#)).



**Ilustración XC. Utilaje de ensamblaje para la fase 4.**

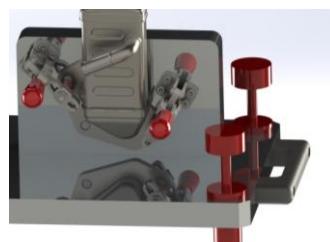
El utilaje consiste en una placa vertical sobre la que apoyar la brida de entrada de gases, registrada por pasadores y sujetada por clamps; y un postizo de registro que aproxima la brida y tubo de salida de gas al conjunto guiado por sables que deslizan sobre casquillos en una torre adyacente.

La placa sobre la que se apoya la brida de entrada de gases tiene unos pasadores que se acoplan a la misma y que registran los puntos de atornillado a vehículo de dicha brida. Para asegurar que el conjunto no se cae de la placa, se sujetta a través de dos clamps manuales que sujetan la brida contra la placa sobre la que se apoya ([Ilustración XCI](#)).



**Ilustración XCI. Detalle placa con pasadores de registro y clamps.**

El primer paso en la soldadura de esta fase es colocar el conjunto sobre la placa e inmovilizarlo con las clamps ([Ilustración XCII](#)).



**Ilustración XCII. Posicionado de la fase 4 en el utilaje.**

A continuación se debe sostener el tubo y brida de salida de gases con el postizo de registro que se muestra en la [Ilustración XCIII](#).



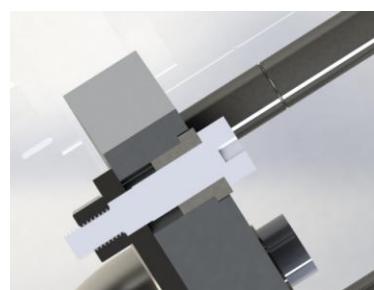
**Ilustración XCIII. Posicionado de brida y tubo de salida de gases con la fase 4.**

El postizo está unido y guiado por dos sables que controlan su avance y su orientación. Sobre este postizo se registran los puntos de anclaje de la brida con 2 tornillos pasadores ubicados en el postizo ([Ilustración XCIV](#)).



**Ilustración XCIV. Detalle de sistema de posicionamiento de brida de salida de gases.**

Los tornillos pasadores van guiados a través de unos casquillos alojados en el postizo, y en el final de su longitud lisa antes de llegar a la rosca tienen rebajado el diámetro al de los orificios en la brida. De esta manera, desde la cabeza en adelante, sigue al diámetro nominal de parte guiada, pasa a un tramo que registra la brida, y justo después asoma la rosca pasada la brida para poder roscar una tuerca que fije la brida por cada punto ([Ilustración XCV](#)).



**Ilustración XCV. Detalle de guaido de tornillos posicionadores de brida de salida de gases.**

Los sables se introducen unos milímetros hasta que hacen tope con el postizo, y se terminan de unir con el mismo mediante unos tornillos roscados a los sables. El postizo se encontrará en su posición para soldar al desplazar los sables hasta el límite de su carrera, haciendo tope con los pomos en su extremo. Para cada sable se han colocado posicionadores de bola acoplados en la torre inclinada. En cada sable hay un ranurado cerca del extremo al postizo para retener los sables con la bola de los posicionadores a una altura en la que se retraiga el postizo para liberar espacio durante el posicionamiento de componentes.

Una vez que se sujeté la brida de salida de gases y se aproxime hacia el depósito el utilaje quedará como en la [Ilustración XCVI](#), listo para aplicar la soldadura.



Ilustración XCVI. Posición preparada para soldar la fase 3 con la salida de gases.

La zona en la que el robot debe aplicar la soldadura láser es la resaltada en azul en la [Ilustración XCVII](#).



Ilustración XCVII. Zona de aplicación de soldadura.

El resultado final a obtener tras este proceso es el de la [Ilustración XCVIII](#).



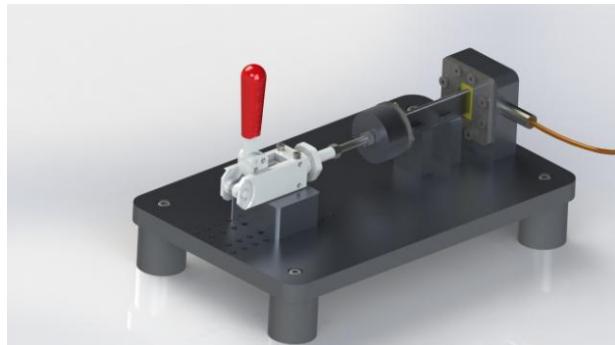
Ilustración XCVIII. Fase 4.

## 7 Detalles extras y desarrollo de utilajes y ejecución durante las fases de inspección del intercambiador.

### 7.1 Control de estanqueidad del tubo de refrigeración de gases.

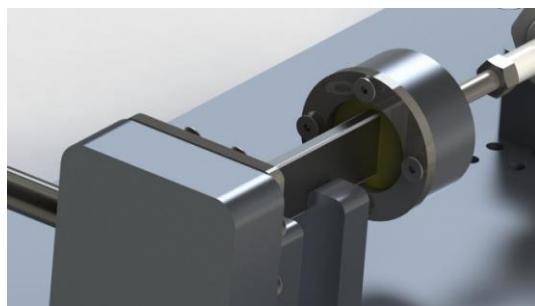
Una vez soldados los tubos, se procederá a ensayarlos todos antes de su ensamblaje en el intercambiador, consiguiendo evitar un fallo catastrófico por fugas en los tubos dentro del aparato durante su funcionamiento. Se realizará un ensayo de estanqueidad con una máquina

de control neumática bajo unos parámetros establecidos por norma estándar de la empresa para cada caso de ensayo. El utilaje para realizar el ensayo es el de la [Ilustración XCIX](#).



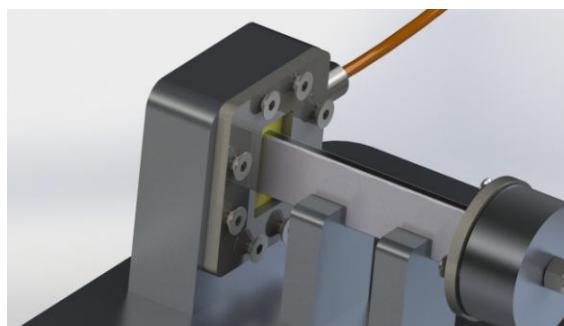
[Ilustración XCIX. Utilaje de ensayo de estanqueidad de tubos de refrigeración de gases.](#)

El utilaje consiste en un postizo que toma la salida neumática de la máquina de ensayos e introduce el aire por dentro del tubo. 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 ([Ilustración C](#)).



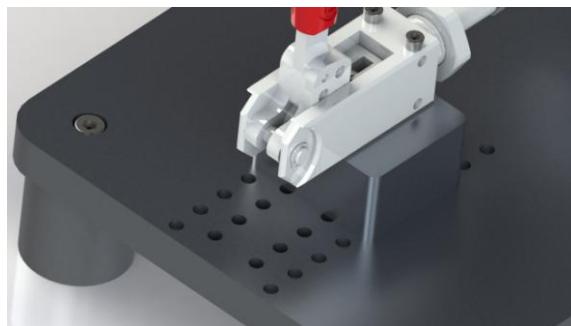
[Ilustración C. Detalle de junta desplazable.](#)

Al accionar la clampa se sellará el tubo con las juntas, estando una de ellas completamente cerrada. La junta en el postizo tendrá un agujero diminuto que permitirá el paso del aire dentro del tubo para la realización del ensayo. El aire se introducirá a través del postizo por un enchufe rápido neumático, pasando por el agujero del postizo y la junta hasta llenar el tubo de aire. La junta en el postizo irá apretada por una chapa atornillada con una ranura que aloje al contorno del tubo contra la junta en su inserción al utilaje ([Ilustración Cl](#)).



[Ilustración Cl. Detalle de postizo de alimentación neumática con junta para estanqueidad.](#)

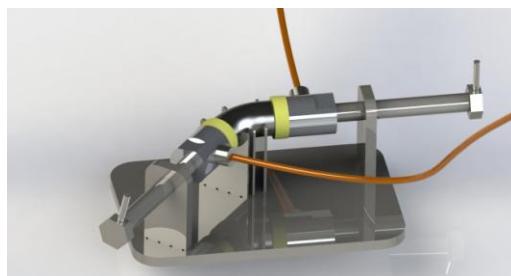
El utilaje está diseñado para poder ensayar diferentes longitudes de tubos, así como de ajustar manualmente la posición del recorrido de la clampa, bien sea cambiando su posición de anclaje o aumentando o disminuyendo su carrera con el espárrago roscado que une clampa y junta (*Ilustración CII*). Esto permite regular el sellado del tubo durante el ensayo, de tal manera que la junta abrace correctamente las bocas de los tubos, pero sin ejercer excesiva fuerza como para deformar al tubo o que pandee durante su apriete.



*Ilustración CII. Detalle de regulación de posición de la clampa del utilaje.*

## 7.2 Control de estanqueidad del tubo de salida de gases.

Una vez se hayan soldado las dos mitades, se procederá a comprobar que el tubo es estanco. Para ello se ha diseñado un utilaje a partir de chapas de corte láser ensambladas y soldadas entre sí (*Ilustración CIII*).



*Ilustración CIII. Utilaje de control de estanqueidad de tubos de salida de gases.*

Como se puede observar, consiste en unas chapas de apoyo y registro para el tubo, el cual será sellado por unas juntas conectadas a la máquina de ensayo. El tubo queda apoyado por tres torres de chapa que registran la mitad de su contorno circular externo. Una vez que se haya alojado el tubo, se tienen que aproximar las juntas con sus tomas neumáticas correspondientes a través del avance de unos tornillos que les dan soporte y las orientan al centro de las bocas del tubo. Estos tornillos están unidos a las juntas y a su vez, los tornillos están atornillados a las torres que los soportan. Estas torres tienen un agujero roscado que permiten el avance controlado de los tornillos.

Los parámetros del ensayo de estanqueidad se realizarán bajo las normas de ensayo de la empresa con la máquina de control de fugas. Si se detectase una fuga en la soldadura, se procedería a identificarla e intentar tapar la fuga con un soldeo extra enfocado a ese punto.

### 7.3 Comprobación de estanqueidad del conjunto de la fase 2.

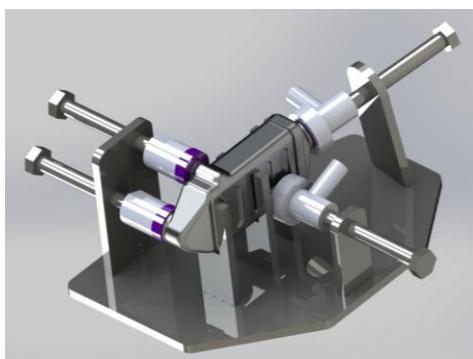
Una vez termine la cocida del horno, se comprobará que la soldadura del brazing es correcta y no se producen fugas en los circuitos de gas y refrigerante. Para ello se realizará un ensayo de estanqueidad con la misma máquina que para los tubos de gas ya mencionados. El programa de ensayo se adaptará a las nuevas condiciones y bajo las normativas de ensayo de la empresa.

Se ha diseñado un utilaje a partir de chapas de acero inoxidable cortadas por láser para ensayar si fuga el conjunto ([Ilustración CIV](#)). Consiste en unas estructuras en forma de U y L que sostienen el aparato, junto con unas torres de chapa que acercan las juntas para el ensayo. Estas torres tienen unos agujeros roscados que sostienen unos tornillos a modo de sables. Los tornillos sostienen las juntas atornilladas a los mismos y regulan la aproximación de las mismas avanzando el tornillo en un sentido u otro.



[Ilustración CIV. Utilaje de control de estanqueidad de fase 2.](#)

Para hacer los ensayos correspondientes se deben de aproximar las juntas a cada boca de los circuitos y conectar la toma rápida neumática a la toma oportuna ([Ilustración CV](#)).



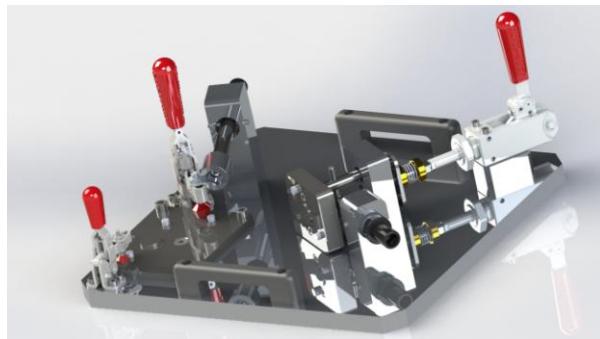
[Ilustración CV. Zonas de sellado de la fase 2](#)

### 7.4 Inspección metrológica del intercambiador a través de maqueta de control geométrico.

Una vez se han ensamblado todos los componentes y se ha asegurado la estanqueidad del aparato, se procederá a comprobar 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 CVI](#)). Los puntos y medidas a cumplir se encuentran en los planos del aparato. El objetivo en esta

maqueta es crear los registros necesarios en bridas y tubo para asegurar que entra dentro de las tolerancias. Si al introducir el aparato en la maqueta pasan todos los registros, entonces geométricamente se tendría un intercambiador apto para cliente.

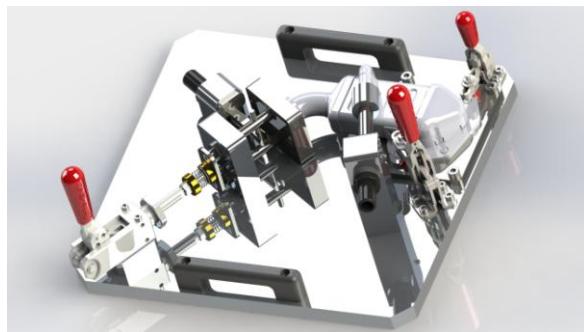


**Ilustración CVI. Maqueta de control geométrico.**

Al introducir el intercambiador con la maqueta cerrada quedaría como en la [Ilustración CVII](#) y la [Ilustración CVIII](#).



**Ilustración CVII. Vista 1 de maqueta de control con intercambiador.**



**Ilustración CVIII. Vista 2 de maqueta de control con intercambiador.**

A continuación se especificarán cada uno de los elementos constructivos de la maqueta con su funcionalidad para comprobación metrológica.

En primer lugar, la brida de entrada se apoya sobre una chapa en acero que calza el aparato y que registra las tolerancias de 5 puntos con su montaje. La chapa tiene mecanizada 2 salientes que registran las posiciones de gas y refrigerante de entrada, junto con 3 alojamientos por los que asoman 3 pasadores que controlan la posición de los puntos de atornillado de la brida ([Ilustración CIX](#)).

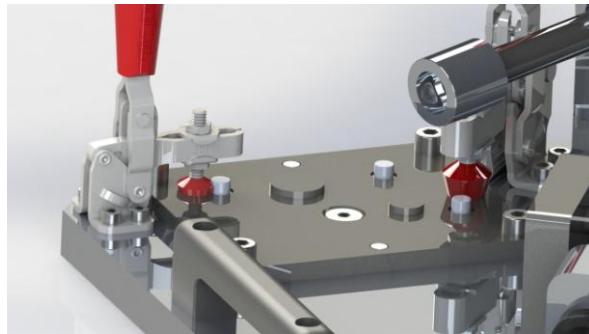


Ilustración CIX. Detalle de registros para la brida de entrada de gases.

Como se puede ver, la brida debe de encajar dentro de los 5 salientes para comenzar entrando dentro del rango válido de tolerancias. Si la brida se puede introducir en los 5 salientes, entonces se procederá a asegurar su posición cerrando las clamps en los laterales ([Ilustración CX](#)). Los pasadores en los 3 puntos de atornillado de las bridas no sobresalen por encima de la brida. Los salientes mecanizados tampoco llegan a colisionar con los límites físicos del intercambiador.



Ilustración CX. Vista superior de primer clampado.

Según el plano y tomando siempre el caso más restrictivo, las medidas que deben de tener los registros serán las siguientes:

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

El procedimiento de determinación de la medida dependerá de los datos del plano, pero siempre predomina el requerimiento más exigente. Como norma general habrá que restar la tolerancia si la medida a controlar es una dimensión interior, y sumar si la medida es exterior. En este caso, los 5 salientes a controlar corresponden a diámetros interiores, luego en cada uno de ellos habrá que restar a la medida nominal las tolerancias asociadas.

Continuando con la maqueta, tras sujetar la brida de entrada se procederá a controlar la brida de salida. Para ello, se debe de aproximar un postizo de registro con un saliente mecanizado para la salida de gas, con dos pasadores rebajados acoplados para controlar la posición de los puntos de anclaje de la brida ([Ilustración CXI](#), [Ilustración CXII](#)).



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



Ilustración CXII. Detalle colocación de brida de gases sobre registros.

La posición del plano en que se encuentra la brida apoyada al postizo también debe ser controlada en base a una tolerancia. Para controlar si está dentro del rango de tolerancia admisible, se dispone de un contrasable guiado en forma de U que tiende a buscar un pasador entre los dos sables guía del postizo ([Ilustración CXIII](#)). La holgura de la cajera en U del contrasable debe estar entre el pasador para que el plano de la brida se considere correcto.

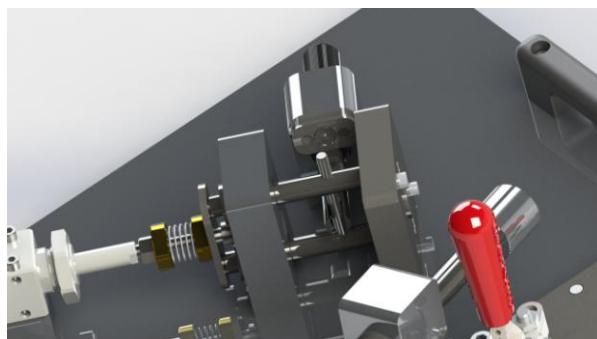


Ilustración CXIII. registro de control de posición del plano de la brida de salida.

El sable tiene un lado plano para guiar el sable en su orientación correcta en su torre. En la torre hay una pletina anti giro para registrar el ángulo de giro del sable, permitiendo que el sable trabaje solamente con su lado plano mecanizado paralelo a la base ([Ilustración CXIV](#)). Para hacer la comprobación de tolerancia se debe de empujar el contra sable y ver si el pasador queda dentro de la U o no.

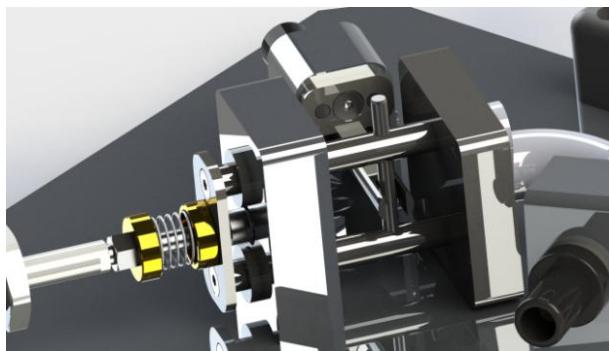


Ilustración CXIV. Detalle de guiado de cable de control.

La torre del contra cable queda orientada perpendicularmente a la brida de salida, pero en ningún caso colisiona con el postizo de registro ([Ilustración CXV](#)).

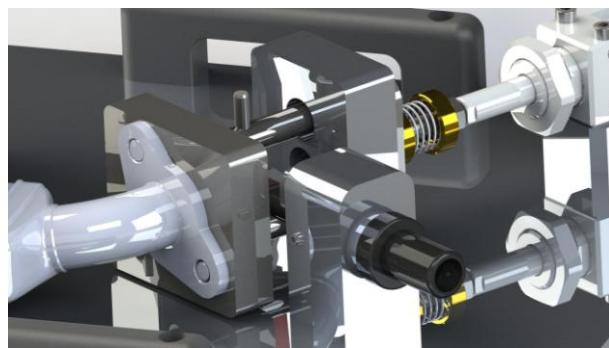


Ilustración CXV. Torre de guiado de contrasable.

La aproximación del postizo se debe al accionamiento de una clampa manual que acerca o aleja el postizo. La clampa se apoya sobre un bloque de calce para ubicar la acción de la misma en la misma línea del eje de la salida de gas de la brida, buscando ejecutar el guiado desde el punto más central posible ([Ilustración CXVI](#)).

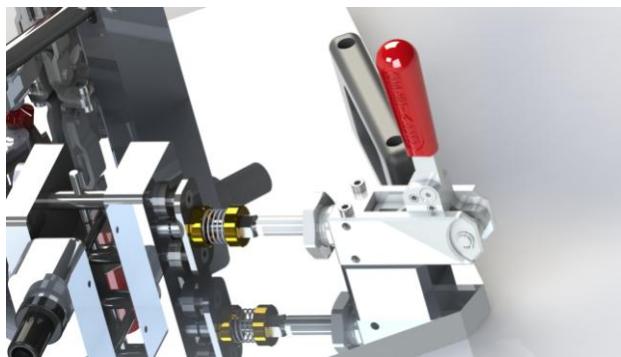
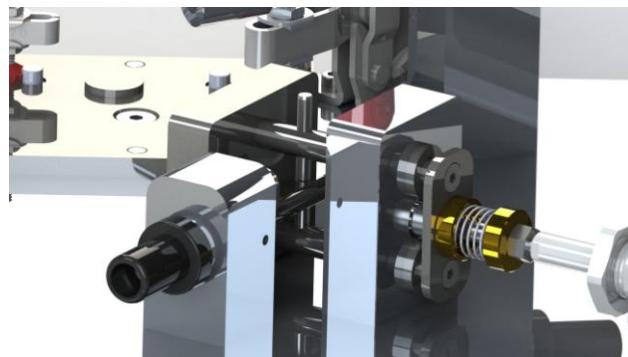


Ilustración CXVI. Detalle de clampa para brida de salida.

El postizo va guiado por dos sables que deslizan sobre 2 casquillos ubicados en la torre posterior al mismo. El acople entre los sables y la clampa se da mediante una pletina que une los dos sables, dando un avance solidario. Para permitir un cierre amortiguado y de carrera variable, el acople entre dicha pletina y la clampa se da a través del mismo sistema empleado en los utilajes de soldadura láser de tubo y virola, pero con un muelle mucho más suave. El utilaje se muestra con la clampa cerrada para una posición nominal del aparato, quedando la

posibilidad de estar desplazado respecto a ese punto nominal dentro de la tolerancia. El muelle queda en estado de compresión en cualquier caso. Para evitar choques de la cabeza del tornillo que une pletina a sables con la clampa, existe un agujero pasante en la torre de guiado de los sables. La pletina está guiada con los tornillos de cabeza avellanada que se acoplan a los extremos de los sables, por lo que tienden a centrarse automáticamente a su posición ([Ilustración CXVII](#)).



[Ilustración CXVII. Detalle unión con muelle entre clampa y guiado de brida.](#)

Para finalizar con el control geométrico en la maqueta, tras pasar por los mecanismos de control de ambas bridas se controlará el tubo de refrigeración de agua empleando un registro circular alrededor del tubo guiado por un sable deslizante desde una columna ([Ilustración CXVIII](#)). Al deslizar el sable hasta su tope de proceso, si el registro entra y rodea el tubo sin colisionar entonces la posición del tubo es correcta.



[Ilustración CXVIII. Registro para la boca del tubo de refrigeración de agua.](#)

El registro está introducido unos milímetros dentro del sable que lo guía y atornillado. El sable desliza en el casquillo sobre la torre inclinada que lo soporta y orienta. Para poder retener el sable en contra de la acción de la gravedad se han colocado posicionadores en la torre para retener el deslizamiento ([Ilustración CXIX](#)).

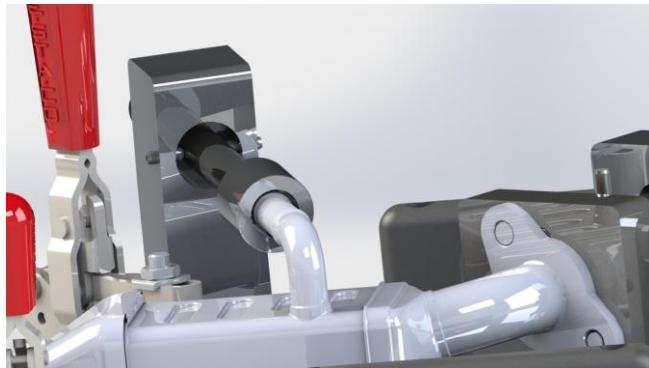


Ilustración CXIX. Detalle posicionador sobre sable de control de tubo de agua.

Si el aparato consigue entrar en todos los registros de la maqueta entonces metrológicamente sería un intercambiador correcto respecto a las exigencias de plano de los datum.

La maqueta debe de asegurarse de que las medidas a controlar van a ser reales y que no acepta intercambiadores que son no aptos metrológicamente. Del mismo modo, puede ocurrir que la maqueta resulte más restrictiva que las tolerancias a controlar en el aparato. Para poder conocer la precisión y desviación de la maqueta tiene que ser revisada y certificada por el laboratorio de metrología. A partir de los resultados del informe del laboratorio de metrología, se analizarán las medidas de los puntos importantes a controlar de la maqueta y se decidirá si la maqueta es apta para el control metrológico o no. Los resultados del informe apuntan la desviación de coordenadas de todos los puntos y planos a controlar respecto al plano del intercambiador. Si el laboratorio tiene unos resultados favorables se aceptará la maqueta .

## 8 Detalles extras de utilajes y ejecución de los ensayos de laboratorio.

### 8.1 Postizos de vibración

#### 8.1.1 Requisitos de a cumplir por los postizos

Los postizos de vibración se han tenido que diseñar en base a unos requisitos propios:

- 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 extras 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.

### 8.1.2 Proceso de diseño y dificultades

El procedimiento de diseño del postizo en conjunto con la placa va a realizarse de manera iterativa, 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:

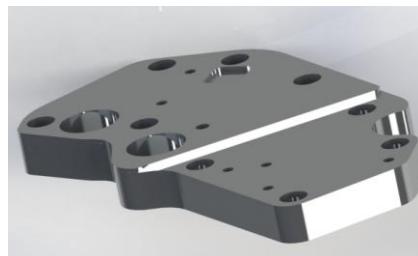
1. Fase de posicionamiento del intercambiador EGR con el dummy sobre la placa base. En primer lugar se tiene que estimar una posición de colocación del intercambiador, de tal manera que a priori pueda ser óptima para que el postizo sobre el que se monte se pueda anclar a la placa base sin comprometer sus puntos de anclaje con la vibradora. El intercambiador debe de estar orientado a su vez en las direcciones de vibración de ensayo. Los ejes de coordenadas en posición del motor quedan alineados con los laterales de la placa base, de tal manera que se ensaye en la dirección longitudinal y transversal de la placa. Para conseguir ubicar 2 intercambiadores a la vez se ha colocado en forma de patrón circular desfasado 180 grados en torno al agujero de anclaje central.
2. Fase de definición del contorno de los postizos y puntos de anclaje. Se procederá a dibujar el contorno de la pieza de tal manera que pueda ajustarse a las especificaciones de anclaje a la máquina vibradora y del intercambiador junto con el dummy.
3. Comprobación de los modos de vibración de los postizos. Se procederá a hacer una simulación mediante elementos finitos de las propiedades de vibración del postizo, con el objetivo de comprobar las frecuencias naturales del postizo, en cuanto al rango frecuencias a las que aparecen y sus direcciones de oscilación. Se comprobará en primer lugar mediante un análisis de vibración libre, buscando sus frecuencias naturales, y si cumple, se procederá a analizar su comportamiento bajo diferentes condiciones de anclaje.

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.

Los primeros diseños del postizo consiguieron anclar el postizo a la placa base con suficiente solidez y con unas formas que permitían un mecanizado relativamente sencillo. Todos los requisitos se cumplían excepto el margen de seguridad frente a la frecuencia de ensayo.

Durante el diseño del postizo se tuvo que priorizar en los requisitos, por lo que finalmente 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. El resultado obtenido fue el de la [Ilustración CXX](#).



**Ilustración CXX. Postizo de vibración**

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. Este utilaje 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.

El postizo tiene unas frecuencias naturales en función de su geometría, la cual si es modificada correctamente en unas determinadas direcciones puede conseguir aumentar o disminuir la frecuencia de resonancia, así como modificar el comportamiento sus modos de vibración. En este caso, el postizo tiene una forma irregular y muchos agujeros, luego resulta más complicado ajustar las dimensiones para conseguir el objetivo de frecuencia que si fuera un prisma simple.

Viendo los resultados de simulación, lo que se hizo finalmente es tomar la dirección de oscilación sobre la que aparecía la primera frecuencia cercana a los 1000Hz y se acortó el postizo en torno a dicha directriz, tratando el postizo como un diapasón en dicha dirección.

El resultado de las frecuencias de resonancia obtenidas se pueden consultar en el anexo.. La se presentan los resultados de simulación de condiciones de vibración libre y de anclaje por las zonas de atornillado. En ambos casos el postizo cumple el margen de seguridad frente a resonancia.

### 8.1.3 Detalles de mecanizado de los postizos

Puesto que el postizo tiene un contorno bastante irregular, se requerirá de un utilaje dedicado para terminar de mecanizarlo. A continuación se va a detallar los pasos a seguir en la hoja de proceso que se ha tenido que preparar especialmente para esta pieza:

1. En primer lugar se partirá de una preforma de aluminio de forma rectangular que será planeada previamente antes de mecanizar el contorno de los postizos. Con este paso se podrá asegurar la planicidad y espesor de la preforma antes de comenzar a mecanizar su contorno.
2. Una vez asegurada su planicidad, se tomarán las referencias necesarias para el centro de mecanizado sobre la pieza. Con el centro ya determinado, se procederá a realizar todos los agujeros presentes en los postizos, incluyendo también su roscado cuando

proceda. Ejecutar los agujeros roscados es clave para poder terminar el contorno de la pieza más adelante.

3. Seguidamente sin mover la preforma de la mordaza ni modificar el cero de referencia del centro de mecanizado se procederá a realizar el proceso de desbaste y acabado del contorno hasta una determinada profundidad, apurando al espesor de material de la preforma libre de la mordaza. En esta fase, se realiza el contorno de los dos postizos a la vez colocados simétricamente, separados por una cierta distancia (22mm) en su punto más cercano, de tal manera que haya espacio suficiente para que la herramienta seleccionada para la operación tenga espacio suficiente para pasar sin interferir con la posición donde deben quedar los postizos. La herramienta empleada será una fresa de diámetro 20mm. El espacio entre el contorno de ambas piezas es importante en la medida de la herramienta que se puede emplear para realizar la operación. Se debe de encontrar un equilibrio entre el tamaño de herramienta, el material desperdiciado, el desgaste de herramienta y el tiempo de mecanizado, siendo este último el más influyente en los costes de la pieza. Al acabar el contorno de los postizos se debe sacar la preforma y cortar el material sobrante en la sierra para separar los dos postizos. Con la sierra, se debe intentar eliminar la mayor cantidad de material posible alrededor del contorno ya mecanizado, para reducir la cantidad de material a mecanizar al terminar el resto del contorno.
4. Una vez realizada la fase anterior, se va a fabricar un utilaje auxiliar para poder terminar de mecanizar el contorno de los 2 postizos. El utilaje consiste en una placa rectangular con agujeros roscados sobre los que atornillar los postizos coincidentes con los de ambos postizos. La placa auxiliar tiene como misión aportar una zona sólida de sujeción para la mordaza del centro de mecanizado, siendo anteriormente imposible sujetar el postizo por su contorno. De esta manera, se puede atornillar los postizos por debajo de la placa auxiliar usando calces auxiliares en la mordaza, salvando la distancia de las cabezas de los tornillos de sujeción con la mesa y la mordaza del centro de mecanizado. Esta placa auxiliar será aprovechada más adelante para realizar el ensayo de montaje forzado, empleando un lado de la placa para el ensayo.
5. Para fabricar la placa auxiliar en primer lugar se planeará por ambas caras, dejando bien controlada su planicidad y espesor. A continuación se procederá a hacer los agujeros de la placa. Hay que destacar la realización de un agujero en la parte central, ya que es un agujero de referencia con respecto a los agujeros de la placa, respecto a su contorno y respecto a la posición de los postizos a la hora de mecanizar. En caso de que hubiera que repetir un postizo ese agujero de referencia permitiría volver a tomar la misma referencia para el centro de mecanizado con los mismos preparativos de CAM para terminar la pieza.
6. Una vez se hayan realizado todos los agujeros, sin mover la placa base aún no terminada ni cambiar su referencia en el centro de mecanizado, se procederá a atornillar los postizos sobre la placa base usando tornillos de cabeza avellanada quedando la cabeza por debajo de la placa auxiliar. Los tornillos se han seleccionado de cabeza avellanada para que el ángulo de la cabeza tienda a centrar la pieza a la posición nominal del centro de los agujeros al atornillarse. Además, la cabeza

avellanada permite dejar algunos milímetros más de espacio para atornillar por debajo, facilitando la operación al colocar el postizo.

7. Se procederá a atornillar los postizos sobre la placa auxiliar y se terminará el mecanizado de su contorno y escalones restantes. Con ambos postizos ya acabados, se desatornillarán de la placa auxiliar y se terminará de mecanizar la placa auxiliar.

#### 8.1.4 Resultados de la simulación frecuencial del postizo

##### 8.1.4.1 Postizo sometido a condiciones de vibración libre.

## Vibración libre postizo

MESH:

Entity	Size
Nodes	42007
Elements	185760

ELEMENT TYPE:

Connectivity	Statistics
TE4	185760 ( 100,00% )

Materials.1

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010N_m2

Poisson's ratio	0,346
Density	2710kg_m3
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005_Kdeg
Yield strength	9,5e+007N_m2

Free Frequency Case

Boundary Conditions

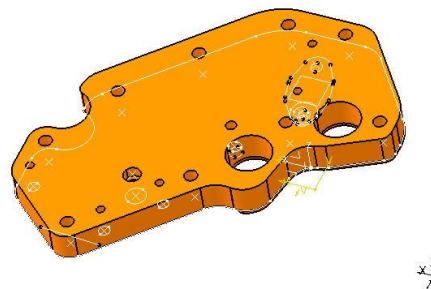


Figure 1

STRUCTURE Computation

Number of nodes : 42007

Number of elements : 185760

Number of D.O.F. : 126021

Number of Contact relations : 0

Number of Kinematic relations : 0

Linear tetrahedron : 185760

STRUCTURAL MASS Computation

Name: StructuralMassSet.1

Number of lines : 126021  
Number of coefficients : 2479191  
Number of blocks : 5  
Maximum number of coefficients per bloc : 499993  
Total matrix size : 28 . 85 Mb

Structural mass : 2.280e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 9 . 823e+001 mm

Yg : -2 . 498e+001 mm

Zg : -1 . 185e+001 mm

Inertia tensor at origin: kgxm2

1.122e-002 3.429e-004 2.651e-003

3.429e-004 3.087e-002 -6.787e-004

2.651e-003 -6.787e-004 4.124e-002

Name: Computed Masses.1

Number of lines : 126021  
Number of coefficients : 126021  
Number of blocks : 1  
Maximum number of coefficients per bloc : 126021  
Total matrix size : 1 . 92 Mb

Additionnal mass : 0.000e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 0 . 000e+000 mm

Yg : 0 . 000e+000 mm

Zg : 0 . 000e+000 mm

Inertia tensor at origin: kgxm2

0. 0. 0.

0. 0. 0.

0. 0. 0.

STIFFNESS Computation

Number of lines : 126021

Number of coefficients : 2479191

Number of blocks : 5

Maximum number of coefficients per bloc : 499993

Total matrix size : 28 . 85 Mb

STIFFNESS-SHIFT Computation

Number of lines : 126021

Number of coefficients : 2479191

Number of blocks : 5

Maximum number of coefficients per bloc : 499993

Total matrix size : 28 . 85 Mb

## SINGULARITY Computation

## No Restraint

Number of local singularities : 0

Number of singularities in translation : 0

Number of singularities in rotation : 0

Generated constraint type : MPC

## CONSTRAINT Computation

## No Restraint

Number of constraints : 0

Number of factorized constraints : 0

Number of deferred constraints : 0

## FACTORIZED Computation

Method : SPARSE

Number of factorized degrees : 126021

Number of supernodes : 4847

Number of overhead indices : 641154

Number of coefficients : 52258395

Maximum front width : 2859

Maximum front size : 4088370

Size of the factorized matrix (Mb) : 398 . 7

Number of blocks : 27

Number of Mflops for factorization : 6 . 568e+004

Number of Mflops for solve : 2 . 097e+002

Minimum relative pivot : 2 . 178e-006

FREQUENCY Computation

Frequency: Frequency Case Solution.1

Mass: Masses.1

Structural mass is taken into account

Total mass : 2.280e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 9 . 823e+001 mm

Yg : -2 . 498e+001 mm

Zg : -1 . 185e+001 mm

Inertia tensor at inertia center: kgxm2

9.478e-003 -5.252e-003 -4.168e-006

-5.252e-003 8.550e-003 -3.539e-006

-4.168e-006 -3.539e-006 1.781e-002

Number of computed modes : 30

Boundary condition for modes computation : free

Number of iterations already performed : 0

Total Number of iterations performed : 8

Relative eigenvalues tolerance required : 1 . 000e-003

Relative eigenvalues tolerance obtained : 2 . 516e-004

Mode number	Frequency Hz	Stability
1	0.0000e+000	1.0914e-014
2	0.0000e+000	6.7303e-015
3	0.0000e+000	9.2768e-015
4	0.0000e+000	1.4552e-015
5	0.0000e+000	1.4916e-014
6	5.3087e-004	2.0555e-014
7	1.5243e+003	1.3675e-011
8	2.0850e+003	2.6982e-010
9	3.7990e+003	4.1930e-008
10	3.9871e+003	1.4215e-007
11	5.0620e+003	4.9803e-007
12	5.7123e+003	5.2642e-006
13	5.9917e+003	3.5037e-006
14	6.6854e+003	5.3446e-006
15	8.1533e+003	1.0380e-006
16	8.4772e+003	6.8080e-006
17	9.3745e+003	4.4765e-006

18	9.5176e+003	5.6447e-006
19	9.7896e+003	6.8443e-006
20	1.1059e+004	5.6866e-005
21	1.1409e+004	9.0790e-005
22	1.1806e+004	1.5534e-005
23	1.2826e+004	6.1226e-005
24	1.3145e+004	2.0916e-005
25	1.3191e+004	1.4923e-004
26	1.3693e+004	5.6204e-005
27	1.3992e+004	8.5104e-005
28	1.5593e+004	2.5158e-004
29	1.5906e+004	2.2496e-004
30	1.6079e+004	1.3186e-004

Modal participation :

Mode	Frequency Hz	Tx (%)	Ty (%)	Tz (%)	Rx (%)	Ry (%)	Rz (%)
1	0.0000e+000	1.23	0.02	4.79	4.36	22.33	0.00
2	0.0000e+000	4.19	0.03	41.11	32.86	0.56	3.59

3	0.0000e+000	1.61	1.77	16.36	0.01	0.26	34.12
4	0.0000e+000	89.73	2.62	1.81	0.02	0.34	1.57
5	0.0000e+000	2.44	11.61	32.28	42.19	3.77	1.49
6	5.3087e-004	0.79	83.96	3.65	5.03	0.44	2.42
7	1.5243e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	2.0850e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	3.7990e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	3.9871e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	5.0620e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	5.7123e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	5.9917e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	6.6854e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	8.1533e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	8.4772e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	9.3745e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	9.5176e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	9.7896e+003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	1.1059e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	1.1409e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

22	1.1806e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	1.2826e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	1.3145e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1.3191e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	1.3693e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	1.3992e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	1.5593e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	1.5906e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	1.6079e+004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>84.47</b>	<b>27.69</b>	<b>43.19</b>

Frequency Case Solution.1 - Deformed mesh.1

Occurrence 1 - Frequency 0Hz



Figure 2

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 2 - Frequency 0Hz



Figure 3

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 3 - Frequency 0Hz



Figure 4

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 4 - Frequency 0Hz



Figure 5

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 5 - Frequency 0Hz



Figure 6

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 6 - Frequency 0,000530868Hz



Figure 7

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 7 - Frequency 1524,3Hz



Figure 8

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 8 - Frequency 2085,02Hz



Figure 9

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 9 - Frequency 3799,03Hz



Figure 10

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 10 - Frequency 3987,14Hz



Figure 11

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 11 - Frequency 5062,04Hz



Figure 12

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 12 - Frequency 5712,32Hz



Figure 13

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 13 - Frequency 5991,74Hz



Figure 14

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 14 - Frequency 6685,43Hz



Figure 15

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 15 - Frequency 8153,33Hz



Figure 16

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 16 - Frequency 8477,18Hz



Figure 17

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 17 - Frequency 9374,54Hz



Figure 18

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 18 - Frequency 9517,64Hz



Figure 19

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 19 - Frequency 9789,57Hz



Figure 20

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 20 - Frequency 11058,9Hz



Figure 21

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 21 - Frequency 11409,4Hz



Figure 22

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 22 - Frequency 11806,2Hz



Figure 23

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 23 - Frequency 12825,9Hz



Figure 24

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 24 - Frequency 13144,9Hz



Figure 25

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 25 - Frequency 13191,2Hz



Figure 26

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 26 - Frequency 13693,1Hz



Figure 27

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 27 - Frequency 13992,4Hz



Figure 28

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 28 - Frequency 15592,8Hz



Figure 29

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 29 - Frequency 15905,6Hz



Figure 30

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 30 - Frequency 16079,2Hz



Figure 31

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Figure 32

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
	0Hz
	5,309e-004Hz
	1524,302Hz
	2085,018Hz
	3799,031Hz
	3987,145Hz
	5062,043Hz
	5712,316Hz
	5991,74Hz
	6685,425Hz
	8153,325Hz
	8477,18Hz
	9374,535Hz
	9517,643Hz
	9789,572Hz
	11058,899Hz
	11409,418Hz
	11806,201Hz
	12825,87Hz
	13144,939Hz
	13191,221Hz
	13693,075Hz
	13992,444Hz
	15592,774Hz
	15905,566Hz
	16079,179Hz
Frequency	

**8.1.4.2 Postizo sometido a condiciones de atornillado.**

## Postizo anclado por zonas de tornillo

MESH:

Entity	Size
Nodes	42007
Elements	185760

ELEMENT TYPE:

Connectivity	Statistics
TE4	185760 ( 100,00% )

Materials.1

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010N_m2
Poisson's ratio	0,346
Density	2710kg_m3
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005_Kdeg

**Yield strength**

9,5e+007N\_m2

Frequency Case

Boundary Conditions

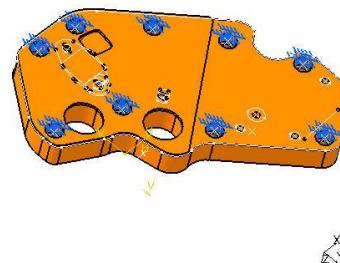


Figure 1

STRUCTURE Computation

Number of nodes : 42007

Number of elements : 185760

Number of D.O.F. : 126021

Number of Contact relations : 0

Number of Kinematic relations : 0

Linear tetrahedron : 185760

RESTRAINT Computation

Name: Restraints.1

Number of S.P.C : 1383

STRUCTURAL MASS Computation

Name: StructuralMassSet.1

Number of lines : 126021  
Number of coefficients : 2479191  
Number of blocks : 5  
Maximum number of coefficients per bloc : 499993  
Total matrix size : 28 . 85 Mb

Structural mass : 2.280e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 9 . 823e+001 mm

Yg : -2 . 498e+001 mm

Zg : -1 . 185e+001 mm

Inertia tensor at origin: kgxm2

1.122e-002 3.429e-004 2.651e-003

3.429e-004 3.087e-002 -6.787e-004

2.651e-003 -6.787e-004 4.124e-002

Name: Computed Masses.1

Number of lines : 126021  
Number of coefficients : 126021  
Number of blocks : 1  
Maximum number of coefficients per bloc : 126021  
Total matrix size : 1 . 92 Mb

Additional mass : 0.000e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 0 . 000e+000 mm

Yg : 0 . 000e+000 mm

Zg : 0 . 000e+000 mm

Inertia tensor at origin: kgxm2

0. 0. 0.

0. 0. 0.

0. 0. 0.

STIFFNESS Computation

Number of lines : 126021

Number of coefficients : 2479191

Number of blocks : 5

Maximum number of coefficients per bloc : 499993

Total matrix size : 28 . 85 Mb

SINGULARITY Computation

Restraint: Restraints.1

Number of local singularities : 0

Number of singularities in translation : 0

Number of singularities in rotation : 0

Generated constraint type : MPC

## CONSTRAINT Computation

Restraint: Restraints.1

Number of constraints : 1383

Number of coefficients : 0

Number of factorized constraints : 1383

Number of coefficients : 0

Number of deferred constraints : 0

## FACTORIZED Computation

Method : SPARSE

Number of factorized degrees : 124638

Number of supernodes : 4814

Number of overhead indices : 626037

Number of coefficients : 48103314

Maximum front width : 2739

Maximum front size : 3752430

Size of the factorized matrix (Mb) : 366 . 999

Number of blocks : 25

Number of Mflops for factorization : 5 . 418e+004

Number of Mflops for solve : 1 . 930e+002

Minimum relative pivot : 9 . 785e-002

## FREQUENCY Computation

Frequency: Frequency Case Solution.1

Restraint: Restraints.1

Mass: Masses.1

Structural mass is taken into account

Total mass : 2.280e+000 kg

Inertia center coordinates

Xg : 9 . 823e+001 mm

Yg : -2 . 498e+001 mm

Zg : -1 . 185e+001 mm

Inertia tensor at inertia center: kgxm2

9.478e-003 -5.252e-003 -4.168e-006

-5.252e-003 8.550e-003 -3.539e-006

-4.168e-006 -3.539e-006 1.781e-002

Number of computed modes : 30

Boundary condition for modes computation : clamped

Number of iterations already performed : 0

Total Number of iterations performed : 11

Relative eigenvalues tolerance required : 1 . 000e-003

Relative eigenvalues tolerance obtained : 2 . 392e-004

Mode number	Frequency Hz	Stability
1	6.2027e+003	1.0935e-006

2	7.2764e+003	2.0356e-006
3	7.5838e+003	2.6175e-006
4	8.3685e+003	9.3274e-006
5	8.6498e+003	2.1056e-007
6	1.0071e+004	1.0866e-006
7	1.1503e+004	8.4632e-006
8	1.2162e+004	1.3020e-005
9	1.2485e+004	6.9407e-006
10	1.2553e+004	1.0132e-005
11	1.3553e+004	2.7396e-005
12	1.3639e+004	2.6102e-005
13	1.4083e+004	5.9825e-006
14	1.5060e+004	3.9421e-006
15	1.5242e+004	2.7299e-006
16	1.5466e+004	1.8625e-005
17	1.6463e+004	3.7562e-005
18	1.6856e+004	1.1441e-004
19	1.7069e+004	3.2912e-005
20	1.7746e+004	9.6661e-006

21	1.8568e+004	3.8432e-005
22	1.8856e+004	1.8776e-004
23	1.9366e+004	2.3916e-004
24	2.0144e+004	2.0591e-005
25	2.0230e+004	1.7297e-004
26	2.0392e+004	1.0077e-004
27	2.1117e+004	2.3407e-004
28	2.1631e+004	1.6835e-004
29	2.1916e+004	1.6861e-006
30	2.2159e+004	6.1191e-006

Modal participation :

Mode	Frequency Hz	Tx (%)	Ty (%)	Tz (%)	Rx (%)	Ry (%)	Rz (%)
1	6.2027e+003	0.00	0.00	28.35	2.83	1.62	0.00
2	7.2764e+003	0.01	0.00	13.17	3.10	0.01	0.00
3	7.5838e+003	0.00	0.00	0.60	31.64	3.98	0.00
4	8.3685e+003	0.00	0.00	16.96	1.54	5.33	0.00
5	8.6498e+003	0.01	0.00	2.94	8.26	4.11	0.00

6	1.0071e+004	0.00	0.00	3.61	0.05	0.02	0.00
7	1.1503e+004	0.23	0.04	0.05	3.02	0.13	0.01
8	1.2162e+004	70.66	9.78	0.01	0.00	0.00	0.93
9	1.2485e+004	0.00	0.07	2.43	0.01	1.23	0.11
10	1.2553e+004	6.21	64.90	0.01	0.01	0.01	4.04
11	1.3553e+004	0.08	0.09	0.01	0.44	1.46	0.77
12	1.3639e+004	2.22	3.28	0.01	0.02	0.11	11.44
13	1.4083e+004	0.00	0.03	8.13	8.26	1.15	0.00
14	1.5060e+004	0.10	0.21	0.99	0.05	0.08	0.17
15	1.5242e+004	0.27	2.37	0.08	0.00	0.01	7.12
16	1.5466e+004	0.07	0.11	1.43	0.01	0.04	0.00
17	1.6463e+004	0.63	4.51	0.04	0.00	0.06	1.84
18	1.6856e+004	0.00	0.30	1.86	0.13	1.10	0.08
19	1.7069e+004	2.52	0.00	0.05	0.00	0.01	0.03
20	1.7746e+004	0.01	0.01	0.38	0.45	0.37	0.00
21	1.8568e+004	5.05	1.74	0.02	0.00	0.00	5.41
22	1.8856e+004	0.02	0.00	0.16	0.05	0.13	0.03
23	1.9366e+004	0.05	0.01	0.81	0.00	0.00	0.01
24	2.0144e+004	0.00	0.04	0.07	0.15	0.10	0.34

25	2.0230e+004	1.15	0.77	0.01	0.00	0.00	3.18
26	2.0392e+004	0.21	0.08	0.00	0.02	0.02	0.20
27	2.1117e+004	0.01	0.00	0.17	0.60	0.01	0.03
28	2.1631e+004	0.06	0.04	0.18	0.20	0.08	0.02
29	2.1916e+004	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.73
30	2.2159e+004	0.13	2.83	0.00	0.00	0.00	1.89
	<b>Total</b>	<b>89.86</b>	<b>91.22</b>	<b>82.54</b>	<b>60.84</b>	<b>21.16</b>	<b>38.35</b>

Frequency Case Solution.1 - Deformed mesh.1

Occurrence 1 - Frequency 6202,74Hz



Figure 2

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 2 - Frequency 7276,44Hz



Figure 3

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 3 - Frequency 7583,75Hz



Figure 4

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 4 - Frequency 8368,46Hz



Figure 5

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 5 - Frequency 8649,82Hz



Figure 6

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 6 - Frequency 10071,1Hz



Figure 7

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 7 - Frequency 11502,8Hz



Figure 8

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 8 - Frequency 12161,6Hz



Figure 9

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 9 - Frequency 12485,3Hz



Figure 10

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 10 - Frequency 12553,1Hz



Figure 11

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 11 - Frequency 13553,3Hz



Figure 12

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 12 - Frequency 13638,6Hz



Figure 13

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 13 - Frequency 14082,7Hz



Figure 14

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 14 - Frequency 15060,3Hz



Figure 15

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 15 - Frequency 15241,6Hz



Figure 16

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 16 - Frequency 15466,3Hz

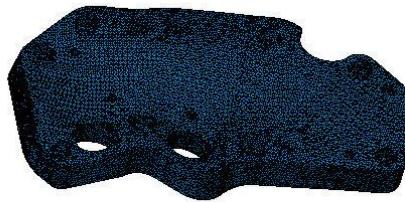


Figure 17

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 17 - Frequency 16462,5Hz



Figure 18

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 18 - Frequency 16855,9Hz



Figure 19

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 19 - Frequency 17069,4Hz



Figure 20

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 20 - Frequency 17745,7Hz



Figure 21

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 21 - Frequency 18567,8Hz



Figure 22

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 22 - Frequency 18856,5Hz



Figure 23

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 23 - Frequency 19365,7Hz



Figure 24

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 24 - Frequency 20143,8Hz



Figure 25

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 25 - Frequency 20229,8Hz



Figure 26

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 26 - Frequency 20392Hz



Figure 27

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 27 - Frequency 21117,3Hz



Figure 28

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Occurrence 28 - Frequency 21631Hz



Figure 29

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 29 - Frequency 21915,8Hz



Figure 30

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the  
model

Occurrence 30 - Frequency 22158,7Hz



Figure 31

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Frequency Case Solution.1 - Translational displacement vector.1

Occurrence 1 - Frequency 6202,74Hz

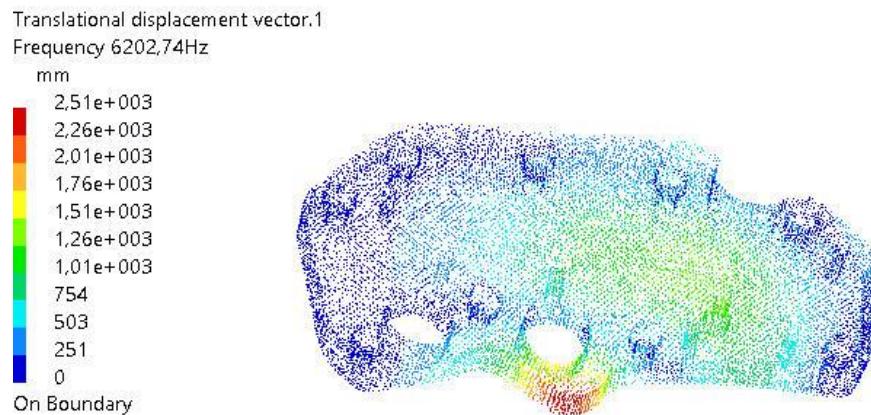


Figure 32

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
	6202,738Hz
	7276,438Hz
	7583,752Hz
	8368,456Hz
	8649,819Hz
	10071,139Hz
	11502,85Hz
	12161,624Hz
	12485,325Hz
	12553,076Hz
	13553,264Hz
	13638,603Hz
	14082,689Hz
	15060,261Hz
	15241,567Hz
	15466,333Hz
	16462,502Hz
	16855,873Hz
	17069,387Hz
	17745,719Hz
	18567,85Hz
	18856,469Hz
	19365,684Hz
	20143,844Hz
	20229,805Hz
	20392,002Hz
	21117,322Hz
	21631,021Hz
	21915,805Hz
	22158,67Hz

## **9 .Referencias**

### **9.1 Ilustraciones.**

ILUSTRACIÓN I. VISTA GENERAL DE LA MATRIZ DE PLEGADO DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES.	19
ILUSTRACIÓN II. VISTA GENERAL 2 DE LA MATRIZ DE PLEGADO DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES.	20
ILUSTRACIÓN III. DETALLE REGISTRO DE DESARROLLO DE PREFORMA PARA PLEGAR EN U.....	20
ILUSTRACIÓN IV. VISTA DE MUELLES, GUIADO DE COMPONENTES Y ESPACIO LIBRE PARA TRABAJO.....	21
ILUSTRACIÓN V. RESULTADO DE PLEGADO EN U DE LA MATRIZ.....	21
ILUSTRACIÓN VI. VISTA GENERAL MATRIZ DE PLEGADO FINAL Y CONFORMADO DE TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES.....	21
ILUSTRACIÓN VII. VISTA GENERAL 2 MATRIZ DE PLEGADO FINAL Y CONFORMADO DE TUBO DE REFRIGERACIÓN DE GASES.....	22
ILUSTRACIÓN VIII. DETALLE DEL PISADOR DE LA MATRIZ.....	22
ILUSTRACIÓN IX. REGISTRO PARA BAQUETA SOBRE LA MATRIZ.....	22
ILUSTRACIÓN X. DETALLE DE REGISTRO DEL TUBO CON LA BAQUETA Y ALAS SALIENTES A PLEGAR.....	23
ILUSTRACIÓN XI. DETALLE DE ALA DEL TUBO PLEGADA CONTRA LA BAQUETA. ....	23
ILUSTRACIÓN XII. DETALLE DE ALOJAMIENTO DE BAQUETA PARA CONFORMAR EL TUBO, A LA IZQUIERDA DE LA IMAGEN.....	23
ILUSTRACIÓN XIII. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GAS.....	24
ILUSTRACIÓN XIV. UTILAJE CON CALCE DE ALOJAMIENTO PARA TUBO. ....	24
ILUSTRACIÓN XV. ACOPLE DE CLAMPA CON LATERALES. ....	25
ILUSTRACIÓN XVI. DETALLE DE EXPULSOR MANUAL. ....	25
ILUSTRACIÓN XVII. MATRIZ DE EMBUTICIÓN DE PROTUBERANCIAS DEL COLECTOR. ....	26
ILUSTRACIÓN XVIII. DETALLE DE HEMBRA CON FORMA DE COLECTOR Y PROTUBERANCIAS.....	27
ILUSTRACIÓN XIX. DETALLE DE PASADORES DE REGISTRO SOBRE CONTORNO DEL COLECTOR. ....	27
ILUSTRACIÓN XX. DETALLE DE PUNTAS ALOJADAS EN EL PISADOR. ....	28
ILUSTRACIÓN XXI. DETALLE DE CABEZA DE PUNTAS PARA EMBUTIR PROTUBERANCIAS. ....	28
ILUSTRACIÓN XXII. DISTRIBUCIÓN DE PUNTAS DE EMBUTICIÓN. ....	28
ILUSTRACIÓN XXIII. DETALLE DE MUELLES DE EMPUJE SOBRE EL PISADOR. ....	29
ILUSTRACIÓN XXIV. VISTA LATERAL DE MUELLES DEL PISADOR. ....	29
ILUSTRACIÓN XXV. VISTA TRANSVERSAL DE LA MATRIZ. ....	30
ILUSTRACIÓN XXVI. VISTA EN PERSPECTIVA SUPERIOR DE ELEMENTOS DE GUIADO. ....	31
ILUSTRACIÓN XXVII.COLECTORES CON PROTUBERANCIAS EMBUTIDAS. ....	31
ILUSTRACIÓN XXVIII.COLECTOR .....	32
ILUSTRACIÓN XXIX. MATRIZ DE PRIMER PASO DE CONFORMADO DE LA VIROLA.....	33
ILUSTRACIÓN XXX. DESARROLLO DE CHAPA APOYADO EN SU POSICIÓN DE TRABAJO .....	33
ILUSTRACIÓN XXXI. PISADOR HEMBRA .....	33
ILUSTRACIÓN XXXII.PISADOR MACHO.....	33
ILUSTRACIÓN XXXIII. MACHO PARA EMBOCADO DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA .....	34
ILUSTRACIÓN XXXIV. RESULTADO DE PRIMERA FASE DE PLEGADO .....	34
ILUSTRACIÓN XXXV. MATRIZ DE PLEGADO FINAL DE LA VIROLA .....	34
ILUSTRACIÓN XXXVI. DETALLE MACHO DE MATRIZ DE PLEGADO FINAL DE LA VIROLA.....	35
ILUSTRACIÓN XXXVII. VIROLA PLEGADA.....	35
ILUSTRACIÓN XXXVIII. UTILAJE DE SOLDADURA LÁSER DE VIROLA. ....	35
ILUSTRACIÓN XXXIX. VISTA LATERAL DEL UTILAJE. ....	36
ILUSTRACIÓN XL. VISTA DETALLADA DE ACOPLE ENTRE CLAMPA Y LATERAL. ....	36
ILUSTRACIÓN XLI. ALAS DE CIERRE DEL UTILAJE. ....	36
ILUSTRACIÓN XLII.TOPES. ....	37

ILUSTRACIÓN XLIII. DETALLE DE ESPACIADO DE EXTRACCIÓN DE VIROLA.	37
ILUSTRACIÓN XLIV. TUBO DE SALIDA DE GASES.	37
ILUSTRACIÓN XLV. MITAD DE TUBO DE SALIDA DE GASES	37
ILUSTRACIÓN XLVI. MATRIZ DE EMBUTICIÓN DE PROTUBERANCIAS DEL COLECTOR.	38
ILUSTRACIÓN XLVII. MACHO DE LA MATRIZ DE PLEGADO DE SEMI TUBO	38
ILUSTRACIÓN XLVIII. PASADORES DE REGISTRO DE DESARROLLO DE CHAPA SOBRE HEMBRA.	38
ILUSTRACIÓN XLIX. MITAD DE TUBO CONFORMADA EN LA HEMBRA.	39
ILUSTRACIÓN L. VISTA DEL UTILAJE DE POSICIONAMIENTO 1.	39
ILUSTRACIÓN LI. VISTA DEL UTILAJE DE POSICIONAMIENTO 2.	40
ILUSTRACIÓN LII. HEMBRA DE UTILAJE.	40
ILUSTRACIÓN LIII. MACHO DE UTILAJE.	40
ILUSTRACIÓN LIV. DETALLE MONTAJE GUIADO POR PASADORES.	40
ILUSTRACIÓN LV. CORTE DE ZONA ATORNILLADA.	41
ILUSTRACIÓN LVI. UTILAJE DE MONTAJE DE FASE 1.	42
ILUSTRACIÓN LVII. VISTA SUPERIOR DE UTILAJE DE MONTAJE FASE 1.	42
ILUSTRACIÓN LVIII. DETALLES DE REBAJES PARA ALOJAR LOS COMPONENTES.	42
ILUSTRACIÓN LIX. MAQUETA DE POSICIONAMIENTO DE FASE 2.	43
ILUSTRACIÓN LX. POSICIONAMIENTO EN EL UTILAJE DE LA FASE 1.	43
ILUSTRACIÓN LXI. POSICIONADO DE DEPÓSITO DE AGUA.	44
ILUSTRACIÓN LXII. DETALLE POSICIONADOR EN EL SABLE DEL DEPÓSITO DE AGUA.	44
ILUSTRACIÓN LXIII. POSICIONADO DE DEPÓSITO DE GAS DE ENTRADA.	44
ILUSTRACIÓN LXIV. DETALLE POSICIONADOR DE SABLE DE DEPÓSITO DE AGUA.	45
ILUSTRACIÓN LXV. POSICIONADO DEL DEPÓSITO DE GAS DE SALIDA.	45
ILUSTRACIÓN LXVI. DETALLE POSICIONADOR SABLE DE DEPÓSITO DE GAS DE SALIDA.	45
ILUSTRACIÓN LXVII. ZONAS DE SOLDADURA DE DEPÓSITO.	46
ILUSTRACIÓN LXVIII. RESULTADO EN FASE 2 DE LA MAQUETA.	46
ILUSTRACIÓN LXIX. UTILAJE DE HORNO PARA SOLDADURA BRAZING.	46
ILUSTRACIÓN LXX. UTILAJE Y FASE 2 COLOCADOS PARA BRAZING EN EL HORNO.	48
ILUSTRACIÓN LXXI. ÚTIL DE SOLDADURA LÁSER DE BRIDA Y TUBO DE SALIDA DE GASES.	48
ILUSTRACIÓN LXXII. DETALLE DE POSICIÓN GENERAL DE BRIDA Y TUBO SOBRE EL UTILAJE.	48
ILUSTRACIÓN LXXIII. CHAPA DE CALCE.	49
ILUSTRACIÓN LXXIV. BRIDA SOBRE CHAPA DE CALCE.	49
ILUSTRACIÓN LXXV. POSTIZO DE REGISTRO CIRCULAR PARA TUBO.	49
ILUSTRACIÓN LXXVI. DETALLES DE AMARRE DE TORRE.	50
ILUSTRACIÓN LXXVII. DETALLES DE POSICIONADORES.	50
ILUSTRACIÓN LXXVIII. TUBO Y BRIDA DE GASES DE SALIDA ENSAMBLADOS.	50
ILUSTRACIÓN LXXIX. UTILAJE DE MONTAJE DE FASE 3.	51
ILUSTRACIÓN LXXX. COLOCACIÓN DE FASE 2 CON BRIDA DE ENTRADA DE GASES.	51
ILUSTRACIÓN LXXXI. DETALLE DE REGISTROS Y CHAPA DE CALCE PARA POSICIONAMIENTO.	52
ILUSTRACIÓN LXXXII. VISTA DE SEPARACIÓN DE CHAPAS DE CALCE.	52
ILUSTRACIÓN LXXXIII. POSICIONADO DE BRIDA DE SALIDA DE GASES.	52
ILUSTRACIÓN LXXXIV. POSICIÓN LISTA PARA SOLDAR BRIDA DE ENTRADA DE GASES.	53
ILUSTRACIÓN LXXXV. ZONAS DE SOLDADURA DE LA BRIDA DE ENTRADA DE GASES.	53
ILUSTRACIÓN LXXXVI. POSICIONADO DE TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.	53
ILUSTRACIÓN LXXXVII. SABLE DE REGISTRO DE BOCA DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.	54
ILUSTRACIÓN LXXXVIII. ZONAS DE SOLDADURA DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA.	54
ILUSTRACIÓN LXXXIX. FASE 3 ENSAMBLADA.	54
ILUSTRACIÓN XC. UTILAJE DE ENSAMBLAJE PARA LA FASE 4.	55
ILUSTRACIÓN XCI. DETALLE PLACA CON PASADORES DE REGISTRO Y CLAMPAS.	55
ILUSTRACIÓN XCII. POSICIONADO DE LA FASE 4 EN EL UTILAJE.	55

ILUSTRACIÓN XCIII. POSICIONADO DE BRIDA Y TUBO DE SALIDA DE GASES CON LA FASE 4 .....	56
ILUSTRACIÓN XCIV. DETALLE DE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE BRIDA DE SALIDA DE GASES. ....	56
ILUSTRACIÓN XCV. DETALLE DE GUIADO DE TORNILLOS POSICIONADORES DE BRIDA DE SALIDA DE GASES. ....	56
ILUSTRACIÓN XCVI. POSICIÓN PREPARADA PARA SOLDAR LA FASE 3 CON LA SALIDA DE GASES. ....	57
ILUSTRACIÓN XCVII. ZONA DE APLICACIÓN DE SOLDADURA. ....	57
ILUSTRACIÓN XCVIII. FASE 4.....	57
ILUSTRACIÓN XCIX. UTILAJE DE ENSAYO DE ESTANQUEIDAD DE TUBOS DE REFRIGERACIÓN DE GASES. .....	58
ILUSTRACIÓN C. DETALLE DE JUNTA DESPLAZABLE. ....	58
ILUSTRACIÓN CI. DETALLE DE POSTIZO DE ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA CON JUNTA PARA ESTANQUEIDAD. ....	58
ILUSTRACIÓN CII. DETALLE DE REGULACIÓN DE POSICIÓN DE LA CLAMPA DEL UTILAJE. ....	59
ILUSTRACIÓN CIII. UTILAJE DE CONTROL DE ESTANQUEIDAD DE TUBOS DE SALIDA DE GASES. ....	59
ILUSTRACIÓN CIV. UTILAJE DE CONTROL DE ESTANQUEIDAD DE FASE 2. ....	60
ILUSTRACIÓN CV. ZONAS DE SELLADO DEL LA FASE 2 .....	60
ILUSTRACIÓN CVI. MAQUETA DE CONTROL GEOMÉTRICO.....	61
ILUSTRACIÓN CVII. VISTA 1 DE MAQUETA DE CONTROL CON INTERCAMBIADOR. ....	61
ILUSTRACIÓN CVIII. VISTA 2 DE MAQUETA DE CONTROL CON INTERCAMBIADOR. ....	61
ILUSTRACIÓN CIX. DETALLE DE REGISTROS PARA LA BRIDA DE ENTRADA DE GASES. ....	62
ILUSTRACIÓN CX. VISTA SUPERIOR DE PRIMER CLAMPADO.....	62
ILUSTRACIÓN CXI. DETALLE REGISTROS PARA BRIDA DE SALIDA DE GASES. ....	63
ILUSTRACIÓN CXII. DETALLE COLOCACIÓN DE BRIDA DE GASES SOBRE REGISTROS. ....	63
ILUSTRACIÓN CXIII. REGISTRO DE CONTROL DE POSICIÓN DEL PLANO DE LA BRIDA DE SALIDA.....	63
ILUSTRACIÓN CXIV. DETALLE DE GUIADO DE SABLE DE CONTROL.....	64
ILUSTRACIÓN CXV. TORRE DE GUIADO DE CONTRASABLE.....	64
ILUSTRACIÓN CXVI. DETALLE DE CLAMPA PARA BRIDA DE SALIDA. ....	64
ILUSTRACIÓN CXVII. DETALLE UNIÓN CON MUELLE ENTRE CLAMPA Y GUIADO DE BRIDA. ....	65
ILUSTRACIÓN CXVIII. REGISTRO PARA LA BOCA DEL TUBO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA. ....	65
ILUSTRACIÓN CXIX. DETALLE POSICIONADOR SOBRE SABLE DE CONTROL DE TUBO DE AGUA. ....	66
ILUSTRACIÓN CXX. POSTIZO DE VIBRACIÓN .....	68