

## ANEXOS

# DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR TUBULAR INDUSTRIAL AGUA-ACEITE



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza**

JESÚS ESTEBAN FUERTES

## ÍNDICE

1.	Proceso de fabricación .....	3
1.1.	Selección de materiales.....	3
1.2.	Proceso de cálculo .....	4
1.3.	Diseño .....	4
1.4.	Fabricación .....	6
1.4.1.	Piezas a comprar .....	6
1.4.2.	Piezas a fabricar .....	7
1.5.	Montaje.....	8
1.5.1.	Montaje de la coraza.....	8
1.5.2.	Montaje del haz de tubos .....	11
1.5.3.	Ensamblaje.....	14
2.	Lista de materiales .....	16
3.	Hoja de resultados .....	18
4.	Presupuesto .....	20
5.	Planos .....	22

# 1. PROCESO DE FABRICACIÓN

En este apartado se expone de una manera detallada el proceso a seguir para la fabricación de un intercambiador de calor, desde la selección de materiales hasta su montaje final pasando por todos los procesos de fabricación.

## 1.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

El primer paso a la hora de fabricar un intercambiador es elegir los materiales con los que fabricarlo. Esto dependerá principalmente de los requerimientos técnicos que vamos a necesitar, del funcionamiento que va a llevar, de los fluidos que circularán por él y de las condiciones de trabajo del ambiente.

El material más utilizado en la industria de los intercambiadores es el acero inoxidable, ya que al trabajar la mayoría de ellos con agua dulce o con fluidos corrosivos es el que mejores prestaciones da.

La carcasa y la estructura del intercambiador puede fabricarse con acero al carbono ya que no entra en contacto con el agua pero siempre que el fluido a enfriar no sea corrosivo.

El material más utilizado para la fabricación de los tubos es el cuproníquel 90-10 ya que su conductividad térmica es mejor que la del acero inoxidable con lo que nos proporciona un mayor intercambio de calor.

Otro material que se está introduciendo en esta industria es el acero inoxidable al titanio. Este material nos proporciona mayor durabilidad al producto y mayores resistencias a la corrosión aunque de momento su uso está muy limitado debido a su elevado coste.

En nuestro proyecto, a la hora de elegir el material utilizaremos un acero inoxidable AISI 304. La selección de este material se debe a requerimientos técnicos del cliente, aunque para un intercambiador de este tipo que no va a trabajar en condiciones exteriores muy adversas y cuyo aceite no es corrosivo este material sería el más indicado.

## 1.2. PROCESO DE CÁLCULO

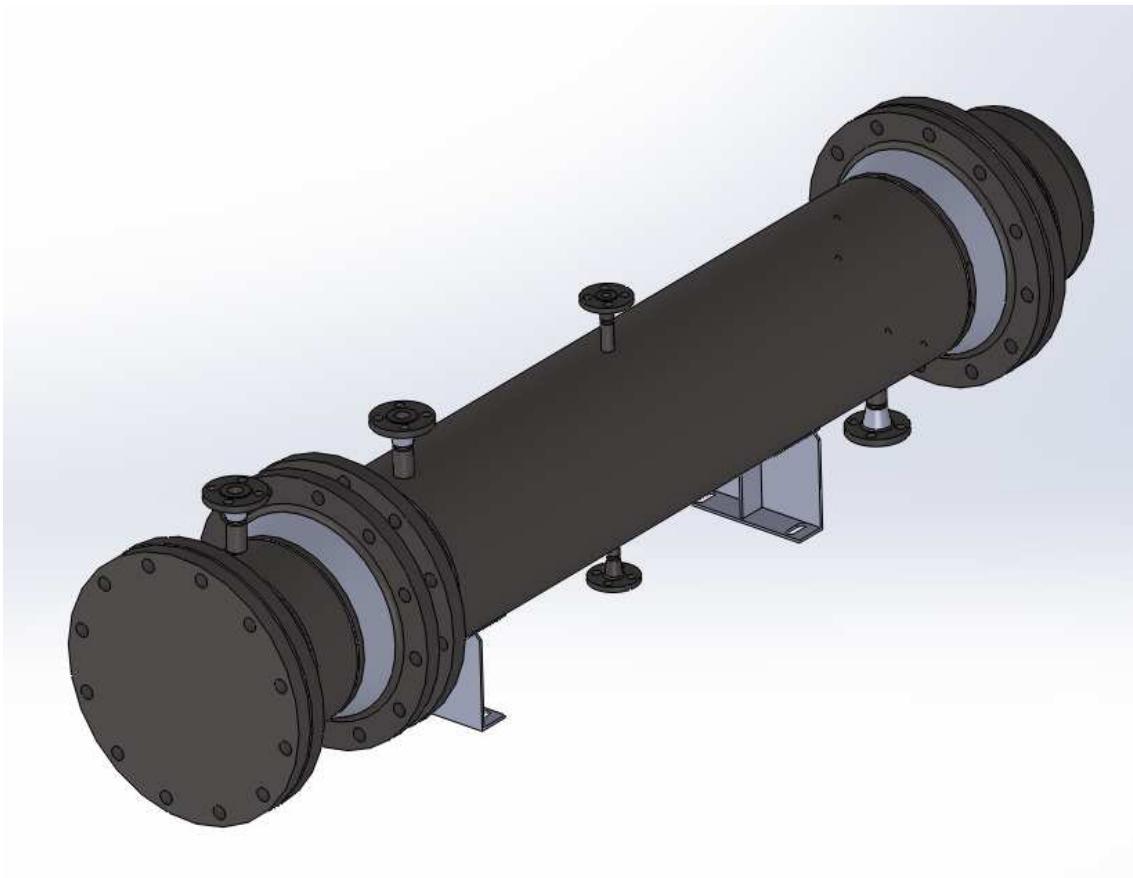
Una vez seleccionado el material del que lo vamos a fabricar necesitamos conocer sus requerimientos técnicos para delimitar sus dimensiones, el número de pasos y sus entradas y salidas.

Para este proceso utilizaremos el programa de cálculo explicado anteriormente introduciendo en él los datos de entrada necesarios y obteniendo los datos que necesitaremos para la fabricación.

## 1.3. DISEÑO

El siguiente paso para la fabricación es el diseño del intercambiador. Para ello utilizaremos un programa de dibujo para realizar el modelo completo con el cual poder realizar posteriormente los planos con los que fabricar cada una de las piezas.

La selección del programa a utilizar dependerá de si se va a trabajar en 2D o en 3D. Para un trabajo en 2D el programa más extendido es AutoCad. Para un diseño en 3D podemos utilizar programas como SolidWorks, en este proyecto en concreto se ha utilizado SolidWorks.



Una vez seleccionado el programa de dibujo lo siguiente es empezar a dibujar las piezas. Primero se han dibujado las piezas comerciales ya que tienen medidas muy definidas es posible que posteriormente nos limiten las dimensiones de otras piezas. El resto de las piezas se dibujarán conforme a las piezas comerciales y los requerimientos obtenidos del programa de cálculo.

Una vez que tenemos todas las piezas dibujadas el siguiente paso es llevar a cabo un ensamblaje de todo el conjunto.

En el anexo "PLANOS" se muestran todos los dibujos realizados, tanto pieza por pieza como muestras del conjunto total en distintas posiciones.

## 1.4. FABRICACIÓN

Para el proceso de fabricación vamos a dividir el conjunto total de piezas en dos grupos, las piezas que compramos como elementos comerciales con dimensiones ya definidas listas para su montaje y las piezas que tenemos que fabricar o mecanizar.

### 1.4.1. Piezas a comprar

Para este proyecto he utilizado piezas industriales normalizadas para hacer más sencillo el suministro de materiales para la construcción de los intercambiadores. Este apartado lo dividiremos en dos tipos de piezas: las que compramos ya listas y las que tenemos que cortar a medida. Hay piezas como la tubería que no se suministran a la medida deseada, sino que se suministran a medidas estándar, por lo que las tendremos que cortar de acuerdo a nuestras necesidades.

- Listado de piezas a comprar que no necesitan ninguna operación:

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
3	BRIDA ANSI 12"	5	AISI304
4	CAP ANSI 12"	1	AISI304
5	BRIDA CIEGA ANSI 12"	1	AISI304
13	BRIDA ANSI 1"	4	AISI304
14	BRIDA ANSI 1/2"	2	AISI304
15	JUNTA VITON 12"	2	VITON
17	JUNTA VITON BRIDA CIEGA 12"	1	VITON

- Listado de piezas a comprar que necesitan corte a medida:

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	TUBO ANSI 12" L=1500	1	AISI304
2	TUBO ANSI 12" L=200	1	AISI304
11	TUBO 1" L=50	4	AISI304
12	TUBO 1/2" L=50	2	AISI304
19.1	TUBO 3/4" L=1500	80	AISI304
19.2	TUBO 8MM L=1500	4	AISI304
19.3	TUBO 12MM L=135	4	AISI304
19.4	TUBO 12MM L=100	54	AISI304

### 1.4.2. Piezas a fabricar

Todas las piezas de este apartado necesitan una fabricación propia ya que no las vamos a encontrar en el mercado. Para ello tendremos que comprar la materia prima y fabricarlas nosotros mismos.

Dentro de este apartado vamos a dividir las piezas en 3 grupos.

- Piezas que precisan mecanización

Estas piezas, dada su complejidad necesitan ser mecanizadas en una fresa. En el apartado de "Planos" encontraremos las dimensiones necesarias para su correcta mecanización.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
7	SOPORTE TUBOS ENTRADA	1	AISI304
8	SOPORTE TUBOS CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304
9	CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304
19.5	DEFLECTOR	12	AISI304

- Piezas que precisan corte y soldadura

Estas piezas las tendremos que fabricar en dos procesos: primero cortarlas con las dimensiones indicadas en los planos individualmente y posteriormente soldarlas entre sí para obtener los conjuntos que necesitamos.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
6	DISTRIBUIDOR ENTRADA	1	AISI304
10	SOPORTE INTERCAMBIADOR	2	AISI304
10.1	PIEZA 1	1	AISI304
10.2	PIEZA 2	1	AISI304
10.3	PIEZA 3	1	AISI304

- Piezas que requieren corte especial

Algunas piezas a fabricar no tienen un corte convencional, por lo que hay que fabricarlas prácticamente a mano. En este caso estas piezas son las juntas de viton. Este material flexible por lo que no tendremos mayor problema a la hora de su fabricación.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
16	JUNTA VITON DISTRIBUIDOR	1	VITON
18	JUNTA VITON CABEZAL FLOTANTE	1	VITON

## 1.5. MONTAJE

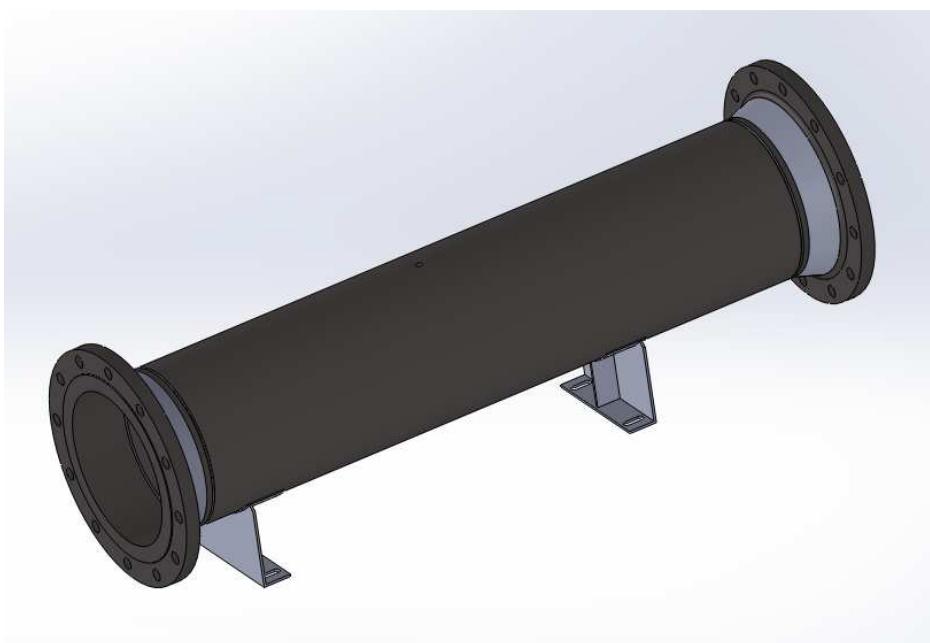
El montaje del intercambiador se divide en dos partes bien diferenciadas. La primera es la coraza del intercambiador con las entradas y salidas de aceite y agua y la segunda es el haz de tubos con los soportes, deflectores y el cabezal flotante.

En este apartado se explican los pasos a seguir para el correcto ensamblaje y montaje del intercambiador.

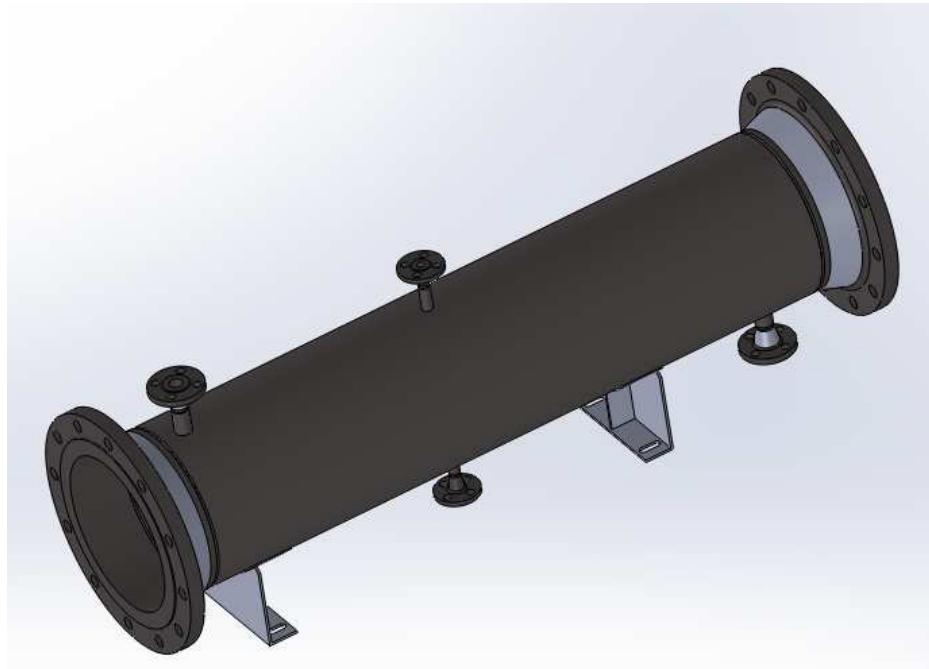
### 1.5.1. Montaje de la coraza

Para realizar esta operación necesitaremos un grupo de soldeo ya que las uniones entre piezas las realizaremos mediante cordones de soldadura. Todas estas soldaduras se realizarán teniendo en cuenta las dimensiones correspondientes y el lugar correcto en el que hay que situarlas atendiendo a los planos realizados en el diseño del intercambiado. El proceso a seguir es el siguiente.

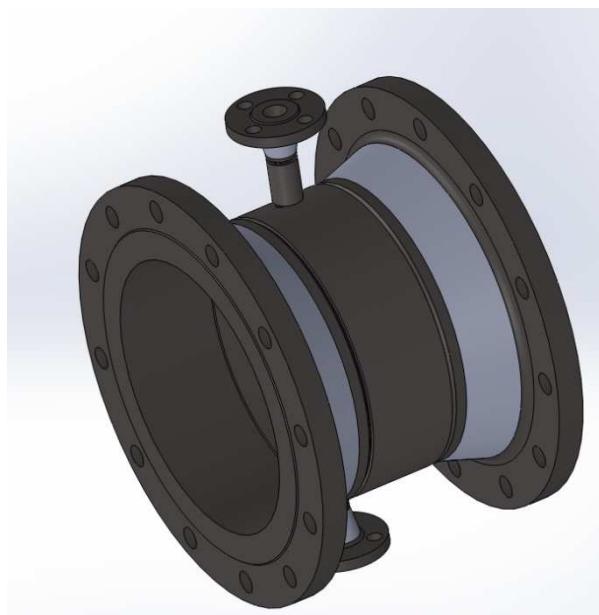
- Lo primero que soldaremos será los soportes del intercambiador (Pos.10) a la carcasa para estabilizar la carcasa (Pos.1) y facilitar el trabajo posterior.
- Soldamos una brida de 12" (Pos.3) a cada lado de la carcasa



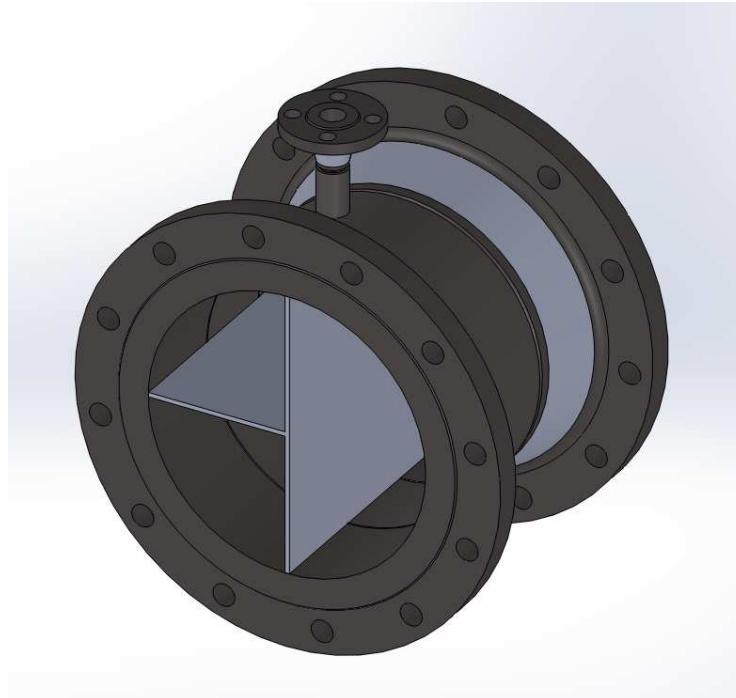
- Externamente soldamos los tubos de las entradas y salidas (Pos.11) a las bridas de 1" (Pos.13). Soldamos tanto los de entrada del agua como los de entrada del aceite ya que es la misma operación.



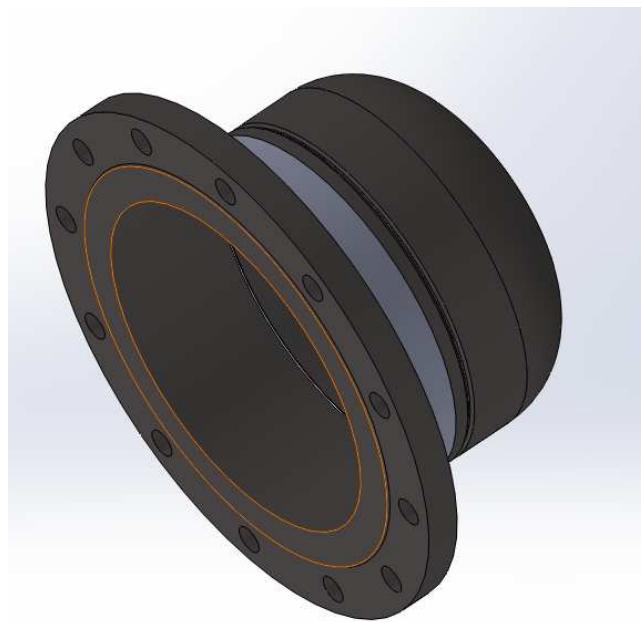
- Realizamos la misma operación con el venteo y el drenaje (Pos.12 y 14).
- Por otro lado vamos a preparar el cabezal de la entrada del agua al intercambiador con el distribuidor. Para ello soldaremos una brida de 12" (Pos.3) a cada uno de los extremos del tubo de 12" (Pos.2). Soldaremos también los tubos de entrada y salida del agua junto con sus bridas de 1" (Pos.10 y 13).



- A este conjunto le introduciremos dentro el distribuidor (Pos.6) y lo sujetaremos mediante cordones de soldadura.

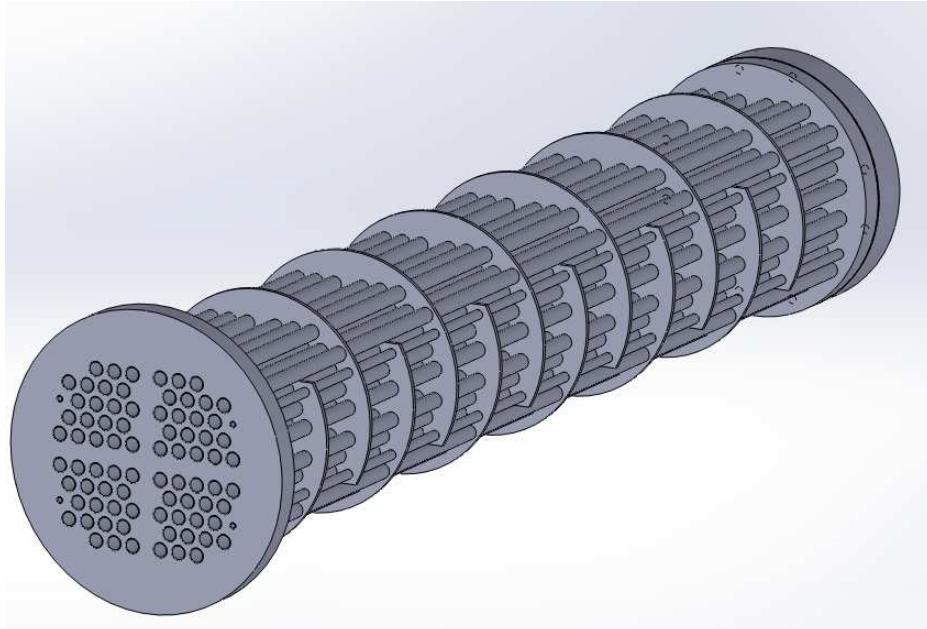


- Por último soldaremos aparte la brida de 12" (Pos.3) que nos queda al CAP (Pos.4)

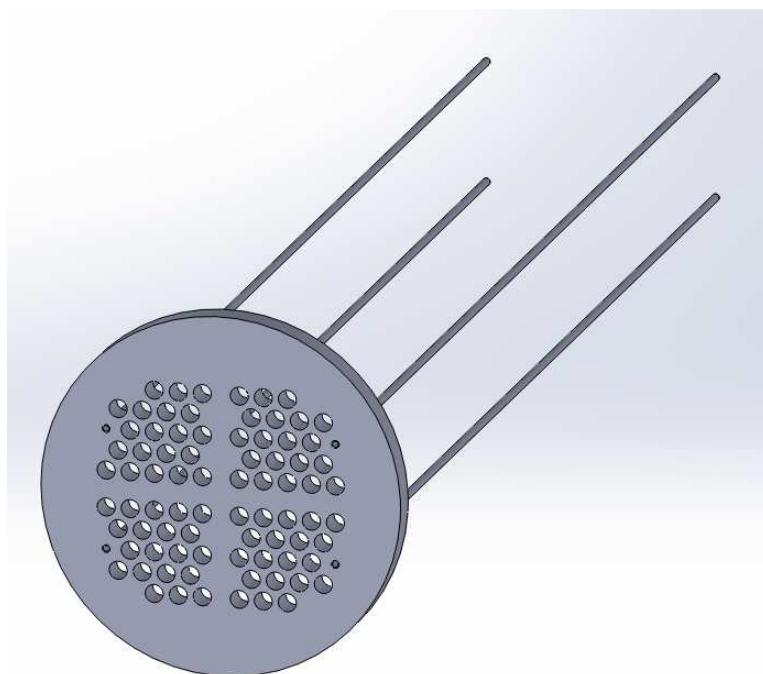


### 1.5.2. Montaje del haz de tubos

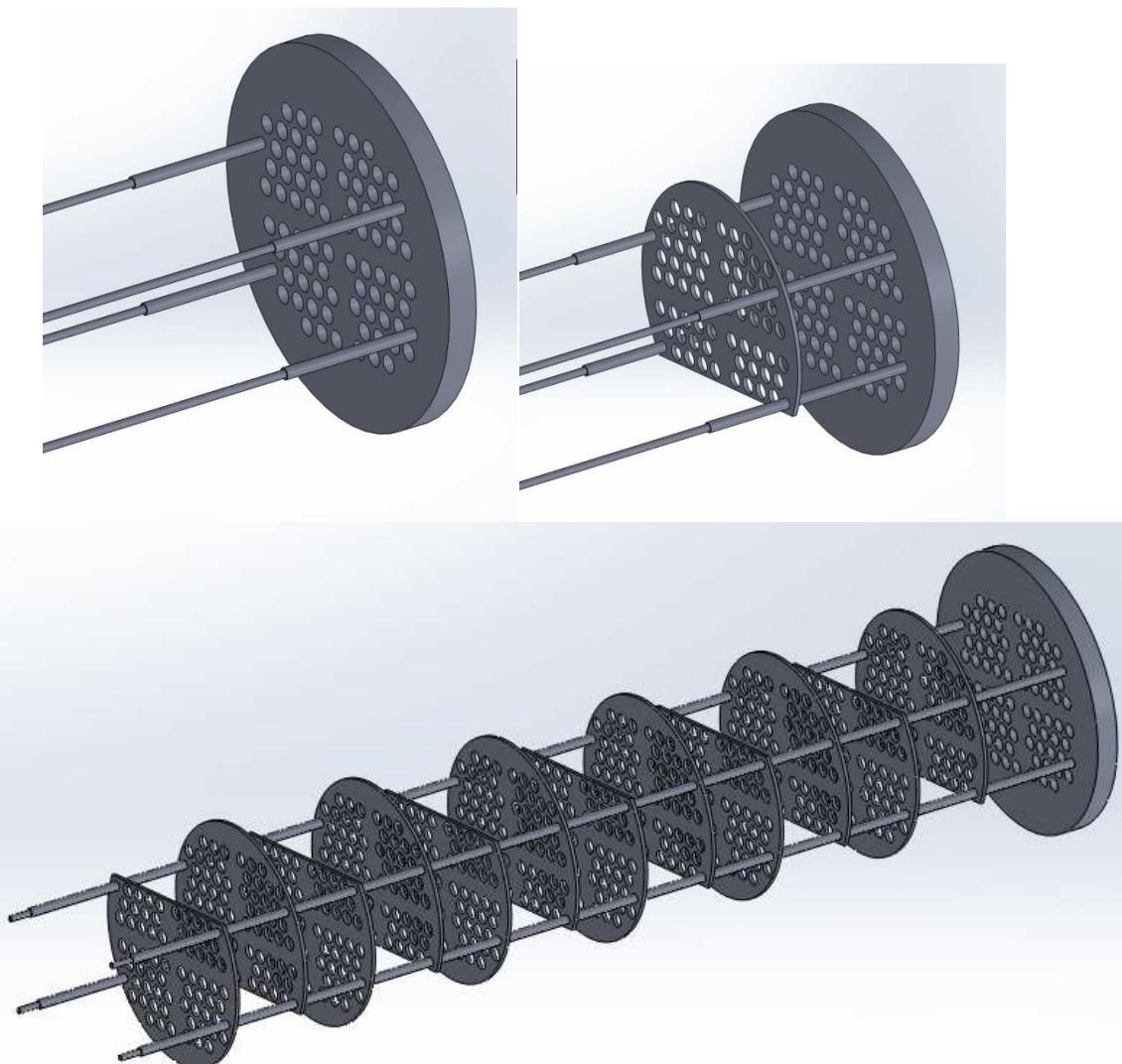
El objetivo es ensamblar el haz de tubos completo junto con los deflectores y los soportes de los tubos. Para ello necesitaremos seguir las siguientes instrucciones. Como material de trabajo necesitaremos un expandido neumático para fijar los tubos a los soportes.



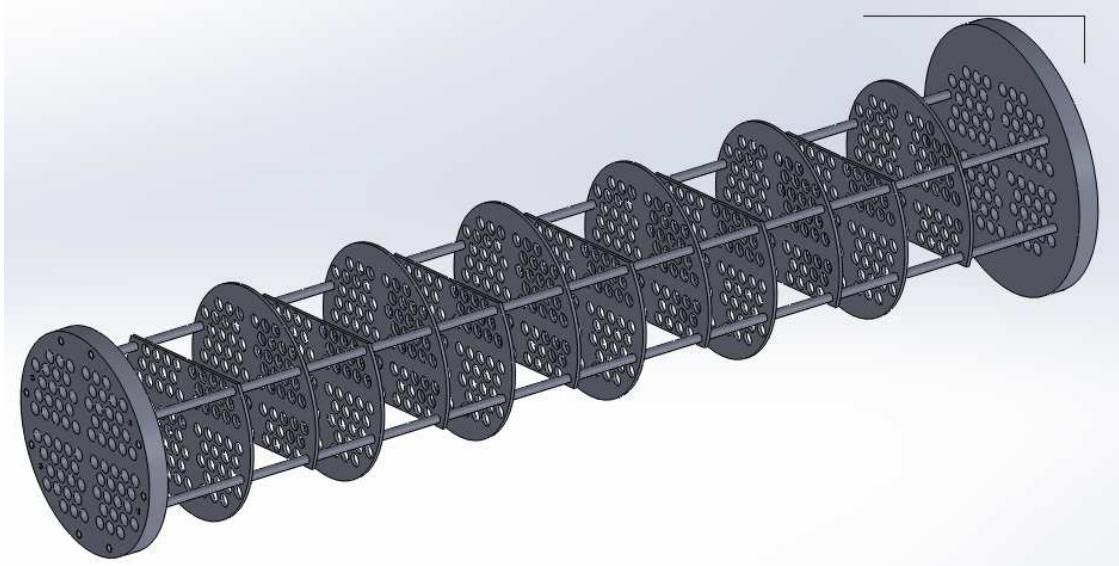
- Como primer paso tomaremos el soporte de tubos del lado de entrada de agua y le fijaremos los tubos de métrica 8 en los agujeros correspondientes.



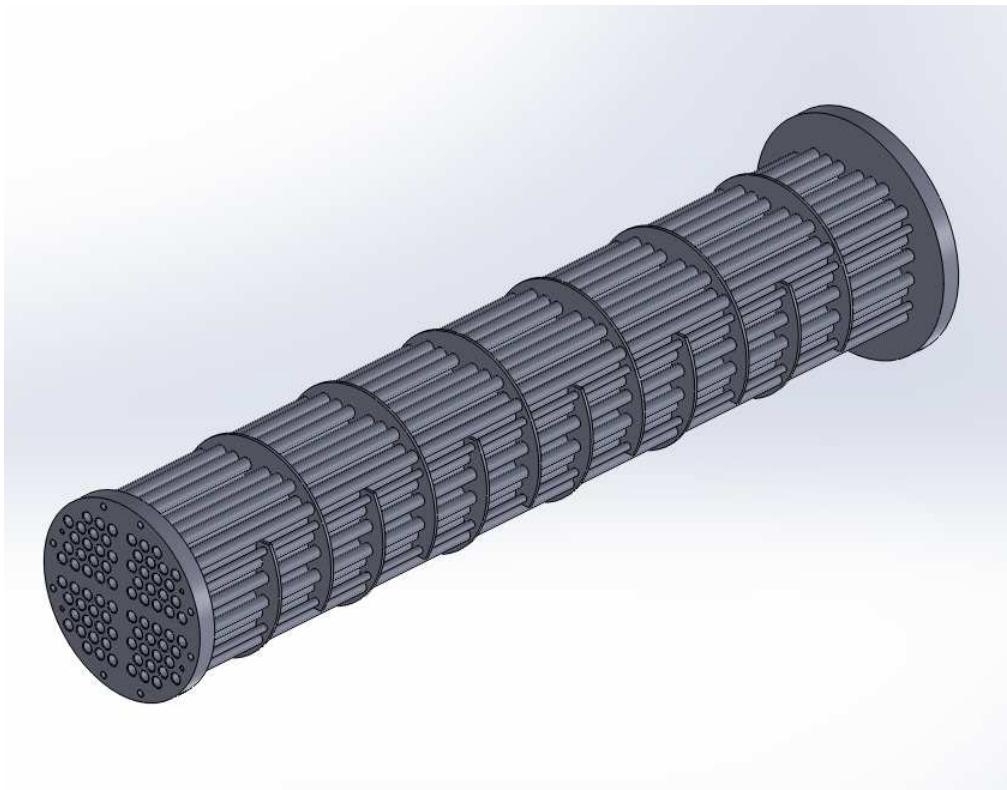
- A continuación iremos introduciendo en los tubos de los tubos de 12 intercalados con los deflectores. Al colocar los deflectores tendremos que tener cuidado de colocar cada uno con el corte hacia el lado correcto de tal forma que quede uno con el corte en la parte superior y el siguiente con el corte en la parte inferior.



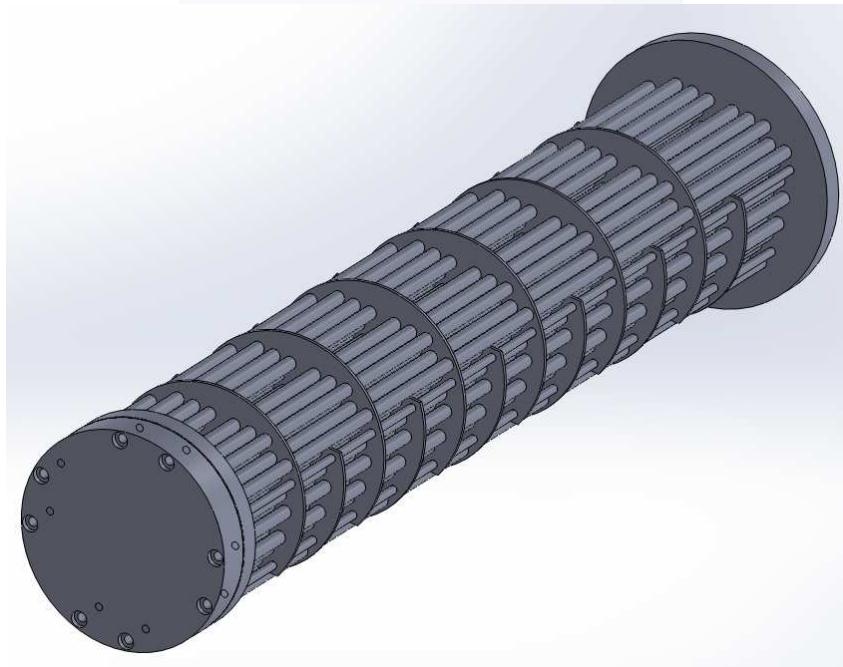
- El siguiente paso es fijar el otro extremo de los tubos con el otro soporte de los tubos del cabezal flotante.



- Una vez completado este ensamblaje ya dispondremos de cierta rigidez en el haz de tubos como para poder ir introduciendo todos los tubos y expandiééndolos para formar el haz de tubos.



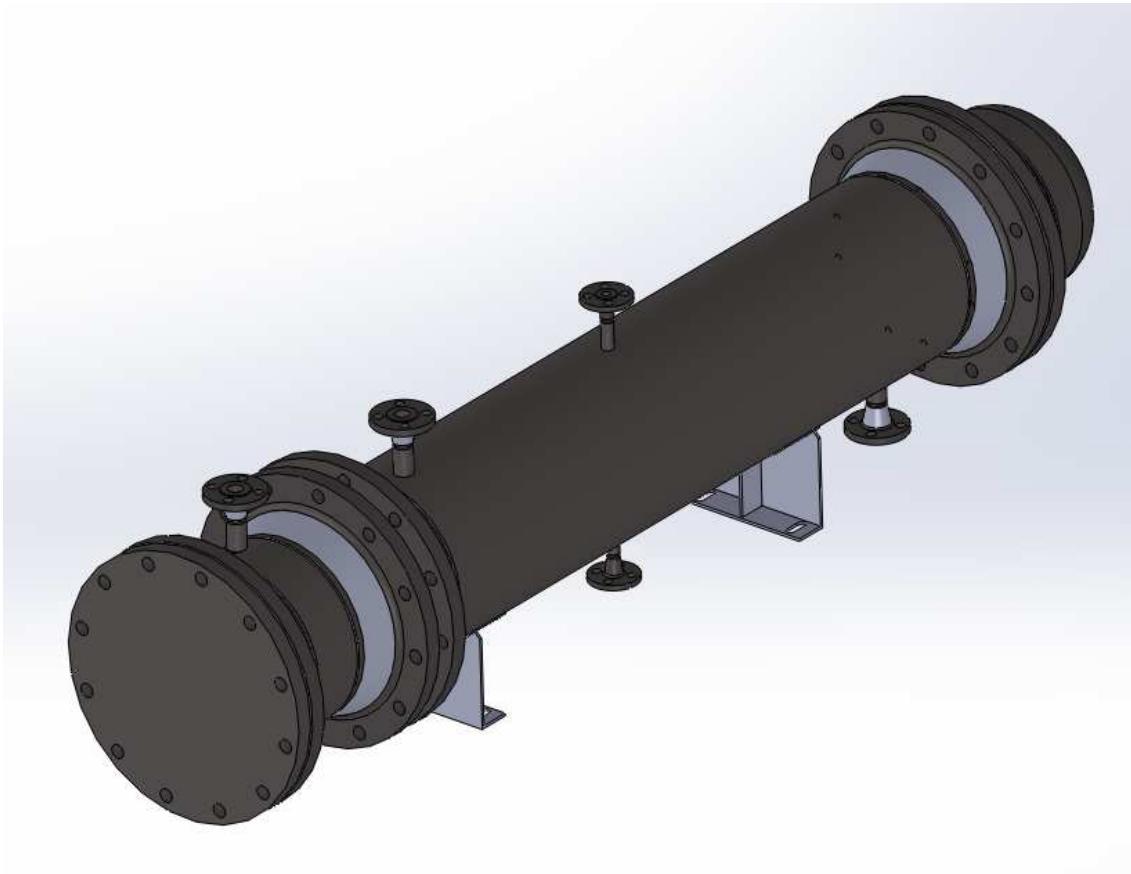
- Por último colocaremos el cabezal flotante. Para ello necesitaremos 5 tornillos M10. Antes de colocar el cabezal tendremos que poner la junta del cabezal entre el soporte de los tubos y el cabezal para evitar fugas.



### 1.5.3. Ensamblaje

Una vez completados ambos conjuntos por separado solo nos queda el ensamblaje final. Para ello introduciremos el haz de tubos dentro de la coraza y uniremos las bridas con pasadores M12 poniendo las juntas correspondientes entre ellas.

Una vez realizado este ensamblaje el intercambiador ya está terminado y preparado para el proceso de pintura o para su funcionamiento.



## 2. LISTA DE MATERIALES

En la lista de materiales se muestra de una manera detallada los distintos elementos que necesitaremos para la construcción de un intercambiador: código de elemento, descripción del elemento, material y cantidad.

- Código de elemento: Nos proporciona la información sobre la pieza, ya que aparte de con la descripción a cada pieza se le ha asignado una numeración que coincidirá con el número de plano.
- Descripción del elemento: En caso de que no fuera posible identificar el elemento con su código lo identificaremos con la descripción. Esta consiste en una pequeña descripción del elemento o de en qué posición lo utilizamos.
- Cantidad: Nos indica el número de elementos iguales que necesitamos para el intercambiador.
- Material: Nos indica el material del que está fabricada cada pieza. No todo el intercambiador entero tiene que estar fabricado del mismo material, sino que cada pieza o grupo de piezas puede estar fabricado de un material distinto ya porque sea más económico o más eficiente.

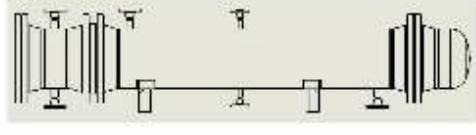
LISTA DE MATERIALES			
POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
1	TUBO ANSI 12" L=1500	1	AISI304
2	TUBO ANSI 12" L=200	1	AISI304
3	BRIDA ANSI 12"	5	AISI304
4	CAP ANSI 12"	1	AISI304
5	BRIDA CIEGA ANSI 12"	1	AISI304
6	DISTRIBUIDOR ENTRADA	1	AISI304
7	SOPORTE TUBOS ENTRADA	1	AISI304
8	SOPORTE TUBOS CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304
9	CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304
10	SOPORTE INTERCAMBIADOR	2	AISI304
11	TUBO 1" L=50	4	AISI304
12	TUBO 1/2" L=50	2	AISI304
13	BRIDA ANSI 1"	4	AISI304
14	BRIDA ANSI 1/2"	2	AISI304
15	JUNTA KLINGERSIL 12"	2	VITON
16	JUNTA VITON DISTRIBUIDOR	1	VITON
17	JUNTA VITON BRIDA CIEGA	1	VITON
18	JUNTA VITON CABEZAL FLOTANTE	1	VITON
19	HAZ DE TUBOS	1	AISI304
10.1	PIEZA 1	1	AISI304
10.2	PIEZA 2	1	AISI304
10.3	PIEZA 3	1	AISI304
19.1	TUBO 3/4" L=1500	80	AISI304
19.2	TUBO 8MM L=1500	4	AISI304
19.3	TUBO 12MM L=135	4	AISI304
19.4	TUBO 12MM L=100	54	AISI304
19.5	DEFLECTOR	12	AISI304

## 3. HOJA DE RESULTADOS

Como formato para exponer los resultados obtenidos con cada cálculo de intercambiadores realizado utilizamos una hoja de resultados. Esta hoja de resultados tiene el formato estándar que se utiliza actualmente en la industria para definir las características de un intercambiador de calor tubular.

En esta hoja se muestran los principales parámetros de diseño, los resultados obtenidos, tanto dimensionales como térmicos, y los materiales con los que debemos fabricar cada uno de los elementos.

Esta hoja se rellena de manera automática con los datos que obtenemos del programa una vez introducidos los datos de entrada. Por este motivo obtenemos de manera instantánea los datos que necesitamos para su fabricación y podemos comparar distintos modelos para ver cual se nos adapta mejor a nuestras necesidades.

1	REV	CONJUNTO N°:			PEDIDO N°:										
2	Servicio:	Refrigeracion aceite		Superficie de intercambio:	5,78 m <sup>2</sup>										
3	Longitud total:	Longitud intercambio:		1530	Diámetro coraza:	254									
4	CALCULOS TÉRMICOS														
5					Lado Coraza		Lado Tubos								
6					Entrada	Salida	Entrada								
7	Nombre del fluido				Mobil Vacuoline 525		AGUA								
8	Caudal total del fluido	kg/h		3289		4787									
9	Temperatura	°C		63,5	45,0	32,0	37,8								
10	Densidad	kg/m <sup>3</sup>		867,40		997,25									
11	Viscosidad	cp		105,08		0,80									
12	Calor específico	kcal/kg. °C		0,46		1,00									
13	Conductividad térmica	kcal/h.m. °C		0,1306		0,5220									
14	Presión de entrada	Bar		15,00		4,00									
15	Caida de presión (permitida/calculada)	Bar		0,02		0,01									
16	Resistencia de ensuciamiento (min)	h.m. <sup>2</sup> °C/kcal				0,00065									
17	Calor intercambiado:	Kcal/h		7754,56											
18	Coeficiente trasferencia de calor	Sucio	252,05	Limpio:	301,43	(kcal/h.m. <sup>2</sup> .°C)									
19	DIMENSIONES INTERCAMBIADOR														
20					Lado de la coraza		Lado del tubo								
21	Presión de diseño	Bar		20		10									
22	Temperatura de diseño	°C		0-100		0-80									
23	Número de pasos			1		4									
24	Conexiones	Entrada:	1		in	1									
25		Salida:	1		in	1									
26		Drenaje:	1/2	in											
27		Ventaje:	1/2	in											
28	Tubos:	AISI304		Nº Tubos:	76	Disposición:	Triangular								
29	Carcasa:	AISI304		Ø Tubos:	19	Separación:	25								
30	Cabezal carcasa:	AISI304		Longitud tubos:	1530	Espesor:	1								
31	Distribuidor:	AISI304													
32	Tapa distribuidor:	AISI304													
33	Placa tubular fija:	AISI304													
34	Placa tubular flotante:	AISI304		Nº de placas:	12	% de corte:	0,25								
35	Cabezal flotante:	AISI304		Espacio entrada/salida:		135									
36	Placas deflectoras (bufles):	AISI304		Distancia entre bandejas:		100									
37	Tipo de juntas:	VITON													
38	Unión de tubos a placa tubular:	Expansionado													
39	Códigos aplicables:														
40															
41															
42	NOTAS:				ESQUEMA:										
43															
44															
45															
46															
47															
	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	REAL	APROB.										
	PROYECTO FINAL DE CARRERA														
	CÁLCULO Y DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS														

## 4. PRESUPUESTO

El presupuesto es la parte del proyecto que nos indicará si es viable económicamente la fabricación de un intercambiador. Para decidir si su fabricación es viable, posteriormente se realizará un estudio de mercado para ver en qué costes de fabricación nos situamos respecto a otros fabricantes.

Dentro del presupuesto incluimos la lista de materiales ya que la necesitaremos para calcular los costes individuales de cada elemento.

Aparte de los campos citados en la lista de materiales añadiremos los siguientes campos:

- Coste del material: En este coste incluimos solamente el precio de compra del material, es decir, el material en bruto sin modificarlo. Tendremos piezas que ya compraremos fabricadas con lo cual el coste será el precio de compra como puede ser el caso de las bridas.
- Horas de fabricación: En este campo pondremos las horas de fabricación de los elementos que necesiten ser procesados para su posterior ensamblaje, como por ejemplo los deflectores que tendrán que ser mecanizados en una fresadora. Incluiríremos también las horas de montaje de cada uno de los ensamblajes que tiene el intercambiador, como los soportes, y el montaje final del intercambiador. Si es necesario realizar alguna operación sobre el intercambiador como puede ser aplicarle una capa de pintura también deberemos detallar el tiempo invertido..
- Coste de la hora de fabricación: No todas las operaciones requieren la misma maquinaria ni la misma cualificación del operario para su realización. Por lo que el coste de hora de fabricación de cada elemento será distinto.
- Coste total: En este campo reflejamos lo que nos cuesta fabricar cada grupo de piezas, es decir, si tenemos que fabricar 5 piezas idénticas, nos

muestra los costes de fabricar las 5 piezas. Están incluidos tanto los costes de material como los costes fabricación.

- Por último, en la parte inferior, se muestra un resumen del presupuesto indicando los costes de todo el material, las horas empleadas en la fabricación del intercambiador, el coste que han supuesto estas horas y el precio total de coste del intercambiador.

Podemos encontrar el presupuesto en la hoja "PRESUPUESTO" del archivo Excel.

## PRESUPUESTO

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	COSTE MATERIAL	OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN (H)	COSTE HORA	TOTAL
1	TUBO ANSI 12" L=1500	1	AISI304	90,36	CORTE	0,1	18	92,16
2	TUBO ANSI 12" L=200	1	AISI304	12,9	CORTE	0,1	18	14,7
3	BRIDA ANSI 12"	5	AISI304	296,64				1483,2
4	CAP ANSI 12"	1	AISI304	145,96				145,96
5	BRIDA CIEGA ANSI 12"	1	AISI304	185,63				185,63
6	DISTRIBUIDOR ENTRADA	1	AISI304	11,2	CORTE	0,5	18	20,2
7	SOPORTE TUBOS ENTRADA	1	AISI304	95,61	MECANIZADO	3	32	191,61
8	SOPORTE TUBOS CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304	95,61	MECANIZADO	3	32	191,61
9	CABEZAL FLOTANTE	1	AISI304	95,61	MECANIZADO	2	32	159,61
10	SOPORTE INTERCAMBIADOR (MONTAJE)	2	AISI304	11,79	MONTAJE	0,2	25	33,58
11	TUBO 1" L=50	4	AISI304	2,53	CORTE	0,05	18	13,72
12	TUBO 1/2" L=50	2	AISI304	1,98	CORTE	0,05	18	5,76
13	BRIDA ANSI 1"	4	AISI304	7,86				31,44
14	BRIDA ANSI 1/2"	2	AISI304	6,54				13,08
15	JUNTA VITON 12"	2	VITON	3,5				7
16	JUNTA VITON DISTRIBUIDOR	1	VITON	3,5	CORTE	0,1	18	5,3
17	JUNTA VITON BRIDA CIEGA	1	VITON	3,9				3,9
18	JUNTA VITON CABEZAL FLOTANTE	1	VITON	3,5	CORTE	0,1	18	5,3
19	HAZ DE TUBOS (MONTAJE)	1	AISI304		MONTAJE	20	25	500
10.1	SOPORTE 1	1	AISI304	2,13	CORTE	0,1	18	3,93
10.2	SOPORTE 2	1	AISI304	2,13	CORTE	0,1	18	3,93
10.3	SOPORTE 3	1	AISI304	2,13	CORTE	0,1	18	3,93
19.1	TUBO 3/4" L=1500	80	AISI304	6,82	CORTE	0,05	18	617,6
19.2	TUBO 8MM L=1500	4	AISI304	3,15	CORTE	0,05	18	16,2
19.3	TUBO 12MM L=135	4	AISI304	0,65	CORTE	0,05	18	6,2
19.4	TUBO 12MM L=100	54	AISI304	0,55	CORTE	0,05	18	78,3
19.5	DEFLECTOR	12	AISI304	16,8	MECANIZADO	2	32	969,6
MONTAJE DEL INTERCAMBIADOR				MONTAJE	2	25	50	
PINTURA				PINTURA		30	32,25	
				COSTES TOTALES	MATERIAL	Nº HORAS FABRICACIÓN	COSTE HORAS	TOTAL
				3.146,90 €		63	1.738,80 €	4.885,70 €

## 5. PLANOS

En este apartado se muestran los planos realizados para llevar a cabo la construcción del intercambiador, así como de cada una de sus piezas.