



# Taula de contingut

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>7</b>
1.1	Antecedents	7
1.2	Objecte	7
1.3	Abast	7
1.4	Especificacions	8
1.4.1	Especificacions fase I	8
1.4.2	Especificacions fase II	10
1.4.3	Especificacions fase III	11
1.4.4	Especificacions fase IV	12
<b>2</b>	<b>Descripció general del disseny de l'autoclau</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Fase I: Contenció de la pressió</b>	<b>15</b>
3.1	Introducció	15
3.2	Elements constructius bàsics	15
3.2.1	Disposició autoclau	15
3.2.2	Contenció de la pressió	16
3.2.2.1	Cos cilíndric	16
3.2.2.2	Fons torisfèric	17
3.2.2.3	Conjunt comporta d'accés	17
3.2.3	Elements de suport	19
3.2.3.1	Recolzaments autoclau	20
3.2.3.2	Frontissa de la comporta	20
3.2.3.3	Suport del motor de ventilació	21
3.3	Elements de control i regulació	21
3.3.1	Regulació de la pressió	21
3.3.2	Control de la pressió	22
<b>4</b>	<b>Fase II: Homogeneïtat tèrmica</b>	<b>23</b>
4.1	Introducció	23
4.2	Sistema de ventilació	23
4.2.1	Cilindre de Recirculació	24
4.2.2	Campana d'aspiració	24
4.2.3	Turbina	24
4.2.4	Accionament	25
4.3	Sistema calefactor	26
4.4	Sistema d'aïllament	26
<b>5</b>	<b>Fase III: Autoclau pel processament de materials compòsits</b>	<b>27</b>
5.1	Introducció	27
5.2	Sistema de buit	27
5.2.1	Circuit de buit	27
5.2.2	Panell de connexions	27
5.3	Sistema de refrigeració	28
5.4	Sistema de control de temperatura	29
<b>6</b>	<b>Fase IV: Passarel·la interior extraïble</b>	<b>31</b>

<b>6.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>Solució emprada</b>	<b>31</b>
6.2.1	Estructura i guiatge	32
6.2.2	Carro extracció	32
<b>7</b>	<b>Resum del pressupost</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Conclusions</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>Bibliografies i referències</b>	<b>34</b>
<b>10</b>	<b>Llista de documents</b>	<b>34</b>
<b>ANNEX A:</b>	<b>Estudi preliminar</b>	<b>35</b>
<b>A.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>35</b>
<b>A.2</b>	<b>Disseny conceptual</b>	<b>35</b>
A.2.1	Trajecte del flux	35
A.2.1.1	Sentit aspirant	35
A.2.1.2	Sentit impel·lent	36
A.2.1.3	Elecció final	36
A.2.2	Disposició dels elements	36
A.2.2.1	Disposició dels elements funcionals	36
A.2.2.2	Disposició dels elements estructurals	38
<b>A.3</b>	<b>Selecció elements</b>	<b>38</b>
A.3.1	Selecció elements funcionals	39
A.3.1.1	Ventilador	39
A.3.1.2	Resistències	39
A.3.1.3	Aïllament	39
A.3.1.4	Segell de tancament	40
A.3.2	Selecció elements estructurals	40
A.3.2.1	Cos principal	40
A.3.2.2	Tipus de cap	41
A.3.2.3	Comporta	41
A.3.2.4	Recolzaments autoclau	42
A.3.3	Selecció elements de control	42
A.3.3.1	Temperatura	42
A.3.3.2	Pressió	42
<b>A.4</b>	<b>Conclusions</b>	<b>43</b>
<b>ANNEX B:</b>	<b>Càlculs tècnics</b>	<b>44</b>
<b>B.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>46</b>
<b>B.2</b>	<b>Càlcul estructural</b>	<b>46</b>
B.2.1	Càlcul del cos cilíndric	46
B.2.2	Càlcul del cap torisfèric	47
B.2.3	Càlcul de la pressió de prova	48
B.2.4	Càlcul dels esforços generats pel recolzament de l'autoclau	50
B.2.4.1	Flexió longitudinal	51
B.2.4.2	Esforç tallant tangencial	53
B.2.4.2	Esforç circumferencial	54
<b>B.3</b>	<b>Càlcul d'elements mecànics</b>	<b>55</b>
B.3.1	Càlcul del recolzament de l'autoclau	55
B.3.2	Càlcul de la comporta	56
B.3.2.1	Suport de la frontissa	56
B.3.2.1	Frontissa i porta	56
B.3.3	Càlcul dels elements concentradors de tensió, obertures	56
B.3.3	Càlcul dels elements pel transport	57

<b>B.4 Càlcul instal·lacions</b>	<b>59</b>
B.4.2 Instal·lació de buit	60
B.4.2.1 Càlcul diàmetre dels tubs	60
B.4.2.2 Càlcul de l'espessor dels tubs	61
B.4.3 Instal·lació aire forçat	62
B.4.3.1 Càlcul Turbina	62
B.4.3.2 Càlcul diàmetre del cilindre de recirculació	63
B.4.3.3 Càlcul accionament	63
B.4.4 Instal·lació de calefacció	66
B.4.5 Instal·lació de refrigeració	67
B.4.4.1 Càlcul diàmetre dels tubs	67
B.4.4.2 Càlcul espessor dels tubs	68
B.4.6 Instal·lació calorífuga	70
<b>ANNEX C: Simulació amb elements finits</b>	<b>71</b>
<b>C.1 Introducció</b>	<b>71</b>
<b>C.1 Procediment d'anàlisi</b>	<b>71</b>
C.1.1 Corona dentada	71
C.1.1.1 Variables	72
C.1.1.2 Mallat de la geometria	72
C.1.1.4 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	73
C.1.1.5 Anàlisi de la geometria	74
C.1.1.6 Resultats	74
C.1.2 Anell dentat i cap	76
C.1.2.1 Variables	76
C.1.2.2 Mallat de la geometria	77
C.1.2.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	77
C.1.2.4 Anàlisi de la geometria	78
C.1.2.5 Resultats	79
C.1.3 Suport autoclau	81
C.1.3.1 Variables	81
C.1.3.2 Mallat de la geometria	82
C.1.3.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	82
C.1.3.4 Anàlisi de la geometria	84
C.1.3.5 Resultats	84
C.1.4 Braç comporta	86
C.1.4.1 Variables	86
C.1.4.2 Mallat de la geometria	87
C.1.4.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	88
C.1.4.4 Anàlisi de la geometria	89
C.1.4.5 Resultats	89
C.1.5 Frontissa	92
C.1.5.1 Variables	92
C.1.5.2 Mallat de la geometria	93
C.1.5.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	93
C.1.5.4 Anàlisi de la geometria	94
C.1.5.5 Resultats	94
C.1.6 Vinclament cilindre recirculació	96
C.1.6.1 Variables	96
C.1.6.2 Mallat de la geometria	97
C.1.6.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues	97
C.1.6.4 Anàlisi de la geometria	98
C.1.6.5 Resultats	98
<b>ANNEX D: Simulació amb Computational fluid design</b>	<b>100</b>
<b>D.1 Introducció</b>	<b>100</b>
<b>D.2 Procediment d'anàlisi</b>	<b>100</b>
<b>D.3 Estudi preliminar</b>	<b>100</b>

<b>D.4 Geometria</b>	<b>101</b>
<b>D.5 Condicions de contorn</b>	<b>103</b>
<b>D.6 Mallat</b>	<b>104</b>
<b>D.7 Assignació de materials</b>	<b>106</b>
<b>D.8 Tipus d'anàlisis</b>	<b>107</b>
D.8.1 Velocitats	107
D.8.1.1 Resultats	107
D.8.2 Transferència de calor	108
D.8.2.1 Resultats	109
<b>D.9 Conclusions finals</b>	<b>111</b>
<b>ANNEX E: Informació tècnica</b>	<b>112</b>
<b>E.1 Introducció</b>	<b>112</b>
<b>E.2 Materials de construcció</b>	<b>112</b>
E.2.1 Acers especials	112
E.2.2 Acers per mecanització	113
<b>E.3 Selecció de components comercials</b>	<b>114</b>
E.3.1 Tubs i accessoris	114
E.3.1.1 Tubs	114
E.3.1.2 Accessoris	117
E.3.2 Caps torisfèrics	119
E.3.3 Accionament	120
E.3.4 Estanquitat	120
E.3.4.1 Empaquetadura	121
E.3.4.2 Junta de Viton	122
E.3.5 Turbina	122
E.3.6 Resistència elèctrica	123
E.3.7 Calorifugat	124
E.3.8 Elements de transmissió	125
E.3.8.1 Acoblament	125
E.3.8.2 Rodaments	126
E.3.9 Elements de control	126
E.3.9.1 Dispositiu E/S	127
E.3.9.2 Connectors	128
E.3.9.3 Vàlvules	128
<b>ANNEX F: Expedient tècnic de seguretat</b>	<b>129</b>
<b>F.1 Introducció</b>	<b>129</b>
<b>F.2 Informació general</b>	<b>129</b>
F.2.1 Identificació de la màquina	129
F.2.2 Ús correcte de la màquina	129
F.2.3 Lloc de treball del operari	130
<b>F.3 Requisits essencials de seguretat i salut</b>	<b>130</b>
F.3.1 Generalitats	130
F.3.2 Comandaments	130
F.3.3 Mesures de protecció contra riscos mecànics	131
F.3.4. Característiques que han de reunir els elements i dispositius de protecció	131
F.3.5 Manteniment	131
F.3.6 Indicacions	131
F.3.7 Manual d'instruccions	132
<b>ANNEX G: Manual d'instruccions i manteniment</b>	<b>133</b>
<b>G.1 Introducció</b>	<b>133</b>

<b>G.2</b>	<b>Descripció de la màquina</b>	<b>133</b>
<b>G.3</b>	<b>Instruccions d'ús</b>	<b>133</b>
	Lloc de l'operari	133
	Posta en marxa	133
<b>G.4</b>	<b>Instruccions de manteniment</b>	<b>134</b>
G.4.1	Manteniment del Motor	134
G.4.2	Manteniment del suport - eix	135
G.4.3	Manteniment dels rodaments	135
G.4.4	Manteniment de les juntes	135
G.4.5	Manteniment general	136
<b>G.5</b>	<b>Declaració "CE" de conformitat de l'autoclau</b>	<b>136</b>
G.5.1	Dades del fabricant	136
G.5.2	Descripció de la màquina	136
G.5.3	Declaració	137
G.5.4	Normatives i directives que compleix	137
	Directives	137
	Normatives	137
G.5.5	Marca CE	139
<b>ANNEX H:</b>	<b>Aplicació informàtica per al disseny autoclau</b>	<b>140</b>
<b>H.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>140</b>
<b>H.2</b>	<b>Programació</b>	<b>140</b>
<b>ANNEX I:</b>	<b>Diagrama de control</b>	<b>155</b>
<b>I.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>155</b>
<b>I.2</b>	<b>Funcionament global del sistema</b>	<b>155</b>
I.2.1	Procés d'encesa	155
I.2.2	Procés d'aturada	155
I.2.3	Sistema de buit	156
<b>I.3</b>	<b>Diagrama de flux</b>	<b>156</b>
<b>J.1</b>	<b>Introducció</b>	<b>158</b>
<b>J.2</b>	<b>Determinació de la categoria</b>	<b>158</b>
<b>J.3</b>	<b>Mòdul avaluació de la conformitat</b>	<b>159</b>

# 1 Introducció

## 1.1 Antecedents

Els materials compòsits de fibra de carboni i matriu polimèrica per aplicacions aeroespacials, es processen a l'interior d'un autoclau en unes condicions de temperatura i pressió controlades.

Les peces a curar es posen dins l'autoclau en una bossa estanca on, a l'inici del procés, es fa el buit per eliminar l'aire que pugui haver quedat atrapat en l'etapa de laminació. A continuació, l'autoclau es posa a una temperatura i pressió elevades. Així obtenim una bona compactació del material i un curat homogeni, essencial per assegurar la qualitat final.

Així doncs, l'autoclau és un element essencial per poder portar a terme el processat de materials compòsits de manera adequada.

El grup de recerca AMADE, de la Universitat de Girona, es planteja la construcció d'un autoclau, per a la fabricació de provetes d'assaig mecànic, de material compòsit amb qualitat suficient per a la indústria aeroespacial.

## 1.2 Objecte

Disseny d'un autoclau pel processat de materials compòsits, seguint les especificacions de disseny següents: Diàmetre interior útil: 1500mm, Longitud interior útil 3500mm, Pressió de treball: 12 bars, Temperatura de treball: 250°. A més a més, el sistema ha de disposar en el seu interior de connexions per fer el buit i s'ha d'assegurar l'homogeneïtat tèrmica recirculant l'aire durant el procés.

## 1.3 Abast

Estudi estructural del autoclau, per a la contenció de la pressió, i disseny de tots els elements mecànics que el componen, conforme la directiva d'aparells a pressió vigent.

No s'inclou en aquest projecte la instal·lació generadora de l'aire comprimit, ni la de buit.

## 1.4 Especificacions

En haver dividit el projecte en 4 fases, les especificacions es tractaran per separat en 4 apartats:

- 1.4.1 Especificacions fase I: Contenció de la pressió
- 1.4.2 Especificacions fase II: Homogeneïtat tèrmica
- 1.4.3 Especificacions fase III: Autoclau pel processat de materials compòsits
- 1.4.4 Especificacions fase IV: Passarel·la interior extraïble

### 1.4.1 Especificacions fase I

La fase I del projecte consisteix en el disseny d'un autoclau per tal de contenir la pressió, a la temperatura de treball adequada.

Així doncs, les especificacions per al disseny són:

Especificacions sobre l'autoclau			
Concepte	Data	Tipus	Descripció
Funció	23/06/06	R	L'autoclau haurà d'assegurar la contenció de la pressió durant tot el procés que dura el processat i garantir l'absència de pèrdues de pressió per les juntes de qualsevol naturalesa.
Paràmetres	23/06/06	R	El diàmetre útil de l'autoclau serà de 1500 mm.
			La longitud útil de l'autoclau serà de 3500 mm.
			La pressió de treball serà de 12 bars.
			La temperatura de treball serà de 250 °C.
			L'autoclau només haurà de tenir una porta.
Materials	23/06/07	R	Construcció en acer especial per a recipients a pressió. En el cas de no utilitzar acers inoxidable es tindrà en compte tractament anticorrosiu.
			En cas d'utilitzar pintures com a tractament anticorrosiu, es pintarà el cos en blau i la resta amb gris. Les peces que es puguin manipular en vermell.
			Materials dels elements comercials, capaços de treballar a la temperatura i pressió de treball.



Fabricació I muntatge	23/06/06	R	La fabricació es farà a càrrec d'un taller que compleixi amb tots els requisits essencials per a la correcta construcció del autoclau. Com per exemple homologació en tots els processos de soldadura nombrats al projecte, així com l'homologació en vigència dels soldadors que facin les respectives soldadures.
			La construcció del autoclau haurà de permetre un fàcil manteniment dels elements susceptibles a tals efectes com puguin ser turbina, resistències, cablejats, etc.
			L'autoclau haurà de ser una màquina compacta que faciliti el transport des de taller fins a la seva col·locació a l'EPS.
			L'autoclau disposarà de les vàlvules que siguin necessàries pel seu correcte funcionament, control i regulació.
			Les soldadures s'hauran de radiografiar, per assegurar-se que no hi hauran fuites, que puguin originar la destrucció de l'autoclau.
Disseny	12/07/06	D	Buscar un disseny senzill i fiable.
			Utilitzar el major nombre de peces comercials possibles
			Utilització de software d'elements finits per les peces que son susceptibles a esforços combinats, i que no es recullin en cap codi de disseny. Per exemple tancaments, combinacions d'obertures, zones de transició, etc.
Costos	23/06/06	D	El disseny de la màquina haurà de tenir molt present com a factor important el cost, sense que interfereixi en cap de les especificacions del document nº 1: Memòria.
Seguretat	23/06/06	R	S'haurà de dissenyar segons la Directiva de màquines referents a equips de pressió. Directiva 97/23/CE.
			Pel càlcul de l'autoclau es farà servir un codi de disseny amb validesa a Espanya com els que marca la directiva d'equips a pressió.

**R: requerit D: desitjat**

### 1.4.2 Especificacions fase II

La fase II del projecte consisteix en el disseny d'un autoclau per tal d'assegurar l'homogeneïtat tèrmica en el seu interior, a la temperatura de treball. L'homogeneïtat tèrmica es un factor clau pel correcte curat dels materials compòsits.

Així doncs, les especificacions per al disseny són:

<b>Especificacions sobre l'autoclau</b>			
<b>Concepte</b>	<b>Data</b>	<b>Tipus</b>	<b>Descripció</b>
Funció	23/06/06	R	L'autoclau haurà d'assegurar una homogeneïtat tèrmica en tota la zona on es processen les peces. Aquesta diferència ha de diferir com a molt en 5°C entre dos punts qualsevol.
Paràmetres	23/06/06	R	Homogeneïtat mitjançant aire forçat.
			Volum aproximat del recipient 15 m <sup>3</sup>
			Utilització de resistències elèctriques per aconseguir la temperatura de treball.
			La temperatura de treball serà de 250°C.
Materials	23/06/06	R	Utilitzar materials capaços de treballar a la temperatura de treball de l'autoclau. Especialment per l'elecció dels cablejats, acers i turbina.
Fabricació I muntatge	18/07/06	R	Per tal d'aconseguir l'homogeneïtat l'autoclau es disposarà d'un cilindre de recirculació per assegurar el flux d'aire homogeneïtzat.
			El cos principal de l'autoclau es recobrirà per dintre, amb un gruix d'aïllant per evitar la pèrdua de calor.
Disseny	18/07/06	D	Es comprovarà l'homogeneïtat tèrmica mitjançant software de fluids computacional.
			S'estudiaran varies possibilitats, com les que es poden trobar al mercat. Per exemple: comparar els sistemes aspirants, enfront dels sistemes impel·lents.

**R: requerit D: desitjat**

### 1.4.3 Especificacions fase III

La fase III del projecte consisteix en el disseny d'un autoclau específic per tal de processar materials compòsits.

Així doncs, les especificacions per al disseny són:

Especificacions sobre l'autoclau			
Concepte	Data	Tipus	Descripció
Funció	18/07/06	R	L'autoclau haurà de permetre l'extracció de l'aire de les peces que es processen.
			L'autoclau haurà de permetre l'extracció d'informació sobre la temperatura, de les peces que es processen.
Paràmetres	18/07/06	R	Generació de buit.
Materials	23/06/06	R	Utilitzar materials capaços de treballar a la temperatura de treball de l'autoclau.
Fabricació I muntatge	18/07/06	R	El sistema d'extracció de buit haurà de permetre la connexió de 10 mànegues. Aquestes s'hauran de poder desconnectar mitjançant connexions ràpides.
			L'extracció es farà mitjançant una bomba de buit que estarà situada en l'exterior de l'autoclau.
			Es disposaran de vàlvules pel tancament del circuit de buit a voluntat o controlat mitjançant senyal.
			L'autoclau haurà de muntar un sistema de refredament de l'aire per tal d'accelerar el temps d'extracció de les peces tractades.
Disseny	18/07/06	D	Es tindrà en compte un fàcil accés a les connexions de buit i dels termoparells.
Sensors I captadors	18/07/06	R	En el mateix circuit hi haurà d'haver algun mètode de control de buit, ja sigui sensor i/o rellotge de mesura.
			Col·locació d'un sistema estanc que permeti la connexió de 20 termoparells, necessaris per obtenir informació en temps real i des de diferents punts de l'interior de l'autoclau.

**R: requerit D: desitjat**

#### 1.4.4 Especificacions fase IV

La fase IV del projecte consisteix en el disseny del interior de l'autoclau per tal de poder recolzar les peces a tractar i facilitar la seva col·locació i extracció.

Així doncs, les especificacions per al disseny són:

<b>Especificacions sobre l'autoclau</b>			
<b>Concepte</b>	<b>Data</b>	<b>Tipus</b>	<b>Descripció</b>
Funció	18/07/06	R	L'autoclau haurà de permetre la col·locació i extracció fàcil de les peces.
Disseny	18/07/06	D	Sistema de safates que aprofiti al màxim l'espai útil.
			Estudiar un sistema d'extracció còmode.
			La safata s'haurà de poder desmuntar fàcilment per a operacions de manteniment.
Materials	18/07/06	R	Utilitzar materials capaços de treballar a la temperatura de treball de l'autoclau.

**R: requerit D: desitjat**

## 2 Descripció general del disseny de l'autoclau

### 2.1 Estructura

L'autoclau pel processament de materials compòsits que hem projectat, està dissenyat per treballar a una pressió de servei de 12 bars i a una temperatura de servei de 250°C.

L'autoclau conté la pressió interior, mitjançant un cos cilíndric de 14 mm d'espessor i dos caps torisfèrics de 22 mm, fabricats amb acer laminat P355GH, especial per treballar a temperatures elevades.

Per accedir a l'interior de l'autoclau, un dels dos caps no està soldat directament al cos, sinó que té muntat un mecanisme que permet la seva obertura.

Les mides de l'autoclau: 2000 mm de diàmetre i 6500 mm de llargada total, fa que la disposició més idònia per l'autoclau sigui l'horitzontal, recolzat amb dos recolzaments col·locats a la vora dels caps per aprofitar l'efecte rigiditzador.

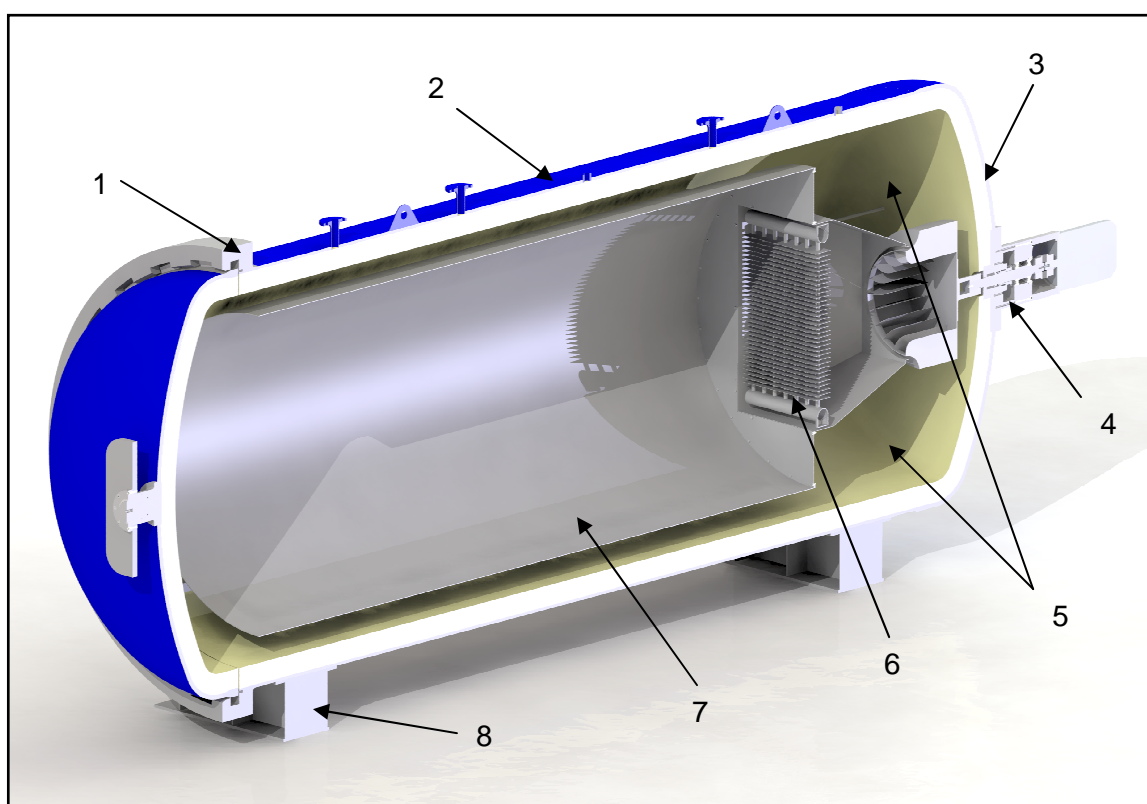


Fig. 2.- Autoclau tallat per la meitat.

1.- Comporta, 2.- Cos cilíndric, 3.- Cap, 4.- Turbina – accionament, 5.- Ubicació resistències, 6.- Intercanviador, 7.- Cilindre recirculació, 8.- Recolzament

## 2.2 Elements funcionals

La principal funció de l'autoclau, és la d'aconseguir en el seu interior l'homogeneïtat tèrmica. Per aquesta raó munta 8 resistències elèctriques de 5000 W, capaces de homogeneïtzar tot l'autoclau ràpidament, gràcies al sistema de ventilació format per una turbina i un cilindre de recirculació que mou l'aire constantment durant tot el procés de curat de les peces.

L'interior del cilindre de recirculació, és en realitat, la zona de treball, amb 1500 mm de diàmetre i 3500 mm de llargada, podem col·locar qualsevol peça simplement recolzant-la sobre la taula extraïble que hi ha en el seu interior.

Per mesurar la variació de temperatures, es fan servir els 24 termoparells que munta el nostre autoclau i que es poden repartir per tota la zona de treball.

Una vegada el procés de curat ja ha finalitzat, i per accelerar el procés de refredat de l'autoclau, es fa circular refrigerant per l'interior de l'intercanviador, que es troba situat just davant de la turbina, obligant a passar tot l'aire que recircula pel seu interior.

A continuació, trobarem una explicació més detallada, de cada un dels punts susceptibles d'estudi de l'autoclau.

## **3 Fase I: Contenció de la pressió**

### **3.1 Introducció**

Per la correcta descripció de la solució adoptada i poder fer-se una idea dels materials seleccionats, hem dividit la primera fase del projecte en dos subapartats.

- 3.2 Elements constructius bàsics.
- 3.3 Elements de control i regulació.

### **3.2 Elements constructius bàsics**

L'autoclau dissenyat segueix el mateix patró que els altres autoclaus que podem arribar a trobar al mercat. Aquest fet es deu sobretot a la gran responsabilitat que esdevé dissenyar una màquina d'aquestes característiques. Per aquest motiu els autoclaus i altres elements a pressió es dissenyen amb les mateixes regles per a tothom.

Aquestes regles estan molt ben definides a la directiva de màquines 97/23/CE, que és l'encarregada d'assegurar que aquestes compleixin amb les condicions de seguretat necessàries.

Seguint aquestes pautes a continuació anem a fer un resum que expliqui amb brevetat els elements més importants i la seva disposició.

#### **3.2.1 Disposició autoclau**

Donat que l'autoclau és de grans dimensions, la disposició òptima tant pel correcte funcionament, com per la fabricació i el posterior ús, és l'horitzontal amb la porta situada la part frontal.

### 3.2.2 Contenció de la pressió

L'autoclau està dissenyat per treballar a 12 bars i a 250°C.

La pressió a l'interior està continguda per un cos cilíndric, que en un dels extrems té soldat un fons torisfèric i en l'altre disposa d'una comporta per poder accedir a l'interior de l'autoclau.

A la figura 3.2.2, podem veure els elements encarregats de contenir la pressió, amb excepció de la comporta, que la veurem més endavant.

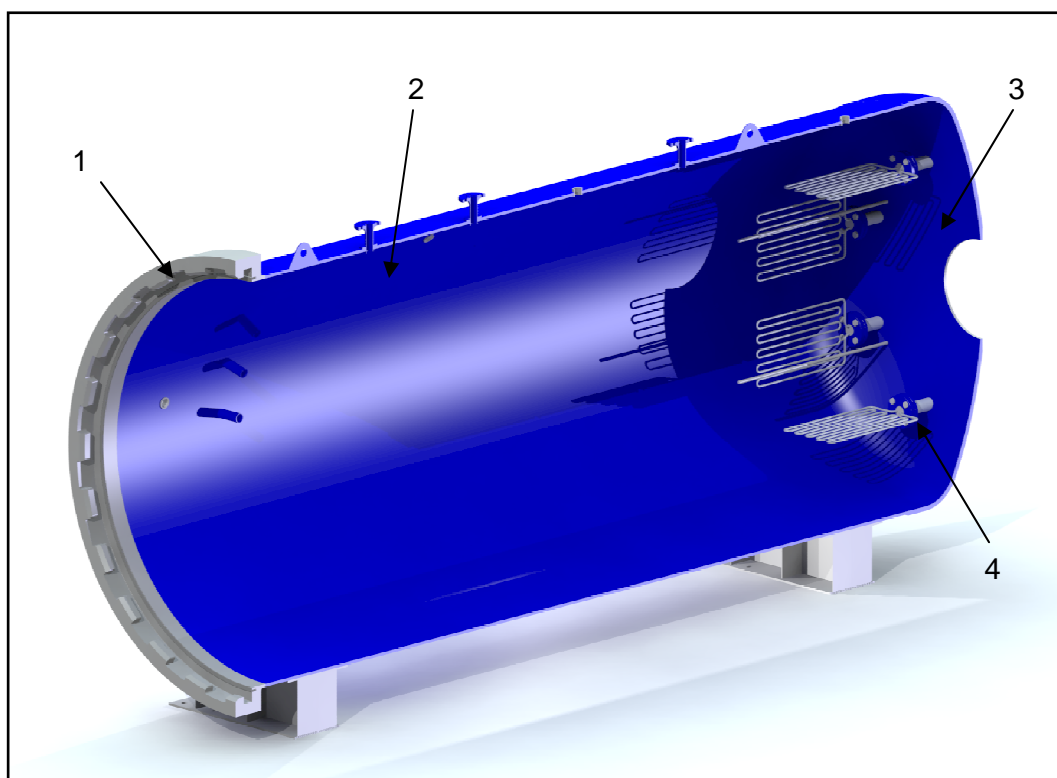


Fig. 3.2.2.- Estructura de l'autoclau tallada per la meitat, sense la comporta.

1.- Corona, 2.- Cos cilíndric, 3.- Cap, 4.- Brida

A continuació anem a fer una breu descripció de cada un d'aquests elements.

#### 3.2.2.1 Cos cilíndric

El cos cilíndric està compost de dos xapes rodades de diàmetre interior 2000 mm i 2150 mm de llarg i soldades intercalant les costures longitudinals de les dos viroles. El cos està construït amb xapa gruixuda P355GH, d'espessor 14 mm, especial per equips a pressió i apte per treballar a temperatures elevades.



El cos cilíndric a més de contenir la pressió, allotja tot una sèrie d'elements roscats i obertures, on van instal·lades les entrades i sortides d'aire i aigua, i els elements de control que mesuren la pressió i la temperatura.

### 3.2.2.2 Fons torisfèric

La part posterior del cos cilíndric es tenca mitjançant un fons torisfèric, segons DIN 28011, soldat. Aquests tipus de fons còncaus són els més utilitzats per contenir la pressió, ja que estan molt ben estudiats com demostra el fet que tinguin la seva pròpia norma DIN.

Es fabrica del mateix material que el cos cilíndric, amb xapa P355GH, però amb un espessor de 22 mm ja que les tensions que es generen als fons, degut a la geometria, són majors que les que es poden arribar a generar en un cos cilíndric.

Aquest fons té soldada una brida, que permet collar l'accionament del sistema de ventilació, per el costat exterior, mitjançant cargols.

El fons té vuit obertures on es soldaran les brides que permetran muntar les resistències amb cargols.

El fons es solda al cos cilíndric amb una sola costura circumferencial.

A la figura següent podem observar amb claredat la geometria de la secció del fons seleccionat.

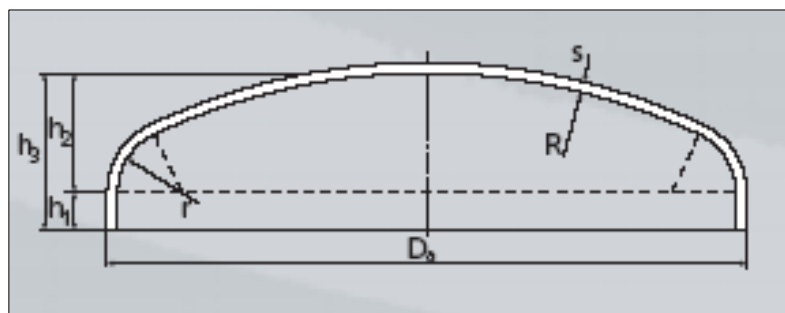


Fig. 3.2.2.2.- Fons torisfèric segons DIN 28011

### 3.2.2.3 Conjunt comporta d'accés

La comporta d'accés és l'únic punt pel qual podem accedir a l'interior de l'autoclau. Té un diàmetre igual al del cos cilíndric, d'aquesta manera aprofitem al màxim l'obertura. Aquesta ha de ser suficientment resistent per a contenir la pressió i totalment estanca per evitar pèrdues de pressió quan està tancada.

A la figura 3.2.2.3 podem veure els principals elements del conjunt comporta.

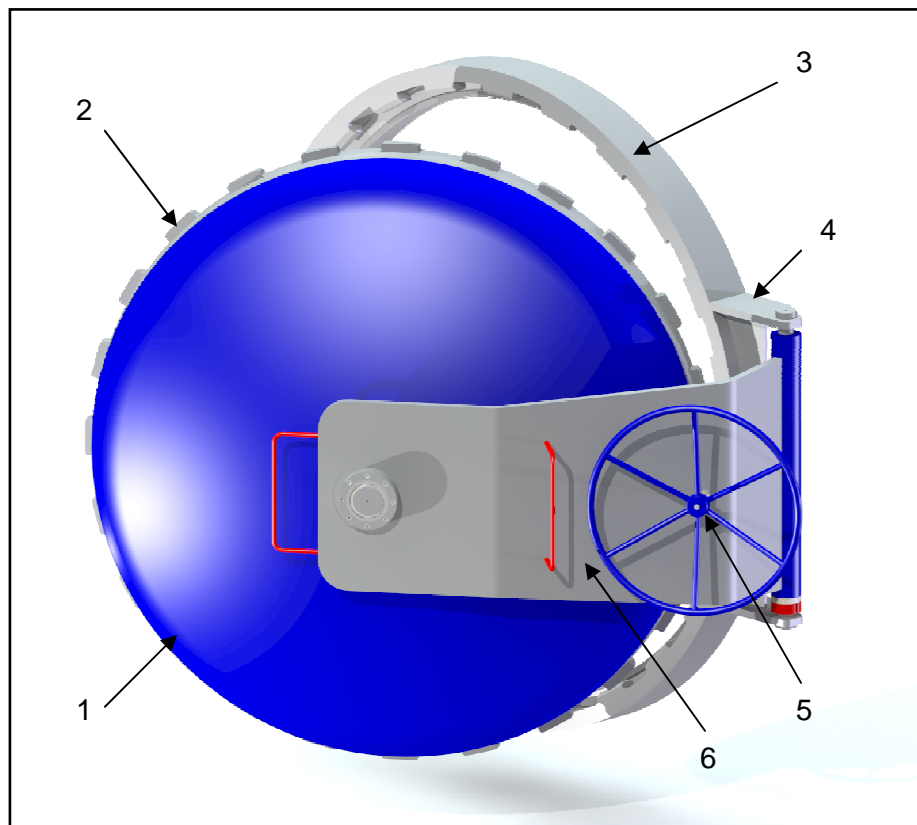


Fig. 3.2.2.3.- Conjunt comporta d'accés, vista separada de l'autoclau.  
1.- Cap, 2.- Anell dentat, 3.- Corona, 4.- Suport frontissa, 5.- Volant, 6.- Braç

A continuació anem a fer una breu descripció d'alguns d'aquests elements.

### 3.2.2.3.1 Corona

El cos cilíndric a més a més d'estar compost per un cilindre de xapa, té soldat una corona en l'extrem obert, com es pot apreciar a la figura 3.2.2 o bé a la figura 3.2.2.3. La corona té un dentat interior i una ranura on es munta una gran junta de Viton. Aquest anell és l'encarregat d'evitar que la comporta s'obri durant la pressurització del recipient i d'eliminar per complet les fuites en el tancament.

### 3.2.2.3.2 Comporta

Per accedir físicament a l'interior de l'autoclau i que, a més a més, garanteixi un nivell òptim d'estanqueïtat en condicions de treball, s'ha dissenyat un tipus de comporta que consisteix en un fons torisfèric, un sistema de tancament acoblat i un sistema de gir.

El fons que s'utilitza per fabricar la comporta del recipient i contenir la pressió és el mateix que s'ha fet servir per tancar l'altre extrem de l'autoclaui.

Aquest porta un anell dentat soldat al voltant del faldó del fons ( peça nº 2 de la figura 3.2.2.3 ) que en girar uns  $7.5^\circ$  coincideix amb el dentat de la corona del cos cilíndric. Per transmetre el gir a la comporta s'utilitza un petit tram de cremallera dentada que engrana amb un pinyó que nosaltres accionem manualment des de l'exterior, mitjançant un volant.

El fons té soldat en el centre un eix sobre dimensionat que és el centre de rotació i de suport de la comporta.

Per assegurar una bona estanquitat entre la comporta i el cos, els dentats de la corona i de l'anell, tenen un lleuger xamfrà de  $1^\circ$ , que en girar la comporta les corones es van ajustant una contra l'altre i d'aquesta manera aconseguim assentar la junta de viton al voltant de tota la superfície de contacte.

### 3.2.3 Elements de suport

Els elements de suport que podem trobar en l'autoclaui son bàsicament els recolzaments del recipient, la frontissa de la comporta i el suport de l'accionament.

A la figura 3.2.3, podem veure els principals elements que fan de suport , amb excepció dels elements que suporten càrregues petites.

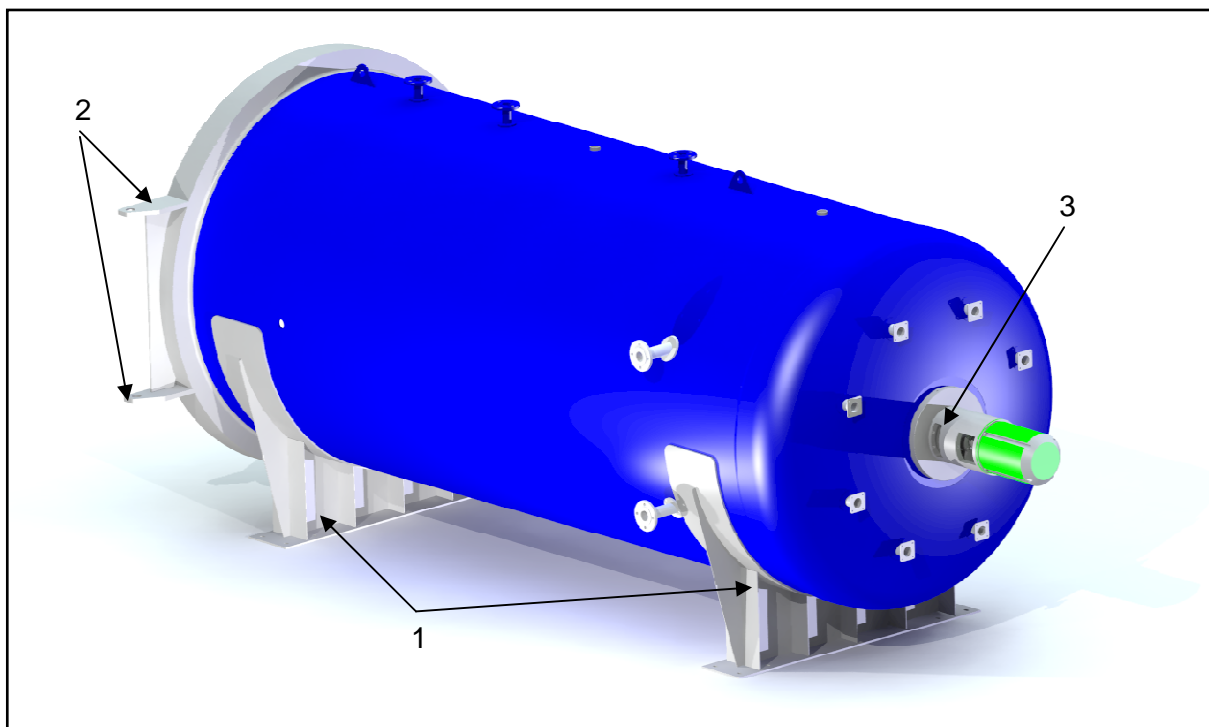


Fig. 3.2.3.- Vista posterior de l'autoclaui, on es pot apreciar la disposició dels elements de suport.  
1.- Recolzament autoclaui, 2.- Suport frontissa, 3.- Suport accionament.

A continuació anem a fer una breu descripció de cada un d'aquests elements:

### **3.2.3.1 Recolzaments autoclau**

L'autoclau per recolzar-se té dos suports, que fan treballar l'autoclau com si fos una biga recolzada. La ubicació dels suports es tal que des de el punt de vista estàtic sigui òptim, a prop dels extrems, ja que s'utilitza l'efecte rigiditzador del fons i de la corona.

Els recolzaments s'han dissenyat tenint en compte, com a sol·licitacions, la pressió i el propi pes de l'autoclau com si estigués totalment ple d'aigua.

El disseny consta d'una placa de desgast corbada de 10 mm, que és on es recolza el cos principal de l'autoclau. La placa té soldada una xapa de cantell o ànima de 4 mm, que descansa al terra mitjançant una altre placa soldada de 14 mm d'espessor, aquesta té un parell de forats colissos per permetre el moviment de contracció i dilatació de l'autoclau. Per evitar el vinclament lateral es solden una sèrie de plaques de 4 mm d'espessor.

### **3.2.3.2 Frontissa de la comporta**

La frontissa té la funció de fer de suport de la part mòbil de la comporta, permeten el gir correcte per poder obrir-la i tancar-la durant les etapes de càrrega, descàrrega o bé en operacions de manteniment.

El conjunt esta collat a l'autoclau mitjançant dues plaques de gran espessor ( peça nº 2 de la figura 3.2.3 o peça nº4 de la figura 3.2.2.3 ), foradades, per deixar passar el pern que permet el gir. Aquestes plaques estan soldades a la corona amb dentat interior que està soldada al cos cilíndric, juntament amb una cartela interior de reforç, que uneix les dos plaques i les manté paral·leles.

La comporta està recolzada mitjançant una xapa en "L" anomenada braç ( peça nº 6 de la figura 3.2.2.3 ), que esta soldada a un cilindre foradat per el qual passa el pern. En l'altre extrem del braç hi ha mecanitzat una sèrie de forats roscats i un allotjament que permet muntar la comporta en l'extrem.

A prop del cilindre, el braç té una petita finestra per on passa un eix amb un pinyó a l'extrem que muntat juntament amb un volant ens servirà de mecanisme de gir de la comporta, d'aquesta manera facilitem l'operació d'ajustatge entre comporta i autoclau.

La frontissa a més a més consta d'un senzill mecanisme per la correcció del centratge de la comporta. Aquest consisteix en un anell roscat que eleva la comporta en sentit vertical en cas que fos necessari corregir l'alçada.

### 3.2.3.3 Suport del motor de ventilació

Per a mantenir la pressió en el interior de l'autoclau totes les entrades i sortides deuen estar molt ben aïllades per evitar les fugues. Una de les zones més compromeses en aquest sentit és el suport del motor ( peça nº3 de la figura 3.2.3 ). Aquest suport compleix amb tres funcions bàsiques: fer de suport de tot el conjunt motor - turbina, la de permetre el centratge del motor amb l'eix de la turbina i per últim la d'assegurar l'estanquitat entre l'interior de l'autoclau i l'exterior.

El suport va collat directament a la brida que bé muntada al fons torisfèric mitjançant cargols. Al mateix temps el suport centra els eixos de rotació del motor i de la turbina mitjançant ranures de centratge i per evitar les fugues per l'eix, es munta un conjunt de 5 anells de fibra, que formen una estopada que evita qualsevol mena de fuga al temps que permet el gir de l'eix.

## 3.3 Elements de control i regulació

Pel correcte funcionament de l'autoclau i per a garantir el control de tots el paràmetres, es fa necessària la instal·lació d'elements que ens permetin regular i controlar mitjançant un control automatitzat totes les variables.

A la figura 3.3, de la pàgina següent, podem veure un esquema amb tots el elements que intervenen en el control i regulació de l'autoclau.

### 3.3.1 Regulació de la pressió

La sobrepessió a l'interior del autoclau s'aconsegueix mitjançant una instal·lació d'aire comprimit, independent a l'autoclau.

Els elements que formen part del autoclau, destinats a la regulació, son els següents: Dos electrovàlvules de seguretat tarades a 12.5 bars i una vàlvula mecànica tarada a 13 bars, que només s'acciona quan la pressió a l'interior de l'autoclau supera aquest llindar, normalment fixat amb un 10% de tolerància respecte el valor de la pressió de treball. En aquestes vàlvules no es pot modificar el valor de tarat ja que bé marcat per una empresa certificada que és cuidarà de precintat la vàlvula correctament, de tal manera que és pugui detectar una modificació del tarat per part del usuari.

La comporta també munta un sistema de seguretat per evitar que s'obri durant el curat. Aquest consisteix en una vàlvula que només es pot tancar amb la comporta tancada.

En el circuit de càrrega o pressurització la màquina porta instal·lada una electrovàlvula comandada que s'acciona automàticament seguint les ordres del protocol de control que se li assigni posteriorment. Igual passa amb el circuit de descàrrega o despressurització, aquest per seguretat té instal·lat dos vàlvules en paral·lel, una comandada mitjançant senyal de control i l'altre manual, per accionar-la en cas d'emergència.

### 3.3.2 Control de la pressió

El control de la pressió s'aconsegueix mitjançant l'interacció entre un sensor piezoelèctric roscat al cos de l'autoclau i un complex programa de control encarregat de governar a totes les electrovàlvules de càrrega i descàrrega fins a obtenir la pressió adequada en cada procés.

Per seguretat a més a més dels moderns displays actuals que ens informen de la temperatura i de la pressió, l'autoclau té instal·lat un rellotge de pressió convencional, que també ens informa de la pressió de treball del procés.

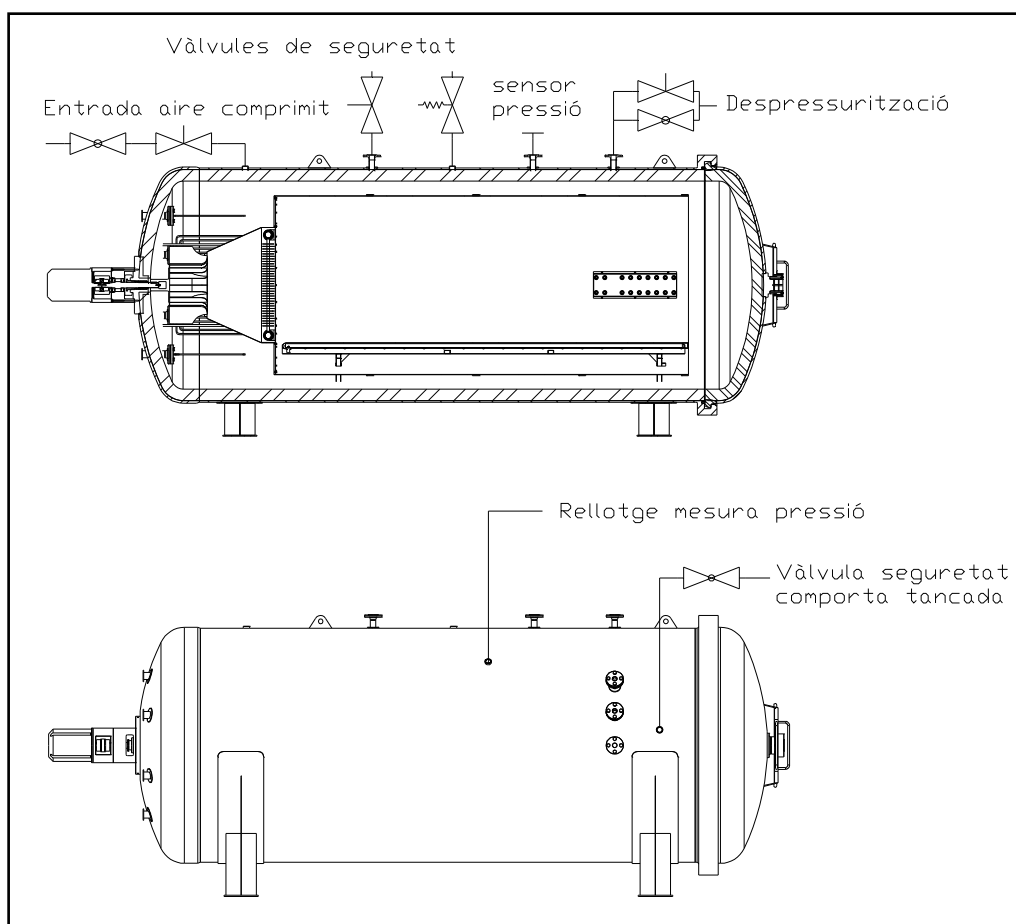


Fig. 3.3.- Elements de control, regulació i seguretat de la instal·lació d'aire comprimit de l'autoclau.

## 4 Fase II: Homogeneïtat tèrmica

### 4.1 Introducció

Per la correcta descripció de la solució adoptada i poder fer-se una idea dels materials seleccionats, hem dividit la segona fase del projecte en cinc subapartats.

- 4.2 Sistema de ventilació.
- 4.3 Sistema calefactor.
- 4.4 Sistema d'aïllament.
- 4.5 Funcionament global del sistema de ventilació.

### 4.2 Sistema de ventilació

L'autoclau treballa a una temperatura màxima de 250°C en l'interior de la zona de treball. Per aconseguir l'homogeneïtat tèrmica, s'ha dissenyat un circuit de recirculació d'aire que l'obliga a passar a través d'un circuit tancat, tal com és mostra a la figura 4.2 :

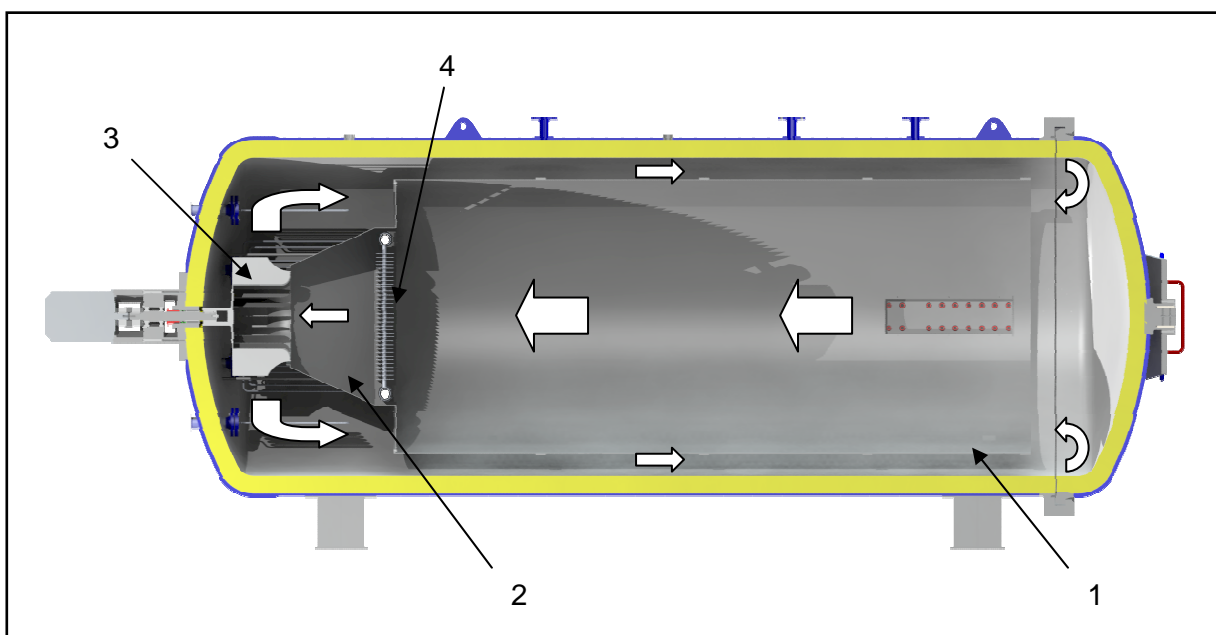


Fig. 4.2.- Vista on podem apreciar el sentit de recirculació de l'aire dins de l'autoclau i els principals elements del circuit.  
1.- Cilindre de recirculació, 2.- Campana d'aspiració, 3.- Turbina, 4.- Intercanviador.

A continuació anem a fer una breu descripció de cada un d'aquests elements:

#### **4.2.1 Cilindre de Recirculació**

A l'interior de l'autoclau i concèntric al cilindre de contenció, es munta el cilindre de recirculació, que és on es processen les peces de compòsit.

Aquest cilindre té la funció de separar l'aire sobreescalfat que circula per l'exterior del cilindre per després recollir-lo per l'interior, una vegada ja homogeneïtzat. El cilindre de recirculació es pot considerar també com la prolongació de la campana d'aspiració que va connectada a la boca d'aspiració de la turbina.

Aquest cilindre està construït amb xapa d'acer de 3 mm d'espessor, té una llargada de 3600 mm i un diàmetre interior de 1550 mm, el que significa que hi ha un pas d'aire entre el cilindre de recirculació i el gruix d'aïllant de 125 mm. Aquest pas d'aire ha de ser el suficientment gran com per permetre el pas d'aire a una velocitat no gaire elevada, ja que l'homogeneïtzació s'aconsegueix quan l'aire passa per l'exterior del cilindre.

El cilindre es recolza mitjançant unes guies que ja estan muntades sobre el cilindre de contenció. A més a més hi ha una sèrie de centradors de xapa de 5 mm, dissenyats específicament per centrar el cilindre amb l'autoclau.

#### **4.2.2 Campana d'aspiració**

La campana d'aspiració té la missió de connectar el cilindre de recirculació amb la boca d'aspiració de la turbina. Aquest consisteix amb un tronc de prisma de xapa d'acer de 2 mm d'espessor. Aquest es munta mitjançant uns espàrrecs roscats a la brida que està soldada al cap torisfèric de contenció.

#### **4.2.3 Turbina**

La turbina es l'encarregada de fer circular l'aire per l'interior del sistema de ventilació. És un model de turbina centrífug i esta construïda en xapa d'acer inoxidable refractària.

La turbina té una capacitat de moure cabal de 21600 m<sup>3</sup>/ h a 955 rpm.

La turbina s'acciona mitjançant un eix independent connectat en l'extrem oposat per un motor de 6 pols de 5.5 kW.



#### 4.2.4 Accionament

L'accionament és el conjunt motor – eix, encarregat de transmetre el moviment de rotació que fa girar la turbina. A la figura 4.2.4. podem veure el conjunt ja muntat a la part posterior, al cap de l'autoclau.

El motor instal·lat és un motor elèctric de 6 pols, amb una potència de 5.5 kW i alimentat a 400 V. Aquest està connectat a un arbre mitjançant un acoblament elàstic, que absorbeix les vibracions originades per desalineacions tant lineals com angulars. L'arbre està guiat per dos rodaments rígids de boles, perfectament alineats.

Per evitar la pèrdua de pressió provinent de l'interior de l'autoclau, en el punt on l'eix travessa el cap, s'ha muntat una estopada que permet el gir de l'eix alhora que no deixa sortir la pressió. La força que exerceix l'estopada contra l'eix es pot regular fent girar el cargol de regulació, peça n°5 de la figura 4.2.4.

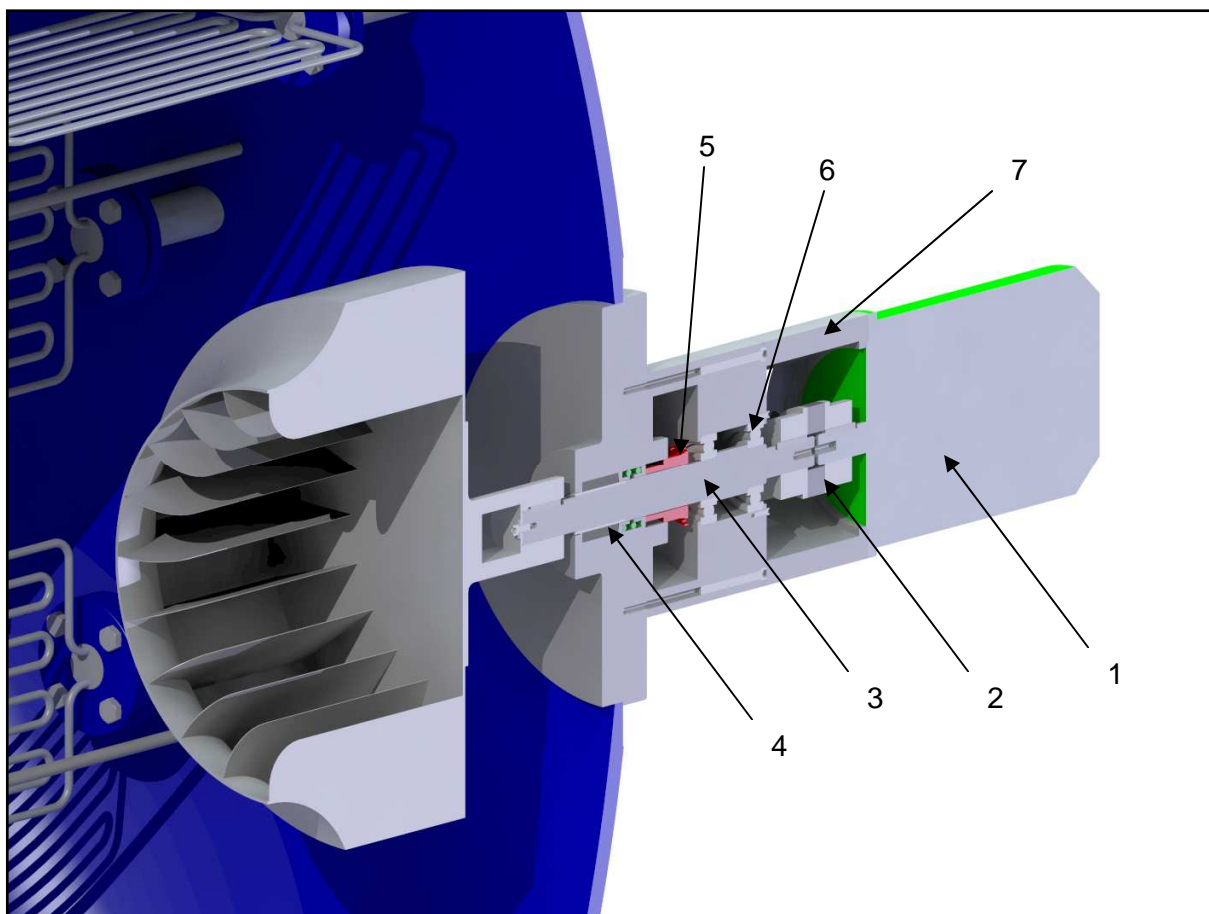


Fig. 4.2.4.- Vista on podem apreciar el muntatge complet del sistema d'accionament de la turbina.

1.- Motor, 2.- Acoblament elàstic, 3.- Eix o arbre, 4.- Estopada, 5.- Cargol de regulació, 6.- Rodaments, 7.- Suport

### 4.3 Sistema calefactor

Per aconseguir escalfar l'aire, l'autoclau disposa de 8 resistències de 5000 W , distribuïdes al voltant de la turbina. D'aquesta manera fem passar una gran part del aire a través de totes les resistències, a la vegada que allunyem aquestes del cilindre de recirculació, evitant les emissions perilloses per radiació que podrien afectar les peces a processar.

Les resistències son de construcció reforçada o blindada per evitar danys provocats per la pressió de treball que tenim a l'interior de l'autoclau. Estan construïdes amb acer inoxidable i es munten des de l'interior de l'autoclau, gràcies a unes brides especialment dissenyades per treballar en equips a pressió. A la figura 4.4 podem veure muntades les resistències.

### 4.4 Sistema d'aïllament

L'autoclau té muntat, a l'interior, un recobriment de llana de roca de 100 mm d'espessor al voltant de tot el dipòsit de contenció. D'aquesta manera una vegada hem aconseguit escalfar, a la temperatura de treball, l'interior de l'autoclau, aconseguim un triple efecte. Per una part l'estalvi energètic, ja que conservem millor la temperatura, per una altra banda aïllem el dipòsit de contenció de la temperatura, evitant la fatiga tèrmica i per últim la temperatura exterior de l'autoclau no es perillosa en cas de contacte amb les persones.

La llana de roca es cobreix amb una xapa d'acer inoxidable de 1mm, que la protegeix de les agressions del sistema de ventilació. A la figura 4.4 veiem l'aïllament i el seu recobriment.

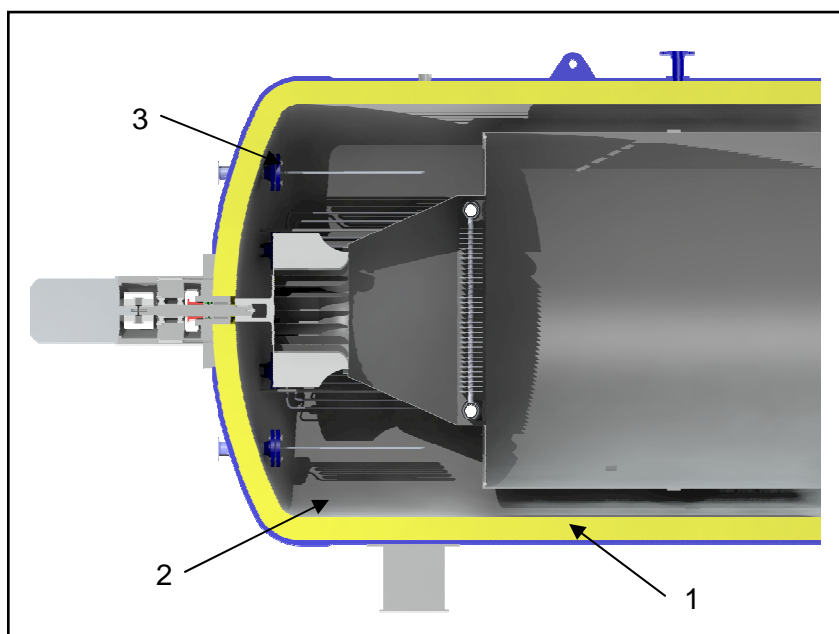


Fig. 4.4.- Vista ampliada on podem observar l'aïllament i les resistències dins de l'autoclau.

1.- Llana de roca, 2.- Recobriment metàl·lic, 3.- Resistències.

## **5 Fase III: Autoclau pel processament de materials compòsits**

### **5.1 Introducció**

Per la correcta descripció de la solució adoptada i poder fer-se una idea dels materials seleccionats, hem dividit la tercera fase del projecte en tres subapartats.

5.2 Sistema de buit.

5.3 Sistema de refrigeració.

5.3 Sistema de control de temperatura.

5.4 Funcionament global del sistema de buit.

### **5.2 Sistema de buit**

Les peces que es tracten a l'interior de l'autoclau, abans de introduir-les, es recobreixen amb un film especial, que mitjançant uns connectors permet l'extracció de l'aire de l'interior. D'aquesta manera eliminem qualsevol defecte produït per les inclusions de bombolles d'aire. Per fer el buit a les peces, hem de connectar-les al panell del circuit de buit de l'autoclau, mitjançant unes mànegues flexibles. Aquestes han de ser capaç de suportar les condicions de treball que es donen a l'autoclau.

#### **5.2.1 Circuit de buit**

El circuit de buit, es troba situat a l'exterior de l'autoclau. Aquest consta d'un tub principal de buit que va connectat directament a l'autoclau, mitjançant una unió de brida. Una electrovàlvula comandada mitjançant senyal procedent del control serà l'encarregada d'obrir i tancar el circuit principal.

#### **5.2.2 Panell de connexions**

El panell està muntat de tal manera que no resti espai a la zona útil del autoclau. Aquest alberga 16 tomes de buit de ½ polzada, com es pot veure a la figura 5.4.2.

Totes les peces que es tractin es connectaran mitjançant mànegues de buit al panell.

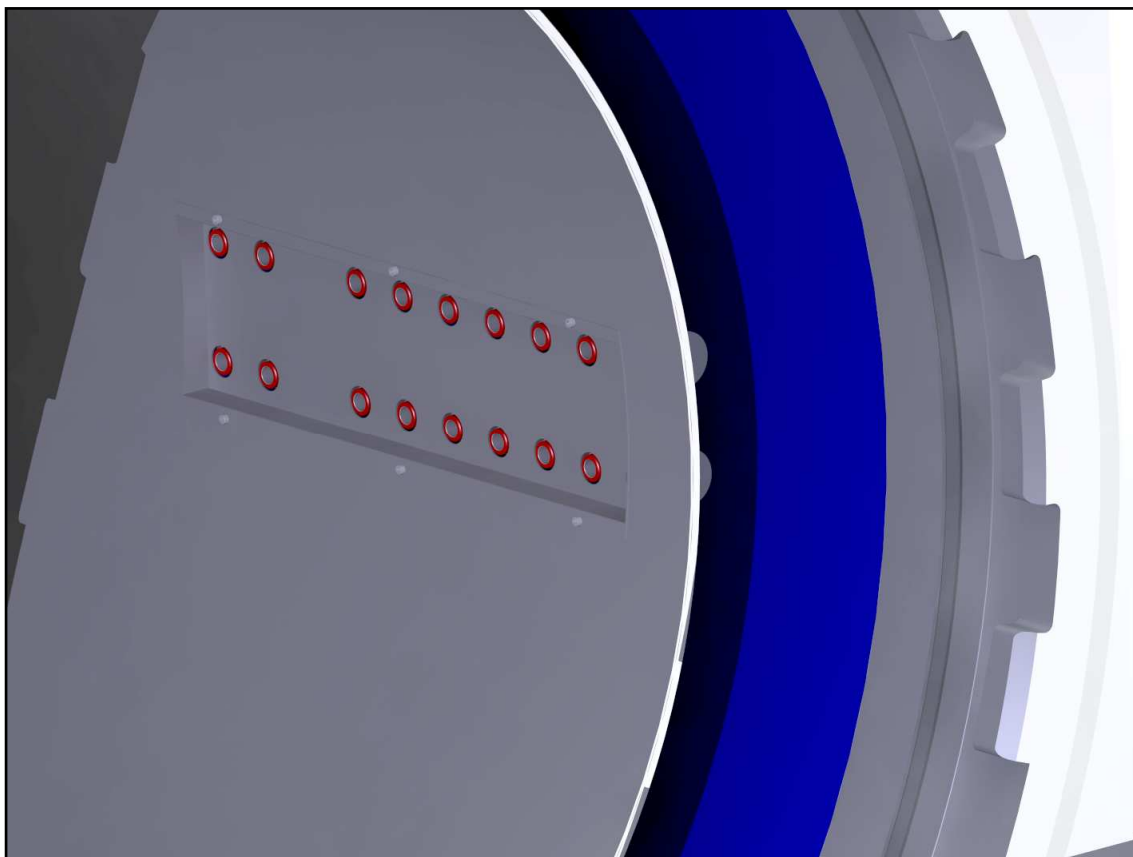


Fig. 5.2.2.- Vista ampliada on podem observar les connexions de buit dins de l'autoclau.

### 5.3 Sistema de refrigeració

Entre la campana d'aspiració i el cilindre de recirculació es munta un radiador o intercanviador de calor que serveix per accelerar el procés de refredat de l'aire una vegada finalitzat el procés de curat.

L'intercanviador està muntat entre la campana d'aspiració i el cilindre de recirculació així tot l'aire que circula pel sistema de ventilació està obligat a circular a través d'ell, aconseguint optimitzar el procés de refredat.

S'ha dissenyat de tal manera que reduint la seva capacitat d'intercanvi no interrompi en excés el pas d'aire ja que està situat a la boca d'aspiració. Aquest intercanviador pot funcionar amb aigua o bé amb refrigerant, connectat algun sistema de refrigeració extern.

L'intercanviador està construït d'acer inoxidable per elements a pressió, per resistir la pressió de treball de l'autoclau i la corrosió del fluid refrigerant.

Els tubs d'entrada i sortida de refrigerant es connecten mitjançant brides i unions cargolades. A la figura 5.3 podem veure una imatge de l'intercanviador.

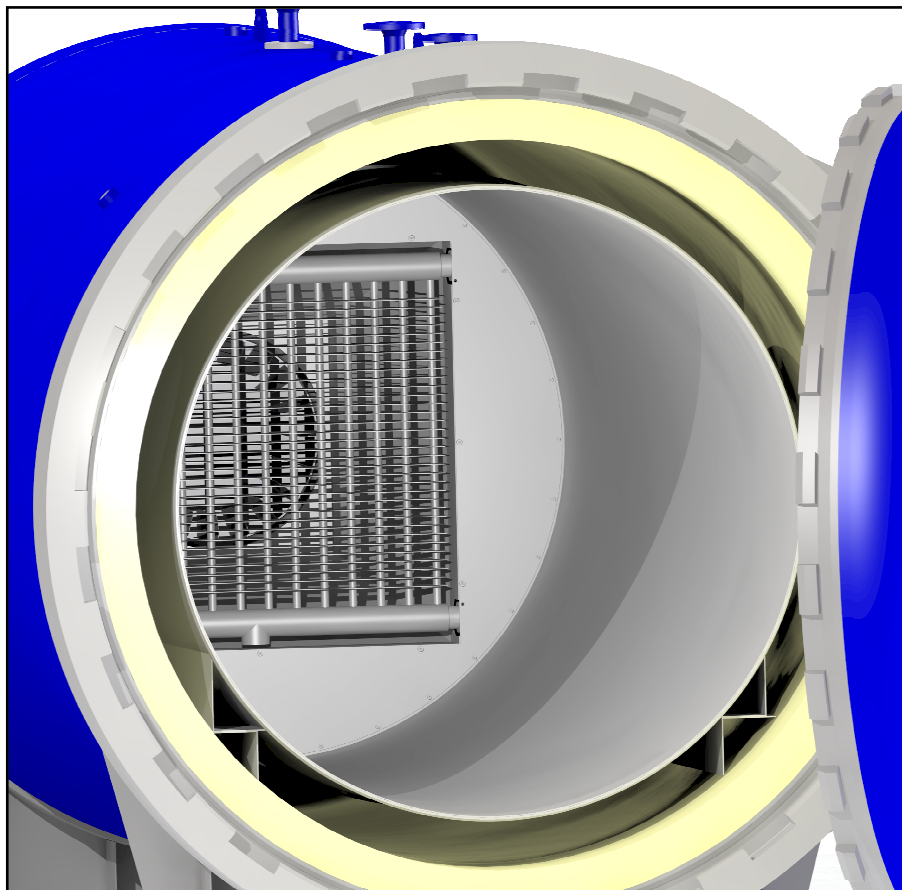


Fig. 5.3.- Interior de l'autoclau on podem apreciar la posició de l'intercanviador al fons del cilindre.

## 5.4 Sistema de control de temperatura

Per mesurar correctament la temperatura i amb la màxima precisió possible, no prenem la temperatura global de l'autoclau amb un sol sensor. S'utilitza un entramat de sensors anomenats termoparells que adherits a diferents zones de les peces, ens donen una mesura exacta de cada un dels punts. D'aquesta manera podem regular la velocitat de gir de la turbina o l'encesa i apagat de les resistències elèctriques, i així aconseguir una homogeneïtat el més gran possible a l'interior de l'autoclau. Reduint els gradients de temperatures a sobre de les peces és com aconseguim augmentar la qualitat final de la peça processada.

Les senyals que ens donen els termoparells es tracten a l'exterior de l'autoclau, per treure el cablejat de l'interior de l'autoclau sense pèrdues de pressió utilitzem uns ràcords especialment dissenyats per aquest propòsit. A la figura 5.4.b podem veure les brides on van roscats els ràcords. Cada ràcord proporciona senyal per a 8 termoparells.

Els termoparells es connecten a un panell interior amb capacitat per 24 termoparells, podem veure el panell a la figura 5.4.a.

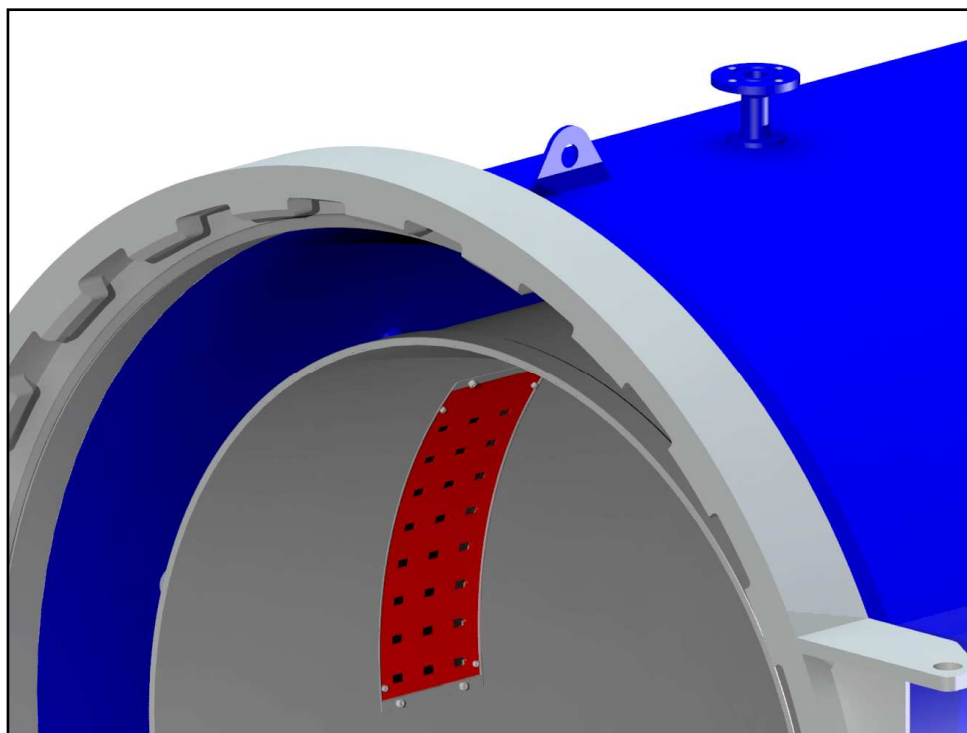


Fig. 5.4.a.- Interior de l'autoclau on podem veure el panell on es connecten els termoparells.

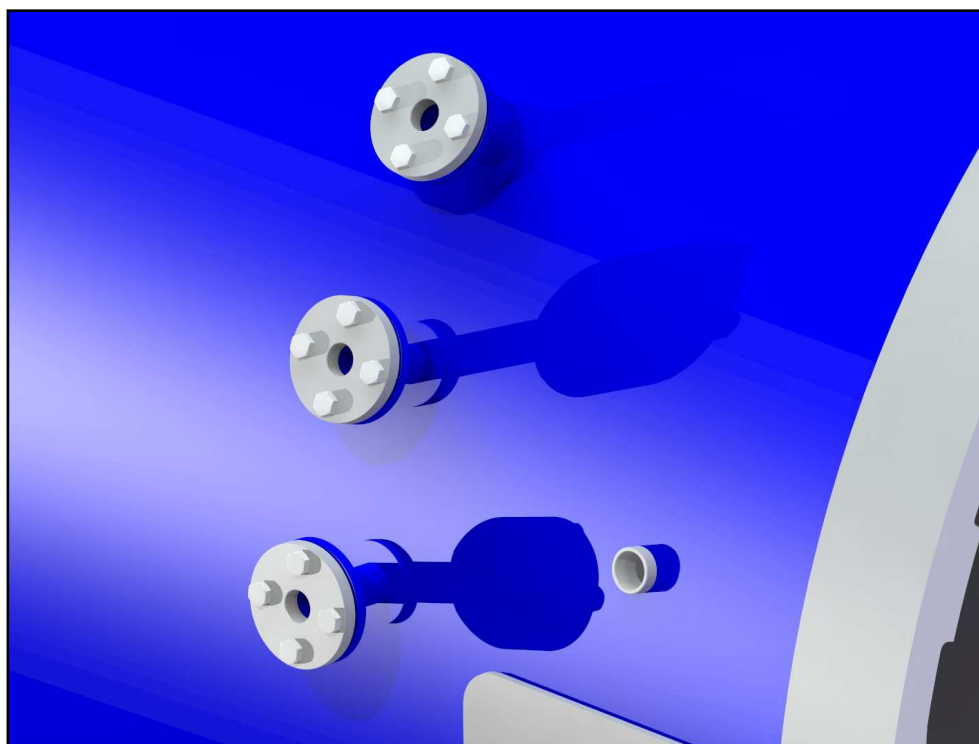


Fig. 5.4.b.- Vista on podem veure les tres brides on es rosquen els tres ràcords pel cablejat.

## 6 Fase IV: Passarel·la interior extraïble

### 6.1 Introducció

Per la correcta descripció de la solució adoptada i poder fer-se una idea dels materials seleccionats, hem dividit la quarta fase del projecte en tres subapartats.

6.2 Solució emprada.

6.2.1 Estructura i guiatge.

6.2.2 Carro extracció.

### 6.2 Solució emprada

El sistema de suport per a recolzar les peces en l'interior del autoclau, per facilitar la seva extracció i manipulació, és format per un carro extraïble i una estructura fixa. A la figura 6.2 podem veure el disseny final.

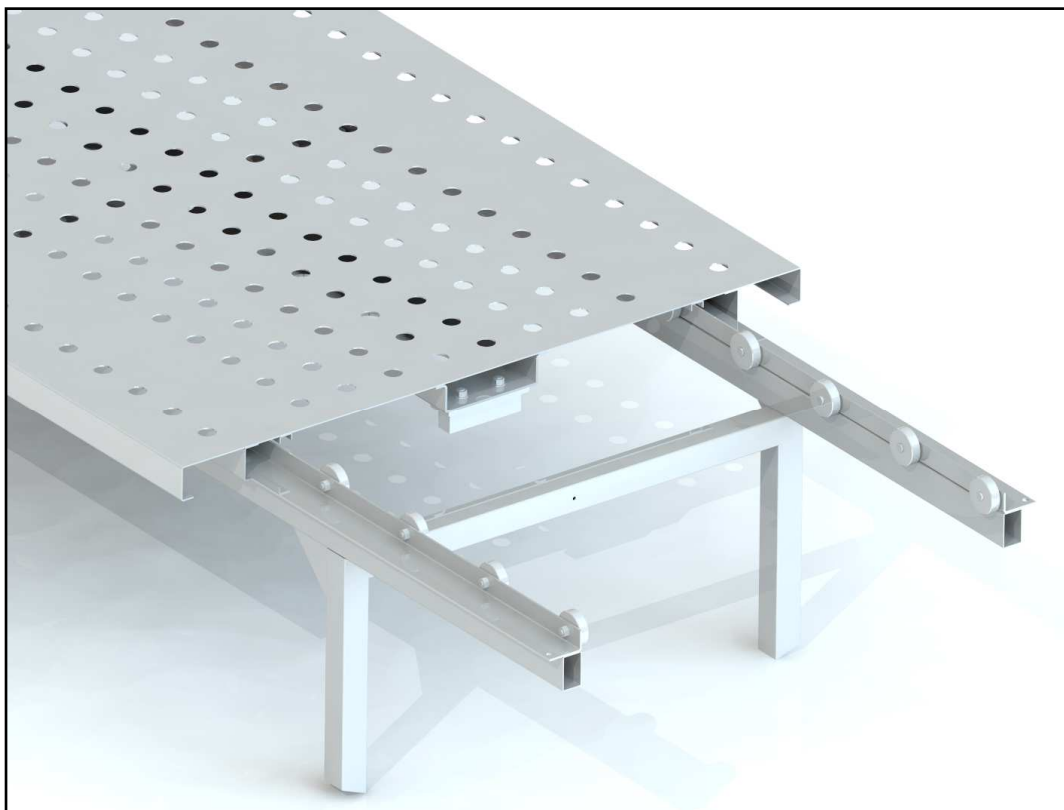


Fig. 6.2.- Vista posterior, on podem apreciar clarament l'estructura fixa i el carro extraïble.

### **6.2.1 Estructura i guiatge**

El carro d'extracció és recolza sobre una estructura construïda amb perfil tubular d'acer. L'estructura amb forma de pòrtic es pot extreure en qualsevol moment per fer operacions de manteniment.

L'estructura a més a més de fer la funció de recolzament del carro d'extracció, munta un sistema de guiatge format per elements rodants, que facilita l'extracció del carro, i permet carregar peces a l'interior amb comoditat.

### **6.2.2 Carro extracció**

Aquest carro està dissenyat per moure's a l'interior de l'autoclau, per poder extreure'l de l'interior i facilitar la càrrega des de l'exterior, aquest es recolza sobre el sistema de guiatge descrit a l'apartat anterior.

El carro d'extracció està construït en xapa d'acer de 2 mm i reforçada per la seva part inferior per evitar que es doblegui en cas que es carregui en excés.

El carro d'extracció es capaç de sortir fins a 1500 mm des de la comporta d'accés.



## 7 Resum del pressupost

Segons el resultat obtingut en el document adjunt nº 5, on queda definit detalladament el preu de totes les partides integrades en el disseny dut a terme, el preu total d'aquest projecte és de **50.836 € + IVA**.

## 8 Conclusions

En el present projecte trobem tota la documentació necessària per totes les fases de construcció, així com l'expedient de seguretat i l'estudi econòmic. Aquest disseny consta de tots els elements bàsics per garantir el funcionament i la seguretat, amb elements funcionals tals com turbina, eixos, suports, motor, i d'elements auxiliars i de protecció com vàlvules de seguretat, complint així amb tots el requeriments que ens varem imposar i amb els requeriments de la directiva de màquines vigent.

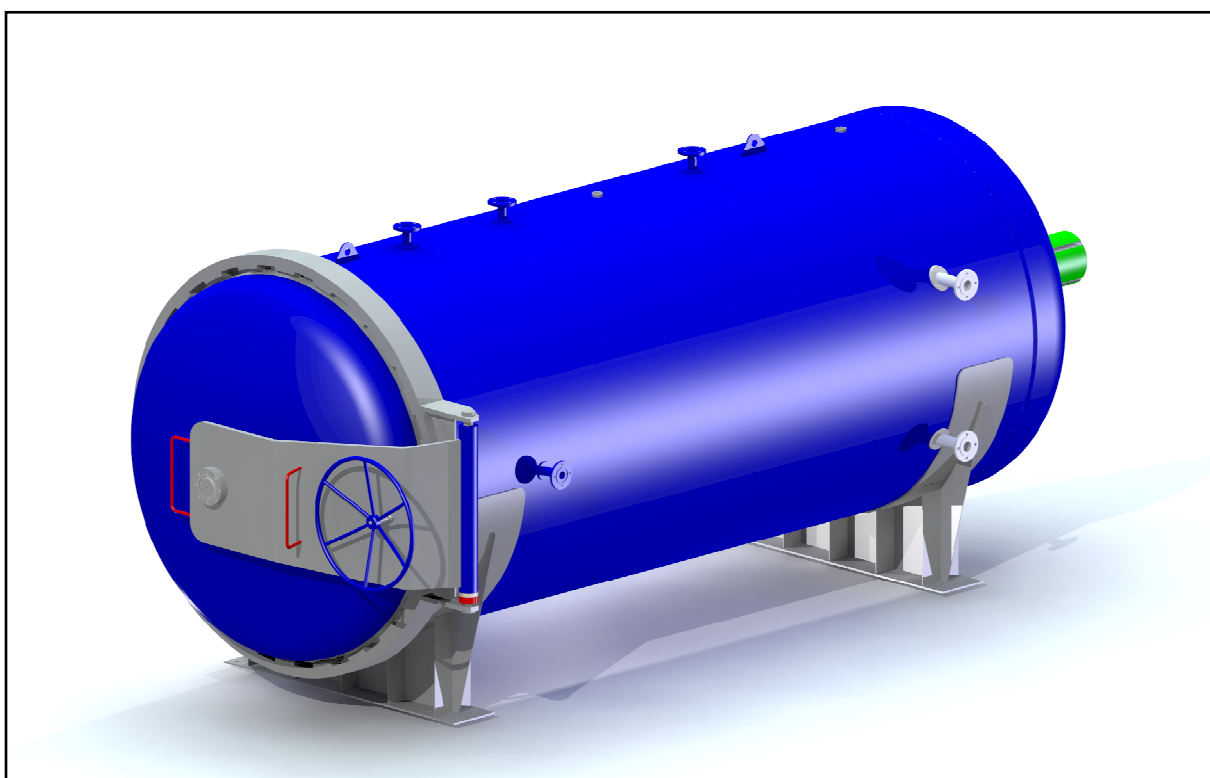


Fig. 8.- Vista de l'autoclau finalitzat.

## 9 Bibliografies i referències

- **Bibliografia en llibres de text i publicacions:**

J.Félez, *DIBUJO INDUSTRIAL*, Ed. Síntesis.

J. M. Auria Apilluelo, *DIBUJO INDUSTRIAL. CONJUNTOS Y DESPIECES*, Ed.

Paraninfo.

Robert L.Norton, *DISEÑO DE MÁQUINAS*, Ed. Pearson

*ATLAS DE MÁQUINAS*, Ed. Ceac

RODAMIENTOS FAG, Ed 2000

Apunts de classe, LEROY – SOMER

Megyesy, Eugene, *MANUAL DE RECIPIENTES A PRESIÓN*, Ed. Limusa Noriega

Ediciones

- **Informació via web:**

RESISTÈNCIES TOPE. <http://www.resistenciestope.com/>

CASALS VENTILACIÓ. <http://www.casals.tv/>

FULLER METRIC. <http://www.fullermetric.com/>

SLAWINSKI & Co. GmbH. <http://www.slawinski.de/french/index.htm>

DIRECTIVA DE MAQUINES.

<http://www.ffii.nova.es/puntoinfomcyt/Directivas.asp?Directiva=98/37/CE>

## 10 Llista de documents

**Els documents que formen aquest projecte són:**

- Document 1: Memòria i annexes
- Document 2: Plànols
- Document 3: Plec d'especificacions
- Document 4: Estat d'amidaments
- Document 5: Pressupost

## **ANNEX A: Estudi preliminar**

### **A.1 Introducció**

Amb el propòsit d'arribar a una solució òptima, aplicable al nostre disseny d'un autoclau pel processat de materials compòsits, hem desenvolupat diferents dissenys per a cada un dels elements crítics. Aquests dissenys són possibles solucions finals, amb diferències que fan que no sigui, a priori, senzill escollir el millor disseny.

Observant els diferents dissenys podem preveure amb antelació, els problemes que poden sorgir durant el transcurs del projecte, i evitar així, donar passos enrere o inclús el fracàs del projecte amb fases avançades.

### **A.2 Disseny conceptual**

Encara que hi ha una gran diversitat de fabricants, en l'actualitat, els dissenys conceptuals que s'han desenvolupat fins al dia d'avui són molt similars, fins al punt que costa trobar realment les diferències entre màquines construïdes per diferents fabricants.

Això ens dona una molt bona pista de cap a on hem de dirigir el nostre disseny, per a obtenir un resultat el més proper possible a les especificacions tècniques.

Podem dividir aquest apartat amb dos subapartats:

A.2.1 Trajecte del flux

A.2.2 Disposició dels elements

#### **A.2.1 Trajecte del flux**

El flux d'aire forçat, necessari per aconseguir l'homogeneïtat tèrmica, es pot fer circular en dos úniques direccions: impel·lent o aspirant.

##### **A.2.1.1 Sentit aspirant**

Utilitzem aquest sistema per forçar l'aire a través del cilindre de recirculació, mentre l'aspiració absorbeix l'aire que es recull per l'exterior del cilindre de recirculació.

### **A.2.1.2 Sentit impel·lent**

És el mètode invers a l'anterior, l'aspiració agafa l'aire de l'interior del cilindre de recirculació, mentre que l'aire forçat passa per l'exterior del cilindre de recirculació.

### **A.2.1.3 Elecció final**

Els dos sistemes tenen els seus punts forts i punts febles. En el nostre cas ens hem decantat pel sistema impel·lent. Encara que és un sistema més problemàtic de cares al disseny, degut als problemes que podem arribar a tenir en l'aspiració, originades per les pèrdues de càrrega que suposa instal·lar la unitat de refrigeració en la boca d'aspiració. El sistema impel·lent ens assegura una homogeneïtat tèrmica més gran, ja que el flux al recórrer un camí més llarg té més temps per a homogeneïtzar-se.

Aquest problema amb l'altre sistema no se'ns dona, ja que és l'impulsió la que travessa la unitat de refrigeració. Per altre banda el fet de fer passar el flux a alta velocitat per l'interior del cilindre de recirculació ens genera un gradient de temperatures molt més gran, que no compliria amb les especificacions de la fase II.

## **A.2.2 Disposició dels elements**

La disposició dels elements bé supeditat pel tipus de sistema que hem escollit prèviament, ja que la configuració dels elements entre els dos sistemes varia radicalment.

Com ja hem vist en l'apartat A.2.1.3, hem escollit el sistema impel·lent, el que ens obliga a muntar una sèrie d'elements d'una manera ja determinada.

En aquest apartat només comentarem la disposició dels principals elements que son indispensables.

### **A.2.2.1 Disposició dels elements funcionals**

A continuació es descriurà la disposició dels elements necessaris pel funcionament del circuit de ventilació.

### **A.2.2.1.1 Cilindre de recirculació**

El cilindre de recirculació és la peça angular del circuit de ventilació, situat a l'interior de l'autoclau, i amb independència del mètode de ventilació emprat, aquest sempre va situat concèntric al casc exterior i amb la boca d'entrada situada al costat de la comporta.

### **A.2.2.1.2 Intercanviador de calor**

Element situat entre la turbina i el cilindre de recirculació, obligant tot l'aire a passar pel seu interior. Aquest es recolza mitjançant cargols al cilindre de recirculació.

Hem escollit l'aigua com a fluid refrigerant perquè simplifica el circuit de refrigeració i pel seu baix cost d'obtenció.

### **A.2.2.1.3 Sistema de ventilació**

Sigui turbina centrífuga o bé ventilador de pales, la seva disposició no depèn de la seva pròpia naturalesa, sinó de la seva situació a l'interior de l'autoclau.

Tenim dos opcions bàsiques: situar la turbina al fons torisfèric, situat a la part del darrera, o bé situar la turbina a la comporta.

Situar la turbina a darrera respecte la part davantera té l'avantatge de ser el mètode més econòmic, en canvi situar la turbina a la comporta tot i ser un mètode notablement més car, ens facilita molt el treball de manteniment, necessari en tota màquina.

En el nostre cas muntarem la turbina a la part posterior de la màquina, ja que el manteniment de la turbina és mínim i ens repercuteix bastant en el preu final de la màquina.

### **A.2.2.1.4 Resistències**

Les resistències les podem instal·lar en dos emplaçaments bàsics. Un seria davant de la boca d'aspiració, just entre la boca i el radiador, a l'interior del conus d'adaptació. L'altre opció és col·locar les resistències al voltant de la turbina a l'impulsió, collades al fons torisfèric exterior.

Escollim la segona opció ja que les radiacions emeses per les resistències elèctriques, al estar situades tan a prop de la zona de treball, son perjudicials i no garanteixen un correcte curat de les peces.

#### **A.2.2.1.5 Aïllament tèrmic**

L'aïllament el podem col·locar a l'exterior del casc de contenció o bé a l'interior.

Col·locar-ho a l'exterior facilita el muntatge i manteniment del recobriment d'aïllant, però deixem que el casc absorbeixi una bona part de calor amb el perill que suposa sotmetre el casc a cicles de fatiga tèrmica tan bruscos.

Per aquest motiu muntarem el mantell d'aïllament per l'interior, encara que haguem de fer el casc de contenció més gran, per a poder seguir respectant les mides interiors de l'autoclau.

#### **A.2.2.2 Disposició dels elements estructurals**

A continuació es descriurà la disposició dels elements necessaris per a la contenció del fluid.

##### **A.2.2.2.1 Cos cilíndric exterior**

El cos exterior de l'autoclau és concèntric al cilindre de recirculació que hi ha situat en el seu interior.

##### **A.2.2.2.2 Recolzaments**

Els recolzaments de l'autoclau estan situats a prop dels extrems ja que aquests actuaran de reforç.

##### **A.2.2.2.3 Comporta**

La comporta d'accés de l'autoclau està situada en un dels extrems del cos cilíndric de contenció, una vegada tancada, es pot considerar part del cos.

### **A.3 Selecció elements**

L'autoclau està constituït per un conjunt d'elements o peces, les quals han estat cuidadosament escollides, per a satisfer les especificacions de l'apartat 1.4 del document: memòria.

### **A.3.1 Selecció elements funcionals**

A continuació es descriuran quin han estat els criteris de selecció per als elements del autoclau que conformen el circuit de ventilació. Per a més informació sobre els elements seleccionats, consultar l'annex E: Informació tècnica.

#### **A.3.1.1 Ventilador**

És un dels elements més importants de l'autoclau, ja que és el responsable de la circulació del fluid.

Es pot instal·lar dos tipus de ventiladors:

- Ventilador helicoidal
- Ventilador centrífug o turbina

Hem escollit la turbina ja que el seu disseny s'adapta més al circuit que recórrer l'aire, a més a més, mou una quantitat d'aire tan elevada com l'altre amb un diàmetre més petit i amb un número de revolucions de gir més baix, amb el qual reduïm la sonoritat de la màquina amb règim de treball.

#### **A.3.1.2 Resistències**

Per a seleccionar el tipus de resistència, primer hem de veure el tipus de medi que s'ha d'escalfar.

En el nostre cas, es tracta d'escalfar un fluid en estat gasos a 250°C i sotmès a 12 bars de pressió.

Aquest tipus de condicions implica utilitzar resistències blindades d'acer inoxidable, per evitar la corrosió a alta temperatura.

#### **A.3.1.3 Aïllament**

El tipus d'aïllant més adient per a ser muntat a l'interior de l'autoclau, és la manta de llana de roca, per la seva gran capacitat com a calorífug i pel fàcil muntatge d'aquest tipus de material.

L'aïllament escollit és una manta de llana de roca amb malla metàl·lica, que ens facilitarà el muntatge al voltant del cos. Podem escollir la densitat de l'aïllament entre 70, 100, 125 kg/m<sup>3</sup>. Amb més densitat, menys gruix d'aïllant és necessari per aconseguir les mateixes prestacions. Escollim una manta de llana de densitat 100 kg/m<sup>3</sup>, ja que els resultats que hem obtingut a l'annex D: Disseny amb fluids computacional, ens dona per bona aquesta selecció.

#### **A.3.1.4 Segell de tancament**

El segell es el mètode emprat per evitar la pèrdua de pressió per l'eix motriu de la turbina. Bàsicament hi ha dos tipus de segell.

- Segell d'estopa
- Segell mecànic

El segell d'estopa és més econòmic i més fàcil de muntar, a més a més, les exigències constructives per instal·lar un segell d'aquest tipus son molt inferiors. Per contrapartida s'ha d'anar ajustant l'estopada periòdicament fins al desgast total dels anells. Per altra banda el segell mecànic és més precís i frena menys el gir de l'eix, i amb un bon sistema de refrigeració el manteniment del mecanisme es pot reduir a res.

En el nostre cas escollim el segell d'estopa per tal d'evitar la instal·lació de refrigeració, ja que l'estopada és capaç de treballar a altíssimes temperatures sense fer-se malbé.

### **A.3.2 Selecció elements estructurals**

A continuació es descriuran quin han estat els criteris de selecció per als elements del autoclau que conformen el elements de contenció.

#### **A.3.2.1 Cos principal**

El cos principal està format per xapa de gran espessor rolada en fred. És molt important seleccionar correctament el material del cos, ja que repercutirà en gran mesura en el cost final de l'autoclau.

Bàsicament hem de decidir si fabricar-lo en acer o bé en acer inoxidable. I amb quin tipus d'acer.



El principal avantatge d'utilitzar acer inoxidable es la manca de manteniment ja que al tractar-se d'un material anticorrosiu no se l'hi ha d'aplicar cap mena de tractament superficial, com és el cas de l'acer al carboni normal. Per contrapartida, el cost de l'acer inoxidable i de la seva posterior fabricació, sobrepassa en molt al de l'acer al carboni, i la seva utilització en el nostre cas és econòmicament inviable.

Una vegada que ja hem escollit el tipus de material, ens queda seleccionar quin és el més idoni per la nostra màquina.

Les cases de materials, conscients del perill de les màquines que treballen amb pressió. Han elaborat una gama de materials especialment dissenyats per treballar amb aquestes condicions. Nosaltres escollim l'acer P355GH, que tot i ser el més costós, gràcies a les seves propietats mecàniques ens reduirà molt el pes total de la màquina, un factor molt important segons on es vulgui instal·lar l'autoclau. Per més informació sobre el material escollit, consultar l'annex E: Informació tècnica.

### **A.3.2.2 Tipus de cap**

El cap va soldat en un dels extrems del cos principal a fi de tancar el recipient. Podem muntar varis tipus de fons que son de fabricació habitual. Escollim el fons normalitzat DIN 28011, ja que és un disseny molt utilitzat en aquest tipus d'equips i el seu cost per tant és menor.

El material del que està construït el fons és exactament el mateix que s'ha emprat per el cos principal.

### **A.3.2.3 Comporta**

Els elements de la comporta que presenten diferents alternatives son: el mecanisme de desplaçament i el sistema de tancament. Ja que l'altre element que constitueix la comporta és el tipus de fons que ja s'ha seleccionat en l'apartat anterior.

En quan al tipus de mecanisme de desplaçament, podem trobar mecanismes de desplaçament lineal i de desplaçament angular. Escollim un sistema de desplaçament angular similar al de les portes convencionals, aquest tipus de mecanisme és el més compacte i el més econòmic gràcies a la seva facilitat de fabricació.

Per una altre banda, el sistema de tancament també presenta diferents alternatives. El tancament dentat és car de fabricació, però és el més segur i ràpid de desbloquejar, per això assumim aquest sistema per al nostre disseny.

Els materials emprats per a la fabricació de tots els mecanismes, és acer al carboni aliat, seguint el criteri anteriorment formulat.

#### **A.3.2.4 Recolzaments autoclau**

Els recolzaments de l'autoclau es dissenyaran seguint els criteris del reglament americà: *ASME boiler and pressure vessel code*. D'aquesta manera escollim una solució que està molt estudiada en tots el sentits.

En quant als suports, hem dissenyat un model similar a una biga carregada uniformement, amb uns rigiditzadors soldats a l'ànima, per evitar el vinclament lateral del suport.

#### **A.3.3 Selecció elements de control**

A continuació es descriuran quin han estat els criteris de selecció per als elements del autoclau que conformen el elements de control.

##### **A.3.3.1 Temperatura**

Els elements per controlar la temperatura son un tipus de sensors, situats a l'interior del dipòsit. Son els encarregats de fer les mesures de temperatura i de enviar-les al control del equip.

Hi ha diferents tipus de sensors al mercat, però degut a la quantitat important de sensors que s'han d'instal·lar, muntem termoparells, ja que podem fer passar una gran quantitat de sensors per una petita obertura al dipòsit.

La homogeneïtat tèrmica en el procés de curat es vital per la qualitat final de la peça, per aquest motiu, els sensors es deuen col·locar enganxats directament sobre la peça, el termoparell és el més adient per aquest tipus d'ús.

##### **A.3.3.2 Pressió**

La pressió, es de tots el paràmetres, el més important i el que esdevé més important tenir controlat. Per tant dividim el control per la naturalesa del control.

### **A.3.3.2.1 Sensor**

El control de la pressió es fa mitjançant un sol sensor piezoelèctric situat a la part superior del recipient. La pressió com es reparteix uniformement en totes les direccions, a l'interior del autoclau, fa innecessària la utilització de més d'un sensor.

### **A.3.3.2.2 Vàlvules de seguretat**

La màquina té muntades 2 vàlvules de seguretat Standard, comandades pel control i tarades a 12.5 bars, per a la protecció del equip contra pujades accidentals de pressió. En cas que aquestes fallessin, l'autoclau porta una vàlvula mecànica tarada a 13 bars.

Per evitar obrir la comporta amb la màquina carregada, l'autoclau porta instal·lada una vàlvula que només es possible tancar-la amb la porta tancada.

### **A.3.3.2.3 Actuadors**

Per impedir l'obertura accidental de la comporta, s'ha d'instal·lar un element de seguretat que impedeixi l'obertura de la comporta i que doni l'ordre al control que la comporta efectivament està tancada.

Escollim un actuator que bloqueja el gir de la comporta una vegada que esta tancada.

## **A.4 Conclusions**

Una vegada estudiades les diferents alternatives, i vist els diferents elements, ja hem triat element per element i configuració per configuració l'alternativa que compleix amb més nota les especificacions de disseny que prèviament varem escollir com les més rellevants.

Cal dir que ens trobem en l'etapa de disseny preliminar i encara està oberta la possibilitat de introduir canvis en el disseny seleccionat, com la introducció d'elements de seguretat per complir amb la directiva de màquines vigent.

## ANNEX B: Càlculs tècnics

### Simbologia:

Factor	Descripció	Unitats
Di	Diàmetre	Mm
P <sub>ser</sub>	Pressió de servei	bars
P <sub>dis</sub>	Pressió de disseny	bars
L	Longitud	mm
R	Radi	mm
T <sub>ser</sub>	Temperatura de servei	°C
T <sub>dis</sub>	Temperatura de disseny	°C
Esp <sub>c</sub>	Sobre espessor de corrosió	mm
E	Eficiència juntes soldades	
A	Distància del cap al recolzament	mm
H	Profunditat del cap	mm
K <sub>i</sub>	Factors de càlcul	
T <sub>s</sub>	Espessor cos	mm
T <sub>h</sub>	Espessor cap	mm
Q	Càrrega	kg
Esforç_Pi	Esforç degut a la pressió	Mpa
S <sub>y</sub>	Límit elàstic	Mpa
S <sub>ut</sub>	Resistència del material	Mpa
b	Ample recolzament	mm
Y <sub>II</sub>	Límit elàstic a T <sub>dis</sub> / 1.5	Mpa
r	Radi petit del cap torisfèric	mm
Y <sub>II_amb</sub>	Límit elàstic a T ambient	Mpa
P <sub>servei</sub>	Pressió nominal de treball	Bars
E <sub>y</sub>	Mòdul de Young	Mpa
n	Factor de seguretat	
S <sub>e</sub>	Resistència a la fatiga	Mpa
I	Inèrcia de la secció	mm <sup>4</sup>

$\sigma_{y\_Tamb}$	Límit elàstic del material a T ambient	Mpa
$\sigma_{y\_Tdis}$	Límit elàstic del material a T ambient	Mpa
Ft	Força exercida pel pes	N
R1	Reaccions sobre eixos	N
M <sub>M</sub>	Moment mig	N·mm
T <sub>M</sub>	Torçor mig	N·mm
M <sub>A</sub>	Moment altern	N·mm
T <sub>A</sub>	Torçor altern	N·mm
M <sub>m</sub>	Moment motor	N·mm
M <sub>r</sub>	Moment resistent	N·mm
Kf	Coeficient concentració de tensions	
Lr	Radi gran cap torisfèric	mm
L10	Vida dels rodaments	Cicles

## B.1 Introducció

A continuació es presenten els càlculs tècnics referents a les peces susceptibles a esforços de qualsevol naturalesa.

Per fer més entenedor el document s'han dividit els càlculs en tres categories.

- B.2 Càlcul estructural
- B.3 Càlcul d'elements mecànics
- B.4 Càlcul instal·lacions

## B.2 Càlcul estructural

La metodologia que hem seguit pel càlcul es basa en l'utilització del *Code ASME* americà, amb validesa al estat espanyol i acceptat per la Unió Europea, com indica la seva inclusió a la directiva referent a aparells a pressió.

A partir dels resultats obtinguts amb les fórmules incloses al *Code ASME*, utilitzarem Ansys per a comprovar que els espessors obtinguts son suficients per a garantir la integritat de l'estructura analitzant les zones més problemàtiques com poden ser les de canvi d'espessor o transició.

Les peces que prèviament calcularem amb el manual ASME son el casc cilíndric, els caps i els recolzaments de l'autoclau.

### B.2.1 Càlcul del cos cilíndric

Pel càlcul del cos cilíndric i del cap torisfèric, hem introduït les fórmules en la fulla de càlcul de l'annex H: Fulles de càlcul, d'aquesta manera podem editar els resultats en cas de que vulguem fer alguna modificació en les condicions de servei.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

$D_i = 2000 \text{ mm}$ .

$P_{ser} = 12 \text{ bars}$ , però pel càlcul estructural definim una nova pressió de disseny, amb un marge aproximat del 10 %,  $P_{dis} = P_{ser} + 0.1 * P_{ser} = 14 \text{ bars}$

$T_{ser} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ , però pel càlcul estructural utilitzem la temperatura màxima, que hem calculat a

l'annex D: Disseny amb fluids computacional:  $T_{dis} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$E_{spc} = 1.4 \text{ mm}$ , el sobre espessor per corrosió ha de ser un 10% de l'espessor nominal.

$E_s = 0.85$ , per a juntes totalment inspeccionades mitjançant observació.

$Y_{II} = 135 \text{ Mpa}$ , el límit elàstic del material a la  $T^a$  de disseny, dividit per el coeficient de seguretat 1.5. Podem consultar la resistència a la  $T^a$  de disseny a l'annex E: Informació tècnica.

$$T_s = \frac{\left( P_{dis} \cdot \left( \left( \frac{D_i}{2} \right) + E_{spc} \right) \right)}{\left( (Y_{II} \cdot 10 \cdot E_s) - 0.6 \cdot P_{dis} \right) + E_{spc}} \quad (1) \text{Fórmula per obtenir l'espessor del cos.}$$

L'espessor de xapa necessari per a contenir la pressió és:

$$T_s = 14 \text{ mm.}$$

## B.2.2 Càlcul del cap torisfèric

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

$$D_i = 2000 \text{ mm.}$$

$$L = 204.4 \text{ mm.}$$

$$r = 20.44 \text{ mm.}$$

$$P_{dis} = 14 \text{ bars}$$

$$T_{dis} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$E_{spc} = 2.2 \text{ mm.}$$

$$E_s = 0.85$$

$$Y_{II} = 135 \text{ Mpa}$$

Ja que hi ha una gran diversitat de caps en el mercat, el *Code ASME* ens proporciona una fórmula general pel càlcul de l'espessor amb un coeficient M, que varia en funció del tipus de cap seleccionat. Així doncs el coeficient M, no és més que un mètode matemàtic per a recollir les característiques geomètriques del cap.

$$M = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L + Esp_c}{r + Esp_c}} \right) \quad (2) \text{Fórmula coeficient } M \text{ per a caps torisfèrics.}$$

$$T_h = \frac{(P_{dis} \cdot (L + Esp_c) \cdot M)}{((2 \cdot YII \cdot 10 \cdot E_s) - 0.2 \cdot P_{dis}) + Esp_c} \quad (3) \text{Fórmula per obtenir l'espessor del cap.}$$

L'espessor de xapa necessari per a contenir la pressió és:

$$T_h = 22 \text{ mm.}$$

### B.2.3 Càlcul de la pressió de prova

Tots els dipòsits sotmesos a pressió, son sotmesos a una prova hidràulica a temperatura ambient. A continuació anem a calcular la pressió de prova per la nostra màquina.

En primer lloc, hem de calcular el coeficient que relaciona, les tensions màximes admissibles del material a la temperatura ambient amb la de disseny.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

$$\sigma_{y\_Tamb} = 345 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{y\_Tdis} = 232 \text{ Mpa}$$

$$Coef\_EN = \frac{\sigma_{y\_Tamb}}{\sigma_{y\_Tdis}} \quad (4) \text{Fórmula per obtenir el coeficient de temperatura.}$$

$$P_{prova} = 1.3 \cdot Coef\_EN \cdot P_{dis} \quad (5) \text{Fórmula per obtenir la pressió de prova.}$$

La pressió de prova és:

$$P_{prova} = 27 \text{ bars.}$$

A continuació comprovem que el cos cilíndric i el cap torisfèric, tenen suficient espessor per suportar la pressió de prova, durant la prova hidràulica. Utilitzem les mateixes variables que en els apartats anteriors amb un coeficient de seguretat  $n = 1.1$



**Comprovació cos cilíndric**

$$T_{s\_p} = \frac{\left( P_{prova} \cdot \left( \left( \frac{Di}{2} \right) + Espc \right) \right)}{\left( \left( \frac{\sigma_{y\_Tamb}}{n} \cdot 10 \cdot Es \right) - 0.6 \cdot \sigma_{y\_Tamb} \right) + Espc} \quad (6) \text{Fórmula per comprovar l'espessor cos}$$

L'espessor de xapa necessari per a contenir la pressió de prova és:

$$T_{s\_p} = 12 \text{ mm.} < T_s = 14 \text{ mm.}$$

L'espessor de xapa necessari per suportar la prova hidràulica és més petit que l'espessor requerit, per tant el disseny és segur.

**Comprovació cap torisfèric**

$$T_{h\_p} = \frac{\left( P_{prova} \cdot (L + Espc) \cdot M \right)}{\left( \left( 2 \cdot \frac{\sigma_{y\_Tamb}}{n} \cdot 10 \cdot Es \right) - 0.2 \cdot P_{prova} \right) + Espc} \quad (7) \text{Fórmula per comprovar l'espessor cap}$$

L'espessor de xapa necessari per a contenir la pressió de prova és:

$$T_{h\_p} = 18 \text{ mm.} < T_h = 22 \text{ mm.}$$

L'espessor de xapa necessari per suportar la prova hidràulica és més petit que l'espessor requerit, per tant el disseny és segur.

## B.2.4 Càlcul dels esforços generats pel recolzament de l'autoclau

El mètode de disseny dels recolzaments per a recipients horitzontals es basa en la publicació *ASME, Pressure Vessel and Piping; Design and Analysis*, com a pràctica recomanada.

Un recipient horitzontal muntat sobre dos recolzaments, com el de la figura B.2.3, actua com una biga amb les següents diferències:

- Les condicions de càrrega són diferents pel recipient total o parcialment ple d'aigua.
- Els esforços varien sobre el recipient amb l'angle format pel recolzament.
- La càrrega del recipient només es combina amb les altres càrregues descrites aquí.

A continuació descriurem els tipus de càrregues a les quals està sotmès un recipient horitzontal gran, suportat per dos recolzaments.

- Reacció: Es recomana dissenyar els recolzaments del recipient per una càrrega completa d'aigua com a mínim.
- Pressió interna: Com l'esforç longitudinal sobre el recipient, provocat per la pressió és la meitat de l'esforç circumferencial, la meitat de la placa que s'utilitza és suficient per resistir la càrrega del pes.
- Pressió externa: Si el recipient està dissenyat i construït seguint el Codi per a pressió interna i es requereixi per utilitzar-se sota una pressió externa de 1 bar o inferior, no necessita complir amb les normes per a pressió externa.
- Càrrega de vent: Els recipients llargs amb relacions  $t/r$  petites, són susceptibles de deformació per pressió de vent. No és el nostre cas, ja que el recipient anirà ubicat en un recinte tancat.
- Càrrega d'impacte: L'experiència demostra que durant el transport del recipient es produeixen càrregues d'impactes no estimables que poden malmetre el recipient. El disseny dels recolzaments i soldadures ha de tenir en compte aquesta circumstància.

Des del punt de vista estàtic i econòmic, es prefereix l'ús de dos recolzaments a diferència del sistema de varis suports. La ubicació es determina en ocasions en funció de les obertures. Sinó és el cas es recomana situar-los en els punts estàticament òptims. Per a recipients de paret prima i gran diàmetre es millor a prop dels caps per aprofitar l'efecte rigiditzador. Per a recipients de paret gruixuda i llargs, es recomana suportar-los on l'esforç

provocat per la flexió als recolzaments sigui el mateix que l'esforç generat a la meitat del clar. En tot cas la distància dels recolzaments a la línia tangent del cap no pot ser superior a  $0.2 \cdot \text{Longitud del recipient}$ .

En el nostre cas, calcularem les tensions provocades pel recolzament, per a una càrrega completa d'aigua. L'angle d'obertura del recolzament que hem escollit, és de  $150^\circ$ . Les variables K varien amb aquesta dada.

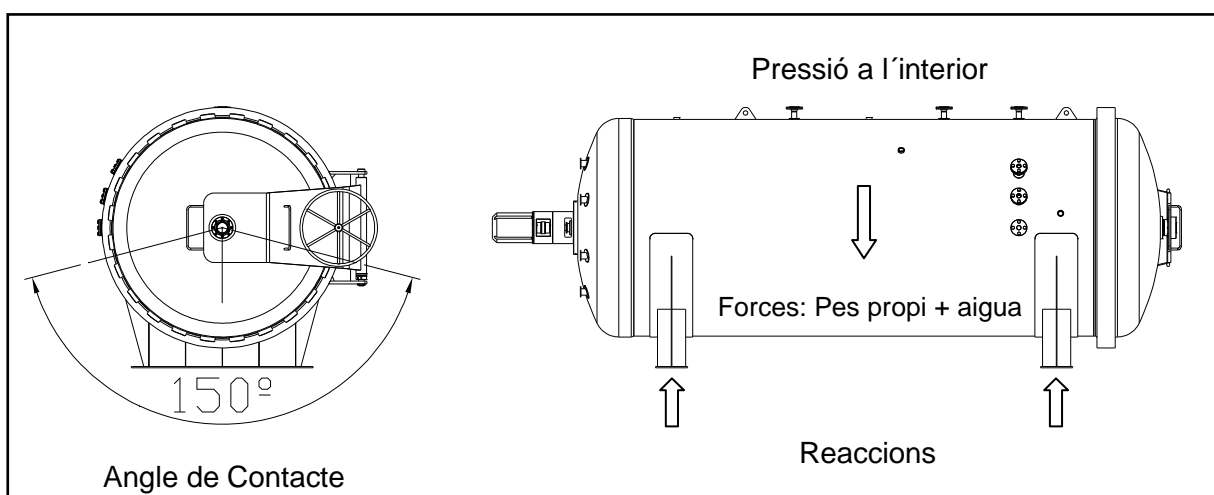


Fig. B.2.3.- Esquema de les forces que han de suportar els recolzaments i l'angle de contacte amb el cos.

### B.2.4.1 Flexió longitudinal

En els recipients llargs de paret gruixuda s'aconsella suportar-los on l'esforç flexionant longitudinal màxim als recolzaments sigui igual a l'esforç màxim longitudinal a la meitat del clar. Aquest punt varia amb l'angle de contacte del recolzament amb el recipient i de la ubicació dels recolzaments, en cap cas aquesta distància ha de ser més gran de  $0.2 \cdot L$ .

A continuació, calcularem l'esforç flexionant màxim als recolzaments  $S_1$ , que pot ser de tensió, en la part superior, o de compressió, en la part inferior. Per calcular l'esforç de tensió a la fórmula (4) s'utilitzen els valors de  $K_1$  per al factor K i  $K_8$  si es tracta de l'esforç de compressió.

Per a relacions de  $t/R > 0.005$  en recipients d'acer, l'esforç de compressió no és factor d'importància, com és en el nostre cas.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

$Q = 10235 \text{ kg.}$        $E_s = 0.85$   
 $A = 500 \text{ mm.}$        $Y_{II} = 135 \text{ Mpa}$   
 $L = 4500 \text{ mm.}$   
 $H = 385 \text{ mm.}$   
 $K_1 = 0.505$   
 $T_s = 14 \text{ mm.}$   
 $R = 1000 \text{ mm.}$

$$S_{1r} = \pm \frac{Q \cdot A \cdot \left( 1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2 \cdot A \cdot L}}{1 + \frac{4 \cdot H}{3 \cdot L}} \right)}{K \cdot R^2 \cdot T_s} \quad (8) \text{ Esforç longitudinal al recolzament}$$

L'esforç longitudinal que apareix al recolzament és:

$$S_{1t} = 0.2 \text{ Mpa}$$

L'esforç flexionant màxim a la meitat del clar  $S_2$ , que pot ser de tensió, en la part inferior, o de compressió, en la part superior.

$$S_{2r} = \pm \frac{\frac{Q \cdot L}{4} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4 \cdot H}{3 \cdot L}} - \frac{4 \cdot A}{L} \right)}{\pi \cdot R^2 \cdot T_s} \quad (9) \text{ Esforç longitudinal a la meitat del clar}$$

L'esforç longitudinal que apareix al recolzament és:

$$S_{2t} = 1.6 \text{ Mpa}$$

Per a calcular el coeficient de seguretat, hem de sumar el valor més gran entre  $S_{1t}$  i  $S_{2t}$ , i sumar-li l'esforç degut a la pressió interna. El valor ha de ser més petit que l'esforç màxim permisible pel material seleccionat.

$$Esforç - Pi = \frac{P_{dis} \cdot R}{2 \cdot T_s} \quad (10) \text{ Factor de seguretat flexió longitudinal}$$

Esforç\_Pi = 50 Mpa.

$$n = \frac{YII \cdot E}{\text{Esforç}_-Pi + V \max(S1t, S2t)} \quad (11) \text{ Factor de seguretat flexió longitudinal}$$

El factor de seguretat serà:

$$n = 2.19$$

### B.2.4.2 Esforç tallant tangencial

En un recipient no rigiditzat com el nostre, l'esforç màxim apareix a la punta del recolzament. Però si  $A < R/2$ , com és el nostre cas, apareixen esforços addicionals als caps que es sumen als esforços derivats de la pressió interna.

Les variables K que necessitem per els càlculs següents son:  $K_4 = 0.485$   
 $K_5 = 0.295$

A continuació, calcularem l'esforç tallant màxim al cos:

$$S_{3casc} = \frac{K_4 \cdot Q}{R \cdot T_s} \quad (12) \text{ Esforç tallant al cos}$$

$$S_{3cos} = 3.47 \text{ Mpa}$$

A continuació, calcularem l'esforç tallant màxim al cap:

$$S_{3cap} = \frac{K_4 \cdot Q}{R \cdot T_h} \quad (13) \text{ Esforç tallant al cap}$$

$$S_{3cap} = 2.21 \text{ Mpa}$$

A continuació, calcularem l'esforç tallant màxim addicional al cap:

$$S_{3adicional} = \frac{K_5 \cdot Q}{R \cdot T_h} \quad (14) \text{ Esforç tallant addicional al cap}$$

$$S_{3adicional} = 1.34 \text{ Mpa}$$

Per a calcular el coeficient de seguretat, hem de comparar el valor més gran entre  $S_{3cos}$  i  $S_{3cap}$  amb l'esforç permès pel material\*0.8. A l'esforç tallant addicional hem de sumar-li l'esforç degut a la pressió interna, el valor ha de ser més petit que l'esforç màxim permisible pel material seleccionat\*1.25.

$$n = \frac{YII \cdot 0.8}{V \max(S_{3cap}, S_{3casc})} \quad (15) \text{ Factor de seguretat flexió longitudinal}$$

$$n = 30.6$$

$$n = \frac{YII \cdot 1.25}{S_{adicional} + Stress_{ps}} \quad (16) \text{ Factor de seguretat flexió longitudinal}$$

$$n = 3.24$$

### B.2.4.2 Esforç circumferencial

L'esforç circumferencial màxim per a recipients no rigiditzats i amb  $L < 8 \cdot R$ , com és el nostre cas, es dona a la punta del recolzament. Aquest esforç no es combina amb l'esforç per pressió interna.

Les variables K que necessitem per els càlculs següents son:  $K_6 = 0.008$

$$K_7 = 0.673$$

A continuació, calcularem els esforços circumferencials màxims que es poden donar:

$$S_4 = -\frac{Q}{4 \cdot T_s \cdot (b + 1.56 \cdot \sqrt{R \cdot T_s})} - \frac{12 \cdot K_6 \cdot Q}{L \cdot T_s^2} \quad (17) \text{ Esforç circumferencial a la punta}$$

$$S_4 = -91.7 \text{ Mpa}$$

$$S_5 = -\frac{K_7 \cdot Q}{T_s \cdot (b + 1.56 \cdot \sqrt{R \cdot T_s})} \quad (18) \text{ Esforç circumferencial a la part inferior}$$

$$S_5 = -99.7 \text{ Mpa}$$

Per a calcular el coeficient de seguretat, hem de comparar el valor  $S_4$  amb l'esforç permès pel material\*1.5. Per a l'esforç circumferencial a la part inferior, el valor ha de ser més petit que el límit elàstic del material seleccionat\*0.5.

$$n = \frac{Y_{III} \cdot 1.5}{S_4} \quad (19) \text{ Factor de seguretat, esforç } S_4$$

$$n = 21.79$$

$$n = \frac{S_y \cdot 0.5}{S_5} \quad (20) \text{ Factor de seguretat, esforç } S_5$$

$$n = 13.15$$

### B.3 Càlcul d'elements mecànics

Els elements mecànics que calcularem a continuació corresponen a les peces que van acoblades a l'estructura de l'autoclau mitjançant soldadura o bé un altre tipus d'unió i que tenen una funció vital en el funcionament de tot el conjunt.

Dividirem els elements segons la funció per a la que han estat dissenyades.

#### B.3.1 Càlcul del recolzament de l'autoclau

Una vegada calculades les tensions que apareixen degut als recolzaments, passem a calcular el recolzament pròpiament dit.

Com a pràctica recomanada es calcula per a suportar el seu propi pes i una càrrega completa del dipòsit d'aigua.

Segons el disseny escollit a l'annex A: Estudi preliminar, el recolzament és com una biga d'acer en I però amb l'ala superior (placa desgast) corbada per acoblar-se amb el dipòsit. L'ala inferior té uns forats per poder-se collar amb el terra. Entre les dues ales hi ha un rigiditzadors per assegurar l'estabilitat estructural del suport.

Per més informació, podem consultar el plànol 1.1.12 del document nº 2: Plànols.

Per fer el càlcul de resistència del recolzament, utilitzem el programa d'elements finits, Ansys. L'informa complet és pot veure a l'annex C: Simulació amb elements finits.

## **B.3.2 Càlcul de la comporta**

Per la correcta descripció dels càlculs, hem dividit el subconjunt comporta en tres: suport de la frontissa, frontissa i porta.

### **B.3.2.1 Suport de la frontissa**

Per fer el càlcul de resistència del suport de la frontissa, utilitzem el programa d'elements finits, Ansys. L'informa complert és pot veure a l'annex C: Simulació amb elements finits.

Per més informació, podem consultar el plànol 1.1.7.3 del document nº 2: Plànols.

### **B.3.2.1 Frontissa i porta**

Per fer el càlcul de resistència de la frontissa i la porta, utilitzem el programa d'elements finits, Ansys. L'informa complert és pot veure a l'annex C: Simulació amb elements finits.

Per més informació, podem consultar el plànol 1.1.7.7 del document nº 2: Plànols.

## **B.3.3 Càlcul dels elements concentradors de tensió, obertures**

El mètode de disseny de les obertures per a recipients horitzontals es basa en la publicació ASME, Pressure Vessel and Piping; Design and Analysis.

No es necessari comprovar totes les obertures, només la més desfavorable, que normalment coincideix amb l'obertura de major diàmetre, sempre i quan estiguin suficientment separades.

El codi de disseny ASME diu textualment : *“Per obertures de fins a 2 polzades, en espessors de casc superiors a 10 mm, no es requereix reforç.”*

Nosaltres farem cas omís a aquesta afirmació i reforçarem totes les obertures, ja que preferim estar al costat de la seguretat i més quan es tracta d'un disseny únic.

A la fulla de càlcul de l'annex H: Aplicació informàtica pel disseny autoclau, podem trobar el mètode proposat per ASME, que es basa principalment, en afegir un reforç amb la mateixa quantitat de material que s'ha extret per fer l'obertura.



### B.3.3 Càlcul dels elements pel transport

Per el transport de l'autoclau es munten dos orelles de xapa situades a la part superior del cos, per les quals es podrà subjectar un cable.

Les mides de les orelles es dissenyen seguin les recomanacions que proposa el manual ASME, d'aquesta manera només hem de calcular l'espessor requerit i el filet de soldadura necessari.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

Massa autoclau = 10.000 kg

(Encara que muntem dos orelles, suposem que tot el pes descansa en una sola.)

Diàmetre pern d'elevació = 38 mm

Diàmetre forat allotjament pern = 40 mm

Radi exterior de l'orella = 50.8 mm

YII\_amb = 355 mpa

$$Esp\_orella = \frac{(Massa \cdot 10)}{\left(2 \cdot (YII\_amb \cdot 0.577) \cdot \left(Radi\_ext - \left(\frac{Diam\_forat}{2}\right)\right)\right)} \quad (21) \text{Espessor de l'orella}$$

L'espessor necessari de l'orella per elevar l'autoclau és:

Esp\_orella = 10 mm.

Una vegada calculat l'espessor de l'orella es procedeix al càlcul del filet de la soldadura. Com en el cas anterior seguirem el mètode proposat per ASME, que consisteix en calcular l'esforç resultant i comparar-lo amb la tensió permesa per la soldadura.

Suposem que l'autoclau s'elevant amb accessori per hissar i amb un angle format entre cables de 45°.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

Alçada\_connexió\_cable = 100 mm

Tensió\_admissible\_soldadura = 66.2 Mpa (valors ASME)

Longitud orella = 200 mm

Per més informació, podem consultar el plànol 1.1.1 del document nº2: Plànols.

En funció de la tipologia de la soldadura, s'aplica una de les fórmules que estan publicades al codi ASME, per calcular el mòdul de secció per a moments flexionants, als cordons de la soldadura. Així doncs considerem que soldem l'orella per tots dos costats i sense fer trams:

$$Mòdul_{secció\_soldadura} = \frac{(L_{orella})^2}{3} \quad (22) \text{ Mòdul de la secció de soldadura}$$

$$Mòdul_{secció\_soldadura} = 13333 \text{ mm}^2$$

En segon lloc calculem el moment que genera el cable:

$$Moment_{aplicat} = Alçada_{connexió\_cable} \cdot Càrrega \cdot 10 \quad (23) \text{ Moment generat pel cable}$$

$$Moment_{aplicat} = 1.05 \cdot E7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Amb aquestes dades ja podem calcular la força deguda a la flexió:

$$Força_{flexió} = \frac{Moment_{aplicat}}{Mòdul_{secció\_soldadura}} \quad (24) \text{ Força flexió}$$

$$Força_{flexió} = 791.6 \text{ N/mm}$$

A continuació es calcula la força tallant i de tracció:

$$Força_{tallant} = \frac{(carrega \cdot 10) \cdot \cos(Angle_{cables})}{2 \cdot Longitud_{soldadura}} \quad (25) \text{ Força tallant}$$

$$Força_{tallant} = 180.9 \text{ N/mm}$$

$$Força_{tracció} = \frac{(carrega \cdot 10) \cdot \sin(Angle_{cables})}{2 \cdot Longitud_{soldadura}} \quad (26) \text{ Força tracció}$$

$$Força_{tracció} = 180.9 \text{ N/mm}$$

Amb les tres components Força, trobem una Força resultant que serveix pel càlcul del filet:

$$Força_{resul\ tan\ t} = \sqrt{(Força_{flexió})^2 + (Força_{tallant})^2 + (Força_{tracció})^2} \quad (27) \text{ Força resultant}$$

$$Força_{resultant} = 831.9 \text{ N/mm}$$

$$Tamany_{filet\_soldadura} = \frac{Força_{resul\ tan\ t}}{Càrrega_{Permesa}} \quad (28) \text{ Tamany filet soldadura}$$

El tamany del filet de la soldadura necessari per a elevar l'autoclau és:

$$Tamany_{filet\_soldadura} = 12 \text{ mm.}$$

Tot el procediment de càlcul i fórmules, també es poden trobar a l'annex H: Aplicació informàtica pel disseny autoclau.

## B.4 Càlcul instal·lacions

L'autoclau a més a més de ser una màquina concebuda per a suportar grans pressions i elevades temperatures, consta d'altres parts de vital importància, que afecta sobretot a la part més funcional per a la qual a estat dissenyada.

Les instal·lacions que podem trobar al nostre autoclau son les següents:

- B.4.1 Instal·lació de pressió
- B.4.2 Instal·lació de buit
- B.4.3 Instal·lació de ventilació forçada
- B.4.4 Instal·lació de calefacció
- B.4.5 Instal·lació de refrigeració
- B.4.6 Instal·lació calorífuga

Només s'han realitzat els càlculs de les instal·lacions que estan integrades a l'autoclau.

## B.4.2 Instal·lació de buit

La instal·lació de buit és l'encarregada d'extreure l'aire de les peces que s'estan processant.

El nostre autoclau consta de 18 connexions per a mànegues de 20 mm de diàmetre.

Per fer més entenedor aquest apartat s'han dividit els càlculs en dos categories:

B.4.2.1 Càlcul diàmetre dels tubs

B.4.2.2 Càlcul de l'espessor dels tubs

### B.4.2.1 Càlcul diàmetre dels tubs

Els diàmetres dels tubs que formen la instal·lació de buit, s'han calculat mitjançant una simple relació d'àrees. L'àrea del tub principal es igual a la suma de les àrees de totes les connexions. Com que hi han dos tubs principals, aquests es connecten a una línia general de menor diàmetre, d'aquesta manera els tubs principals treballen com acumuladors de buit.

A la figura següent podem veure un esquema de la instal·lació de buit.

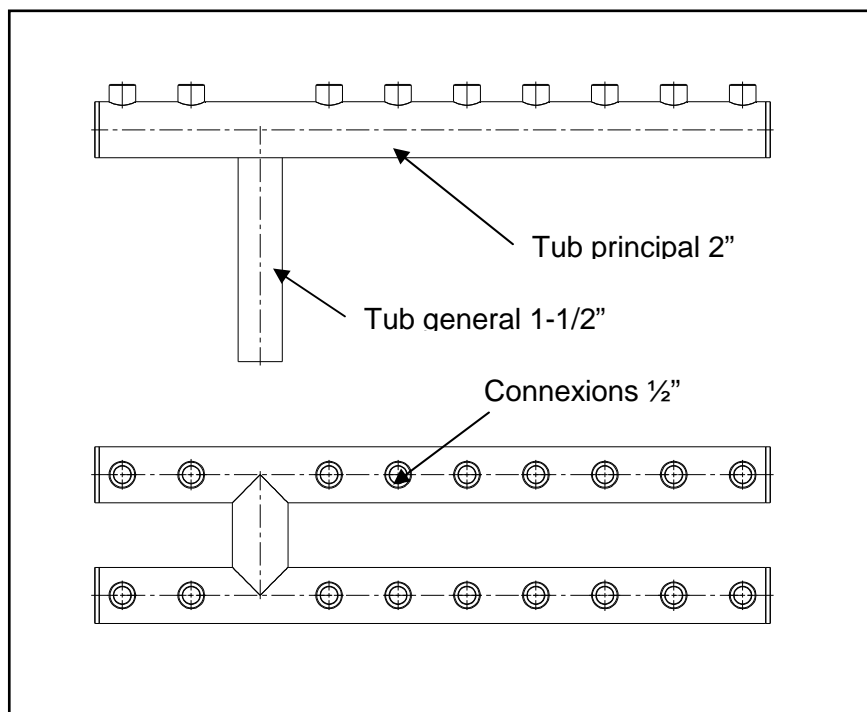


Fig. B.4.2.1.- Esquema de la instal·lació de buit, on podem apreciar les parts més importants.

### B.4.2.2 Càlcul de l'espessor dels tubs

La instal·lació de buit es troba a l'interior de l'autoclau, per la qual cosa està sotmesa a la pressió i a la temperatura. Així doncs hem de calcular l'espessor dels tubs per a que la pressió, en aquest cas externa, no afecti la seva integritat.

Utilitzarem el mètode publicat a ASME per a recipients sol·licitats a pressió externa.

Només calcularem el tub de major diàmetre ja que és el cas més desfavorable.

Les variables més importants, que hem introduït a la nostra fulla de càlcul, son les següents:

$P_{ser} = 12$  bars.

Longitud tub = 750 mm.

Pressió externa de disseny =  $1.25 * P_{ser} + 1 = 18.5$  bars = 1.85 Mpa.

Diàmetre\_exterior = 60.33 mm.

Espessor\_tub = 2.77 mm.

$T_{dis} = 300$  °C

Amb aquestes dades, calculem les dos relacions geomètriques que necessitem:

$$\frac{D_0}{t} = 21.78 \qquad \frac{L_0}{D_0} = 12.43$$

Amb aquestes relacions, i la taula, trobem el factor B, necessari per el càlcul de la pressió màxima admissible pel tub.

Factor B = 11000

Ara ja tenim totes les dades per calcular la pressió màxima admissible:

$$Pr_{essio\_max\_adm} = \left( \frac{4 \cdot Factor\_B}{3 \cdot \left( \frac{D_0}{t} \right)} \right) \cdot 0.00689476 \quad (29) \text{ Pressió externa màxima admissible}$$

La pressió externa màxima admissible pel tub és:

Pressio\_max\_adm = 4.6 Mpa

Pressio\_max\_adm = 4.6 Mpa > 1.85 Mpa = Pressió externa de disseny

Com que la pressió màxima admissible pel tub, és mes gran que la pressió externa de disseny, llavors podem confirmar que el tub és suficientment resistent.

Una vegada hem calculat l'espessor del tub col·lector, hem de calcular l'espessor de les tapes laterals, formades per dos discs del mateix diàmetre que el tub.

Dades complementaries:

$$Y_{II} = 135 \text{ Mpa.}$$

$$E = 0.85$$

$$Espessor_{\text{-tapa}} = D_0 \cdot \sqrt{\frac{0.33 \cdot P_{\text{disseny}}}{Y_{II} \cdot E}} \quad (30) \text{ Espessor de les tapes laterals del tub}$$

L'espessor necessari per a suportar la pressió externa és:

$$Espessor_{\text{-tapa}} = 5 \text{ mm}$$

### B.4.3 Instal·lació aire forçat

La instal·lació d'aire forçat és l'encarregada de fer recircular l'aire per l'interior de l'autoclau, amb l'objectiu d'aconseguir l'homogeneïtat tèrmica.

Per fer més entenedor aquest apartat s'han dividit els càlculs en tres categories:

- B.4.3.1 Càlcul Turbina
- B.4.3.2 Càlcul diàmetre del cilindre recirculació
- B.4.3.3 Càlcul accionament

#### B.4.3.1 Càlcul Turbina

S'ha escollit una turbina d'aletes invertides, ja que és l'opció recomanada pels fabricants de ventiladors.

El càlcul del cabal d'impulsió s'ha realitzat mitjançant el programa de fluids computacional: CFD Design. Els càlculs els podem trobar a l'Annex D: Disseny amb fluids computacional.

### B.4.3.2 Càlcul diàmetre del cilindre de recirculació

El diàmetre òptim del cilindre de recirculació ha estat calculat mitjançant el programa de fluids: CFD Design. Els càlculs els trobem a l'Annex D: Disseny amb fluids computacional.

Per més informació, podem consultar el plànol 1.1.4 del document nº 2: Plànols.

### B.4.3.3 Càlcul accionament

L'accionament son tots els components o elements mecànics que intervenen en la generació o transport de parell cap a la turbina des de el motor.

Podem dividir aquest apartat en tres subapartats:

B.4.3.3.1	Càlcul motor
B.4.3.3.2	Càlcul eix
B.4.3.3.3	Càlcul rodaments

#### B.4.3.3.1 Càlcul Motor

La potencia necessària per accionar la turbina, ve determinada pel fabricant de la turbina.

En el nostre cas, segons els resultats obtinguts a l'Annex D: Disseny amb fluids computacional i a l'Annex E: Informació tècnica, necessitem una turbina de 4 kW de potència. Escollim doncs, un motor de 5.5 kW, ja que als 4 kW absorbits per la turbina, hem d'afegir al voltant de 600 W, que es perden per la fricció de l'eix amb l'empaquetadura.

#### B.4.3.3.2 Càlcul eix

A continuació calculem que l'eix que hem projectat, sigui capaç de transmetre el parell, a més a més, hem de verificar que la deflexió sigui mínima. (Plànol 1.1.2.8, document nº2: Plànols.)



Fig. B.4.3.3.2.- Diagrama de cos lliure de l'eix.

A continuació descomponem l'eix en 2 components i el resollem per suposició. D'aquesta manera obtenim els diagrames de V, M i T, per a cada component. Per trobar el valor absolut només haurem de ajuntar les dues components.

Valors de les variables representades a la figura 4.3.3.2 :

$$F_t = 1000 \text{ N} \quad M_r = M_m = 54.2 \text{ N}\cdot\text{m} \rightarrow \text{Suposem que l'eix suporta tot el parell}$$

$$R_1 = 5166.66 \text{ N}$$

$$R_2 = 4166.66 \text{ N}$$

Valors dels esforços màxims trobats resolent els diagrames de tallants, moments i torçors:

$$M = 325 \text{ N}\cdot\text{m} \quad i \quad T = 54.2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

### Càlcul de resistència a fatiga

Un cop hem calculat totes les forces que actuen sobre l'eix, realitzarem el càlcul de tensions en el punt més desfavorable, per determinar-ne un factor de seguretat. El punt ha estudiar és a prop del punt R1, que té un diàmetre de 50 mm.

Primer, calcularem els moments i els torçors alterns i mitjos:

$$M_{MAX} = 325000 \text{ Nmm}$$

$$T_{MAX} = 54200 \text{ Nmm}$$

$$M_{MIN} = -325000 \text{ Nmm}$$

$$T_{MIN} = 54200 \text{ Nmm}$$

$$M_M = \frac{M_{MAX} + M_{MIN}}{2} = 0 \text{ Nmm}$$

$$T_M = \frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2} = 54200 \text{ Nmm}$$

$$M_A = \frac{M_{MAX} - M_{MIN}}{2} = 325000 \text{ Nmm}$$

$$T_A = \frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{2} = 0 \text{ Nmm}$$

Construïm l'eix amb acer 1C45 amb un procés de mecanitzat. Les propietats mecàniques de l'acer son les següents:

$$S_{UT} = 575 \text{ Mpa}$$

$$S_Y = 308 \text{ Mpa}$$



Un cop obtinguts, passem al càlcul de la resistència a fatiga:

$$S_E = 0.4 * S_{UT} = 230 \text{ Mpa}$$

$$K_A = 4.51 * S_{UT}^{-0.265} = 0.787$$

$$K_B = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.1133} = 0.975 \rightarrow \text{rotativa}$$

$$K_B = 1 \rightarrow \text{alternativa}$$

$$K_c = 1 = K_D$$

$$S_E = 290 * (0.787 * 0.975) = 176.5 \text{ Mpa}$$

Una vegada hem calculat el límit elàstic hem de determinar el factor de concentració de tensions Kf per a moments.

$$\left. \begin{array}{l} D/d = 1.2 \\ r/d = 0.04 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} q = 0.8 \\ K_t = 2 \end{array} \right\} \quad K_f = 1.8$$

Ara ja disposem de totes les dades per a calcular el coeficient de seguretat del nostre eix :

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{\pi \cdot d^3} \cdot \sqrt{\left( \frac{M_M}{S_y} + \frac{K_f \cdot M_A}{S_e} \right)^2 + \left( \frac{T_M}{S_y} + \frac{K_f \cdot T_A}{S_e} \right)^2} \quad (31) \text{ Càlcul resistència a fatiga}$$

Substituint els valors a la formula, obtenim un coeficient de seguretat:

$$N = 3.7$$

### Càlcul de la deflexió

Per a simplificar els càlculs, suposem que es tracta d'una biga encastada.

Dades complementaries:

$$E = 208000 \text{ Mpa}$$

$$I = 207319 \text{ mm}^4$$

$$\text{Deflexió} = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (32) \text{ Càlcul de la deflexió d'una biga encastada}$$

$$\text{Deflexió} = 0.26 \text{ mm}$$

La deflexió es petita, no afectarà el gir de l'eix.

### B.4.3.3.3 Càlcul rodaments

A continuació es detallen els càlculs dels rodaments de l'eix. Els valors de les càrregues provenen del DCL de l'apartat anterior i només calculem el rodament més carregat.

Dades del Rodament: 6310

$C_d = 62 \text{ KN}$

$C_o = 38 \text{ KN}$

$P = R_1 = 5166 \text{ N}$

Amb les fórmules publicades al catàleg de FAG, calculem la vida útil dels rodaments.

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 \rightarrow P_o = 0$$

(33) Càlcul vida del rodament en cicles

$$L_{10} = \left( \frac{C_d}{P} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_{10} = 1.7 \cdot 10^9 \text{ Cicles}$$

Tenint en compte que aquests rodaments giren a una velocitat constant de 1000 rpm, podem calcular la vida en hores dels rodaments.

$$L_h = 28811 \text{ hores}$$

## B.4.4 Instal·lació de calefacció

La instal·lació de calefacció del nostre autoclau es basa en la utilització de resistències elèctriques.

Hem determinat la potència necessària per elevar la temperatura del autoclau, als 250 °C, gràcies al programa de fluids computacional CFD Design i als valors típics de construcció donades pels fabricants.

Pel disseny de la resistència hem fixat el paràmetre *flux de calor* en 3 W/cm<sup>2</sup>, i el número de resistències elèctriques en 8. Jugant amb els paràmetres geomètrics i aquests valors hem obtingut un disseny únic per la nostra aplicació en concret, amb una potència calefactora total de 5000 W per cada resistència.

## B.4.5 Instal·lació de refrigeració

La instal·lació de refrigeració té la missió de refrigerar l'autoclau una vegada el procés de curat ja ha finalitzat.

Donada la manca de productes al mercat capaç de satisfer les nostres necessitats, hem decidit de construir el nostre propi intercanviador.

Pel disseny del intercanviador hem hagut de variar una mica el mètode general de càlcul d'intercanviadors, ja que un bon disseny d'intercanviador és aquell que utilitza les parets entre fluids el més primes possibles. El nostre disseny està limitat degut a les exigències a les quals està sotmès el nostre intercanviador a l'interior de l'autoclau.

### B.4.4.1 Càlcul diàmetre dels tubs

Els diàmetres dels tubs que formen l'intercanviador, s'han calculat mitjançant una simple relació d'àrees. L'àrea del tub principal es igual a la suma de les àrees de tots els tubs de menor diàmetre. El nombre de tubs i aletes s'ha calculat tenint en compte la resistència que ofereixen al pas del flux de l'aire.

A la figura següent podem veure un esquema de la instal·lació de refrigeració.

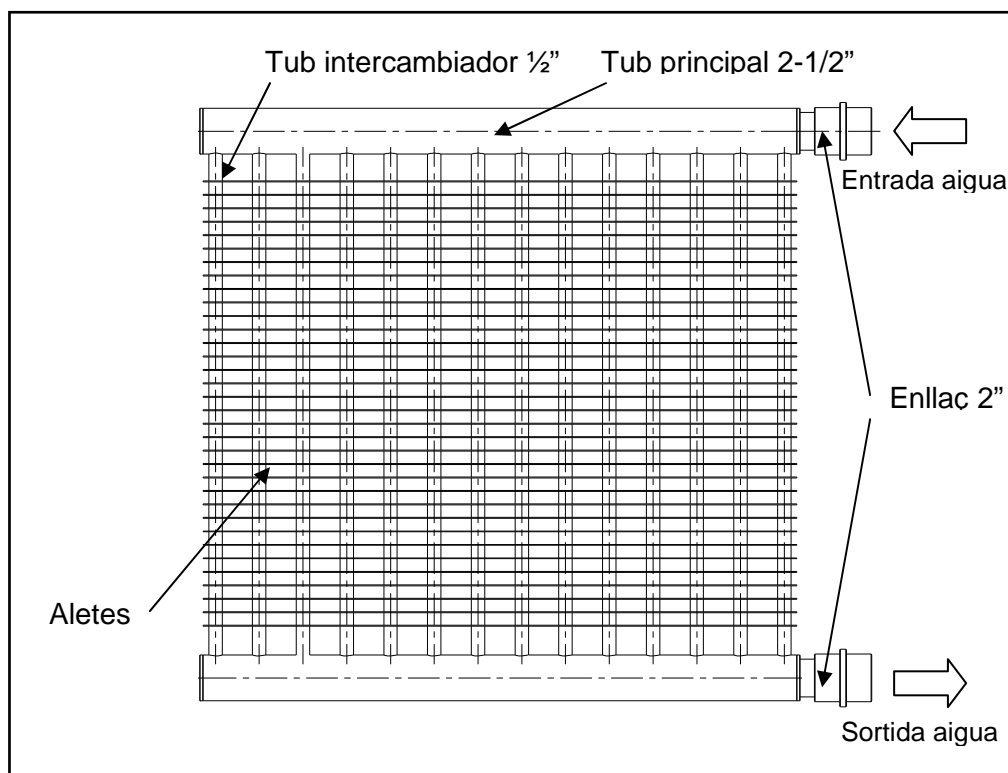


Fig. B.4.4.1.- Esquema de la instal·lació de refrigeració, on podem apreciar les parts més importants.

### B.4.4.2 Càlcul espessor dels tubs

L'intercanviador es troba a l'interior del autoclau, per la qual cosa està sotmès a la pressió i a la temperatura. Així doncs hem de calcular l'espessor dels tubs per a que la pressió, en aquest cas externa, no afecti la seva integritat.

Utilitzarem el mètode publicat a ASME per a recipients sol·licitats a pressió externa.

En el cas de l'intercanviador, no només calcularem el tub de major diàmetre, que és el cas més desfavorable, també calcularem els altres per determinar els espessors mínims necessaris per afavorir la transferència d'energia.

Dades tub col·lector:

Longitud tub = 950 mm

Pressió de disseny =  $1.25 \cdot P_{ser} = 17.5 \text{ bars} = 1.75 \text{ Mpa}$

Diàmetre\_exterior = 73.03 mm

Espessor\_tub = 2.11 mm

Temperatura de disseny = 300 °C

Amb aquestes dades calculem les dos relacions geomètriques que necessitem:

$$\frac{D_0}{t} = 34.6 \qquad \frac{L_0}{D_0} = 13.04$$

Amb aquestes relacions, i la taula, trobem el factor B, necessari per el càlcul de la pressió màxima admissible pel tub.

Factor B = 9000

Ara ja tenim totes les dades per calcular la pressió màxima admissible:

$$Pr essio_{\max\_adm} = \left( \frac{4 \cdot Factor\_B}{3 \cdot \left( \frac{D_0}{t} \right)} \right) \cdot 0.00689476 \quad (34) \text{ Pressió externa màxima admissible}$$

Pressio\_max\_adm = 2.39 Mpa > 1.75 Mpa, el tub es suficientment resistent.

Una vegada hem calculat l'espessor del tub col·lector, hem de calcular l'espessor de les tapes laterals, formades per dos discs del mateix diàmetre que el tub.

Dades complementaries:

$$Y_{II} = 135 \text{ Mpa}$$

$$E = 0.85$$

$$Espessor_{tapa} = D_0 \cdot \sqrt{\frac{0.33 \cdot P_{disseny}}{Y_{II} \cdot E}} \quad (35) \text{ Espessor de les tapes laterals del tub}$$

L'espessor necessari per a suportar la pressió externa és:

$$Espessor_{tapa} = 5 \text{ mm}$$

### Tubs intercanviadors

Dades tub intercanviador:

$$\text{Longitud tub} = 950 \text{ mm}$$

$$\text{Pressió de disseny} = 1.25 \cdot P_{ser} = 17.5 \text{ bars} = 1.75 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diàmetre}_{exterior} = 21.34 \text{ mm}$$

$$\text{Espessor}_{tub} = 1.2 \text{ mm}$$

$$\text{Temperatura de disseny} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

Amb aquestes dades calculem les dos relacions geomètriques que necessitem:

$$\frac{D_0}{t} = 44.5 \quad \frac{L_0}{D_0} = 17.78$$

Amb aquestes relacions, i la taula, trobem el factor B, necessari per el càlcul de la pressió màxima admissible pel tub.

$$\text{Factor B} = 7000$$

Ara ja tenim totes les dades per calcular la pressió màxima admissible:

$$Pressio\_max\_adm = \left( \frac{4 \cdot Factor\_B}{3 \cdot \left( \frac{D_0}{t} \right)} \right) \cdot 0.00689476 \quad (36) \text{ Pressió externa màxima admissible}$$

Pressio\_max\_adm = 3.6 Mpa > 1.75 Mpa, el tub es suficientment resistent.

En aquest cas no podem utilitzar un espessor de tub més prim, ja que durant el procés de fabricació s'han de soldar les aletes de xapa als tubs i amb un espessor tan prim podríem arribar a tenir problemes de deformació excessiva i de manca de material.

#### B.4.6 Instal·lació calorífuga

L'espessor del material calorífug s'ha calculat amb el programa de càlcul del fabricant ISOVER, i posteriorment verificat amb el programa de fluids computacional CFD Design.

Dades del material calorífug:

Densitat = 100 kg/m<sup>3</sup>

Conductivitat tèrmica = 0.05 W/ m·K

Temperatura interior = 250 °C

Temperatura exterior = 35 °C

Recobrimet metàl·lic = xapa d'acer inoxidable de 1 mm d'espessor.

Amb aquestes dades, el programa subministrat pel fabricant ens dona un espessor de calorífug.

Espessor d'aïllant tèrmic o calorífug = 100 mm

## **ANNEX C: Simulació amb elements finits**

### **C.1 Introducció**

A continuació es presenten els anàlisis realitzats amb el programa informàtic d'elements finits, *Ansys v.10.0*, pel càlcul estructural d'elements complexes. Les geometries analitzades han estat les següents:

- C.1.1 Corona dentada
- C.1.2 Anell dentat i cap
- C.1.3 Suport autoclau
- C.1.4 Braç comporta
- C.1.5 Frontissa
- C.1.6 Vinclament cilindre de recirculació

### **C.1 Procediment d'anàlisi**

Per tal d'obtenir resultats en el programa d'elements finits, s'han efectuat algunes simplificacions i suposicions necessàries per fer viable l'ús d'aquest mètode de càlcul. Tot i que el procediment d'anàlisi ha estat el correcte. Els passos seguits queden descrits en els següents apartats.

#### **C.1.1 Corona dentada**

La corona dentada és un element soldat al casc cilíndric de l'autoclau, que encaixa perfectament amb un altre dentat situat a la comporta, i que té com a missió assegurar un bon tancament durant el procés de curat.

Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.7.1 del document nº 2: Plànols.

A la figura C.1.1 podem veure  $\frac{1}{4}$  de la peça dibuixada directament amb el programa.

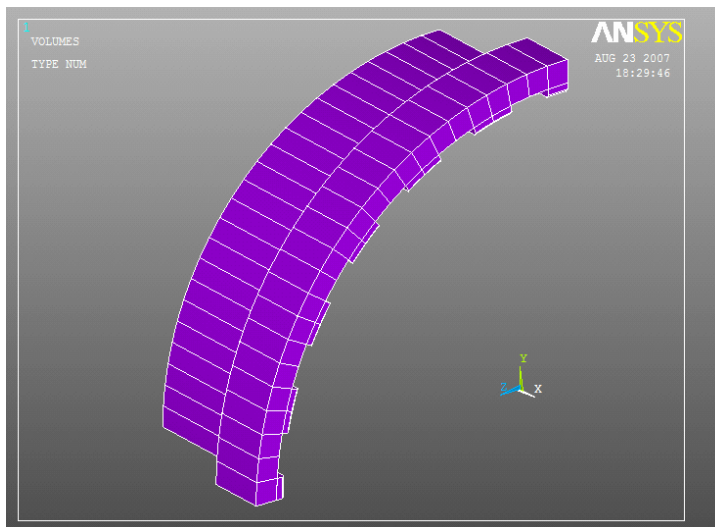


Fig. C.1.1.- Geometria dibuixada amb Ansys.

### C.1.1.1 Variables

Les variables son totes aquelles dades que hem d'introduir, per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb volum, només hem hagut de donar informació sobre el tipus de material.

La peça està construïda amb acer de màquines 1C25 laminat en fred:

$$\begin{array}{lll}
 S_{UT} = 469 \text{ Mpa} & E = 208000 \text{ Mpa} & Dens_{mat} = 7870 \text{ kg / m}^3 \\
 S_Y = 393 \text{ Mpa} & N_u = 0.3 & 
 \end{array}$$

### C.1.1.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria amb hexaedres de tamany 10, utilitzant elements sòlid 45 per mallar la geometria. No cal aplicar atributs a la malla ja que es tracta d'un sòlid.

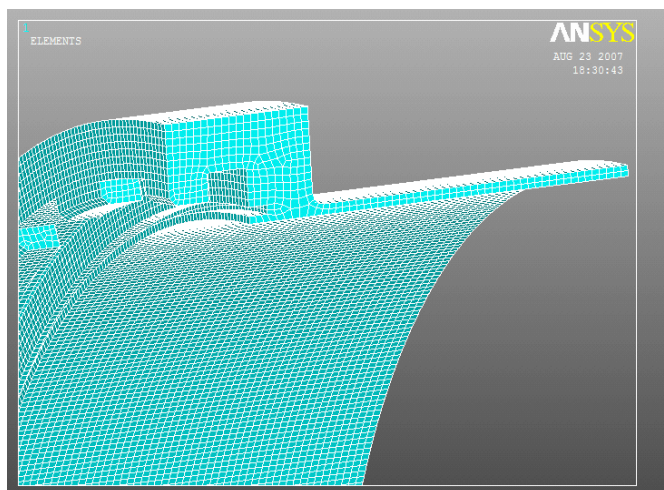


Fig. C.1.1.2.- Mallat amb Ansys.



### C.1.1.4 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

Per simplificar els càlculs hem aplicat simetria en tots dos eixos, d'aquesta manera simplifiquem notablement el temps de càlcul. Per últim hem restringit l'eix X per a que la peça es comporti tal i com la hem dissenyat.

La corona dentada bàsicament suporta, la força exercida per la pressió de l'interior del autoclau i la pressió de reacció sobre les dents, que fa la comporta en condicions de servei. Les pressions exercides son:

$$P_{diseny} = 1.4 \text{ Mpa}$$

$$P_{dent} = 54 \text{ Mpa}$$

$$P_{prova} = 2.7 \text{ Mpa}$$

$$P_{prova} = 106 \text{ Mpa}$$

Utilitzarem les dades de prova hidràulica

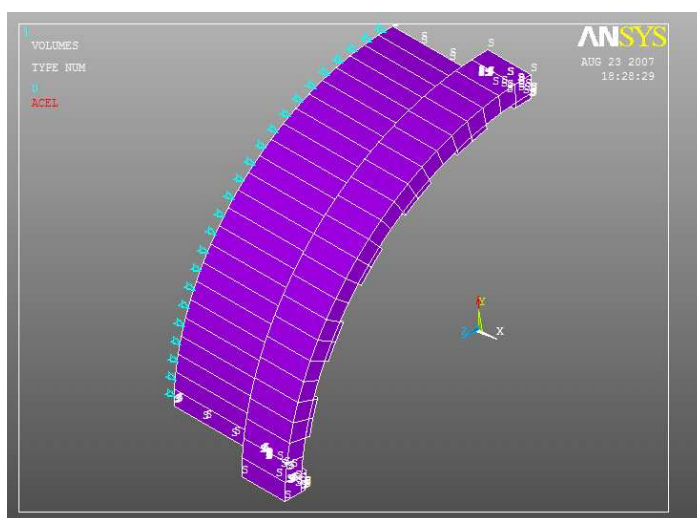


Fig. C.1.1.4.a.- Condicions de contorn, restriccions.

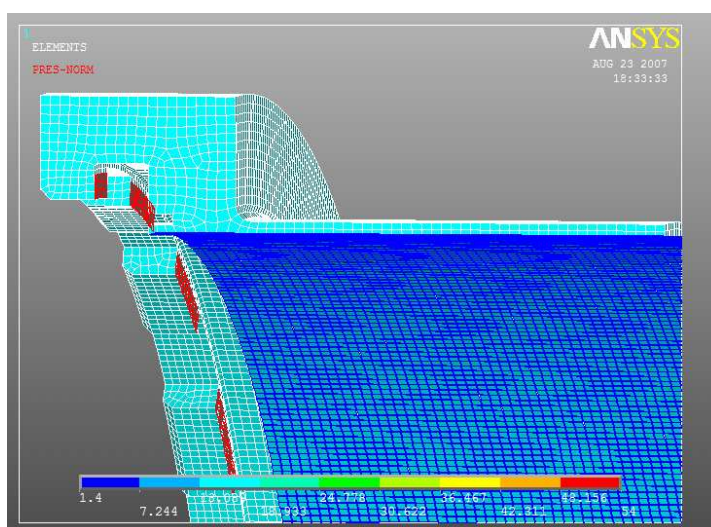


Fig. C.1.1.4.b.- Condicions de contorn, càrregues.

### C.1.1.5 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l'anàlisi en el programa d'elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.1.6 Resultats

Els resultats ens mostra que el punt més desfavorable es troba al canvi de secció entre la dent i l'anell. Tot i així la tensió és inferior a la tensió de fluència del material, però hem decidit sobre dimensionar la peça per a tenir deformacions mínimes, per poder assegurar un bon tancament en les condicions més extremes, com ara la prova hidràulica.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 304\text{ Mpa}$$

$$\delta_{max.} = 1.271\text{ mm}$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$C_{seguretat} = 1.3$$

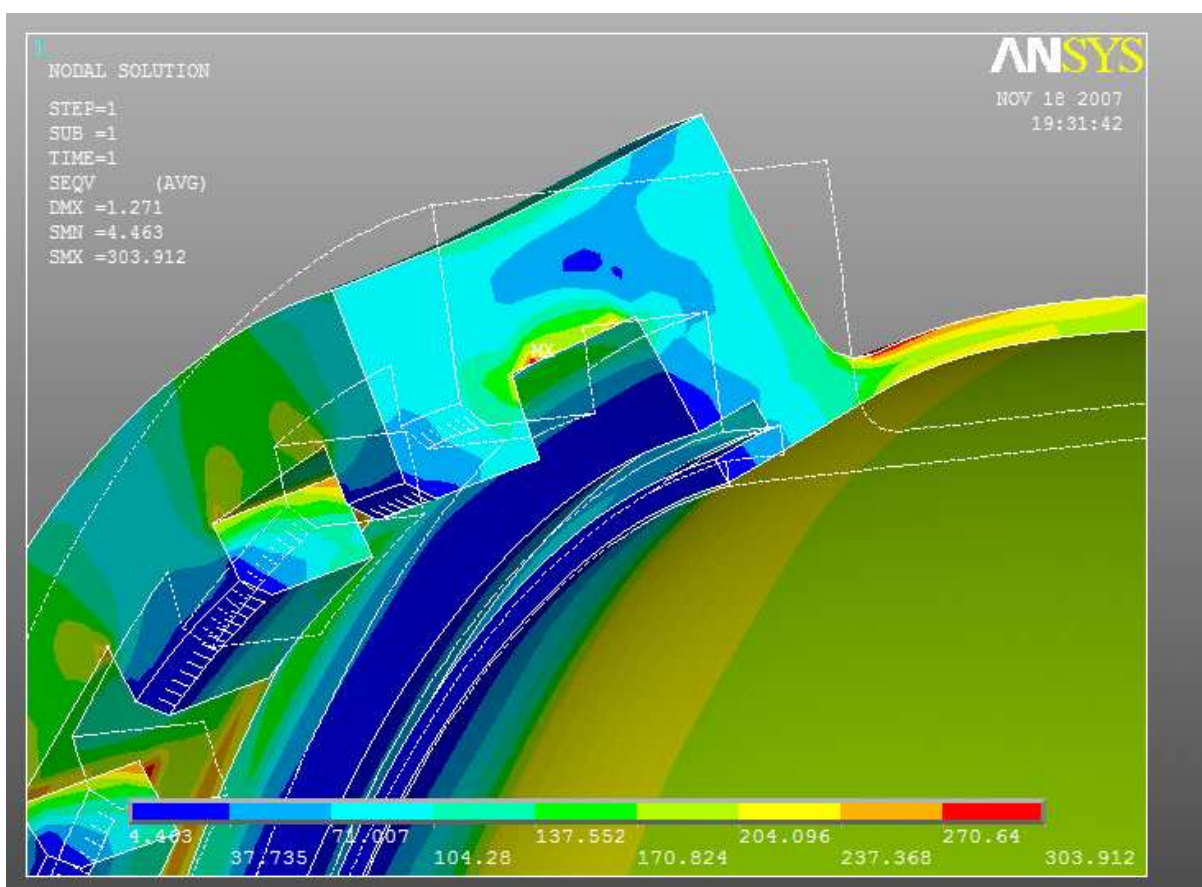


Fig. C.1.1.6.a.- Deformació exagerada.

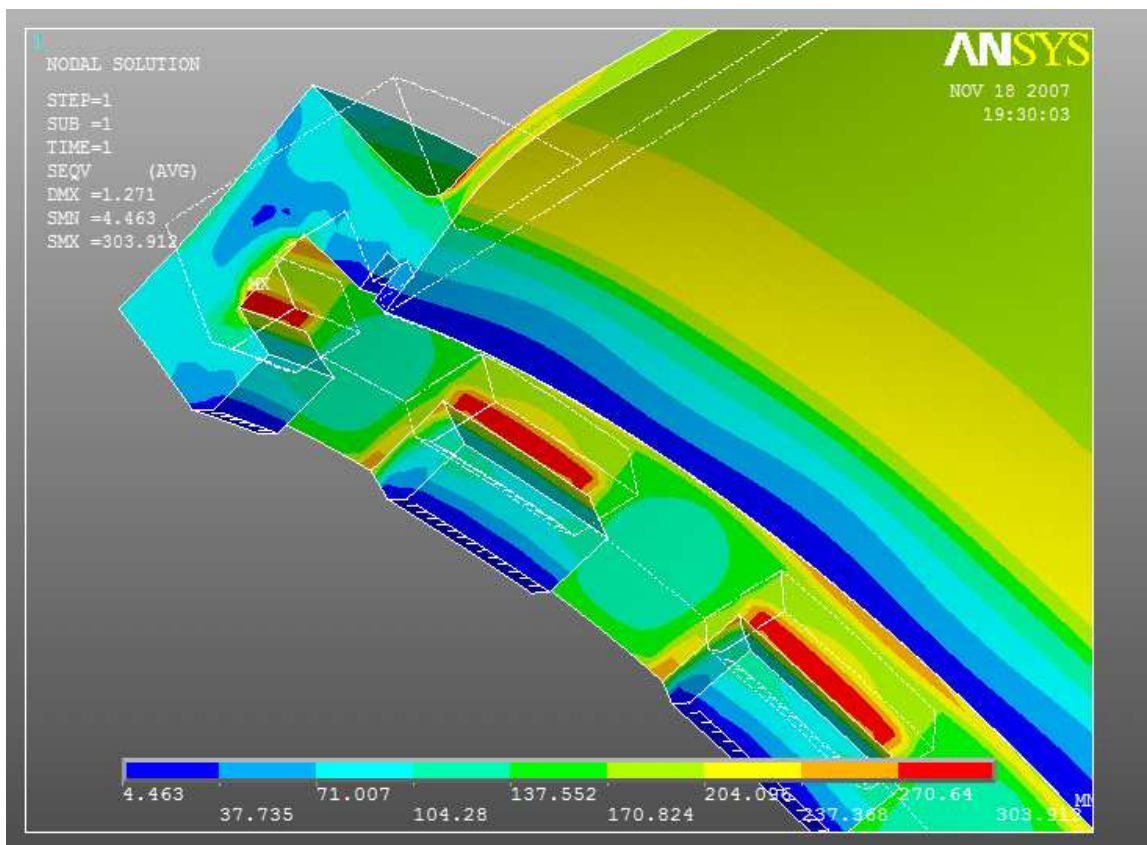


Fig. C.1.1.6.b.- Punt de tensió màxima.

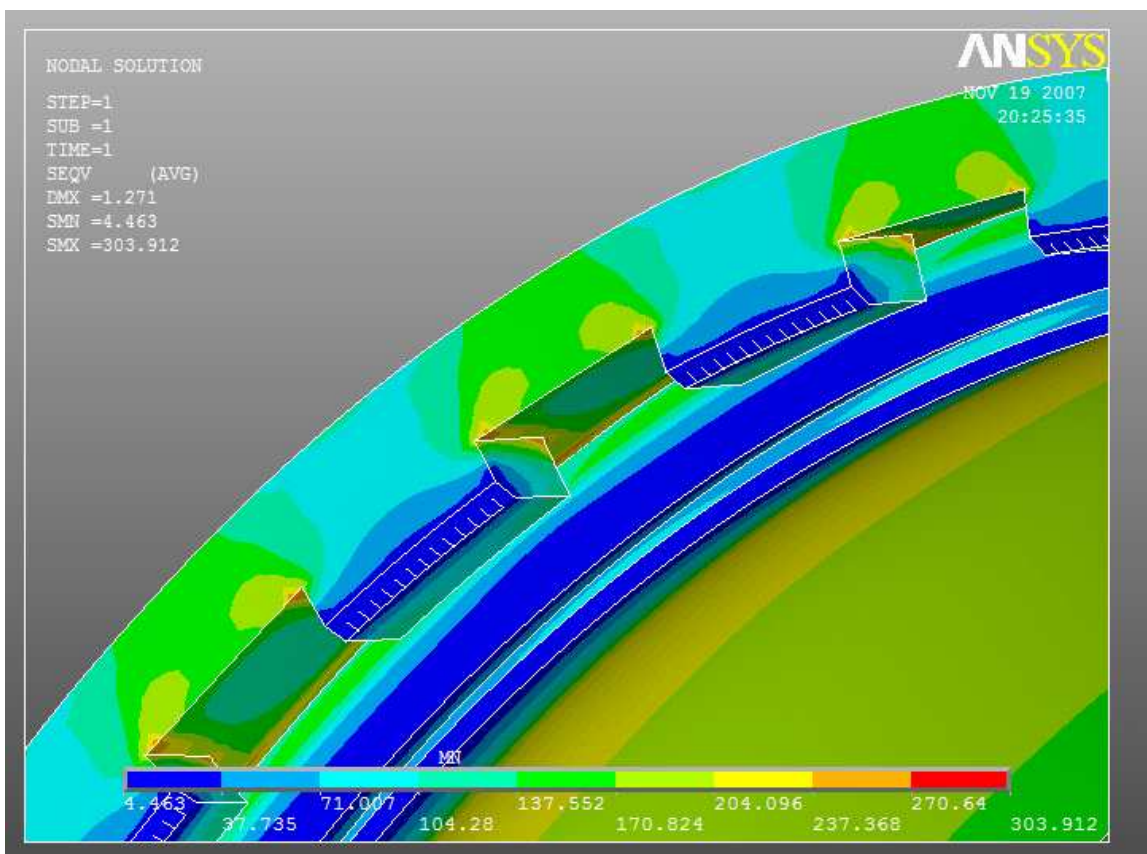


Fig. C.1.1.6.c.- Distribució de tensions a la part frontal de les dents.

## C.1.2 Anell dentat i cap

L'anell dentat és la peça que engrana amb l'anell dentat de l'apartat anterior. És un element soldat al cap torisfèric que està muntat, a la vegada, sobre la comporta de l'autoclau. El dentat de la corona encaixa perfectament amb l'altre dentat, i en girar 7.5°C, els dentats coincideixen, i d'aquesta manera s'assegura el tancament. Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.7.2 del document nº 2: Plànols.

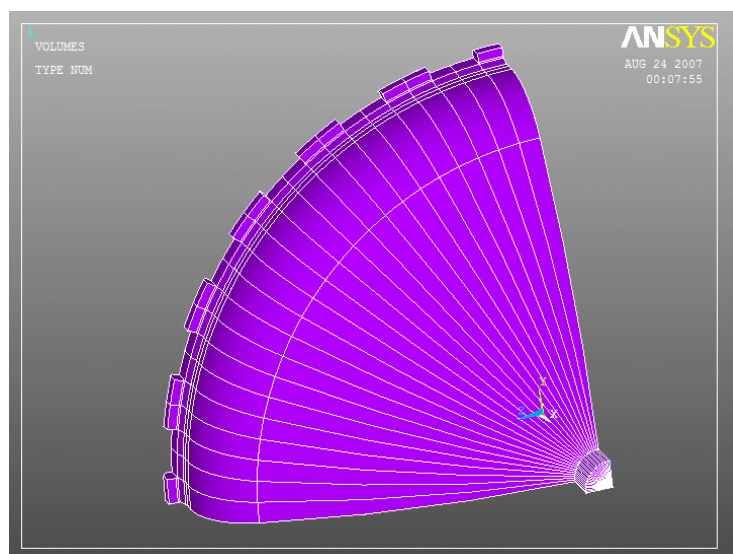


Fig. C.1.2.- Geometria dibuixada amb Ansys.

### C.1.2.1 Variables

Les variables son totes aquelles dades que hem d'introduir per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb volum, només hem hagut de donar informació sobre el tipus de material.

La peça està construïda amb dos tipus d'acer:

Acer de màquines 1C65 trempat i revingut a 430° C:

$$\begin{array}{lll}
 S_{UT} = 1076 \text{ Mpa} & E = 208000 \text{ Mpa} & Dens_{mat} = 7870 \text{ kg/m}^3 \\
 S_Y = 765 \text{ Mpa} & N_u = 0.3 &
 \end{array}$$

Acer laminat per a elements a pressió P355GH :

$$\begin{array}{l}
 S_{UT} = 580 \text{ Mpa} \\
 S_Y = 345 \text{ Mpa}
 \end{array}$$

### C.1.2.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria de la corona dentada amb hexaedres de tamany 12, i el cap amb tetraedres del mateix tamany. En aquest cas hem utilitzat elements *sòlid 95* per mallar la geometria amb més precisió. No cal aplicar atributs a la malla ja que es tracta d'un sòlid.

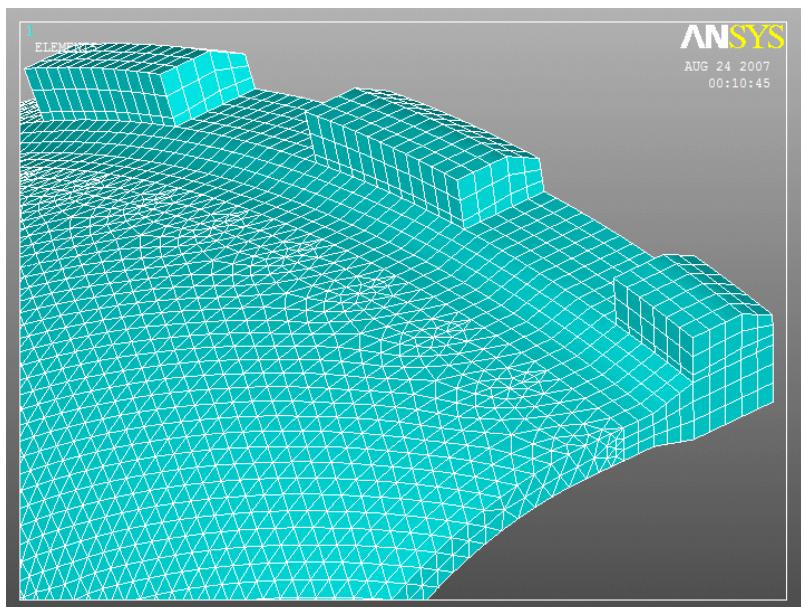


Fig. C.1.2.2.- Doble mallat amb Ansys.

### C.1.2.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

Per simplificar els càlculs hem aplicat simetria en tots dos eixos, d'aquesta manera simplifiquem notablement els càlculs. Hem restringit l'eix X a la zona de contacte de les dents, simulant la reacció de les dents en contactar amb les altres, quan està en posició de tancament.

També hem de restringir el rodó per a que es comporti com el suport del cap. Per fer-ho restringim la secció de l'eix en Y i en Z i li donem llibertat en X, ja que es tal i com es comporta en la realitat.

El cap bàsicament suporta la força exercida per la pressió de l'interior del autoclau, i l'anell dentat, la pressió de reacció sobre les dents que fa la comporta en condicions de servei. En aquest cas la pressió sobre les dents no s'aplica directament, sinó que apareixen com a reacció.

Les pressions exercides son:

$$P_{disseny} = 1.4Mpa$$

$$P_{prova} = 2.7Mpa$$

Utilitzarem les dades de prova hidràulica

A les següents imatges podem veure les condicions de contorn aplicades a la nostra peça.

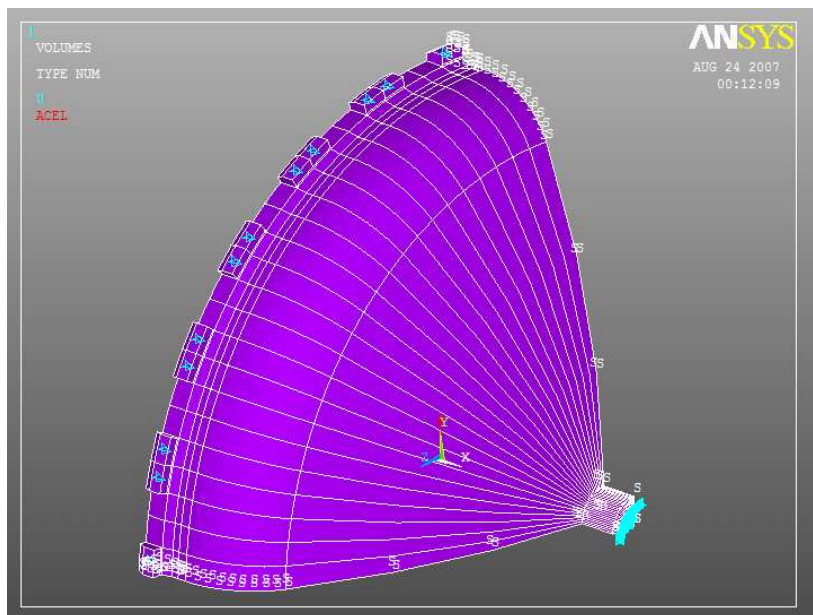


Fig. C.1.2.3.a.- Condicions de contorn, restriccions.

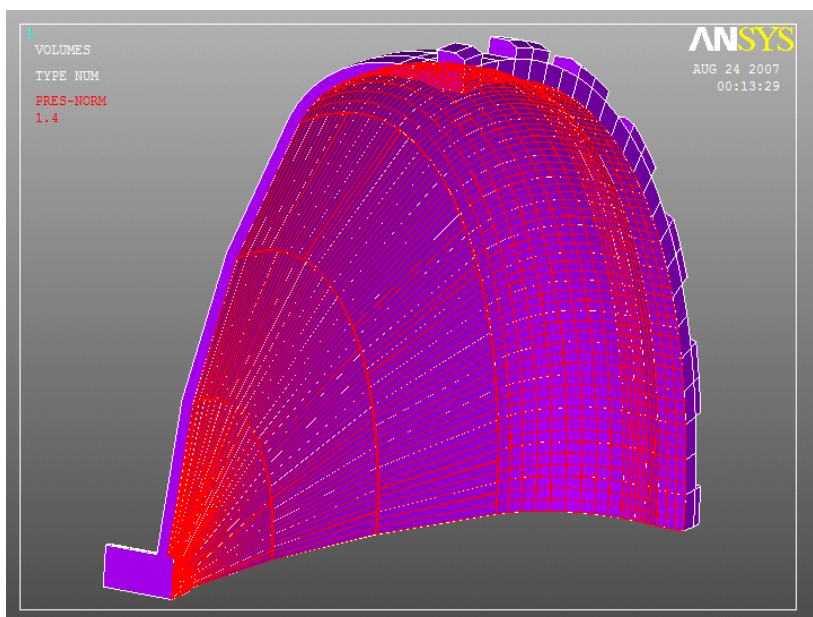


Fig. C.1.2.3.b.- Condicions de contorn, càrregues.

#### C.1.2.4 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l'anàlisi en el programa d'elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.2.5 Resultats

Els resultats ens mostra, que el punt més desfavorable es troba entre els canvis de secció entre les cares de la dent i l'anell de la corona. Tot i així la tensió és inferior a la tensió de fluència del material, però el resultat es molt ajustat i no dona cap marge de seguretat. L'explicació de que hagi aparegut aquest pic és degut a la concentració de tensions que apareixen en els canvis de secció i a que el model s'ha simplificat tant que no apareixen els radis de concordança, inevitables en operacions de fresat.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 682\text{ Mpa}$$

$$\delta_{max.} = 3.27\text{ mm}$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$C_{seguretat} = 1.12$$

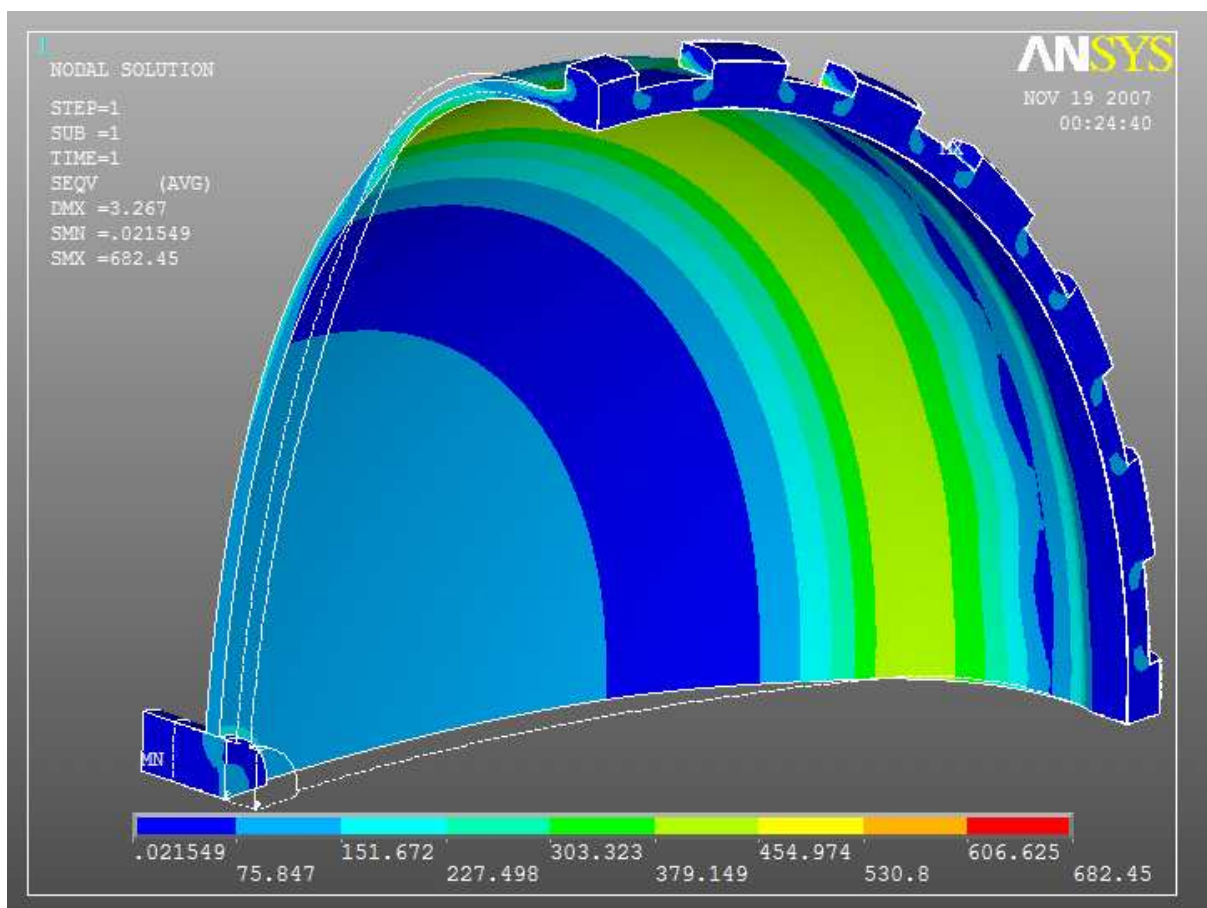


Fig. C.1.2.5.a.- Deformació exagerada.

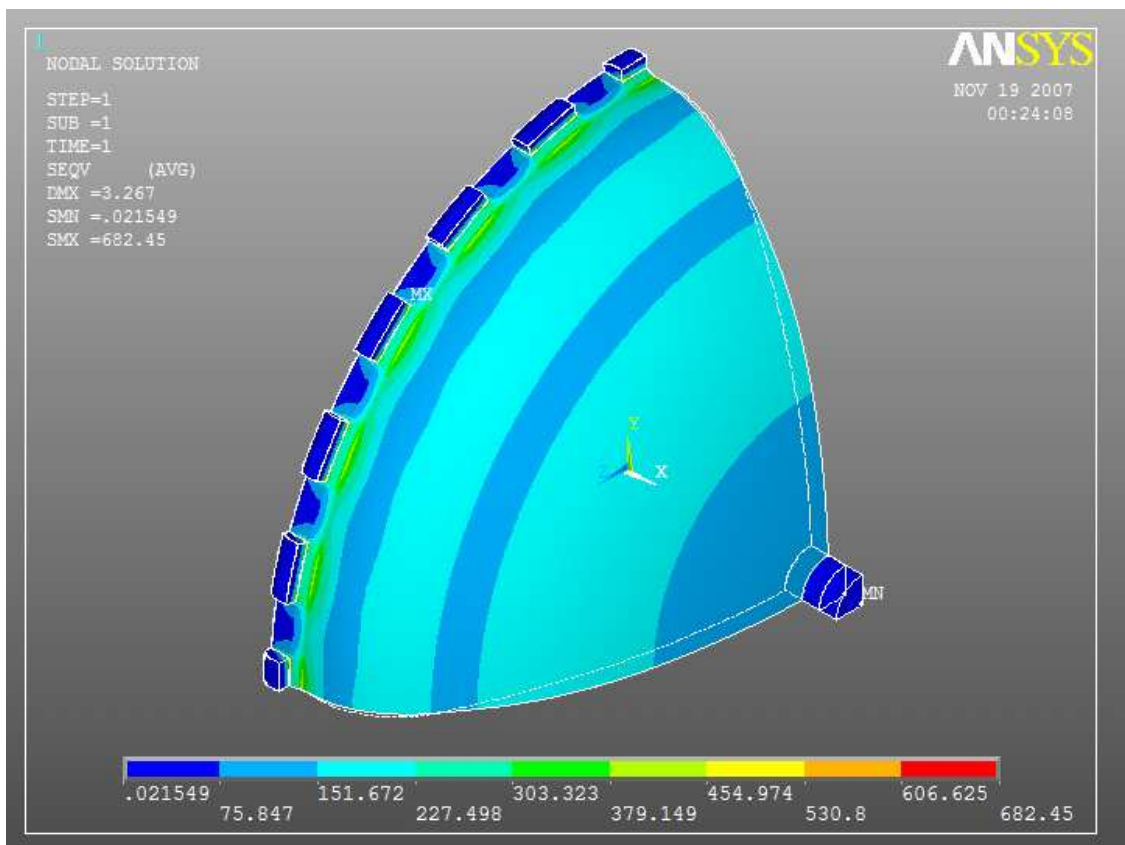


Fig. C.1.2.5.b.- Deformació exagerada.

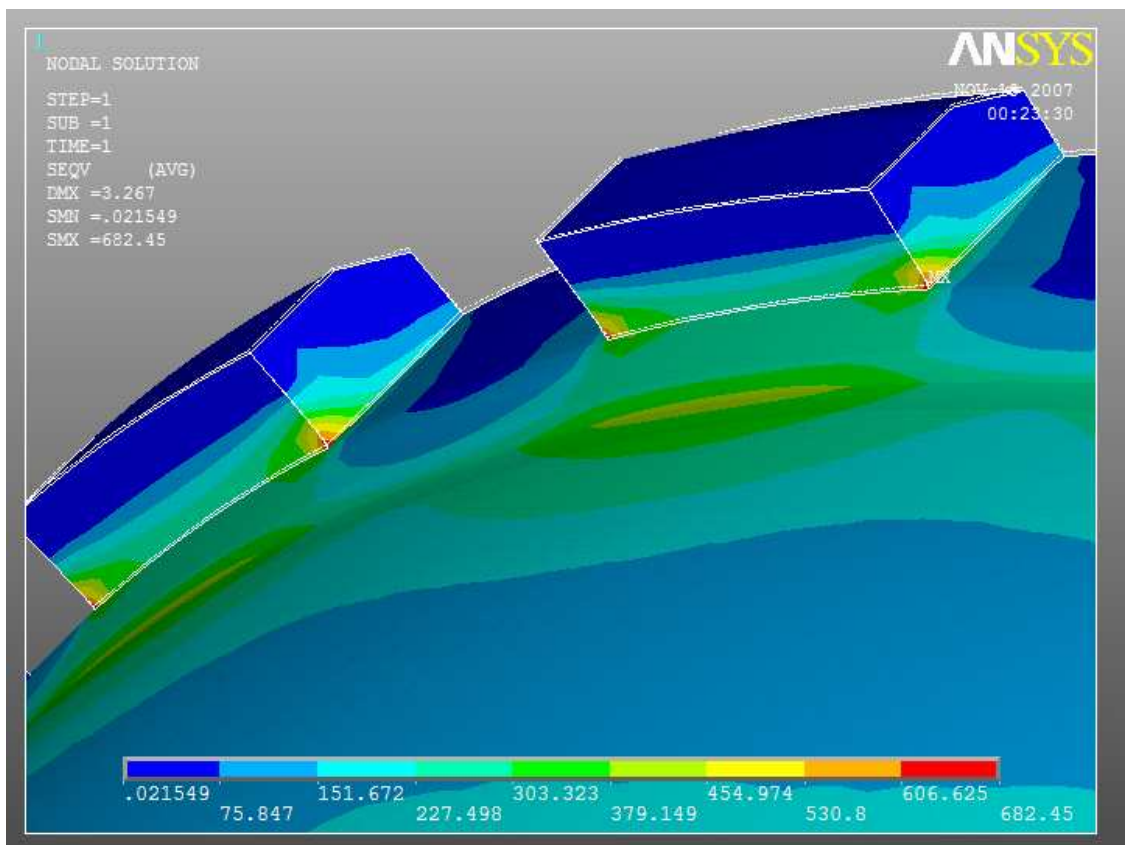


Fig. C.1.2.5.c.- Punt de tensió màxima.



### C.1.3 Suport autoclau

En aquest apartat analitzarem com es comporta el suport de l'autoclau en condicions de servei. Per a obtenir un model més realista, hem dibuixat una secció del autoclau i hem considerat que el suport està integrat en aquesta secció. Aquesta vegada la geometria ha estat dibuixada directament amb l'Ansys.

Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.12 del document nº 2: Plànols.

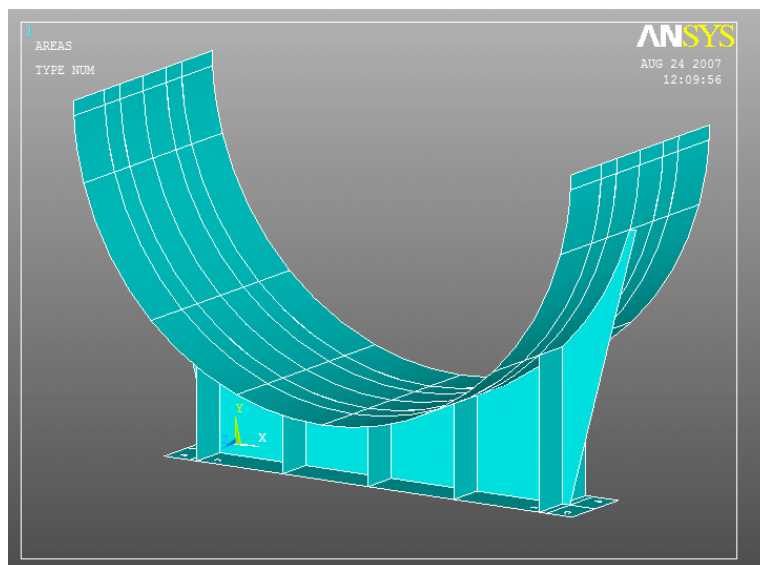


Fig. C.1.3.- Geometria del suport amb Ansys.

#### C.1.3.1 Variables

Les variables són totes aquelles dades que hem d'introduir per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb superfícies, hem hagut de donar informació sobre els espessors utilitzats.

La peça està construïda amb un sol tipus d'acer:

Acer laminat per a elements a pressió P355GH :

$$\begin{array}{lll}
 S_{UT} = 580 \text{ Mpa} & E = 208000 \text{ Mpa} & Dens_{mat} = 7870 \text{ kg / m}^3 \\
 S_Y = 345 \text{ Mpa} & S_{YT} = 232 \text{ Mpa} & N_u = 0.3
 \end{array}$$

Espessors utilitzats:

Cos cilíndric i placa inferior = 14 mm

Ànima i rigiditzadors = 4 mm

Placa de desgast + casc = 24 mm

### C.1.3.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria de l'autoclau dividint les línies més llargues amb 34 divisions i les més petites amb 8 divisions, i per a les geometries més complexes hem mallat amb quadrilàters de tamany 16. En aquest cas hem utilitzat elements *shell 63* per mallar la geometria, ja que el suport està dissenyat íntegrament amb xapa d'acer i podem analitzar el nostre model com si fos un element placa.

Cal aplicar espessors a la malla ja que es tracta d'una superfície.

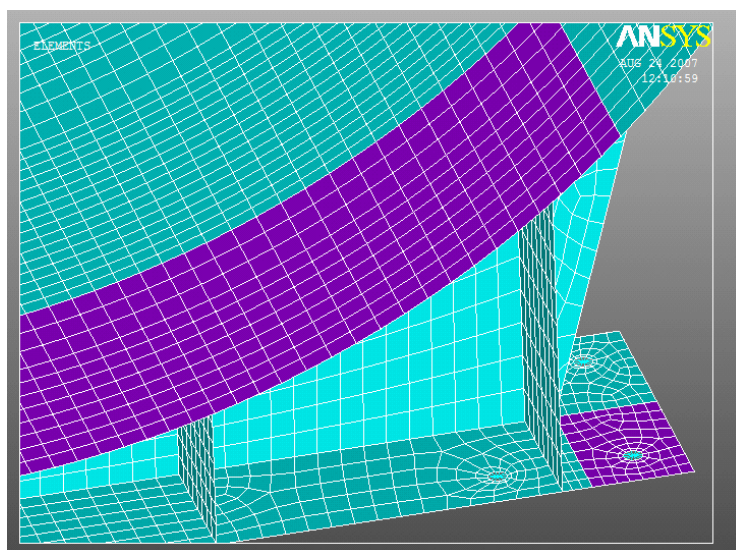


Fig. C.1.3.2.- Mallat amb Ansys.

### C.1.3.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

El suport té una funció purament de sustentació, com si es tractés d'una biga, i així s'ha dissenyat. Degut a que pel bon funcionament de la màquina, és important un bon anivellament abans de la posta en marxa, hem dissenyat el suport com si només es recolza a sobre de cargols, que haurien d'estar situats als forats de la placa inferior.

Així, doncs, hem dibuixat manualment elements *beam 4*, amb molta inèrcia, des de els nodes dels forats cap a un node situat al seus centres. I hem restringit aquests nodes en totes direccions.

Per acabar de restringir bé el nostre model, hem aplicat una simetria a les dues arestes superiors i per simular continuïtat dintre de la secció, hem restringit les arestes circulars exteriors en Z.

L'autoclau, bàsicament, suporta, la força exercida per la pressió de l'interior, les reaccions que apareixen als cargols, la massa de l'autoclau i la possible aparició de forces longitudinals.

Les pressions exercides son:

$$P_{disseny} = 1.4Mpa$$

$$F_{pes + aigua} = 80000N$$

$$F_{normal} = 30000 N$$

$$P_{prova} = 2.7Mpa$$

Utilitzarem les dades de prova hidràulica.

A les següents imatges podem veure les condicions de contorn aplicades a la nostra peça.

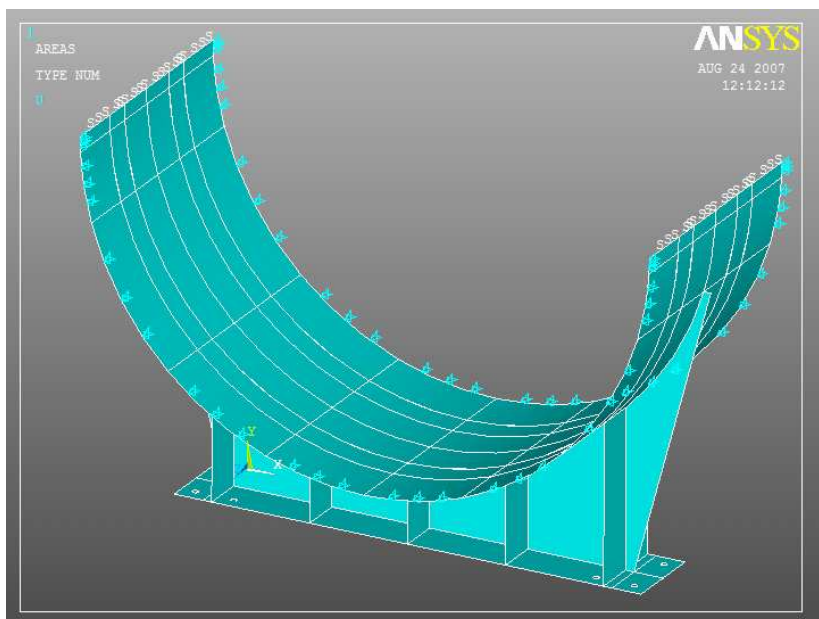


Fig. C.1.3.3.a.- Condicions de contorn, restriccions.

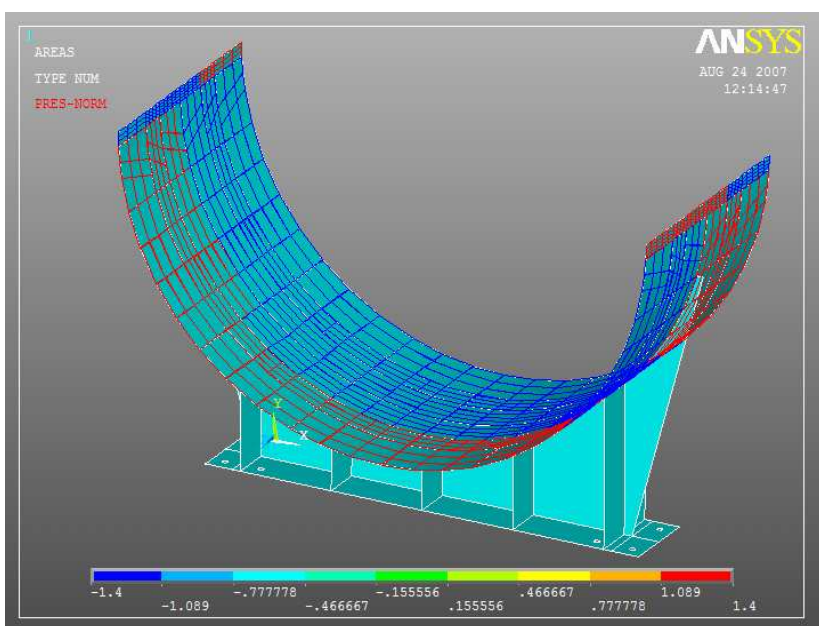


Fig. C.1.3.3.b.- Condicions de contorn, càrregues.

### C.1.3.4 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l'anàlisi en el programa d'elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.3.5 Resultats

Els resultats ens mostra, que el punt més desfavorable es troba a la vora dels forats. És un resultat previsible, donat que la massa de l'autoclau la recolzem sobre una petita area. Tot i així la tensió és inferior a la tensió de fluència del material. Però es important sobre dimensionar el suport, ja que és l'element que rep més impactes durant els diferents processos de fabricació i durant les operacions de trasllat finals.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 199.4\ Mpa$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$\delta_{max.} = 1.54\ mm$$

$$C_{seguretat} = 1.16$$

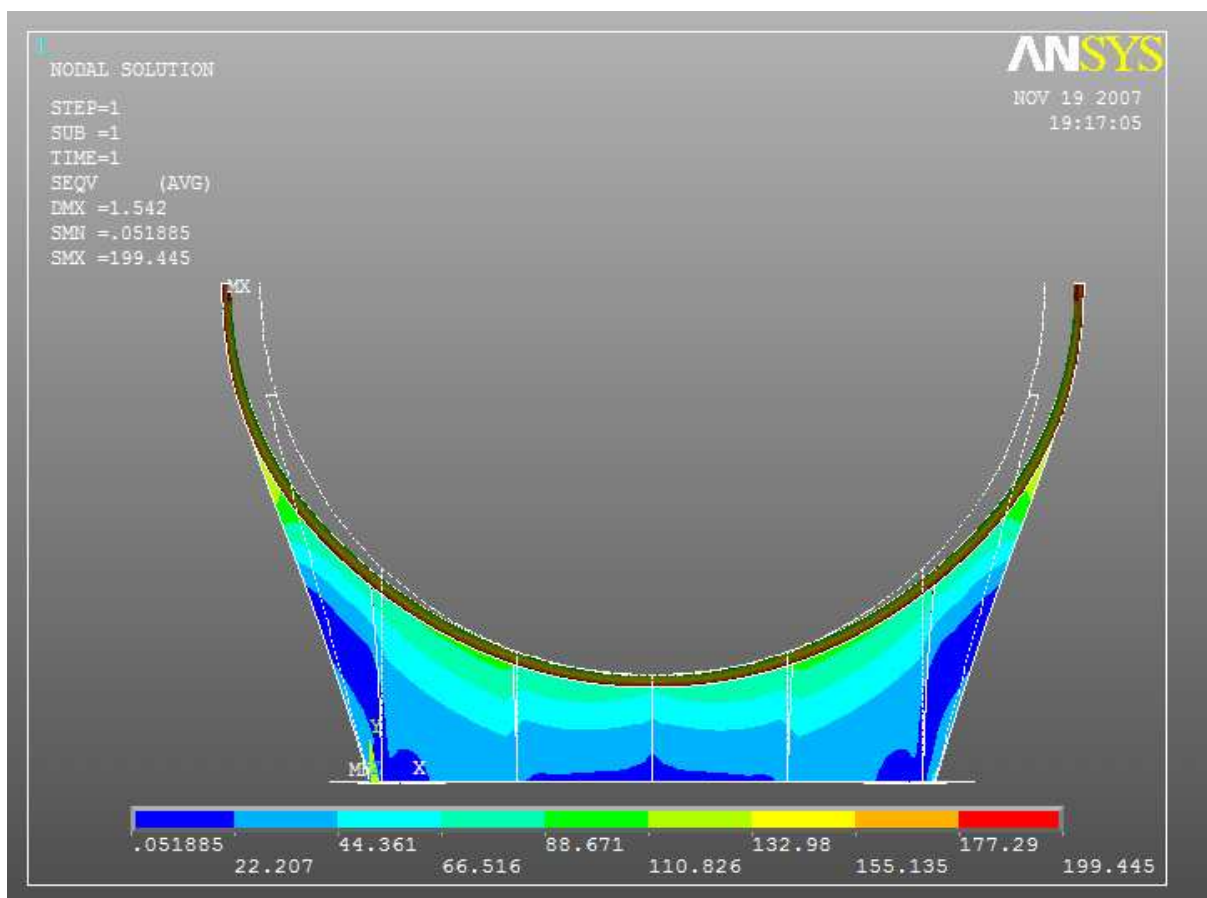


Fig. C.1.3.5.a.- Deformació exagerada.

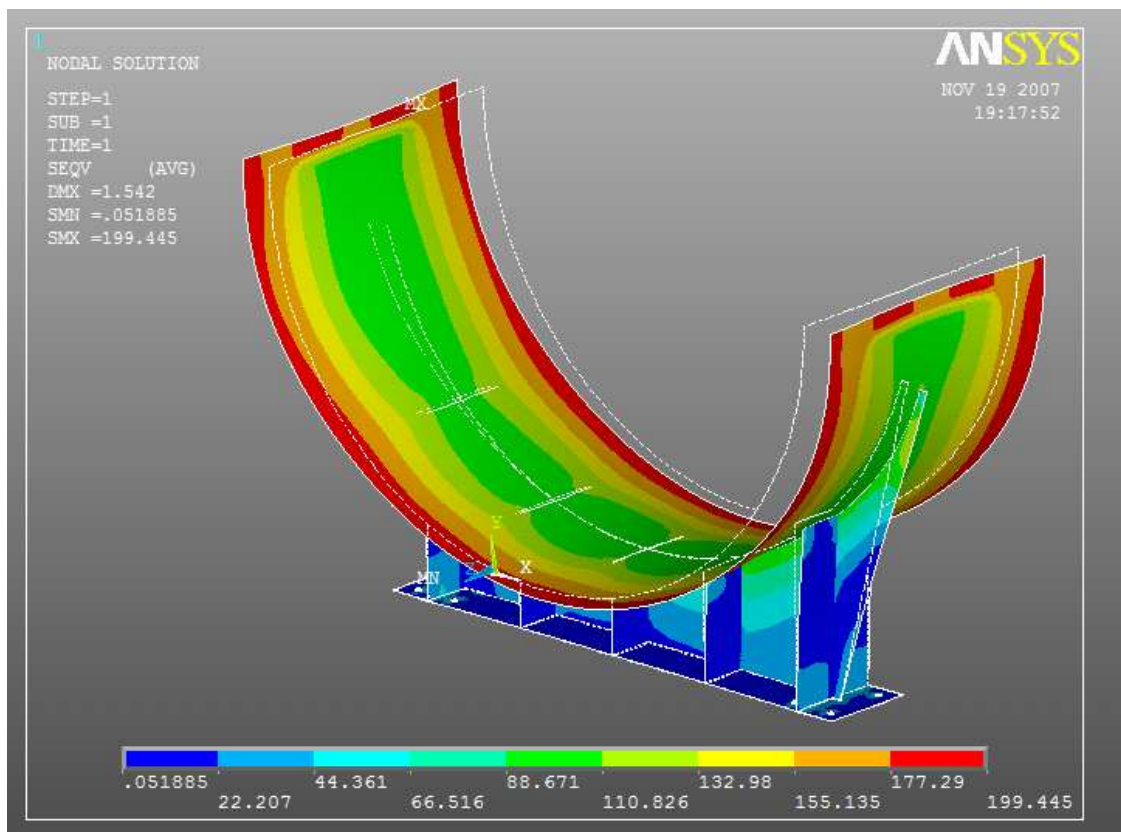


Fig. C.1.3.5.b.- Distribució de tensions.

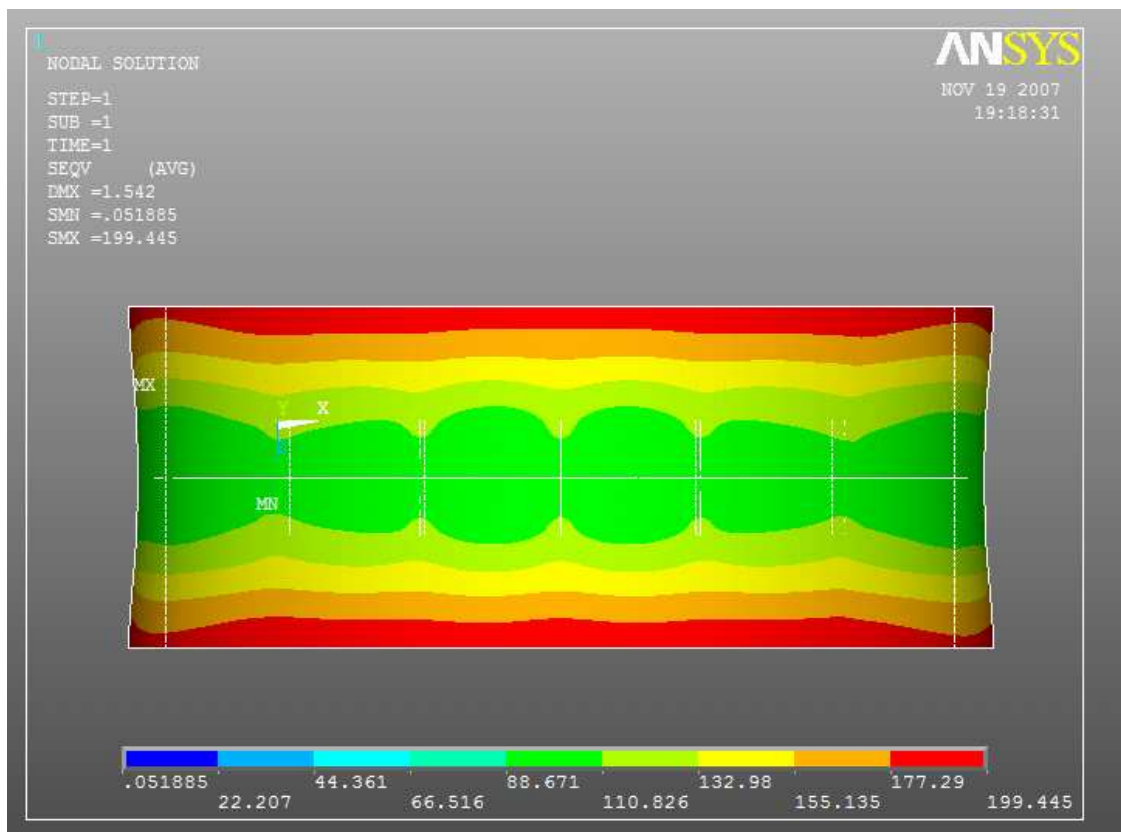


Fig. C.1.3.5.c.- Distribució de tensions a la placa de desgast.

### C.1.4 Braç comporta

A continuació estudiarem la deflexió del braç, que suporta el pes de la comporta de l'autoclau. Els anàlisis en que l'element restrictiu és la fletxa, solen tenir coeficients de seguretat molt alts per a la resistència, la qual cosa ens dona una pista.

Hem d'analitzar que la fletxa sigui suficientment petita per a que es pugui corregir mitjançant el sistema d'ajust d'alçada de la comporta. Aquesta vegada la geometria ha estat dibuixada directament amb l'Ansys.

Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.7.7 del document nº 2: Plànols.

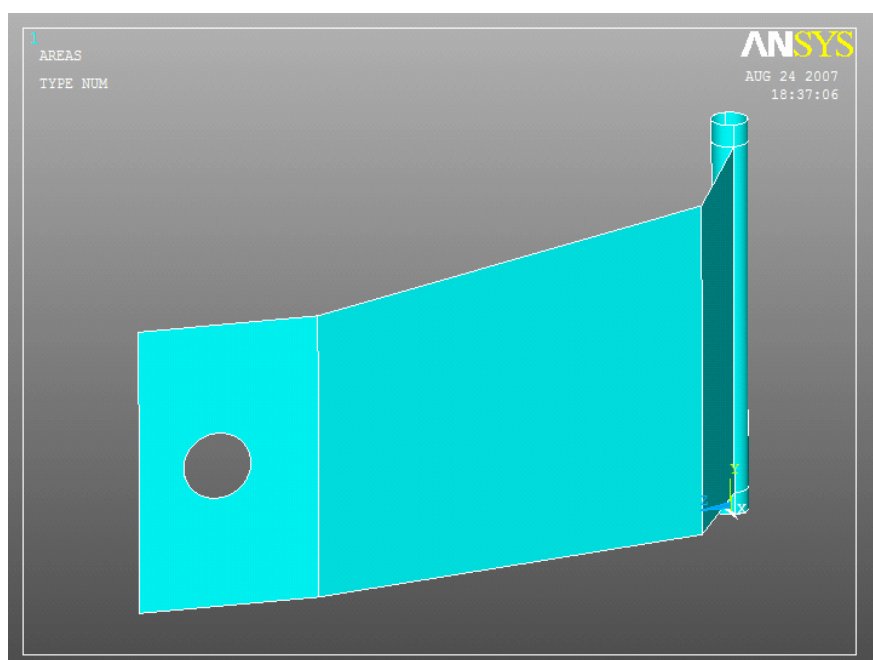


Fig. C.1.4.- Geometria del braç amb Ansys.

#### C.1.4.1 Variables

Les variables son totes aquelles dades que hem d'introduir per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb superfícies, hem hagut de donar informació sobre els espessors utilitzats.

La peça està construïda amb dos tipus d'acer:

Acer de màquines 1C25:

$$S_{UT} = 455 \text{ Mpa}$$

$$S_Y = 245 \text{ Mpa}$$

$$E = 208000 \text{ Mpa}$$

$$N_u = 0.3$$

$$Dens_{mat} = 7870 \text{ kg/m}^3$$

Acer laminat per a elements a pressió P235GH :

$$S_{UT} = 420 \text{ Mpa}$$

$$S_Y = 235 \text{ Mpa}$$

Espessors utilitzats:

Braç de xapa = 30 mm

Dolla comporta = 25 mm

### C.1.4.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria del conjunt braç–frontissa, amb elements *shell 63* de tamany 21. El forat per on passa l'eix de la comporta l'hem dividit en 32 divisions i posteriorment l'hem mallat manualment, generant elements del tipus *beam 4*, que van des de els nodes de la perifèria del forat, fins a un node situat al centre del forat. Després generem un últim element tipus *beam 4*, que va des de el node del centre del forat fins un node situat axialment i a una distancia igual al centre de gravetat de la comporta. Als elements tipus biga li donem molta inèrcia i secció, per a simular l'efecte de la comporta.

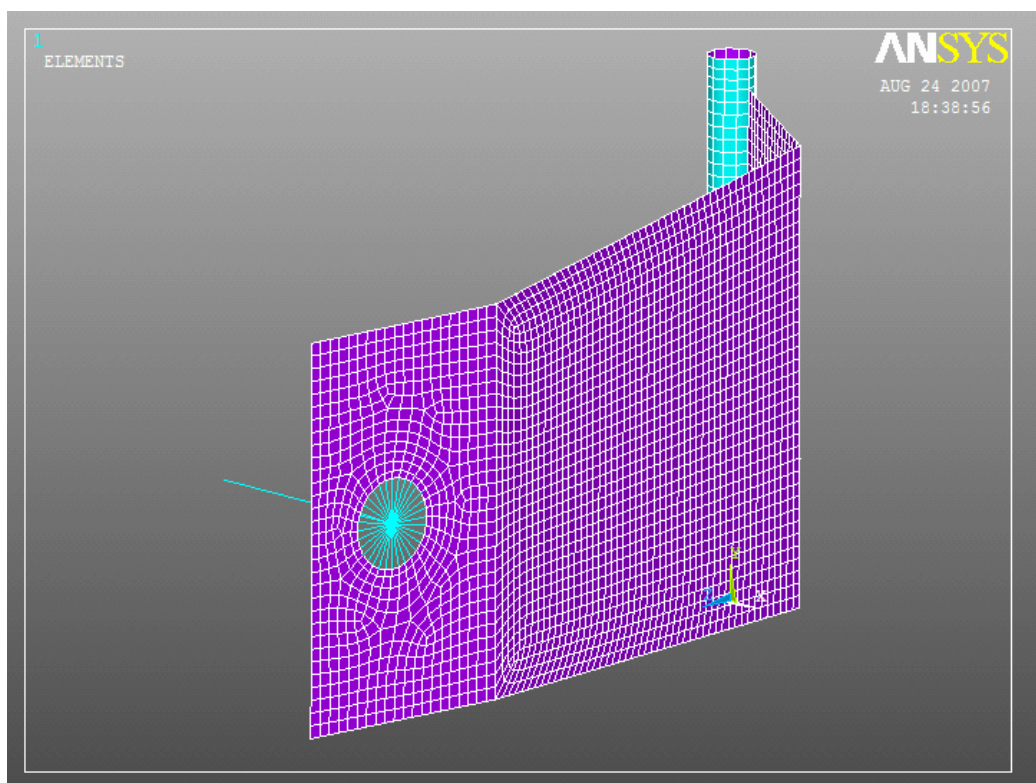


Fig. C.1.4.2.- Mallat amb Ansys.

### C.1.4.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

El braç de la comporta, en la realitat, està recolzat sobre un patí de bronze i una peça roscada a l'eix que el travessa i que serveix per a graduar l'altura. Per a simular aquestes restriccions, hem agafat tots els nodes de l'aresta inferior i superior de la camisa de l'eix i els hem restringit en totes direccions, d'aquesta manera obtindrem una solució força exacta de la deflexió que és el que ens interessa estudiar.

La única força que considerem en aquest anàlisi, és la força que exerceix la comporta pel fet d'estar recolzada a sobre del braç.

La força exercida és:

$$F_{pes\_comporta} = 10000 \text{ N}$$

A les següents imatges podem veure les condicions de contorn aplicades a la nostra peça.

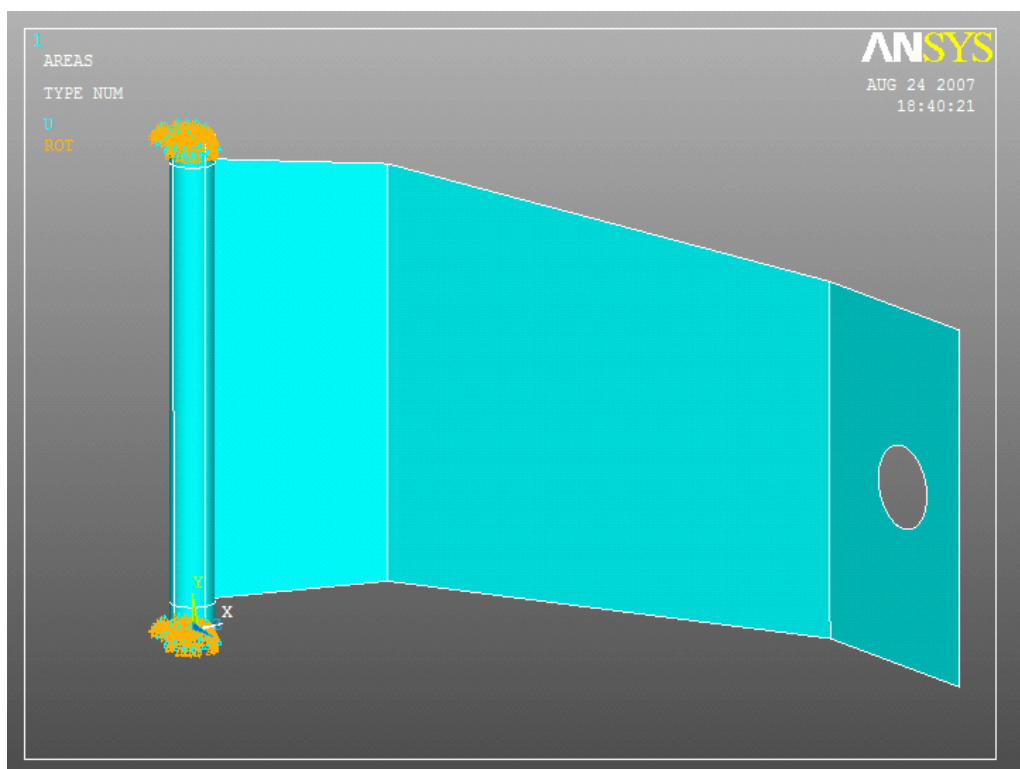


Fig. C.1.4.3.a.- Condicions de contorn, restriccions.



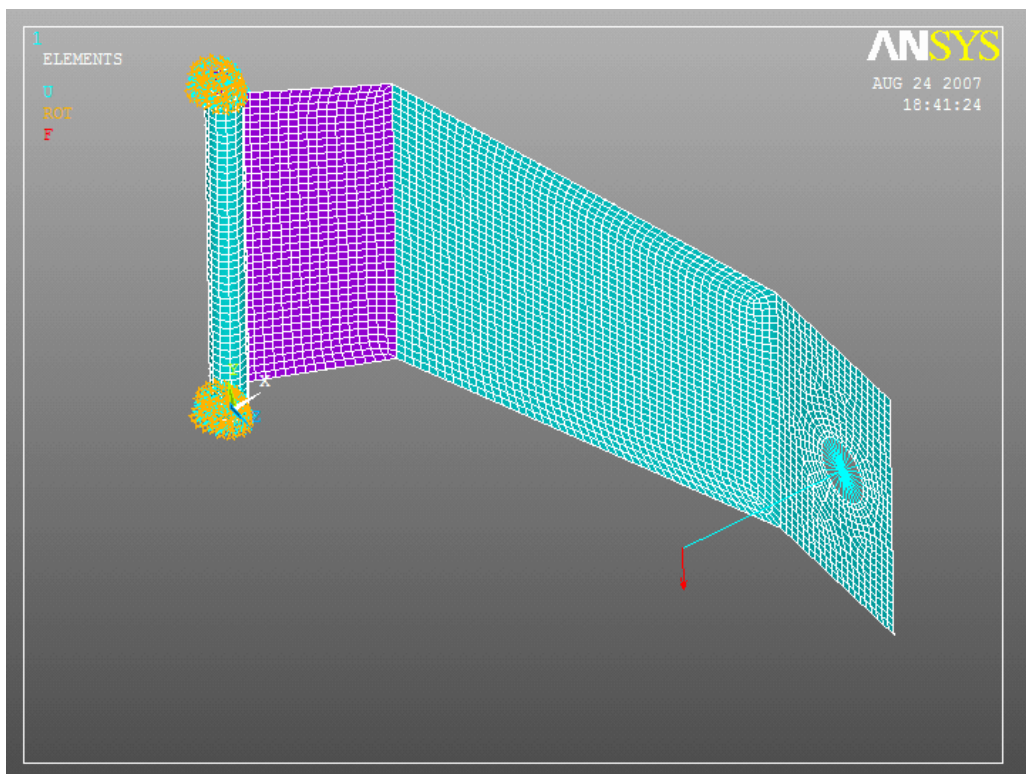


Fig. C.1.4.3.b.- Condicions de contorn, càrregues.

### C.1.4.4 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l’anàlisi en el programa d’elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.4.5 Resultats

Els resultats ens mostra, que el punt més desfavorable es troba a l’encastament del braç sobre el tub, cosa que ja intuïem. Podem observar que degut al punt d’aplicació de la càrrega, apareix un gir a la secció, el que ens obliga a comprovar que aquest sigui suficientment petit per a que no impedeixi el tancament de la comporta. Com era de preveure tenim un ampli coeficient de seguretat en resistència i el resultat de la fletxa que ens dona Ansys el tractarem a continuació.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 165.8\ Mpa$$

$$\delta_{max.} = 6.77\ mm$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$C_{seguretat} = 1.41$$

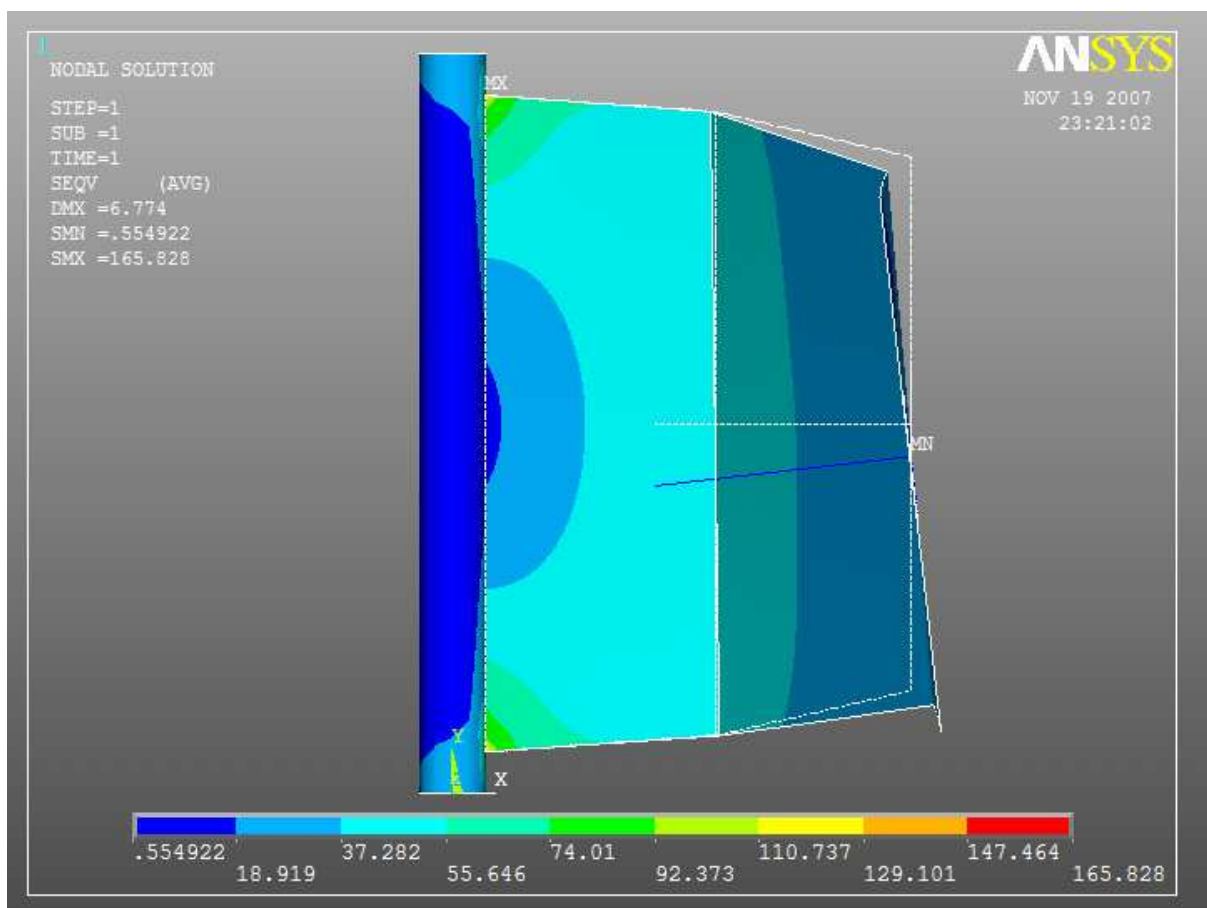


Fig. C.1.4.5.a.- Deformació exagerada.

El resultat de la fletxa que ens dona Ansys, és el valor absolut, el que hem de fer es agafar els valors de desplaçament en Y, dels nodes corresponents al del centre del forat i al del punt d'aplicació de la càrrega, per trobar el desplaçament diferencial entre tots 2 punts.

$$\begin{aligned}
 Y_{3581} &= -3.5896 \text{ mm} & \Delta L &= 310 \text{ mm} \\
 Y_{358} &= -6.7739 \text{ mm} & \vartheta &= \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta L} = 0.587^\circ \\
 \Delta Y &= 3.18 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Amb aquestes dades, determinem que la diferencia entre el punt superior de la comporta i el punt inferior, degut al gir del braç, és de 20.5 mm. Aquesta diferència es massa gran i el tancament de la comporta es complicaria bastant.

Tenim dos opcions per solucionar aquest problema, o bé, compensar aquesta diferencia, durant el procés de fabricació o utilitzar un espessor de xapa per la porta més gran.

Ens fixem en la primera proposta que no comporta més costos en material.

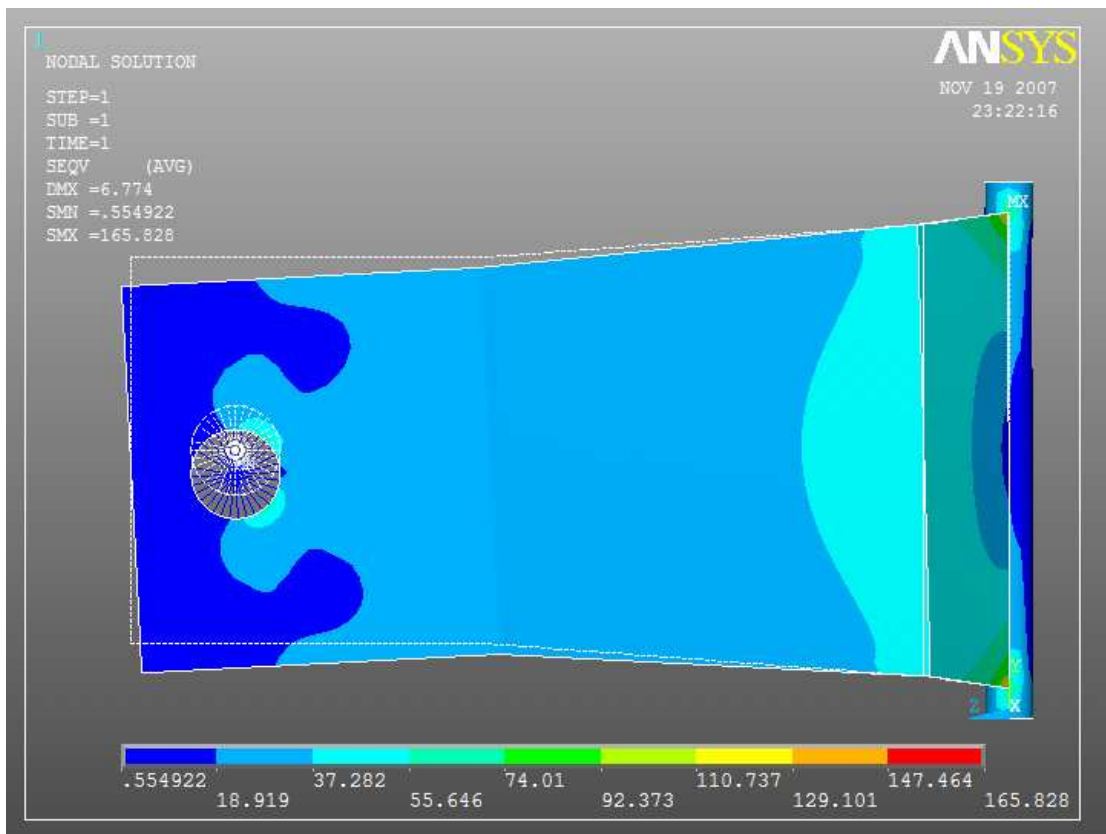


Fig. C.1.4.5.b.- Distribució de tensions al llarg del braç.

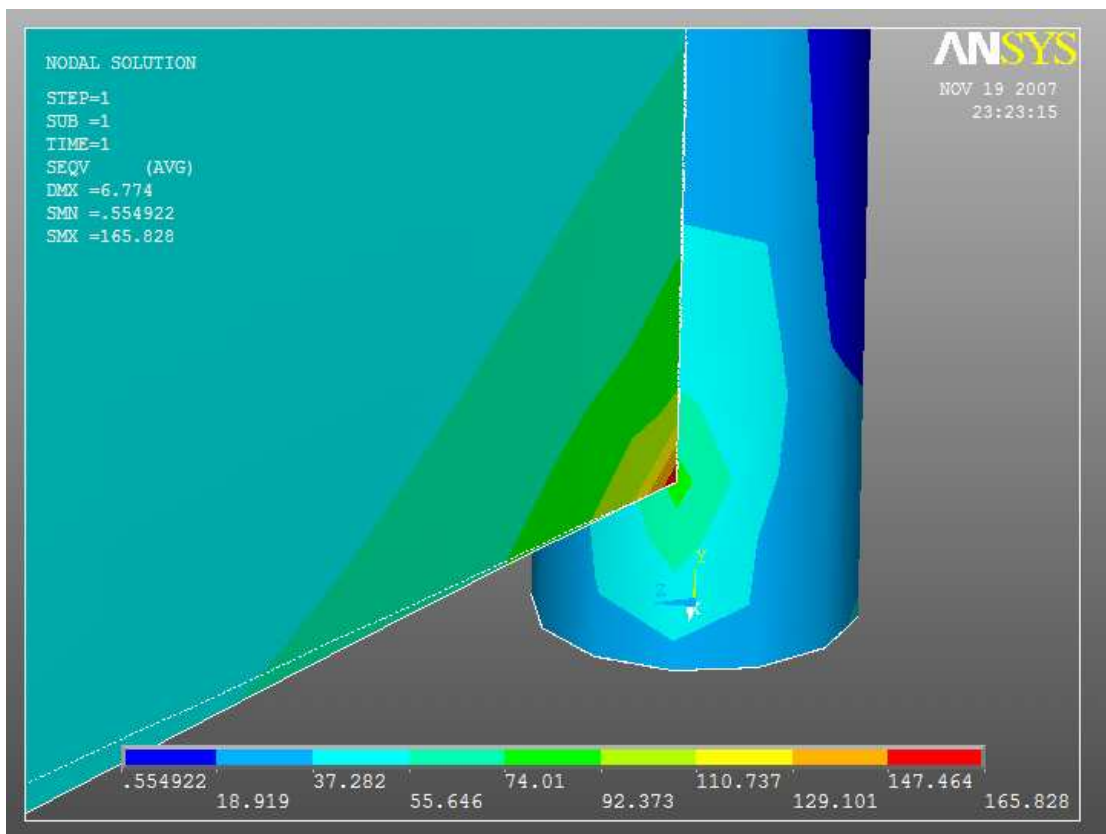


Fig. C.1.4.5.c.- Punt de tensió màxima.

## C.1.5 Frontissa

A continuació estudiarem la deflexió i resistència de les frontisses que suporten el pes del conjunt braç - comporta.

Hem d'analitzar que la fletxa sigui suficientment petita per a que es pugui corregir mitjançant el sistema d'ajust d'alçada de la comporta. Aquesta vegada la geometria ha estat dibuixada directament amb l'Ansys.

Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.7.3 del document nº 2: Plànols.

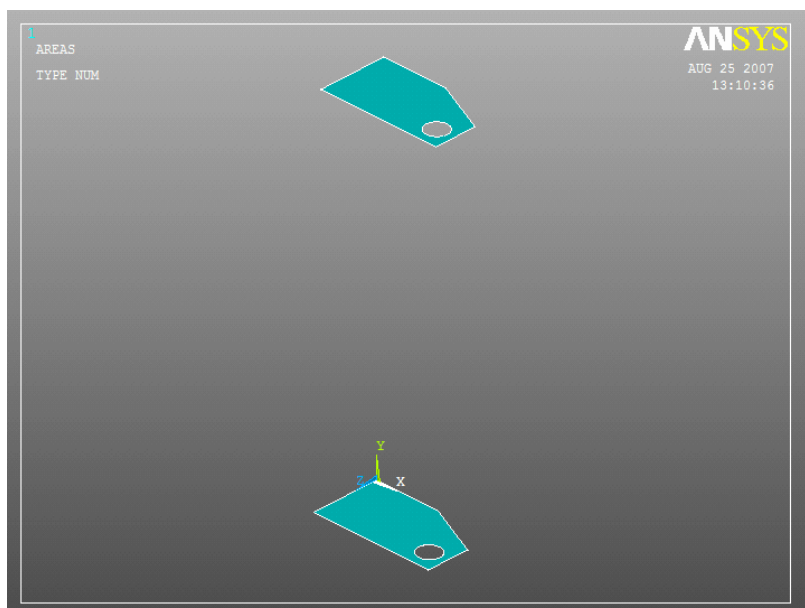


Fig. C.1.5.- Geometria de la frontissa amb Ansys.

### C.1.5.1 Variables

Les variables son totes aquelles dades que hem d'introduir per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb superfícies, hem hagut de donar informació sobre els espessors utilitzats.

La peça està construïda amb un tipus d'acer:

Acer laminat per a elements a pressió P235GH :

$$\begin{array}{lll}
 S_{UT} = 420 \text{ Mpa} & E = 208000 \text{ Mpa} & Dens_{mat} = 7870 \text{ kg / m}^3 \\
 S_Y = 235 \text{ Mpa} & N_u = 0.3 &
 \end{array}$$

Espessors utilitzats:

Espessor de placa = 25 mm

### C.1.5.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria de la frontissa, amb elements *shell 63* de tamany 10. El forat per on passa l'eix de la comporta l'hem dividit en 16 divisions i posteriorment l'hem mallat manualment, generant elements del tipus *beam 4*, que van des de els nodes de la perifèria del forat, fins a un node situat al centre del forat. Després generem una sèrie d'elements biga simulant la forma de la comporta, fins arribar al punt on està situat el centre de gravetat. Als elements tipus biga li donem molta inèrcia i secció, per a simular l'efecte del braç.

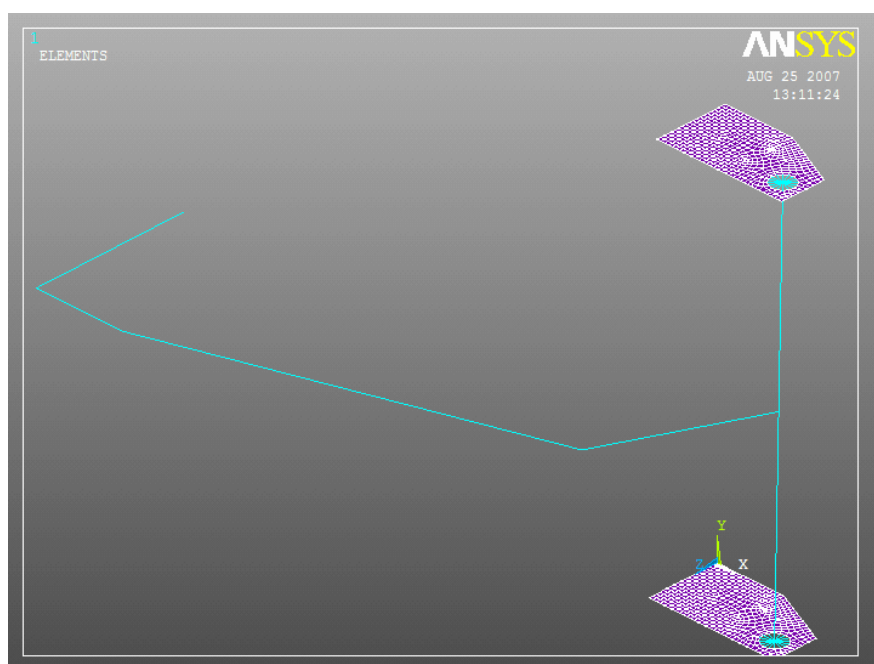


Fig. C.1.5.2.- Mallat amb Ansys.

### C.1.5.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

La primera condició que apliquem, és la suposició que les dues frontisses treballen per igual, tal i com s'ha dissenyat sobre paper. La segona és que les dues frontisses estan perfectament encastades, de fet estan soldades sobre l'anell dentat, però l'efecte del pes de tot el conjunt sobre un anell d'espessor tan gran és molt petit. Per a simular aquestes restriccions, hem agafat tots els nodes de les arestes que anirien encastades, i els hem restringit en totes direccions. D'aquesta manera obtindrem una solució força exacta de la deflexió que és el que ens interessa estudiar.

La única força que considerem en aquest anàlisi, és la força que exerceix el conjunt pel fet d'estar recolzada a sobre de les frontisses.

La força exercida és:

$$F_{pes\_conjunt} = 20000 \text{ N}$$

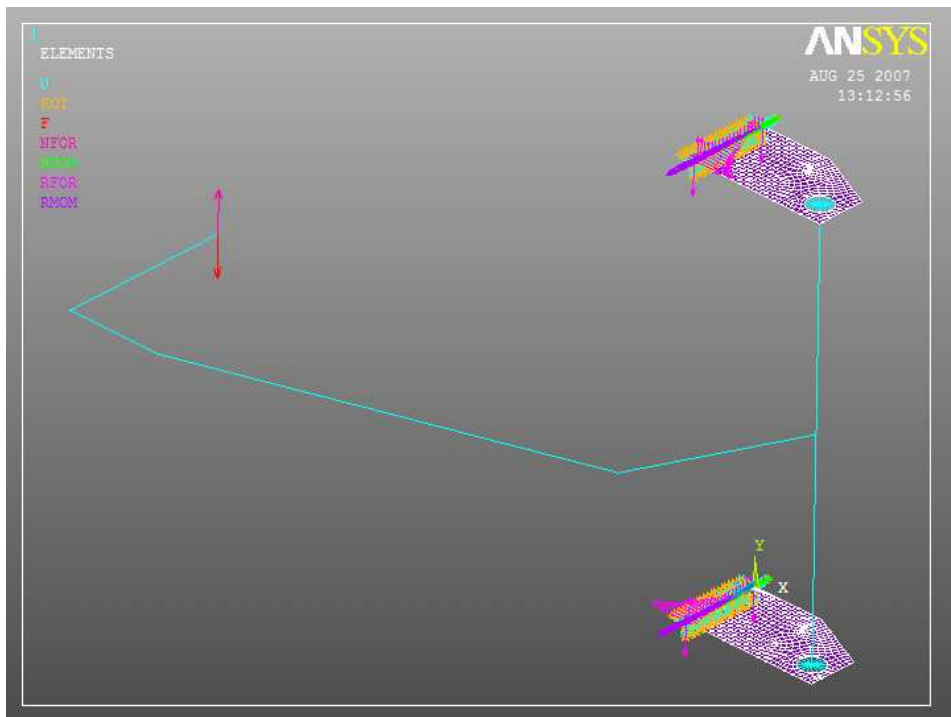


Fig. C.1.5.3.- Condicions de contorn, restriccions i càrregues.

### C.1.5.4 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l’anàlisi en el programa d’elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.5.5 Resultats

Els resultats ens mostra, que el punt més desfavorable es troba a l’encastament de la frontissa amb l’anell, cosa que ja intuïem. Podem observar que degut al punt d’aplicació de la càrrega, apareix una fletxa, el que ens obliga a comprovar que aquest sigui suficientment petit per a que no impedeixi el tancament de la comporta.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 155.12 \text{ Mpa}$$

$$\delta_{max.} = 0.55 \text{ mm}$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$C_{seguretat} = 1.51$$

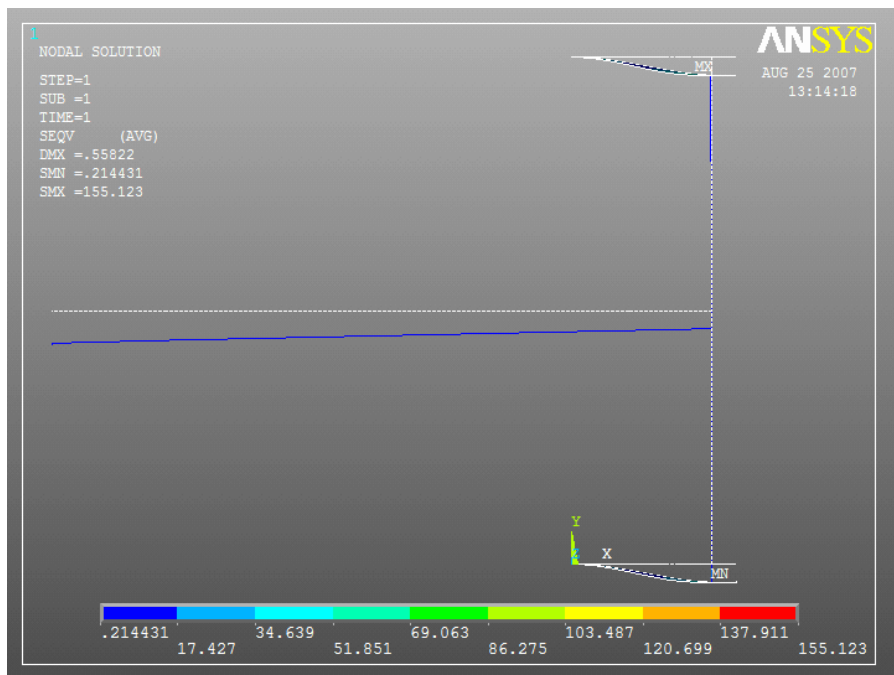


Fig. C.1.5.5.a.- Deformació exagerada.

El resultat de la fletxa que ens dona Ansys, és:

$$Y_{3710} = -0.55mm$$

Amb aquestes dades determinem que la deflexió és inapreciable, a més a més el braç disposa d'un sistema d'ajust, per poder mantenir la comporta sempre concèntrica i coincident amb l'autoclau.

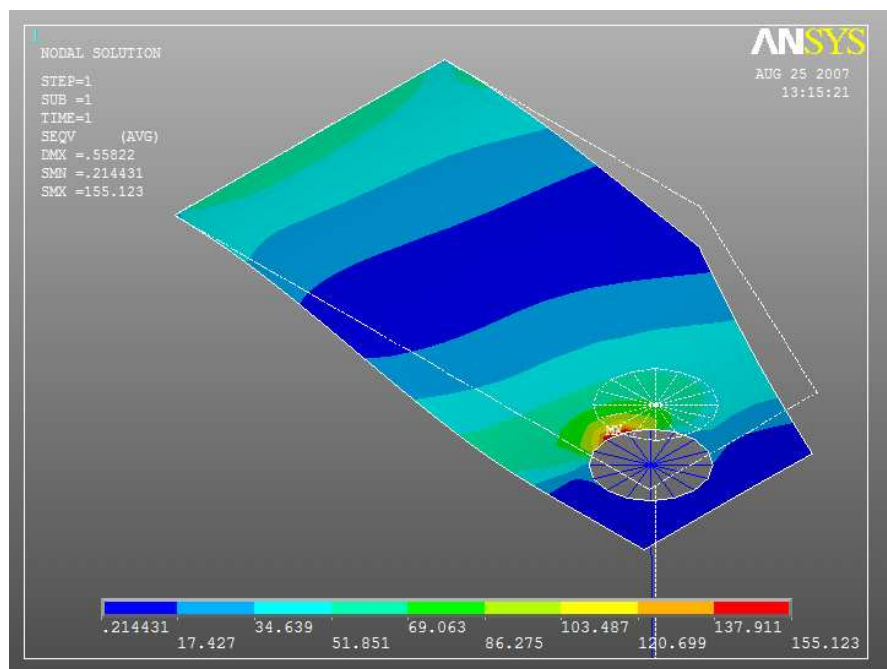


Fig. C.1.5.5.b.- Distribució de tensions.

### C.1.6 Vinclament cilindre recirculació

En aquest apartat analitzarem l'efecte del vinclament del cilindre de recirculació, degut al seu propi pes. Prèviament hem fet un anàlisi que ens ha donat una deflexió inadmissible i volem comprovar si l'efecte d'uns anells rigiditzadors de passamà, seria suficient. L'objectiu és reduir al màxim el nombre d'elements que obstrueixen el pas de l'aire.

En aquest cas la geometria l'hem dibuixat directament amb Ansys. Per obtenir més detalls, podem consultar el plànol 1.1.4 del document nº 2: Plànols.

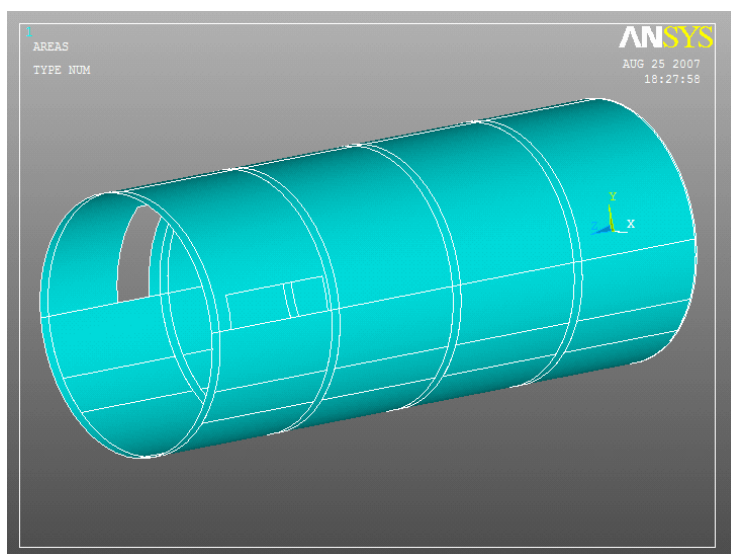


Fig. C.1.6.- Geometria cilindre recirculació amb Ansys.

#### C.1.6.1 Variables

Les variables son totes aquelles dades que hem d'introduir per tal de definir el nostre problema. Com que es tracta d'un element dibuixat amb superfícies, hem hagut de donar informació sobre els espessors utilitzats.

La peça està construïda amb dos tipus d'acer:

Acer laminat per a elements a pressió P235GH :

$$\begin{array}{lll}
 S_{UT} = 420 \text{ Mpa} & E = 208000 \text{ Mpa} & Dens_{mat} = 7870 \text{ kg / m}^3 \\
 S_Y = 235 \text{ Mpa} & S_{YT} = 155 \text{ Mpa} & N_u = 0.3
 \end{array}$$

Espessors utilitzats:

Cilindre de recirculació = 3 mm

Passamà = 10 mm

Recolzament del cilindre = 3 mm

Anell roscat = 20 mm



### C.1.6.2 Mallat de la geometria

Hem mallat la geometria del cilindre amb quadrilàters de tamany 10. En aquest cas hem utilitzat elements *shell 63* per mallar la geometria, ja que la relació espessor – diàmetre es molt gran, podem analitzar el nostre model com si fos una làmina. Cal aplicar espessors a la malla ja que es tracta d'una superfície.

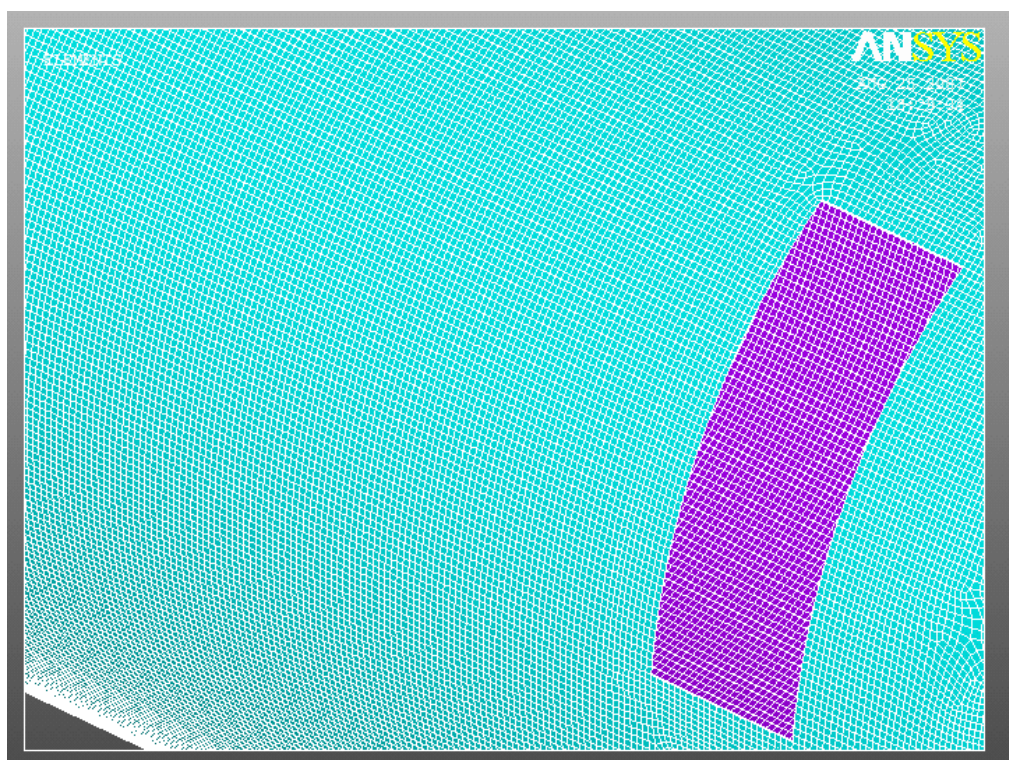


Fig. C.1.6.2.- Mallat amb Ansys.

### C.1.6.3 Condicions de contorn i aplicació de càrregues

El cilindre de recirculació es recolza a sobre d'un angle de xapa. Per simular aquest efecte hem restringit en Y tots els nodes que estan en contacte amb el suport. Per restringir més el model, a efectes que el model sigui més precís, hem restringit tots els nodes de l'aresta superior i inferior en X. I per a que el model és pugui solucionar, hem seleccionat les arestes de davant i les hem restringit en Z.

Aquest efecte de vinclament no està causat per l'acció d'una força externa, sinó per la gravetat. Llavors només hem d'introduir la densitat del material i l'acceleració de la gravetat.

A la figura C.1.8.3 podem veure les restriccions que hem aplicat al nostre model.

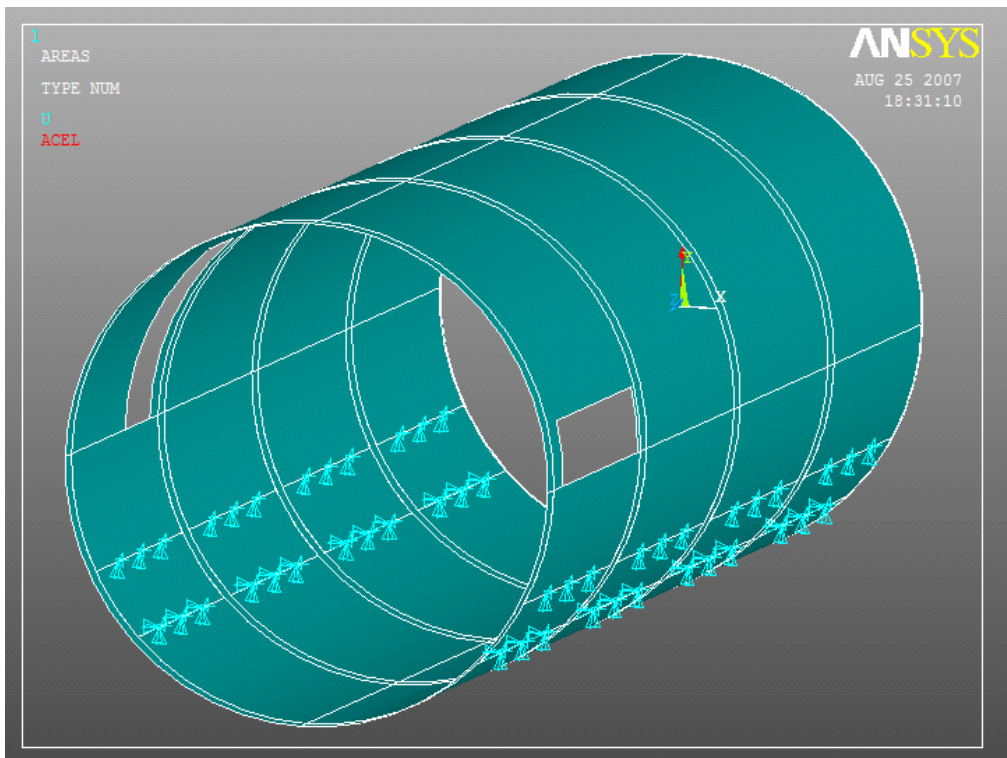


Fig. C.1.6.3.- Condicions de contorn, restriccions.

### C.1.6.4 Anàlisi de la geometria

Un cop es tenen definits tots els paràmetres necessaris, es procedeix a iniciar l’anàlisi en el programa d’elements finits. Un cop ha finalitzat aquest procés, ja es poden analitzar els resultats.

### C.1.6.5 Resultats

Gràcies als anells rigiditzadors, el vinclament del cilindre s’ha reduït considerablement. Hem passat d’una deflexió de 30 mm, sense cap tipus d’element suplementari, a una deflexió de 2.2 mm. Amb aquest valor ens podem donar per satisfets.

Resultats:

$$\sigma_{Von\ Misses} = 34.58\ Mpa$$

$$\delta_{max.} = 2.28\ mm$$

$$C_{seguretat} = \frac{\sigma}{Y}$$

$$C_{seguretat} = 4.48$$

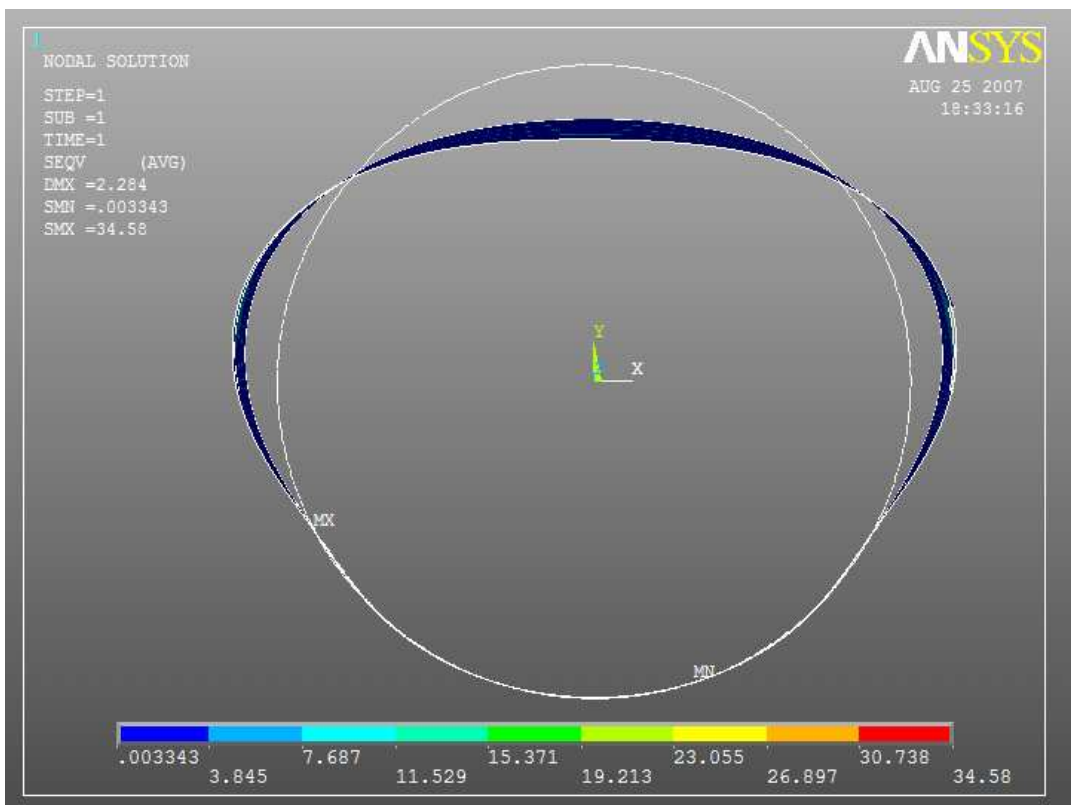


Fig. C.1.6.5.a.- Deformació exagerada.

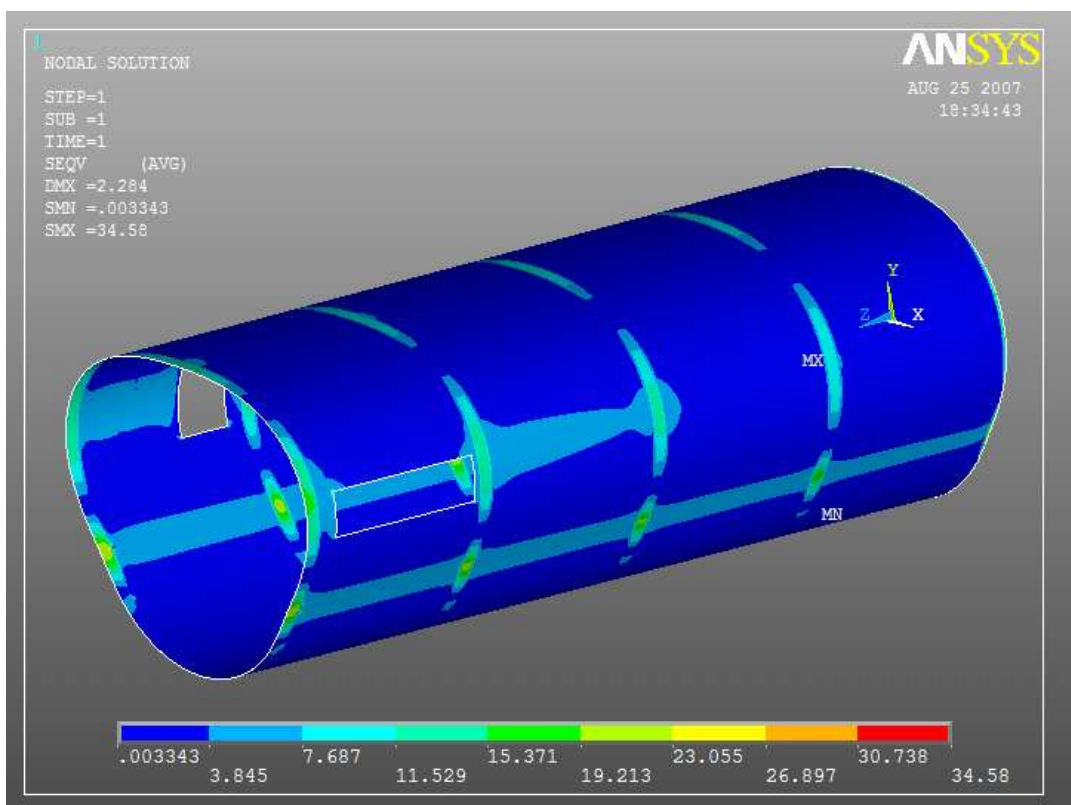


Fig. C.1.6.5.b.- Distribució de tensions.

## **ANNEX D: Simulació amb Computational fluid design**

### **D.1 Introducció**

A continuació es presenten els anàlisis realitzats amb el programa informàtic de fluids, CFD Design 8.0. La filosofia que hem fet servir per afrontar aquest tipus d'anàlisis, ha estat la de estudiar l'autoclau com un tot. Ja que en aquest tipus d'anàlisis no hem obviat, pràcticament, cap informació ni característica dels diferents elements que conformen la màquina.

### **D.2 Procediment d'anàlisi**

Per tal d'obtenir resultats en el programa d'elements finits, s'han efectuat algunes simplificacions, sobretot a nivell de detall, ja que els millors resultats s'obtenen quan aconseguim trobar un model simple però equivalent. Tot i que el procediment d'anàlisi ha estat el correcte. Els passos seguits queden descrits en els següents apartats.

### **D.3 Estudi preliminar**

Aprofitant que utilitzem una eina tant potent com és el CFD, hem provat diferents configuracions fins arribar a la conclusió de quina seria la més adient pel cas que ens ocupa.

Configuració: Hem estudiat els dos tipus de configuració possibles, l'impel·lent i l'aspirant i hem comprovat que la diferència de temperatures és molt més petita amb una configuració aspirant que amb una impel·lent, degut a que el camí de l'aire abans d'arribar a la zona de treball és més gran, i dona temps a que l'aire s'homogeneïtzi evitant punts calents, sobretot a l'entrada de la zona de treball.

Diàmetre cilindre recirculació: Ens interessa aprofitar al màxim l'espai que ens queda dintre de l'autoclau, per aquest motiu hem escollit el diàmetre més gran possible, sense posar en joc la qualitat de l'homogeneïtzació. Aquest punt és important, ja que diferents fabricants, d'autoclaus pel processament de materials compòsits, dissenyen els seus sistemes de ventilació amb la premissa de fer circular aire en règims de funcionament laminar és la clau per l'homogeneïtat de la temperatura. Segons les proves que hem fet, és més aviat el

contrari, fer circular l'aire a altes velocitats, afavoreix més l'homogeneïtzació en tota la zona de treball que el règim laminar.

Turbina: Hem escollit la turbina en funció de la relació consum – caudal, ja que els increments de caudal no son proporcionals al consum, hem escollit una turbina amb el caudal més gran possible i amb un consum raonable.

Resistències: Les hem dissenyat amb un sistema de prova i error, provant diferents geometries i valors de càrrega, fins arribar a la temperatura desitjada a l'interior de l'autoclau

Podem trobar una explicació més detallada del procés de selecció de solucions, per a cada part de la màquina a l'annex: A, estudi preliminar.

## D.4 Geometria

La complexa geometria de l'autoclau, s'ha hagut de reduir al màxim, un procés habitual en aquest tipus d'anàlisis. Per això, hem escollit els mínims elements necessaris, pel funcionament de l'autoclau com a màquina concebuda pel processat de materials compòsits. A continuació mostrarem imatges, dels elements que intervenen en aquest anàlisis:

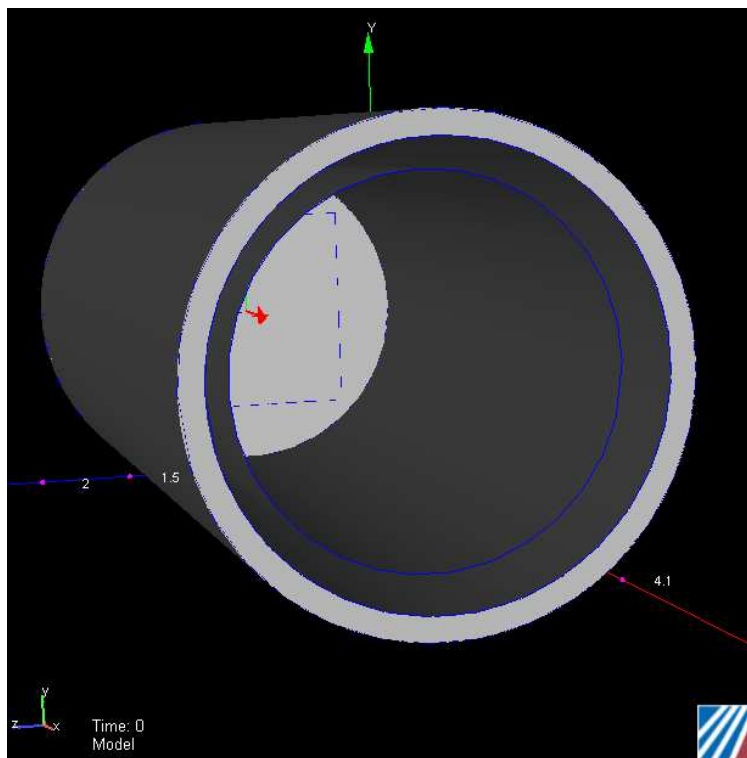


Fig. D.4.a.- Cos principal i cilindre de recirculació.

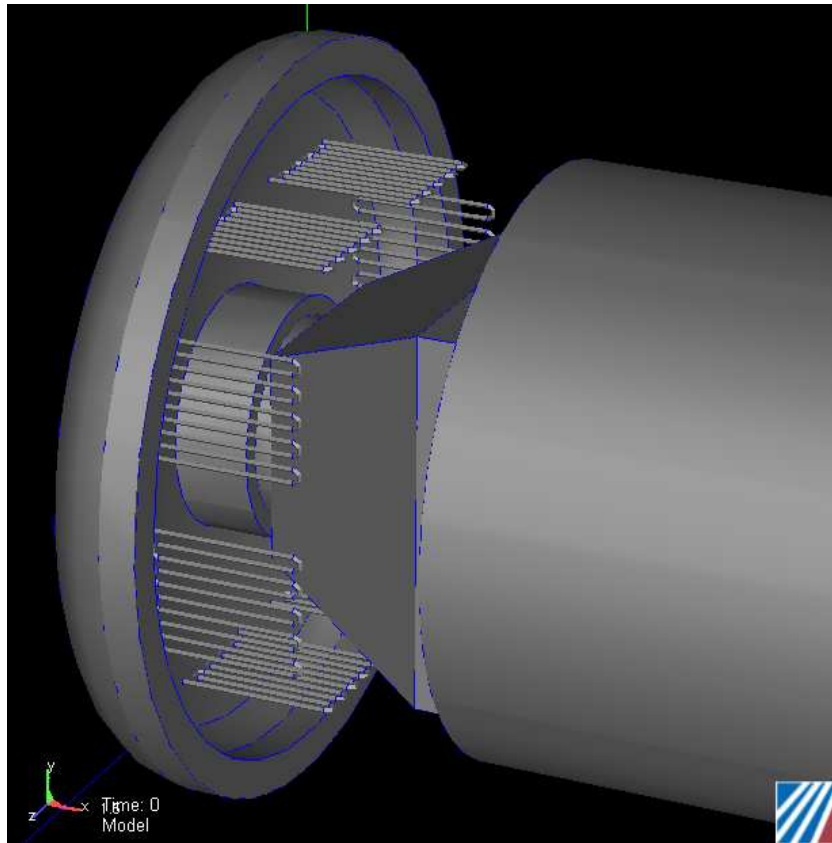


Fig. D.4.b.- Cap i resistències.

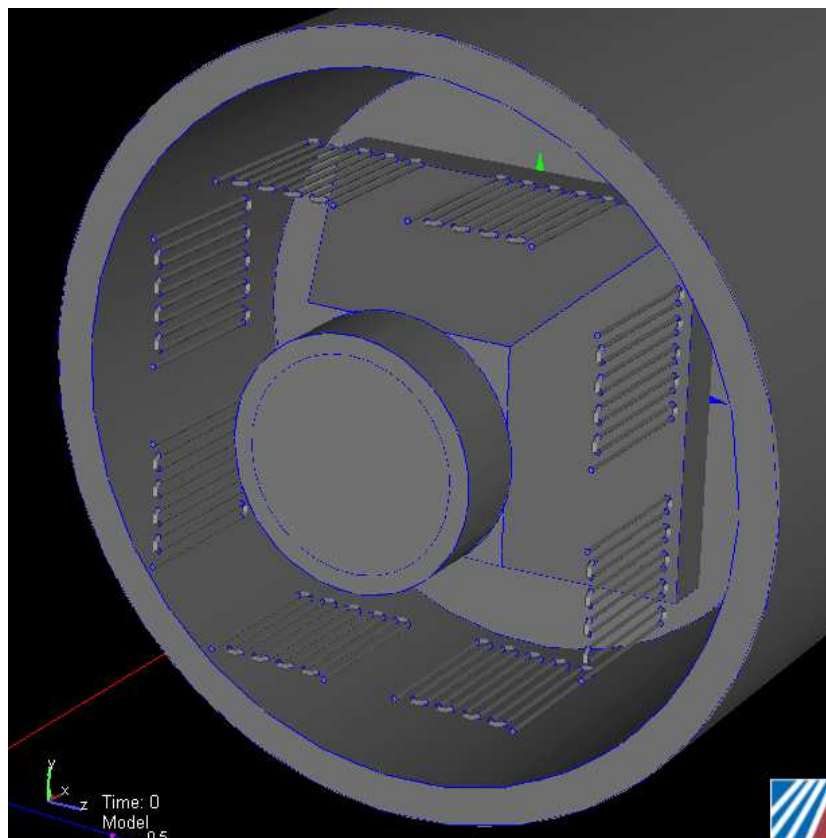


Fig. D.4.c.- Turbina, conus i intercanviador .

Amb la geometria definida, ja podem introduir les característiques dels elements volum i dels elements superfície. Degut a la simplificació, segurament tindrem una petita desviació de la realitat, però com ja veurem més endavant, no és determinant.

## D.5 Condicions de contorn

Com sempre, el primer pas és definir les condicions de contorn, i a conseqüència de que el nostre anàlisi és estàtic, no hem hagut d'introduir cap condició inicial.

Les dos úniques variables que hem definit són:

*Film coefficient* o coeficient de convecció:

Pel acer:  $15 \text{ W/m}^2/\text{K}$  amb una temperatura de referència de  $80^\circ\text{F}$ .

Elements definits: Cap i cos principal, cilindre recirculació i conus.

*Heat flux* o flux de calor superficial:

Per resistències blindades tipus M:  $3 \text{ W/cm}^2$

Elements definits: Les 8 resistències.

A les figures que es mostren a continuació, és pot observar els elements, als que li hem aplicat les variables anteriors:

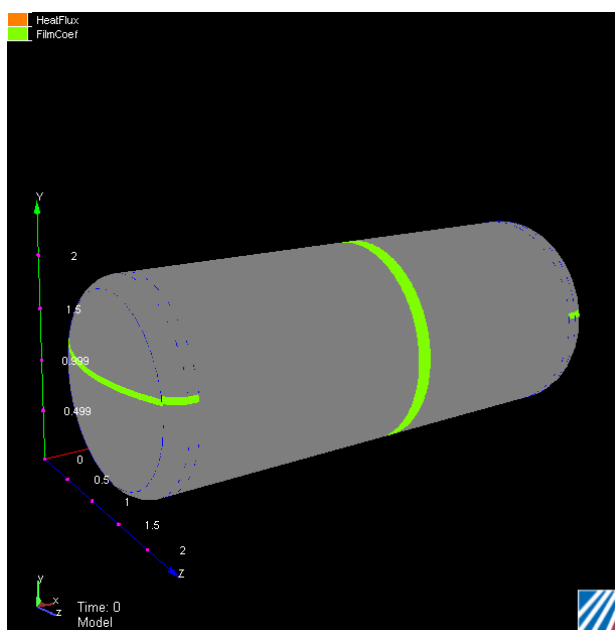


Fig. D.5.a.- Cap i cos principal.

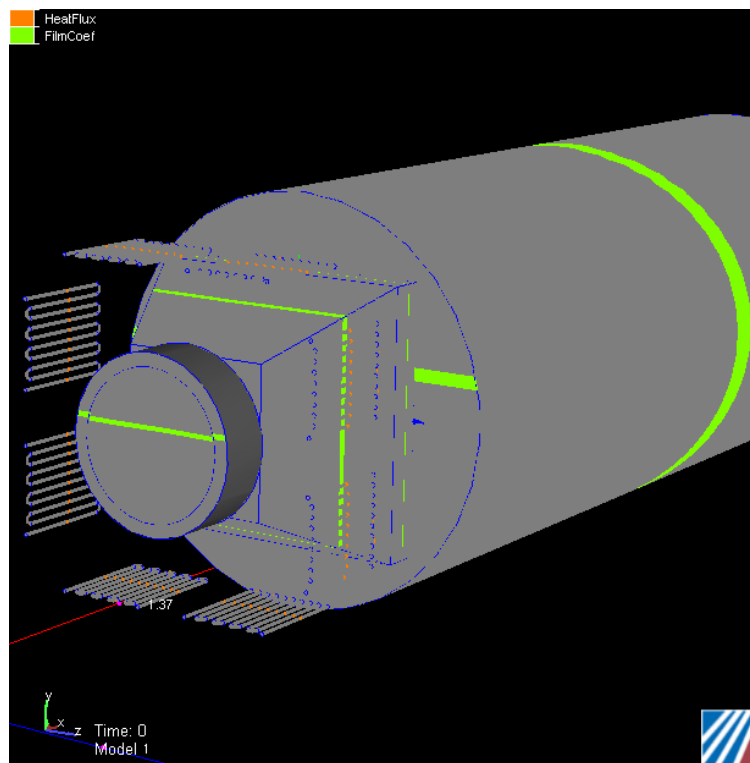


Fig. D.5.b.- Cilindre recirculació, conus, intercanviador i resistències .

## D.6 Mallat

Hem mallat tota la geometria, amb elements tetraèdrics de diferents tamanys. En les zones complexes o amb canvis de secció, el programa té més dificultat per resoldre l'anàlisi, i per evitar tenir problemes de convergència, el que fem es reduir el tamany dels elements d'aquestes zones. A continuació veurem una relació dels diferents tamanys dels elements emprats:

Volums:

Cos principal i caps: 140 mm.

Aire: 60 mm.

Intercanviador i turbina: 50 mm.

Resistències: 20 mm.

Superfícies:

Cilindre recirculació, tapes i conus: 50 mm.

Superfície exterior de les resistències: 20 mm.



A les figures que es mostren a continuació, és pot observar els elements, als que li hem aplicat malla:

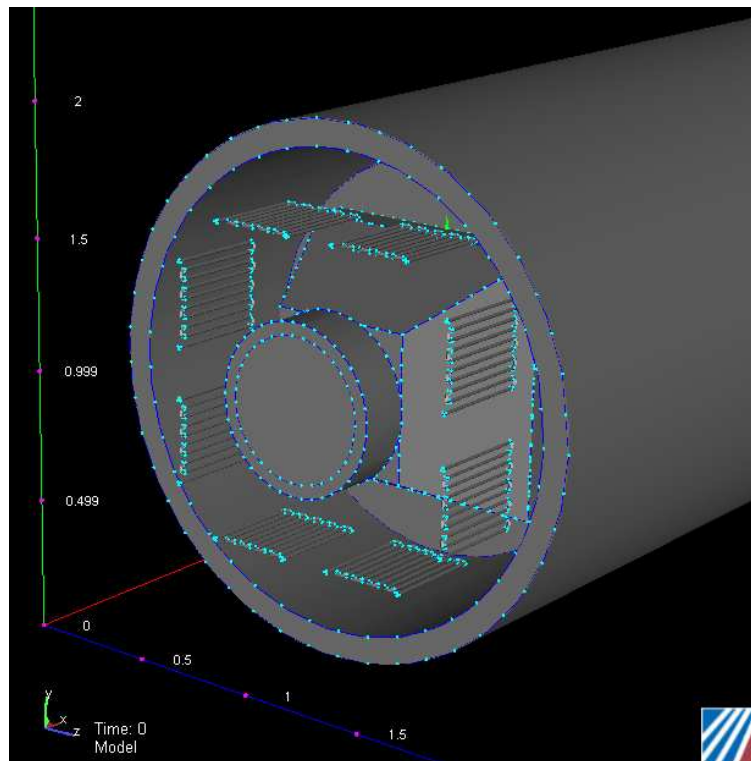


Fig. D.6.a.- Mallat del cos, cilindre, conus turbina i resistències.

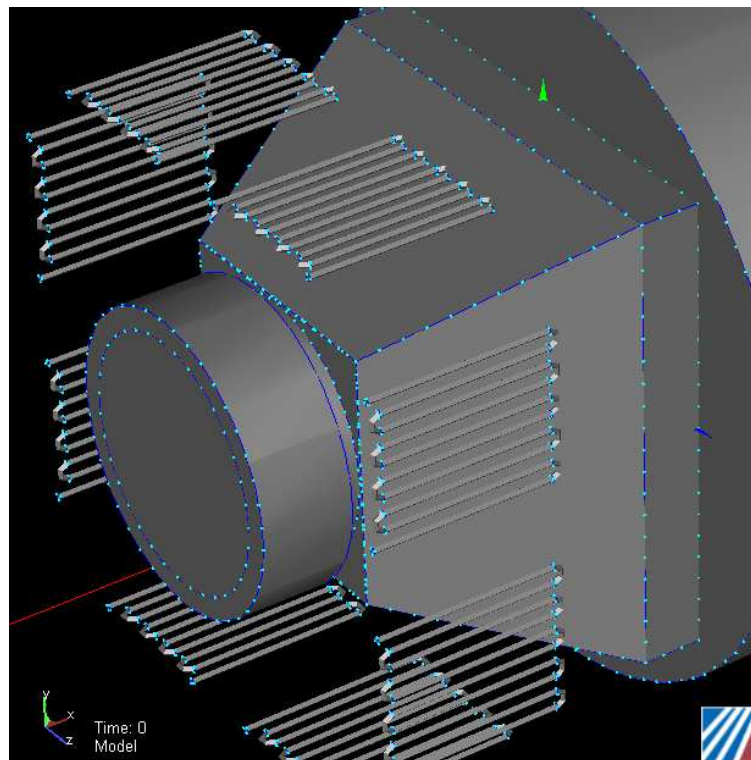


Fig. D.6.b.- Detall de la zona d'entrada a la turbina, on hem aplicat un mallat més fi.

## D.7 Assignació de materials

El següent pas és l'assignació de materials per a cada element de l'autoclau. Com que el programa té un numero limitat de materials, hem hagut de crear els que ens faltaven. Les variables que s'han d'introduir a cada material, les hem extret de les especificacions de cada component. Podem trobar més informació a l'annex E: Informació tècnica.

A continuació veurem una relació dels diferents materials emprats:

Volums:

Cos principal i caps: Llana de roca,  $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Omega = 0.05 \text{ W/m-K}$ ,  $C_e = 840 \text{ J/kg-K}$ .

Volum d'aire: Aire a pressió,  $\rho = 14.4564 \text{ kg/m}^3$ .

Intercanviador: Resistència al pas d'aire, Free area ratio = 0.55, ( àrea / àrea total ).

Turbina: Bomba centrífuga,  $Q = 21600 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\omega = 955 \text{ rpm}$ .

Resistències: Acer.

Superfícies:

Cilindre recirculació i tapes: Acer d'espessor 3 mm.

Conus: Acer d'espessor 2 mm.

Cos principal: Acer d'espessor 14 mm.

Caps torisfèrics: Acer d'espessor 22 mm.

A la figura que es mostra a continuació, és pot observar l'assignació de materials en colors:

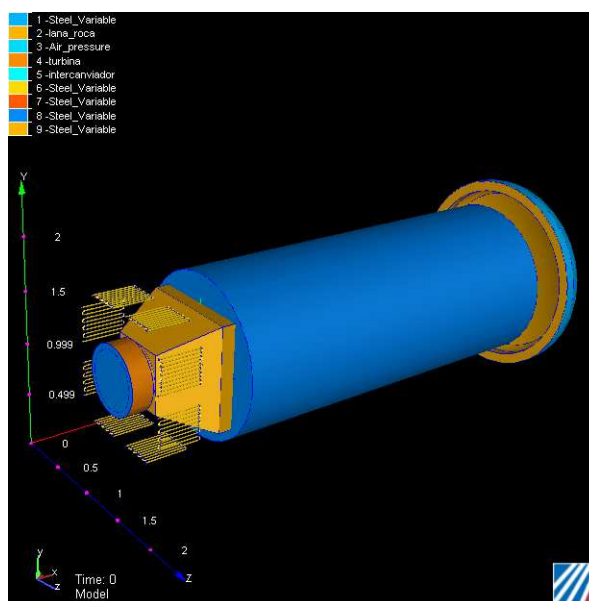


Fig. D.7.- Geometria amb tots els materials assignats.

## D.8 Tipus d'anàlisis

L'anàlisi que ens preocupa bàsicament, és el de transferència de calor, per estudiar quina dispersió de temperatures tenim, al voltant de la temperatura de consigna.

Per experiència sabem que per aconseguir l'homogeneïtat, necessitem forçar aire per a que la temperatura s'homogeneïtzi. Llavors, nosaltres farem l'anàlisi seguint el procés lògic d'encesa de la màquina en condicions de servei, això implica primer resoldre el càlcul de velocitats, i una vegada el tenim solucionat, hem de desactivar la casella, càlcul flux i activar la de càlcul calor.

### D.8.1 Velocitats

Les opcions que hem d'activar en aquest anàlisi son:

Tipus de fluid: Incompressible.

Opcions: Flux turbulent.

Tipus d'anàlisi: Estàtic.

Nº d'iteracions: 200

#### D.8.1.1 Resultats

El diagrama de velocitats és tal i com preveiem que obtindríem. Encara que el programa no hagi acabat de convergir en una solució, ja la podem donar per bona, donat que els resultats no varien pràcticament res, a més a més, com hem pogut observar, el factor més important per l'homogeneïtat tèrmica és la pressió. A la pàgina següent podem veure una imatge de la distribució de velocitats a l'interior de l'autoclau.

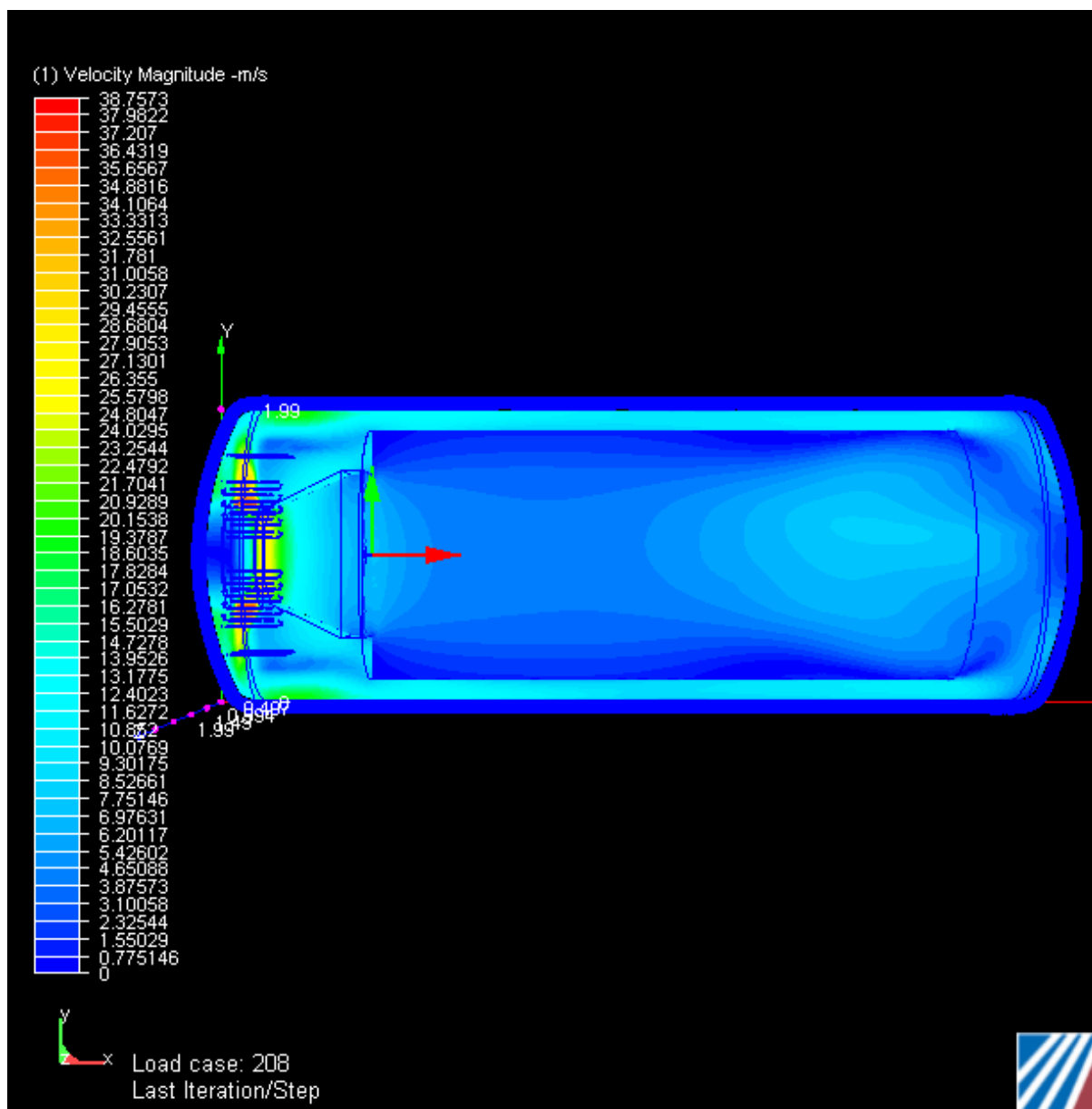


Fig. D.8.1.- Distribució de velocitats.

## D.8.2 Transferència de calor

Les opcions que hem d'activar en aquest anàlisi son:

Opcions:      Desactivem la casella Radiació.  
                   Desactivem la casella Gravetat.

Tipus d'anàlisi: Estàtic.

Nº d'iteracions: 50

### D.8.2.1 Resultats

L'anàlisi de transferència de calor si que ens ha convergit, amb la qual cosa vol dir que tindrem una bona qualitat, en els resultats que realment ens interessa.

Encara que la temperatura de consigna és de 250°C, el que busquem realment és que la temperatura variï al voltant d'una temperatura fixa, pròxima a la de consigna, i que aquesta variació sigui petita.

Analitzant els resultats obtinguts en l'anàlisi, observem que la temperatura mitja a la zona considerada de treball és de 264°C, que ja ens va bé per no anar just de potència. A continuació podem veure la distribució de temperatures a l'interior de l'autoclau.

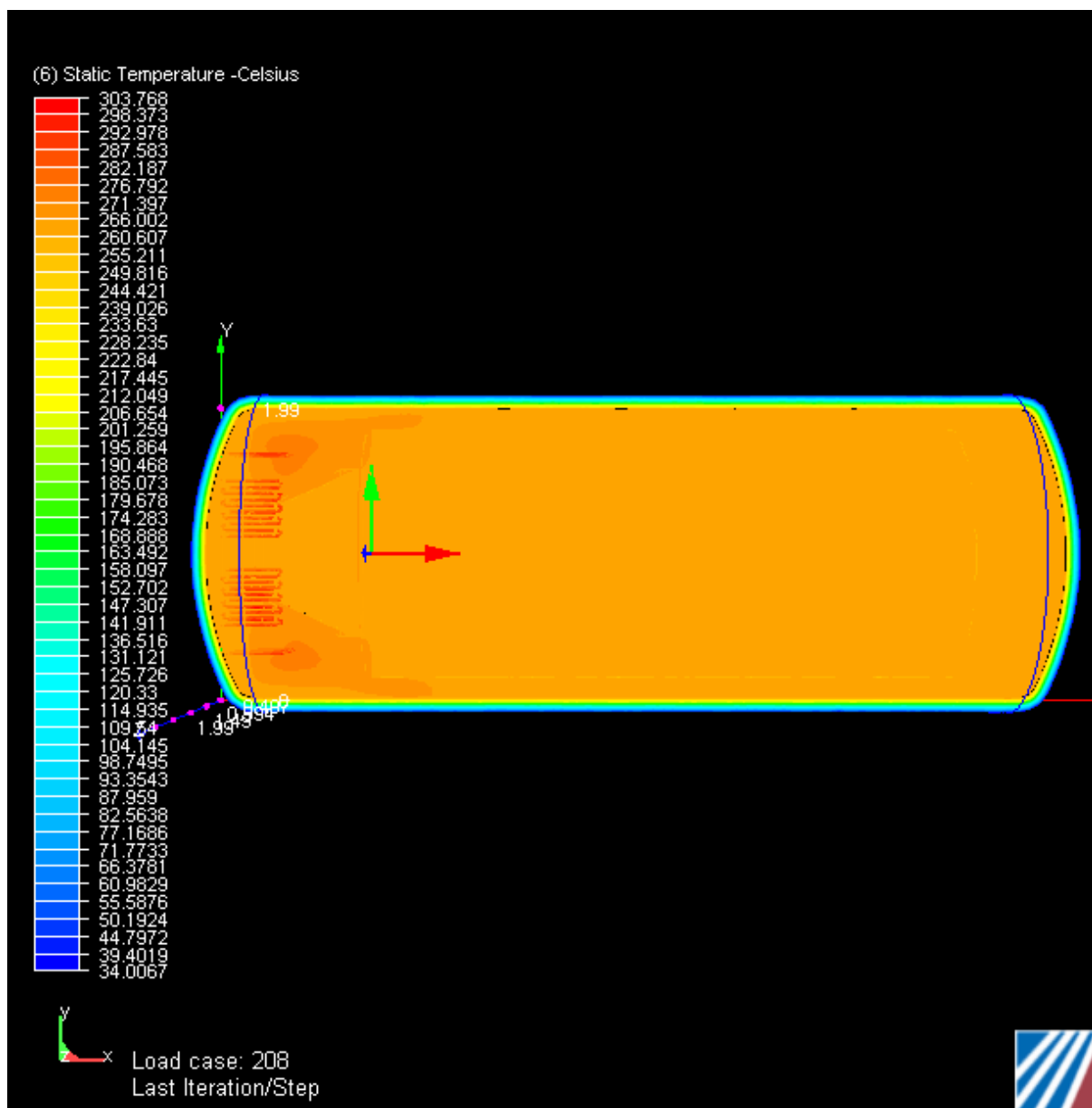


Fig. D.8.2.a.- Distribució de temperatures.

Tot seguit veurem que la diferencia de temperatures depèn de la zona que s'estudiï, ja que l'aire s'estratifica en capes de diferents temperatures. Un dels factors que més afecta a l'homogeneïtat tèrmica és la distribució de velocitats, en funció de la velocitat els valors de temperatura varien considerablement.

A la imatge següent, veiem un gràfic de la distribució de temperatures, en una secció pròxima al centre de l'autoclau.

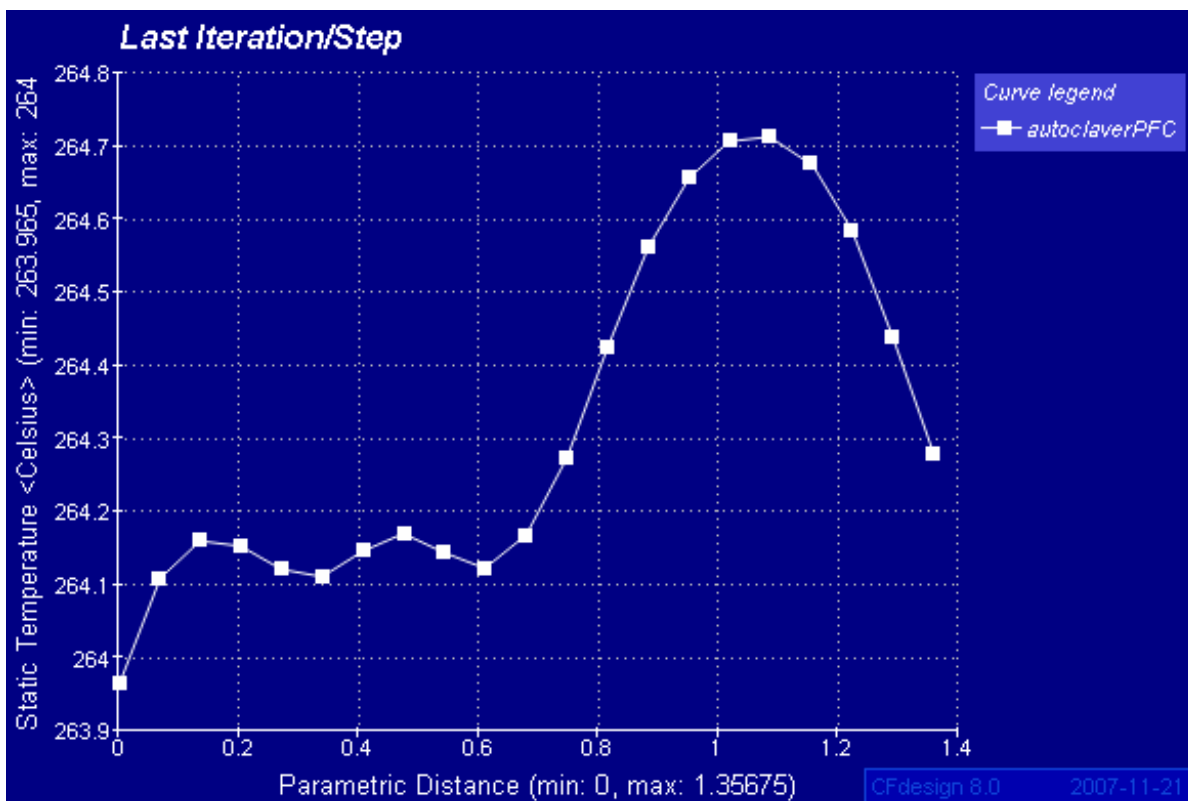


Fig. D.8.2.b.- Anàlisi de velocitats.

## **D.9 Conclusions finals**

L'anàlisi de CFD, ha estat amb diferència el que més hores ens ha ocupat. Així i tot hem d'estar satisfets, ja que la importància d'aquest a estat clau pel desenvolupament i verificació de tots els elements que conformen la màquina. Gràcies als múltiples anàlisis hem descobert els secrets de l'homogeneïtzació i inclús hem refutat principis de funcionament que es donen per bons en altres fabricants.

També és de vital importància, el fet d'haver aconseguit una taula amb la variació de temperatures que podem obtenir, en funció de la grandària de la peça.

Gràcies a l'anàlisi amb CFD hem trobat la millor turbina, hem trobat un disseny exclusiu per les resistències elèctriques, hem trobat el diàmetre del cilindre de recirculació i hem verificat que l'espessor d'aïllant és correcte per aquesta aplicació en concret.

És doncs amb diferència l'apartat més important del projecte des de el punt de vista de presa de decisions.

## ANNEX E: Informació tècnica

### E.1 Introducció

A continuació es presenten totes les especificacions tècniques dels elements comercials utilitzats en el disseny de l'autoclau, dels quals alguns es fa referència en els càlculs.

La informació és obtinguda directament de catàlegs comercials extrets d'Internet.

### E.2 Materials de construcció

Els materials de construcció són tota la gama de materials emprats en la construcció del autoclau, i que han passat per algun procés de fabricació.

#### E.2.1 Acers especials

Per la construcció del cos, els caps i el cilindre de recirculació, utilitzem aquesta gama d'acers ja que manté les seves propietats mecàniques a altes temperatures. La majoria d'indústries que es dediquen a la fabricació de calderes, utilitzen l'acer P235GH, però a nosaltres ens interessa alleugerà al màxim

l'autoclau, per a que es pugui instal·lar a sobre de qualsevol paviment.

Les propietats d'aquests acers les podem trobar a les taules d'ARCELOR següents:

#### Mechanical properties

Steels with specified properties at elevated temperatures (EN 10028-2:2003)

	Direction	Thickness (mm)	R <sub>e</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>50</sub> (%)	A 5.65√S <sub>0</sub> (%)	KV 20°C (J)	KV 0°C (J)	KV -20°C (J)	KV -40°C (J)	KV -50°C (J)
P235GH AFCS	T	1.5 - 5	≥ 235	360 - 480	-	≥ 24	-	-	-	-	-
		5 - 16					≥ 40	≥ 34	≥ 27		
P265GH AFCS	T	1.5 - 5	≥ 265	410 - 530	-	≥ 22	-	-	-	-	-
		5 - 16					≥ 40	≥ 34	≥ 27		
P295GH AFCS	T	1.5 - 5	≥ 295	460 - 580	-	≥ 21	-	-	-	-	-
		5 - 16					≥ 40	≥ 34	≥ 27		
P355GH AFCS	T	2.3 - 5	≥ 355	510 - 650	-	≥ 20	-	-	-	-	-
		5 - 16					≥ 40	≥ 34	≥ 27		

Fig. E.2.1.a.- Propietats mecàniques.



Mechanical characteristics at high temperature

Steels with specified properties at elevated temperatures (EN 10028-2:2003)

Steel grade	Thickness (mm)	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
P235GH AFCS	1,5 < t ≤ 16	227	214	198	182	167	153	142	133	-	-
P265GH AFCS	1,5 < t ≤ 16	256	241	223	205	188	173	160	150	-	-
P295GH AFCS	1,5 < t ≤ 16	285	268	249	228	209	192	178	167	-	-
P355GH AFCS	2,3 < t ≤ 16	343	323	299	275	252	232	214	202	-	-

Steels for simple pressure vessels (EN 10207:2005)

Steel grade	Thickness (mm)	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
P235S AFCS	1,5 < t ≤ 16	-	171	162	153	135	117	-	-	-	-
P265S AFCS	1,5 < t ≤ 16	-	194	185	176	158	140	-	-	-	-
P275SL AFCS	1,5 < t ≤ 16	-	221	203	-	159	132	-	-	-	-

Weldable fine grain steels, normalised (EN 10028-3:2003)

Steel grade	Thickness (mm)	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
P275NH AFCS	1,5 < t ≤ 16	266	250	232	213	195	179	166	156	-	-
P355NH AFCS	1,7 < t ≤ 16	343	323	299	275	252	232	214	202	-	-

Fig. E.2.1.b.- Propietats mecàniques a temperatures elevades.

## E.2.2 Acers per mecanització

Per la construcció de totes les peces mecanitzades, hem escollit l'acer d'us general C65E i el C25E, en estat de bonificació i aptes pel temple.

Les propietats d'aquests acers les podem trobar a les taules de THYSSENKRUPP següents:

ThyssenKrupp Materials Ibérica Aceros de Construcción

Aceros al carbono

MARCA	SÍMBOLO	DESIGNACIÓN	NORMA VIGENTE	C	Si	Mn	P	S	N	Otros	UNE	AFNOR	DIN
C25E	C25E	1.1158	EN 10083-1	0,25	-	0,55	-	-	-	-	F112 / F 1120	XC 25	Ck 25
C35E	C35E	1.1181	EN 10083-1	0,35	-	0,65	-	-	-	-	F113 / F 1130	XC 32/XC38	Ck 35
C45E	C45E	1.1191	EN 10083-1	0,45	-	0,65	-	-	-	-	F 114 / F 1140	XC 45/XC 48	Ck 45

Fig. E.2.2.a.- Taula d'acers al carboni.

MARCA	DESIGNACIÓN		NORMA VIGENTE	RESISTENCIA ( N/mm <sup>2</sup> ) EN ESTADO BONIFICADO*							NORMAS NACIONALES		
	SIMBÓLICA	NÚMÉRICA		C	Si	Mn	P	S	N	Otros	UNE	AFNOR	DIN
C25E	C25E	1.1158	EN 10083-1	0,25	-	0,55	-	-	-	-	F112 / F 1120	XC 25	Ck 25
C35E	C35E	1.1181	EN 10083-1	0,35	-	0,65	-	-	-	-	F113 / F 1130	XC 32/XC38	Ck 35
C45E	C45E	1.1191	EN 10083-1	0,45	-	0,65	-	-	-	-	F 114 / F 1140	XC 45/XC 48	Ck 45
ESTADO DE SUMINISTRO		RESISTENCIA ( N/mm <sup>2</sup> ) EN ESTADO BONIFICADO*											
		D ≤ 16	16 < D ≤ 40	40 < D ≤ 100	100 < D ≤ 160	160 < D ≤ 250	250 < D ≤ 500						MARCA
	Bruto de laminación	550 - 700	500 - 650	-	-	-	-						C25E
	Bruto de laminación	630 - 780	600 - 750	550 - 700	-	-	-						C35E
	Bruto de laminación	700 - 850	650 - 800	630 - 780	-	-	-						C45E

Fig. E.2.2.b.- Ampliació taula d'acers al carboni.

El material C65E és apte per qualsevol aplicació, gracies a la seves bones propietats mecàniques, és un material que habitualment s'utilitza per les peces de més responsabilitat. Aquest material li podem aplicar un tractament tèrmic per millorar la seva resistència.

## E.3 Selecció de components comercials

En aquest apartat trobarem una selecció, de tots els materials que podem adquirir a empreses especialitzades. Com que ens trobem davant d'un recull molt ampli de components diversos, dividirem aquest apartat en grups de components en funció de la naturalesa del component.


### E.3.1 Tubs i accessoris

En aquest grup trobem tots els components necessaris per a la conducció dels diferents fluids a l'interior de l'autoclau.

#### E.3.1.1 Tubs

Per a recipients a pressió s'utilitza habitualment tubs sense soldadura, per això hem escollit aquesta gama. Utilitzarem tubs d'acer al carboni per a totes les conduccions de l'autoclau i tubs d'acer inoxidable per a les conduccions de líquids com el circuit de refrigeració o l'intercanviador.

A continuació podem veure una taula extreta del catàleg de Tubasol, magatzem de tubs d'acer al carboni, amb els diàmetres, però no amb tots els espessors que podem trobar:




**Dimensiones y pesos de tubos de acero sin soldadura y soldados**  
Según ASME/ANSI B-36.10

Ø nominal pulgadas	Ø nominal mm	Espesores y pesos B-36.10											Espesores y pesos API 5L		
		sch. 10	sch. 20	sch. 30	sch. 40	sch. 60	sch. 80	sch. 100	sch. 120	sch. 140	sch. 160	STD standard	XS extrafuerte	XXS doble extrafuerte	
1/8	10,3				0,36 1,73		0,46 2,41						0,36 1,73	0,46 2,41	
1/4	13,7				0,63 2,23		0,80 3,02						0,63 2,23	0,80 3,02	
3/8	17,1				0,85 2,31		1,10 3,20						0,85 2,31	1,10 3,20	
1/2	21,3				1,26 2,77		1,62 3,73				1,95 4,75		1,26 2,77	1,62 3,73	2,54 7,47
3/4	26,7				1,68 2,87		2,19 3,91				2,89 5,56		1,68 2,87	2,19 3,91	3,63 7,82
1	33,4				2,50 3,38		3,23 4,55				4,23 6,35		2,50 3,38	3,23 4,55	5,45 9,10
1 1/4	42,2				3,38 3,56		4,46 4,85				5,60 6,35		3,38 3,56	4,46 4,85	7,75 9,70
1 1/2	48,3				4,05 3,68		5,40 5,08				7,23 7,14		4,05 3,68	5,40 5,08	9,54 10,16
2	60,3				5,43 3,91		7,47 5,54				11,10 8,73		5,43 3,91	7,47 5,54	13,44 11,07

Fig. E.3.1.1.a.- Taula de tubs d'acer al carboni de TUBASOL.

Pel càlcul de resistència farem servir les dades que ens dona el fabricant. En la taula següent podem consultar les propietats mecàniques dels tubs d'acer.



### Normas de acero, composición química y características mecánicas según normas ASTM

A-179: Tubos sin soldadura, A-214, tubos soldados para usos en condensadores y cambiadores de calor.  
 A-333: Tubos soldados o sin soldadura para usos a bajas temperaturas; De 1/8" a 48" norma ASTM A-530.  
 A-335: Tubos sin soldadura ferríticos para usos a temperaturas elevadas; De 1/8" a 48" norma ASTM A-530.

Material ASTM	Grado	Composición química								Propiedades mecánicas					
		C	Mn	P max.	S max.	Si	Ni	Mo	Cr	Resistencia a la tracción min. MPa o N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico min. MPa o N/mm <sup>2</sup>	% alargamiento en 50,8 mm. mm.			
												Long.	Trans.		
A-335	P1	0,10 a 0,20	0,30 a 0,80	0,025	0,025	0,10 a 0,50		0,44 a 0,65				380	205	30	20
	P2	0,10 a 0,20	0,30 a 0,61	0,025	0,025	0,10 a 0,30		0,44 a 0,65	0,50 a 0,81			380	205	30	20
	P5	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,50 max.		0,45 a 0,65	4,00 a 6,00			415	205	30	20
	P5b	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	1,00 a 2,00		0,45 a 0,65	4,00 a 6,00			415	205	30	20
	P5c	0,12 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,50 max.		0,45 a 0,65	4,00 a 6,00			415	205	30	20
	P9	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,25 a 1,00		0,90 a 1,10	8,00 a 10,00			415	205	30	20
	P11	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,50 a 1,00		0,44 a 0,65	1,00 a 1,50			415	205	30	20
	P12	0,15 max.	0,30 a 0,61	0,025	0,025	0,50 max.		0,44 a 0,65	0,90 a 1,25			415	220	30	20
	P15	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	1,15 a 1,65		0,44 a 0,65				415	205	30	20
	P21	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,50 max.		0,90 a 1,06	2,65 a 3,35			415	205	30	20
	P22	0,15 max.	0,30 a 0,60	0,025	0,025	0,50 max.		0,87 a 1,13	1,90 a 2,60			415	205	30	20
	P91	0,08 a 0,12	0,30 a 0,60	0,020	0,010	0,20 a 0,50		0,85 a 1,05	8 a 9,50	V 0,18 a 0,25 N 0,03 a 0,07 Ni 0,40 max. Al 0,04 max. Nb 0,06 a 0,10		585	415	20	

Fig. E.3.1.1.b.- Taula de característiques mecàniques, dels tubs d'acer al carboni de TUBASOL.

A continuació podem veure una taula extreta del catàleg de Hastinik, magatzem de tubs d'acer inoxidable, amb els diàmetres i espessors que podem trobar:



## Gama ASTM

### Tubos soldados y sin soldadura

Dimensiones según ASME / ANSI B 36.19 y B 36.10  
Pesos lineales en lbs/pie y Kg/metro.

Diámetro D	Schedule 5 S			Schedule 10 S		Schedule 40 S/STD		Schedule 80 S/XS		Schedule 160		Schedule XXS	
	Exterior	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso	Espesor T	Peso
	Pulgadas nominales	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas
	mm	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
1/4"	0.540			0.065	0.33	0.088	0.43	0.119	0.54				
	13,72			1,65	0,49	2,24	0,64	3,02	0,80				
3/8"	0.675			0.065	0.42	0.091	0.57	0.126	0.74				
	17,15			1,65	0,63	2,31	0,85	3,20	1,11				
1/2"	0.840	0.065	0.54	0.083	0.68	0.109	0.86	0.147	1.10	0.188	1.32		
	21,34	1,65	0,81	2,11	1,01	2,77	1,28	0,73	1,64	4,78	1,97		
3/4"	1.050	0.065	0.69	0.083	0.87	0.113	1.14	0.154	1.49	0.219	1.97	0.308	2.48
	26,67	1,65	1,03	2,11	1,30	2,87	1,71	3,91	2,23	5,56	2,94	7,82	3,70
1"	1.315	0.065	0.88	0.109	1.42	0.133	1.70	0.179	2.20	0.250	2.88	0.358	3.71
	33,40	1,65	1,31	2,77	2,12	3,38	2,54	4,55	3,28	6,35	4,29	9,09	5,53
1 1/4"	1.660	0.065	1.12	0.109	1.83	0.140	2.31	0.191	3.04	0.250	3.82	0.382	5.29
	42,16	1,65	1,67	2,77	2,73	3,56	3,44	4,85	4,53	6,35	5,70	9,70	7,89
1 1/2"	1.900	0.065	1.29	0.109	2.11	0.145	2.76	0.200	3.67	0.281	4.93	0.400	6.51
	48,26	1,65	1,92	2,77	3,16	3,68	4,11	5,08	5,49	7,14	7,36	10,16	9,70
2"	2.375	0.065	1.62	0.109	2.68	0.154	3.70	0.218	5.09	0.343	7.57	0.436	9.16
	60,33	1,65	2,42	2,77	3,99	3,91	5,52	5,54	7,59	8,71	11,26	11,07	13,64
2 1/2"	2.875	0.083	2.51	0.120	3.58	0.203	5.88	0.276	7.77	0.375	10.16	0.552	13.90
	75,75	2,11	3,74	3,05	5,34	5,16	8,76	7,01	11,58	9,52	15,14	14,02	20,70

Fig. E.3.1.1.c.- Taula de tubs d'acer inoxidable de HASTINIK.

Tabla indicativa de las presiones máximas de operación a una temperatura de 20°C para tubos soldados, según las normas siguientes:

DIN 17457 - 11850; NFA 49147 - 49247 - 49249; ASTM A 249 - A 269 - A 270

Diámetro mm	Espesor mm	AISI 304-321 316 Ti Kg/cm²	AISI 304L-316L Kg/cm²
60,3	2	58	48
60,3	2,6	75	62
60,3	2,9	84	69
60,3	3,2	92	77
60,3	3,6	104	86
70	1,5	37	31
70	2	50	41

Fig. E.3.1.1.d.- Taula amb les pressions màximes, per a tubs d'acer inoxidable de HASTINIK.

### E.3.1.2 Accessoris

Els accessoris que hem d'adquirir, per muntar als tubs que hem seleccionat en l'apartat anterior, bàsicament son 2: brides, enllaços i ràcords.

#### E.3.1.2.1 Brides

Les brides son els elements que permeten unir, una instal·lació amb una altre, mitjançant cargols. En funció del materials dels tubs i del diàmetre, escollim de les taules següents les brides més adients:

A continuació podem veure una taula extreta del catàleg de Tubasol, magatzem de tubs d'acer al carboni, amb la relació de brides que podem trobar:

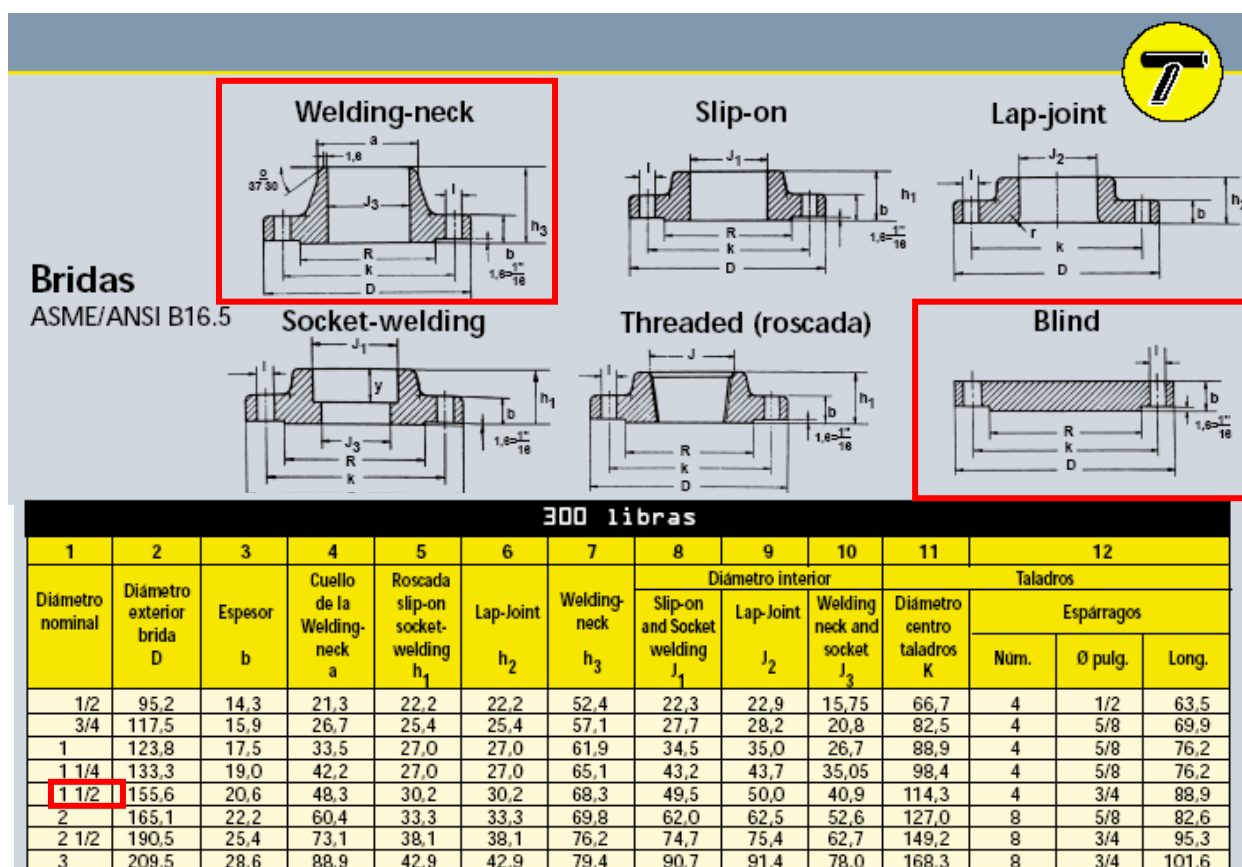


Fig. E.3.1.2.1.a.- Taula de selecció de brides d'acer al carboni, TUBASOL.

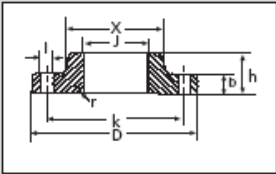
Hem escollit les brides amb la mateixa norma que hem utilitzat per la selecció dels tubs. Ja que els càlculs els hem fet seguint el mètode proposat per ASME, escollim també els

materials que fan referència a la norma ASME, que al ser una norma de gran acceptació, no tenim cap problema per aconseguir el material necessari.

A continuació podem veure una taula extreta del catàleg de Hastinik, magatzem de tubs d'acer inoxidable, amb els diàmetres i pressions nominals que podem trobar:

### Bridas lap-joint de acero inoxidable

ASME / ANSI B 16.5



Lap-joint - ANSI 300 Lbs										
Diámetro nominal	Brida					Cuello x mm	Taladros			Peso aprox Kg
	D mm	J mm	b mm	h mm	r mm		Número	I mm	K mm	
1/2"	95,20	22,90	14,30	22,20	3,20	38,10	4	15,75	66,70	0,90
3/4"	117,50	28,20	15,90	25,40	3,20	47,60	4	19,05	82,50	1,40
1"	123,80	35,0	17,50	27,00	3,20	54,00	4	19,05	88,90	2,40
1 1/4"	133,30	43,70	19,10	27,00	4,80	63,50	4	19,05	98,4	1,80
1 1/2"	155,60	50,00	20,60	30,20	6,30	69,80	4	22,35	114,3	2,70
<b>2"</b>	165,10	62,50	22,20	33,30	7,90	84,10	8	19,05	127,0	3,20
2 1/2"	190,50	75,40	25,40	38,10	7,90	100,00	8	22,35	149,2	4,50
3"	209,50	91,40	28,60	42,90	9,50	117,50	8	22,35	168,3	5,90

Fig. E.3.1.2.1.b.- Taula de selecció de brides d'acer inoxidable, HASTINIK.

### E.3.1.2.2 Enllaços

Una de les premisses que ens hem proposat al principi de dissenyar el nostre autoclau, és que tots els elements es puguin desmuntar, sobretot per facilitar les operacions de manteniment. Seguint aquesta filosofia, l'intercanviador que hem muntat a l'interior, es pot muntar i desmuntar gràcies a dos enllaços d'acer inoxidable.

A la taula següent podem observar el model que hem escollit per la nostra aplicació:

### Accesorios forjados de acero inoxidable

ASME / ANSI B 16.11 - Enchufe y soldadura (S.W)



		Pulg.	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	<b>2"</b>
3.000 LB	A (mm)		44,5	47,5	54,0	58,5	63,5	71,5	79,5	92,0
	B (mm)		22,0	25,5	32,0	38,0	44,5	57,0	63,5	76,0
	D (mm)		14,0	17,5	21,7	27,1	33,8	42,6	48,7	61,1
	E (mm)		9,5	11,0	12,5	14,5	16,0	17,5	19,0	22,0
	Peso-Kg/100		22,5	34,0	39,0	48,0	66,0	115,0	142,0	245,0

Análisis químico, ver tabla página 102.

Fig. E.3.1.2.2.- Taula de selecció d'enllaços d'acer inoxidable, HASTINIK.

### E.3.1.2.3 Ràcords

Per a connectar diferents tipus de vàlvules, l'entrada de pressió o bé el sensor de pressió, s'incorporen una sèrie de manguitos d'acer al carboni. A continuació podem veure una taula de selecció del catàleg de TUBASOL.

Manguitos forjados EN-10241			
Paso Nominal DN	Diámetro	Diámetro exterior $d_2$ ISO mínimo	Longitud l mín.
10	3/8	21,3	26
15	1/2	26,4	34
20	3/4	31,8	36
25	1	39,5	43
32	1 1/4	46,3	48
40	1 1/2	54,5	48
50	2	66,3	56
65	2 1/2	82,0	65
80	3	95,0	71
100	4	122,0	83
125	5	147,0	92
150	6	174,0	92

Fig. E.3.1.2.3.- Taula de selecció de manguitos, TUBASOL.

### E.3.2 Caps torisferics

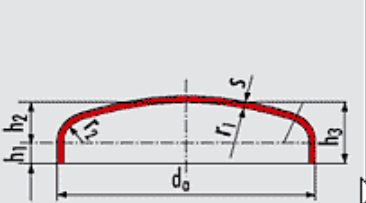
Els caps torisferics es compren ja conformats amb l'espessor desitjat, amb el diàmetre que és demani i amb qualsevol material, ja que aquest tipus d'element es fabrica en funció de les necessitats del client.

Les dades que és necessiten per demanar els caps a SLAWINSKI & Co. GmbH, son:

Material = Acer especial per elements a pressió P355GH.

$D_0 = 2044$  mm.

Espessor = 22 mm.



Fonds GRC selon DIN 28011

$r_1 = d_0$   
 $r_2 = 0,1 d_0$   
 $h_1 = 3,5 s$   
 $h_2 = 0,1935 d_0 - 0,455s$   
 $h_3 = h_1 + h_2$

#### INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

- [Fonds torosphériques selon DIN 28011 GRC](#)
- [Fonds bombés selon DIN 28013](#)
- [Fonds semi-elliptiques 2:1 et 1,9:1](#)
- [Fonds normalement ou profondément bombés](#)
- [Fonds plats](#)
- [Fonds à brides](#)
- [Calottes bombées](#)
- [Fonds de réservoirs PRC](#)

Fig. E.3.2.- Taula amb informació sobre els caps torisferics .

### E.3.3 Accionament

Per accionar la turbina, que fa recircular l'aire a l'interior de l'autoclau, escollim un motor de 6 pols, que és el model que ens recomana el fabricant.


A continuació la taula de selecció de motors amb 6 pols de LEROY-SOMER:

## Moteurs asynchrones triphasés fermés

### LS

### Sélection

IP 55 - 50 Hz - Classe F - ΔT 80 K - 230 V Δ / 400 V Y - S1



Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Moment nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Masse
	$P_N$ kW	$N_N$ min <sup>-1</sup>	$M_N$ N.m	$I_N$ (400 V) A	cos φ 100%	η 100%	$I_D / I_N$	IM B3 kg
LS 63 M	0,09	860	0,9	0,46	0,8	35	2,1	5,5
LS 63 M <sup>f</sup>	0,09	905	0,9	0,45	0,66	48	2,6	5,5
LS 71 M	0,12	920	1,3	0,64	0,65	49	2,9	6,5
LS 71 M	0,18	895	1,8	0,81	0,62	52	2,7	7,6
LS 71 L	0,25	840	2,6	1	0,7	50	2,5	7,9
LS 80 L	0,25	955	2,5	0,85	0,67	63,1	3,9	8,4
LS 80 L	0,37	950	3,7	1,1	0,72	66	4,3	9,7
LS 80 L	0,55	950	5,5	1,8	0,64	68	4,9	11
LS 90 S	0,75	930	7,7	2,1	0,77	66,5	4,2	13,5
LS 90 L	1,1	915	11,5	3	0,76	70	4,7	15,2
LS 100 L	1,5	905	15,8	4,2	0,74	69	4,5	20
LS 100 L	1,8	925	18	4,4	0,76	75	5,4	21
LS 112 M	2,2	905	23,2	5,8	0,76	72	5,6	24,2
LS 132 S	3	957	30,3	6,8	0,78	81,1	6	38,3
LS 132 M	4	961	39,6	9,3	0,75	83,6	5,9	53,3
LS 132 M	5,5	960	54,2	13,3	0,71	84,1	5,5	59,4

Fig. E.3.3.- Taula de motors de 6 pols de LEROY-SOMER.

### E.3.4 Estanquitat

Per assegurar l'estanquitat entre els elements susceptible de patir una fuga, hem de muntar elements capaços d'adaptar-se a les superfícies de contacte i que puguin suportar les dures condicions de càrregues a les que estaran sotmeses.

L'autoclau consta de dos elements vitals per complir aquesta finalitat: l'empaquetadura i la junta de la porta.



### E.3.4.1 Empaquetadura

És l'encarregada d'assegurar l'estanquitat en l'eix rotatori, aquest eix travessa el cap per transmetre el moviment des de l'accionament fins a la turbina.

En el mercat hi ha una gran quantitat de materials i trenats per empaquetadures, nosaltres escollirem una, capaç de treballar en un ambient tan hostil com és el nostre. Tot seguit, podrem veure la fitxa tècnica de l'empaquetadura que hem seleccionat de ICPCALVO:

**ICP 925 TE**



	bomba centrífuga	vàlvula	bomba de pistón
Pres. BAR	80	-	-
Vel. m/s	25	-	-
pH	0 - 14		
Temp. °C	-100 +650		

ICP 925 TE. Empaquetadura trenada con sistema intertrenzado a base de cintas de grafito expandido de alta pureza teflonado con bajo contenido en cloruro e inhibidor de corrosión.

**CARACTERÍSTICAS / APLICACIONES**

- Especialmente diseñada para aplicaciones generales en condiciones de alta temperatura, bombas centrífugas, agitadores, etc.
- Resistente al ambiente marino.
- Muy buena adaptabilidad.
- Empaquetadura autolubrificante.
- Color Negro.

**FORMATOS**

mm.	4	5	6	6,4	8	10	11	12	12,7	14	16	18	19	20	22	25
inches		3/16		1/4	5/16	3/8	7/16		1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	1
Gr / mt.*	15	35	50	55	60	110	140	160	190	220	300	330	375	400	450	600
Mt / Rollo	100	43	30	27	42	23	18	15	13	18	13	12	10	10	9	6
Kg. / Rollo	+/- 1,5 Kg. / Rollo			+/- 2,5 kg./ Rollo				+/- 4 Kg. / Rollo								

FICHA TÉCNICA

Fig. E.3.4.1.- Fitxa tècnica de empaquetadura ICP 925 TE de ICPCALVO.

Per calcular la secció més adequada per l'eix i la longitud correcta de corda que hem de tallar, podem fer servir les fórmules:

$$S_{empaquetadura} = 1.6 \cdot (D_{eix})^2$$

$$L_{empaquetadura} = (D_{eix} + (1.5 \cdot S_{empaquetadura})) \cdot \pi$$

Però seguint els consells del fabricant, per un eix de 50 mm de diàmetre i amb les condicions de pressió i temperatura de l'autoclau, hem de muntar 5 anells de 12 mm de secció.

### E.3.4.2 Junta de Viton

Una de les decisions més crítiques de l'autoclau, ha estat la d'escollir el tipus de junta per assegurar l'estanquitat, quan la porta esta en posició tancada. Finalment ens hem decidit per una junta de Viton, que és el material més adequat per les condicions de pressió i temperatura de l'autoclau. La geometria de la junta ens l'ha dissenyaria l'empresa Erika, ja que no existeixen juntes Standard per aquests diàmetres.

Els diàmetres de les juntes i el tipus d'acabat son les dades que s'han de facilitar, en el nostre cas:

$D_{interior} = 2020 \text{ mm.}$

Secció = 12 mm.

Acabat en L, amb xamfrà de  $26.5^\circ$ .

### E.3.5 Turbina

Per fer recircular l'aire, hem escollit una turbina centrífuga de la sèrie MBRH de CASALS VENTILACIÓ, que és una turbina especialment concebuda per la recirculació de gasos en forns. Hem de demanar només la turbina, que també es pot adquirir per separat.



Fig. E.3.5.a.- Sèrie que hem escollit per recircular l'aire, CASALS VENTILACIÓ.

**SERIE TRIFÁSICA / THREE PHASE / SÉRIE TRIPHASÉE / DREIPHASIG**

Model	R.P.M max.	I max. (A)			Kw	m³/h	dB (A)
		230	400	690			
MBRH 403 T4 1	1.360	3,74	2,16	-	0,75	5.400	67
MBRH 452 T4 1,5	1.400	4,87	2,81	-	1,1	7.650	70
MBRH 454 T4 2	1.400	6,32	3,65	-	1,5	8.500	73
MBRH 504 T4 3	1.400	9,2	5,31	-	2,2	10.800	75
MBRH 561 T4 4	1.400	11,53	6,66	-	3	13.500	77
MBRH 562 T4 5,5	1.420	17,1	9,86	-	4	17.000	79
MBRH 631 T4 7,5	1.420	-	13,14	7,3	5,5	19.000	80
MBRH 713 T4 10	1.410	-	16,5	9,5	7,5	24.200	82
MBRH 712 T4 15	1.440	-	21	12,1	11	27.000	84
MBRH 712 T4 20	1.450	-	28,4	16,4	15	34.200	85
MBRH 801 T4 25	1.420	-	35,2	20,35	18,5	38.200	86
MBRH 802 T4 30	1.430	-	42,4	24,5	22	47.500	88
MBRH 901 T4 40	1.460	-	54,8	31,68	30	50.000	90
MBRH 901 T4 50	1.460	-	65,4	37,8	37	54.000	92
MBRH 901 T4 60	1.460	-	78,9	45,6	40	68.500	94
MBRH 403 T6 1/2	910	2	1,2	-	0,37	4.500	63
MBRH 454 T6 1	908	4,1	2,4	-	0,75	5.300	66
MBRH 503 T6 1,5	930	6	3,5	-	1,1	6.200	67
MBRH 634 T6 3	940	9,1	5,3	-	2,2	13.500	70
MBRH 713 T6 4	955	12,1	7	-	3	17.000	73
MBRH 714 T6 5,5	955	15,7	9,1	-	4	21.600	76
MBRH 803 T6 10	955	-	15,2	8,7	7,5	27.000	78
MBRH 804 T6 15	965	-	22,9	12,7	11	30.600	81

Fig. E.3.5.b.- Taula de models de la sèrie anterior, CASALS VENTILACIÓ.

**E.3.6 Resistència elèctrica**

Com que no hem trobat un model Standard, que ens anés bé per la nostra aplicació. Hem decidit dissenyar nosaltres mateixos la geometria de la resistència, però seguint els mateixos paràmetres que les resistències Standard. La resistència fa 500x300 mm i utilitzem un diàmetre de tub de 10 mm, amb aquestes mides i tenint en compte que la càrrega superficial que ens recomanen és de 3 W/cm², obtenim una potència calorífica de 5000 W. Aquesta potència l'hem determinat a l'annex D: CFD Design.

**3. RESISTENCIAS BLINDADAS TIPO DOBLE "M" Y TIPO HORQUILLA**

Elementos especialmente estudiados para el calentamiento de gases a temperaturas elevadas. Admiten una temperatura máxima del aire de 400°C con circulación forzada mínima de 3 m³/s. Su especial constitución sin aletas permite obtener una eficaz circulación de aire sin prácticamente pérdida de carga, como al mismo tiempo le permite soportar altas temperaturas y resistir agresiones de tipo químico.

**Aplicaciones:** Para hornos industriales, estufas, baterías, etc.

**Materiales:** Tubo de acero inox 304 de Ø 10 mm. Racores pinzados Ø 14/150.

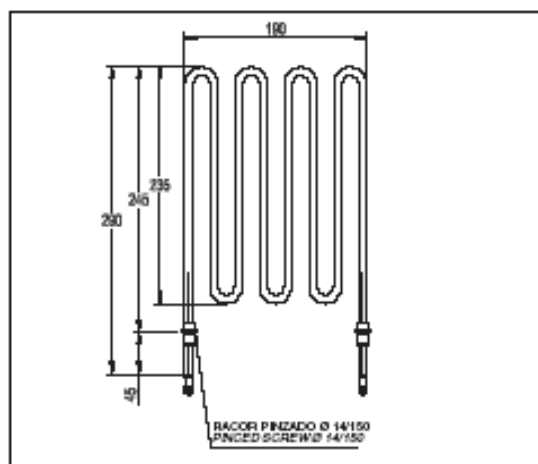


Fig. E.3.6.- Taula amb el model de resistència escollit de base.

### E.3.7 Calorifugat

Per aïllar tèrmicament l'autoclau fem servir la llana de roca de densitat mitja. Els càlculs d'espessor els hem fet amb el programa de càlcul de la casa ISOVER i amb el programa de fluids computacional, CFD Design. A continuació podem veure les especificacions tècniques de la llana de roca que hem triat amb totes les seves propietats, incloses les acústiques.

**Calorifugado de grandes tuberías, calderas, hornos y equipos** **ROCLAINE**

**Descripción**

Manta de lana de roca con malla metálica de acero galvanizado por su cara exterior. Pueden incorporarse entre la manta y el soporte otros complejos a petición (velo, lámina de aluminio, etc.)

**Aplicaciones**

- Aislamiento térmico:
- Equipos en general.
  - Tuberías de gran diámetro.
  - Hornos.
  - Calderas.
  - Transporte de fluidos.
  - Construcción naval.

**Dimensiones**

Espesor (mm)	Largo (m)	Ancho (m)
40	6,00	1,00
50,60,70	4,00	1,00
80,100,120	2,50	1,00

También en anchos de 1,20. Consultar.

**Temperatura límite de empleo**

700 °C en régimen continuo.

**Dilatación y contracción**

Material totalmente estable.

**Reacción al fuego**

Clasificación M0 (no combustible). Según UNE 23.727.

No combustible según IMO. Resolución A.799 (19) ☉.

No combustible según B.S.

Cubierta clase A-60 ☉.

Mamparo clase A-60 ☉.

**Comportamiento al agua**

No hidrófilo.

**Corrosión**

No corrosivo.

Según norma ASTM C-795, C-871.

Según Regulatory Guide 1:36.

**Densidad aproximada**

100 kg/m³.

**Absorción acústica**

Coeficiente de absorción $\alpha$ Sabine							
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000	
Espesor (mm)	50	0,22	0,62	0,90	0,90	0,89	0,95
	60	0,32	0,73	0,93	0,91	0,97	0,97
	70	0,42	0,82	0,93	0,91	0,99	0,98
	80	0,51	0,93	0,93	0,93	0,98	0,98

**Conductividad térmica W/(m·K)**

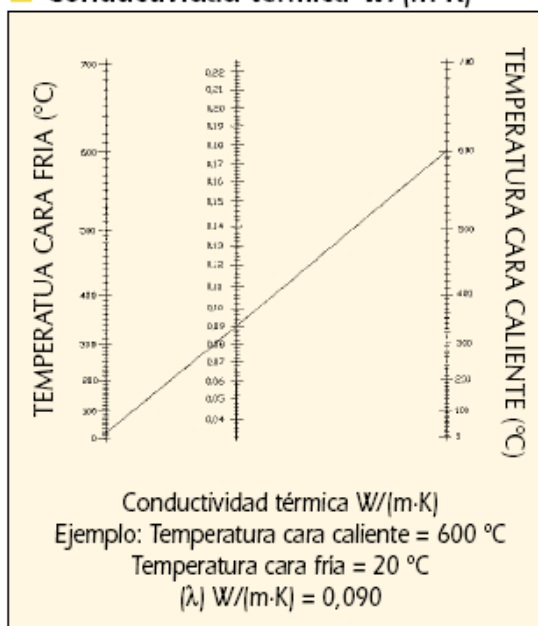


Fig. E.3.7.b.- Taules amb les principals propietats de llana.

Fig. E.3.7.a.- Especificacions tècniques de la manta, de llana de roca Spintex 342-G-100.

### E.3.8 Elements de transmissió

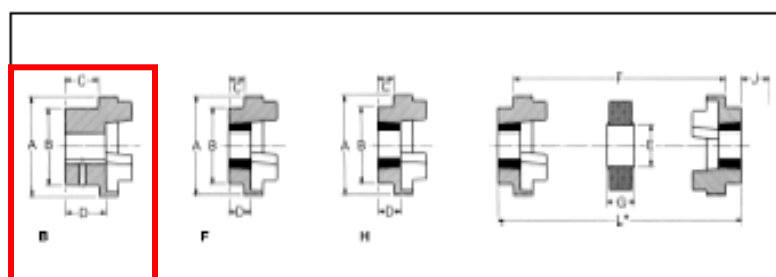
Aquests són els elements encarregats de transmetre el moviment amb suavitat, des de l'accionament fins a la turbina i de la turbina a l'accionament.

#### E.3.8.1 Acoblament

Element necessari per aïllar les vibracions en totes direccions, inclosos els desalineaments. Hem escollit aquest, que és un compromís i permet un muntatge fàcil. També permet fer un canvi ràpid d'elastòmer en cas de ruptura.

Tot seguit una taula amb els diferents models d'acoblament de la JAW SERIE LOVEJOY

### DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS



#### DIMENSIONES

TIPO	DIMENSIONES					TIPO F A H					TIPO B					
	A	B	E	F±	G	TAPER	AGUJER	BUJH	MAX(mm)	C	D	J±	AGUJERO		C	D
	Mis.	Mr.	Mis.	Mr.												
70	89	60	31	25	19	1008	25	20,0	23,5	29	32	0	M 6	20	23,5	
90	85	70	33	30,5	22,5	1108	28	18,5	23,5	32	40	0	M 6	26	30	
110	112	100	45	45	28	1810	42	18,5	26,5	38	55	0	M10	37	45	
130	130	105	50	53	38	1810	42	18,0	26,5	38	60	0	M10	39	47,5	
150	150	115	62	60	40	2012	50	23,5	33,5	42	70	0	M10	46	58	
180	180	125	77	73	49	2517	60	34,5	46,5	48	80	0	M10	58	70	
230	225	155	99	85,5	64,5	3020	75	38,5	52,5	55	100	48	M12	77	90	
280	275	206	118	106,5	74,5	3525	100	51,0	66,5	67	115	60	M16	90	106,5	

#### CARACTERÍSTICAS

TIPO	LONGITUD			MASA (Kg)	INERCIA (Kg·m²)	RIGIDEZ (Nm/°)	MAXIMA DESALINEACION		PAR (Nm)
	FF, FH, HH	FB, HB	BB				Paralel	Adel.	
70	85	65	65	1,00	0,00096	-	0,3	+0,2	31
90	89,5	76	82,5	1,17	0,00115	-	0,3	+0,5	80
110	82	100,5	118	5,00	0,00400	65	0,3	+0,6	180
130	89	110	131	5,46	0,00780	130	0,4	+0,8	315
150	107	128,5	152	7,11	0,01810	175	0,4	+0,9	600
180	142	165,5	189	16,6	0,04340	228	0,4	+1,1	950
230	164,5	202	231,5	26,0	0,12088	587	0,5	+1,3	2000
280	207,5	246,5	285,5	90,0	0,44953	1095	0,5	+1,7	3160

Fig. E.3.8.1.- Especificacions tècniques i geomètriques de l'acoblament.

### E.3.8.2 Rodaments

Els rodaments que hem escollit no son el típics de la sèrie 6200, hem preferit escollir uns de la sèrie 6300 que son de major diàmetre i d'aquesta manera alleugerem el pes del suport - eix.

A la figura de sota podem consultar les característiques tècniques, dels rodaments que hem escollit del fabricant FAG:

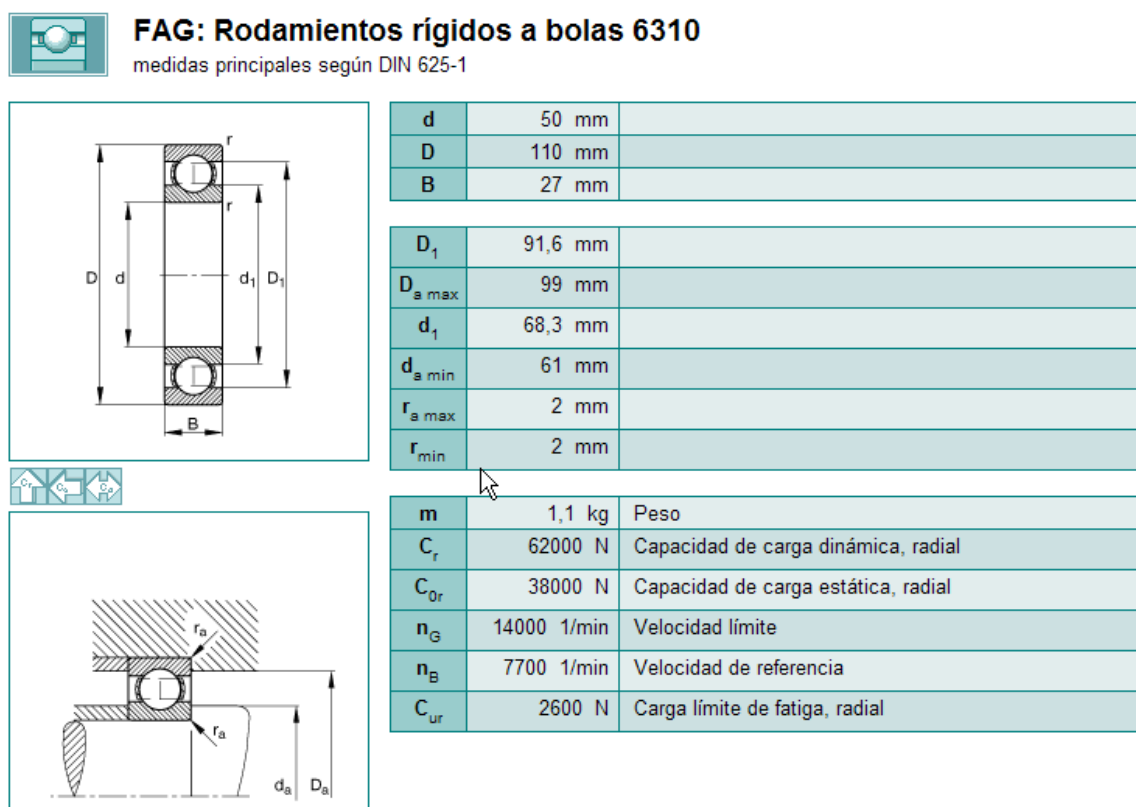


Fig. E.3.8.2.- Especificacions tècniques i geomètriques del rodament 6310 de FAG.

### E.3.9 Elements de control

En aquesta categoria tenim una selecció de tots els elements, que intervenen en el procés de recollida de la senyal de termoparell, per portar-la a l'exterior per a poder-la processar. Això requereix d'un sistema per a l'entrada i sortida de la senyal i de un element que permeti connectar els termoparells a l'interior de l'autoclau.

Dividirem aquest apartat en dos, dispositiu E/S i Connector.

### E.3.9.1 Dispositiu E/S

Un dels grans reptes que ens hem proposat a l'inici de l'autoclau, ha estat trobar una solució convincent al problema de treure informació del interior de la màquina. Després d'una llarga exploració, hem trobat una solució Standard de gran qualitat i que ens permet extreure 16 fils per una sola obertura. A continuació podem veure un recull d'informació sobre aquest element:



**Conax**  
Buffalo Technologies

**Model Selection Guide**

Model	Diameter	1	2	3	4	6	8	16
MH01	000		X		X			
	002		X		X			
	002	X						
MH02	000		X		X			
	002		X		X			
	040		X		X			
MH04	002					X	X	
	040					X	X	
	002	X	X	X				
MH05	002					X	X	X
	002					X	X	
	125	X						

**Torque (ft-lbs)**

Catalog Number	Neoprene	Viton	Teflon	Lava	Grafol
MHC1	20-25	20-25	20-25	30-35	25-30
MHC2-030	25-30	25-30	30-35	40-45	35-40
MHC2-032	25-30	25-30	30-35	40-45	35-40
MHC2-040	25-30	25-30	30-35	40-45	40-45
MHC2-062	25-30	25-30	30-35	40-45	40-45
MHC4	45-50	45-50	50-55	125-140	90-100
MHC5	75-85	75-85	75-85	200-220	150-165

*All torque ratings were determined at 68° F (20° C) using stainless steel rod as the element.*

*For proper assembly of these sealing glands, see the Assembly Instructions provided on page 156.*

**Sealant Selection Guide**

Material	Temperature Range
Lava (L)	-300° F to +1600° F (-185° C to +870° C)
Teflon (T)	-300° F to +450° F (-185° C to +232° C)
Neoprene (N)	-40° F to +200° F (-40° C to +93° C)
Viton (V)	-10° F to +450° F (-23° C to +232° C)
Grafol (G)	-400° F to +965° F in air, +3000° F in inert or reducing atm., (-240° C to +495° C in air, +1650° C in inert or reducing atm.)



Fig. E.3.9.1.a.- Selecció del tipus de cablejat.

Catalog Number	Diameter of Probe (inches)	Number of Probes	Length A	Length B	Hex Size Body (Cap)*	Neoprene	Viton	Pressure Rating (PSIG)	Teflon	Lava	Grafol
<b>Standard 3/4 NPT</b>											
MHC5-002-16	0.032	16	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	8000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5-062-6	0.062	6	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5-062-8	0.062	8	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
MHC5-125-2	0.125	2	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	3000	4000	6000	10,000	10,000	10,000
<b>MHC5 with Optional 1/2 NPT</b>											
MHC5PTM4-032-16	0.032	16	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	8000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5PTM4-062-6	0.062	6	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5PTM4-062-8	0.062	8	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
MHC5PTM4-125-2	0.125	2	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	3000	4000	6000	10,000	10,000	10,000
<b>Weld Neck Mount (Weld Neck Length 0.79", Diameter 1.050)**</b>											
MHC5SWM5S316L-032-16	0.032	16	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	8000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5SWM5S316L-062-6	0.062	6	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5SWM5S316L-062-8	0.062	8	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
MHC5SWM5S316L-125-2	0.125	2	2-7/8"	3-5/8"	1-1/4 (1-1/2)"	3000	4000	6000	10,000	10,000	10,000
<b>SAE 7/8-14 Thread Mount (normally MS)</b>											
MHC5MSE10-032-16	0.032	16	3"	3-3/4"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	8000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5MSE10-062-6	0.062	6	3"	3-3/4"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	8000	10,000	10,000	10,000
MHC5MSE10-062-8	0.062	8	3"	3-3/4"	1-1/4 (1-1/2)"	8000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
MHC5MSE10-125-2	0.125	2	3"	3-3/4"	1-1/4 (1-1/2)"	3000	4000	6000	10,000	10,000	10,000

Fig. E.3.9.1.b.- Especificacions tècniques de l'element.

### E.3.9.2 Connectors

El cablejat que hem passat a l'interior de l'autoclau el connectarem a un panell que instal·larem al seu interior. En aquest panell collarem una sèrie de connectors femella que ens permetran connectar i desconectar els termoparells cada vegada que es cregui convenient.

## Conectores para Termopares y sondas Pt100

### Conectores Miniatura para Termopar

Estos conectores miniatura de pines planos son ideales para conectar termopares a cables de extensión o compensación. La polaridad de los pines está identificada mediante su símbolo. Se pueden utilizar para temperaturas máximas de 210°C, 350°C ó 650°C dependiendo del modelo.

Disponemos de conectores macho, hembra, panelables y de 3 pines así como de paneles de conectores. También suministramos protectores de neopreno (botas) para una mayor protección del conector en ambientes húmedos así como grapas para la fijación del cable y una amplia gama de accesorios.

- Rango de temperatura: 210°C, 350°C ó 650°C dependiendo del modelo
- Apto para diámetros de cable hasta 0.6mm
- Cumplen con la normativa IEC 60343: 1989 en cuanto a código de colores: verde (tipo K), marrón (tipo T), negro (tipo J), rosa (tipo N) y naranja (tipo RCA/SCA)
- Dimensiones: Macho: 19x16x8mm (largo x ancho x alto) con pines de 12mm de longitud. Hembra: 26x16x8mm (largo x ancho x alto). Hembra panelable de mismas dimensiones que el conector hembra pero con frontal biselado y una pestaña para conexión con el panel.
- Disponemos de adaptadores de cable, protectores de neopreno (botas) y otros accesorios.

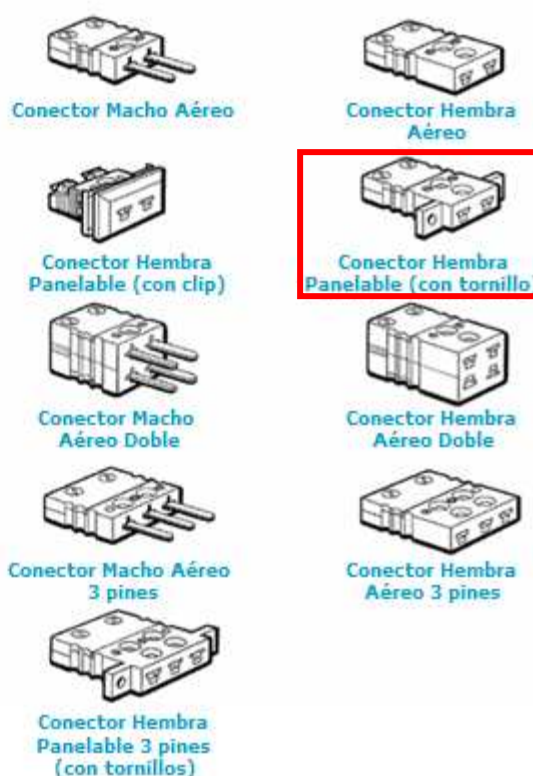


Fig. E.3.9.2.- Especificacions tècniques del s connectors.

### E.3.9.3 Vàlvules

Tant les vàlvules de descàrrega, com les de seguretat, que munta el nostre autoclau, seran subministrades per un fabricant amb llicència pel tarat correcte de les vàlvules.



## **ANNEX F: Expedient tècnic de seguretat**

### **F.1 Introducció**

A continuació es presenta l'expedient tècnic de seguretat de l'autoclau pel processament de materials compòsits. Aquest expedient es realitza seguint les indicacions de la directiva de màquines 98/37/CE.

### **F.2 Informació general**

#### **F.2.1 Identificació de la màquina**

La màquina que estem projectant és un autoclau pel processament de materials compòsits. Està format per un cos cilíndric, que conté la pressió que es genera en el seu interior. Per accedir a l'interior de l'autoclau, aquest disposa d'una gran comporta del mateix diàmetre que el cos principal. L'autoclau es recolza al terra mitjançant dos suports collats al terra. Els elements que formen la nostra màquina els podem dividir depenent de la funció que facin en 4 grups: elements específics, com l'interior de l'autoclau, especialment condicionat pel curat de materials compòsits, elements funcionals com l'accionament, els elements de seguretat com les vàlvules de descàrrega i per últim els elements de control com els sensors o termoparells.

#### **F.2.2 Ús correcte de la màquina**

La màquina per el seu bon ús, haurà de ser utilitzada per el personal que prèviament s'hagi llegit el manual d'instruccions que es redacta a l'annex G: Manual d'instruccions. Per el correcte funcionament de la màquina s'haurà de revisar periòdicament els elements més importants que la formen, així com la inspecció exhaustiva dels elements que formen part de la seguretat de la màquina per evitar qualsevol intent de manipulació o el deteriorament prematur d'aquests.

### **F.2.3 Lloc de treball del operari**

L'operari una vegada hagi iniciat el protocol d'encesa, ja pot iniciar el programa de curat. La màquina, una vegada iniciat el programa de curat, és totalment autòmat fins al final del programa, la durada de la jornada es envoltant de 8 hores. Durant aquest període de temps l'operari pot efectuar altres feines a altres punts de la fàbrica.

## **F.3 Requisits essencials de seguretat i salut**

Degut als possibles perills derivats al funcionament de l'autoclau, la màquina haurà de complir tots els requisits de seguretat i salut que s'anomenen a continuació. Aquests requisits són extrets de la directiva de màquines 98/37/CE. Annex 1, els que s'argumenten aquí són els que poden ser ocasionat pel funcionament de l'autoclau. Tots els requisits que no s'argumenten queden fora del perill de la màquina.

### **F.3.1 Generalitats**

#### **Principis d'integració de la seguretat (1.1.2)**

Aquesta màquina ha estat fabricada per a realitzar la seva funció sense que les persones s'exposin a risc algun, sempre que es realitzin les operacions segons les condicions previstes.

La màquina ha estat dissenyada i fabricada eliminant tots els perills en mesura del possible, s'han adoptat mesures de protecció contra els que no s'han pogut eliminar, i s'informa amb antelació, a un possible usuari, de qualsevol perill residual.

### **F.3.2 Comandaments**

#### **Dispositiu de parada (2.1.4)**

La màquina va preparada amb un polsador que provoca una parada total del sistema.

Per a una possible parada d'emergència la màquina va preparada amb 2 polsadors, indicats clarament com a tals, que al polsar-los, provoquen una parada de tot el sistema i de l'alimentació d'energia a aquest. Un cop eliminat el perill, s'haurà de desbloquejar el dispositiu de parada manualment, fet que no posarà en marxa la màquina novament, si no

que permetrà que aquesta reinici el seu funcionament fent prèviament la posta en marxa corresponent.

### **F.3.3 Mesures de protecció contra riscos mecànics**

#### **Elecció de la protecció contra riscos relacionats amb elements mòbils (1.3.8)**

##### **A. Elements mòbils de transmissió**

Els elements de transmissió com són engranatges, politges i corretges van subjectats sòlidament i de manera que es necessitin eines per a desmuntar-los a la màquina. Aquests elements mòbils van protegits amb les seves corresponents carcasses. Aquestes carcasses, no obstant, no impedeixen qualsevol tipus d'operació de manteniment o manutenció.

Durant les operacions de manteniment, en que es podrà accedir als esmentats elements mòbils, hi haurà un dispositiu que impedirà el funcionament d'aquest.

### **F.3.4. Característiques que han de reunir els elements i dispositius de protecció**

#### **Requisits específics per els dispositius de protecció**

Els elements de protecció eviten qualsevol contacte de l'usuari amb les parts mòbils. En el moment del manteniment hi haurà un dispositiu que impedirà el funcionament dels elements mòbils.

### **F.3.5 Manteniment**

#### **Mitjans d'accés al lloc de treball o punt d'intervenció (1.6.2)**

La màquina ve preparada amb una porta que permet l'accés a tots els seus components.

### **F.3.6 Indicacions**

#### **Dispositius d'informació (1.7.0)**

Qualsevol possible usuari haurà de llegir i entendre el manual d'instruccions que s'entrega amb la màquina. Aquest manual indica el procediment d'ús de la màquina, així com els possibles perills per a l'usuari.

### **F.3.7 Manual d'instruccions**

Seguint els requisits essencials de seguretat i salut per a la categoria de màquines, un cop muntada la màquina i abans de la seva posta en marxa s'entregarà un manual d'instruccions que haurà de ser llegit i entès per qualsevol possible usuari de la màquina.

Aquest es troba definit en l'annex G d'aquest document.

## **ANNEX G: Manual d'instruccions i manteniment**

### **G.1 Introducció**

Aquest apartat correspon al manual d'instruccions que s'ha de complir segons indica el document de *requisits essencials de seguretat i salut*, un cop muntada la màquina i abans de la seva posta en marxa s'entregarà un manual d'instruccions que haurà de ser llegit i entès per qualsevol possible usuari de la màquina.

### **G.2 Descripció de la màquina**

Aquesta màquina està dissenyada i fabricada única i exclusivament pel curat de materials compòsits. Qualsevol altre ús queda fora de l'abast d'aquest projecte. Conseqüentment el fabricant no pot assegurar les condicions òptimes de seguretat per a un ús de la màquina diferent al indicat.

### **G.3 Instruccions d'ús**

#### **Lloc de l'operari**

Tot i els sistemes de seguretat amb que va preparada la màquina, sempre hi haurà un operari en la mateixa sala on estigui la màquina. Aquest operari ha de tenir la màquina en el seu camp de visió. Per a qualsevol anomalia en el funcionament s'ha de procedir a aturar la màquina amb la parada d'emergència.

#### **Posta en marxa**

Per a la posta en marxa de la màquina tots els components han d'estar correctament connectats i el sistema ha d'estar correctament alimentat (elèctricament i pneumàticament). Abans d'iniciar la posta en marxa l'usuari s'ha d'assegurar que no hi hagi cap element que obstaculitzi el funcionament normal de la màquina. Un cop realitzades aquestes comprovacions es pot procedir a la posta en marxa.

En cas d'obturació en el mecanisme o de qualsevol altre problema en el funcionament normal de la màquina, es procedirà a la parada general d'aquesta, tant del sistema elèctric

com del sistema d'aire comprimit. Es comprovaran tots els elements tal com indica l'apartat de manteniment, i un cop es solucioni el problema i la màquina pugui continuar funcionant correctament, es podrà realitzar la posta en marxa novament.

## **G.4 Instruccions de manteniment**

Per assegurar el bon funcionament de la màquina el fabricant recomana un manteniment periòdic d'aquesta, que només podrà ser realitzat per personal autoritzat. En cas de no poder ser així, les operacions que s'hagin d'efectuar durant aquesta tasca, hauran de ser realitzades per operaris conscienciats amb les lleis vigents de seguretat en el treball i de la problemàtica ambiental de la instal·lació.

En qualsevol cas, durant el manteniment es seguiran les indicacions descrites en els següents punts.

### **G.4.1 Manteniment del Motor**

En el moment d'entrega de la màquina, i acompanyant a aquest projecte, es procedirà a l'entrega del manual de manteniment proporcionat pel fabricant del motor, en aquest cas del fabricant LEROY-SOMER.

Les operacions de manteniment a realitzar, a part de les descrites pel fabricant, seran les següents:

- La part exterior del motor haurà de ser revisada setmanalment, netejant els possibles residus (sòlids i líquids) acumulats durant el funcionament de la màquina.
- Es comprovarà setmanalment el correcte funcionament i estanquitat de les connexions entre el motor i els elements que interactuen amb ell, d'aquesta manera evitem problemes derivats de mals contactes.
- Comprovar anualment que els cargols del embridat no s'hagin afluixat degut a les vibracions.

## **G.4.2 Manteniment del suport - eix**

Per donar una correcta transmissió del moviment des de el motor cap a la sortida, durant el manteniment general de la màquina, a més del manteniment comú per a tots els elements, es realitzarà el següent:

- Es comprovarà mensualment la qualitat i la quantitat de greix a l'acoblament elàstic. L'accés a l'acoblament es fa des de la tapa de registre nº1 al lateral del suport.
- Anualment es procedirà a la substitució completa del greix per un altre de la mateixa qualitat o superior al indicat.
- Anualment es comprovarà que totes les unions cargolades estiguin ben fixades, en cas contrari collar fortament.
- Anualment es farà un examen visual de la integritat de la pintura, per evitar futures oxidacions.
- Durant el primer mes de vida de la màquina, des de el dia de l'entrega, seria recomanable fer un seguiment diari per veure el comportament general, sorolls estranys...

## **G.4.3 Manteniment dels rodaments**

Els rodaments ja venen engrassats de fabrica i amb la tapeta per evitar que pugui entrar brutícia al seu interior. Així i tot els rodaments tenen una vida limitada, en el moment que es trenqui un rodament, s'haurà de procedir a la substitució immediata del mateix. La substitució l'haurà de fer personal especialitzat o bé personal de l'empresa fabricant. Per a conèixer la referència del rodament a substituir mirar els plànols de conjunt dels eixos.

## **G.4.4 Manteniment de les juntes**

Les juntes son els òrgans encarregats de que la pressió no pugui sortir de l'interior de l'autoclau, una vegada aquest està carregat a la pressió de treball.

Pel correcte funcionament de l'autoclau és molt important que aquestes facin el seu treball de manera eficient. Per aquest motiu es vital revisar la junta de la comporta mensualment, per veure que aquesta continua en bon estat. També és molt important comprovar que no hi

hagin pèrdues a l'empaquetadura de l'eix, en cas que existeixin aquesta es pot solucionar pressionant els anells d'empaquetadura amb el cargol.

## **G.4.5 Manteniment general**

Excloent el manteniment específic dels anteriors elements, per a la resta d'elements es realitzarà seguint les següents instruccions:

- El material que per desgast o ruptura hagi de ser reemplaçat, sempre ho serà per recanvis originals del fabricant.
- La neteja superficial dels elements de la màquina es portarà a terme amb qualsevol tipus de netejador que sigui apte i tenint en compte el tipus de material a netejar.
- Tot i que les parts elèctriques de la màquina estan protegides, s'ha d'evitar mullar-les amb qualsevol tipus de líquid.
- Per a qualsevol operació de manteniment, descrita o no en els apartats anteriors, sempre s'haurà de realitzar una prèvia parada general de tota la màquina, tant del sistema elèctric com del sistema pneumàtic.

## **G.5 Declaració “CE” de conformitat de l'autoclau**

### **G.5.1 Dades del fabricant**

XXXXXXXXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
GIRONA (ESPANYA)

### **G.5.2 Descripció de la màquina**

Aquesta màquina està dissenyada i fabricada única i exclusivament pel curat de materials compòsits. Qualsevol altre ús queda fora de l'abast d'aquest projecte. Conseqüentment el



fabricant no pot assegurar les condicions òptimes de seguretat per a un ús de la màquina diferent al indicat.

MODEL: XXXX

NUMERO. SÈRIE: XXXX

ANY DE FABRICACIÓ: XXXX

### **G.5.3 Declaració**

El fabricant, XXXX, declara que la màquina especificada està fabricada conforme als requisits de Seguretat i Salut que recull la Directiva CE 98/37/CE i les successives modificacions relatives a màquines.

Qualsevol part no especificada en aquest projecte queda exclosa de la responsabilitat del fabricant.

### **G.5.4 Normatives i directives que compleix**

#### **Directives**

- Directiva de màquines 98/37/CE
- Directiva de corrents de baixa tensió 73/23/CE (modificació 93/68/CE)

#### **Normatives**

- Seguretat de màquines EN 292-1 i EN 292-2.
- Seguretat màquines i equip elèctric. Parada d'emergència. EN 418.
- Seguretat a les màquines . Prevenció d'una posta en marxa intempestiva. EN-1037.
- Seguretat a les màquines. Principis per a l'avaluació del risc. EN-1050.
- Seguretat a les màquines, senyals visuals de perill. Requisits generals, dissenys i assajos. EN-842.
- Seguretat a les màquines, resguards. Requisits generals per al disseny i construcció de resguards fixes i mòbils. EN-953.
- Seguretat a les màquines. Sistemes de senyals de perill audiovisuals. EN-981.

Daniel Silva Parra

Signatura dels representants:

GIRONA a 5 de Juny de 2007

**G.5.5 Marca CE**

La màquina anirà marcada en un lloc perfectament visible per a qualsevol usuari amb la placa CE (figura 1), en la que s'indica el fabricant i model de màquina.

<b>XXXXXXXXXXXXX.</b>		
XX (Girona) Espanya		
<b>MODEL:</b>	xxxx	
<b>Nº SÈRIE:</b>	xxxx	
<b>ANY:</b>	xxxx	
<b>POTÈNCIA:</b>	46 kW.	
<b>TENSIÓ:</b>	400 V.	
<b>FREQÜÈNCIA:</b>	50 Hz.	
<b>MASSA:</b>	7.6 Tn.	
<b>VOLUM:</b>	15000 L.	
<b>PRESSIÓ MÀX. ADM.:</b>	12.5 bars	
<b>TEMPERATURA MÀX. ADM.:</b>	265 °C	
<b>PRESSIÓ PROBA HIDRÀULICA:</b>	27 bars	
<b>PRESSIÓ DE TARAT:</b>	12.5 bars	

Fig. G.5.5.- Placa de marcat CE.

## ANNEX H: Aplicació informàtica per al disseny autoclau

### H.1 Introducció

Per tal de reduir el temps de càlcul, empleat en la seva gran majoria, en nombroses proves, iteracions, etc. Hem procedit a la creació d'una fulla de càlcul, amb el programa informàtic MATLAB 6.5. Gràcies a aquesta fulla, hem pogut provar totes les dades i variables que s'ens han presentat, fins a trobar una solució adequada per la nostra màquina.

Les fórmules que s'han introduït en la fulla les hem extret en la seva totalitat del ASME VII, div. 1, americà.

### H.2 Programació

```
clear;
```

```
% AUTOCLAU PEL PROCESSAT DE COMPOSITIS
```

```
% Fulla de càlcul dels elements sol·licitats, per a dipòsits no reforçats, pressió interna,  
2 recolzaments, amb rigiditzadors
```

```
% Asme, Pressure Vessel and Pipping; Design and Analysis 1972
```

```
% Dades geomètriques del recipient
```

```
Diam_i = 200; % Diàmetre interior en cm
```

```
L_casc = 450; % Longitud del recipient en cm
```

```
Esp_cos = 1.4; % Espessor del cos cilíndric, suposat, en cm
```

```
% Dades geomètriques dels caps
```

```
Esp_cap = 2.2; % Espessor dels caps, suposat, en cm
```

```
Lr = Diam_i + 2*Esp_cap; % Radi gran del cap torispheric en cm
```

```
r = 0.1*Lr; % Radi petit del cap torispheric en cm
```

```
% Altres dades per garantir seguretat
```

```
E = 0.85; % Eficiència soldadures
```

```
Esp_cor = 0.15; % Sobre espessor per corrosió, en cm, (aprox. 10% +)
```

**% Condicions de servei****% Tipus de fluid = aire****% Estat físic del fluid = gas**

Pservei = 12;

**% Pressió de servei, en bars**

Tmax = 320;

**% Temperatura interior màxima en °C**

Pmax\_servei = Pservei + 0.5;

**% Pressió màxima de servei en bars, es la pressió a la que actuen els elements de seguretat**

Pmax\_adm = Pservei + 1.25;

**% Pressió màxima admissible en bars**

Pdis = Pservei + 2;

**% Pressió de disseny o de càlcul**

TF = 9/5\*(Tmax+40)-40;

**% Temperatura interior màxima en °F****% Material****% Acer al carboni, SA 515 70 (ASME) - P355GH (EN 10028-2)****% Min\_tensile = 70 ksi = 490 Mpa, Valor mínim ASME****% Min\_yield = 38 Ksi = 262 Mpa, Valor mínim ASME**

Stress\_Tamb\_en = 345;

**% Valor del Sy a T ambient, segons En 10028-2 Arcelor**

Stress\_Top\_en = 232;

**% Valor del Sy a T 300°C, segons En 10028-2 Arcelor**

Stress\_Ambient = 20;

**% Valor del Sy permès a T<sup>a</sup> ambient en Ksi**

Stress\_y = 38;

**% Valor de Sy a T<sup>a</sup> ambient en Ksi**

Stress\_Amb\_mpa = Stress\_Ambient\*6.89476;

**% Valor de la resistència T<sup>a</sup> ambient, amb coeficient de reducció 1.5, en Mpa**

Stress\_T=[300,400,500,600,650,700,750,800,850;

20,20,20,19.4,18.8,18.1,14.8,12,9.3];

**% Valor de la resistència en funció de la T<sup>a</sup>, dividida per 1.5, (°F i Ksi)**

X= Stress\_T(1,:);

Y=Stress\_T(2,:);

XI=[TF];

YI = INTERP1(X,Y,XI,'linear');

**% Interpolació per trobar la resistència a una T<sup>a</sup> determinada en ksi**

YII = YI\*6.89476;

**% valor de la resistència anterior en Mpa**

Coeficient\_RT = Stress\_Ambient/YI;

**% Diferència de resistències entre les temperatures d operació i ambiental, Norma ASME**

Coeficient\_EN = Stress\_Tamb\_en / Stress\_Top\_en;

**% Relació entre la resistència operació i ambiental, Norma EN**

**% Acer al carboni, SA 181-1 (ASME) - (EN )**

**% Min\_tensile = 60 ksi = 415 Mpa, Valor mínim ASME**

**% Min\_yield = 30 Ksi = 205 Mpa, Valor mínim ASME**

Stress\_Ambient3 = 17.1;

**% Valor del Sy permès a T<sup>a</sup> ambiental en Ksi**

Stress\_y3 = 30;

**% Valor de Sy a T<sup>a</sup> ambiental en Ksi**

Stress\_Amb\_mpa3 = Stress\_Ambient3\*6.89476;

**% Valor de la resistència a T<sup>a</sup> ambiental en Mpa**

Stress\_T3=[300,400,500,600,650,700,750,800,850;

17.1,17.1,16.3,15.3,14.8,14.3,13,10.8,8.7];

**% Valor de la resistència en funció de la T<sup>a</sup> (°F i Ksi)**

X3= Stress\_T3(1,:);

Y3=Stress\_T3(2,:);

XI3=[TF];

YI3 = INTERP1(X3,Y3,XI3,'linear');

**% Interpolació per trobar la resistència a una T<sup>a</sup> determinada en ksi**

YII3 = YI3\*6.89476;

**% valor de la resistència anterior en Mpa**

**% Acer al carboni, SA 105 (ASME) - (EN )**

**% Min\_tensile = 70 ksi = 485 Mpa, Valor mínim ASME**

**% Min\_yield = 36 Ksi = 250 Mpa, Valor mínim ASME**

Stress\_Ambient2 = 20;

**% Valor del Sy permès a T<sup>a</sup> ambient en Ksi**

Stress\_y2 = 36;

**% Valor de Sy a T<sup>a</sup> ambient en Ksi**

Stress\_Amb\_mpa2 = Stress\_Ambient2\*6.89476;

**% Valor de la resistència a la fatiga a T<sup>a</sup> ambient en Mpa**

Stress\_T2=[300,400,500,600,650,700,750,800,850;

20,20,19.6,18.4,17.8,17.2,14.8,12,9.3];

**% Valor de la resistència a fatiga en funció de la T<sup>a</sup> (°F i Ksi)**

X2= Stress\_T2(1,:);

Y2=Stress\_T2(2,:);

XI2=[TF];

YI2 = INTERP1(X2,Y2,XI2,'linear');

**% Interpolació per trobar la resistència a una T<sup>a</sup> determinada en ksi**

YII2 = YI2\*6.89476;

**% valor de la resistència anterior en Mpa**

%-----

**% Càlcul del cos cilíndric**

**% Càlcul del espessor requerit per a pressió interna en cm**

$$\text{Esp}_1 = ((\text{Pdis} * ((\text{Diam}_i / 2) + \text{Esp}_\text{cor})) / ((\text{YII} * 10 * \text{E}) - 0.6 * \text{Pdis})) + \text{Esp}_\text{cor}$$

**% Màxima pressió de treball amb l espessor utilitzat**

$$\text{Pmax\_esp\_cilindre} = (\text{YII} * 10 * \text{E} * (\text{Esp}_\text{cos} - \text{Esp}_\text{cor})) / ((\text{Diam}_i / 2 + \text{Esp}_\text{cor}) + (0.6 * (\text{Esp}_\text{cos} - \text{Esp}_\text{cor})));$$

**% Màxima pressió admissible, nou i en fred**

$$\text{Pmax\_nif} = (\text{Stress\_Amb\_mpa} * 10 * \text{E} * \text{Esp}_\text{cos}) / (\text{Diam}_i / 2 + 0.6 * \text{Esp}_\text{cos});$$

**% Tensió actual a la pressió de servei i espessor donats en Mpa**

Strees\_actual\_cos = (Pservei \* ((Diam\_i/2+Esp\_cor) + 0.6 \* (Esp\_cos - Esp\_cor))) / (E\*10\*(Esp\_cos-Esp\_cor));

%-----

**% Càlcul del cap torispheric****% Càlcul del espessor requerit per a pressió interna en cm****% Càlcul del factor M per caps torispherics (amb corrosió)**

M = (1/4)\*(3+((Lr+Esp\_cor)/(r+Esp\_cor))^0.5);

**% Càlcul del espessor requerit per a pressió interna en cm**

Esp\_2 = (Pdis\*(Lr+Esp\_cor)\*M)/(2\*YII\*10\*E-0.2\*Pdis) + Esp\_cor

**% Màxima pressió de treball amb l espessor utilitzat**

Pmax\_esp\_cap = (2\* YII\* 10\* E\* (Esp\_cap - Esp\_cor)) / (M\* (Lr + Esp\_cor) + (0.2\* (Esp\_cap - Esp\_cor)));

**% Càlcul del factor M per caps torispherics (sense corrosió)**

M2 = (1/4)\*(3+(Lr/r)^0.5);

**% Màxima pressió admissible, nou i en fred**

Pmax\_nif2 = (2\*Stress\_Amb\_mpa\*10\*E\*Esp\_cap)/(M2\*Lr+0.2\*Esp\_cap);

**% Tensió actual a la pressió de servei i espessor donats en Mpa**

Strees\_actual\_cap = (Pservei\* (M\* (Lr + Esp\_cor) + 0.2\* (Esp\_cap - Esp\_cor))) / (2\*E\*10\*(Esp\_cap - Esp\_cor))

%-----

**%Pressió de prova, hydrotest**

Pressio\_prova1 = 1.3 \* Coeficient\_EN \* Pdis

**% Pressió de prova hidrostàtica, segons directiva europea**



Pressio\_prova2 = 1.3 \* Pmax\_esp\_cilindre \* Coeficient\_RT;

**% Pressió de prova segons UG99b ASME**

%-----

**% Càlcul del cos cilíndric**

**% Càlcul espessor requerit per a prova hidrostàtica en cm, amb coeficient de seguretat 1.1**

$$\text{Esp\_1\_H} = ((\text{Pressio\_prova1} * ((\text{Diam\_i}/2) + \text{Esp\_cor})) / (((\text{Stress\_Tamb\_en} / 1.1) * 10^*E) - 0.6 * \text{Pressio\_prova1})) + \text{Esp\_cor}$$

$$\text{Esp\_2\_H} = (\text{Pressio\_prova1} * (\text{Lr} + \text{Esp\_cor}) * M) / (2 * (\text{Stress\_Tamb\_en} / 1.1) * 10^*E - 0.2 * \text{Pressio\_prova1}) + \text{Esp\_cor}$$

%-----

**% Esforços en recipients amb dos recolzaments segons ASME, passem les dades**

**% que tenim al sistema angles**

**% Dades del recipient**

$A_{\text{aprox}} = \pi * (\text{Diam\_i}/100) * (\text{L\_casc}/100);$  **% Area del recipient aproximat**

$V_{\text{aprox}} = \pi * (\text{Diam\_i}/200)^2 * (\text{L\_casc}/100);$  **% Volum del recipient aproximat**

$Qt1 = V_{\text{aprox}} * 1000;$

**% Es recomana dissenyar el recolzament per una carrega completa d'aigua**

$Qt2 = 2 * (A_{\text{aprox}} * (\text{Esp\_cos}/100) * 8000);$

**% Pes aproximat de l'autoclau en buit, suposem densitat acer**

$Q1 = (Qt1 + Qt2) / 2$

**% Carrega sobre un recolzament kg**

$Q = Q1/0.453592;$

**% Carga sobre un recolzament, suposant una carga completa d'aigua, en lb**

$R = (\text{Diam\_i} / 2)/2.54;$  **% Radi del recipient en inch**

$Ts = \text{Esp\_cos}/2.54;$  **% Espessor casc cilíndric en inch**

$Th = \text{Esp\_cap}/2.54;$  **% Espessor cap en inch**

$H = 385/25.4;$  **% Profunditat concavitat del cap en inch**

$\text{angle} = 150;$  **% Angle de contacte recolzament en graus**

A = 500/25.4;

**% Distància de la línia de tg del cap al centre del recolzament en inch**

L = L\_casc/2.54;                      **% Longitud del casc tg a tg en inch**

P = Pdis\*14.50377;                      **% Pressió interna de disseny en psi**

Mat = YI\*1000;

**% Valor de l'esforç permès del material SA 515-70 amb coeficient de seguretat 1.5 a T<sup>a</sup> de disseny**

Mat\_ced = Stress\_y\*1000;                      **% Valor del límit elàstic permès pel material SA 515-70**

b = 300/25.4;                              **% Ample del recolzament**

Esp\_alma = 10/25.4;                      **% Espessor del anima del recolzament**

**%Ample\_placa\_desgast = (b + (1.56\*(R\*Ts)^0.5));**

**% Ample de la placa de desgast, la placa ha d abraçar 150° + 12°**

**% Constants K fixes, degut a haver escollit un angle de contacte de 150°**

K1 = 0.505;

K2 = 0.799;

K4 = 0.485;

K5 = 0.295;

K6 = 0.008;

K7 = 0.673;

K8 = 0.876;

K11 = 0.204;

**% Flexió longitudinal**

if A < (0.2\*L);

**% En cap cas la distància A ha de ser mes gran que 0.2\*L**

if (Ts / R) > 0.005;

**% Si es compleix aquesta condició la compressió no es important**

**% En els recolzaments**

S1t = ( Q\*A\*(1 - ((1-(A/L) + ((R^2-H^2)/(2\*A\*L))) / (1+((4\*H)/(3\*L)))))) / (K1\*R^2\*Ts)

**% Tensió, es recomanar que sigui = a la tensió S2**

**% A la meitat del clar**

$$S2t = (((Q*L)/4)*((1 + (2*(R^2-H^2)/L^2)/(1 + ((4*H)/(3*L)))) - (4*A/L))) / (\pi*R^2*Ts)$$

**% Tensió, es recomana que sigui = a la tensió S1**

**% Esforç màxim permès degut a la pressió interna**

$$Esf\_mp = (P*R)/(2*Ts);$$

**% Suma dels esforços de tensió**

if S1t > S2t;

$$Tensio\_Ft = Esf\_mp + S1t;$$

**% Esforç total, suma dels esforços generats per la pressió interna i els recolzaments**

$$Esf\_matt = Mat * E;$$

**% Esforç permès pel material multiplicat pel coeficient de reducció degut a la eficiència de la soldadura**

else;

$$Tensio\_Ft = Esf\_mp + S2t;$$

$$Esf\_matt = Mat * E;$$

end;

$$C1t = Esf\_matt / Tensio\_Ft$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre. En cas contrari utilitzar rigiditzador**

else;

**% En els recolzaments**

$$S1t = ( Q*A*(1 - ((1-(A/L) + ((R^2-H^2)/(2*A*L))) / (1+((4*H)/(3*L)))))) / (K1*R^2*Ts);$$

**% Tensió, es recomanar que sigui = a la tensió S2**

**% A la meitat del clar**

$$S2t = (((Q*L)/4)*((1 + (2*(R^2-H^2)/L^2)/(1 + ((4*H)/(3*L)))) - (4*A/L))) / (\pi*R^2*Ts);$$

**% Tensió, es recomana que sigui = a la tensió S1**

**% Esforç màxim permès degut a la pressió interna**

$$Esf\_mp = (P*R)/(2*Ts);$$

**% Suma dels esforços de tensió**

if S1t &gt; S2t;

Tensio\_Ft = Esf\_mp + S1t;

**% Esforç total, suma dels esforços generats per la pressió interna i els recolzaments**

Esf\_matt = Mat \* E;

**% Esforç permès pel material multiplicat pel coeficient de reducció degut a la eficiència de la soldadura**

else;

Tensio\_Ft = Esf\_mp + S2t;

Esf\_matt = Mat \* E;

end;

**% En els recolzaments**

S1c = ( Q\*A\*(1 - ((1-(A/L) + ((R^2-H^2)/(2\*A\*L))) / (1+((4\*H)/(3\*L)))))) / (K8\*R^2\*Ts);

**% Tensió, es recomanar que sigui = a la tensió S2****% A la meitat del clar**

S2c = (((Q\*L)/4)\*((1 + (2\*(R^2-H^2)/L^2)/(1 + ((4\*H)/(3\*L)))) - (4\*A/L))) / (pi\*R^2\*Ts);

**% Tensió, es recomana que sigui = a la tensió S1****% Suma dels esforços de compressió**

if S1c &gt; S2c;

Tensio\_Fc = Esf\_mp - S1c;

**% Esforç total, suma dels esforços generats per la pressió interna i els recolzaments**

Esf\_matc = Mat \* E;

**% Esforç permès pel material multiplicat pel coeficient de reducció degut a la eficiència de la soldadura**

else;

Tensio\_Fc = Esf\_mp - S2c;

Esf\_matc = Mat \* E;

end;

C1t = Esf\_matt / Tensio\_Ft

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre. En cas contrari utilitzar rigiditzador**

$$C1c = (\text{Esf\_matc}/2) / \text{Tensio\_Fc}$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre. En cas contrari utilitzar rigiditzador**

end;

### **% Esforç tallant tangencial**

if A > R/2;

$$S3\_casc = ((K2*Q)/(R*Ts))*((L-(2*A))/(L+(4/3)*H));$$

**% Esforç tallant tg. a una distancia A > R/2, per a que no afecti el cap**

$$\text{Tensio\_T} = \text{Mat} * 0.8;$$

**% Tensió tallant màxima permesa**

$$C2\_casc = \text{Tensio\_T} / S3\_casc$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre**

else;

$$S3\_casc = (K4*Q)/(R*Ts); \quad \text{\% Esforç tallant tg. a } A \leq R/2, \text{ al casc}$$

$$S3\_cap = (K4*Q)/(R*Th); \quad \text{\% Esforç tallant tg. a } A \leq R/2, \text{ al cap}$$

$$S3\_adcap = (K5*Q)/(R*Th); \quad \text{\% Esforç tallant tg. a } A \leq R/2, \text{ adicional al cap}$$

$$\text{Tensio\_T} = \text{Mat} * 0.8; \quad \text{\% Tensió tallant màxima permesa}$$

$$C2\_casc = \text{Tensio\_T} / S3\_casc$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre**

$$C2\_cap = \text{Tensio\_T} / S3\_cap$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre**

$$C3 = (1.25 * \text{Mat}) / (S3\_adcap + \text{Esf\_mp})$$

**% Coeficient de seguretat, ha de ser mes gran que 1 sempre**

end;

### **% Esforç circumferencial**

if L < 8\*R;

$$S4 = (-Q / (4*Ts*(b+(1.56*((R*Ts)^{0.5})))) - ((12*K6*Q*R)/(2*L*(Ts^2))));$$

**% Esforç en la punta del recolzament**

else;

$$S4 = (-Q / (4*Ts*(b+(1.56*((R*Ts)^{0.5})))) - ((3*K6*Q)/(2*(Ts^2))));$$

**% Esforç en la punta del recolzament**

```

end;

S5 = -((Q*K7)/(Ts*(b+(1.56*((R*Ts)^0.5)))));
      % Esforç en la part inferior del recolzament

C4 = abs((Mat * 1.5) / S4)
      % Coeficient de seguretat, C4 ha de ser mes gran que 1 sempre

C5 = abs((Mat_ced * 0.5) / S5)
      % Coeficient de seguretat, C5 ha de ser mes gran que 1 sempre
else;
  title ('La distancia A ha de ser mes petita');
end;

% Disseny del recolzament

Ft = K11 * Q1          % F transversal horitzontal que obliga el recolzament a obrir-se

Area_ef = (R/3) * Esp_alma;      % Area efectiva que suporta la F
Esf_ef = Ft/Area_ef;            % Esforç degut a F
Esf_m = (2/3)*Mat;              % Esforç màxim permès pel material

C6 = Esf_m/Esf_ef          % Coeficient de seguretat, sempre ha de ser mes gran que 1

FL = Q1                   % F longitudinal, generada per la dilatació tèrmica
Fg = Q1                   % F normal al recolzament, generada per la massa del recipient

%-----
% Reforç d obertures, nomes es comprova la mes gran en cas que estiguin
% suficientment separades

% Dades de disseny
Dtub = 48.26;
% Diàmetre exterior del tub mm, Agafar valors de tubs ASTM
T = Esp_cos - Esp_cor;

```

**% Espessor del casc cilíndric - marge corrosió en mm**

$$T_n = 2.77;$$

**% Espessor del tub en mm , Agafar valors de tubs ASTM**

$$Diam_{iTub} = D_{tub} - (2 * T_n);$$

**% Diàmetre interior del tub en mm**

$$C = 10 * T_n / 100;$$

**% Marge corrosió, 10% del espessor del tub mm**

$$T_{nc} = T_n - C ;$$

**% Espessor del tub - marge corrosió en mm**

$$R_n = (D_{tub} / 2) - T_{nc};$$

**% Radi nominal amb corrosió mm**

$$d = R_n * 2;$$

**% Diàmetre nominal amb corrosió mm**

$$h = 2.5 * T_{nc};$$

**% Distància de prolongació mes enllà de la sup. interior mm**

$$T_r = ((P_{dis} * ((Diam_{iTub} / 2) + Esp_{cor})) / ((Y_{II} * 10 * 1) - 0.6 * P_{dis})) + Esp_{cor};$$

**% Espessor del casc cilíndric amb E = 1 en cm**

$$T_{rn} = ((P_{dis} * ((Diam_{iTub} / 2) + C) / 10) / ((Y_{II} * 10 * 1) - 0.6 * P_{dis})) + (C / 10);$$

**% Espessor del tub requerit en cm**

$$Coef_{reduc} = Y_{II2} / Y_{II};$$

**% Coeficient reductor degut a la diferencia de materials entre casc i tub**

$$Sold = (1 * 25.4 / 4);$$

**% Tamany de la soldadura de filet, de taules, en mm**

$$Area_{sold} = Sold^2 * Coef_{reduc} ;$$

**% Area de la soldadura en mm<sup>2</sup>**

$$Esp_{reforc} = 0.8;$$

**% Espessor placa de reforç a les obertures, en cm**

**% Area de reforç requerit**

$$A_r = d * (T_r * 10);$$

$$Increment = 2 * T_{nc} * T_r * 10 * (1 - Coef_{reduc});$$

$$Area_{requerida} = A_r + Increment;$$

**% Area de reforç disponible**

A11 = ((T - Tr)\*10)\*d; **% Excés en el casc**

A111 = (T - Tr)\*((Tnc/10) + T)\*2\*10;

Decrement = 2\*Tnc\*(T - Tr)\*10\*(1-Coef\_reduc);

if A11 > A111;

    A1 = A11 - Decrement;

else;

    A1 = A111 - Decrement;

end;

A22 = ((Tnc/10) - Trn)\*5\*T\*10;

**% Excés en el coll del tub**

A222 = ((Tnc/10) - Trn)\*5\*(Tnc/10)\*10;

if A22 < A222;

    A2 = A22 \* Coef\_reduc;

else;

    A2 = A222 \* Coef\_reduc;

end;

A3 = Tnc\*2\*h \* Coef\_reduc;

**% Extensió a l interior**

A4 = Area\_sold \* Coef\_reduc;

**% Area soldadura exterior**

A5 = Area\_sold \* Coef\_reduc;

**% Area soldadura interior**

Atotal = A1 + A2 + A3 + A4 + A5;

**% Area total disponible**

if Area\_requerida < Atotal;

    title ('No es necessari reforç');

else;

    Amplada\_placa = (Area\_requerida - Atotal) / (Esp\_reforc\*10);

    Diam\_ext\_reforc = Amplada\_placa + Dtub

end;



%-----

**% Accessori per elevació autoclau**

$$\text{Carrega} = (\text{Qt1} + \text{Qt2}) * 0.5;$$

**% Carrega sobre una orella, suposem suporta tota la carrega en kg**

$$\text{Diam\_pern} = 1.5 * 25.4;$$

**% Diàmetre del pern d elevació en mm**

$$\text{Diam\_orella} = 1.625 * 25.4;$$

**% Diàmetre del forat a l orella en mm**

$$\text{Hpern} = 1.88 * 25.4;$$

**% Radi exterior de l eslavó a la sujecció en mm**

$$\text{Apern} = 2.45 * 25.4;$$

**% Alçada del forat respecte el dipòsit en mm**

$$\text{Btall} = 2 * 25.4;$$

**% Radi exterior orella en mm**

$$\text{Brac\_E} = 4.06 * 25.4;$$

**% Alçada on estira el cable, per calcular moment en mm**

$$\text{Esp\_orella} = (\text{Carrega} * 10) / (2 * (\text{Stress\_Tamb\_en} * 0.577) * (\text{Btall} - (\text{Diam\_orella} / 2)))$$

**% Espessor de l orella en mm**

**% Tamany de la soldadura de filet per l orella, cas súper desfavorable**

$$\text{angle\_or} = 45;$$

**% Angle elevació dels cables en graus**

$$\text{anglerad} = \text{angle\_or} * \pi / 180;$$

**% Angle elevació en radiants**

$$\text{Moment\_E} = \text{Brac\_E} * \text{Carrega} * 10;$$

**% Moment provocat pel cable en N\*mm**

$$\text{carrega\_permitida} = 66.2;$$

**% Tensió màxima permesa per la soldadura en N/mm2, de taules**

$$\text{dxx} = 200;$$

**% Longitud de la orella en mm**

$$\text{Sw} = (\text{dxx}^2) / 3;$$

**% Propietats de contorn en mm2, de taules**

$$\text{F\_flexio} = \text{Moment\_E} / \text{Sw};$$

**% Força flexió en N/mm**

$$\text{F\_tallant} = ((\text{Carrega} * 10) * \sin(\text{anglerad})) / (\text{dxx}^2);$$

**% Força tallant en N/mm**

$$\text{F\_compressio} = ((\text{Carrega} * 10) * \sin(\text{anglerad})) / (\text{dxx}^2);$$

**% Força compressió en N/mm**

$$\text{F\_resultant} = (\text{F\_flexio}^2 + \text{F\_tallant}^2 + \text{F\_compressio}^2)^{0.5};$$

**% Força resultant en N/mm**

$$\text{tamany\_soldadura} = \text{F\_resultant} / \text{carrega\_permitida}$$

**% Tamany de la soldadura necessari en mm**

%-----

**% Càlcul espessor de tubs per pressió externa**

DN\_tub\_pe = 21.34; **% Diàmetre del tub en mm**  
 e\_tub\_pe = 1.2; **% Espessor del tub en mm**  
 Di\_tub\_pe = DN\_tub\_pe - (2\*e\_tub\_pe); **% Diàmetre interior del tub mm**  
 Pressio\_externa = (Pdis/10)\*1.25;  
**% Pressió externa de disseny en Mpa + un 25%**  
 %Pressio\_externa = ((Pdis+1)/10)\*1.25;  
**% Pressió externa de disseny + 1 en Mpa + un 25%**  
 L\_pe = 950; **% Longitud del tub en mm**  
  
 coeficient\_1\_pe = (DN\_tub\_pe)/(e\_tub\_pe) **% Relació D0/t**  
 coeficient\_2\_pe = (L\_pe)/(DN\_tub\_pe) **% Relació L/D0**

factor\_A = 0.00275;

**% Amb els coeficients anteriors anar a taula de pag40**

factor\_B = 7000;

**% Amb els coeficients anteriors anar a taula de pag41**

$P_{max\_externa\_tub} = ((4*factor\_B)/(3*coeficient\_1\_pe))^0.00689476$

**% Pressió exterior màx. permessa del tub en Mpa**

**% Càlcul espessor de la tapa plana del tub per pressió externa**

C\_pe = 0.33;

$e\_tapa\_tub\_pe = Di\_tub\_pe * ((C\_pe*Pressio\_externa)/(YII*0.85))^0.5$

**% Espessor de les tapes en mm, material P355GH**

## **ANNEX I: Diagrama de control**

### **I.1 Introducció**

A continuació farem una descripció del funcionament de l'autoclau. D'aquesta manera l'empresa encarregada de la programació i muntatge del sistema de control, només haurà de rebre aquest annex, per comprendre el funcionament global de la màquina.

### **I.2 Funcionament global del sistema**

#### **I.2.1 Procés d'encesa**

L'autoclau, una vegada tancat i carregat amb els X bars de pressió de treball i abans de que s'encenguin les resistències, és posa en marxa el motor connectat a la turbina. Aquesta comença a aspirar l'aire que hi ha al cilindre de recirculació, el fa passar per l'intercanviador i l'aspira a través de la campana de succió, després l'impulsa a través de les resistències i el fa passar per l'exterior del cilindre de recirculació fins arribar a l'aspiració de nou. Una vegada s'arriba a establir el flux a l'interior de l'autoclau, s'encenen les resistències que comencen a escalfar l'aire fins arribar als Y °C requerits. Els sensors de temperatura distribuïts, al voltant de la peça que s'ha de processar, envien informació dels gradients de temperatura a la zona de treball, amb aquesta informació, el control encén i apaga les resistències amb la finalitat de controlar la temperatura màxima que s'hagi programat en tot moment.

#### **I.2.2 Procés d'aturada**

Una vegada el procés de curat de la peça hagi finalitzat, les resistències s'apaguen per donar pas al circuit de refrigeració. Aquest comença a fer circular aigua o refrigerant a través del intercanviador de calor que hi ha instal·lat a l'interior de l'autoclau. El circuit de refrigeració no deixa de funcionar fins que no s'arriba a una temperatura de seguretat aproximada de 40°C. Una vegada ja refredat l'interior de l'autoclau, es passa a la següent fase que correspon a l'aturada de la turbina i la posterior descàrrega de la pressió interior.

Una vegada finalitzada la seqüència ja es pot procedir a la extracció de les peces processades.

### I.2.3 Sistema de buit

Abans d'introduir les peces a l'interior de l'autoclau, aquestes es recobreixen amb un film que bé preparat per a connectar una manega de buit. Aquestes manegues es connecten a l'exterior de l'autoclau i sobre del carro porta - peces, una vegada s'han fet totes les connexions, ja podem introduir el carro a l'interior de l'autoclau. Una vegada hem tancat la comporta d'accés ja podem iniciar el protocol de curat.

### I.3 Diagrama de flux

A la pàgina següent, podem veure un diagrama, que esquematitza en mòduls totes les parts que intervenen en el funcionament de l'autoclau.

Per fer més aclaridor el diagrama, a continuació podem veure la llegenda de tots els símbols que apareixen en el diagrama.



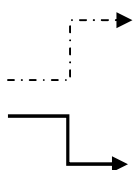
Mòdul de control, fa referència al cervell de l'autoclau.



Mòdul de components, fa referència als components que fan una determinada funció.



Sensors o elements de seguretat.



Recorregut de la senyal, informació i energia.

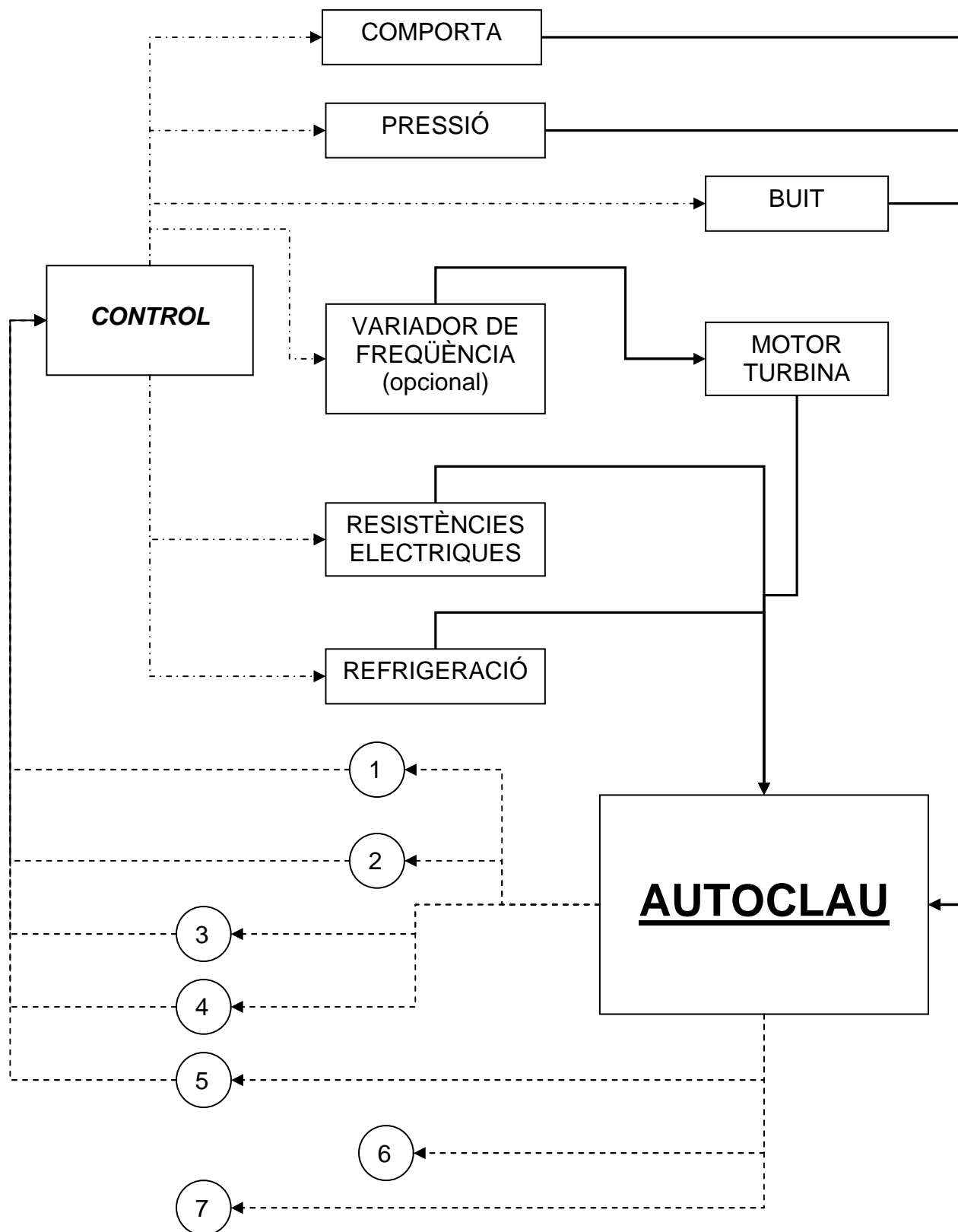


Fig. I.3.- Diagrama de flux de l'autoclau, on es pot apreciar clarament els diferents mòduls.

- 1.- Sensor de pressió, 2.- Termoparells, 3.- Vàlvula Buit, 4.- Refrigeració, 5.-Comporta oberta, 6.- Vàlvules seguretat,
- 7.- Relloctges de mesura directa

## ANNEX J: Categoria del recipient

### J.1 Introducció

El real decret 769/1999, estableix una classificació dels equips per categories, en funció de la seva perillositat.

Per a determinar la categoria hem de definir les següents dades:

- Tipus d'equip: Autoclau
- Pressió màxima admissible: 12.5 bars
- Diàmetre nomina: 2000 mm
- Volum: 15000 L
  
- Tipus de fluid: Aire calent
- Estat físic: gas (grup A)
- Perillositat: Resta de fluids (grup 2)

### J.2 Determinació de la categoria

Amb les dades de l'apartat anterior i mitjançant la taula següent, podem determinar el quadre que se li aplica.

TIPO DE EQUIPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes</li> <li>• Accesorios a Presión</li> </ul>				Equipos sometidos a la acción de una llama o aportación de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías</li> <li>• Accesorios a Presión</li> </ul>			
	Gases		Líquidos			Vapor o agua sobrecalentada	Gases		Líquidos
Fluido Contenido	<i>Peligrosos</i>	<i>Demás Fluidos</i>	<i>Peligrosos</i>	<i>Demás Fluidos</i>			<i>Peligrosos</i>	<i>Demás Fluidos</i>	<i>Peligrosos</i>
Cuadros del anexo II.  Especificar categorías en función de PS, V o DN.	<b>1</b>	<b>2*</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

Fig. 2.2.a.- Avaluació de la conformitat.

El quadre que hem d'aplicar és el nº 5, que correspon a la figura 2.2.b. Amb les dades de l'apartat anterior podem determinar a quina categoria correspon el nostre aparell.

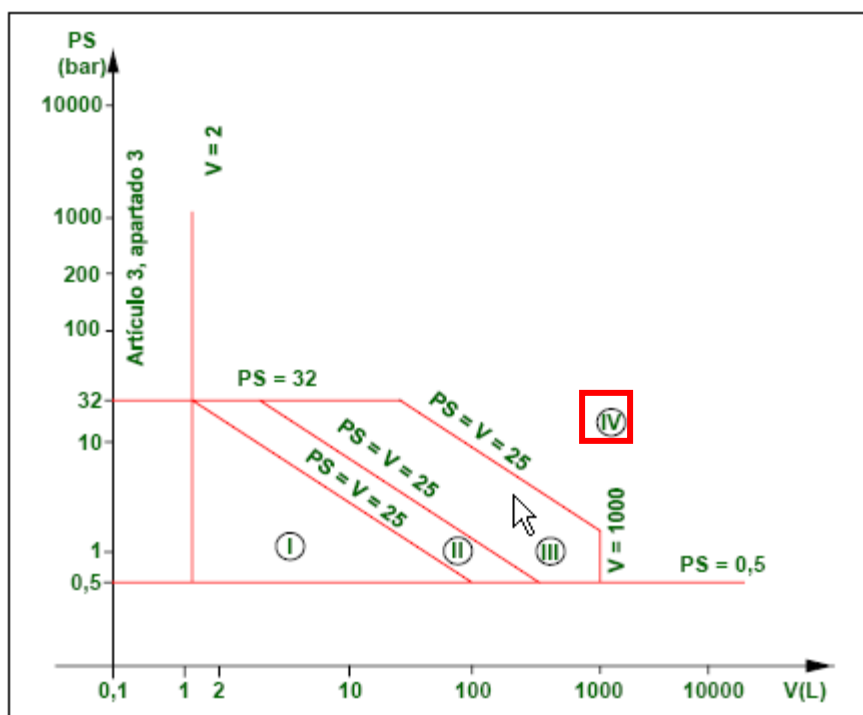


Fig. 2.2.b.- Quadre d'avaluació de la conformitat.

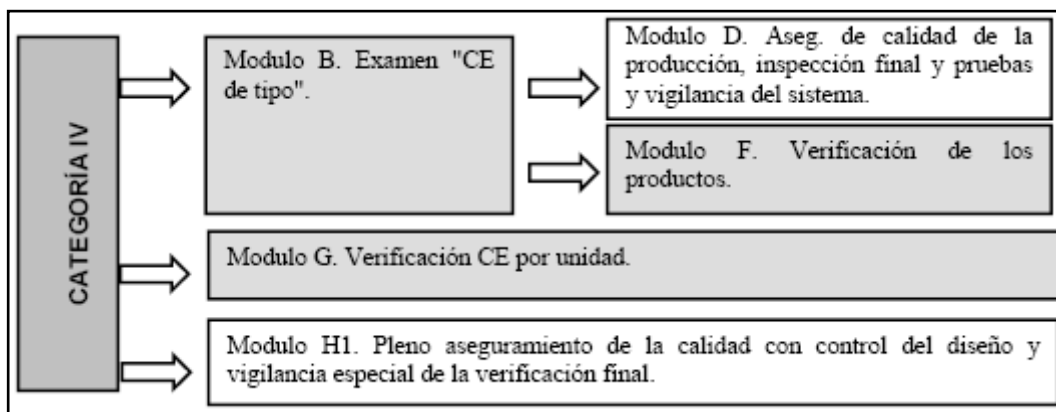


Fig. 2.2.c.- Mòduls aplicables a cada categoria.

### J.3 Mòdul avaluació de la conformitat

Aquest serà escollit pel fabricant, dintre de la categoria que hem determinat, en l'apartat anterior.