

Treball final de grau

**Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies
Industrials**

Títol: Disseny d'un equip de solidificació ràpida

Document: Memòria i annexos

Alumnes: David Pilsà Álvarez

Convocatòria 09/2022

INDEX DE CONTINGUTS

Memòria i annexos	1
1 Introducció.....	3
1.1 Antecedents	3
1.2 Objecte.....	4
1.3 Especificacions i abast	4
2 Descripció equips “ <i>melt spinning</i> ”	7
2.1 Característiques del procés de solidificació.....	7
2.2 Elements necessaris de l’equip	8
3 Condicions de treball.....	11
3.1 Condicions de temperatura	11
3.2 Condicions de pressió	11
4 Requeriments.....	13
4.1 Requeriments de l’equip de solidificació.....	13
4.2 Requeriments de l’equip d’inducció	13
4.3 Requeriments de l’equip de sobrepressió i del sistema de posicionament	14
4.4 Requeriments de la cambra de buit.....	14
4.5 Requeriments de l’equip de buit	15
4.6 Requeriments legals.....	15

5	Consideracions prèvies al disseny proposat.....	17
5.1	Consideracions	17
5.2	Condicions de seguretat.....	17
5.3	Condicions de legislació.....	18
6	Disseny previ.....	19
6.1	Materials	19
6.2	Càlculs de la cambra de buit	21
6.2.1	Procés de càlcul de gruix per a envoltants cilíndriques sotmeses a pressió interna 22	
6.2.2	Procés de càlcul de gruix per a envoltants cilíndriques sotmeses a pressió exterior 22	
6.2.3	Procés de càlcul de gruix per a fons plans sense orificis collats al recipient....	26
6.2.4	Procés de càlcul de gruix per a fons plans sense orificis soldats al recipient...	28
6.2.5	Procés de càlcul de gruix per a fons plans amb orificis soldats o cargolats al recipient 30	
6.2.6	Procés de càlcul del gruix de brides	31
6.3	Estanqueïtat.....	32
6.3.1	Elecció junta tòrica	33
6.3.2	Elecció junta grafit.....	34
6.4	Unions cargolades	34
6.4.1	Procés de càlcul d'unions cargolades amb junta tòrica	36
6.4.2	Procés de càlcul d'unions cargolades amb junta tòrica i junta de grafit	37

Memòria - Memòria i annexos

6.5	Vidre d'observació.....	37
6.6	Equip extern.....	38
7	Equip de solidificació.....	41
7.1	Elecció motor i elements del motor.....	41
7.2	Resum peces equip de solidificació.....	43
8	Equip de buit.....	45
8.1	Requeriments del sistema de buit.....	45
8.2	Bomba primària.....	46
8.3	Bomba secundària.....	47
8.4	Connexió sistema de buit.....	48
9	Elecció equip d'inducció.....	51
10	Equip de posicionament i sobrepressió.....	53
10.1	Disseny preliminar.....	53
10.2	Sobrepressió.....	54
10.3	Resum peces equip de posicionament i sobrepressió.....	55
11	Resum de pressupostos.....	57
12	Conclusions.....	59
13	Relació de documents.....	61
14	Bibliografia.....	63
	Annexos.....	65
	Annex A Càlculs del recipient.....	67

A.1	Cambra de buit (Ref. P1-01-00)	67
A.1.1	Gruix cilindre cambra de buit segons pressió interna.....	67
A.1.2	Gruix cilindre cambra de buit segons pressió externa.....	67
A.1.3	Càlcul gruix fons pla foradat soldat a la cambra de buit (Ref. P1-03-00)Càlcul gruix	71
A.2	Càlculs porta cambra de buit (Ref. P1-02-00).....	73
A.2.1	Càlcul unió cargolada amb junta tòrica	73
A.2.2	Càlcul de gruix per a fons pla collat amb orifici.	74
A.3	Tub de recolliment (P2-01-00)Tub de recollida.....	75
A.3.1	Gruix cilindre tub de recollida de mostres segons pressió interna.....	75
A.3.2	Gruix cilindre tub de recollida segons pressió externa	76
A.3.3	Càlcul cargols unió tub-cambra de buit (Ref. P1-01-00).....	79
A.3.4	Càlcul gruix de brida per la unió tub-cambra de buit (Ref. P1-01-00).....	80
A.3.5	Càlcul unió cargolada tub-porta de tub (Ref. P2-01-00)	80
A.3.6	Càlcul fons pla porta tub (Ref. P2-02-00).....	82
A.3.7	Càlcul gruix de brida unió tub-porta de tub (Ref. P2-02-00)	82
A.4	Equip de buit	83
A.4.1	Càlcul unió cargola brida bomba (Ref. P3-01-00)--cambra de buit (Ref. P1-01- 00)	83
A.4.2	Càlcul gruix de brida unió brida bomba (Ref. P3-01-00)-cambra de buit (Ref. P1- 01-00)	84
A.4.3	Càlcul gruix de brida unió brida bomba-cambra de buit	84

Memòria - Memòria i annexos	
A.4.4	Càlcul gruix cilindre tapa del sistema segons pressió interna 85
A.4.5	Càlcul gruix cilindre tapa del sistema segons pressió externa..... 85
A.4.6	Càlcul fons tapa equip de posicionament..... 89
A.4.7	Càlcul unió cargola tapa equip de posicionament 91
A.4.8	Càlcul gruix de brida unió tapa sistema de posicionament-cambra de buit (Ref. P1-01-00) 92
Annex B	Disseny d'equipament 93
B.1	Equip de solidificació 93
B.1.1	Disseny disc de coure..... 93
B.1.2	Disseny de les característiques del motor..... 94
B.1.3	Disseny d'eix 95
B.1.4	Disseny xaveta 97
B.1.5	Comprovació factor de seguretat en secció xaveter..... 98
B.1.6	Elecció coixinets 99
B.1.7	Estanqueïtat de l'eix 100
B.2	Equip de posicionament i sobrepressió 101
B.2.1	Disseny proposat 101
B.2.2	Procés de posicionament del gresol respecte el disc de coure 103
Annex C	Procés de funcionament de l'equip 105
Annex D	Fitxes tècniques 107
D.1	Fitxes tècniques equip de solidificació..... 107
D.1.1	Fitxa tècnica motor IE3-MS100L1..... 107

D.1.2	Fitxa tècnica variador de freqüència CIMR-AC4A0007FAA	110
D.1.3	Fitxa tècnica rodaments W 61804-2Z	112
D.2	Fitxa tècnica vidre d'observació	115
D.3	Fitxes tècniques equip de buit	118
D.3.1	Fitxa tècnica bomba DS 40M.....	118
D.3.2	Fitxa tècnica bomba TwisTorr 74 FS	120
D.4	Fitxes tècniques equip de posicionament.....	122
D.4.1	Fitxa tècnica actuador ADN-S-20-50-I-P-A	122
D.4.2	Fitxa tècnica rodament lineal 21505-01_AG	124
D.5	Fitxa tècnica juntes dinàmiques GARLOCK PS-SEAL®.....	126
D.6	Fitxa tècnica juntes FFKM.....	128
D.7	Fitxa tècnica juntes grafit.....	131

MEMÒRIA I ANNEXOS

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

La implantació de les noves tecnologies ha desencadenat en la necessitat de nous materials. Els ordinadors portàtils, les càmeres digitals, els telèfons mòbils intel·ligents, els nano sensors, els forns de microones, els cotxes informatitzats, la fotovoltaica de pel·lícula fina i molts altres dispositius i instruments intel·ligents utilitzats en molts sectors requereixen un tipus especial de materials que tinguin propietats superiors. No obstant això, els materials avançats es poden definir de moltes maneres en funció de les seves propietats i usos, i podem definir-los com aquells materials que mostren avenços respecte als materials tradicionals i utilitzats per a la fabricació de productes d'alta tecnologia.

Així, els materials avançats es refereixen a tots els materials nous i en desenvolupament als materials existents per obtenir un rendiment superior, únic i alt en una o més propietats. Els vidres amorfs i metàl·lics, els nanomaterials, els biomaterials, els semiconductors i els materials intel·ligents són alguns dels tipus de materials avançats utilitzats en diferents sectors. Així doncs, nous materials signifiquen nous processos de fabricació, per a tal d'aconseguir les propietats que fan a aquests materials tan especials.

El "*Melt Spinning*" és un procés que s'utilitza per produir metalls amorfs i aliatges metàl·lics de vidre en forma de tires fines (anomenades cintes). El procés es basa en la injecció de metall fos (sovint un aliatge metàl·lic) sobre un disc que gira a grans revolucions, sortint el metall fos dispartat i solidificant ràpidament en el procés. En la Figura 1-1 es mostra un exemple d'equip "*Melt Spinning*".

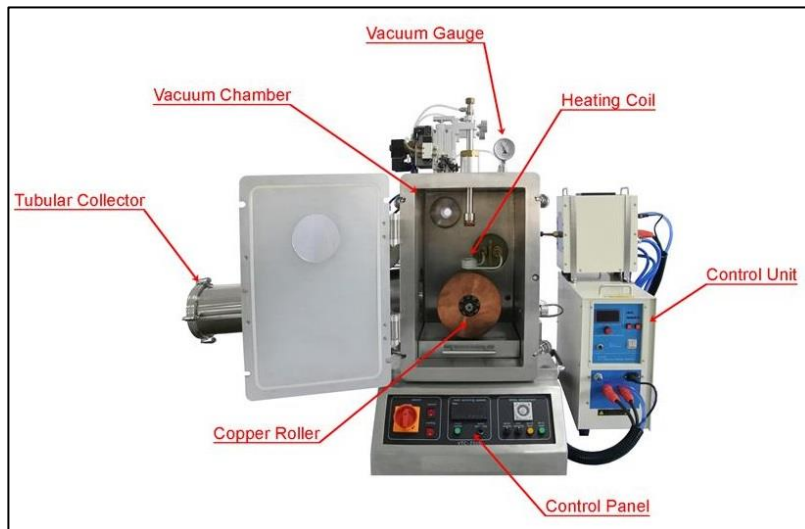


Figura 1-1. Equip de "Melt Spinning" amb les diferents parts característiques assenyalades. MTI Corporation, Bench-top Vacuum Melt Spinning System with 15KW Power Supply - EQ-VTC-200S. (<https://www.mtixtl.com/EQ-VTC-200.aspx>, 15 de març de 2022)

El Grup de Recerca en Materials i Termodinàmica (GRMT) treballa, entre d'altres, en el desenvolupament de materials amorfs a partir de la síntesi de precursors per solidificació ràpida. Per a fer-ho, empra una màquina de "Melt Spinning" externa a la Universitat de Girona.

1.2 Objecte

L'objectiu principal d'aquest treball és dissenyar un nou equip de solidificació ràpida on el material (de base metàl·lica) es fonrà en un sistema d'inducció en una cambra amb control d'atmosfera (buit, inert) per a la realització d'experiments. Aplicant una sobrepressió al material fos, es produeix la injecció del material, que impacta sobre un disc que gira a gran velocitat (amb control de velocitat). Els materials s'obtenen en forma de cinta de gruix micromètric.

1.3 Especificacions i abast

El present projecte consta de les següents especificacions:

- Com que es vol seguir un disseny que aconsegueixi resultats semblants als obtinguts amb l'equip extern usat pel grup GRMT, l'equip dissenyat haurà de suportar unes condicions de treball semblants a les de l'equip extern actualment usat, com són les de temperatura de treball en inducció elevada, sobrepressions en el reservori de la mostra de 100mbar o les condicions de buit elevat. .

Memòria - Introducció

- Tot i que l'equip a dissenyar es podrà fer servir amb diferents materials metàl·lics, s'escollirà els aliatges del grup FeNi (ferro-níquel) per a les suposicions i càlculs pertinents. Es tindrà en compte que a cada experiment es fan servir 10 grams de la mostra.
- Avaluació de la viabilitat tècnica i executiva de les condicions de treball requerides.
- Realització del disseny complet de tots els elements involucrats en el sistema.

En quant a l'abast del projecte, es dissenyarà l'equip de manera que, en cas de voluntat per a fabricar-lo, sigui un disseny viable. Això s'aconseguirà seguint la legislació pertinent per a cada pas.

2 DESCRIPCIÓ EQUIPS “MELT SPINNING”

2.1 Característiques del procés de solidificació

Tal com s'esmenta en l'apartat 1.1, el procés de solidificació en una màquina de “*Melt Spinning*” és obtingut mitjançant la injecció d'un material prèviament fos sobre un disc (habitualment de coure) que gira a altes revolucions, pel que surt disparat a grans velocitats, aconseguint així altes velocitats de solidificació, de l'ordre d'entre 10^2 K/s i 10^6 K/s.

El material amb el que s'experimenta sol ser un aliatge metàl·lic amb punts de fusió sobre els 1500-1600 °C. El material es disposa en una proveta, un gresol fet sovint de grafit, encara que també pot ser fet de nitrur de bor, dins una bobina en espiral. El material fon gràcies a l'efecte Joule induït per les corrents de Foucault induïdes a la mostra per el bobinat.

La mostra fosa és llavors injectada al disc de coure aplicant una sobrepressió sobre la proveta, de manera que s'assegura la fluïdesa cap al disc en cas de viscositat alta. Aquesta sobrepressió sol ser feta aplicant argó, tot i que també es pot fer servir qualsevol altre gas inert. Així doncs, la mostra impacta contra el disc i és impulsada en una trajectòria gairebé tangencial cap a un tub suficientment llarg per a assegurar que no hi ha cap impacte abans de ser solidificada, doncs aquest generaria un canvi en la morfologia interna de la mostra que no valdria per a les condicions a les que es necessita per als experiments.

La Figura 2.1 representa el principi de funcionament de l'equip de “*Melt spinning*”.

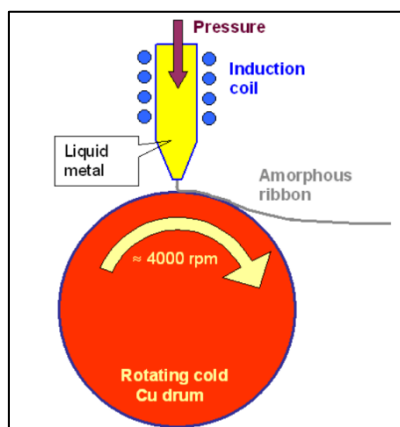


Figura 2.1: Representació del funcionament característic de l'equip de “*Melt Spinning*”. H. Föll , “*Melt Spinning of Metals*”. (https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/advanced/a8_4_1.html, 15 de març de 2022)

Tot el procés de solidificació ha de ser realitzat en una atmosfera inert, és a dir en un espai lliure d'oxigen, per tal de no causar oxidació en la mostra, fet que malmetria les cintes obtingudes. Això implica que el sistema de sobrepressió necessari per expulsar el material fos de la proveta s'ha de poder realitzar amb el mateix gas, que s'utilitza en l'ambient de la cambra, per no contaminar i modificar la composició de la mateixa. Això s'aconsegueix primerament realitzant un buit elevat, es connecta una bomba rotatòria per un buit primari i quan el buit ja és de l'ordre de 1 mbar (mil·libar) es connecta una bomba turbomolecular per assolir un buit de magnituds inferiors, de l'ordre de 10^{-5} bar. Tot aquest procés ha de poder ser controlat per l'usuari, pel que l'equip necessita ser aïllat de l'exterior dins una capça o cambra, on només s'hi pot accedir per a la introducció i recollida de mostres.

2.2 Elements necessaris de l'equip

Tot equip de "*Melt Spinning*" ha de comprendre de les següents parts per al seu correcte funcionament, per tant seran els que es dissenyin en aquest projecte:

- Equip de solidificació: aquest equip consisteix en un disc de coure, de dimensions d'acord als requeriments de les mostres a obtenir (amplada de disc i radi, el qual quedarà establert per a les velocitats a les que es vulgui arribar). Aquest disc ha de suportar altes temperatures i desgast discontinu, doncs el procés pel que es dissenya no és un procés continu (el disc es revolucionarà només quan es vulgui obtenir les cintes). Aquest disc serà accionat per motor, del qual se'n podrà regular la velocitat, i subjectat de manera que es minimitzi el risc de deformacions que el facin inestable.
- Equip de sobrepressió: aquest equip consta del sistema de injecció de la mostra fosa sobre el disc de coure, per tal d'assegurar que el flux de mostra fosa és constant i per vèncer la viscositat que pugui tenir la mateixa. Aquest equip podrà treballar amb diferents gasos (sempre inerts) i haurà de ser regulable, mitjançant l'ús de vàlvules i manòmetres. Cal un reservori on tenir el gas inert a pressió major que la de la cambra per a ser introduït per a crear l'atmosfera inert i la sobrepressió.
- Tub de recollida de les cintes: aquest tub és per on s'ha de poder accedir a les mostres resultat de la solidificació un cop el procés s'ha acabat, pel que ha de ser hermètic, aguantar les diferents pressions del procés i ésser el suficientment llarg per assegurar que les mostres arriben durant el final de la seva trajectòria.

Memòria - Descripció equips "melt spinning"

- Equip de posicionament de la proveta: és l'equip encarregat de controlar la posició del gresol amb la mostra respecte e disc de coure, tant per determinar el gruix de les cintes com per assegurar la perfecte introducció i extracció de les mostres.
- Equip d'inducció: aquest serà l'encarregat de fondre la quantitat de mostra introduïda del gresol. Ha de ser capaç d'arribar com a mínim a la temperatura de fusió del material de la mostra. El bobinat serà el seu principal component, seguit de l'equipament elèctric necessari per al seu funcionament.
- Cambra de buit: aquesta cambra és on es desenvolupa tot el procés, des de la fosa de la mostra fins a la solidificació de les cintes. Ha de suportar tant les diferents temperatures com les diferents pressions de treball, per això ha de ser degudament dimensionada. També ha de tenir la propietat d'estanqueïtat per a tal de aconseguir l'atmosfera inert desitjada.
- Control d'atmosfera inert: aquest serà tot l'equipament destinat a obtenir l'atmosfera inert desitjada, amb capacitat d'oferir les diferents pressions necessitades pel procés, pel que estarà conformat de vàlvules i manòmetres.

3 CONDICIONS DE TREBALL

El disseny d'aquest equip de "*Melting Spinning*" està basat en el perfecte funcionament del mateix sota unes condicions específiques, que són en les que es treballa normalment en els experiments. Això vol dir que el present projecte només assegura una perfecta funcionalitat del disseny si es posa a prova sota les condicions esmentades en aquest apartat.

3.1 Condicions de temperatura

El procés de solidificació és sotmès a diferents temperatures durant el seu desenvolupament. La més crítica de les temperatures és la temperatura d'inducció. En l'apartat 1.3 s'ha definit que per aquest disseny s'agafen com exemple els aliatges del grup FeNi, i l'experiència del grup GRMT diu que aquest aliatges solen tenir una temperatura de fusió al voltant de 1500 °C. Si aquesta informació la contrastem amb el trobat en diferents proveïdors de tal aliatge, se sap que la temperatura de fusió oscil·la entre els 1400°C i els 1500°C, depenent de la quantitat de ferro i de níquel en l'aliatge. Per a tal d'aconseguir fondre qualsevol composició de l'aliatge, considerarem que la temperatura a la qual es treballa en el procés de fusió del material és de 1600°C.

L'altra temperatura a tenir en compte és la temperatura ambiental, la present a la cambra de buit de forma homogènia. Aquesta la considerarem de uns 350°C per a fer l'equip més segur i obtenir un marge de seguretat alt.

3.2 Condicions de pressió

Les condicions de pressió de l'equip venen determinades tant per la necessitat de fer un alt buit dins la cambra per a eliminar tot l'oxigen present com per la sobrepressió per injectar la mostra fosa sobre el disc de coure. És per això que la cambra de buit serà sotmesa a dues pressions extremes, de 1 a 1,5 i 5 bar per a la sobrepressió i 10^{-5} mbar per al buit elevat. Per a poder donar espai a regulacions de pressió pròpies de l'usuari, el límit de pressió es puja a 5 bar. Cal recalcar que, al ocórrer tot el procés en una cambra hermètica, aquestes pressions són absolutes.

4 REQUERIMENTS

El disseny que es troba en el present projecte té en compte els següents requeriments i els compleix per tal d'aconseguir complir les especificacions i de suportar les condicions de treball.

També val afegir que els requeriments no només seran obligats per l'anterior comentat, si no que el disseny també complirà un seguit de requeriments legals per a, en cas de possible fabricació, no fessin falta grans modificacions.

4.1 Requeriments de l'equip de solidificació

L'objectiu del disseny és poder obtenir resultats semblants als que dona l'equip usat pel grup GRMT. Així doncs els requeriments per a l'equip de solidificació són els següents:

- Disc de coure, doncs el coure ens ofereix grans propietats de durabilitat i baix desgast per a les operacions a realitzar.
- Amplada de cintes de 20 mm, pel que l'amplada del disc haurà de ser mínim 25 mm.
- Velocitat mínima de 31 m/s. Aquesta velocitat mínima permet realitzar tasques de manteniment sobre el disc, com el poliment de la superfície de contacte amb la mostra.
- Velocitat regulable amb variador de freqüència. Les revolucions del disc han de poder ser regulades segons el desig de l'usuari.
- Minimització de la deformació per fatiga del disc. A més, el disc ha de poder ser desmuntat amb facilitat per a ser reemplaçat.

4.2 Requeriments de l'equip d'inducció

La mostra ha de poder ser fosa ràpidament i s'ha d'arribar als 1660°C especificats en l'apartat 3.1. Les mostres en cada experiment consten de 10 grams de material per fondre, tal i com s'esmenta en l'apartat 1.3. Per tant, els requeriments de l'equip d'inducció són els següents:

- Fosa ràpida de fins a 10g de mostra.

- Temperatura d'inducció mínima 1600°C per a assegurar la fosa completa de la mostra.
- Inducció produïda amb generadors de radiofreqüència, dels quals se'n pugui regular la freqüència (rang de freqüències des de 50 kHz fins a altes de ~1000 kHz)
- Bobina d'inducció disposada de manera que faciliti la col·locació del gresol.
- Piròmetre per a controlar la temperatura de la mostra, de manera que es tingui constància de l'assoliment constant de la temperatura de fusió per a accionar la sobrepressió.

4.3 Requeriments de l'equip de sobrepressió i del sistema de posicionament

Tal com es comenta en l'apartat 2.2, l'equip dissenyat ha de tenir un sistema de sobrepressió per a injectar la mostra fosa sobre la superfície del disc i també s'ha de poder controlar la distància entre el bec del gresol per on surt la mostra respecte la superfície del disc. Això suposa els següents requeriments:

- Distància entre el bec d'obertura del gresol i la perpendicular a la tangent del disc de coure fixe durant el procés d'injecció de la mostra fosa per a mantenir un gruix de cinta constant.
- El sistema de posicionament ha de proveir de diferents posicions, tant manualment com automàticament, per assegurar el correcte manteniment de la maquinària.
- La sobrepressió s'ha de regular manualment.
- Ha de permetre la sobrepressió al gresol i a la cambra de buit, amb pressions diferents, essent la primera d'uns 1000 mbar i la segona de 400 mbar
- El gresol ha de ser connectat a l'equip de sobrepressió de forma estanca, doncs el buit no serà realitzat dins l'interior de la mostra, pel que es vol que no hi hagi fuites que puguin invalidar les cintes obtingudes.

4.4 Requeriments de la cambra de buit

Tot el procés de solidificació ha de ocórrer dins una atmosfera inert tal com s'ha esmentat en anteriors capítols. La cambra de buit ha de poder treballar sota les pressions de buit elevat i les

temperatures de treball amb els diferents gasos que es puguin usar per a mantenir l'atmosfera inert, en el cas d'aquest disseny argó.

L'estanqueïtat de la cambra de buit és obligatòria, així doncs es dissenya per a que totes les unions disposin de les juntes necessàries per a poder complir aquest propòsit. A més, la cambra es dissenyarà per a tenir totes les connexions als equips externs necessàries, per a la seva correcte disposició dins la mateixa i el seu correcte ús.

4.5 Requeriments de l'equip de buit

L'equip de buit que s'esculli per a aquest projecte haurà de complir:

- Capacitat d'assolir els 10^{-5} bar de pressió.
- Donat l'alt buit, l'equip constarà de dues bombes, així doncs s'ha de poder controlar l'encesa i l'apagada d'ambdues.
- Capacitat de treball a altes temperatures de gas ventilat.
- Capacitat de treball amb gas inert, com l'argó. La seva eficiència no s'ha de veure malmesa pel treball amb altres gasos inerts que puguin ser fets servir dins la cambra.
- Capacitat de control del buit i de la pressurització.
- Facilitat de connexió amb la cambra.

4.6 Requeriments legals

Tal com s'indica en l'abast del projecte, aquest projecte no contempla la imminent fabricació de l'equip, però es redacta per a assolir un disseny viable per a ser fabricat. És per això que per al disseny de peces, muntatges i unions es seguiran les pautes establertes per la normativa per poder a dur a terme el seu ús. Tot els elements externs que es designin per a l'ús en aquest projecte també hauran de complir la respectiva legislació vigent.

5 CONSIDERACIONS PRÈVIES AL DISSENY PROPOSAT

5.1 Consideracions

Donades les característiques que ha de complir l'equip "*Melt Spinning*" que es dissenyarà en el present projecte, hi ha consideracions a tenir en compte per al seu disseny.

D'entrada, l'objectiu del disseny no és la creació de quelcom reproduïble, doncs el disseny s'haurà de considerar com a primer disseny, com a prototip, tal i com s'indica a l'abast del projecte.

A més, l'equip és dissenyat com a maquinaria de laboratori, per a la realització d'experiments. Això vol dir que no es pensa en automatitzar els processos, i tot el que es pugui realitzar manualment es dissenyarà per a tal. Per aquesta mateixa raó, per al disseny de peces que requereixin, per la seva forma característica, de soldadura o de motlles per a la seva creació, s'escollirà la soldadura, doncs és el procés menys costós tenint en compte la finalitat de l'equip, encara que en aquest present projecte no en consideri la fabricació

Si bé és cert que es dissenya com a prototip, no queda exempt el disseny de complir tots els requeriments i ser apte per a treballar en les condicions de treball abans esmentats.

5.2 Condicions de seguretat

Per a assegurar la seguretat de l'usuari, es prendran les següents suposicions de cares al disseny:

- La pressió absoluta màxima a la que pot arribar la cambra serà de 5 bar, donant així marge respecte la pressió absoluta màxima a que es sotmet el procés per assegurar la seguretat de l'usuari davant errors humans o mecànics. La pressió mínima serà la de buit elevat, 10^{-5} bar.
- Per a la temperatura homogènia, es dissenyaran les diferents peces per a aguantar 350 °C sense perdre les propietats característiques de resistència, així com tot el material auxiliar que sigui sotmès a aquesta temperatura (o-rings, juntes tòriques, cargols, rosques, etc.).
- Es necessita ventilació amb l'exterior.

5.3 Condicions de legislació

Es consideraran aplicables les normes i directrius que regulin la fabricació del disseny, no les en regulin la distribució, doncs no es pretén que sigui comercialitzat. Per exemple, la directiva europea D.C. 2014/68/UE de 15 de maig de 2014 regula l'harmonització de les legislacions dels Estats membres sobre la comercialització d'equips a pressió que superin els 0'5 bar, pel que no es complirà en la seva totalitat. Així doncs, sí que es complirà la norma UNE-EN 13445-3:2021, que dona les pautes a seguir per a dissenyar recipients a pressió no sotmesos a flama. A més, durant el disseny de parts per a la seva adquisició, es seguiran les normes DIN i ISO pertinents

6 DISSENY PREVI

En aquesta secció es resolten les qüestions prèvies al disseny respecte als materials a fer servir per al disseny de la cambra de buit, el tipus de juntes per a crear estanqueïtat o la normativa vigent a aplicar en els passos de càlcul d'elements.

6.1 Materials

Els materials que s'escullen en aquest apartat determinaran la composició de la cambra de buit i el tub de recollida de les cintes, doncs son els equipaments que s'han de prefabricar i que no estan condicionats per les especificacions, com sí que ho està el disc de coure.

La norma que dictamina els materials per a recipients a pressió és la UNE EN13445-2:2021. EL llistat de materials per a aquest us es troba en l'Annex E de la mateixa.

El material triat haurà de complir els següents punts de la norma:

- Si el material és un acer, ha de tenir un allargament mínim especificat després de ruptura, mesurat sobre una longitud de referència del 14%, calculat amb la següent equació:

$$L_o = 5,65\sqrt{S_o} \quad (\text{Eq. 6.1-1})$$

Essent S_o la secció transversal original dins la longitud de referència, en m².

- Els acers han de tenir un valor de resiliència mínima especificada, mesurada en assaig Charpy, que haurà de ser major o igual a 27 Joules per a acers ferrítics i acers aliats amb un percentatge de níquel comprès entre 1,5% i 5%, o major a 40 pels grups de materials 8, 9.3 i 10 de la norma, sota una temperatura especificada en l'annex B de la mateixa norma.
- La composició química dels acers que siguin sotmesos a soldadura no han de presentar valors superiors als indicats en la taula 4.1-1 de la norma.

Contemplats aquests requisits de la norma, es troben tres tipus d'acer inoxidable adients per al nostre equip: els ferrítics, martensítics i els austenítics. Un dels conceptes clau per a triar el material és la corrosió, els efectes de la qual s'accentuen a grans temperatures. És per això que s'escull l'acer inoxidable austenític (grup 8 en la UNE EN13445-2:2021), doncs presenta la millor

resistència a la corrosió dels tres (Norton, 1999). Els acers inoxidable austenítics formen el grup 300 dels acers, essent els 304 i els 316 els més aptes per a l'equip que es vol dissenyar. El 304 presenta baix cost i bona resistència a la corrosió, però la resistència a la corrosió perd eficiència per a temperatures majors a 800 °C, pel que s'escull l'acer inoxidable 316 (nombre 1.4401).

L'acer inoxidable 316 té la designació X5CrNiMo17-12-2 segons la normativa EN 10027. Com que, per la naturalesa del disseny, hi ha parts que seran soldades, com poden ser la tapa de la cambra de buit, s'ha de triar un altre acer específic per a tals parts, que serà la versió baixa en carboni de l'acer inoxidable 316, el 316L (codi EN 10027 X2CrNiMo17-12-2, nombre 1.4404) doncs l'acer inoxidable 316 és menys apte per a soldadures. El 316L compleix les condicions de la taula 4.1-1 de la norma EN 13445-2:2021. Ambdós materials es troben dins l'Annex E de la norma 13445-1:2021.

Les normes que caracteritzen aquests dos acers per al seu ús sota pressió són la UNE-EN10272:2016 per a barres d'acer i la UNE-EN10222:2017 per a peçes d'acer forjades.

En la Taula 6.1.-2 i Taula 6.1.-1 s'indiquen les característiques mecàniques dels acers triats a 20°C i 350°C, respectivament:

Material	Duresa Max. (HBW)	Rp 0,2% min. (Mpa)	Rp 01,0% min. (Mpa)	Rm (Mpa)	Allargament mínim (%)
14401 X5CrNiMo1 7-12-2	215	200	235	500	40
14404 X2CrNiMo1 7-12-2	215	200	235	500	40

Taula 6.1.-2. Característiques mecàniques de l'acer inoxidable 1.4401 i 1.4404 a 20°C, segons UNE-EN 10272:2016.

Material	Rp 0,2% min. (Mpa)	Rp 01,0% min. (Mpa)	Rm min. (Mpa)
14401 X5CrNiMo1 7-12-3	120	150	380
14404 X2CrNiMo1 7-12-3	113	139	380

Taula 6.1.-1. Característiques mecàniques de l'acer inoxidable 1.4401 i 1.4404 a 350°C, segons UNE-EN 10272:2016.

En quant als esforços màxims que poden suportar aquests materials sota pressió, la norma UNE EN13445-3:2021 dona les pautes per als càlculs. Com que es tracta de materials amb un

allargament mínim del 40% a temperatura ambient, els càlculs estan definits en la secció 6.5 de la mateixa.

Així doncs, s'indica l'ús de la següent expressió:

$$f_d = \max \left[\left(\frac{R_{p\ 1,0/T}}{1,5} \right); \min \left(\frac{R_{p\ 1,0/T}}{1,2}; \frac{R_{m/T}}{3} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.1-2})$$

On f_d és la tensió màxima admissible en MPa, $R_{p\ 1,0/T}$ és l'1% de la tensió de prova a una temperatura T en MPa i $R_{m/T}$ és la resistència a la tracció a una temperatura T en MPa.

Aplicant els valors més desfavorables, que son els pertanyents a l'acer 306L (1.4404) a 350°C, i obtenim que $f_d = \max[92,6; \min(115,83 ; 126,66)]$, pel que **$f_d = 115,83$ MPa**. Aplicant el mateix per a 20°C, obtenim que **$f_d = 166,67$ Mpa**.

Aquest valor de tensió màxima serà l'utilitzat en el disseny de tota peça formada a pressió del material descrit en aquest apartat.

6.2 Càlculs de la cambra de buit

Per al càlcul de les peces que conformen la cambra de buit tindrem en compte com a tensió màxima (f_d) a suportar la trobada en l'apartat anterior, doncs és el cas més desfavorable dels possibles. A més, es calcularan les dues tensions límit que suportarà la cambra: la pressió interior provocada per la sobrepressió d'argó i l'exterior provocada per el buit interior.

Es seguiran els passos esmentats en la norma UNE-EN13445:3, la qual ens defineix els següents conceptes:

- Gruix requerit e , el que resulta necessari per a complir els càlculs de pressió.
- Gruix mínim e_{min} , el gruix mínim que es pot assolir després de fabricació (obtingut dels estàndards del material). És també la suma del gruix útil i la tolerància de corrosió.
- Gruix útil e_a , el gruix mínim menys la tolerància de corrosió.
- Gruix nominal e_n , el gruix mínim més el valor absolut de la tolerància negativa assolible en el procés de fabricació.
- Tolerància de corrosió, el gruix afegit de compensació per la corrosió i/o l'erosió.

Per a les pressions que es tindran en compte, la pressió interior màxima serà l'estipulada en el apartat 3, 5 bar o 0,5 MPa, i per a la pressió exterior màxima la norma estipula que per a recipients sotmesos a buit, aquesta ha de ser de 0,1 MPa (secció 5.3.10).

6.2.1 Procés de càlcul de gruix per a envoltants cilíndriques sotmeses a pressió interna

En el capítol 7 de la norma UNE-EN13445-3:2021 trobem definides les següents pautes:

- La relació e/D_e no pot ser major a 0,16, essent e el gruix del cilindre i D_e el seu diàmetre exterior.
- La fórmula per a determinar el gruix és la següent:

$$e = P * D_i / (2 * f * z - P) \quad (\text{Eq. 6.2.1-1})$$

on P és la pressió màxima que suportarà l'envoltant en MPa, D_i és el diàmetre interior del cilindre en mm, f és la tensió màxima de disseny (fd calculada en l'apartat 6.1) en MPa i z és el coeficient d'unió (en aquest cas $z=1$).

- Per a assegurar que el gruix final escollit és apte, es pot calcular la nova pressió màxima de la següent manera:

$$P_{max} = 2 * f * z * e_a / D_m \quad (\text{Eq. 6.2.1-2})$$

on D_m és el diàmetre mitjà del cilindre en mm, f és la tensió màxima de disseny (fd calculada en l'apartat 6.1) en MPa, e_a és el gruix útil escollit en mm i z és el coeficient d'unió (en aquest cas $z=1$).

Com que s'ha d'afegir un sobre gruix c per cobrir el desgast per corrosió i/o erosió, aquest serà afegit posteriorment.

6.2.2 Procés de càlcul de gruix per a envoltants cilíndriques sotmeses a pressió exterior

En el capítol 8 de la norma UNE-EN13445-3:2021 trobem definides les següents pautes:

- El límit elàstic nominal per a acers austenítics ve donat per:

$$\sigma_e = \frac{R_{p\ 0,2/T}}{1,25} \quad (\text{Eq. 6.2.2-1})$$

On $R_{p\ 0,2/T}$ és el 0,2% de la tensió de prova a una temperatura T , en MPa.

- El factor de seguretat mínim que s'aplica en el capítol és de 1,5.

Memòria - Disseny previ

L'aplicació d'aquest apartat depèn en que el cilindre sigui circular fins al 0,5% del radi, excepte en els casos en què es disposi d'un sobre gruix resultant del càlcul, en els quals aquest percentatge no podrà ser superior a una tolerància T multiplicada pel radi del cilindre. Aquesta tolerància es calcula de la següent forma:

$$T = 0,005 Pr P \cdot S \quad (\text{Eq. 6.2.2-2})$$

On Pr és el límit inferior de la pressió d'enfonsament (extreta de la figura 8.5-5 UNE-EN 13445-3:2021) en MPa, P és la pressió exterior en MPa i S és el factor de seguretat aplicat a aquests càlculs de valor 1,5.

Per a cilindres sense tensor, el primer pas és obtenir L, la llargada sense suport del cilindre, la qual ve definida per la següent equació:

$$L = L_{cyl} + 0,4h' + 0,4h'' \quad (\text{Eq. 6.2.2-3})$$

On L_{cyl} és la longitud del cilindre entre les línies tangents, h' i h'' són les mesures dels fons del cilindre, tal com s'expressa en la Figura 6.2.2-1.

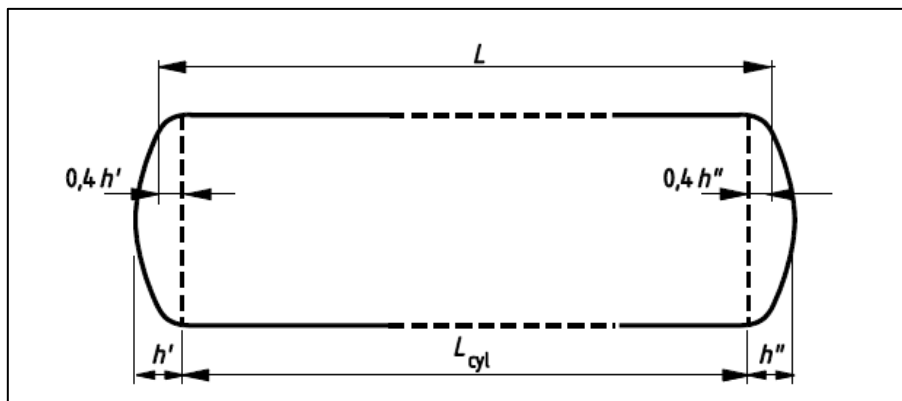


Figura 6.2.2-1. Definició esquemàtica de les longituds del cilindre, segons UNE-En 13445-3:2021. AENOR, UNE-13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-1, pg. 61.

Seguidament, es segueix el següent procediment:

- Es determina un valor d'ea i es calcula P_y , la pressió en que el cilindre arriba al punt de fluència, amb la següent expressió:

$$P_y = \frac{\sigma_e * ea}{R} \quad (\text{Eq. 6.2.2-4})$$

On σ_e és el límit elàstic nominal en MPa, ea el gruix útil en mm i R el radi del cilindre en mm.

- Seguidament es calcula P_m , la pressió d'inestabilitat elàstica teòrica que provoca l'enfonsament d'un recipient perfectament cilíndric, amb el mateix valor d' ea :

$$P_m = \frac{E \cdot ea \cdot \varepsilon}{R} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

On E és el valor del mòdul elàstic del material a la temperatura de càlcul (en el nostre cas 350°C, la més desfavorable) en MPa i ε la deformació elàstica de circumferència mitjana (adimensional). Tant E com ε s'han de trobar gràficament en figures dins la mateixa norma. E és trobada en la Figura O-1 de l'Annex O (veure Figura 6.2.2-2), tenint en compte que el grup d'acers que es faran servir són els del grup 8.1, i el valor de ε es troben en la figura 8.5-3 o bé segons la següent equació:

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left[\frac{1}{\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1} + \frac{ea^2}{12 \cdot R^2 (1 - \nu^2)} * (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right] \quad (\text{Eq. 6.2.2-6})$$

On n_{cyl} és un integrador que representa el nombre d'ones de circumferència per una part no reforçada de cilindre i es troba en la Figura 6.2.2-3 (adimensional), ν és el coeficient de Poisson que segons l'apartat O.3.5 de l'Annex O de la norma es pot considerar 0,3 per tots els acers (adimensional) i Z (adimensional) es calcula com a:

$$Z = \pi * \frac{R}{L} \quad (\text{Eq. 6.2.2-7})$$

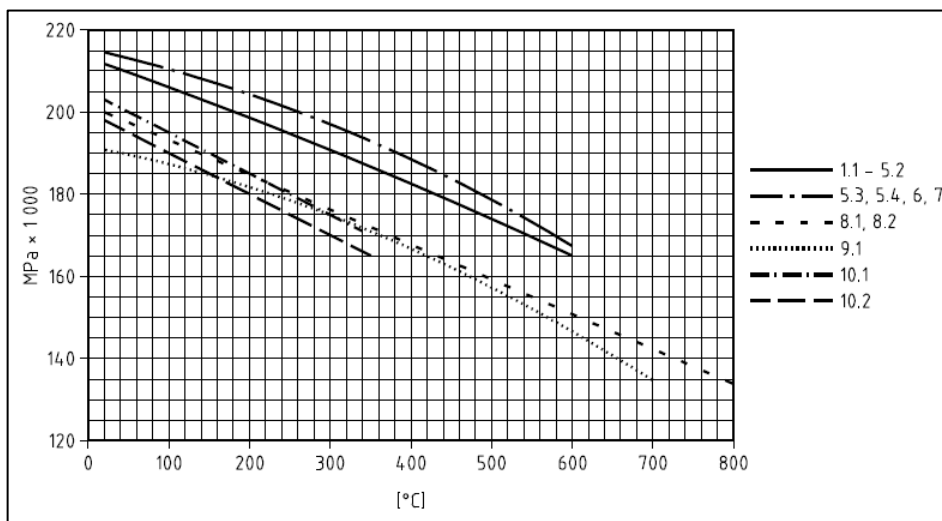


Figura 6.2.2-2 Mòdul elàstic per a diferents grups de materials a diferents temperatures, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR, UNE-13445-3:2021, Annex O Figura O-1, pg. 819.

- Un cop obtinguda P_m es calcula el quocient P_m/P_y i es determina el quocient P_r/P_y

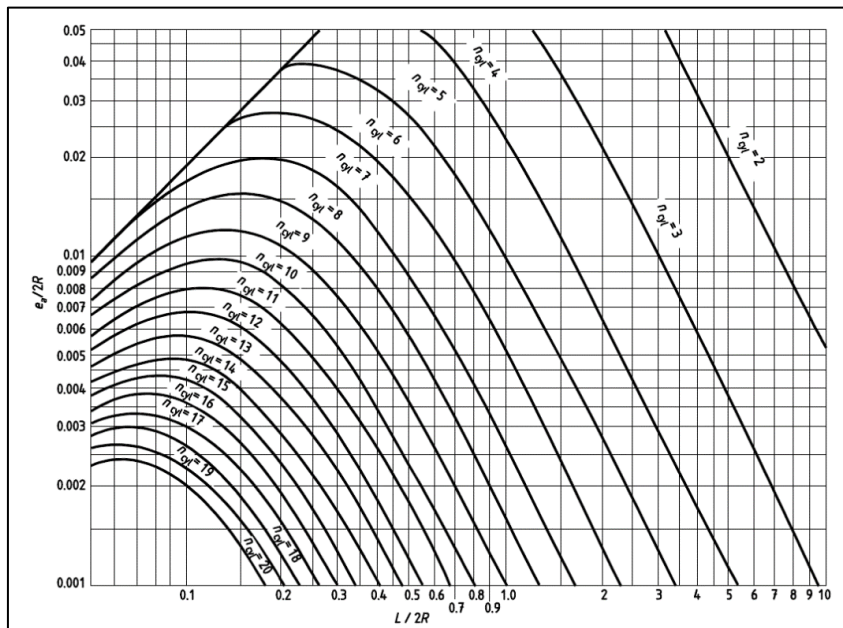


Figura 6.2.2-3. Gràfic per a trobar el valor de n_{cyl} on P_m és un mínim. Eixos adimensionals.

AENOR, UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-4, pg. 64.

en la corba 1 de la Figura 6.2.2-4. S'ha de complir la següent expressió:

$$P < Pr / S \quad (\text{Eq. 6.2.2-8})$$

On P és la pressió exterior en MPa i S el coeficient de seguretat (adimensional) de 1,5.

Si l'expressió de la Eq. 6.2.2-8 no es compleix, s'engrandeix ea i es repeteix el procediment des del principi.

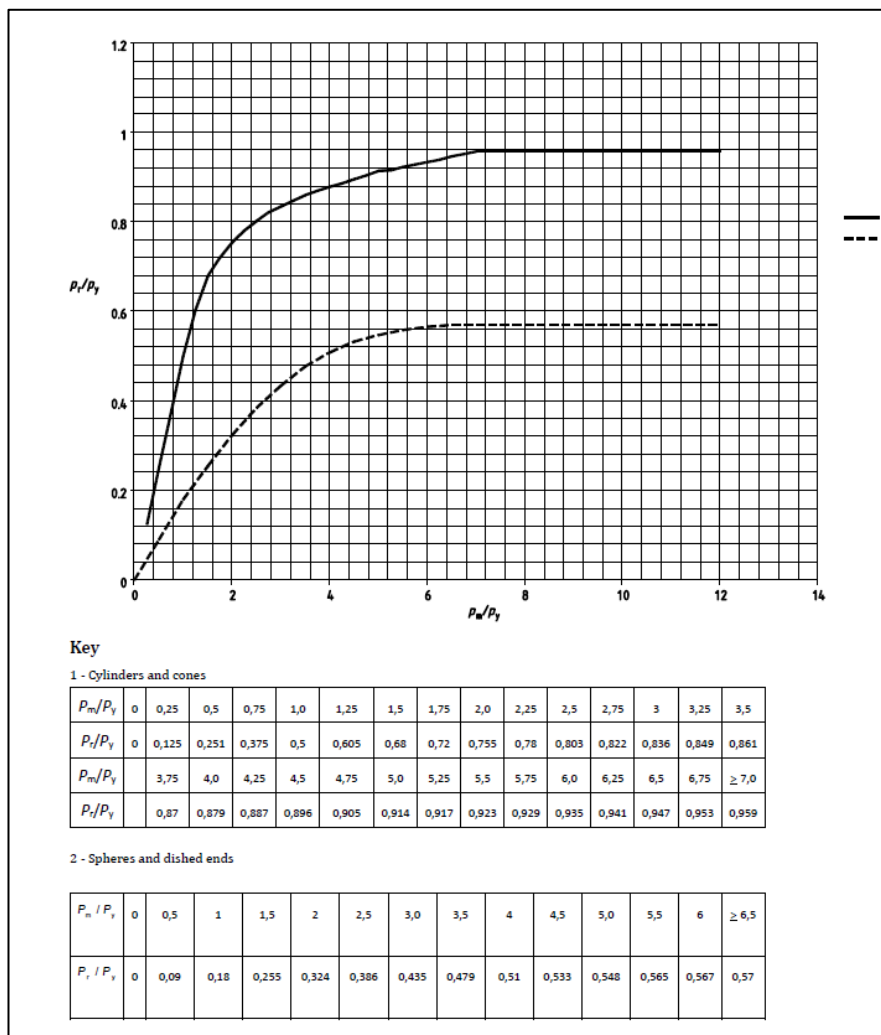


Figura 6.2.2-4. Corba de valors del quocient P_r/P_y respecte el quocient P_m/P_y amb valors concrets en diferents punts, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-5, pg. 65.

6.2.3 Procés de càlcul de gruix per a fons plans sense orificis collats al recipient

Aquesta secció la refula l'apartat 10.5 de la UNE-EN13445-3:2021, i s'estipula el següent:

- Les mides contemplades per al càlcul dependran del tipus de junta que es vulgui col·locar en el fons pla (veure Figura 6.2.3-1), essent el nostre cas el numero 1 descrit per la norma.

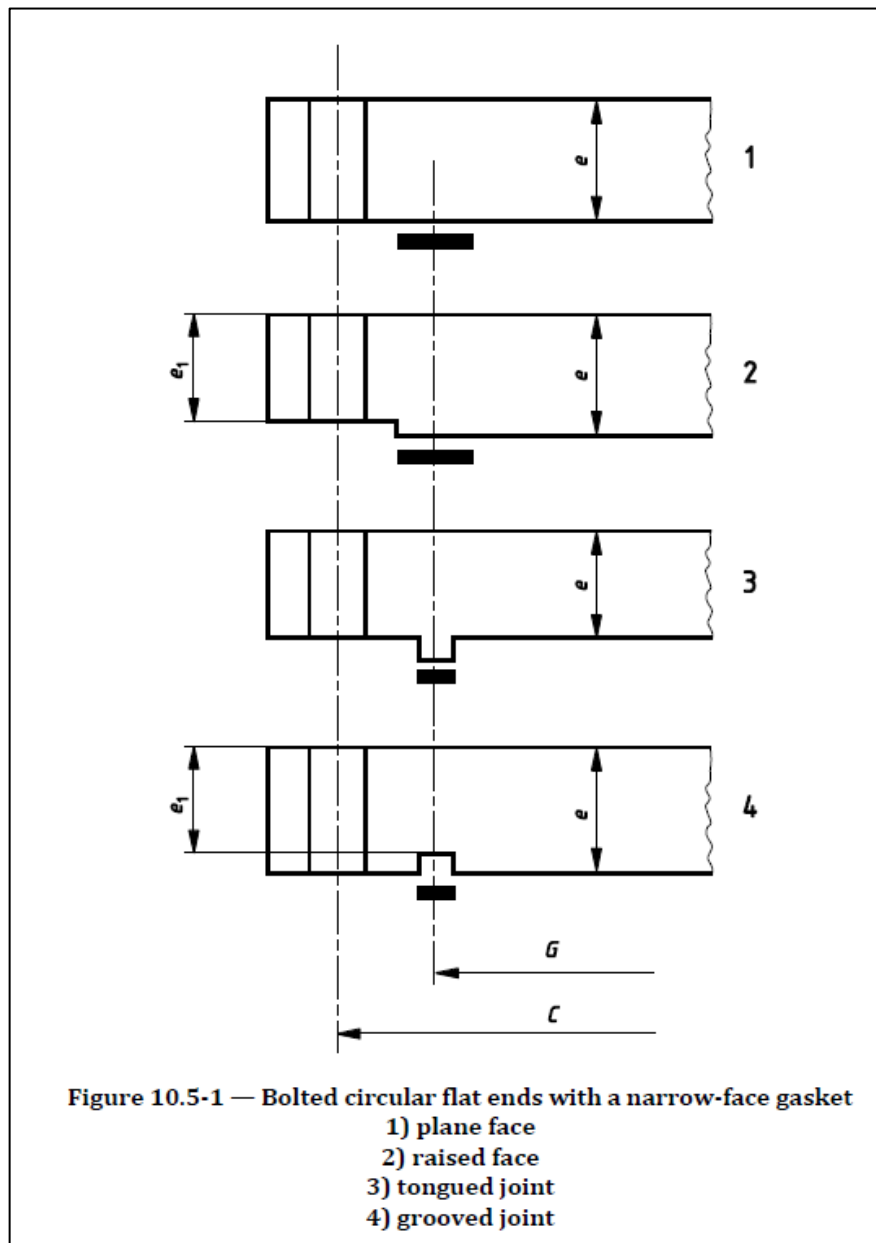


Figura 6.2.3-1. Esquema de mesures segons el tipus de junta a col·locar, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figura 10.5-1, pg. 152.

- El gruix mínim que tindrà el fons serà

$$e = \max [ea; ep] \quad (\text{Eq. 6.2.3-1})$$

On

$$ea = \sqrt{C_f * \frac{3(C-G)}{\pi * G} * \left(\frac{W}{f_A}\right)} \quad (\text{Eq. 6.2.3-2})$$

$$ep = \sqrt{\left[\frac{3(3+\nu)}{32} * G^2 + 3C_f \left(\frac{G}{4} + 2 * b * m\right) (C - G)\right] \frac{P}{f}} \quad (\text{Eq. 6.2.3-3})$$

$$C_f = \max \left[\sqrt{\frac{t_b}{2d_b + \frac{6 * e_{1,a}}{m+0,5}}}; 1 \right] \quad (\text{Eq. 6.2.3-4})$$

On $e_{1,a}$ és el gruix d'anàlisi per la extensió amb brida en mm, d_b és diàmetre exterior dels cargols en mm, C és el diàmetre del cercle dels cargols en mm, m és el factor de la junta, G és el diàmetre de reacció de la junta en mm, b és l'amplada efectiva de la junta en mm, W es la carga de disseny dels cargols en N, P és la pressió de càlcul 0,5 MPa, f_A és la tensió a temperatura ambient 166,67 MPa (apartat 6.1), f és la tensió a temperatura de disseny 350°C (apartat 6.1) 115,83 MPa, t_b és el diàmetre de les circumferències dels cargols.

6.2.4 Procés de càlcul de gruix per a fons plans sense orificis soldats al recipient

Aquest apartat segueix les directrius de l'apartat 10.4 de la UNE-EN13445-3:2021.

- El gruix mínim vindrà donat per la següent expressió:

$$e = \max \left[\left(C1 * D1 * \sqrt{\frac{P}{f}} \right), \left(C2 * D1 * \sqrt{\frac{P}{f_{min}}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-1})$$

On

$$f_{min} = \min[f, fs] \quad (\text{Eq. 6.2.4-2})$$

En la qual f_s és la tensió en condicions normals i f la tensió a la temperatura de disseny 350°C, (166,67 i 115,83 MPa respectivament segons el trobat en l'apartat 6.1), pel que aplicant la Eq. 6.2.4-2 **$f_{min}=115,83$ MPa**). P és la pressió de treball, 0,5 MPa. Per al càlcul del coeficient C1 es fan servir les següents fórmules amb f com a f_{min} (166,67 MPa),

$$C1 = \max \left[\left(0,40825 * A1 * \frac{D_i + e_s}{D_i} \right), \left(0,299 * \left(1 + 1,7 * \frac{e_s}{D_i} \right) \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-3})$$

D'on es és el gruix equivalent necessari per un cilindre de diàmetre interior D_i igual al de la tapa cilíndrica, segons Eq. 6.2.1-1, sense considerar cap tipus de gruix addicional, i D_i és el diàmetre interior del fons. A_1 es calcula com

$$A_1 = B_1 \left[1 - B_1 * \frac{es}{2(D_i+es)} \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-4})$$

I a la vegada B_1 com a

$$B_1 = 1 - \frac{3f}{P} \left(\frac{es}{D_i+es} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{D_i}{D_i+es} \right)^4 * \frac{P}{f} + -\frac{3}{4} * \frac{(2D_i+es)es^2}{(D_i+es)^3} \quad (\text{Eq. 6.2.4-5})$$

Per a obtenir C_2 , entrem a la amb els quocients P/f_{min} i es/D_i . Per a obtenir C_2 , entrem a la Figura 6.2.4-2 amb els quocients P/f_{min} i es/D_i . Si el valor de C_2 fos menor a 0,3, només es tindrà en compte el costat de C_1 en la Eq. 6.2.4-1.

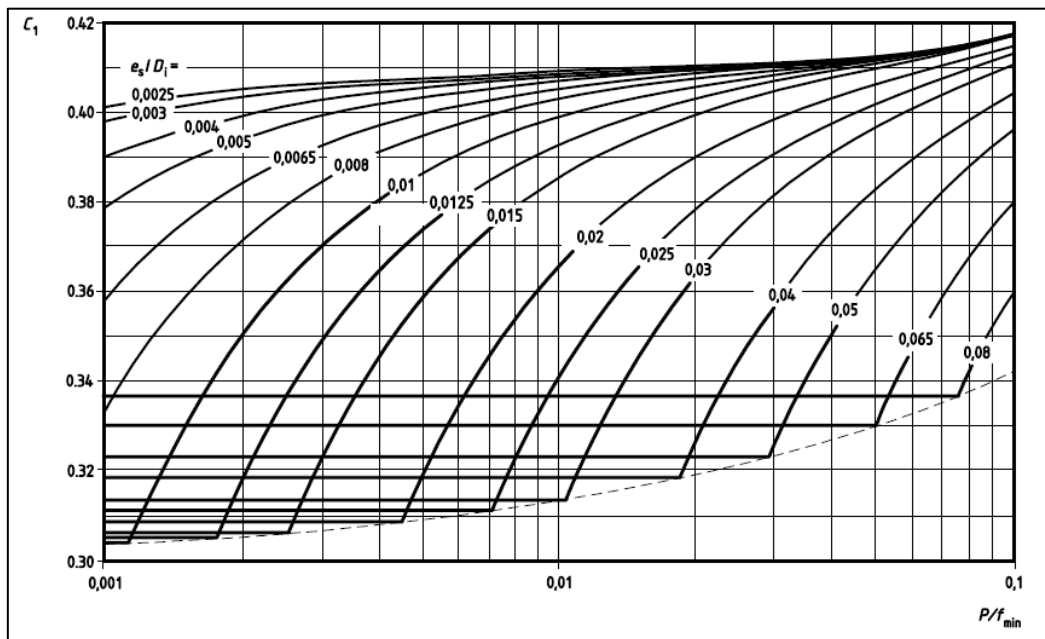


Figura 6.2.4-1. Valors del coeficient C_1 , segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figura 10.4-4, pg. 148.

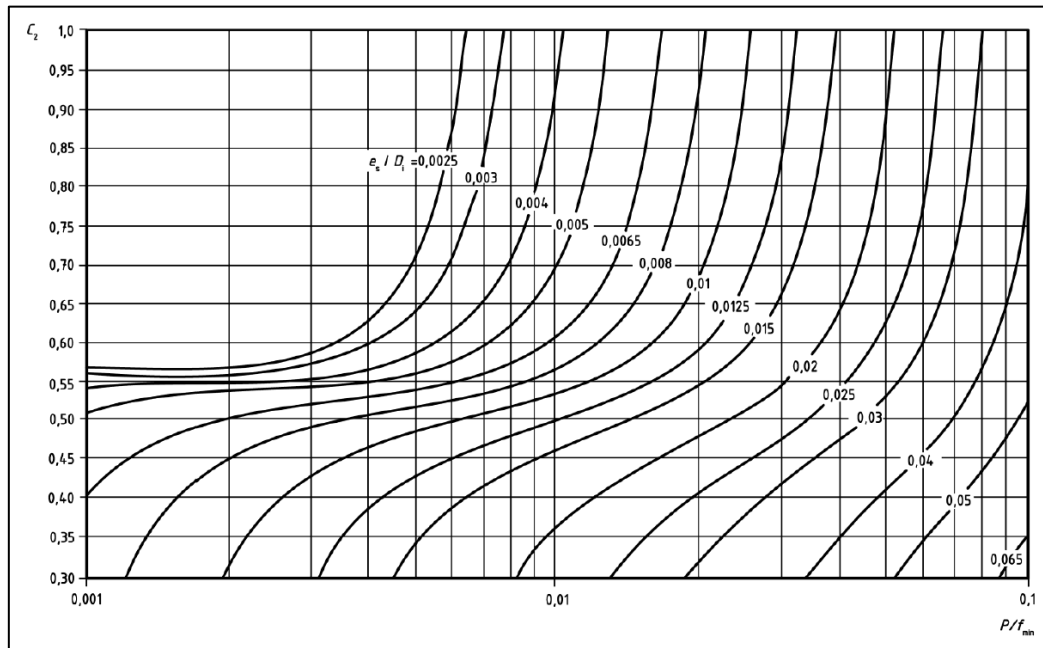


Figura 6.2.4-2. Valors del coeficient C1, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figura 10.4-4, pg. 148.

6.2.5 Procés de càlcul de gruix per a fons plans amb orificis soldats o cargolats al recipient

Segons l'apartat 10.6 de la UNE-EN13445-3:2021, per a calcular el gruix dels fons del tipus d'aquest apartat, s'ha de calcular primerament el gruix per a el mateix fons però sense orificis, com s'ha descrit en els apartats 6.2.3 i 6.2.4 del present projecte. A més, aquest gruix no pot ser menor al calculat de la següent manera: per a fons soldats al recipient,

$$e = \max \left[(Y1 * e0); \left(C1 * Y2 * Di * \sqrt{\frac{P}{f}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.5-1})$$

I per a fons cargolats al recipient,

$$e = Y2 * e0 \quad (\text{Eq. 6.2.5-2})$$

Y1 es calcula de la següent manera:

$$Y1 = \min \left[2; \sqrt[3]{\frac{j}{j-d}} \right] \quad (\text{Eq. 6.2.5-3})$$

l Y2 es calcula com a

$$Y2 = \sqrt{\frac{j}{j-d}} \quad (\text{Eq. 6.2.5-4})$$

On e_0 és el gruix per al mateix fons sense orificis, d és el diàmetre d'un orifici i j és: $2h$ per al càlcul $Y1$, D_i per a un fons soldat i G per al càlcul d'un fons cargolat.

En el cas de doble orifici, d serà la mitjana aritmètica dels diàmetres dels orificis i j serà igual a k (veure Figura 6.2.5-1)

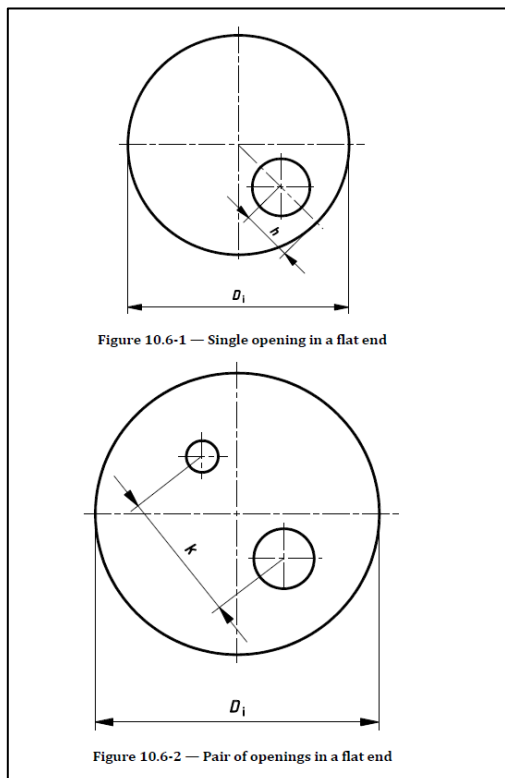


Figura 6.2.5-1. Esquema de les mesures a tenir en compte per les equacions de càlcul del gruix d'un fons amb orificis per a fons amb un (a dalt) i dos orificis (a baix), segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figures 10.6-1 i 10.6-2, pg. 156

6.2.6 Procés de càlcul del gruix de brides

Aquest apartat descriu el procés per al disseny del gruix de brides necessari, segons l'apartat 11.10.3 de la UNE-EN13445-3:2021, que descriu el càlcul de brides amb contacte metall-metall. Aquestes brides serviran per al posicionament de l'eix de transmissió del motor d'accionament del disc de coure. Les mesures dels càlculs referencien la Figura 6.2.6-1.

- El gruix de les brides no haurà de ser menor al següent :

$$e = \sqrt{\frac{6 \cdot M r}{f \cdot (\pi C - n \cdot d h)}} \quad (\text{Eq. 6.2.6-1})$$

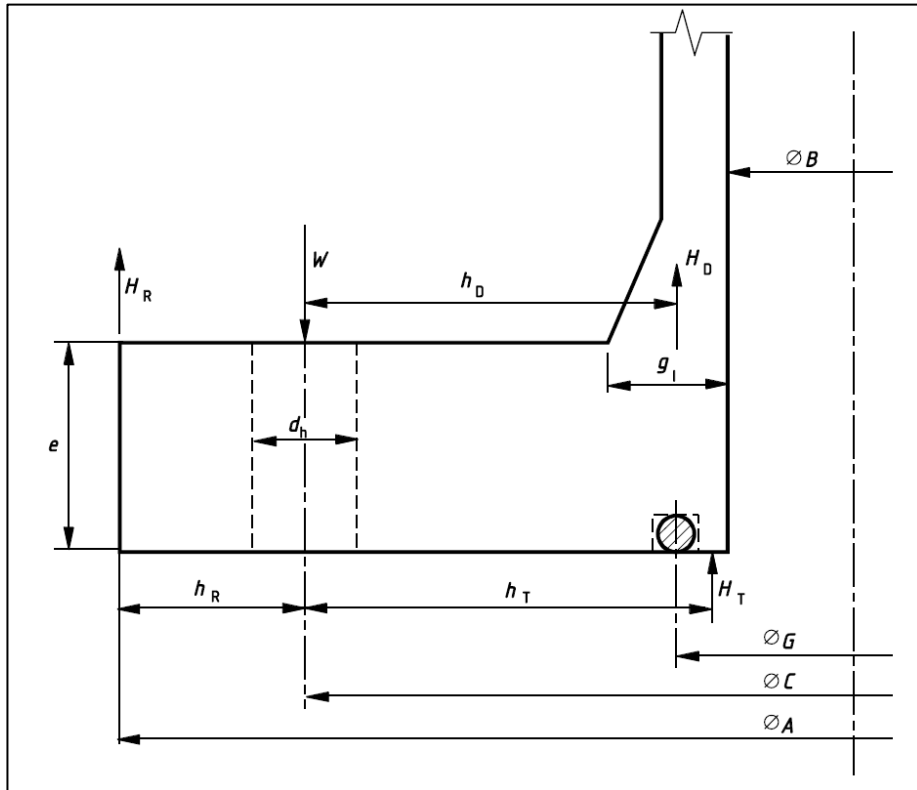


Figura 6.2.6-1. Esquema de mesures d'una brida de contacte metall-metall amb junta O-ring, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 11 figura 11.10-1, pg. 196.

On M_r és el moment radial d'equilibri e la brida al voltant de la línia de forats dels cargols en Nmm, C és el radi de col·locació de la línia de forats en mm (veure Figura 6.2.5-1), d_h el diàmetre dels forats per als cargols en mm i f la tensió de funcionament a la temperatura de treball 115,83 MPa. On M_r és el moment radial d'equilibri e la brida al voltant de la línia de forats dels cargols en Nmm, C és el radi de col·locació de la línia de forats en mm (veure Figura 6.2.5-1), d_h el diàmetre dels forats per als cargols en mm i f la tensió de funcionament a la temperatura de treball 115,83 MPa.

6.3 Estanqueïtat

Per a aquest disseny, es necessita un gran nivell d'estanqueïtat, pel que és necessari fer servir juntes aptes per la tasca. Les juntes metàl·liques són les que presenten una menor taxa de fuga per unitat de diàmetre (R. N. Childs, 2004). D'entre les juntes metàl·liques, les més comuns en aplicacions de alta temperatura són les juntes de grafit. Segons l'empresa Metaltech Industries (<https://mtigasket.com/>), les juntes de grafit tenen l'inconvenient de ser d'un sol ús, pel que es

necessita recanvi un cop desfeta la unió. Per a millor seguretat, s'afegeixen juntes tòriques en totes les unions juntament amb les juntes de grafit, menys en aquelles unions que requereixin de ser obertes freqüentment, com pot ser la porta de l'equip de "Melt Spinning", on només s'hi col·locarà una junta tòrica.

6.3.1 Elecció junta tòrica

Per a escollir el tipus de junta tòrica a utilitzar, primer se n'ha de determinar el material, el qual ha de suportar les condicions de treball. En la es pot veure les temperatures màximes d'aplicació dels principals materials usats per a O-ring i la comparació de preus unitaris, d'on resulta que el grup d'O-rings que aguanta més temperatura són els FFKM. Aquest material és un perfluoroelastòmer.

D'entre els FFKM hi ha diferents fabricants, pel que la decisió final recau en el preu (veure Figura 6.3.1 1). Com que aquest projecte no està destinat a la fabricació de l'equip dissenyat, l'elecció del fabricant no es basarà en el preu, si no en la facilitació de dades que presenti relatives al producte.

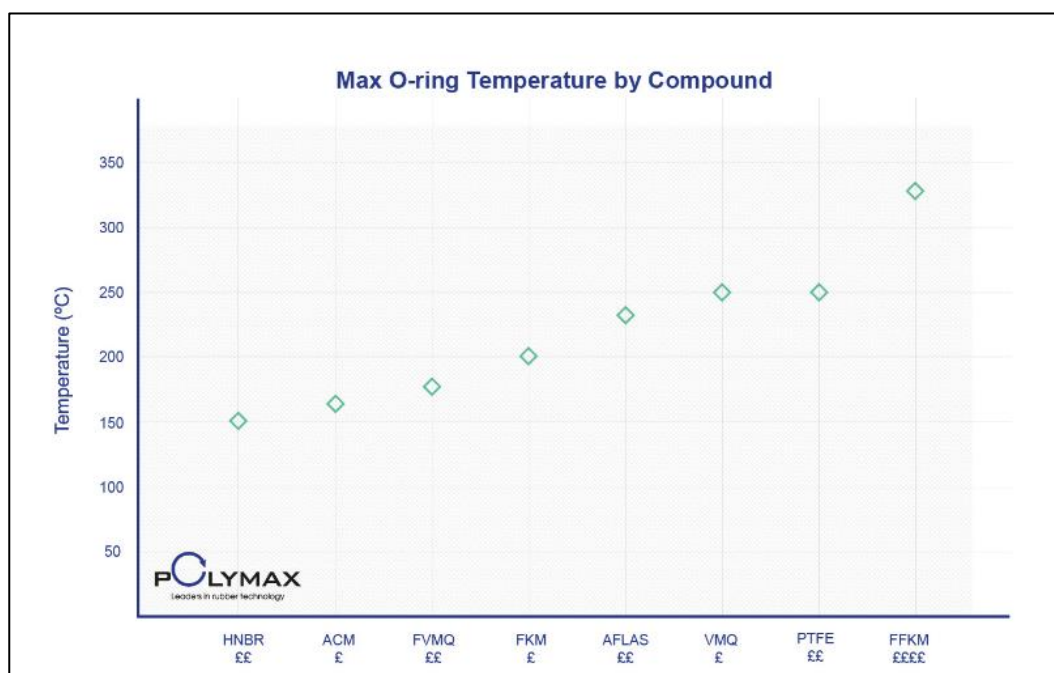


Figura 6.3.1 1. Comparació màximes temperatures de treball de diferents materials per a O-ring. POLYMAX, What is the Best High Temperature O-Ring?. [What is the Best High Temperature O-Ring? | Polymax Blog](#), 4 d'agost de 2022)

D'entre les marques s'escull el producte Kalrez®, de l'empresa DUPONT, en concret el producte Kalrez® 7075, el qual pot suportar fins a 327°C de temperatura de treball i altes pressions. Les dades corresponents sobre les juntes es troben en l'annex B.

6.3.2 Elecció junta grafit

En quant a les juntes de grafit, s'escullen les juntes del fabricant Gambit Group, més concretament el producte GAMBITGRAF LUX, fetes amb grafit del 99,5% de puresa, reforçades amb una làmina d'acer 316L (1.4404). Aquestes juntes presenten altes pressions d'estanqueïtat i baix coeficient de fugues, així com una temperatura de funcionament de fins a 500°C.

6.4 Unions cargolades

Segons l'apartat 11.4.3.1 de la UNE-EN13445-3:2021, en cada unió ha d'haver-hi 4 cargols com a mínim, els quals han de ser disposats en una circumferència a distàncies iguals els uns dels altres. Per a la tensió nominal de disseny feta servir per a calcular l'àrea mínima de cargol, farem servir la següent expressió:

$$\sigma_t = \frac{Rm}{4} \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

On Rm és la resistència a la tracció del material del cargol a la temperatura de treball.

Com que volem cargols de materials que aguantin pressió i temperatura elevades, escollirem els fets d'acer austenítics. La norma que regula el tipus de cargols respecte el seu material és la ISO 3506-01:2020 "Elementos de fijación". L'acer que presenta composició semblant a l'usat per a la cambra de buit és la denominació A4, amb classe de propietat 80. Els valors que s'usaran per als moments de muntatge venen donats per la Taula 6.4-1.

Per a les femelles, s'indica que han de tenir propietats no mínimes a les especificades per al cargol amb que rosquen, a més de complir el següent:

- Alçada no menor al 80% del diàmetre nominal del cargol.
- Esforç de tensió o classe de qualitat no menor a la del cargol.

Memòria - Disseny previ

Per a forats roscats, es determina una interferència de rosca mínima, que serà

$$\max \left[0,8 * dn * \frac{R_{p,screw}}{R_{p,component}} ; 0,8 * dn \right] \quad (\text{Eq. 6.4-2})$$

Thread	Coef. Of friction	Preload torque (kN)	Tightening torque (Nm)
M1.6	0.1	0.55	0.2
	0.2	0.35	0.35
	0.3	0.3	0.45
M2.0	0.1	0.6	0.3
	0.2	0.5	0.4
	0.3	0.36	0.55
M2.5	0.1	0.9	0.6
	0.2	0.5	0.65
	0.3	0.3	0.8
M3.0	0.1	1	1.3
	0.2	0.65	1.6
	0.3	0.45	1.85
M4.0	0.1	2.97	2.3
	0.2	2.4	3.5
	0.3	1.94	4.1
M5.0	0.1	4.85	4.6
	0.2	3.93	6.9
	0.3	3.19	8
M6.0	0.1	6.85	8
	0.2	5.54	11.8
	0.3	4.49	13.9
M8.0	0.1	12.6	19.3
	0.2	10.2	28.7
	0.3	8.85	33.9
M10.0	0.1	20	39.4
	0.2	16.2	58
	0.3	13.1	69
M12.0	0.1	29.1	67
	0.2	23.7	100
	0.3	19.2	117
M14.0	0.1	40	106
	0.2	32.6	159
	0.3	26.4	188
M.16.0	0.1	55	161
	0.2	44.9	245
	0.3	36.4	291
M18.0	0.1	69	232
	0.2	56.2	346
	0.3	45.5	411
M20.0	0.1	88.6	325
	0.2	72.4	494
	0.3	58.7	586
M22.0	0.1	107	424
	0.2	88	650
	0.3	72	776
M24.0	0.1	142	534
	0.2	101	810
	0.3	83	966

Taula 6.4-1. Pars de col·locació per a perns A4-80. Trifast plc, Stainless steel fasteners - pre-load and tightening torques - coarse metric threads. (<https://www.trfastenings.com/knowledge-base/metric-screws/stainless-steel-pre-load-and-tightening-torques> , 5 d'agost de 2022)

On R_p es refereix a la tensió del material a la temperatura de treball en MPa i dn al diàmetre nominal del cargol. Com que farem servir cargols austenítics, R_p prendrà el valor de $R_{p1,0\%}$ a 350°C .

Donada la configuració plantejada en l'apartat 6.3, s'haurà de diferenciar dos tipus d'unió: les unions amb junta tòrica i junta de grafit i les unions amb només junta tòrica.

6.4.1 Procés de càlcul d'unions cargolades amb junta tòrica

Per al càlcul, l'apartat 11.10.3 de la norma UNE-EN 13455-3:2021 indica que s'ha de seguir el procés descrit en l'apartat 11.5.2 de la mateixa norma amb modificacions específiques.

Així doncs, especifica el següent:

- L'amplada efectiva de la junta serà

$$b_0 = \frac{w}{2} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$\text{si } b_0 \leq 6,3 \text{ mm} \rightarrow b = b_0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

$$\text{si } b_0 > 6,3 \text{ mm} \rightarrow b = 2,52 * (b_0)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 6.4.1-3})$$

On b_0 és l'amplada bàsica en mm, w és l'amplada de contacte de la junta amb la brida en mm i b és l'amplada efectiva de la junta en mm.

- Les forces que intervindran en la unió seran

$$H = \frac{\pi}{4} (G^2 * P) \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$h_R = \frac{A-C}{2} \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$h_T = \frac{2C-B-G}{4} \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$h_D = \frac{C-B-g_1}{2} \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4} (B^2 * P) \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD * h_D + HT * h_T \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$HR = \frac{M_r}{h_R} \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$W_a = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$W_{op} = H + HR \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

On H és la força hidrostàtica total en N; A , B , C , g_1 i G les distàncies segons la Figura 6.2.6-1 en mm; P la pressió de treball de la cambra en MPa; h_T , h_R , h_D les palanques

radials d'actuació d'HT, HR i HD respectivament en mm; HT la força hidrostàtica final deguda a la pressió sobre la cara de la brida en N; HR la força de reacció final fora del cercle de cargols deguda als moments produïts dins el cercle dels cargols en N; HD la força hidrostàtica final aplicada a la brida degut al recipient en N; Wa la càrrega mínima per als cargols per al muntatge; Wop la càrrega mínima dels cargols en funcionament.

- L'àrea mínima de secció dels cargols serà doncs

$$AB, \min = \frac{W_{op}}{f_b} \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

On f_b és la tensió nominal dels cargols a la temperatura de funcionament (350°C).

La força realitzada pels cargols serà:

$$W = 0,5 \cdot (AB, \min + AB) \cdot f_{b,A} \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

On $f_{b,A}$ és la tensió de disseny dels cargols i AB la seva àrea mínima.

6.4.2 Procés de càlcul d'unions cargolades amb junta tòrica i junta de grafit

El procés de càlcul serà igual que en l'apartat anterior, amb l'única diferència que s'agafaran les distàncies respectives a la junta que condicioni més el disseny.

6.5 Vidre d'observació

Per a tal de controlar el procés en tot moment, s'ha d'incloure un vidre d'observació. Aquest vidre ha de protegir a l'usuari de possibles falles de l'equip, ha d'aguantar temperatures elevades i aguantar les condicions de pressió.

Els vidres disponibles al mercat que compleixen aquesta condició són els borosilicats. El borosilicat presenta un gradient de temperatura molt baix ($\approx 3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ a 20 °C) pel que aguanta molt bé els xocs tèrmics. En el mercat hi ha diferents empreses que produeixen vidres d'observació de borosilicat seguint principalment els estàndards DIN 28120 o DIN 11851 per exemple. Sescull el vidre d'observació Lumiglas Sight Glass Fitting, de l'empresa LUMIGLAS. Aquest vidre segueix l'estàndard 28120, i presenta un diàmetre d'observació de 225 mm. En la Figura 6.5-1 es poden veure els components del vidre. Donat el nostre cas, es demana que el vidre sigui de borosilicat i que les brides siguin d'acer 316L.

El procés d'unió del vidre a la porta de la cambra de buit es senzill: primerament es solda la brida base a la porta de manera que el volum de la brida quedi per fora de la mateixa, seguidament s'instal·la sobre la brida les juntes i el vidre, en l'ordre presentat en la Figura 6.5-1. Finalment s'assegura la unió amb els cargols, sempre cargolant els parells de cargols diametralment oposats.

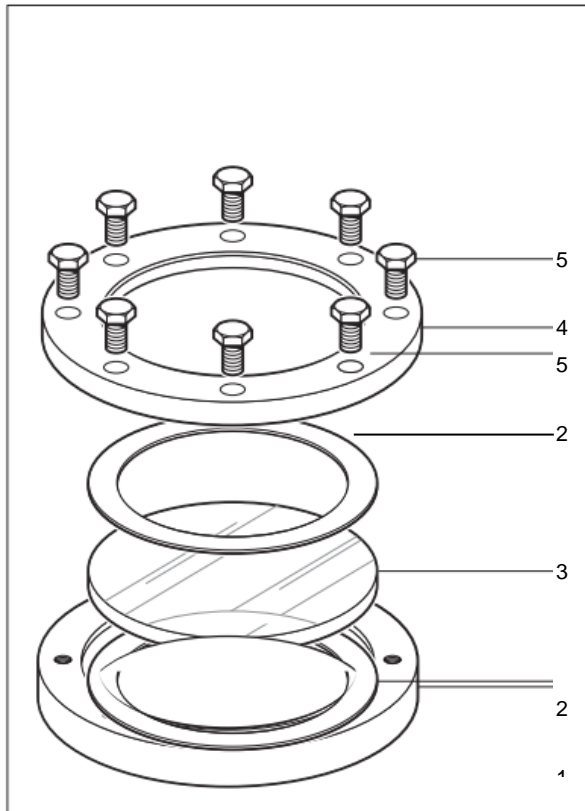


Figura 6.5-1. Vista explosionada del vidre d'observació Lumiglas Sight Glass Fitting. (1) Brida base d'acer 316 (2) Juntes de VITON (3) Vidre de borosilicat (4) Brida de subjecció (5) Cargols de seguretat d'acer inox A2. VISILUME. Visilume Standard Sightglass. Glossop, Regne Unit. 2021

6.6 Equip extern

Donat que es té l'exemple de l'equip extern que fa servir actualment el GRTM, el disseny de l'equip d'aquest projecte es basarà en el mateix. Les especificacions i requeriments que aquest equip ha de complir estan esmentats en l'apartat 1.3 i el capítol 4, respectivament. En la Figura 6.6-1 es mostra l'equip extern, el qual disposa de l'equip de sobrepressió, posicionament i inducció sobre la cambra de buit, la qual està formada per una cuirassa cilíndrica, amb obertura frontal, i en el qual el sistema de recollida de les mostres està conformat per un cilindre paral·lel al terra d'1 metre de llargada. El sistema de buit es connecta pel darrera de la cambra de buit, al costat de l'equip de solidificació.

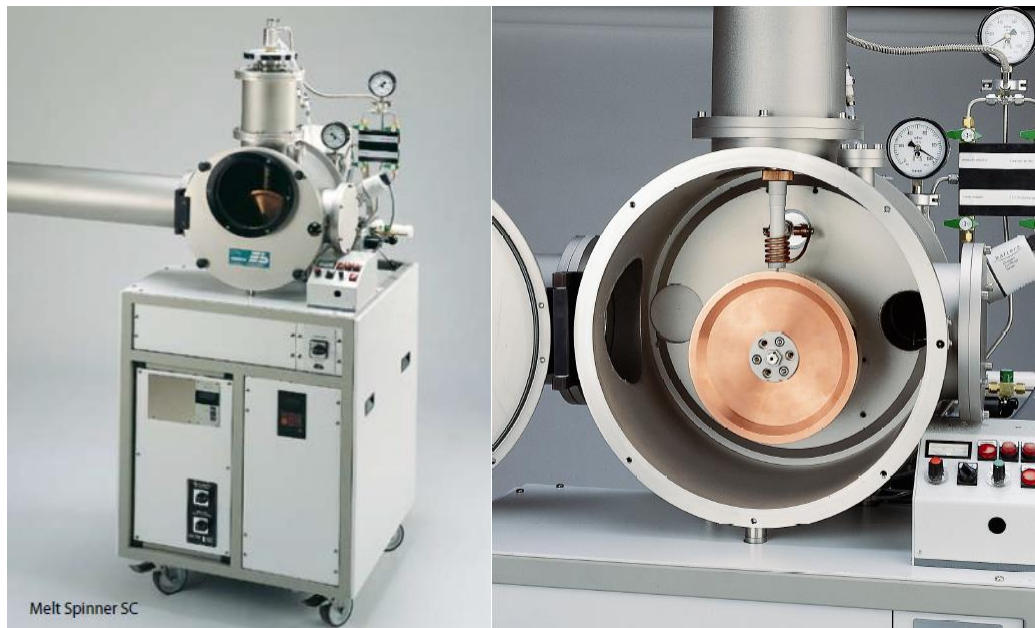


Figura 6.6-1. Vistes de l'exterior de l'equip (esquerra) i de l'interior de la cambra de buit (dreta) de l'equip "Melt Spinner SC" de la marca Edmund Bühler GmbH, equip usat pel Grup de Recerca en Materials i Termodinàmica. Edmund Bühler GmbH, Description BÜHLER Melt Spinning Apparatus (SC-Version), Hechingen. 2008.

La disposició de l'equip dissenyat serà com la d'aquest equip, amb algunes modificacions, com poden ser la utilització d'una base de suport més baixa o un sistema de posicionament diferent. El que sí que es complirà són totes les especificacions i requeriments de disseny.

Alguns elements, com el bobinat d'inducció o el gresol porta mostres, doncs aquests es contempla que vinguin de proveïdors especialitzats amb el seu disseny propi, pel que és objecte d'aquest disseny el correcte posicionament i subjecció dels mateixos

7 EQUIP DE SOLIDIFICACIÓ

Aquest equip és el conformat per el disc de coure i els seu accionament i control. També s'ha de complir la condició d'estanqueïtat de la cambra, pel que s'ha de dissenyar el sistema de juntes apropiades per al seu compliment.

Tota peça dissenyada de material distint al coure serà especificada amb el mateix material que la cambra de buit, acer 316 (1.4401), segons UNE-EN 10272:2016. L'elecció de l'equipament extern respon en tot cas al disseny descrit a l'apartat B.1 de l'Annex B Disseny d'equipament.

7.1 Elecció motor i elements del motor

Les especificacions del motor trobades a l'apartat 7.1.2 són:

- Potència del motor: 3kW
- Par motor mínim: 5,8 Nm

S'escull finalment el motor de la casa CEMER amb referència IE3-MS100L1 (Figura 7.1.3-1) , que presenta les següents característiques:

- Potència de 3kW a 400V i 50/60 Hz (Trifàsic)
- Parell motor nominal de 9,9 Nm
- Intensitat nominal 5.8 A
- Eficiència classe IE3 del 87,1% al 100% de càrrega
- Factor de potència 0,86

- Protecció IP55



Figura 7.1-2. Exemples de motors trifàsics de la marca CEMER. COSGRA, Motores eléctricos CEMER.
(http://www.cosgra.com/motores_electricos/cemer2.html, 9 d'agost de 2022)

A més del motor s'escull un variador de potència de la marca YASKAWA (Figura 7.1.3-3.), amb referència CIMR-AC4A0007FAA, que presenta les següents característiques:

- Voltatge de 380 a 400 V a 50/60Hz trifàsic.
- Corrent entrant 8.1 A
- Corrent sortint 6,9 A
- Màxima freqüència de sortida de 400Hz



Figura 7.1-4. Variador de freqüència CIMR-AC4A0007FAA. YASKAWA, Serie A1000
CIMR-AC4A0007FAA, Accionamiento de control vectorial de alto rendimiento
(https://www.yaskawa.es/productos/ac-drives/legacy-drives/productdetail/product/cimr-ac4a0007faa_1293, 9 d'agost de 2022)

7.2 Resum peces equip de solidificació

La Figura 7.4-1 representa el disseny final escollit per al sistema de solidificació, i la Taula 7.4-1 en menciona les peces.

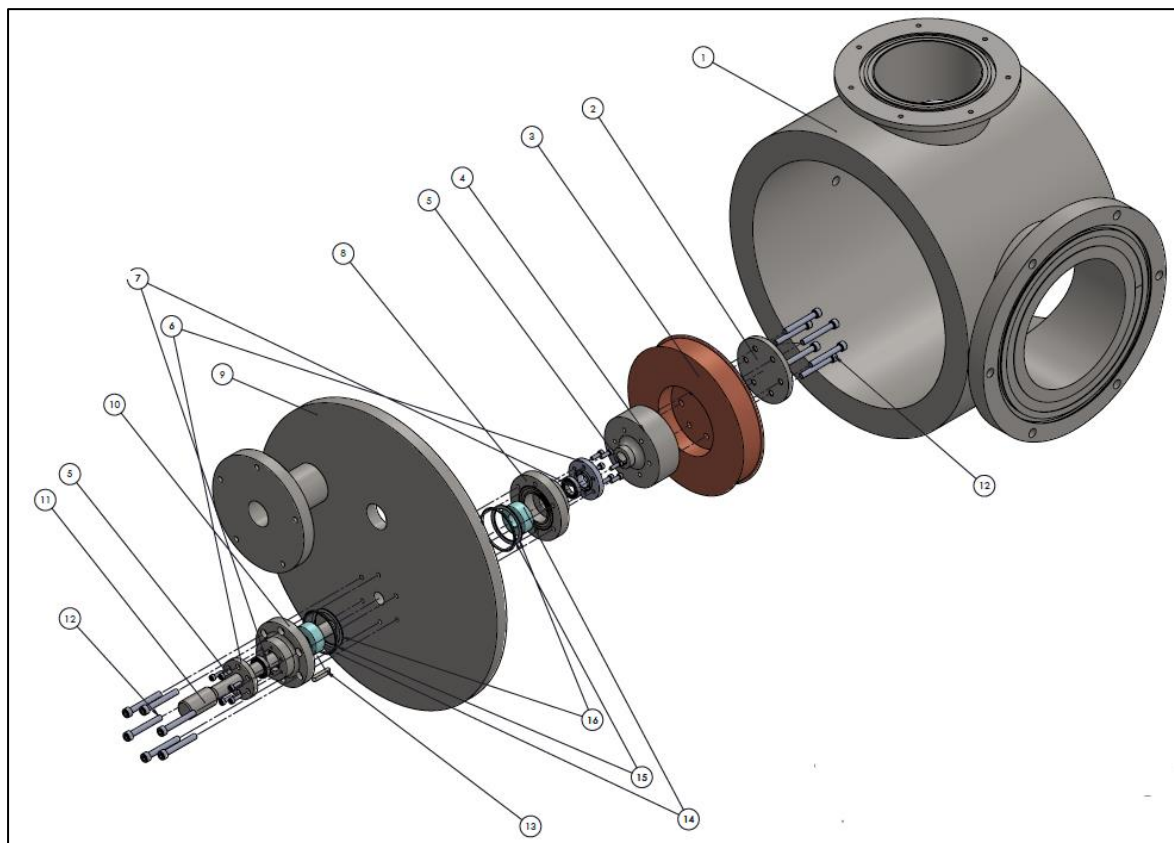


Figura 7.4-1 Disseny equip de solidificació amb peces numerades.

Núm.	Quant.	Descripció	Marca	Plànol	Model	Material
1	1	Cambra de buit	-	P1-01-00	-	Acer 1.4404 segons UNE-EN10272:2016
2	1	Volandera disc	-	P4-03-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
3	1	Disc de coure	-	P4-01-00	-	Coure
4	1	Posicionador del disc	-	P4-02-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
5	12	DIN 912 M5x16	Trifast	-	TR00006041-000	Acer A4-80
6	2	Tapa rodaments eix	-	P4-07-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
7	2	Coixinets eix	SKF	-	W 61804-2Z	Acer 316
8	1	Brida interior eix	-	P4-06-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
9	1	Fons pla cambra de buit	-	P1-02-00	-	Acer 1.4404 segons UNE-EN10272:2016
10	1	Brida eix exterior	-	P4-05-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
11	1	Eix motor	-	P4-04-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
12	12	DIN 912 M8x60	Trifast	-	TR00006370-000	Acer A4-80
13	1	Xaveta eix	elesa+Ganter	-	DIN-6885-6-6-32-A-III	Acer Innox AISI 316Ti Ni
14	2	Junta dinàmica eix Ø20	Garlock	-	PS-SEAL® SPECIAL	FFKM
15	2	O-Ring brides eix 61,6x6,99	KALREZ®	O-Ring	11389114 (ERIKS)	FFKM
16	2	Junta grafit brides eix 50x4,5x2	Gambit Group	Junta Grafit	GambitGroup LUX	Grafit

Taula 7.4-1. Resum de peces de l'equip de solidificació

8 EQUIP DE BUIT

Tal com es descriu en el capítol 2, els equips de “*Melt Spinning*” treballen a grans valors de buit per aconseguir eliminar l’oxigen present a la cambra abans de fondre la mostra i començar el procés de solidificació. Així doncs, els equips solen disposar de dues bombes, una primera bomba rotativa per aconseguir una pressió dins la cambra de $10^{-2}/10^{-3}$ bar i una segona bomba turbomolecular per aconseguir un gran buit, d’uns 10^{-5} bar. Són necessàries totes dues bombes donat que les bombes turbomoleculares requereixen d’una pressió inicial de 10^{-2} bar.

El sistema de buit de l’equip dissenyat consistirà en tot el necessari per a crear i controlar buit dins la cambra, així com les connexions entre bombes, les quals es buscarà que siguin ja fabricades, pel que aquest projecte indicarà la connexió de la cambra de buit al sistema de bombes.

El volum a tractar depèn del disseny realitzat, del qual s’obté que $V=0,07$ m³. Donat ue es tracta d’un equip per a la realització d’experiments, el temps de buit pot ser alt, pel que es contemplarà un temps de buit de 5 minuts, obtenint així un cabal de buit de 0,84 m³/h o 840 l/h.

8.1 Requeriments del sistema de buit

Per tal d’aconseguir els requeriments de pressió esmentats anteriorment i en l’apartat 4, l’equip de buit dissenyat haurà de complir el següent:

- Assolir pressió de 10^{-5} bar.
- Aguantar temperatures de $\sim 200^{\circ}\text{C}$ (Donat que el buit es realitza prèvia fosa de la mostra, es considera que a la cambra hi ha una temperatura més baixa que la contemplada en les condicions de treball de l’apartat 3.1).
- Cabal de 0,84 m³/h o 0,23 l/s mínim.
- Compatibilitat e treball amb Argó i d’altres gasos inerts que es puguin fer servir com a atmosfera de treball.
- Connexió de 220/240V 50/60 Hz.

8.2 Bomba primària

La bomba primària escollida és el model DS 40M, de l'empresa Agilent. Es tracta d'una bomba rotativa de paletes. Aquesta bomba compta amb:

- Cabal de 36 l/min-43 l/min (0,6-0,72 l/s) a 60Hz i 50 Hz respectivament de freqüència d'alimentació.
- Pressió absoluta final de $6,7 \cdot 10^{-3}$ (corba característica Figura 8.2- 2)
- Potència del motor de 0,1 kW, 220V 50/60Hz.
- Brida d'entrada i de sortida 16KF DN.

L'elecció d'aquesta bomba primària és conseqüència de l'elecció de la bomba secundària, doncs és la recomanada per a fer el primer buit abans no entri en funcionament la segona bomba. En la Figura 8.2- 1 es mostra la geometria de la bomba.

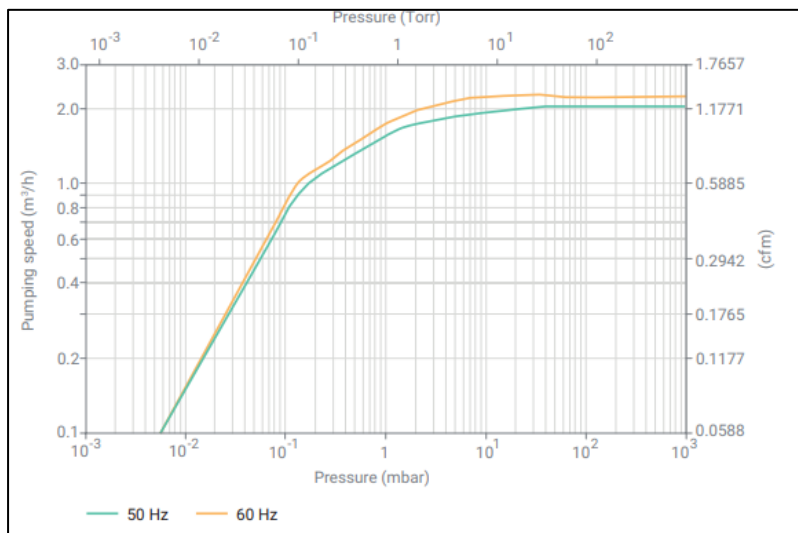


Figura 8.2- 2. Corba de velocitat de bombeig de la bomba DS 40M. AGILENT Technologies. DS 40M Rotary Vane Pump Datasheet. USA 2021.

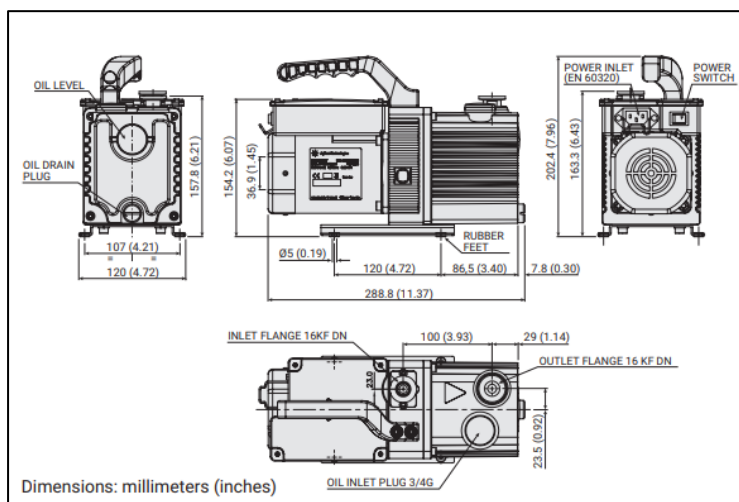


Figura 8.2- 1. Mesures de la bomba DS 40M. AGILENT Technologies. DS 40M Rotary Vane Pump Datasheet. USA 2021.

8.3 Bomba secundària

La bomba secundària escollida és el model TwisTorr 74 FS de l'empresa Agilent. Aquesta bomba pertany al grup de les bombes turbomoleculares, i està dissenyada per a arribar a alts valors de buit, amb el requeriment d'un buit previ. Així doncs el buit previ es recomana fer amb la bomba primària de l'anterior apartat. Algunes de les especificacions d'aquesta bomba són:

- Cabals de bombeig de: 44 l/s per a nitrogen, 33 l/s per a heli, 28 l/s per a hidrogen i 40 l/s per a argó.
- Pressió de buit final menor a $5 \cdot 10^{-10}$ bar (corba característica Figura 8.2- 1)
- Velocitat de rotació de 7000 rpm.
- Brida d'entrada KF 40
- Brida d'evacuació KF16 NW

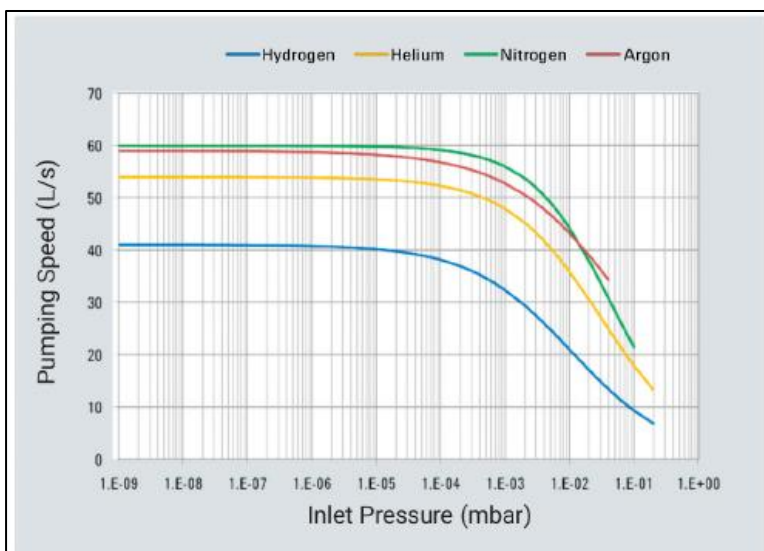


Figura 8.3-2 Corba de velocitat de bombeig de la bomba TwisTorr 74 FS. AGILENT Technologies. Agilent Twistorr 74 FS Datasheet. USA 2020.

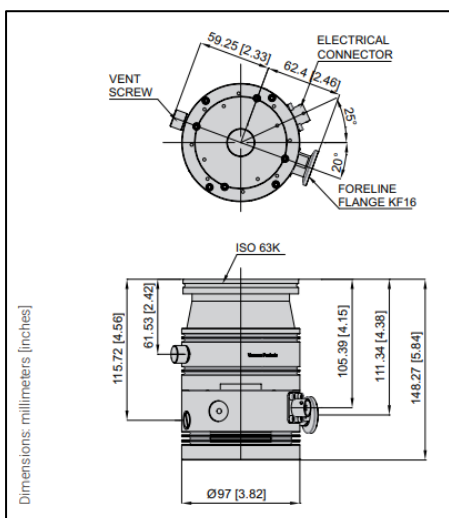


Figura 8.3-1. Dimensions de la bomba TwisTorr 74 FS. AGILENT Technologies. Agilent Twistorr 74 FS Datasheet. USA 2020.

La bomba inclou un filtre de partícules. A més, l'equip de bombeig comptarà amb un dispositiu d'accionament de la bomba turbomolecular extern i d'un controlador del buit desitjat. extern i d'un sistema de control extern del buit desitjat. També s'hi inclou un manòmetre per a calcular la pressió absoluta del recipient sotmès al buit. En la Figura 8.2- 1 es mostra la geometria de la bomba.

8.4 Connexió sistema de buit

La bomba secundària estarà unida a la primària mitjançant la brida de sortida KF16 NW i la d'entrada de la bomba primària de mateixa tipologia. La bomba secundària es connectarà a la cambra de buit mitjançant una vàlvula de papallona, per a tal d'obrir i tancar la connexió. Aquesta vàlvula estarà connectada a un tub collat a la cambra de buit, facilitant així la connexió i desconexió del sistema a la cambra de buit.

L'esquema de connexió és el de la Figura 8.4-1 El que es troba dissenyat en els plànols és la brida de subjecció a la cambra de buit. En la cambra de buit, per la part exterior del fons pla, es troba un conducte al qual s'hi adapta una brida de subjecció, la qual facilita el manteniment de l'equip de buit. A la brida hi ha soldada una vàlvula de papallona per a obrir/tancar el pas del flux de gas. La vàlvula connecta amb la bomba secundària, la bomba turbomolecular TwisTorr 74 FS mitjançant una canonada amb brides KF-40 a ambdós costats. La connexió de gas exhaust de la bomba secundària és unida amb la connexió d'entrada de gas de la bomba primària DS 40M mitjançant un tub KF-16. El que es troba dissenyat en els plànols és la brida de subjecció a la cambra de buit, doncs la resta de peces esmentades són externes. Totes les unions entre components aniran assegurades amb pinces de centratge, a més de d'incorporar juntes d'estanqueïtat. A més, una vàlvula de ventilació serà connectada a la cambra de buit per a facilitar la pressurització de la cambra per a tornar a la pressió ambiental. Aquesta serà una vàlvula manual amb connexió KF-16 connectada al costat oposat al tub de recolliment en la cambra de buit.

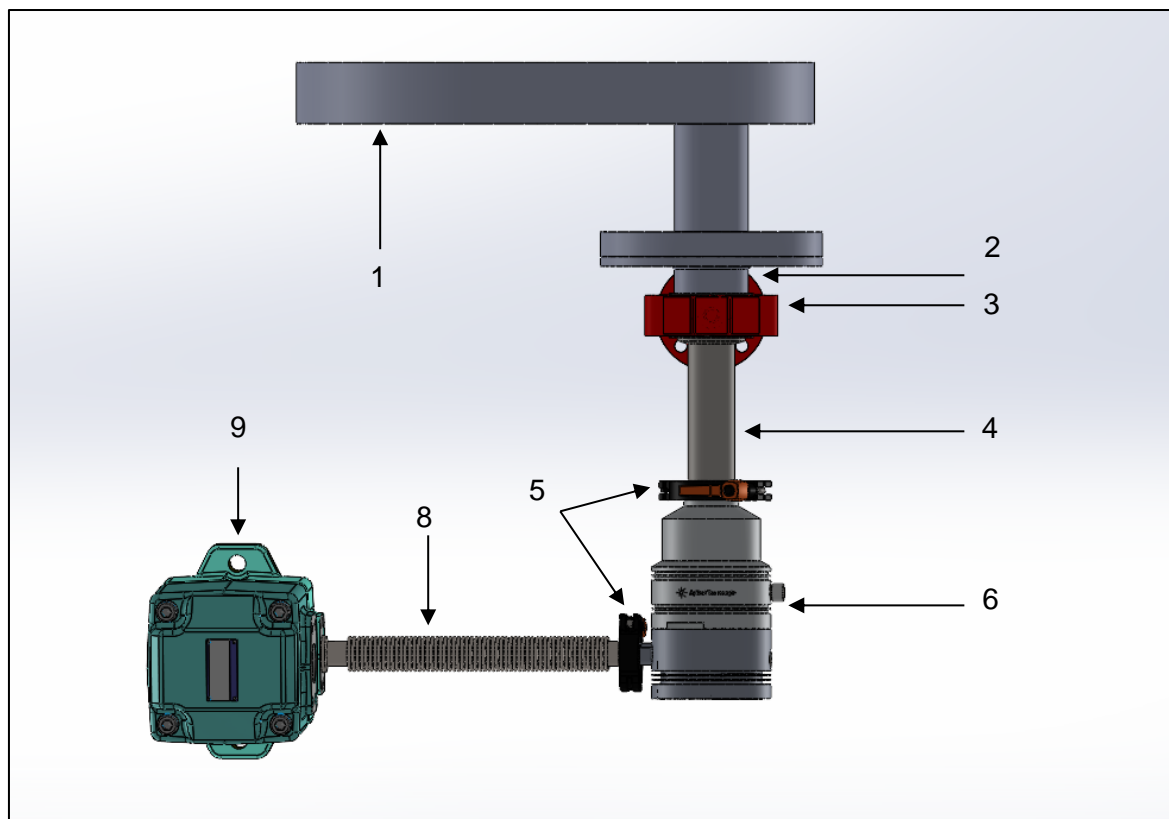


Figura 8.4-1. Esquema de connexió de l'equip de buit: (1) Tapa cambra de buit (2) Brida unió bomba (3) Vàlvula papallona (4) Canonada de connexió KF-40 (5) Pincers de centratge (6) Bomba TwisTorr 74 FS (7) Tub KF-16 (8) Bomba DS 40M.

9 ELECCIÓ EQUIP D'INDUCCIÓ

Per a fondre la mostra, es necessita arribar a temperatures superiors als 1600°C, pel que es necessita una temperatura d'inducció major. Els components essencials de l'equip d'inducció són la bobina d'inducció, el generador de freqüència i el control de temperatura. Així doncs, en una cerca de proveïdors, es troba el sistema EQ-SPG-6A-I, de MTI Corporation. Aquest sistema consta de:

- Connexió 180 - 245 V AC, 50-60 Hz, Monofàsica
- Potència de sortida màxima de 6KW
- Corrent d'entrada de 5 - 30 A (requereix de interruptor automàtic de 50A)
- Rang de freqüència de sortida entre 100-500kHz
- Quantitat de mostra a fondre màxima de 100g
- Possibilitat de control de temps de fosa (Automàtic o manual via pedal)
- Opció de refrigeració per aigua
- Bobina d'inducció de tub de coure de 5mm 20mm diàmetre intern i 45 mm d'altura
- Gresol de nitrur de bor de dimensions De18x160mm (Veure Figura 9-1)
- Sistema de muntatge amb adaptador FT-KF40-Coil (Veure Figura 9-1)

Donat que la bobina d'inducció ha de ser dins la cambra i el dispositiu d'acoblament FT-KF40-Coil porta tots els elements per a la seva deguda col·locació i posterior funcionament, només aldrà foradar el fons de la cambra de buit per al seu correcte pas. L'adaptador anirà soldat a la

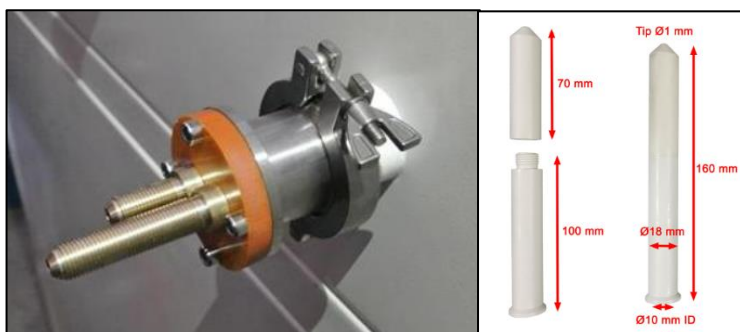


Figura 9-1. Mides de gresol de nitrur de bor (dreta) Sistema d'acoblament de bobina inductora FT-KF40-Coil (esquerra). MTI Corporation, Dench-top Vacuum Melt Spinning System with 15KW Power Supply - EQ-VTC-200S. (<https://www.mtixtl.com/EQ-VTC-200.aspx>, 15 de març de 2022). MTI Corporation, KF40 Feedthrough for Induction Coils into Glovebox - FT-KF40-Coil (<https://www.mtixtl.com/FT-KF40-Coil.aspx>, 15 de març de 2022)

cambrà. A més, per al control de la temperatura de la mostra, es disposarà un piròmetre làser a la part superior de la cambra.

Aquest equip seleccionat porta incorporat el generador necessari per a crear els rangs de freqüència esmentats, a més dels equips de protecció necessaris. Per al control de la temperatura, també porta sensor.

10 EQUIP DE POSICIONAMENT I SOBREPRESSIÓ

10.1 Disseny preliminar

El sistema de posicionament ha de proporcionar control sobre la posició relativa de l'obertura del gresol respecte la tangent de la superfície del disc de coure, en la Figura 10.1- 1 es mostra el sistema de posicionament de l'equip usat per el GRMT. A més, ha de permetre l'extracció sense problemes del gresol porta mostres, així com facilitar l'acoblament de l'equipament necessari per a generar la sobrepessió dins el gresol.



Figura 10.1- 1. Sistema de control de posició autmàtic de l'equip "Melt Spinner SC" de la marca Edmund Bühler GmbH, equip usat pel Grup de Recerca en Materials i Termodinàmica. Edmund Bühler GmbH, Description BÜHLER Melt Spinning Apparatus (SC-Version), Hechingen. 2008.

Hi ha diferents tipus de sistemes de posicionament, de manuals a automàtics. En aquest projecte es té en compte l'equip de "*Melt Spinning*" que el GRMT fa servir actualment, el qual disposa de sistema de posicionament consta d'un actuator lineal (en aquest cas, un cilindre de dues posicions) accionat automàticament, prèviament seleccionant la posició d'ejecció i la d'extracció (quan el gresol es treu per a inserir més quantitat de mostra).

Una altre manera de dissenyar el sistema de posicionament seria aplicant la transformació de moviment circular en lineal, aplicant cargols de pressió, vis sense fi, cargols de boles, etc. En aquest cas primerament s'hauria de definir un pas de rosca, el qual ens marcaria la precisió del nostre equip, a part de suposar la creació d'un sistema de carro i guies per al porta provetes, afegint un nombre elevat d'elements a l'equip.

Després de diversos models, s'arriba a la conclusió final de dissenyar un sistema de posicionament basat en actuator pneumàtic, tal com es mostra a la Figura 10.1- 2.

El disseny proposat és el d'un sistema accionat per un actuator pneumàtic que guia un eix connectat al seu èmbol, al qual l'hi és adaptat el gresol porta mostres. L'elecció de l'actuator pneumàtic és degut a que els laboratoris compten amb equipament d'aire comprimit disponible, i per la facilitat d'ús que presenten. Per a l'estanqueïtat de l'equip, s'escollirà la mateixa solució que per a l'equip de solidificació.

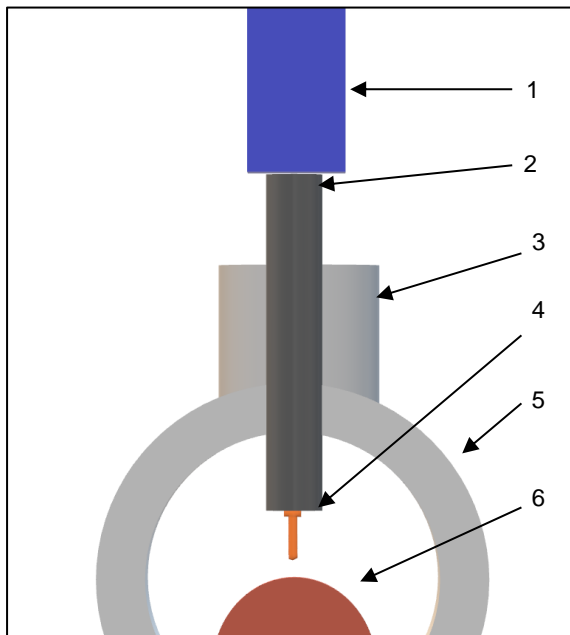


Figura 10.1- 2. Esquema previ de l'equip de posicionament. (1) Actuator pneumàtic (2) Eix central (3) Tapa cambra de buit (4) Gresol porta mostres (5) Cambra de buit (6) Disc de coure

10.2 Sobrepressió

Per a la part de sobrepressió, en el disc porta mostres hi ha un ràcord de connexió amb el gresol, i dins la cambra hi trobem un altre ràcord que connecta amb una canonada a la qual hi ha roscada una vàlvula d'agulla 1/8" Mascle NPT, la qual connectarà amb el dispositiu triat pel laboratori per a administrar la sobrepressió, com pot ser un tanc pressuritzat d'argó. Per al control de la pressió dins la cambra de buit, es disposa en la tapa de l'equip de posicionament un manòmetre de pressió absoluta digital, amb capacitat de lectura entre 0 i 4 bar. En aquest projecte no es dissenya, però es recomana disposar d'un equip de limitació de pressió entre la vàlvula d'agulla i el dispositiu de sobrepressió, per a tal de no malmetre l'equip, amb un límit de 2-2,5 bar, pressió que seria suportada per la cambra però que assegura bona seguretat en cas d'error.

Donat, que es necessita crear una atmosfera inert dins la cambra, i complint els requisits esmentats en l'apartat 4.3, s'inclourà un segon reservori pressuritzat d'argó o d'un altre gas inert, a

Memòria - Equip de posicionament i sobrepressió

400 mbar de pressió, que asseguri la ràpida creació de l'atmosfera, però que a la vegada permeti la injecció de fosa. Això ho aconseguim amb un segon equip triat per el laboratori, com podria ser un segon tanc d'argó, connectat a la cambra de buit amb una vàlvula d'agulla com la utilitzada en el circuit de sobrepressió.

10.3 Resum peces equip de posicionament i sobrepressió

La Figura 10.3-1 representa el disseny final escollit per a l'equip de posicionament i sobrepressió, i la Taula 10.3-1 en menciona les peces.

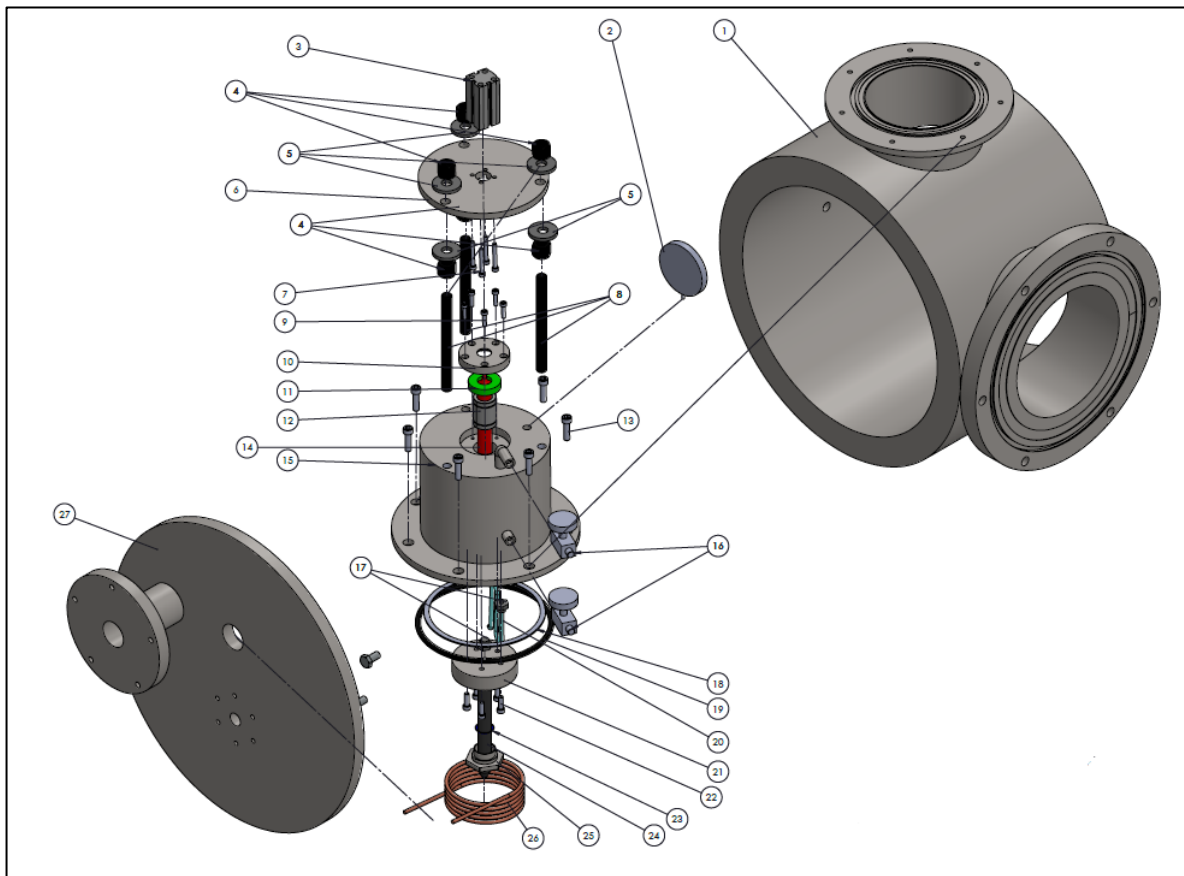


Figura 10.3-1. Representació disseny final escollit de l'equip de posicionament i sobrepressió.

Número	Quant.	Descripció	Marca	Plànol	Model	Material
1	1	Cambra de buit	-	P1-01-00	-	Acer 1.4404 segons UNE-EN10272:2016
2	1	Manòmetre	PCE IBÉRICA	-	PCE-DMM 20	Acer 304
3	1	Cilindre pneumàtic	FESTO	-	ADI-5-20-S0-I-P-A	Acer Innox.
4	6	Femella DIN 6390 M14	elesa+Ganter	-	DIN 6390-M14-8	AlSi 303 Ni
5	6	Valandera M14	elesa+Ganter	-	DIN 6340-15	AlSi 303 Ni
6	1	Subjecció pistó	-	P5-02-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
7	4	DIN 912 M5x40	Trifast	-	TR00006077-000	Acer A4-80
8	3	Epàrea DIN 6379 M4x10	elesa+Ganter	-	DIN 6379-M14-160	Acer 8.8
9	5	DIN 912 M5x20	Trifast	-	TR00006059-000	Acer A4-80
10	1	Tapa junta equip de posicionament	-	P5-07-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
11	1	Junta dinàmica eix posicionament Ø20	P5-SEAL®	-	P5-SEAL® SPECIAL	FFKM
12	1	Caixa net lineal eix posicionament	norelem	-	21505-01_AG	Acer 316
13	7	DIN 912 M5x30	Trifast	-	TR00006342-000	Acer A4-80
14	1	Eix equip de posicionament	-	P5-03-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
15	1	Tapa equip de posicionament	-	P5-01-00	-	Acer 1.4404 segons UNE-EN10272:2017
16	2	Valvula agulla 1/8"	Parker	-	2M-V2LN	Acer 316
17	2	Ràcord M5-diam 6mm	SMC	-	SMC KGG2	Acer 316
18	1	Junta grafit equip de posicionament 154x12	Gambit Group	Junta Grafit	GambitGrafit LUX	Grafit
19	1	O-Ring equip de posicionament 177,17x6,99	KALREZ®	O-Ring	12064919 (ERIKS)	FFKM
20	1	Tub sistema de sobrepressió	-	-	-	-
21	1	Femella porta provetes	-	P5-04-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
22	5	DIN 912 M6x20	Trifast	-	TR00006184-000	Acer A4-80
23	1	Junta proveta	-	P5-05-00	-	FFKM
24	1	Gresol porta mostres	MTI Corporation	-	BN Crucible	Nitrur de Bor
25	1	Mazle porta provetes	-	P5-06-00	-	Acer 1.4401 segons UNE-EN10272:2016
26	1	Bobina d'inducció	MTI Corporation	-	EG-SPG-6A-I	Coure

Taula 10.3-1. Resum de peces equip de posicionament i sobrepressió.

11 RESUM DE PRESSUPOSTOS

El pressupost total del projecte serà de 22.490,31€, sense tenir en compte l'IVA.

12 CONCLUSIONS

Una vegada finalitzat el projecte, es pot afirmar que s'han complert els objectius marcats.

Per a assolir tals objectius, s'ha dissenyat un equip de solidificació ràpida que permet l'obtenció de cintes d'aliatge Fe-Ni de gruixos micromètrics sota condicions d'atmosfera inert.

No obstant, un cop dissenyat l'equip i calculats els seus components, es poden realitzar les següents conclusions:

- Per a una possible fabricació de l'equip, caldria una revisió dels acabats superficials i toleràncies necessàries per al correcte ús tant de les peçes de disseny propi com de les de tercers, com poden ser els coixinets dels eixos o les diferents juntes d'estanqueïtat.
- Aquest disseny respon a l'ús com a material a fondre d'aliatges ferro-níquel, pel que per l'ús de diferents materials requeriria una revisió de les necessitats tèrmiques de tal material.
- L'ús de sistemes de control automàtic per al cilindre pneumàtic ajudarien a millor el control de la posició del gresol envers el disc de coure, millorant significativament el control del gruix de les cintes obtingudes.
- Per a la subjecció de la cambra de buit, es recomana l'ús d'una unió cargolada en la seva base, de manera que la porta de la cambra sigui accessible i el tub de recolliment quedi paral·lel al terra. Es recomana l'ús de pilars i la seva conseqüent adaptació a la base de la cambra de buit. Per al tub de recolliment un trípod que el mantingui paral·lel al terra seria suficient.

13 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document num1. Memòria i annexos

- Annex A Càlculs Justificatius
- Annex B Fitxes tècniques

Document num2. Plànols

Document num3. Plec de condicions

Document num4. Estat d'amidaments

Document num5. Pressupost

14 BIBLIOGRAFIA

[1] Agilent Technologies. TwisTorr 74 FS User Manual / 87-901-053-01. 2018.

[2] Asociación Española de Normalización. (1994) Tolerancias generales. Parte 1: Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerància. (UNE-EN 22768-1:1993). Madrid. Abril 1993

[3] Asociación Española de Normalización. (2016) Barras de acero inoxidable para aplicaciones a presión. (UNE-EN 10272:2016). Madrid. Diciembre 2016.

[4] Asociación Española de Normalización. (2021) Elementos de fijación. Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con grados y clases de propiedades específicas. (ISO 3506-1:2020). Madrid. Març 2021.

[5] Asociación Española de Normalización. (2021) Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 2: Materiales. (UNE-EN 13445-2:2021). Madrid. Juny 2021.

[6] Asociación Española de Normalización. (2021) Recipientes a presión no sometidos a llama. Parte 3: Diseño. (UNE-EN 13445-3:2021). Madrid. Juny 2021.

[7] Astigarraga Urquiza J, Aguirre Ormaza JL. Hornos industriales de inducción : teoría, cálculo y aplicaciones. McGraw-Hill. Madrid. 1994.

[8] Castany Valeri FJ, Fernández Cuello Á, Serraller Sánchez F. Principios de diseño en el proyecto de màquines. 2ª ed. Zaragoza. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza. 2007.

[9] Childs P.R.N. Mechanical design. Childs. 2nd ed. Elsevier Amsterdam. 2004.

[10] Faja Rivera, C. DISSENY D'UN SISTEMA DE RODA DE SOLIDIFICACIÓ RÀPIDA "MELT SPINNING". Projecte/ Treball Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Gener 2002.

- [11] Föll H. Melt Spinning of metals. (https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/advanced/a8_4_1.html) Melt Spinning of Metals (uni-kiel.de) Melt Spinning of Metals (uni-kiel.de), 30 de març de 2022)
- [12] Gascons, Narcis. Elements de màquines. UdG (2021)
- [13] Norton RL, Sánchez García G. Diseño de màquines. Prentice-Hall Hispanoamericana. Mèxic. 1999.
- [14] Pfeiffer Vacuum GmbH. Introduction to Vacuum Technology. (<https://www.pfeiffer-vacuum.com/en/know-how/introduction-to-vacuum-technology/general>), 15 de juliol de 2022)
- [15] Sapiensman. Componentes mecánicos en un sistema de control de movimiento. (http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/velocidad_de_motores_electricos2.php), 6 d'agost de 2022)
- [16] Serena Facchini, L. Production and Characterization of Fe-based metallic glasses. Projecte/ Treball Fi de Carrera. Escola Politècnica Superior de Castelldefels. Universitat Politècnica de Catalunya. Juny 2008.
- [17] Sherif El-Eskandarany, M. 1-Introduction. Science Direct. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455777525000012>), 30 de març de 2022)
- [18] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. (1986) Design of Transmission Shafting. (ANSI/ASME B106.1M-1985) Nova York. Agost 1985.

ANNEXOS

ANNEX A CÀLCULS DEL RECIPIENT

A.1 Cambra de buit (Ref. P1-01-00)

A.1.1 Gruix cilindre cambra de buit segons pressió interna

Dades:

$D_i=380$ mm; $f=115,83$ MPa; $z=1$; $P=0,5$ Mpa

$$e = P * \frac{D_i}{2 * f * z - P} = 0,5 * \frac{380}{2 * 115,83 * 1 - 0,5} = 0,82 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.1-1})$$

Per arrodonir, suposarem $e_a=1$ mm

Comprovem quina és la nova pressió màxima amb aquest gruix:

$$P_{max} = \frac{2 * f * z * e_a}{D_m} = \frac{2 * 115,83 * 1 * 1}{(380+1)} = 0,6 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.1-2})$$

S'afegeix el sobre gruix c per compensar:

$$e_n = e_a + c = 1 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm} = 3,5 \text{ mm}$$

A.1.2 Gruix cilindre cambra de buit segons pressió externa

Es segueix el procés definit en l'apartat 6.2.2, tenint en compte que el material de la cambra de buit és l'acer 316L 1.4404.

Dades:

$R_{p 0,2/350^\circ\text{C}} = 113$ MPa; $L= 310$ mm; $e_a= 2$ mm; $R= 190$ mm; $\nu=0,3$

$$\sigma_e = \frac{R_{p 0,2/T}}{1,25} = \frac{113}{1,25} = 90,4 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-1})$$

$$P_y = \frac{\sigma_e * e_a}{R} = \frac{90,4 * 2}{190} = 0,952 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-4})$$

$$Pm = \frac{E \cdot \epsilon \cdot a \cdot \epsilon}{R} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

Per a aplicar la fórmula 6.2.2-5 primer hem de trobar E i ϵ . E es troba en la Figura 6.2.2-2, entrant al gràfic amb T=350°C i prenent la representació de la gràfica per a materials del grup 8.1.

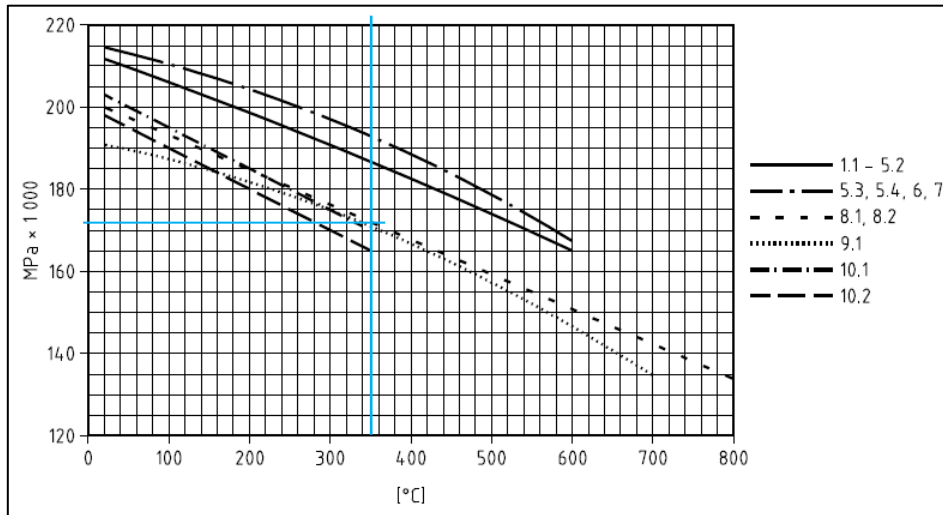


Figura 6.2.2-5 Mòdul elàstic per a diferents grups de materials a diferents temperatures, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR, UNE-13445-3:2021, Annex O Figura O-1, pg. 819.

De la figura extraiem,

E=173000 MPa

Annexos - Càlculs del recipient

Per a obtenir ε primer necessitem obtenir n_{cyl} entrant a la Figura 6.2.2-3 amb els següents coeficients:

$$\frac{ea}{2R} = \frac{2}{2 \cdot 190} = 0,00526 \quad (\text{Eq. A.2-1})$$

$$\frac{L}{2R} = \frac{310}{2 \cdot 190} = 0,8158 \quad (\text{Eq. A.2-2})$$

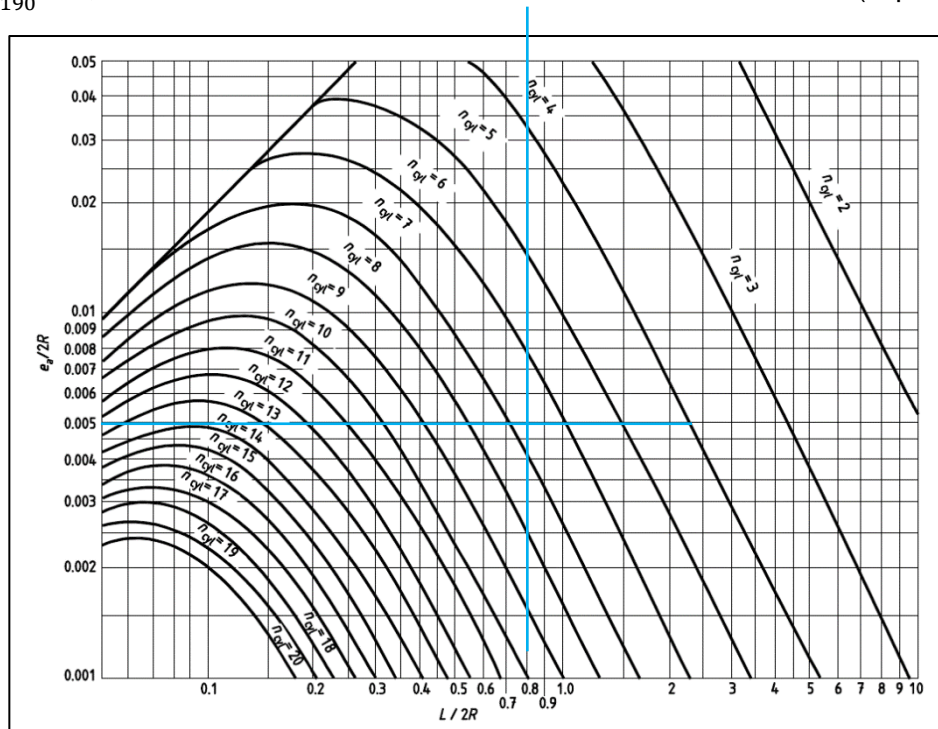


Figura 6.2.2-6. Gràfic per a trobar el valor de n_{cyl} on P_m és un mínim. Eixos adimensionals. AENOR, UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-4, pg. 64.

La norma indica que el valor de la línia més pròxima al punt trobat ha de ser el pròxim, pel que en aquest cas $n_{cyl}=7$.

Troblem el valor de Z aplicant la equació 6.2.2-7,

$$Z = \pi * \frac{R}{L} = \pi * \frac{190}{310} = 1,925 \quad (\text{Eq. 6.2.2-7})$$

Apliquem l' Eq. 6.2.2-6,

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left[\frac{1}{\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1} + \frac{ea^2}{12 * R^2 (1 - \nu^2)} * (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right] \quad (\text{Eq. 6.2.2-6})$$

$$\varepsilon = \frac{1}{7^2 - 1 + \frac{1,925^2}{2}} \left[\frac{1}{7^2} + \frac{2^2}{12 * 190^2(1 - 0.3^2)} * (7^2 - 1 + 1,925^2)^2 \right] = 0,00195$$

$$Pm = \frac{E * \varepsilon * R}{R} = \frac{173000 * 2 * 0,00195}{190} = 3,55 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

$$\frac{Pm}{Py} = \frac{3,55}{0,952} = 3,73 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

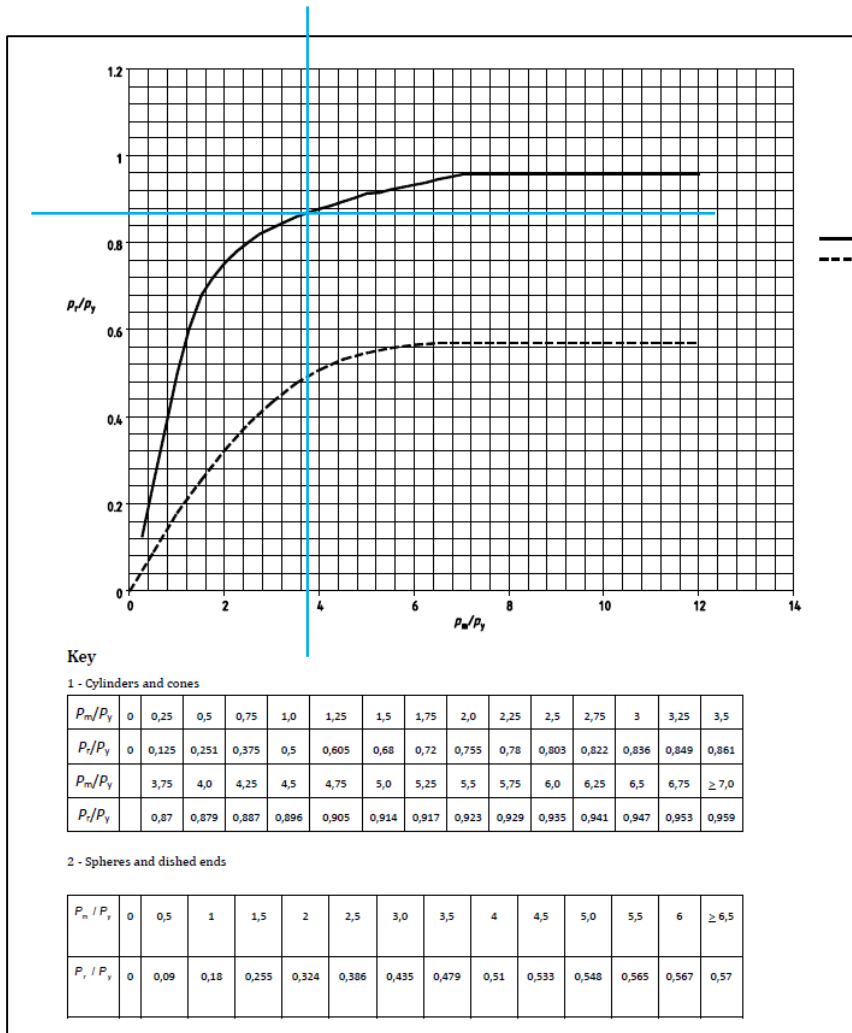


Figura 6.2.2-7. Corba de valors del quocient P_r/P_y respecte el quocient P_m/P_y amb valors concrets en diferents punts, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-5, pg. 65.

Amb els coeficients trobats i entrats a la taula 6.2.2-4, trobem el valor del coeficient $P_r/P_y=0,87$, pel que

$$Pr = 0,87 * Py = 0,87 * 0,952 = 0,82 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. A.2-2})$$

Annexos - Càlculs del recipient

Es comprova si compleix la condició de l'Eq. 6.2.2-8 prenent 1,5 com a valor d'S,

$$P < \frac{Pr}{S} \rightarrow 0,1MPa < 0,55 MPa \quad (\text{Eq. 6.2.2-8})$$

Per tant, el gruix mínim de 2mm serveix. Afegim sobre gruixos:

$$e=ea+c=2+2,5=4,5mm$$

Per tant s'agafarà el valor de **4,5 mm** per al gruix mínim de la cambra de buit.

A.1.3 Càlcul gruix fons pla foradat soldat a la cambra de buit (Ref. P1-03-00) Càlcul gruix

Per trobar es i aplicar-lo a l'equació 6.2.3-4, s'agafa el valor més gran d'entre el trobat a les seccions 10.1 i 10.2, sense tenir en compte els sobregruixos. En aquest cas el valor mes gran és el de 2mm de la secció 10.2.

Aquest apartat segueix les directrius de l'apartat 10.4 de la UNE-EN13445-3:2021.

Dades: $f_s=166,67$ MPa; $f=115,83$ MPa; $P=0,5$ MPa; $es=2$ mm; $D_i=380$ mm; $d=40$ mm; $k=126$ mm

El gruix mínim vindrà donat per la següent expressió:

$$e = \max \left[\left(C1 * Di * \sqrt{\frac{P}{f}} \right), \left(C2 * Di * \sqrt{\frac{P}{f_{min}}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-1})$$

On

$$f_{min} = \min[f, f_s] = \min[115,83, 166,67] = 115,83 MPa \quad (\text{Eq. 6.2.4-2})$$

$$C1 = \max \left[\left(0,40825 * A1 * \frac{Di+es}{Di} \right), \left(0,299 * \left(1 + 1,7 * \frac{es}{Di} \right) \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-3})$$

$$A1 = B1 \left[1 - B1 * \frac{es}{2(Di+es)} \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-4})$$

I a la vegada B1 com a

$$B1 = 1 - \frac{3f}{P} \left(\frac{es}{Di+es} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{Di}{Di+es} \right)^4 * \frac{P}{f} - \frac{3}{4} * \frac{(2Di+es)es^2}{(Di+es)^3} \quad (\text{Eq. 6.2.4-5})$$

$$B1 = 1 - \frac{3 \cdot 115,83}{0,5} \left(\frac{2}{380+2} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{380}{380+2} \right)^4 * \frac{0,5}{115,83} - \frac{3}{4} * \frac{(2 \cdot 380+2) \cdot 2^2}{(380+2)^3} = 0,982$$

$$A1 = 0,982 \left[1 - 0,982 * \frac{2}{2(380+2)} \right] = 0,979 \quad (\text{Eq. 6.2.4-4})$$

$$C1 = \max \left[\left(0,40825 * 0,979 * \frac{380+2}{380} \right), \left(0,299 * \left(1 + 1,7 * \frac{3}{380} \right) \right) \right] = \max[0,402, 0,302] = 0,402 \quad (\text{Eq. 6.2.4-3})$$

Per a obtenir C2, entrem a la amb els quocients $P/f_{\min}=0,0043$ i $e_s/D_i=0,0053$.

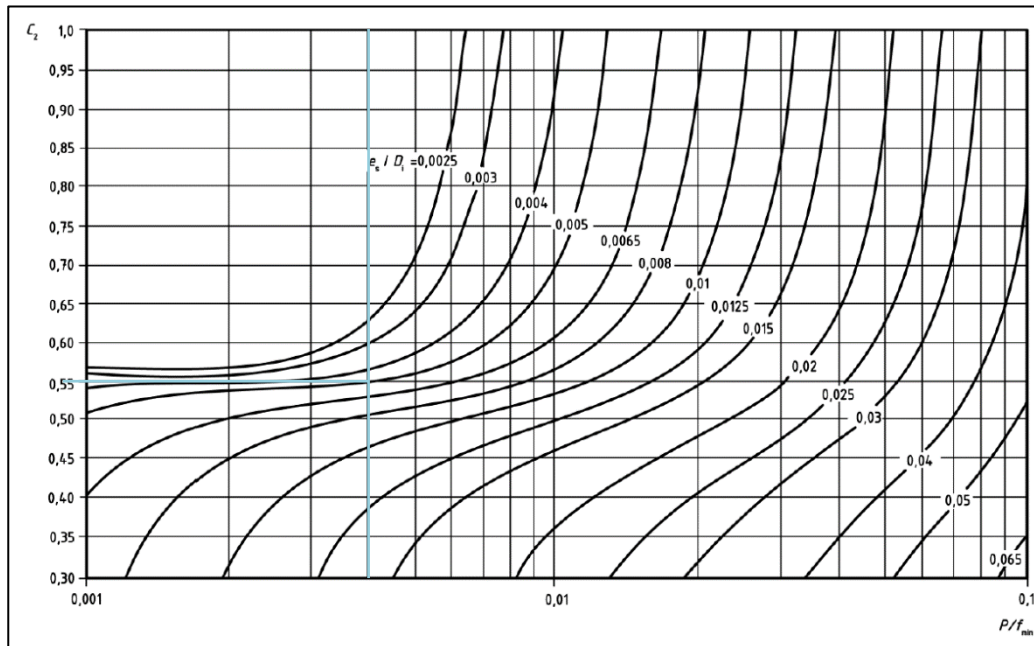


Figura 6.2.4 3. Valors del coeficient C2, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figura 10.4-5, pg. 149.

$$C2=0,55$$

$$e = \max \left[\left(0,402 * 380 * \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right), \left(0,55 * 380 * \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right) \right] = \max [10,04, 13,73] = 13,73 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.2.4-1})$$

Donat que el fons presenta tres forats de major diàmetre (dos de 40mm i un de 20mm) es presenta el cas més desfavorable, que és el dels dos forats de 40mm (trobat mitjançant el càlcul de totes les possibilitats)

Annexos - Càlculs del recipient

El gruix del fons no podrà ser menor al contemplat per les següents fórmules aplicant les referències respecte els forats de 40mm:

$$e = \max \left[(Y1 * e0); \left(C1 * Y2 * Di * \sqrt{\frac{P}{f}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.5-1})$$

$$Y1 = \min \left[2; \sqrt[3]{\frac{k}{k-d}} \right] = \min \left[2; \sqrt[3]{\frac{126}{126-40}} \right] = \min[2; 1,14] = 1,14 \quad (\text{Eq. 6.2.5-3})$$

$$Y2 = \sqrt{\frac{k}{k-d}} = \sqrt{\frac{126}{126-40}} = 1,21 \quad (\text{Eq. 6.2.5-4})$$

$$e = \max \left[(1,14 * 13,73); \left(0,402 * 1,21 * 380 * \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right) \right] = \max[15,65, 12,14] = 15,65 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.5-1})$$

Per tant, el gruix del fons pla de la cambra de buit ha de ser com a mínim de 15,65 mm. Afegint els 2,5 mm per a vèncer erosions, e=18,15mm. Finalment, agafem **e=19 mm**

A.2 Càlculs porta cambra de buit (Ref. P1-02-00)

A.2.1 Càlcul unió cargolada amb junta tòrica

Es calcula l'amplada efectiva de la junta.

Dades: w=6,5mm

$$b0 = \frac{w}{2} = 3,25 \text{ mm} < 6,3 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$b=b0=3,25 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

Dades: A=470mm ; B=380mm ; C=436mm ; g1=0 ; G=394mm ; P=0,5Mpa

$$H = \frac{\pi}{4} (G^2 * P) = \frac{\pi}{4} (394^2 * 0,5) = 60691 \text{ N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$hR = \frac{A-C}{2} = \frac{470-436}{2} = 17 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$hT = \frac{2C-B-G}{4} = \frac{2*436-380-394}{4} = 24,5 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$hD = \frac{C-B-g1}{2} = \frac{436-380-0}{2} = 28 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4} (B^2 * P) = \frac{\pi}{4} (380^2 * 0,5) = 56706 \text{ N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD = 60691 - 56706 = 3985N \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD * hD + HT * hT = \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$56706 * 0,028 + 3985 * 0,0245 = 1685,4Nm$$

$$HR = \frac{Mr}{hR} = \frac{1685,4}{0,017} = 99141N \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$Wa = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$Wop = H + HR = 99141 + 60691 = 159832N \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

Per al càlcul de la tensió de disseny del cargol, la norma UNE-EN ISO 3506-01 indica que per a acers a4-80,

$$f_{b,A} = \frac{Rm}{4} = \frac{800Mpa}{4} = 200MPa \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

I a temperatures superiors a 300°C,

$$fb = 0,75\sigma_t = 0,75 * 200 = 150MPa$$

Així doncs l'àrea mínima de secció dels cargols serà:

$$AB, \min = \frac{Wop}{fb} = \frac{159832N}{150MPa} = 1065,5mm^2 \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

S'escullen els cargols DIN 933 M24, de grau A4-80. Aquests cargols tenen una secció útil de 353 mm², pel que necessitem 4 cargols.

La força exercida pel cargol serà,

$$W = 0,5 \cdot (AB, \min + AB) \cdot fb, A = 0,5(1065,5 + 353) * 200 = 141850N \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

A.2.2 Càlcul de gruix per a fons pla collat amb orifici.

Per trobar e1 i aplicar-lo a l'equació 6.2.3-4, s'agafa el valor més gran d'entre el trobat a les seccions 10.1 i 10.2, sense tenir en compte els sobreguixos. En aquest cas el valor més gran és el de 2mm de la secció 10.2.

Dades: A=470mm ; B=380mm ; C=436mm ; g1=0 ; G=394mm ; P=0,5Mpa; W= 141850N; v=0,3; fa=166,67MPa; f=115,83 MPa; tb=436; db=24; b=3,25mm; m=0,25; e1a= 2mm

$$e0 = e' \quad (\text{Eq.A.2.2-1})$$

Annexos - Càlculs del recipient

$$e' = \max [ea; ep] \quad (\text{Eq. 6.2.3-1})$$

On

$$ea = \sqrt{C_f * \frac{3(C-G)}{\pi * G} * \left(\frac{W}{f_A}\right)} \quad (\text{Eq. 6.2.3-2})$$

$$ep = \sqrt{\left[\frac{3(3+\nu)}{32} * G^2 + 3C_f \left(\frac{G}{4} + 2 * b * m\right) (C - G)\right] \frac{P}{f}} \quad (\text{Eq. 6.2.3-3})$$

$$C_f = \max \left[\sqrt{\frac{t_b}{2d_b + \frac{6 * e_{1,a}}{m+0,5}}}; 1 \right] = \max \left[\sqrt{\frac{436}{2 * 24 + \frac{6 * 2}{0,25+0,5}}}; 1 \right] = \max[2,61; 1] = 2,61 \quad (\text{Eq. 6.2.3-4})$$

$$ea = \sqrt{2,61 * \frac{3(436-394)}{\pi * 394} * \left(\frac{141850}{166,67}\right)} = 15,1 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-2})$$

$$ep = \sqrt{\left[\frac{3(3+0,3)}{32} * 394^2 + 3 * 2,61 \left(\frac{394}{4} + 2 * 3,25 * 0,25\right) (436 - 394)\right] \frac{0,5}{115,83}} = 18,7 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-3})$$

$$e' = \max[ea; ep] = \max[15,1; 18,7] = 18,7 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-1})$$

$$eo = 18,7 \text{ mm}$$

Dades: $d=304\text{mm}$; $j=G=394\text{mm}$

$$Y2 = \sqrt{\frac{j}{j-d}} = \sqrt{\frac{394}{394-304}} = 2,1 \quad (\text{Eq. 6.2.5-4})$$

$$e = Y2 * eo = 2,1 * 18,7 = 39 \text{ mm} \rightarrow e = 40 \text{ mm} \quad (\text{Eq. A.2.2-3})$$

A.3 Tub de recolliment (P2-01-00) Tub de recollida

A.3.1 Gruix cilindre tub de recollida de mostres segons pressió interna

Dades:

$D_i=200$ mm; $f=115'83$ MPa; $z=1$; $P=0,5$ Mpa

$$e = P * \frac{D_i}{2*f*z-P} = 0,5 * \frac{200}{2*115,83*1-0,5} = 0,43 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.1-1})$$

Per arrodonir, suposarem $e_a=0,5$ mm

Comprovem quina és la nova pressió màxima amb aquest gruix:

$$P_{max} = \frac{2*f*z*e_a}{D_m} = \frac{2*115,83*1*0,5}{(200+0,5)} = 0,57 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.1-2})$$

Per a apujar la pressió màxima, s'amplia fins a 1,5 mm e_a :

$$P_{max} = \frac{2*f*z*e_a}{D_m} = \frac{2*115,83*1*1,5}{(200+1,5)} = 1,72 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.1-2})$$

S'afegeix el sobre gruix c per compensar:

$$e_n=e_a+c=1,5\text{mm}+2,5\text{mm}=5 \text{ mm}$$

A.3.2 Gruix cilindre tub de recollida segons pressió externa

Es segueix el procés definit en l'apartat 6.2.2, tenint en compte que el material de la cambra de buit és l'acer 316L 1.4404.

Dades:

$R_{p\ 0,2/350^\circ\text{C}} = 113$ Mpa; $L= 1000$ mm; $e_a= 2$ mm; $R= 100$ mm; $\nu=0,3$; $P=0,1$ MPa

$$\sigma_e = \frac{R_{p\ 0,2/350}}{1,25} = \frac{113}{1,25} = 90,4 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-1})$$

$$P_y = \frac{\sigma_e * e_a}{R} = \frac{90,4 * 2}{100} = 1,81 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-4})$$

$$P_m = \frac{E * e_a * \varepsilon}{R} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

En l'apartat A.2 s'ha trobat que $E=173000$ MPa. Per a obtenir ε primer necessitem obtenir n_{cyl} entrant a la Figura 6.2.2-3 amb els següents coeficients:

$$\frac{e_a}{2R} = \frac{2}{2*100} = 0,01 \quad (\text{Eq. A.4-1})$$

Annexos - Càlculs del recipient

$$\frac{L}{2R} = \frac{1000}{2 \cdot 100} = 5$$

(Eq. A.4-2)

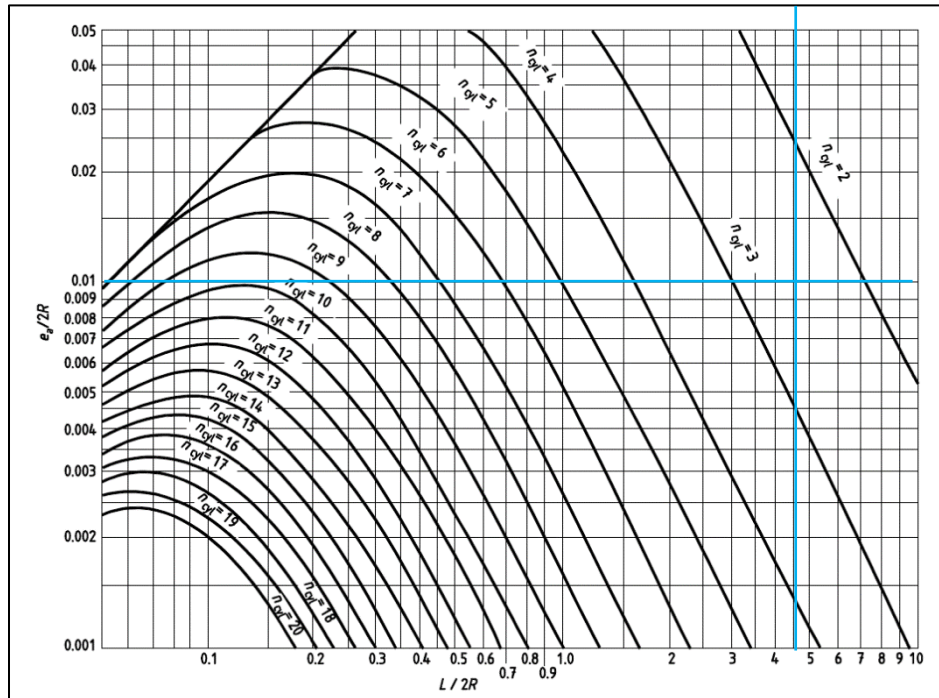


Figura 6.2.2-8. Gràfic per a trobar el valor de n_{cyl} on P_m és un mínim. Eixos adimensionals.

AENOR, UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-4, pg. 64.

La norma indica que el valor de la línia més pròxima al punt trobat ha de ser el pres, pel que en aquest cas $n_{cyl}=2$.

Trobem el valor de Z aplicant la equació 6.2.2-7,

$$Z = \pi * \frac{R}{L} = \pi * \frac{100}{1000} = 0,31415 \quad (\text{Eq. 6.2.2-7})$$

Aplicuem l' Eq. 6.2.2-6,

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left[\frac{1}{\left(\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1\right)^2} + \frac{ea^2}{12 * R^2 (1 - \nu^2)} * (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right] \quad (\text{Eq. 6.2.2-6})$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2^2 - 1 + \frac{0,31415^2}{2}} \left[\frac{1}{\left(\frac{2^2}{0,31415^2} + 1\right)^2} + \frac{2^2}{12 * 100^2 (1 - 0,3^2)} * (2^2 - 1 + 0,31415^2)^2 \right]$$

$$= 0,0002353$$

$$Pm = \frac{E \cdot \epsilon \cdot \epsilon}{R} = \frac{173000 \cdot 2 \cdot 0,0002353}{100} = 0,8141 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

$$\frac{Pm}{Py} = \frac{0,8141}{1,81} = 0,45 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. A.4-3})$$

Amb els coeficients trobats i els valors de referència de la taula 6.2.2-4, trobem el valor buscat entre una zona lineal, pel que fem la interpolació amb els valors extrems de la taula de Pr/Py per a valors de Pm/Py de 0,25 i 0,5:

$$\frac{0,251 - 0,125}{0,5 - 0,25} = \frac{0,251 - \frac{Pr}{Py}}{0,5 - 0,45} \rightarrow \frac{Pr}{Py} = 0,2258 \quad (\text{Eq. A.4-4})$$

$$Pr = 0,2258 \cdot Py = 0,2258 \cdot 1,81 = 0,41 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. A.4-5})$$

Es comprova si compleix la condició de l'Eq. 6.2.2-8 prenent 1,5 com a valor d'S,

$$P < \frac{Pr}{S} \rightarrow 0,1 \text{ MPa} < 0,27 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-8})$$

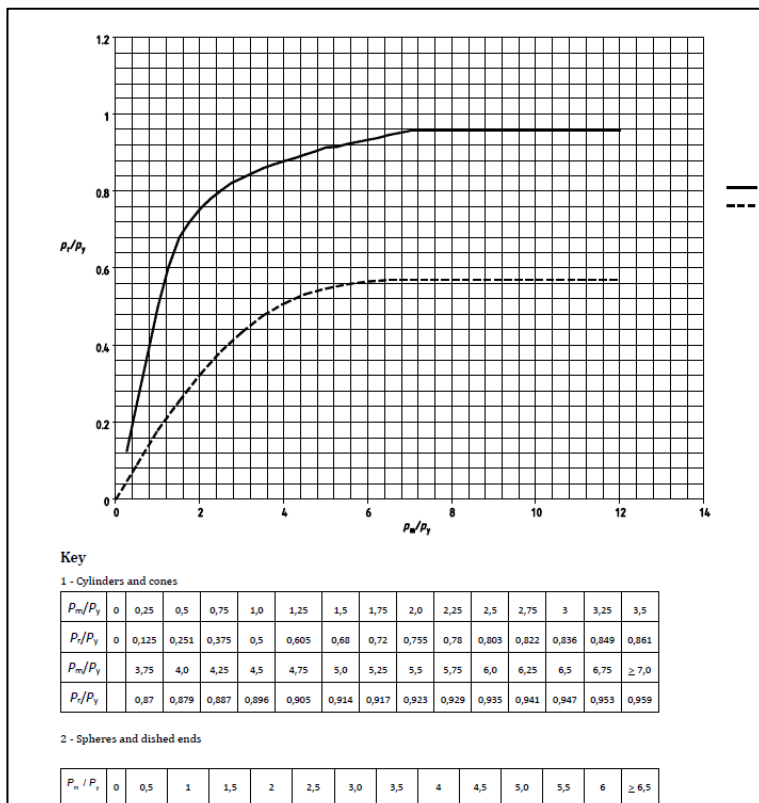


Figura 6.2.2-9. Corba de valors del quocient Pr/Py respecte el quocient Pm/Py amb valors concrets en diferents punts, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-5, pg. 65.

Annexos - Càlculs del recipient

Per tant, el gruix mínim de 2mm serveix. Afegim sobre gruixos:

$$e=ea+c=2+2,5=4,5\text{mm}$$

Per tant s'agafarà el valor de 5 mm per al gruix mínim del tub de recolliment de mostres.

A.3.3 Càlcul cargols unió tub-cambra de buit (Ref. P1-01-00)

Es calcula l'amplada efectiva de la junta. Donat que tenim dues juntes, s'agafen les mides respecte la junta tòrica, doncs presenta resultats més desfavorables.

Dades: $w=6,5\text{mm}$

$$b_0 = \frac{w}{2} = 3,25\text{mm} < 6,3\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$b=b_0=3,25 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

Dades: $A=360\text{mm}$; $B=200\text{mm}$; $C=333\text{mm}$; $g_1=33,06\text{mm}$; $G=267,36\text{mm}$; $P=0,5\text{Mpa}$

$$H = \frac{\pi}{4}(G^2 * P) = \frac{\pi}{4}(267,36^2 * 0,5) = 28070,67 \text{ N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$hR = \frac{A-C}{2} = \frac{360-333}{2} = 13,5\text{m} \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$hT = \frac{2C-B-G}{4} = \frac{2*333-200-267,36}{4} = 49,66\text{m} \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$hD = \frac{C-B-g_1}{2} = \frac{333-200-33,06}{2} = 49,97\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4}(B^2 * P) = \frac{\pi}{4}(200^2 * 0,5) = 15708\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD = 28070,67 - 15708 = 12362,67\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD * hD + HT * hT = \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$15708 * 49,97 + 12362,67 * 49,66 = 1398859\text{Nmm}$$

$$HR = \frac{M_r}{hR} = \frac{1398859}{13,5} = 103620\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$Wa = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$Wop = H + HR = 28070,67 + 103620 = 131690,67\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

Per al càlcul de la tensió de disseny del cargol, la norma UNE-EN ISO 3506-01 indica que per a acers a4-80,

$$f_{b,A} = \frac{Rm}{4} = \frac{800\text{Mpa}}{4} = 200\text{MPa} \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

I a temperatures superiors a 300°C,

$$f_b = 0,75f_{b,A} = 0,75 * 200 = 150\text{MPa}$$

Així doncs l'àrea mínima de secció dels cargols serà:

$$A_{B, \min} = \frac{W_{op}}{f_b} = \frac{131690,67\text{N}}{150\text{MPa}} = 877,94\text{mm}^2 \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

S'escullen els cargols DIN 933 M16, de grau A4-80. Aquests cargols tenen una secció útil de 157mm², pel que necessitem 6 cargols.

La força exercida pel cargol serà,

$$W = 0,5 \cdot (A_{B, \min} + A_B) \cdot f_{b,A} = 0,5(877,94 + 157) * 200 = 103449\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

A.3.4 Càlcul gruix de brida per la unió tub-cambra de buit (Ref. P1-01-00)

Es segueix l'esmentat a l'apartat 6.2.6.

Dades:

Mr=1398859Nmm; C=333mm; dh=17mm; f=115,83 MPa; n=6

$$e = \sqrt{\frac{6 \cdot Mr}{f \cdot (\pi C - n \cdot dh)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1398859}{115,83 \cdot (\pi \cdot 333 - 6 \cdot 17)}} = 8,76\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.2.6-1})$$

Afegim els 2,5mm per cobrir desgasts, e=11,26mm, pel que agafarem **e=12mm**

A.3.5 Càlcul unió cargolada tub-porta de tub (Ref. P2-01-00)

Es calcula l'amplada efectiva de la junta. Donat que tenim dues juntes, s'agafen les mides respecte la junta tòrica, doncs presenta resultats més desfavorables.

Dades: w=6,5mm

$$b_0 = \frac{w}{2} = 3,25\text{mm} < 6,3\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$b = b_0 = 3,25 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

Dades: A=310mm ; B=200mm ; C=274mm ; g1=10mm ; G=229,26mm ; P=0,5Mpa

Annexos - Càlculs del recipient

$$H = \frac{\pi}{4}(G^2 * P) = \frac{\pi}{4}(229,26^2 * 0,5) = 20640,32 N \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$hR = \frac{A-C}{2} = \frac{310-274}{2} = 18mm \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$hT = \frac{2C-B-G}{4} = \frac{2*274-200-229,26}{4} = 29,69mm \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$hD = \frac{C-B-g1}{2} = \frac{274-200-10}{2} = 32mm \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4}(B^2 * P) = \frac{\pi}{4}(200^2 * 0,5) = 15708N \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD = 20640,32 - 15708 = 4932,32N \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD * hD + HT * hT = \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$15708 * 32 + 4932,32 * 29,69 = 649097Nmm$$

$$HR = \frac{M_r}{hR} = \frac{649097}{18} = 36061N \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$Wa = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$Wop = H + HR = 20640,32 + 36061 = 56701,32N \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

Per al càlcul de la tensió de disseny del cargol, la norma UNE-EN ISO 3506-01 indica que per a acers a4-80,

$$f_{b,A} = \frac{Rm}{4} = \frac{800Mpa}{4} = 200MPa \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

I a temperatures superiors a 300°C,

$$fb = 0,75f_{b,A} = 0,75 * 200 = 150MPa$$

Així doncs l'àrea mínima de secció dels cargols serà:

$$AB, \min = \frac{Wop}{fb} = \frac{56701,32N}{150MPa} = 378mm^2 \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

S'escullen els cargols DIN 933 M12, de grau A4-80. Aquests cargols tenen una secció útil de 84,3mm², pel que necessitem 5 cargols.

La força exercida pel cargol serà,

$$W = 0,5 \cdot (AB, \min + AB) \cdot fb, A = 0,5(378 + 84,3) * 200 = 46230N \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

A.3.6 Càlcul fons pla porta tub (Ref. P2-02-00)

Per trobar e_1 i aplicar-lo a l'equació 6.2.3-4, s'agafa el valor més gran d'entre el trobat a les seccions 10.3.1 i 10.3.2, sense tenir en compte els sobregruixos. En aquest cas el valor més gran és el de 2mm de la secció 10.3.2.

Dades: $A=310\text{mm}$; $B=200\text{mm}$; $C=274\text{mm}$; $g_1=0$; $G=229,26\text{mm}$; $P=0,5\text{Mpa}$; $W=46230\text{N}$; $v=0,3$; $f_a=166,67\text{MPa}$; $f=115,83\text{ MPa}$; $t_b=274\text{mm}$; $d_b=13$; $b=3,25\text{mm}$; $m=0,25$; $e_{1a}=2\text{mm}$

$$e = \max [ea; ep] \quad (\text{Eq. 6.2.3-1})$$

On

$$ea = \sqrt{C_f * \frac{3(C-G)}{\pi * G} * \left(\frac{W}{f_A}\right)} \quad (\text{Eq. 6.2.3-2})$$

$$ep = \sqrt{\left[\frac{3(3+v)}{32} * G^2 + 3C_f \left(\frac{G}{4} + 2 * b * m\right) (C - G)\right] \frac{P}{f}} \quad (\text{Eq. 6.2.3-3})$$

$$C_f = \max \left[\sqrt{\frac{t_b}{2d_b + \frac{6 * e_{1a}}{m + 0,5}}} ; 1 \right] = \max \left[\sqrt{\frac{274}{2 * 13 + \frac{6 * 2}{0,25 + 0,5}}} ; 1 \right] = \max[2,255; 1] = 2,55 \quad (\text{Eq. 6.2.3-4})$$

$$ea = \sqrt{2,55 * \frac{3(274 - 229,26)}{\pi * 229,26} * \left(\frac{46230}{166,67}\right)} = 11,48 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-2})$$

$$ep = \sqrt{\left[\frac{3(3+0,3)}{32} * 229,26^2 + 3 * 2,55 \left(\frac{229,26}{4} + 2 * 3,25 * 0,25\right) (274 - 229,26)\right] \frac{0,5}{115,83}} = 12,54 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-3})$$

$$e = \max[ea; ep] = \max[11,48; 12,54] = 12,54 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.3-1})$$

$$e=12,54\text{mm}$$

Afegint un sobre gruix de 2,5 per erosió, $e=15\text{mm}$

A.3.7 Càlcul gruix de brida unió tub-porta de tub (Ref. P2-02-00)

Es segueix l'esmentat a l'apartat 6.2.6.

Annexos - Càlculs del recipient

Dades:

$M_r=649097\text{Nmm}$; $C=274\text{mm}$; $dh=12\text{mm}$; $f=115,83\text{ MPa}$; $n=5$

$$e = \sqrt{\frac{6 \cdot M_r}{f \cdot (\pi C - n \cdot dh)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 649097}{115,83 \cdot (\pi 274 - 5 \cdot 12)}} = 6,48\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.2.6-1})$$

Afegim els 2,5mm per cobrir desgasts, $e=11,26\text{mm}$, pel que agafarem **$e=9\text{mm}$** .

A.4 Equip de buit

A.4.1 Càlcul unió cargola brida bomba (Ref. P3-01-00)--cambra de buit (Ref. P1-01-00)

El gruix del tub de la brida de connexió no es calcula amb els processos usats anteriorment, donat el seu baix diàmetre interior. Es suposarà un gruix

Es calcula l'amplada efectiva de la junta. Donat que tenim dues juntes, s'agafen les mides respecte la junta tòrica, doncs presenta resultats més desfavorables.

Dades: $w=6,5\text{mm}$

$$b_0 = \frac{w}{2} = 3,25\text{mm} < 6,3\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$b=b_0=3,25 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

Dades: $A=180\text{mm}$; $B=40\text{mm}$; $C=156\text{mm}$; $g_1=12\text{mm}$; $G=127\text{mm}$; $P=0,5\text{Mpa}$

$$H = \frac{\pi}{4} (G^2 * P) = \frac{\pi}{4} (127^2 * 0,5) = 6333,84\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$hR = \frac{A-C}{2} = \frac{180-156}{2} = 12\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$hT = \frac{2C-B-G}{4} = \frac{2 \cdot 156 - 40 - 127}{4} = 36,25\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$hD = \frac{C-B-g_1}{2} = \frac{156-40-12}{2} = 26\text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4} (B^2 * P) = \frac{\pi}{4} (40^2 * 0,5) = 628,32\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD = 6333,84 - 628,32 = 5705,52\text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD * hD + HT * hT = \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$628,32 * 26 + 5705,52 * 36,25 = 223161,42\text{Nmm}$$

$$HR = \frac{Mr}{hR} = \frac{223161,42}{12} = 18596,79N \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$Wa = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$Wop = H + HR = 6333,84 + 18596,79 = 24930,63N \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

Per al càlcul de la tensió de disseny del cargol, la norma UNE-EN ISO 3506-01 indica que per a acers a4-80,

$$f_{b,A} = \frac{Rm}{4} = \frac{800MPa}{4} = 200MPa \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

I a temperatures superiors a 300°C,

$$fb = 0,75f_{b,A} = 0,75 * 200 = 150MPa$$

Així doncs l'àrea mínima de secció dels cargols serà:

$$AB, \min = \frac{Wop}{fb} = \frac{24930,63N}{150MPa} = 166,2mm^2 \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

S'escullen els cargols DIN 933 M10, de grau A4-80. Aquests cargols tenen una secció útil de 36,64mm², pel que necessitem 5 cargols.

La força exercida pel cargol serà,

$$W = 0,5 \cdot (AB, \min + AB) \cdot fb, A = 0,5(166,2 + 36,64) * 200 = 20284N \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

A.4.2 Càlcul gruix de brida unió brida bomba (Ref. P3-01-00)-cambra de buit (Ref. P1-01-00)

A.4.3 Càlcul gruix de brida unió brida bomba-cambra de buit

Es segueix l'esmentat a l'apartat 6.2.6.

Dades:

$$Mr=223161,42Nmm; C=156mm; dh=10mm; f=115,83 MPa; n=5$$

$$e = \sqrt{\frac{6*Mr}{f*(\pi C - n*dh)}} = \sqrt{\frac{6*223161,42}{115,83*(\pi 156 - 5*10)}} = 5,12mm \quad (\text{Eq. 6.2.6-1})$$

Afegim els 2,5mm per cobrir desgasts, e=7,63mm, pel que agafarem **e=8mm**.

A.4.4 Càlcul gruix cilindre tapa del sistema segons pressió interna

Dades:

$D_i=150$ mm; $f=115,83$ MPa; $z=1$; $P=0,5$ Mpa

$$e = P * \frac{D_i}{2*f*z-P} = 0,5 * \frac{150}{2*115,83*1-0,5} = 0,645 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.1-1})$$

Per arrodonir, suposarem $e_a=1$ mm

Comprovem quina és la nova pressió màxima amb aquest gruix:

$$P_{max} = \frac{2*f*z*e_a}{D_m} = \frac{2*115,83*1*1}{(380+1)} = 0,6 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.1-2})$$

S'afegeix el sobre gruix c per compensar:

$$e_n=e_a+c=1\text{mm}+2,5\text{mm}=3,5 \text{ mm}$$

A.4.5 Càlcul gruix cilindre tapa del sistema segons pressió externa

Es segueix el procés definit en l'apartat 6.2.2, tenint en compte que el material de la cambra de buit és l'acer 1.4404.

Dades:

$R_{p\ 0,2/350^\circ\text{C}} = 113$ Mpa; $L= 90$ mm; $e_a= 2$ mm; $R= 75$ mm; $\nu=0,3$

$$\sigma_e = \frac{R_{p\ 0,2/T}}{1,25} = \frac{113}{1,25} = 90,4 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-1})$$

$$P_y = \frac{\sigma_e * e_a}{R} = \frac{90,4*2}{75} = 2,41 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-4})$$

$$P_m = \frac{E * e_a * \varepsilon}{R} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

Per a aplicar la fórmula 6.2.2-5 primer hem de trobar E i ε . E es troba en la Figura 6.2.2-2, entrant al gràfic amb $T=350^\circ\text{C}$ i prenent la representació de la gràfica per a materials del grup 8.1.

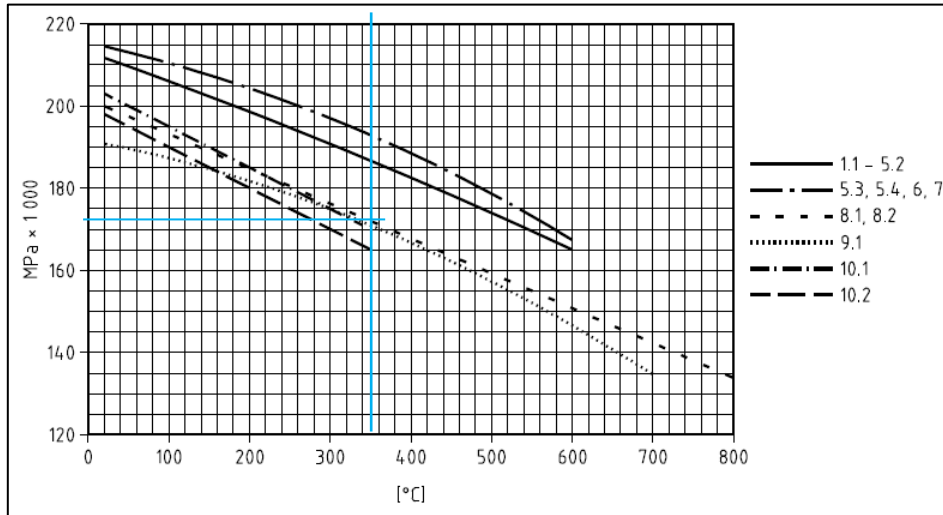


Figura 6.2.2-10 Mòduls elàstics per a diferents grups de materials a diferents temperatures, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR, UNE-13445-3:2021, Annex O Figura O-1, pg. 819.

De la figura extraiem,

Per a obtenir ε primer necessitem obtenir n_{cyl} entrant a la figura 6.2.2-3 amb els següents coeficients:

$$\frac{ea}{2R} = \frac{2}{2 \cdot 75} = 0,013 \quad (\text{Eq. A.2-1})$$

$$\frac{L}{2R} = \frac{90}{2 \cdot 75} = 0,6 \quad (\text{Eq. A.2-2})$$

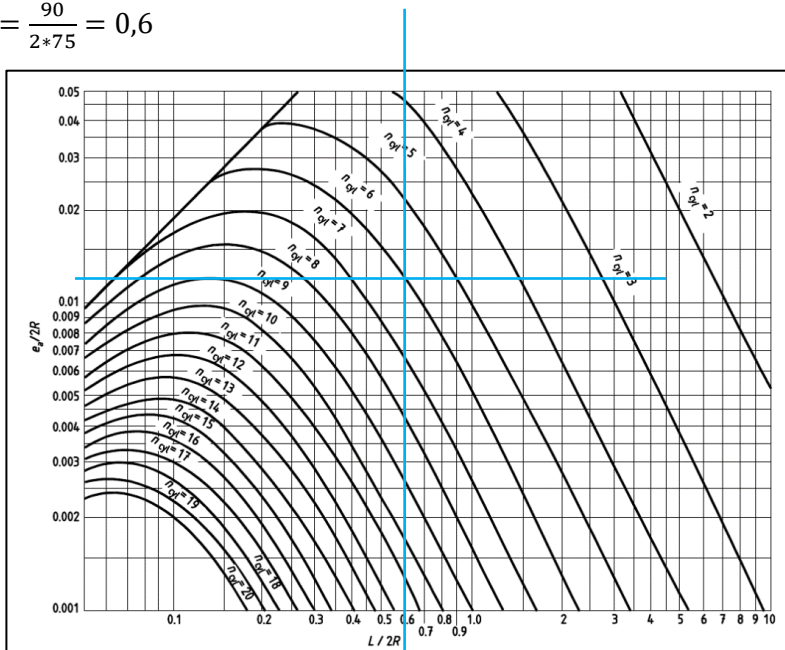


Figura 6.2.2-11. Gràfic per a trobar el valor de n_{cyl} on P_m és un mínim. Eixos adimensionals. AENOR, UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-4, pg. 64.

Annexos - Càlculs del recipient

La norma indica que el valor de la línia més pròxima al punt trobat ha de ser el pres, pel que en aquest cas $n_{cyl}=7$.

Trobem el valor de Z aplicant la equació 6.2.2-7,

$$Z = \pi * \frac{R}{L} = \pi * \frac{75}{90} = 2,62 \quad (\text{Eq. 6.2.2-7})$$

Apliquem l' Eq. 6.2.2-6,

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left[\frac{1}{\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1} + \frac{ea^2}{12 * R^2 (1 - \nu^2)} * (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right] \quad (\text{Eq. 6.2.2-6})$$

$$\varepsilon = \frac{1}{7^2 - 1 + \frac{2,62^2}{2}} \left[\frac{1}{\frac{7^2}{2,62^2} + 1} + \frac{2^2}{12 * 75^2 (1 - 0,3^2)} * (7^2 - 1 + 2,62^2)^2 \right] = 0,0062$$

$$Pm = \frac{E * ea * \varepsilon}{R} = \frac{173000 * 2 * 0,0062}{75} = 28,6 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

$$\frac{Pm}{Py} = \frac{28,6}{2,41} = 11,86 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-5})$$

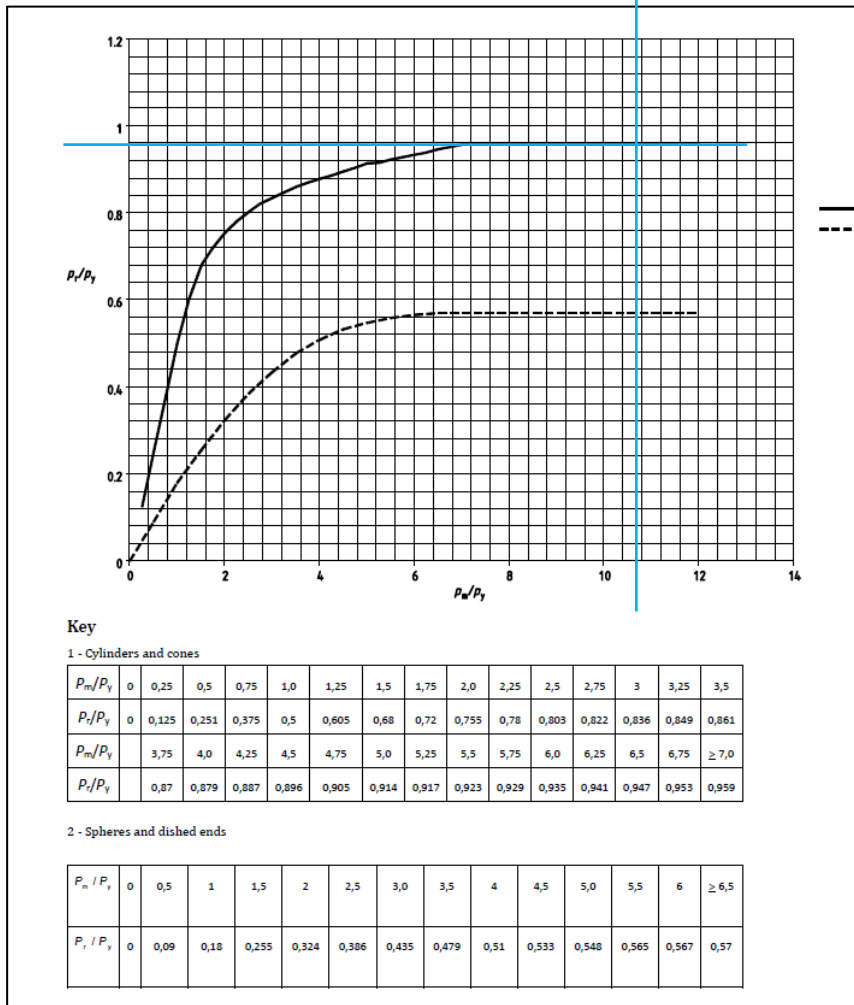


Figura 6.2.2-12. Corba de valors del quocient P_r/P_y respecte el quocient P_m/P_y amb valors concrets en diferents punts, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 8 figura 8.5-5, pg. 65.

Amb els coeficients trobats i entrats a la taula 6.2.2-4, trobem el valor del coeficient $P_r/P_y=0,959$, pel que

$$Pr = 0,959 * Py = 0,959 * 2,41 = 2,31 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. A.2-2})$$

Es comprova si compleix la condició de l'Eq. 6.2.2-8 prenent 1,5 com a valor d'S,

$$P < \frac{Pr}{S} \rightarrow 0,1 \text{ MPa} < 1,54 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.2-8})$$

Per tant, el gruix mínim de 2mm serveix. Afegim sobre gruixos:

$$e=ea+c=2+2,5=4,5 \text{ mm}$$

Per tant s'agafarà el valor de **4,5 mm** per al gruix mínim de la cambra de buit.

A.4.6 Càlcul fons tapa equip de posicionament

Per trobar es i aplicar-lo a l'equació 6.2.3-4, s'agafa el valor més gran d'entre el trobat a les seccions 10.5.1 i 10.5.2, sense tenir en compte els sobre gruixos. En aquest cas el valor més gran és el de 2mm de la secció 10.5.2. Agafem a més la mitjana entre els forats més grans de la tapa, pel que serà de 41mm

Aquest apartat segueix les directrius de l'apartat 10.4 de la UNE-EN13445-3:2021.

Dades: $f_s=166,67$ MPa; $f=115,83$ MPa; $P=0,5$ MPa; $es=2$ mm; $Di=150$ mm; $d=41$ mm; $h=150$

El gruix mínim vindrà donat per la següent expressió:

$$e = \max \left[\left(C1 * Di * \sqrt{\frac{P}{f}} \right), \left(C2 * Di * \sqrt{\frac{P}{f_{min}}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-1})$$

On

$$f_{min} = \min[f, f_s] = \min[115,83, 166,67] = 115,83 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 6.2.4-2})$$

$$C1 = \max \left[\left(0,40825 * A1 * \frac{Di+es}{Di} \right), \left(0,299 * \left(1 + 1,7 * \frac{es}{Di} \right) \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-3})$$

$$A1 = B1 \left[1 - B1 * \frac{es}{2(Di+es)} \right] \quad (\text{Eq. 6.2.4-4})$$

I a la vegada B1 com a

$$B1 = 1 - \frac{3f}{P} \left(\frac{es}{Di+es} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{Di}{Di+es} \right)^4 * \frac{P}{f} - \frac{3}{4} * \frac{(2Di+es)es^2}{(Di+es)^3} \quad (\text{Eq. 6.2.4-5})$$

$$B1 = 1 - \frac{3*115,83}{0,5} \left(\frac{2}{150+2} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{150}{150+2} \right)^4 * \frac{0,5}{115,83} - \frac{3}{4} * \frac{(2*150+2)*2^2}{(150+2)^3} = 0,88$$

$$A1 = 0,88 \left[1 - 0,88 * \frac{2}{2(150+2)} \right] = 0,85 \quad (\text{Eq. 6.2.4-4})$$

$$C1 = \max \left[\left(0,40825 * 0,85 * \frac{150+2}{150} \right), \left(0,299 * \left(1 + 1,7 * \frac{2}{150} \right) \right) \right] = \max[0,35, 0,306] = 0,35 \quad (\text{Eq. 6.2.4-3})$$

Per a obtenir C2, entrem a la amb els quocients $P/f_{min}=0,0043$ i $e_s/D_i=0,013$.

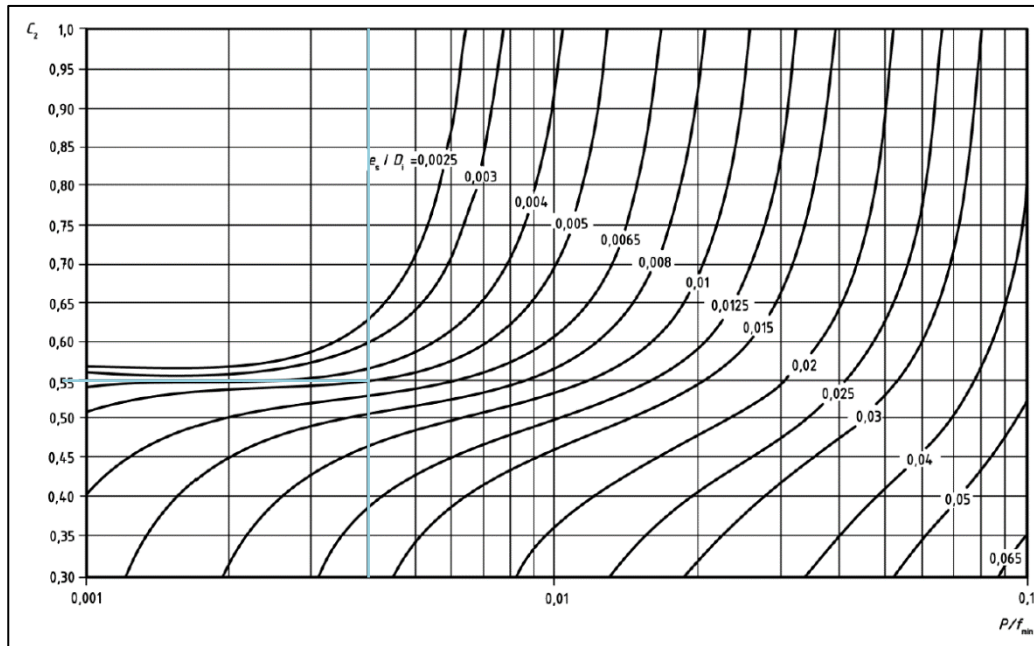


Figura 6.2.4 4. Valors del coeficient C2, segons UNE-EN13445-3:2021. AENOR UNE-EN13445-3:2021, capítol 10 figura 10.4-5, pg. 149.

$C2=0,4$

$$e = \max \left[\left(0,35 * 150 * \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right), \left(0,4 * 150 * \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right) \right] = \max [3,45, 3,94] = 3,94 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 6.2.4-1})$$

A més, el gruix no podrà ser menor al següent:

$$e = \max \left[(Y1 * e0); \left(C1 * Y2 * Di * \sqrt{\frac{P}{f}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 6.2.5-1})$$

$$Y1 = \min \left[2; \sqrt[3]{\frac{j}{j-d}} \right] \quad (\text{Eq. 6.2.5-3})$$

$$Y2 = \sqrt{\frac{j}{j-d}} \quad (\text{Eq. 6.2.5-4})$$

On $e0$ és el gruix per al mateix fons sense orificis, d és el diàmetre d'un orifici i j és: $2h$ per al càlcul $Y1$, Di per a un fons soldat i G per al càlcul d'un fons cargolat.

Annexos - Càlculs del recipient

$$Y1 = \min \left[2; \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 150}{2 \cdot 150 - 41}} \right] = \min[2; 1,05] = 1,05 \quad (\text{Eq. 6.2.5-3})$$

$$Y2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 150 \cdot 50}{2 \cdot 150 - 41}} = 1,07 \quad (\text{Eq. 6.2.5-4})$$

$$e = \max \left[(1,05 \cdot 3,94); \left(0,35 \cdot 1,07 \cdot 150 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{115,83}} \right) \right] = 4,1 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.2.5-1})$$

Per tant, $e=4,1\text{mm}$, afegint els 2,5 mm per salvar erosions, **$e_{\min}=6,6\text{mm}$** .

A.4.7 Càlcul unió cargola tapa equip de posicionament

El gruix del tub de la brida de connexió no es calcula amb els processos usats anteriorment, donat el seu baix diàmetre interior. Es suposarà un gruix

Es calcula l'amplada efectiva de la junta. Donat que tenim dues juntes, s'agafen les mides respecte la junta tòrica, doncs presenta resultats més desfavorables.

Dades: $w=6,5\text{mm}$

$$b0 = \frac{w}{2} = 3,25 \text{mm} < 6,3 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-1})$$

$$b=b0=3,25 \quad (\text{Eq. 6.4.1-2})$$

Dades: $A=260\text{mm}$; $B=150\text{mm}$; $C=226\text{mm}$; $g1=17\text{mm}$; $G=184,16\text{mm}$; $P=0,5\text{Mpa}$

$$H = \frac{\pi}{4} (G^2 \cdot P) = \frac{\pi}{4} (184,16^2 \cdot 0,5) = 13318,35 \text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-4})$$

$$hR = \frac{A-C}{2} = \frac{260-226}{2} = 17 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-5})$$

$$hT = \frac{2C-B-G}{4} = \frac{2 \cdot 226 - 150 - 184,16}{4} = 29,46 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-6})$$

$$hD = \frac{C-B-g1}{2} = \frac{226-150-17}{2} = 29,5 \text{mm} \quad (\text{Eq. 6.4.1-7})$$

$$HD = \frac{\pi}{4} (B^2 \cdot P) = \frac{\pi}{4} (150^2 \cdot 0,5) = 8835,73 \text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-8})$$

$$HT = H - HD = 13318,35 - 8835,73 = 4482,62 \text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-9})$$

$$M_r = HD \cdot hD + HT \cdot hT = \quad (\text{Eq. 6.4.1-10})$$

$$8835,73 \cdot 29,5 + 4482,62 \cdot 29,46 = 392712 \text{Nmm}$$

$$HR = \frac{M_r}{hR} = \frac{392712}{17} = 23100,7 \text{N} \quad (\text{Eq. 6.4.1-11})$$

$$Wa = 0 \quad (\text{Eq. 6.4.1-12})$$

$$W_{op} = H + HR = 13318,35 + 23100,7 = 36420N \quad (\text{Eq. 6.4.1-13})$$

Per al càlcul de la tensió de disseny del cargol, la norma UNE-EN ISO 3506-01 indica que per a acers A4-80,

$$f_{b,A} = \frac{Rm}{4} = \frac{800Mpa}{4} = 200MPa \quad (\text{Eq. 6.4-1})$$

I a temperatures superiors a 300°C,

$$f_b = 0,75f_{b,A} = 0,75 * 200 = 150MPa$$

Així doncs l'àrea mínima de secció dels cargols serà:

$$AB, \min = \frac{W_{op}}{f_b} = \frac{36420N}{150MPa} = 242,8mm^2 \quad (\text{Eq. 6.4.1-14})$$

S'escullen els cargols DIN 912 M8, de grau A4-80. Aquests cargols tenen una secció útil de 36,64mm², pel que necessitem 7 cargols.

La força exercida pel cargol serà,

$$W = 0,5 \cdot (AB, \min + AB) \cdot f_{b,A} = 0,5(242,8 + 36,64) * 200 = 27944N \quad (\text{Eq. 6.4.1-15})$$

A.4.8 Càlcul gruix de brida unió tapa sistema de posicionament-cambra de buit (Ref. P1-01-00)

Es segueix l'esmentat a l'apartat 6.2.6.

Dades:

Mr=27944 Nmm; C=226 mm; dh=8mm; f=115,83 MPa; n=7

$$e = \sqrt{\frac{6 * Mr}{f * (\pi C - n * dh)}} = \sqrt{\frac{6 * 27944}{115,83 * (\pi * 226 - 7 * 10)}} = 1,5mm \quad (\text{Eq. 6.2.6-1})$$

Afegim els 2,5mm per cobrir desgasts, e=4mm, pel que agafarem **e=5mm**.

ANNEX B DISSENY D'EQUIPAMENT

B.1 Equip de solidificació

El disseny de l'equip de solidificació es basa en un equip eix-roda, el qual consisteix en una roda, en aquest cas de coure, unida a un motor mitjançant un eix. En aquest cas però, motor i roda han d'estar en cambres diferents donat que la roda ha d'operar en atmosfera inert, pel que l'eix d'unió haurà de aravessar el fons pla de la cambra de buit. Per a subjectar l'eix es decideix la creació de brides, una dins la cambra i l'altre a l'exterior. Per a unir l'eix amb les brides s'usarà coixinets, i per aïllar aquesta unió de l'exterior es buscarà una junta corresponent que en permeti el moviment.

B.1.1 Disseny disc de coure

Les especificacions i requeriments a complir per a aquest equip són una velocitat controlada de mínim 31 m/s i 25 mm de d'amplada. Per tal de tenir suficient espai dins la cambra de buit per a tot el procés, s'estableix un límit de diàmetre, que considerarem 280 mm. Per al càlcul del diàmetre es farà servir l'Equació 7.1-1,

$$v = \omega * \frac{2\pi}{60} * r \quad (\text{Eq.7.1-1})$$

On v és la velocitat tangencial del disc en m/s, w és la velocitat de rotació del disc en rpm i r el diàmetre de gir. Donat que la velocitat de gir depèn del motor, agafarem de referència la velocitat nominal que donen els motors elèctrics bipolars, els quals presenten una velocitat nominal de gir de 3600 rpm o 3000 rpm depenent de si la connexió elèctrica es fa a 60 o 50 Hz, respectivament. El cas més desfavorable és el de 3000 rpm, pel que entrant-ho a la Eq. 7.1-1, obtenim un radi mínim de 92 mm, el qual s'eleva fins als **110mm** per a assegurar la velocitat. Per a obtenir la velocitat tangencial màxima del disc final, amb la mateixa velocitat de gir nominal i radi 100mm, obtenim uns 38 m/s.

Per a disminuir els efectes de deformació per fatiga del disc de coure, la seva unió amb l'eix serà obtinguda mitjançant una peça entremig, la qual estarà unida a l'eix mitjançant xaveta i al disc de coure mitjançant una unió cargolada amb volandera. D'aquesta manera també es compleix el requeriment de la fàcil substitució del disc de coure per a un possible recanvi.

B.1.2 Disseny de les característiques del motor

Les característiques clau per a la tria de un motor adequat seran el parell d'accionament i la potència.

El moment d'accionament ve determinat per la Segona Llei de Newton del moviment angular,

$$\tau = I * \alpha \quad (\text{Eq. 7.1.2-1})$$

On I és el moment d'inèrcia del conjunt disc i dispositiu de posicionament en Nm², i α és l'acceleració angular del motor, en rad*s⁻¹.

Per a calcular el moment d'inèrcia total, es considerarà que ambdues peces son prismes rectangulars, pels quals el moment d'inèrcia es calcula com a

$$I = 0,5 * m * r^2 \quad (\text{Eq. 7.1.2-2})$$

On m és la massa del prisma en Kg i r és el radi en m. El moment d'inèrcia total serà la suma dels dos moments d'inèrcia, pel que, sumant els dos valors, queda la següent expressió:

$$I_t = 0,5 * (m_{disc} * r_{disc}^2 + m_{pos} * r_{pos}^2) \quad (\text{Eq. 7.1.2-3})$$

On m_{disc} és la massa del disc de coure, 15 kg, r_{disc} el radi del disc, 0,110 m, m_{pos} la massa del dispositiu de posició, 3kg, i r_{pos} el radi del dispositiu de posicionament, de 0,054 m. Substituint queda un moment d'inèrcia total de **0,095124 Kgm²**.

En quant a l'acceleració angular, ve donada per la següent equació:

$$\alpha = \frac{wf - wo}{t} * \frac{2\pi}{60} \quad (\text{Eq. 7.1.2-4})$$

On wf és la velocitat angular nominal del motor, que considerem 3000 rpm, wo la velocitat inicial del motor, la qual serà 0 rpm, doncs el motor comença en estat de repòs, i t el temps en que s'assoleix la velocitat nominal, que considerarem de 7s per donar marge ampli al motor cercat. Substituint queda $\alpha = \mathbf{45 \text{ rad/s}^2}$.

Entrant els valors de I i d' α trobats a l'Eq. 7.1.2-1, obtenim un parell motor de 4,28 Nm. Donat que el sistema tindrà pèrdues per fregament, les considerarem de un 35% sobre el total del parell motor, pel que el parell motor final requerit serà de **5,8 Nm**.

Annexos - Disseny d'equipament

Per a trobar la potència requerida del motor, farem servir la següent expressió:

$$P_n = \tau * \omega_n * \frac{2\pi}{60} \quad (\text{Eq. 7.1.2-5})$$

On ω_n és la velocitat nominal del motor de 3000 rpm. Amb el valor de parell motor designat, obtenim una potència de 1850 W, a la qual hi apliquem un factor de 1'35 per vèncer les pèrdues elèctriques del motor, que les suposem de 35%, i obtenim una potència de motor de 2500 W, 2,5KW.

B.1.3 Disseny d'eix

Per al dimensionament de l'eix, es segueixen les pautes descrites en el llibre "Mechanical design" de l'editorial Elsevier, de l'autor Peter R. N. Childs (1998) juntament amb les dades de coeficients extrems de l'estàndard ANSI-ASME-B106-1-1985.

Per a calcular el diàmetre de l'eix, primerament es calcula per a suportar la càrrega estàtica. Per a aplicar la càrrega, s'ha de tenir en compte el disseny de l'equip. Com es veu en la Figura B.1.3-1, l'eix haurà de suportar la càrrega transversal provocada pel disc de coure i la peça d'unió disc-eix.

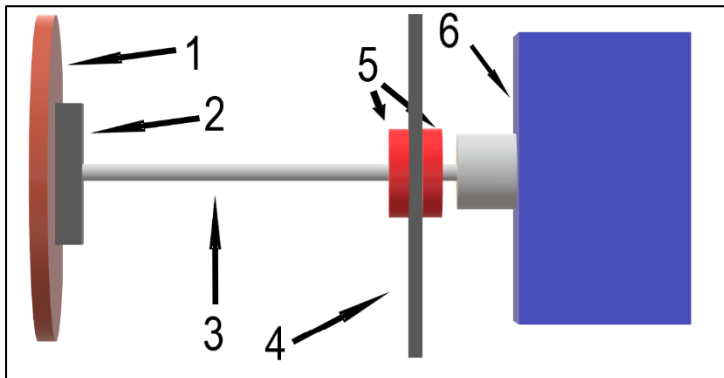


Figura B.1.3-1. Disseny equip de solidificació. (1) Disc de coure (2) Peça unió disc i eix (3) Eix transmissor de potència (4) Fons cambra de buit (5) Brides subjecció eix (6) Motor

Amb el disseny proposat, i tenint en compte que la peça d'unió serà feta amb el mateix acer que la cambra (316 o 1.4401 segons UNE-EN 10272:2016). El resultat són 18 kg de pes que ha de subjectar l'eix, a més d'aguantar el parell motor de 9,9 Nm. El moment flector creat pel pes de 18 kg és el següent:

$$M = m * g * l \quad (\text{Eq. 7.1.4-1})$$

On m és la massa de 18 Kg, g la gravetat terrestre de $9,81 \text{ ms}^{-2}$, i l la distància de subjecció de la massa, en aquest cas de 155 mm. Per tant, el moment flector resultant és de **$M=27369,9 \text{ Nmm}$** .

Per a determinar el diàmetre de l'eix per a càrrega estàtica, utilitzem l'equació de Von Misses de càlcul de tensions totals per a esforços de flexió i torsió

$$\sigma' = \frac{16*FS}{\pi D^3} \sqrt{4M^2 + 3T^2} \quad (\text{Eq. 7.1.4-2})$$

On σ' és la tensió del material, en aquest cas serà la tensió màxima admissible calculada en l'apartat 6.1 115,83 Mpa; FS és el factor de seguretat aplicat a l'eix, el qual prendrà el valor de 2; M és el moment flector de 27369,9 Nmm; T és el moment torsor de 9900 Nmm i D és el radi de l'eix. Aïllant el diàmetre i calculant, obtenim **$D=17,15 \text{ mm}$** .

Per al càlcul del diàmetre per aguantar a fatiga s'utilitza l'equació de la línia de Goodman,

$$D = \sqrt[3]{\frac{16*FS}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{S_{se}}\right)^2 + \left(\frac{T}{S_{su}}\right)^2}} \quad (\text{Eq. 7.1.4-3})$$

On Fs és el factor de seguretat de 2, M és el moment flector de 27369,9 Nmm, T és el moment torsor de 9900 Nmm, Sse l'esforç últim elàstic i Ssu el límit d'esforç últim, ambdós en MPa. Per al càlcul d'ambdós, primer definirem el concepte de tensió de ruptura σ_{uts} , essent la màxima tensió que suporta el material abans de trencar. En aquest cas prendrem com a valor de σ_{uts} el valor de $Rm_{/350^\circ C}$ per a l'acer 1.4401 segons UNE-EN 10272:2016, equivalent a 380 MPa. Així doncs, el procés de càlcul és el següent:

- Es calcula primer el valor del límit de fatiga Se' , que per a acers amb $\sigma_{uts} \leq 1400 \text{ MPa}$ és:

$$Se' = 0,504\sigma_{uts} = 0,5 * 380 \text{ MPa} = 191,5 \text{ Mpa} \quad (\text{Eq. 7.1.4-4})$$

- Es calculen els factors de Marin, que modifiquen el valor de Se' de la següent manera:

$$Se = k_a k_b k_c k_d k_e Se' \quad (\text{Eq. 7.1.4-5})$$

D'on k_a és el factor el factor de superfície, calculat amb l'eq. 7.1.4-6 prenent els valors dels coeficients per a una superfície mecanitzada (doncs suposarem que l'eix ha estat mecanitzat) $a=4,51$ i $b=-0,265$

$$k_a = a * \sigma_{uts}^b = 0,934 \quad (\text{Eq. 7.1.4-6})$$

Annexos - Disseny d'equipament

k_b representa el coeficient de mida, el qual es calcula amb el valor de D trobat per a càrrega estàtica $D=17\text{mm}$

$$k_b = \left(\frac{D}{7,62}\right)^{-0,1133} = 0,913 \quad (\text{Eq. 7.1.4-7})$$

k_c és el factor de confiança, el qual depèn del percentatge de confiança escollit. Per a aquest disseny es tria una confiança del 90%, per tant $k_c=0,897$. k_e és el factor de càrrega, el qual s'indica com a $k_e=1$ per al nostre cas amb la deguda modificació final de S_e com a

$$S_{se} = 0,577 * S_e \quad (\text{Eq. 7.1.4-8})$$

k_d és el factor de temperatura, que per a acers sotmesos a temperatures majors a 240°C , l'estàndard ANSI-ASME-B106-1-1985 indica $k_d=0,944$. Finalment, aplicant els factors de Marin a S_e' , obtenim,

$$S_e = 0,934 * 0,913 * 0,897 * 1 * 0,944 * 191,5\text{MPa} = 138,28\text{MPa} \quad (\text{Eq. 7.1.4-5})$$

$$S_{se} = 0,577 * 138,28 = 79,79\text{MPa} \quad (\text{Eq. 7.1.4-8})$$

- S'indica que per a acers, S_{su} equival al 67% de σ_{uts} , pel que

$$S_{su} = 0,67 * 380\text{MPa} = 254,6\text{MPa} \quad (\text{Eq. 7.1.4-9})$$

- Finalment s'introdueixen tots els valors trobats en l'Eq. 7.1.4-3 i s'obté **$D=15,2\text{mm}$**

Donat que es troben dos diàmetres diferents, s'escull el més gran, **$D=18\text{mm}$** .

B.1.4 Disseny xaveta

La unió eix-peça unió disc/eix es fa mitjançant xaveta. Per al càlcul de la xaveta es segueixen les pautes indicades en el llibre "Diseño de máquinas" de l'editorial Prentice Hall, de l'autor Robert L. Norton (1999).

Segons Norton (1999), als diàmetres d'eix menors a 6,5 polzades ($\sim 165\text{mm}$) s'aconsellen xavetes paral·leles de secció quadrada. A més, es considera que les xavetes han de tenir una longitud mínima 1,5 vegades superior al diàmetre de l'eix, en el cas d'aquest disseny la longitud mínima és de 27mm . Segons la norma DIN 6885 per a diàmetres d'eix entre 17 i 22 mm, es correspon una xaveta d'amplada i altura de $6 \times 6\text{mm}$. S'escull una llargada de 28mm . El material de la xaveta s'escull que sigui el mateix que per als components sotmesos a pressió de la cambra de buit, acer ANSI 316 o 1.4404. Segons Norton (1999), les xavetes estan sotmeses a dos esforços, un de tallant i un de recolzament. L'esforç tallant es calcula,

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{tall}} \quad (\text{Eq. 7.1.5-1})$$

On F és la força aplicada a la xaveta, la qual es dictamina com el quocient del par torçor amb el radi de l'eix, i Atall l'àrea de tall que s'està cisellant. En aquest cas l'àrea de tall és el producte de l'amplada per la longitud de la xaveta. Per tant l'esforç tallant queda,

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{tall}} = \frac{\frac{T}{r}}{b \cdot l} = \frac{9900 \text{ Nmm}}{9 \cdot 6 \cdot 28 \text{ mm}^3} = 6,55 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 7.1.5-1})$$

L'esforç de recolzament es dictamina com a la força aplicada respecte l'àrea de contacte amb l'eix, la qual serà la meitat de l'altura per la longitud de la xaveta,

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{tall}} = \frac{\frac{T}{r}}{0,5 \cdot h \cdot l} = \frac{9900 \text{ Nmm}}{9 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 28 \text{ mm}^3} = 13,1 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 7.1.5-2})$$

Per entendre els valors obtinguts, els comparem amb el valor de la tensió màxima de disseny per a l'acer ANSI 316, la qual s'ha calculat en l'apartat 6.2, fd=115,83. Comparant els valors obtinguts, s'hi aprecia un factor de seguretat gran.

B.1.5 Comprovació factor de seguretat en secció xaveter

Donat que els xaveters representen una zona de concentració de tensions important en eixos, s'ha de revisar el factor de seguretat que es disposa en la secció del xaveter. Per a fer-ho, s'ha de modificar l'equació 7.1.4-3 afegint els factors de concentració de tensió per a flexió (Kt) i per a torsió (Kts) adequats segons la Figura B.1.5-1.

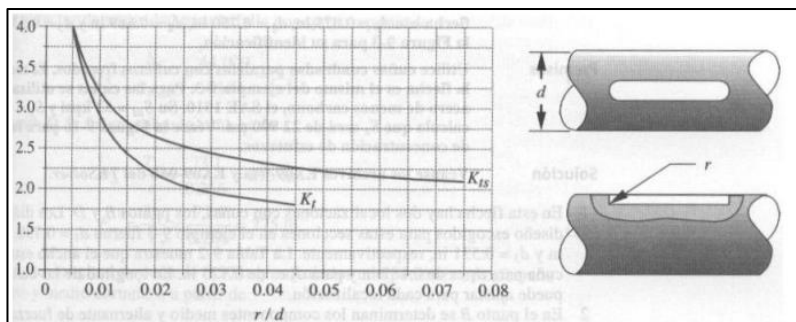


Figura B.1.5-1. Factors de concentració per a xaveters fresats en l'extrem, a flexió (Kt) i a torsió (Kts). L. NORTON, ROBERT, Diseño de Màquines. Prentice Hall, 1999. Editorial Civitas. Madrid. 1994

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot FS}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t \cdot M}{S_{se}}\right)^2 + \left(\frac{K_{ts} \cdot T}{S_{su}}\right)^2}} \quad (\text{Eq. 7.1.5-3})$$

El quocient d'entrada a la Figura B.1.5-1 és r/d, essent r el radi del xaveter i d el diàmetre de l'eix. La normativa DIN 6885 dictamina un radi de xaveter màxim de 0,25 mm, pel que la relació r/d màxima és de 0,138. Entrant a la Figura B.1.5-1 amb aquesta dada, obtenim \$K_t=2,5\$ i \$K_{ts}=2,9\$. Fent servir l'equació 7.1.5-3 i aïllant FS, prenent 18mm com a valor de D, trobem un factor de seguretat

d'1,3. D'aquí s'extreuen dues possibilitats, augmentar el radi de l'eix o establir 1,3 el factor de seguretat en la secció més perjudicial. En aquest disseny s'opta per augmentar el diàmetre de l'eix fins a 20mm, fet que suposaria tenir un factor de seguretat pròxim a 2.

Per tant, el diàmetre de l'eix final serà D=20mm.

Així doncs, la longitud de la xaveta mínima serà de 30 mm, pel que s'escollirà 32 mm de longitud.

B.1.6 Elecció coixinets

Els coixinets aniran dins les brides de subjecció de l'eix, pel que es dissenyen per aguantar el pes del disc de coure i la unió disc-eix. Del disseny d'ambdós en resulta un pes de 18 Kg, pel que la força radial a aguantar pels rodaments serà de 180 N. A més, els rodaments han de poder suportar les condicions de treball de la cambra de buit, i estar protegits de cara a la brutícia que sigui creada durant el procés (tal com les partícules de mostra fosa que surtin disparades en la seva direcció). També és suggeriment que els coixinets siguin d'acer inoxidable, per tal d'aguantar les condicions d'atmosfera dins la cambra de buit.

En el llibre "Diseño de máquinas" de l'editorial Prentice Hall, de l'autor Robert L. Norton (1999), es mostra la taula per al càlcul de la càrrega equivalent P la marca SKF. Per a trobar P, s'aplica la fórmula,

$$P = XVFr + YFa \quad (\text{Eq. B.1.6-1})$$

On X, Y i V són factors a determinar en la taula i que depenen del tipus de coixinet a fer servir Fr és la càrrega radial del coixinet i Fa la càrrega axial. Donat el disseny d'aquest projecte, els coixinets no presenten càrrega axial.

Per a coixinets d'una sola fila de rodes i sense càrrega axial, es pot considerar X=1, V=1 i Y=0. Així doncs, P=Fr= 180 kN.

Així doncs, amb els requeriments presentats s'escull el coixinet de la marca SKF, model W 61804-2Z. Aquest model té la característica de suportar 2080N de càrrega estàtica. També es té en compte la càrrega dinàmica, amb la que es pot determinar la vida del coixinet amb la fórmula,

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (\text{Eq. B.1.6-2})$$

On C és el factor de classificació de càrrega dinàmica i P la càrrega que aguanta el coixinet. Aplicant $P=180\text{N}$ i $C=3120\text{ N}$ (valor extret de la fitxa tècnica, veure annex D), s'obté una vida de 5207 revolucions.

En quant a la posició d'aquests coixinets, es col·locaran dins les brides de subjecció de l'eix. Per a complir amb les mides per a la retenció dels coixinets donades pel fabricant, es crea una tapa de rodaments, la qual es collarà a la brida de subjecció de l'eix.

B.1.7 Estanqueïtat de l'eix

Donat que l'eix es troba en moviment i està connectat amb l'exterior, es requereix d'una junta dinàmica capaç de donar estanqueïtat a les pressions de treball. Per això es decideix optar per les juntes PS-SEAL® Special, de la marca GARLOCK (Figura B.1.7-1). S'escull la modalitat de doble llavi per presentar millor rendiment davant la pressió.

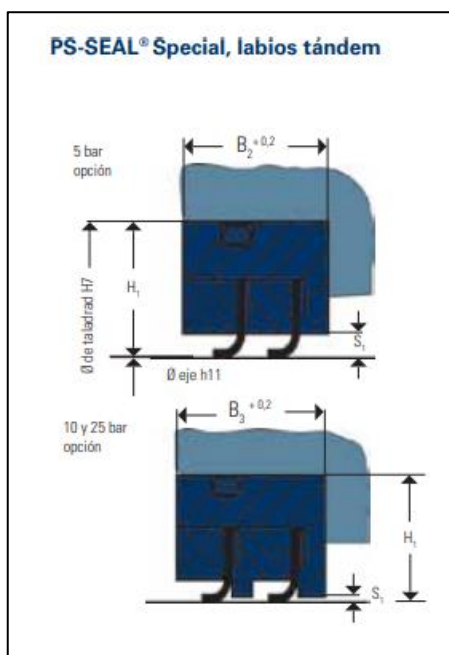


Figura B.1.7-1. Mesures de la junta PS-SEAL Special de doble llavi. GARLOCK. PS-SEAL® Cierre labial de PTFE de alto rendimiento Neuss, Alemania. 2021

Donat que aquest present projecte pretén presentar un prototip, aquesta junta no és definitiva. A ser possible, la junta hauria de tenir les parts metàl·liques fetes d'acer inoxidable ANSI 316, i la goma feta de material perfluoroelastòmer, ja que son els materials dictaminats en apartats anteriors, els quals han estat escollits amb els deguts càlculs i consideracions. És també important el fet que, donada la complexitat del present disseny, no hi ha moltes més opcions en el mercat en quant a juntes dinàmiques, pel que aquest pot ser un punt crucial en la viabilitat del prototip.

B.2 Equip de posicionament i sobrepressió

B.2.1 Disseny proposat

En la Figura B.2.1-1 es mostra l'esquema del sistema de posicionament proposat.

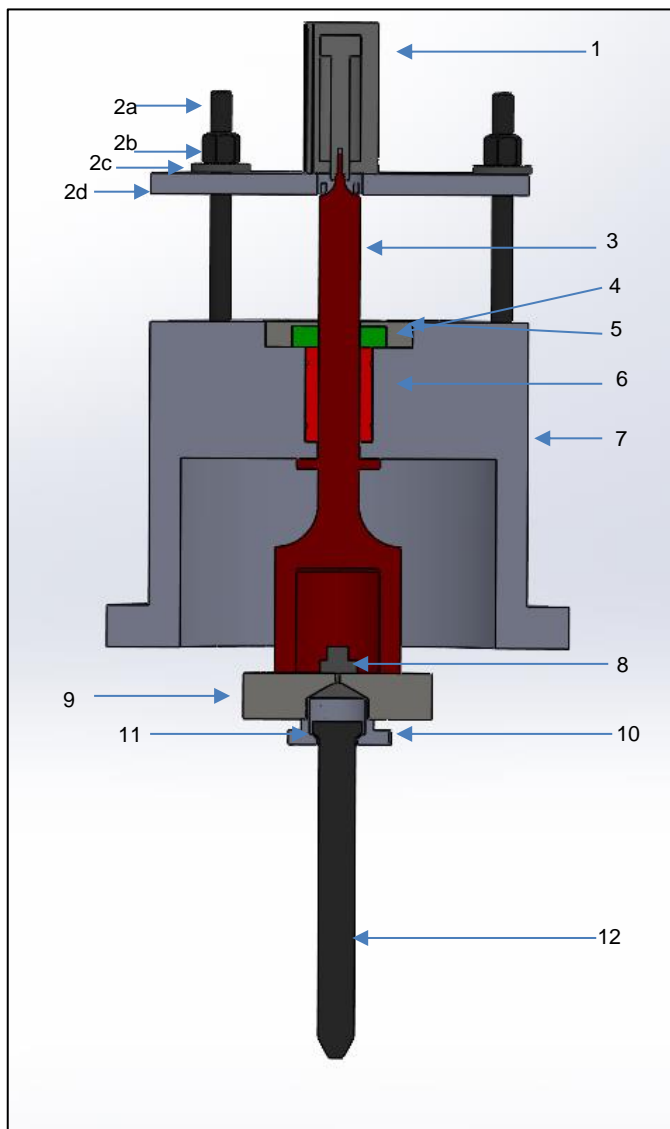


Figura B.2.1-1. Model equip de posicionament. (1) Cilindre pneumàtic de doble efecte (2) Sistema de subjecció del cilindre format de (2a) Espàrrec de subjecció (2b) Femella (2c) Volandera i (2d) Disc centrador del cilindre (3) Eix central (4) Junta dinàmica de l'eix (5) Tapa junta de l'eix (6) Coixinet lineal (7) Tapa cambra de buit (8) Ràcord (9) Femella porta provetes (10) Mascle porta provetes (11) Junta del gresol porta mostres (12) Gresol porta mostres

La peça principal d'aquest disseny és el cilindre pneumàtic (1), el qual genera el moviment lineal que mou l'eix central (3) al qual està connectat mitjançant una unió roscada al seu èmbol. El disc en la seva part inferior està connectat mitjançant una unió cargolada amb la femella porta

provetes (9), i aquest porta roscat el mascle porta provetes (10), el qual troba en el seu interior el gresol porta mostres (12). Per a assegurar l'estanqueïtat del sistema, es disposa d'una junta dinàmica (4) GARLOCK P-Seal com la que es troba en les brides de l'eix de l'equip de solidificació. La junta contacta també amb el rodament lineal (6), que assegura el moviment lineal de l'eix i la col·locació del mateix dins la tapa de la cambra de buit (7), i tots dos components són dins una obertura de la tapa, la qual s'aïlla de l'exterior amb la tapa (5). A més, el gresol porta mostres (12) presenta una junta cònica de material FFKM (11) en la seva unió amb el mascle porta mostres (10), la qual veu reforçat el seu treball amb l'aplicació de la sobrepressió. L'eix (3) presenta un canvi de diàmetre en la seva part inferior, just abans de la seva connexió amb la femella porta provetes (9) per a permetre la connexió del ràcord (8), el qual anirà unit a un tub i servirà per a fer la sobrepressió dins el gresol porta mostres un cop la mostra és fosa. El cilindre pneumàtic (1) està centrat gràcies al sistema de subjecció (2), el qual compleix les funcions d'unir el cilindre a la tapa de la cambra de buit i de centrar l'èmbol del cilindre perpendicularment a la tapa de la cambra de buit.

L'elecció del cilindre ve condicionada per dos aspectes: la seva cursa i la força necessària de sortida i entrada del seu èmbol. Gràcies al programa SolidWorks 3d 2022, un cop modelades les peces de l'equip i assignades els seus corresponents materials (acer 1.4401 per a les peces de disseny propi i els corresponents materials per a les peces de tercers) es pot determinar una massa de la part de l'equip connectat a l'èmbol del cilindre de 2,22 Kg, més la força creada per la sobrepressió d'1 bar sobre el gresol porta mostres calculada,

$$F = P * A \quad (\text{Eq. 7.4.2-1})$$

On P és la sobrepressió aplicada de 0,1 MPa i A l'àrea d'aplicació de la pressió en mm², la qual es calcula

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (\text{Eq. 7.4.2-2})$$

On d és el diàmetre exterior del mascle porta provetes, doncs és el diàmetre major d'aplicació de la pressió, de 27 mm. Calculant l'àrea i introduint el valor en la Eq. 7.4.2-1, obtenim una força de 57,25 N, més els 2,22 kg de pes de l'equip suma un total de 79 N. Per a marge de seguretat s'augmenta el valor en un 20%, pel que la força a vèncer mínima pel cilindre pneumàtic és de 94 N.

Fent una cerca pels fabricants destacats d'actuadors cilíndrics, es decideix l'ús del cilindre de doble efecte ADN-S-20-50-I-P-A de la marca FESTO, que disposa d'una cursa de 50mm i el qual produeix una força de retorn de l'èmbol de 141N, en ser-hi aplicats 6 bar de pressió. Per a tal de

regular la velocitat de sortida i retorn de l'èmbol, s'aplica un circuit de control de velocitat pneumàtic com el de la Figura B.2.1-2, on es gràfica un model de diagrama pneumàtic amb vàlvules reguladores de caudal per a regular la velocitat, a més de permetre la para del sistema en el moment desitjat. El funcionament seria el següent: una vegada fixada la regulació del caudal desitjada en (d), es polsa (b) una vegada, permeten el pas d'aire comprimit a les vàlvules (c). Mantenint polsada la vàlvula (c) esquerra l'èmbol surt i, un cop en la posició desitjada, es deixa de prémer, pel que la vàlvula deixa de passar aire comprimit i el cilindre queda clavat en la posició. Pel seu retorn, es manté polsada la vàlvula (c) dreta.

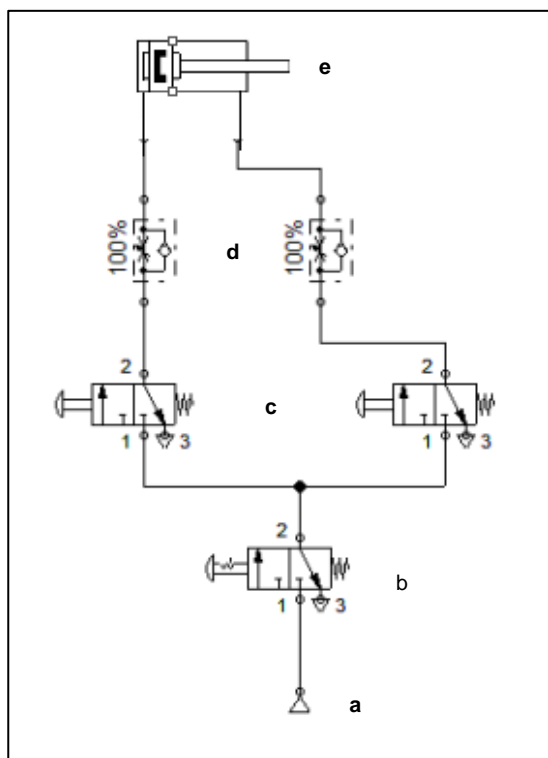


Figura B.2.1-2. Diagrama pneumàtic del control del cilindre. (a) Connexió aire comprimit (b) Vàlvula 3T NT amb accionament per polsador clavat i retorn amb molla (c) vàlvules 3T NT amb accionament per polsador i retorn per molla (d) Vàlvules reguladores del caudal (e) Cilindre pneumàtic de doble efecte

Un altre dels elements a escollir és el rodament lineal, el qual es requisa que les seves parts estiguin fetes d'acer inoxidable (a poder ser d'acer 1.4401), i s'escull el coixinet 21505-01_AG de l'empresa Norelem, els quals estan fets d'acer inoxidable.

B.2.2 Procés de posicionament del gresol respecte el disc de coure

Per a tal de controlar la posició del gresol i obtenir el gruix de cinta desitjat, es recomana l'ús d'una sistema de referència personalitzat. Una manera de fer-ho seria mitjançant la marcació de

l'eix amb una referència (marca amb retolador permanent, per exemple) i l'emplaçament d'un regle amb els valors desitjats de gruixos. Llavors es regula la velocitat de sortida de l'èmbol de manera que permeti el control òptim de la posició de la marca de referència envers el regle.

ANNEX C PROCÉS DE FUNCIONAMENT DE L'EQUIP

Els passos a seguir per a la creació de cintes amb l'equip dissenyat són els següents:

- Preparar la cambra:
 - Assegurar-se mitjançant el manòmetre de la cambra que l'equip es troba a pressió ambiental. Si no es així, obrir la vàlvula de ventilació fins a assolir-la.
 - Si no hi és, col·locar el gresol amb la mostra dins el sistema de posicionament, dins el mascle porta provetes amb la junta corresponent.
 - Accionar el cilindre del sistema de posicionament de tal manera que quedi a la posició de referència desitjada. Una manera de tenir controlada la posició de referència seria l'ús de peçes amb el gruix desitjat i amb el cilindre baixar el gresol fins a tocar.
 - Tancar totes la porta de la cambra de buit i la del tub de recolliment
- Aplicar buit primari (10^{-3} bar)
 - Tancar la vàlvula de ventilació.
 - Obrir la vàlvula de papallona de l'equip de buit.
 - Encendre la bomba rotatòria DS 40M.
 - Controlar amb el manòmetre la pressió a l'interior de la cambra de buit fins arribar a $\sim 10^{-3}$ bar.
- Aplicar buit secundari (10^{-10} bar)
 - Encendre la unitat de control de la bomba turbo molecular TwisTorr 74 FS. Si la bomba està programada amb la modalitat "Soft Start", la bomba podria trigar a arrancar a plena potència fins a 22 min, pel que, si està en tal mode, esperar 10 min per fer el següent pas, o fins a veure el llum ver a la unitat de control.
 - Controlar amb el manòmetre la pressió de la cambra fins a arribar al buit desitjat (la bomba turbo molecular pot arribar fins els 10^{-10} , però en condicions de 10^{-5} bar es considera un buit prou elevat, pel que queda a disposició de l'elecció del personal a càrrec de l'experiment).
 - Tancar la vàlvula de papallona connectada a l'equip de buit.
 - Apagar la bomba rotativa DS 40M

- Enviar la senyal "STOP" a la bomba turbo molecular amb la unitat de control de la mateixa.
- Obrir el port de ventilació de la bomba TwisTorr 74 FS lentament fins que el manòmetre de la bomba mostri pressió ambiental
- Encendre el motor de l'equip de solidificació amb el botó "ON/OFF". Ajustar la freqüència per a obtenir la velocitat de 40 m/s.
- Obrir la vàlvula d'agulla connectada a la tapa del sistema de posicionament, concretament, la que es troba en el cos del cilindre de la tapa, per introduir Argó dins la cambra, controlant la pressió amb el corresponent equip.
- Controlar la pressió d'injecció desitjada amb el degut equipament.
- Encendre l'equip d'inducció polsant el botó degut del generador de l'equip EQ-SPG-6A-I. Regular a la freqüència desitjada i controlar la temperatura d'inducció amb el pedal de l'equip (els aliatges Fe-Ni fonen a temperatures de 1600°C, pel que una temperatura de 1700°C d'inducció fondrà la mostra ràpidament).
- Obrir la vàlvula d'agulla connectada a la canonada superior de la tapa del sistema de posicionament per a injectar la mostra fosa sobre el disc de coure.
- Para de l'equip:
 - Apagar el motor amb el botó "ON/OFF".
 - Obrir la vàlvula de ventilació.
- Un cop a pressió atmosfèrica, obrir la porta del tub de recolliment per a recollir les cintes i la de la cambra de buit per a fer les tasques de manteniment pertinents.

ANNEX D FITXES TÈCNIQUES

D.1 Fitxes tècniques equip de solidificació

D.1.1 Fitxa tècnica motor IE3-MS100L1

DATOS ELECTRICOS

MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Rotor en jaula de ardilla.

Ventilación exterior IC 411, servicio continuo S1.

Aislamiento clase 155 (F), grado de protección IP 55.

Motores de aluminio serie **IE3-MS**

Motores de Fundición serie **IE3-EG**

Velocidad sincrónica 3000 rpm - 2 polos

400 V, 50 Hz

TIPO	Potencia		N _e N/m	n rpm	Eficiencia clase IE3 EN 60034-2-1			I _a 400 V A	U _s	Cosφ	M _v /M _e	M _v /M _s	J Kg·m ²	Nivel sonoro dB(A)	m Kg
	kW	CV			100%	75%	50%								
• IE3 - MS 71 3 -	0,75	1	2,50	2850	80,7	81,0	79,5	1,66	8	0,82	2,2	2,0		67	
IE3 - MS 80 1 -	0,75	1	2,50	2850	80,7	81,0	79,5	1,62	8	0,83	2,2	2,0	0,000972	67	1,4
IE3 - MS 80 2 -	1,1	1,5	3,65	2860	82,7	83,0	83,3	2,35	8	0,83	2,2	2,0	0,001275	67	13,3
IE3 - MS 90 S -	1,5	2	4,98	2860	84,2	84,4	84,2	3,11	8	0,83	2,2	2,2	0,002186	72	15,8
IE3 - MS 90 L1 -	2,2	3	7,31	2860	85,9	86,1	85,1	4,38	8,5	0,85	2,2	2,2	0,002636	72	16,7
IE3 - MS 90 L2 -	3	4	10,07	2830	83,0	83,6	86,9	5,8	6	0,86	2,2	2,2		76	
IE3 - MS 100 L1 -	3	4	9,90	2880	87,1	87,3	86,9	5,8	8,5	0,86	2,2	2,2	0,004842	76	25,9
IE3 - MS 112 M -	4	5,5	13,19	2880	88,1	88,3	87,2	7,65	8,5	0,86	2,2	2,2	0,007505	77	34,4
IE3 - MS 132 S1 -	5,5	7,5	18,08	2890	89,2	89,4	88,1	10,1	8,5	0,88	2,2	2,2	0,015212	80	48
IE3 - MS 132 S2 -	7,5	10	24,48	2910	90,1	90,3	90,7	13,7	8,5	0,88	2,2	2,2	0,018996	80	61,3
IE3 - MS 160 M1 -	11	15	35,67	2930	91,2	91,4	89,5	19,4	8,5	0,90	2,2	2,2	0,059613	86	89,5
IE3 - MS 160 M2 -	15	20	48,47	2940	91,9	92,2	90,2	26,3	8,5	0,90	2,2	2,2	0,076751	86	90,2
IE3 - MS 160 L -	18,5	25	59,78	2940	92,4	92,6	90,8	31,9	8,5	0,91	2,2	2,2	0,092252	86	90,8
IE3 - EG 160 M1 -	11	15	35,73	2940	91,2	91,1	89,6	19,6	7,7	0,89	2,2	2,3	0,0437	79	145
IE3 - EG 160 M2 -	15	20	48,72	2940	91,9	91,8	90,4	26,5	7,8	0,89	2,2	2,3	0,0554	79	160
IE3 - EG 160 L -	18,5	25	60,09	2940	92,4	92,3	91,0	32,5	7,8	0,89	2	2,3	0,0638	79	175
IE3 - EG 180 M -	22	30	71,22	2950	92,7	92,6	91,3	38,5	7,3	0,89	2	2,3	0,0922	80	215
IE3 - EG 200 L1 -	30	40	96,79	2960	93,3	93,2	92,0	52,1	7,4	0,89	2	2,3	0,1571	82	290
IE3 - EG 200 L2 -	37	50	119,4	2960	93,7	93,6	92,5	64,0	7,4	0,89	2	2,3	0,1691	82	310
IE3 - EG 225 M -	45	60	144,7	2970	94,0	93,9	92,9	77,6	7,4	0,89	2	2,3	0,3161	84	390
IE3 - EG 250 M -	55	75	176,9	2970	94,3	94,2	93,3	94,6	6,9	0,89	2,2	2,3	0,3595	80	520
IE3 - EG 280 S -	75	100	240,4	2980	94,7	94,6	93,7	128	6,9	0,89	2	2,3	0,6682	81	680
IE3 - EG 280 M -	90	125	288,4	2980	95,0	94,9	94,0	154	7	0,89	2	2,2	0,7770	81	725
IE3 - EG 315 S -	110	150	352,5	2980	95,2	95,1	94,2	185	7	0,90	2	2,2	1,4572	84	940
IE3 - EG 315 M -	132	180	423,0	2980	95,4	95,3	94,4	222	7,1	0,90	2	2,2	1,6059	84	1050
IE3 - EG 315 L1 -	160	220	512,8	2980	95,6	95,5	95,0	265	7,1	0,91	2	2,2	2,0817	84	1130
IE3 - EG 315 L2 -	200	270	640,9	2980	95,8	95,7	95,0	331	7,1	0,91	2	2,2	2,3791	84	1195
IE3 - EG 355 M -	250	340	801,2	2980	95,8	95,7	95,0	414	7,1	0,91	2	2,2	4,3834	85	consultar
IE3 - EG 355 L1 -	315	430	1.009	2980	95,8	95,7	95,0	522	7	0,91	1,7	2,2	4,7205	85	consultar
IE3 - EG 355 L2 -	355	470	1.138	2980	95,8	95,7	95,0	588		0,91			6,7758	85	consultar

* Los datos eléctricos no son vinculantes a las series, para más exactitud consultar. Datos serie MSE y serie EGQ.

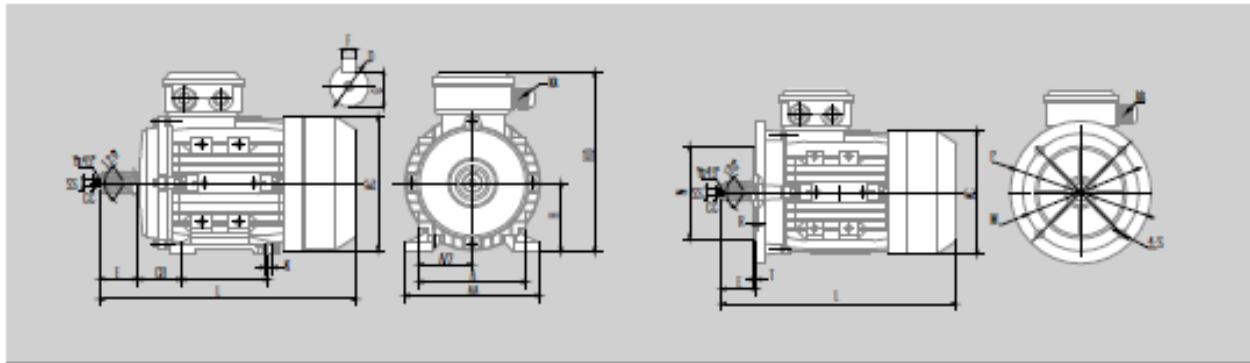
** Modelos en Fundición disponibles desde tamaño 80 hasta 132 (algunas de las potencias y formas mediante pedido especial).

• Carcasa reducida.

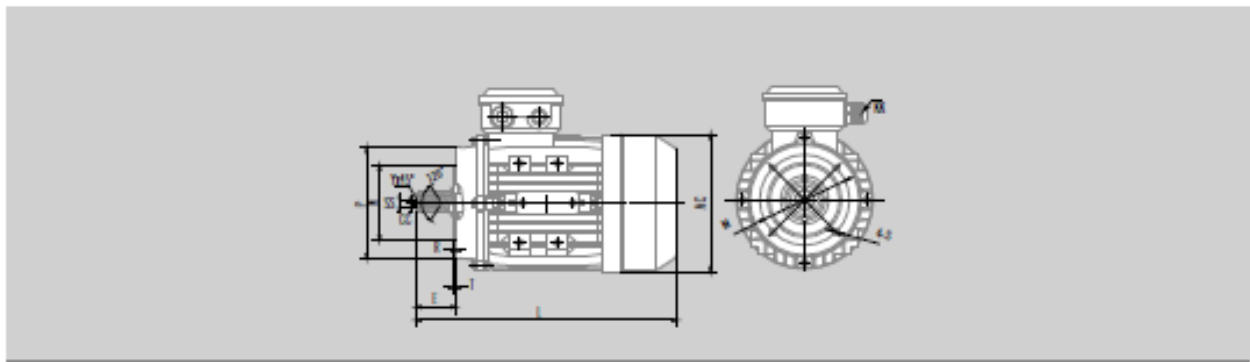
DIMENSIONES

MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Motores de aluminio serie IE3-MS
Formas constructivas B3 - B5 - B5R - B14 - B14G



IM B3 / IM 1001											EXTREMO DE EJE Tolerancia j6					IM B5 / IM 3001 4 Agujeros a 45°				
Tamaño	A	AA	AC	B	C	H	HD	K	KK	L	D	SS	E	F	G	M	N	P	S	T
80	125	155	158	100	50	80	210	10	1-M20x1,5	295	19	M6	40	6	15,5	165	130	200	12	3,5
90S	140	180	179	100	56	90	228	10	1-M20x1,5	320	24	M8	50	8	20	165	130	200	12	3,5
90L	140	180	179	125	56	90	228	10	1-M20x1,5	345	24	M8	50	8	20	165	130	200	12	3,5
100	160	200	202	140	63	100	260	12	1-M20x1,5	385	28	M10	60	8	24	215	180	250	15	4,0
112	190	233	225	140	70	112	285	12	2-M25x1,5	410	28	M10	60	8	24	215	180	250	15	4,0
132S	216	255	260	140	89	132	325	12	2-M25x1,5	470	38	M12	80	10	33	265	230	300	15	4,0
132M	216	255	260	178	89	132	325	12	2-M25x1,5	510	38	M12	80	10	33	265	230	300	15	4,0



IM B5R 4 Agujeros a 45°						IM B14 / IM 3601 4 agujeros a 45°						IM B14G / IM 3601 G 4 agujeros a 45°					
Tamaño	M	N	P	S	T	Tamaño	M	N	P	S	T	Tamaño	M	N	P	S	T
80	130	110	160	12	3,5	80	100	80	120	M6	3,0	80	130	110	160	M8	3,5
90	130	110	160	12	3,5	90	115	95	140	M8	3,0	90	130	110	160	M8	3,5
100	165	130	200	15	3,5	100	130	110	160	M8	3,5	100	165	130	200	M10	3,5
112	165	130	200	15	3,5	112	130	110	160	M8	3,5	112	165	130	200	M10	3,5
132	215	180	250	15	4,0	132	165	130	200	M10	4,0	132	215	180	250	M12	4,0

* Las dimensiones no son vinculantes a las series, para más información consultar. Dimensiones serie MSE.

D.1.2 Fitxa tècnica variador de freqüència CIMR-AC4A0007FAA

A.3 Three-Phase 400 V Class Drives

Table A.3 Power Ratings (Three-Phase 400 V Class)

Item		Specification														
CIMR-A□4A		0002	0004	0005	0007	0008	0011	0018	0023	0031	0038	0044	0068	0072	0088	0103
Maximum Applicable Motor Capacity (kW) <1>	HD Rating	0.55	1.1	1.5	2.2	3	4.0	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45
	ND Rating	0.75	1.5	2.2	3	4.0	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55
Input Current (A) <2>	HD Rating	1.8	3.2	4.4	6	8.2	10.4	15	20	29	39	44	43	58	71	86
	ND Rating	2.1	4.3	5.9	8.1	9.4	14	20	24	38	44	52	58	71	86	105
Input	Rated Voltage Rated Frequency	Three-phase 380 to 480 Vac 50/60 Hz/510 to 680 Vdc <3>														
	Allowable Voltage Fluctuation	-15 to 10%														
	Allowable Frequency Fluctuation	±5%														
	Input Power (kVA)	HD Rating	1.6	2.9	4.0	5.5	7.5	10	13.7	18.3	27	36	40	39	53	65
	ND Rating	1.9	3.9	5.4	7.4	8.6	12.8	18.3	22	35	40	48	53	65	79	96
Rated Output Capacity (kVA) <4>	HD Rating <5>	1.4	2.6	3.7	4.2	5.5	7	11.3	13.7	18.3	24	30	34	46	57	69
	ND Rating <5>	1.6	3.1	4.1	5.3	6.7	8.5	13.3	17.5	24	29	34	44	55	67	78
Rated Output Current (A)	HD Rating	1.8	3.4	4.8	5.5	7.2	9.2	14.8	18	24	31	39	45	60	75	91
	ND Rating <5>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>	<6>
Output	Overload Tolerance	HD Rating: 150% of rated output current for 60 s (Derating may be required for applications that start and stop frequently) ND Rating: 120% of rated output current for 60 s														
	Carrier Frequency	User adjustable between 2 and 15 kHz														
	Maximum Output Voltage (V)	Three-phase 380 to 480 Vac (proportional to input voltage)														
	Maximum Output Frequency (Hz)	400 Hz (user-adjustable)														

Item		Specification											
CIMR-A□4A		0138	0186	0208	0260	0298	0382	0414	0616	0876	830	1200	
Maximum Applicable Motor Capacity (kW) <1>	HD Rating	55	75	90	110	132	160	185	220	315	450	560	
	ND Rating	75	90	110	132	160	185	220	250	355	500	630	
Input Current (A) <2>	HD Rating	105	142	170	207	248	300	346	410	584	830	1031	
	ND Rating	142	170	207	248	300	346	410	465	657	922	1158	
Input	Rated Voltage Rated Frequency	Three-phase 380 to 480 Vac 50/60 Hz/510 to 680 Vdc <3>											
	Allowable Voltage Fluctuation	-15 to 10%											
	Allowable Frequency Fluctuation	±5%											
	Input Power (kVA)	HD Rating	96	130	155	189	227	274	316	375	534	759	943
	ND Rating	130	155	189	227	274	316	375	425	601	843	1059	
Rated Output Capacity (kVA) <4>	HD Rating	85	114	137	165	198	232	282	343	461	617	831	
	ND Rating <5>	106	126	159	191	226	276	316	392	514	709	915	
Rated Output Current (A)	HD Rating	112	150	180	216	260	304	370	450	605	810	1090	
	ND Rating <5>	<7>	<7>	<7>	<7>	<7>	<7>	<7>	<8>	<8>	<8>	<8>	
Output	Overload Tolerance	HD Rating: 150% of rated output current for 60 s (Derating may be required for applications that start and stop frequently) ND Rating: 120% of rated output current for 60 s											
	Carrier Frequency	User adjustable between 2 to 10 kHz						User adjustable between 2 to 5 kHz					
	Maximum Output Voltage (V)	Three-phase 380 to 480 Vac (proportional to input voltage)										<8>	
	Maximum Output Frequency (Hz)	400 Hz (user-adjustable)											

<1> The motor capacity (kW) refers to a YASKAWA 4-pole motor. The rated output current of the drive output amps should be equal to or greater than the motor rated current.

<2> Assumes operation at the rated output current. Input current rating varies depending on the power supply transformer, input reactor, wiring conditions, and power supply impedance.

<3> DC is not available for UL standards.

<4> Rated motor capacity is calculated with a rated output voltage of 440 V.

<5> Carrier frequency is set to 2 kHz. Current derating is required in order to raise the carrier frequency.

<6> Carrier frequency can be increased up to the 8 kHz while keeping this current rating. Higher carrier frequency settings require derating.

<7> Carrier frequency can be increased up to the 5 kHz while keeping this current rating. Higher carrier frequency settings require derating.

<8> Maximum output voltage is $0.95 \times$ [input voltage].

D.1.3 Fitxa tècnica rodaments W 61804-2Z



W 61804-2Z

- ítem popular

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

Tolerancias,

Normales (métricas), P6, P5, Normales
(en pulgadas),

Juego radial interno,

Clases C2 a C5

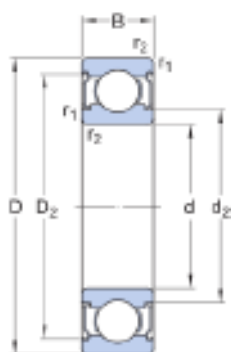
Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos

para condiciones estándares,

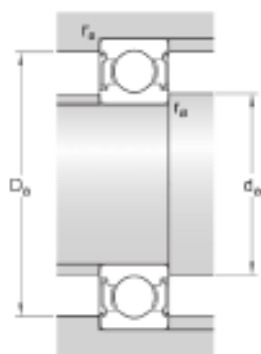
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	20 mm	Diámetro del agujero
D	32 mm	Diámetro exterior
B	7 mm	Ancho
d ₂	≈ 22.6 mm	Diámetro de rebaje
D ₂	≈ 29.52 mm	Diámetro de rebaje
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Dimensión del chaflán



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _a min.	22 mm	Diámetro del resalte del eje
d _a max.	22.5 mm	Diámetro del resalte del eje
D _i max.	30.5 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a max.	0.3 mm	Radio del eje o de acuerdo del soporte

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	3.12 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	2.08 kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.09 kN
Velocidad de referencia		48 000 r/min
Velocidad límite		24 000 r/min
Factor de carga mínima	k_f	0.02
Factor de cálculo	f_0	13.3

MASA

Masa de rodamiento	0.017 kg
--------------------	----------

CLASE DE TOLERANCIA

Tolerancias dimensionales	Normal
Desviación radial	Normal

D.2 Fitxa tècnica vidre d'observació

Visilume Standard Sightglass

(also available complete with Wiper Assembly)

Data sheet 1021

Application:

Weld-on low pressure sightglass fittings for observing the internals of tanks, pressure vessels, silos, gear-trains, separators and pipelines etc.

General:

Visilume low pressure sightglasses are similar to the DIN28-120 series and are suitable for welding into or onto vessel walls. The reduced dimensions provide a cost effective alternative for low pressure applications. Available in sizes from 50mm to 800mm viewing diameters

Operating Conditions:

Rated for pressures up to 5 bar depending on size. Temperature rating up to 900°C depending on seal and glass selection.

Standard of Construction:

Construction based on guidance of the German Standard DIN28120 and relevant parts of BS PD5500 and ASME VIII div 1 standards. Meets all requirements of the Pressure Equipment Directive 2014/68/EU.

Combinations:

Sightglass units can be combined with a range of light fittings for use in hazardous or safe areas. Also available with wiper unit.

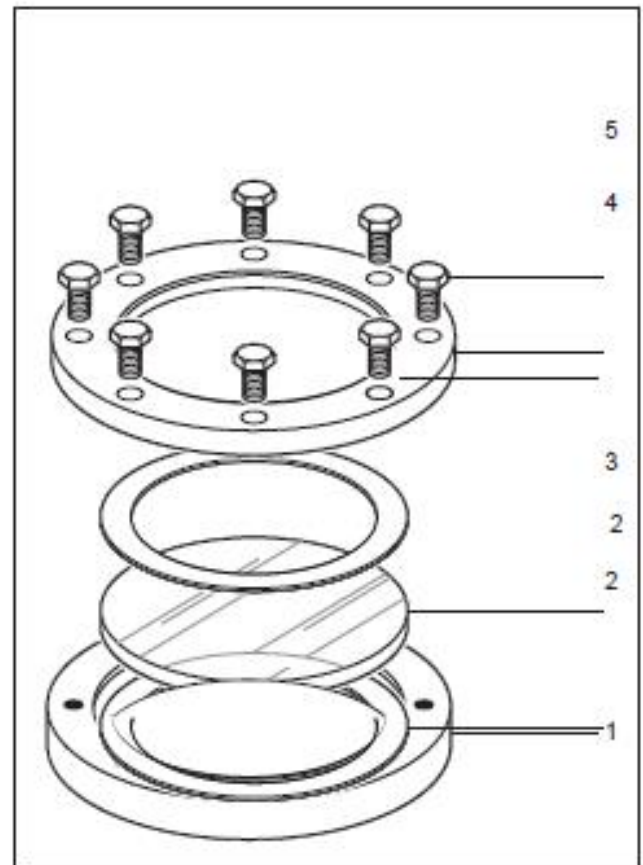
Certificate and Pressure Testing:

Material test certificates to EN10204-3.1 are issued with all flanges. Pressure testing can be provided at extra cost.

Material of components:

(referred to in adjoining exploded view)

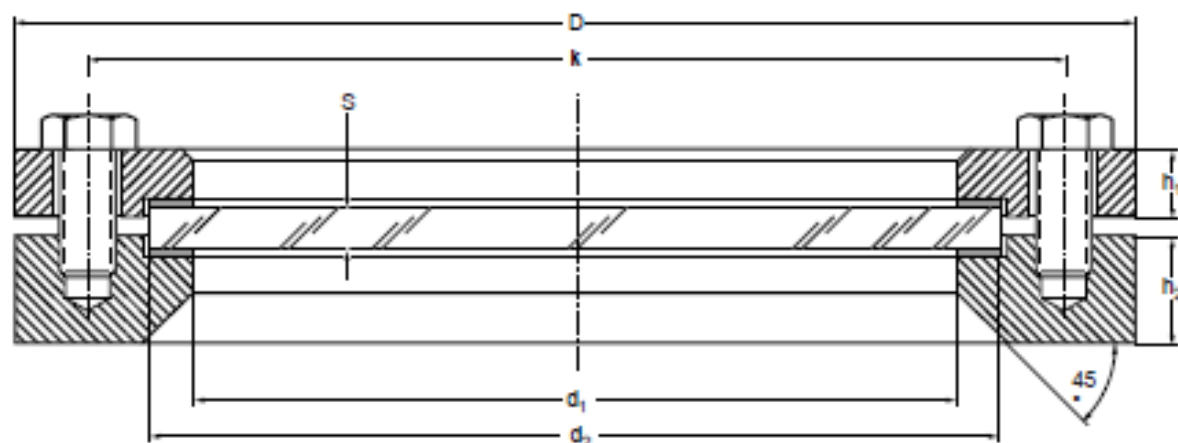
Item	Part	Material options
1	Base Flange: (welding flange)	Stainless steel 316L or 304L, carbon steel.
2	Gaskets	NAF, PTFE, Viton, food quality Silicone rubber or micaceous material for high temperature applications.
3	Sight glass disc	Toughened or Annealed Soda Lime (up to 150°C) to DIN8902 or BS3463 / Toughened Borosilicate (up to 280°C) to DIN7080 or BS3463, Quartz (up to 900°C).
4	Cover flange	Stainless steel 316L or 304L carbon steel.
5	Securing bolts	Stainless steel A2 grade or carbon steel.



Exploded view of circular sightglass unit.

Other materials are available upon request.

Dimensions for Visilume Standard Sightglass Fitting



Size		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressure rating	bar	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3
Viewing diameter	d1	50	80	100	125	150	175	200	225	250	300
Sight glass disc	d2	60	89	114	150	175	200	225	250	275	325
	S (TSL)	10	12	12	15	15	15	15	19	19	19
	S (TBS)	10	12	12	20	20	25	25	20	20	30
Flanges	D	100	150	177	202	228	254	280	304	345	405
	h1	16	16	16	16	16	16	16	19	19	19
	h2	25	25	25	25	25	25	25	30	30	30
Bolts	K	78	127	152	178	204	229	256	280	304	366
	No.	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8
	Size	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12
	Length	30	30	30	35	35/45	35/45	35/45	40/45	40/45	45/55

Visilume Standard Sightglass Fitting with Wiper - Borosilicate glass

Size		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressure rating	bar	N/A	5	5	5	5	4	2	4	1.6	1
Viewing Diameter	d1	50	80	100	125	150	175	200	225	250	300
Sight glass disc	d2	N/A	89	114	150	175	200	225	250	275	325
	S	N/A	12	12	19	19	19	15	25	20	15

Visilume Standard Sightglass Fitting with Wiper - Soda-Lime glass

Soda-Lime: [Annealed](#) / [Toughened](#)

Size		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressure rating	bar	N/A	5	3	5	4	4	2	2	0.8	0.5
Viewing Diameter	d1	50	80	100	125	150	175	200	225	250	300
Sight glass disc	d2	N/A	89	114	150	175	200	225	250	275	325
	S	N/A	12	12	15	15	15	15	15	15	15

Ordering Information

Please specify the selected items as follows:

Fittings: Viewing diameter

Material: Base (welding) flange, bolts, cover flange, glass disc, gaskets.

Installation: After welding the base flange (1) into the vessel wall, gaskets (2), sight glass disc (3) and cover flange are carefully placed in the order shown. Then the bolts (5) are progressively tightened, always working on diametrically opposed pairs of bolts each time.

All dimensions in mm unless otherwise stated.
Subject to change without notice.

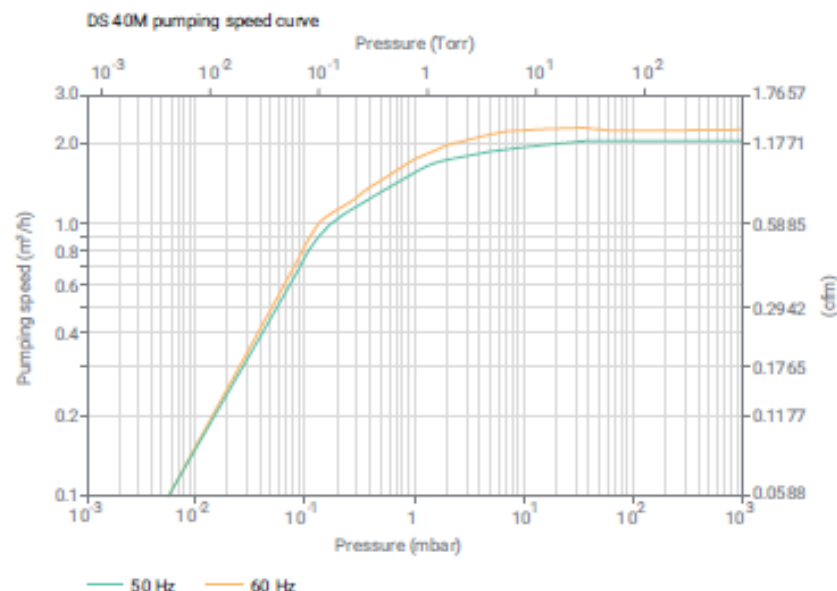
D.3 Fitxes tècniques equip de buit

D.3.1 Fitxa tècnica bomba DS 40M

Technical specifications

Free Air Displacement	60 Hz: 43 L/min (1.5 cfm)	50 Hz: 37 L/min (2.2 m ³ /h)
Pumping Speed*	60 Hz: 1.27 cfm	50 Hz: 1.8 m ³ /h
Ultimate Partial Pressure*	-	-
Ultimate Total Pressure*	6.7 × 10 ⁻² mbar	
Ultimate Total Pressure With Gas Ballast*	-	-
Noise Level	60 Hz: 46 dB(A)	50 Hz: 45 dB(A)
Oil Capacity Max	0.37 L	
Motor Rating 1 ph	60 Hz: 0.1 kW	50 Hz: 0.1 kW
Nominal Rotation Speed	60 Hz: 3,300 rpm	50 Hz: 2,600 rpm
Weight	9.3 kg (20.5 lb)	
Inlet Flange	DN 16 ISO-KF	
Exhaust Flange	DN 16 ISO-KF	

* According to PNEUROP 6602



www.agilent.com/en/product/vacuum-technologies/oil-sealed-rotary-vane-pumps/dual-stage-ds-rotary-vane-pumps/ds-40m-rotary-vane-pump

DE44337.2642476852

This information is subject to change without notice.

© Agilent Technologies, Inc. 2021
Printed in the USA, August 3, 2021
5994-3539EN

Ordering information

Dual Stage Rotary Vane Pump	Part Number
DS 40M 100 to 120 Vac - 50/60Hz	X3703-64000
DS 40M 200 to 240 Vac - 50/60Hz	X3703-64001
Oil and Accessories	Part Number
Rotary Vane Fluid, AVF 20S Type, 0.5 Liter	X3703-64006
DS 40M Oil Mist Trap 3/4 G	X3703-64003
DS 40M Oil Mist Trap Cartridge (Pkg. of 2)	X3703-64004
DS 40M Maintenance Kit	X3703-64005
DS 40M Oil Drain Extension	X3703-64007
NW 16 Centering Ring Viton	KC16AV
NW 16 Aluminum Clamp	KQ16AWP

Contact information

Americas

Agilent Technologies
121 Hartwell Avenue,
Lexington, MA 02421 USA
Toll free: +1 800 882 7426
vpl-customer-care@agilent.com

Europe, Middle East, Africa, India

Agilent Technologies Italia SpA
Via F.lli Varian 54,
10040 Leini (Torino), Italy
Tel: +39 011 9979 111
Toll free: 00 800 234 234 00
vpt-customer-care@agilent.com

China

Beijing Office Agilent Technologies
(China) Co. Ltd.
No.3, Wang Jing Bei Lu,
Chao Yang District,
Beijing, 100102, China
Toll free: 800 820 6778
Contacts.vacuum@agilent.com

For more information, please contact your Agilent representative or visit www.agilent.com/chem/vacuum where you can chat live with a vacuum expert.



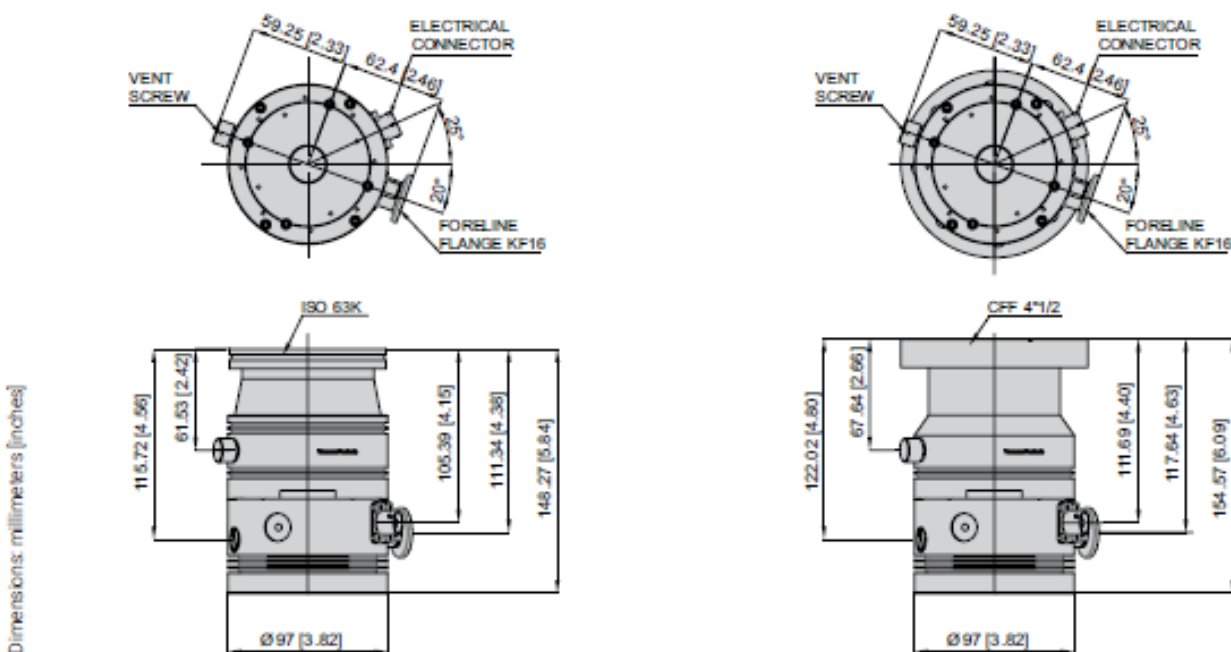
D.3.2 Fitxa tècnica bomba TwisTorr 74 FS

Technical Specifications

Technical Specifications				
Pumping speed	KF40	CFF 2.75"	ISO 63	CFF 4.5"
N ₂	44 L/s	50 L/s	60 L/s	60 L/s
He	33 L/s	40 L/s	54 L/s	54 L/s
H ₂	28 L/s	31 L/s	42 L/s	42 L/s
Ar	40 L/s	51 L/s	59 L/s	59 L/s
Max Gas Throughput (*)	Air Cooling (35°C ambient temperature)		Water Cooling (25°C water temp. / 35°C ambient temp.)	
	N ₂	130 SCCM	130 SCCM	
Ar	80 SCCM	80 SCCM		
(*) Backing pump 5 m ³ /h				
Compression ratio and foreline tolerance (**)				
N ₂	1.0 x 10 ⁶	>12 mbar		
He	2.0 x 10 ⁶	>10 mbar		
H ₂	1.0 x 10 ⁶	>4 mbar		
Ar	> 1.0 x 10 ⁶	>14 mbar		
(**) Foreline Tolerance defined as the pressure at which the turbopump still produces a compression of 100, estimated in water cooling mode				
Base pressure with recomb. forepump	< 5 x 10 ⁻¹³ mbar ($\approx 3.75 \times 10^{-10}$ Torr)			
Inlet flange	KF 40, ISO 63, CFF 4.5", CFF 2.75"			
Foreline flange	KF16 NW			
Rotational speed	70000 rpm (1167 Hz driving frequency)			
Start-up time	< 2 minutes			

Technical Specifications		
Recommended forepump	Agilent DS 40M / DS 102 Rotary Vane Pumps Agilent IDP-3/IDP7 Dry Scroll Pumps	
Operating position	Any	
Oper. ambient temp.	+5 °C to +35 °C	
Rel. humidity of air	0 - 90 % (not condensing)	
Bakeout temperature	max 80 °C for ISO (120 °C for CFF) at inlet flange	
Lubricant	Permanent lubrication	
Cooling requirements		
Air cooling	Forced air Air flow temperature +5° C to +35 °C	
Water cooling	Water temperature from +15°C to +25°C Water flow min. 65 L/h	
Noise Pressure level (at 1 mt at full speed)	40 dB(A)	
Storage temp.	-40 °C to +70 °C	
Max altitude	3000 m	
Weight kg (lbs)	ISO 63	2.05 (4.50)
	CFF 4.5"	3.50 (7.70)
	CFF 2.75" KF 40	3.34 (7.35) 2.37 (5.22)
Conformity to norms		
CE, C-USA-US, RoHS compliant as per 2011/65/UE		

Outline Drawing



3D Drawings available for download on Agilent.com

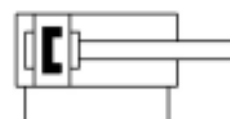
D.4 Fitxes tècniques equip de posicionament

D.4.1 Fitxa tècnica actuator ADN-S-20-50-I-P-A

Cilindro compacto ADN-S-20-50-I-P-A

Número de artículo: 8076324

FESTO



Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	50 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Amortiguación	Amortiguación por topes elásticos/placas en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Extremo del vástago	Rosca interior
Forma constructiva	Émbolo Vástago
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991217
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.06 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento	0.6 bar ... 10 bar
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	1 - riesgo de corrosión bajo
Conformidad PWIS	VDMA24364-B2-L
Temperatura ambiente	0 °C ... 60 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.2 J
Fuerza teórica con 6 bar, retomo	141 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	188 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	18 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	6 g
Peso básico con carrera de 0 mm	65 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	26 g
Tipo de fijación	Con taladro pasante Con rosca interior Con accesorios A elegir:
Conexión neumática	M5
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Aleación forjada de aluminio anodizado
Material de las juntas dinámicas	NBR TPE-U (PU)
Material del cuerpo	Aleación forjada de aluminio anodizado
Material del vástago	Acero inoxidable de alta aleación

D.4.2 Fitxa tècnica rodament lineal 21505-01_AG

Descripción del artículo/Imágenes del producto



Descripción

Material:

Revestimiento exterior de acero inoxidable.

Jaula de acero inoxidable.

Bolas de acero inoxidable.

Indicación:

Los rodamientos lineales de bolas corresponden a la serie 3 según ISO 10285. Con junta por los dos lados. Los rodamientos lineales de bolas están equipados con una jaula de acero. El seguro de los rodamientos lineales de bolas está formado por circlips según DIN 471/472.

Tolerancias recomendadas:

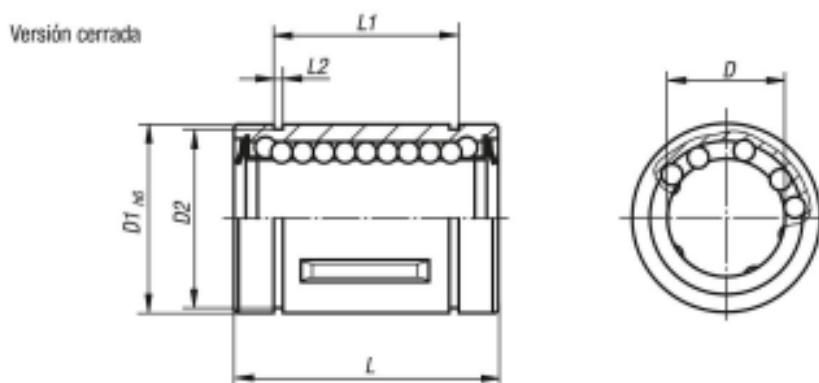
Árbol: h6

Carcasa: H7

Los rodamientos lineales de bolas con junta por los dos lados se deben engrasar antes de la instalación.

Las capacidades de carga indicadas se aplican si se utilizan árboles endurecidos y pulidos.

Planos



Nuestros productos

Referencia	Versión 2	D	D1	D2	L	L1	L2	Capacidades de carga dinámicas N	Capacidades de carga estáticas N
21505-01-1202	cerrado	12	22	21	32 -0,2	22,9 -0,2	1,3	420	714
21505-01-1602	cerrado	16	26	24,9	36 -0,2	24,9 -0,2	1,3	686	1092
21505-01-2002	cerrado	20	32	30,3	45 -0,2	31,5 -0,2	1,6	924	1610
21505-01-2502	cerrado	25	40	37,5	58 -0,3	44,1 -0,3	1,85	1470	2590
21505-01-3002	cerrado	30	47	44,5	68 -0,3	52,1 -0,3	1,85	2100	3920

D.5 Fitxa tècnica juntes dinàmiques GARLOCK PS-SEAL®

Información técnica

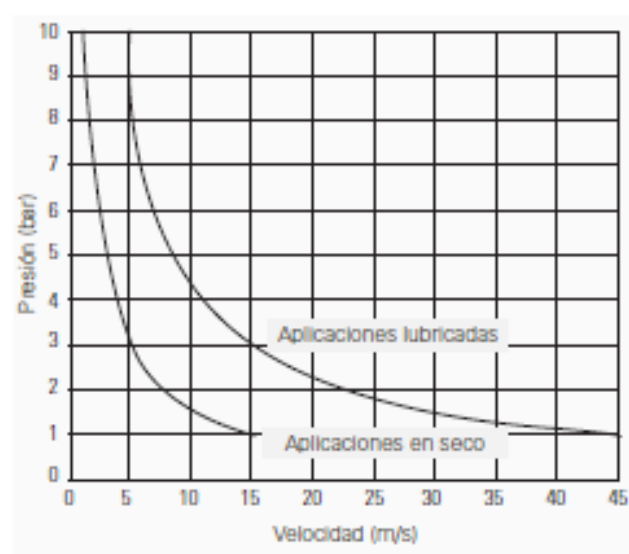
Área de aplicación

Con una presión superior a 5 bar y una velocidad periférica superior a 5 m/s, Garlock recomienda comprobar las limitaciones de uso. El siguiente diagrama p x v muestra el campo de aplicación de los labios de GYLON® Black y GYLON® White en aplicaciones lubricadas y en seco.

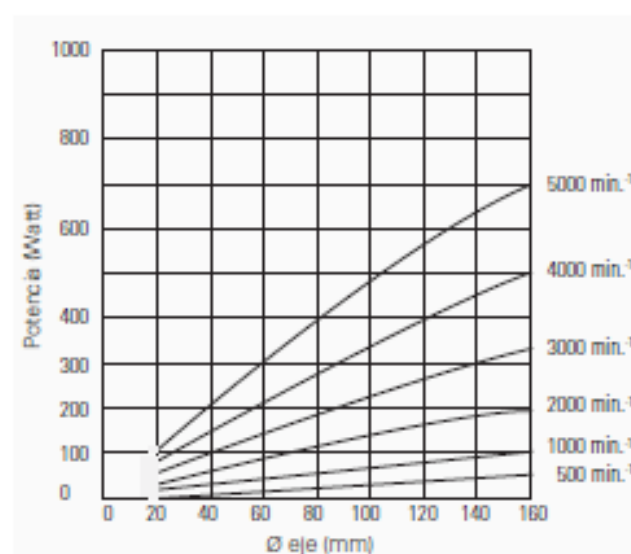
p x v para PS-SEAL®

Los valores p x v mostrados son válidos con una buena lubricación a temperatura ambiente y para todas las opciones de PS-SEAL® capaces de soportar presiones de hasta 10 bar. Un lubricante degradado así como la falta de lubricante o, incluso, el funcionamiento en seco, obliga a reducir el máximo valor p x v aceptable, así como la necesidad de utilizar una superficie de deslizamiento óptima.

Diagrama p x v

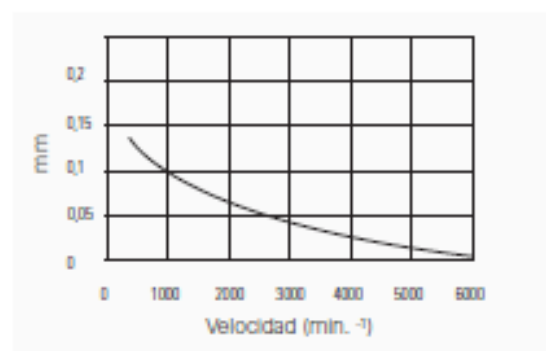


Pérdida de energía debida a la fricción en el labio del sello

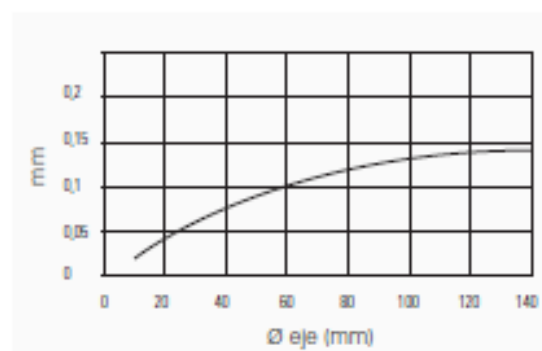


Las siguientes curvas de concentricidad y desalineamiento entre eje y cajera (STBM) dependen de la velocidad máxima y del diámetro del eje. La suma de ambos valores (excentricidad y desalineamiento) no debe exceder el máximo.

Excentricidad radial aceptable



Desalineamiento aceptable



D.6 Fitxa tècnica juntes FFKM

DuPont™ Kalrez® 7075UP

For Semiconductor Metal CVD Applications

Technical Information – March, 2017

Product Description

DuPont™ Kalrez® 7075UP perfluoroelastomer parts are a black product targeted specifically metal CVD applications. It offers outstanding thermal stability, very low outgassing and excellent compression set properties. Kalrez® 7075UP exhibits excellent seal force retention, has good mechanical properties and is well suited for both static and dynamic sealing applications. A maximum application temperature of 327°C (620°F) is suggested. Short excursions to higher temperatures may also be possible. Ultrapure post-cleaning and packaging is standard for all parts made from Kalrez® 7075UP.

Performance Features/Benefits

- Outstanding thermal stability
- Very low outgassing
- Excellent resistance to ClF_3
- Excellent (low) compression set properties
- Excellent seal force retention properties
- Excellent response to temperature cycling effects

Typical Physical Properties¹

Color	Black
Hardness, Shore A (pellet) ²	75
Hardness, Shore M (O-ring) ³	85
100% Modulus ⁴ , MPa (psi)	10.54 (1529)
Tensile Strength at Break ⁴ , MPa (psi)	17.26 (2503)
Elongation at Break ⁴ , %	148
Compression Set ⁵ , %	
70 hr. at 204 °C (400°F)	15
70 hr. at 300 °C (572°F)	19
70 hr. at 325 °C (617°F)	34
Max. Application Temperature ⁶ , °C (°F)	327 (620)

¹ Not to be used for specifications

² ASTM D2240 (pellet test specimens)

³ ASTM D2240 and ASTM D1414 (AS568 K214 O-ring test specimens)

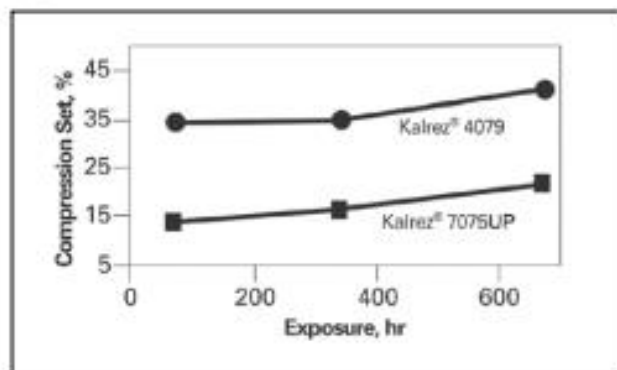
⁴ ASTM D412 (dumbbell test specimens)

⁵ ASTM D395B and ASTM D1414 (AS568 K214 O-ring test specimens)

⁶ DuPont proprietary test method

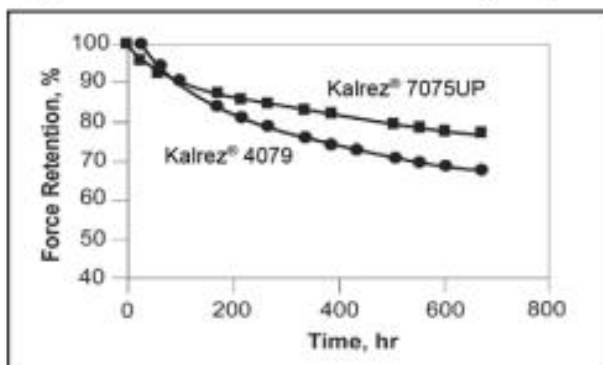
Compression Set/Seal Force Retention

Figure 1. Compression Set at 204°C (400°F) *



*ASTM D395B & D1414 (AS568 K214 O-ring test specimens)

Figure 2. Seal Force Retention at 200°C (400°F)



* ISO 3384, Method A, (AS568 K214 O-ring specimens)

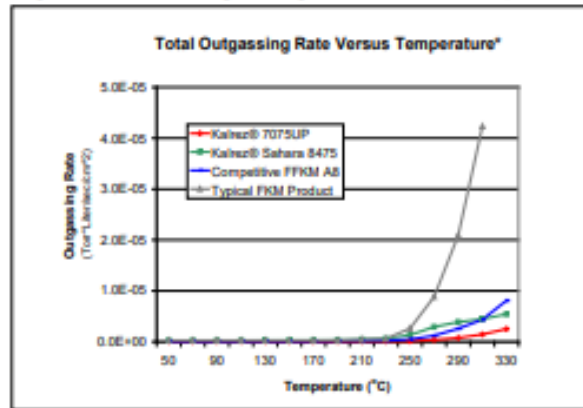


The miracles of science™

Outgassing

High heat and temperature spikes can degrade elastomeric seals causing their crosslinking structure to become irreversibly damaged. In addition elastomeric seals can degrade under high temperatures causing outgassing to occur, thereby contaminating the process environment. The result is unscheduled downtime, or even worse, product loss. Figure 3 shows the outgassing properties of Kalrez® 7075UP versus Kalrez® 8475, Competitive FFKM A8 and a typical FKM product. Kalrez® 7075UP exhibited the lowest total outgassing rate.

Figure 3. Total Outgassing Rate versus Temperature*



*DuPont proprietary test method

Visit us at kalrez.dupont.com or vespel.dupont.com

Contact DuPont at the following regional locations:

North America
800-222-8377

Latin America
+0800 17 17 15

Europe, Middle East, Africa
+41 22 717 51 11

Greater China
+86-400-8851-888

ASEAN
+65-6586-3688

Japan
+81-2-5521-8484

The information provided in this data sheet corresponds to DuPont knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise.

The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use and disposal conditions, DuPont does not guarantee results, makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. All such information is given and accepted at the buyer's risk. It is intended for use by persons having technical skill, at their own discretion and risk. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent.

CAUTION: Do not use DuPont materials in medical applications involving implantation in the human body or contact with internal body fluids or tissues unless the material has been provided from DuPont under a written contract that is consistent with DuPont policy regarding medical applications and expressly acknowledges the contemplated use. For further information, please contact your DuPont representative. You may also request a copy of DuPont POLICY Regarding Medical Applications H-50103-5 and DuPont CAUTION Regarding Medical Applications H-50102-5.

Copyright © DuPont. The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™, Kalrez® is a trademark or registered trademark of E. I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.

(03/17) Reference No. KZE-A10305-00-G0317



The miracles of science™

D.7 Fitxa tècnica juntes grafit

GASKET SHEETS



TECHNICAL SPECIFICATION

Gasket sheet **GAMBITGRAF LUX**

Material

99.5% pure expanded graphite foil, reinforced with 0.1mm thick AISI 316L perforated metal sheet.
Sulphur content – max. 300 ppm.
Chlorides content – max. 50 ppm.

Designation according to DIN 28091-4: GR-10-0-1M-Cr

General properties and applications

Applied in high temperature and pressure. Recommended to steam, carbohydrates and most of chemical compounds except strong oxidants. Resistant to mechanical and thermal cycles as well as to rapid changes of temperature.

Maximum working conditions

Temperature during continuous operation	°C	500
Temperature during continuous operation in steam	°C	550
Pressure	MPa	12

Dimensions

Standard thickness of a sheet	mm	1,0; 1,5; 2,0; 3,0	± 10%
Standard size of a sheet	mm	1000x1000 1500x1500	± 20,0

GASKET SHEETS



Physical and chemical properties

Thickness		mm	1,5	
Graphite density	± 5%	g/cm ³	1,0	DIN 28090-2
Tensile strength	min.	MPa	20	ASTM F152
Compressibility		%	35 - 45	ASTM F36
Elastic recovery		%	15 - 20	ASTM F36
Residual stress 16 h/300 °C	min.	MPa	38	BS 7531
Residual stress 16 h/300 °C	min.	MPa	48	DIN 52913
Ash content	max.	%	0,5	DIN 51903
Colour			graphite	

(Figures given in the charts refer to 1.5 mm thick gasket sheets)

Industrial Supply

All information in this catalogue is based on years of experience in manufacture and use of the discussed products. Since sealing performance in the joint is subject to multiple factors such as mounting method, system parameters, and sealed medium, technical parameters specified herein are of informative nature only and cannot be used as grounds for any claims; any special uses of products are subject to consulting with the manufacturer.

GASKET SHEETS



Test Results of GAMBITGRAF LUX Published on Gasketdata.org

The below tests were run according to EN 13555, the most up-to-date norm in this domain. The results confirm the quality of our products and assist the design of flanges according to norm EN 1591-1+A1:2009/AC:2011.

The tests have been carried out by the Center of Sealing Technologies  at Münster University of Applied Sciences (FH Münster) and published on www.gasketdata.org together with the datasheets of the world's leading manufacturers of sealing materials.

 is an independent laboratory focused on the research and development in the field of sealing materials in order to assist both the producers and the users.

Gasket characteristics acc. EN 13555 (05/2005)
required for design calculations acc. EN 1591-1+A1:2009/AC:2011

Sealing element dimensions [mm] 92 x 49 x 2

Relaxation ratio P_{GR} for stiffness $C = 500$ kN/mm

Gasket stress, MPa	Ambient temperature	Temperature 1 (300 °C)	Temperature 2 (400 °C)
Stress level 1 (30 MPa)	0,99	0,93	0,92
Stress level 2 (50 MPa)	1,00	0,95	0,95
P_{GR} at Q_{GR} (220/160/160 MPa)	1,00	0,99	0,98

Maximal applicable gasket stress Q_{GR} , MPa

Q_{GR} , MPa – ambient temperature	Q_{GR} , MPa – temperature 1 (300 °C)	Q_{GR} , MPa – temperature 2 (400 °C)
220	160	160

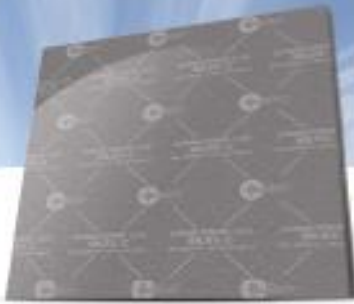
Sealant unloading modulus of the gasket E_G , MPa and gasket thickness e_G , mm

Gasket stress, MPa	Ambient temperature		Temperature 1 (300 °C)		Temperature 2 (400 °C)	
	E_G , MPa	e_G , mm	E_G , MPa	e_G , mm	E_G , MPa	e_G , mm
0	-	2,201	-	2,201	-	2,215
1	-	2,037	-	2,043	-	2,042
20	526	1,259	574	1,226	552	1,207
30	828	1,178	810	1,159	772	1,141
40	1159	1,132	1103	1,113	1041	1,096
50	1488	1,100	1412	1,081	1433	1,065
60	1847	1,076	1721	1,057	1700	1,041
80	2602	1,042	2312	1,021	2347	1,006
100	3346	1,018	3036	0,996	2854	0,980
120	4028	0,999	3582	0,976	3342	0,961
140	4786	0,985	4193	0,959	4049	0,943
160	5520	0,972	4760	0,944	4592	0,928
180	6201	0,961	-	-	-	-
200	9490	0,954	-	-	-	-
220	14811	0,934	-	-	-	-

Industrial Supply

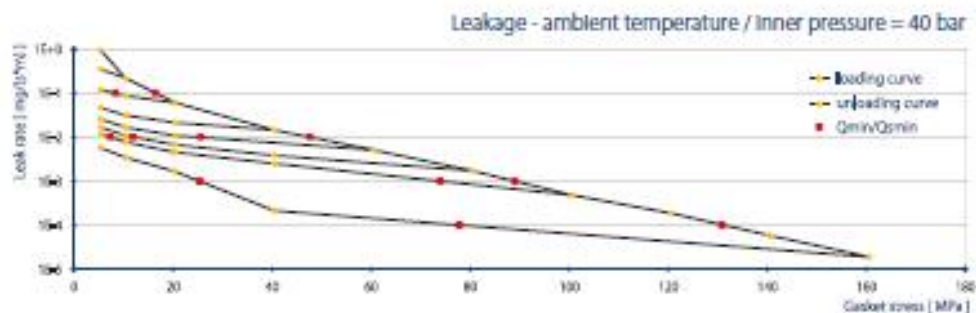
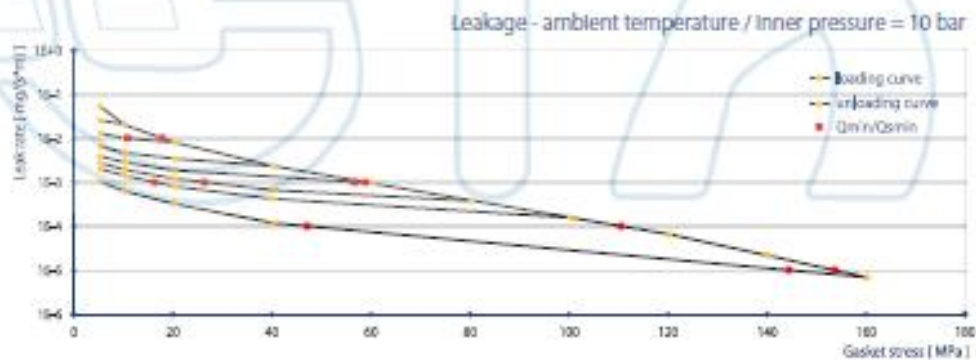
All information in this catalogue is based on years of experience in manufacture and use of the discussed products. Since sealing performance in the joint is subject to multiple factors such as mounting method, system parameters, and sealed medium, technical parameters specified herein are of informative nature only and cannot be used as grounds for any claims; any special uses of products are subject to consulting with the manufacturer.

GASKET SHEETS



Minimum stress to seal $Q_{min(L)}$ (at assembly), $Q_{min(R)}$ (after off-loading) for Inner pressure 10 bar										
Tightness class	$Q_{min(L)}$	$Q_{min(R)}$ MPa								
mg/(s x m)	MPa	Q_A 10MPa	Q_A 20 MPa	Q_A 40 MPa	Q_A 60 MPa	Q_A 80 MPa	Q_A 100 MPa	Q_A 120 MPa	Q_A 140 MPa	Q_A 160 MPa
10^0	5	5	5	5	5	5	5	-	-	5
10^{-1}	5	5	5	5	5	5	5	-	-	5
10^{-2}	18	-	11	5	5	5	5	-	-	5
10^{-3}	59	-	-	-	57	27	16	-	-	5
10^{-4}	111	-	-	-	-	-	-	-	-	47
10^{-5}	154	-	-	-	-	-	-	-	-	144

Minimum stress to seal $Q_{min(L)}$ (at assembly), $Q_{min(R)}$ (after off-loading) for Inner pressure 40 bar										
Tightness class	$Q_{min(L)}$	$Q_{min(R)}$ MPa								
mg/(s x m)	MPa	Q_A 10MPa	Q_A 20 MPa	Q_A 40 MPa	Q_A 60 MPa	Q_A 80 MPa	Q_A 100 MPa	Q_A 120 MPa	Q_A 140 MPa	Q_A 160 MPa
10^0	5	5	5	5	5	5	5	-	-	5
10^{-1}	16	-	8	5	5	5	5	-	-	5
10^{-2}	48	-	-	-	26	12	7	-	-	5
10^{-3}	89	-	-	-	-	-	74	-	-	25
10^{-4}	131	-	-	-	-	-	-	-	-	78



Industrial Supply

All information in this catalogue is based on years of experience in manufacture and use of the discussed products. Since sealing performance in the joint is subject to multiple factors such as mounting method, system parameters, and sealed medium, technical parameters specified herein are of a normative nature only and cannot be used as grounds for any claims; any special uses of products are subject to consulting with the manufacturer.